

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE  
À L'OBTENTION DE LA  
MAÎTRISE EN GÉNIE  
CONCENTRATION : RÉSEAUX DE TÉLÉCOMMUNICATIONS  
M.Ing

PAR  
YOUNES, Nadine

LA QUALITÉ DE SERVICE DES SERVICES MULTIMÉDIA  
SUR LES RÉSEAUX AD HOC SANS FIL À MULTI-SAUTS

MONTRÉAL, LE 7 AOÛT 2009

© Younes Nadine, 2009

**PRÉSENTATION DU JURY**  
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ  
PAR UN JURY COMPOSÉ DE

M. Michel Kadoch, directeur de mémoire  
Département de génie électrique à l'École de technologie supérieure

M. Pierre Bourque, président du jury  
Département de génie logiciel et TI à l'École de technologie supérieure

Mme Nadjia Kara, membre du jury  
Département de génie logiciel et TI à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 27 JUILLET 2009

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

## REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier les personnes qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce mémoire. Cet ambitieux travail n'aurait pu se matérialiser sans leur support constant dans les moments difficiles et me servir de phare lorsque je naviguais.

Merci à Monsieur Michel Kadoch, le directeur de mon mémoire, qui a joué non seulement le rôle du directeur du mémoire mais également de mentor tout au long de la rédaction du mémoire. Ses conseils, ses expériences et son support ont été grandement appréciés.

Merci à Monsieur Pierre Bourque, professeur dans le département de génie logiciel et des TI à l'École de technologie supérieure de me faire l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je tiens à remercier Madame Nadjia Kara, professeure dans le département de génie logiciel et des TI à l'École de technologie supérieure d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je profite de cette occasion pour remercier tous les membres du LAGRIT, spécialement Chafika, pour ses commentaires et ses aides qui ont permis de rehausser la qualité de cet ouvrage.

J'aimerais remercier aussi les personnes qui m'ont supporté, surtout mon mari et mes enfants pour leurs encouragements.

Une dernière pensée à tous les membres de ma famille, surtout à mon cher père pour son encouragement, sa confiance et son soutien moral malgré la distance.

Finalement, je dédie ce travail à l'âme de ma mère.

# LA QUALITÉ DE SERVICE DES SERVICES MULTIMÉDIA SUR LES RÉSEAUX AD HOC SANS FIL À MULTI-SAUTS

YOUNES, Nadine

## RÉSUMÉ

Notre objectif est d'améliorer la performance d'un réseau mobile Ad Hoc à multi-sauts en essayant d'avoir une meilleure qualité de service en contrôlant le délai de bout en bout, la gigue des services multimédia et de plus réduire les pertes.

En fait, nous ajouterons un correcteur d'erreurs de type FEC (*Forward Error Correction*), le Reed Solomon, au réseau MANET afin de minimiser le nombre d'erreurs causées par les différents problèmes tels que les problèmes des nœuds cachés et la réduction de la puissance. En outre, nous appliquerons le mode EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) qui est un protocole d'accès au médium utilisé dans la norme IEEE 802.11e qui permet d'appliquer une différenciation de services sur les réseaux sans fils afin d'avoir une certaine QoS dans le réseau.

Vu que les stations d'un réseau MANET sont réduites dans leur capacité de traitement, il est important d'utiliser le minimum de méthodes, à savoir la QoS seule, le FEC seul ou les deux de façon combinée qui apporteront la QoS requise.

La simulation a été utilisée pour analyser le réseau MANET sous les conditions requérant la QoS et nous avons appliqué les méthodes mentionnées précédemment pour mesurer notre approche. Le logiciel utilisé est l'OPNET 14.0. Les résultats montrent une amélioration dans la performance du réseau.

**Mots clés :** Réseaux mobiles Ad hoc (MANET), la correction d'erreurs FEC, La qualité de service QoS, EDCA, OPNET

## **QUALITY OF SERVICE OF MULTIMEDIA SERVICES IN MUTIHOP AD HOC WIRELESS NETWORK**

YOUNES, Nadine

### **ABSTRACT**

Multimedia applications audio/video won popularity during the last years. The adaptation of these services in MANET requires a quality of service. The objective of this research is to improve the performance of a multi hop mobile Ad Hoc Network by having a better quality of service via controlling the end to end delay, the jitter of the multimedia services and moreover reducing the losses.

In fact, we will add the Reed Solomon, a type of FEC (Forward Error Correction), to the MANET network in order to minimize the number of errors caused by the various problems such as the problems of the hidden nodes and power reduction. Moreover, we will apply the EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) which is a medium Access Protocol in the IEEE 802.11e standard to apply the differentiation services in the wireless networks to have a QoS in the network.

Considering the fact that the stations of a MANET network have a reduced capacity of treatment, it is important to use the minimum of methods such as FEC alone or QoS alone or both which insure the required QoS.

Using simulation, we analyzed the MANET network under conditions that require QoS and we applied the methods mentioned previously to measure our approach. We used the software OPNET 14.0. The results show an improvement in the performance of the network.

**Key Words:** Mobile Ad hoc Networks (MANET), Forward Error Correction FEC, Quality of Service QoS, EDCA, OPNET

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 LES RESEAUX MOBILES AD HOC (MANET) .....	4
1.1 Réseau mobile Ad Hoc (MANET) .....	4
1.2 Caractéristiques des réseaux Ad hoc mobiles .....	6
1.3 Réseau Ad hoc sans fil : Principes de fonctionnement .....	7
1.3.1 Le problème des stations cachées .....	10
1.3.2 Le problème des stations exposées .....	12
1.4 Les applications des réseaux Ad hoc mobiles .....	12
1.5 Le routage dans les réseaux Ad hoc .....	13
1.5.1 Protocoles de routage proactifs .....	14
1.5.2 Protocoles de routage réactifs .....	16
1.5.3 La puissance .....	19
1.5.4 La qualité de service dans MANET .....	20
CHAPITRE 2 LA QUALITÉ DE SERVICE (QoS) .....	21
2.1 Qu'est ce que la QoS ? .....	21
2.1.1 La bande passante .....	21
2.1.2 Le délai .....	22
2.1.3 La gigue .....	23
2.1.4 La perte .....	24
2.2 Que se passe t-il sans QoS .....	25
2.3 Exemples des files d'attente pour le traitement différencié des paquets .....	25
2.4 Les multimédias .....	26
2.5 Contraintes associées aux applications .....	27
2.6 Contraintes spécifiques au multimédia .....	28
2.6.1 Les caractéristiques du trafic vidéo .....	29
2.6.2 Les contraintes de QoS de la vidéo .....	29
2.7 Les modèles d'architecture de QoS .....	30
2.7.1 Le modèle IntServ .....	30
2.7.2 Le modèle DiffServ .....	31
2.7.3 Le modèle FQMM .....	34
2.8 Protocoles de la couche MAC pour les réseaux WLAN .....	35
2.8.1 Le mode EDCA .....	37
2.8.2 Le mode HCCA .....	38
2.9 Le contrôle d'erreurs dans les applications Vidéo .....	39
2.10 Les codes Reed-Solomon .....	40
2.10.1 Introduction .....	40
2.10.2 Applications des codes Reed-Solomon .....	41
2.10.3 Le décodage Reed Solomon .....	42
2.10.4 Architectures pour encoder et décoder les codes Reed Solomon .....	43

2.10.5	L'architecture d'encodeur .....	44
2.10.6	L'architecture de décodage .....	44
2.11	Les entrelacements .....	46
CHAPITRE 3 REVUE DE LA LITTÉRATURE .....		47
3.1	Les protocoles de la couche MAC .....	47
3.2	Les protocoles de routage .....	48
3.3	La qualité de service dans les réseaux Ad Hoc .....	50
3.4	La correction d'erreurs FEC .....	52
CHAPITRE 4 SIMULATIONS DES DIFFÉRENTS MODÈLES .....		55
4.1	Problématique et objectifs de projet .....	55
4.2	Modèles de tests et configuration de réseaux .....	56
4.2.1	Les modèles de tests .....	57
4.3	Implémentation du code Reed-Solomon dans OPNET .....	60
4.3.1	L'outil de simulation OPNET .....	61
4.3.2	Description des étapes des pipelines de transmission dans OPNET .....	61
4.3.3	Le code Reed Solomon dans OPNET .....	64
4.4	Les modèles de simulation OPNET .....	65
4.4.1	MOD 1 : Modèle de référence .....	65
4.4.2	MOD 2 : Modèle de la mobilité .....	67
4.4.3	MOD 3 : Modèle de la réduction de la puissance .....	69
4.4.4	MOD 4 : Modèle de la mobilité et de réduction de la puissance en même temps .....	70
CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET ANALYSES .....		71
5.1	Les métriques de performance .....	71
5.2	Les critères de la qualité de service de la voix et de la vidéo .....	72
5.3	Les résultats et les analyses des modèles avec <i>background traffic</i> bas .....	73
5.3.1	Les modèles des simulations de niveau de <i>Background traffic</i> bas .....	74
5.3.2	Le modèle de référence .....	77
5.3.3	Notation des graphes simulés .....	77
5.3.4	Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes ..	78
5.3.5	Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes .....	79
5.3.6	Les résultats de la gigue de la voix en secondes .....	81
5.3.7	La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/seconde .....	82
5.4	Les résultats et les analyses des modèles avec <i>background trafic</i> moyen .....	83
5.4.1	Les modèles des simulations de niveau de <i>Background traffic</i> moyen .....	83
5.4.2	Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes ..	85
5.4.3	Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes .....	86
5.4.4	Les résultats de la gigue de la voix en secondes .....	87
5.4.5	La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/seconde .....	88
5.5	Les résultats et les analyses des modèles avec <i>background trafic</i> haut .....	89
5.5.1	Les modèles des simulations de niveau de <i>Background traffic</i> haut .....	89
5.5.2	Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes ..	91

5.5.3	Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes .....	92
5.5.4	Les résultats de la gigue de la voix en secondes .....	93
5.5.5	La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/seconde.....	94
5.6	Les résultats de la simulation de la mobilité et la réduction de la puissance en même temps .....	95
5.6.1	Les résultats des simulations pour le <i>background traffic</i> de faible niveau. ...	96
5.6.2	Les résultats des simulations pour le <i>background traffic</i> de niveau moyen .	98
5.6.3	Les résultats des simulations pour le <i>background traffic</i> de niveau haut ...	100
5.7	Conclusion .....	101
CONCLUSION .....		103
RECOMMANDATIONS .....		106
BIBLIOGRAPHIE .....		107



## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Page</b>
Tableau 1.1 La table de routage du nœud R1 .....	16
Tableau 2.2 La bande passante requise de quatre codeurs de vidéo .....	30
Tableau 2.3 Compatibilité entre les valeurs DSCP et l' <i>IP precedence</i> .....	32
Tableau 4.1 Les paramètres de l'application vidéo conférence.....	67
Tableau 4.2 Les paramètres de l'application voix .....	67
Tableau 4.3 Les paramètres par défaut d'EDCA utilisés dans Opnet.....	68
Tableau 5.1 Les paramètres utilisés dans la simulation.....	73
Tableau 5.2 Les paramètres utilisés dans la simulation.....	90

## LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Le mode Ad hoc.....	4
Figure 1.2 Le principe de transmission dans Ad hoc.....	6
Figure 1.3 Exemple d'un réseau Ad hoc.....	8
Figure 1.4 Bringing up an Ad hoc network.....	9
Figure 1.5 Exemple du problème des stations cachées.....	11
Figure 1.6 Exemple du problème des stations exposées.....	12
Figure 1.7 Exemple de réseau mobile Ad hoc.....	15
Figure 1.8 La détermination d'une route selon DSR.....	18
Figure 1.9 Le renvoi du chemin calculé.....	18
Figure 2.1 Exemple de la gigue.....	24
Figure 2.2 Résumé des DSCP.....	33
Figure 2.3 Diagramme des conditionneurs et des classificateurs.....	34
Figure 2.4 L'architecture de l'IEEE 802.11e.....	36
Figure 2.5 La station legacy 802.11 et la station 802.11e.....	38
Figure 2.6 Mot codé typique de RS.....	41
Figure 2.7 Architecture des codeurs systématiques.....	44
Figure 2.8 Diagramme de décodage.....	45
Figure 2.9 L'entrelacement.....	46
Figure 4.1 L'effet du niveau de puissance sur la connectivité du réseau.....	58
Figure 4.2 La latence.....	59
Figure 4.3 Les pipelines de transmission.....	62
Figure 4.4 Le réseau Ad hoc simulé dans OPNET.....	66

Figure 4.5 Le background traffic présenté sur le réseau Ad hoc simulé. ....69

Figure 5.1 PEED video du modèle de la mobilité avec background traffic bas.....78

Figure 5.2 PEED video du modèle de diminution de la puissance avec background traffic bas. ....78

Figure 5.3 PEED voice du modèle de la mobilité avec background traffic bas.....79

Figure 5.4 PEED voice du modèle de diminution de la puissance avec background traffic bas. ....79

Figure 5.5 Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec background traffic bas. ....81

Figure 5.6 Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec background traffic bas. ....81

Figure 5.7 La perte des paquets du modèle de la mobilité et background traffic bas. ....82

Figure 5.8 La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec background traffic bas. ....82

Figure 5.9 PEED video du modèle de la mobilité avec background traffic moyen. ....85

Figure 5.10 PEED video du modèle de diminution de la puissance avec background traffic moyen.....85

Figure 5.11 PEED voice du modèle de la mobilité avec background traffic moyen. ....86

Figure 5.12 PEED voice du modèle de diminution de la puissance avec background traffic moyen.....86

Figure 5.13 Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec background traffic moyen. ....87

Figure 5.14 Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec background traffic moyen.....87

Figure 5.15 La perte des paquets du modèle de la mobilité avec background traffic moyen .....88

Figure 5.16 La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec background traffic moyen.....88

Figure 5.17 PEED video du modèle de la mobilité avec background traffic haut. ....91

Figure 5.18 PEED video du modèle de diminution de la puissance avec background traffic haut. ....91

Figure 5.19	PEED voice du modèle de la mobilité avec background traffic haut. ....	92
Figure 5.20	PEED voice du modèle de diminution de la puissance avec background traffic haut. ....	92
Figure 5.21	Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec background traffic haut. ....	93
Figure 5.22	Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec background traffic haut.....	93
Figure 5.23	La perte des paquets du modèle de la mobilité avec.....	94
Figure 5.24	La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec background traffic haut.....	94
Figure 5.25	Les résultats des simulations pour le background traffic de niveau faible. ....	96
Figure 5.26	Les résultats des simulations pour le background traffic de niveau moyen.....	98
Figure 5.27	Les résultats des simulations pour le background traffic de niveau haut.....	100

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ABR	Associativity-Based Routing
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AF	Assured Forwarding
AIFS	Arbitration InterFrame Space
AIFSN	Arbitration InterFrame Space Number
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing
AP	Access Point
AQM	Ad Hoc QoS Multicast
ARQ	Automatic Repeat Request
BA	Behavior Aggregate
BCH	Hocquenghem, Bose et Ray-Chaudhuri
BER	Bit Error Ratios
CBQ	Class Based Queuing
CFP	Contention Free Period
CGSR	Clusterhead Gateway Switch Routing
CP	Contention Period
CS	Class Selector
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear-To-Send
CW	Contention Window
CWmin	Minimum Contention window

CW <sub>max</sub>	Maximum Contention Window
DCAP	Distributed Channel Assignment Protocol
DCF	Distributed Coordination Function
DiffServ	Differentiated Service
DIFS	Distributed (coordination function) InterFrame Space
DRNP	Distributed Resource Negotiation Protocol
DSDV	Destination Sequenced Distance Vector Routing
DSR	Dynamic Source Routing
DS-SWAN	Differentiated Services-Stateless Wireless Ad hoc Networks
DVB	Digital Video Broadcasting
DVD	Digital video Disc
EDCA	Enhanced Distributed Coordination Access
EDCF	Enhanced Distributed Coordination Function
EF	Expedited Forwarding
FEC	Forward Error Correction
FIFO	First In First Out
FQMM	A Flexible QoS Model for MANETs
FQM	FEC QoS Multimedia
FTP	File Transfer Protocol
HCCA	HCF Controlled Channel Access
HCF	Hybrid Coordination Function
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IntServ	Integrated Service

ITU	International Telecommunication Union
LLQ	Low Latency Queue
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad hoc NETWORK
MF	Multi-Field
MHVC	Multiple Heterogeneous Virtual Channels
MPEG	Moving pictures Experts Group
MPEG4-AVC	MPEG4- Advanced Video Coding
MPR	MultiPoint Relays
MPT	Multi PaTh
OFDM-CDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Code Division Multiple Access
OLSR	Optimized Link State Routing
OPNET	OPen NETWORK
PCDC	Power Controlled Dual Channel
PCF	Point Coordination Function
PDA	Personal Digital Assistant
PDR	Packet Delivery Rate
PEED	Packet End to End Delay
PHB	Per-Hop Behavior
PQ	Priority Queuing
QoS	Quality of Service
QoSR	QoS Routing

QRMP	QoS Routing with Mobility Prediction protocol
QSTAs	Quality enhanced STAtion
RED	Random Early Detection
RFC	Request for Comments
RLT	Route Life Time
RREQ	Route Request
RS	Reed Solomon
RSVP	Resource ReSerVation Protocol
RTP	Real Time Protocol
RTS	Request to Send
SIFS	Short InterFrame Space
SNR	Signal to Noise Ratio
SSR	Signal Stability Routing
SVC	Scalable Video Coding
TDMA	Time Division Multiple Access
TORA	Temporally-Ordered Routing Algorithm
ToS	Type of Service
TXOP	Transmit Opportunity
UP	User Priority
UWB	Ultra Wideband
VoIP	Voice over IP
WFQ	Weighted Fair Queuing
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access



WLAN	Wireless Local Area Network
WM	Wireless Medium
WRP	Wireless Routing Protocol
WRR	Weighted Round Robin Queuing
XDSL	Digital Subscriber Line
ZRP	Zone Routing Protocol

À travers ce document, pour éviter les fausses traductions et pour la clarté, les termes en anglais ont souvent été utilisés, ils sont alors en caractères italiques.

## INTRODUCTION

Au cours des dernières années, plusieurs types des communications sans fils ont été développés tels que les réseaux téléphoniques cellulaires, les réseaux Bluetooth, les réseaux locaux sans fils WLAN, les WiMAX, les réseaux *Ultra Wideband* (UWB), les réseaux Ad hoc mobiles (MANET). La plupart de ces réseaux sont des réseaux centralisés et ont besoin d'administrations centralisées et d'infrastructures coûteuses. Cependant, le réseau Ad hoc mobile, qui est un réseau distribué, auto-organisé et à multi sauts est un type différent de réseau qui a attiré une attention particulière ces dernières années (Chen, 2006).

Un réseau Ad hoc mobile (MANET) est un système autonome constitué de nœuds mobiles reliés par des liens sans fils. Les nœuds du MANET jouent le rôle de routeurs, se déplaçant d'une façon aléatoire, et s'organisant arbitrairement. En conséquence, la topologie du réseau MANET peut changer rapidement et de manière imprévisible. Ce type de réseau est sans infrastructure et représente une option attractive pour connecter spontanément des terminaux mobiles. MANET est appliqué dans le domaine militaire ou dans des situations de secours parce qu'il permet l'établissement d'un réseau de transmission à très court terme et à un coût très bas. Cependant, le réseau MANET est limité par différentes contraintes telles que la largeur de bande, le délai, la mobilité, etc.

Les applications multimédia (*voice communication, video-on-demand, video conferencing, etc.*) deviennent, de plus en plus, un besoin essentiel dans la vie quotidienne et leur popularité augmente rapidement, ce qui rend le support de la qualité de service (QoS) dans les réseaux MANET une tâche nécessaire. Parce que sans QoS, le multimédia fait concurrence aux données pour la bande passante, ce qui rend mauvaise la qualité de l'image et de la voix.

Afin de supporter la QoS dans MANETs, le réseau doit optimiser un ensemble de métriques, tel que le délai, la gigue, la largeur de bande, le taux de livraison de paquet, etc. Cependant, dans MANET, le problème de nœud caché, la nécessité de partager les ressources de canal,

l'organisation distribuée du réseau et la topologie dynamique apportent des défis importants à l'offre de la QoS.

Actuellement, il n'y a pas encore de protocole standard de qualité de service adapté aux spécificités du MANET, malgré tous les travaux qui ont été effectués. Par ailleurs, la garantie de la QoS dans un réseau mobile comme MANET est très délicate.

En outre, la nature active des stations MANETs, cause des pertes de paquet ce qui influence la fiabilité des communications. Alors, la réduction de ces pertes devient un défi pour supporter des services multimédia dans les réseaux Ad hoc mobile.

Comme le signal multimédia est bien sensible au délai, à la perte de l'information et aux erreurs de bit de canal sans fil, notre objectif est d'améliorer la performance d'un réseau mobile Ad Hoc à multi-sauts en essayant d'avoir une meilleure qualité de service en contrôlant le délai de bout en bout, la gigue des services multimédia et de plus de réduire les pertes. En fait, nous ajouterons un correcteur d'erreurs de type FEC (*Forward Error Correction*), le Reed Solomon, au réseau MANET afin de minimiser le nombre des erreurs, dans le réseau, causées par les différents problèmes tels que les problèmes des nœuds cachés et la réduction de la puissance. Le code Reed Solomon a des propriétés de correction d'erreurs excellente et il est robuste contre les pertes des séquences des erreurs des bits. En outre, nous appliquerons l'EDCA qui est un protocole d'accès au médium utilisé dans la norme IEEE 802.11e qui permet d'appliquer une différenciation de services sur les réseaux sans fils afin d'avoir une certaine QoS dans le réseau.

Vu que les stations sont réduites dans leur capacité de traitement, il est important d'utiliser le minimum de méthodes qui apporteront la QoS requise. En d'autres termes, de voir si toujours il faut utiliser les deux méthodes (FEC et QoS) à la fois ou l'une d'entre elles suffira dans certain cas.

La simulation a été utilisée pour analyser le réseau MANET sous les conditions requérant la QoS et nous avons appliqué les méthodes mentionnées pour mesurer notre approche.

Afin d'étudier la QoS des services multimédia dans le réseau Ad hoc mobile MANET, nous comparerons les résultats obtenus des différents scénarios simulés sous le logiciel OPNET d'un réseau MANET avec ou sans l'ajout de la correction d'erreurs (*Forward Error Correction: FEC*) et avec ou sans l'application de la QoS (l'EDCA). La comparaison va se faire en variant, chaque fois, un paramètre tel que la mobilité ou la puissance, et en ajoutant un *background traffic* de différents niveaux.

Le premier chapitre de ce mémoire définit les réseaux mobiles Ad hoc (MANET), ses caractéristiques et les différents protocoles de routage. Le deuxième chapitre abordera la qualité de service, les applications multimédia et les codes Reed Solomon. La revue de la littérature sera traitée dans le troisième chapitre. Dans le quatrième, nous décrirons les différents scénarios à simuler, alors que le cinquième présentera les résultats et les analyses des simulations.

## CHAPITRE 1

### LES RESEAUX MOBILES AD HOC (MANET)

Au cours de ce chapitre, nous ferons une brève description du réseau Ad hoc Mobile (MANET), ses caractéristiques, ses problèmes et ses protocoles de routage.

#### 1.1 Réseau mobile Ad Hoc (MANET)

**MANET** ou *Mobile Ad-hoc NETWORKS*, est le nom d'un groupe de travail de l'IETF (*Internet Engineering Task Force*) qui a été créé en 1998/99 et se charge de standardiser des protocoles de routage basés sur la technologie IP pour les réseaux Ad hoc, mobiles ou non. Une définition formelle de ce réseau MANET est donnée dans le RFC 2501 (Corson et Macker, 1999).

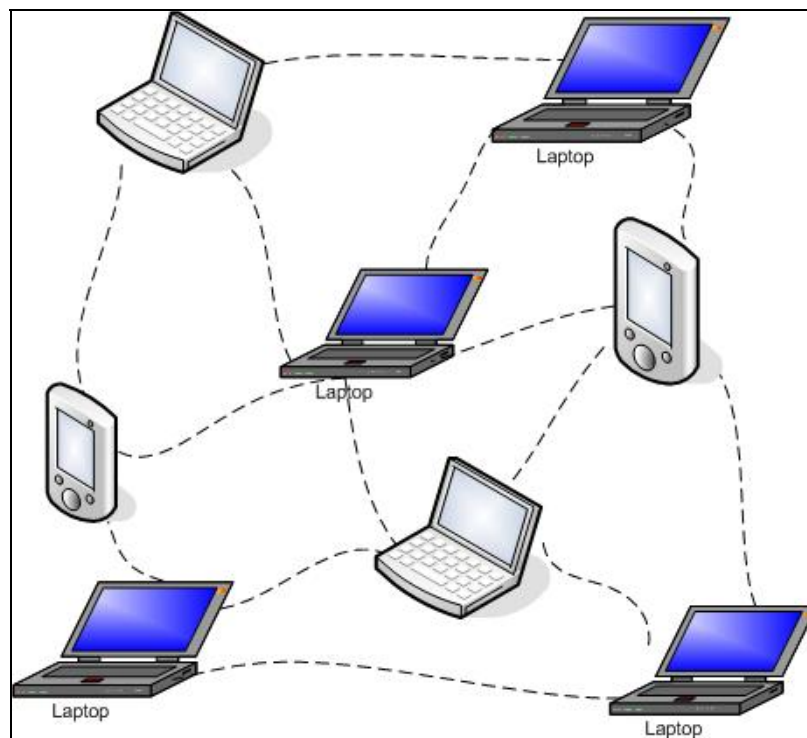


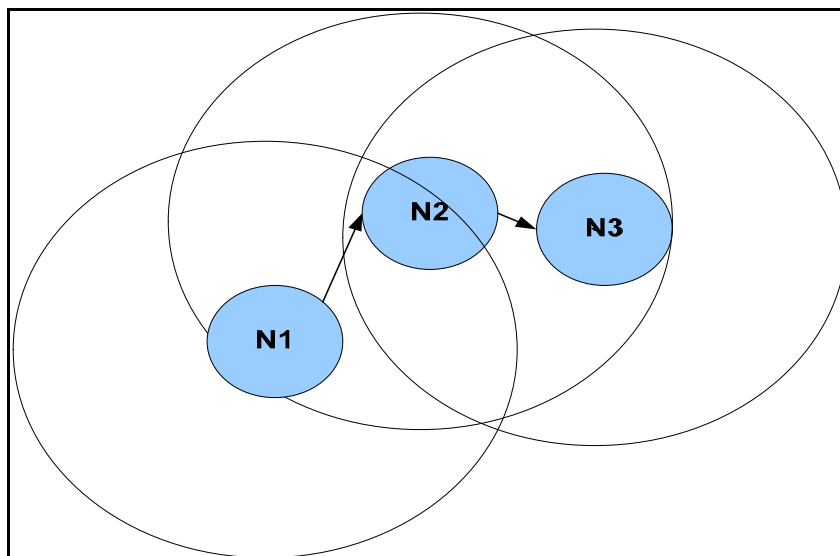
Figure 1.1 Le mode Ad hoc.

Un réseau mobile Ad hoc (MANET) est constitué d'un groupe de nœuds mobiles sans fil, qui peut former un réseau dynamique et échanger des données sans aucune infrastructure antérieure. Ces nœuds peuvent être dans des avions, des bateaux, des camions, des voitures, et même sur des personnes ou sur des très petits éléments. La Figure 1.1 montre un exemple du mode Ad hoc.

Le but des MANET est d'étaler la mobilité aux domaines mobiles, sans fil et autonomes, où l'ensemble des nœuds (qui peuvent être soit des routeurs, soit des hôtes), forment eux-mêmes une infrastructure de routage dans un réseau *Ad hoc*.

Les nœuds de MANET sont constitués des émetteurs et des récepteurs sans fil munis des antennes qui peuvent être omnidirectionnelles (diffusion), strictement directionnelles (point-à-point), possiblement orientables, ou une combinaison de tout ça. À un moment donné, dépendamment de la position des nœuds, de la configuration de leur émetteur-récepteur, des niveaux de la puissance de transmission et de l'interférence entre les canaux, une connectivité sans fil existe entre les nœuds sous forme de graphe multi-sauts aléatoire ou de réseau Ad hoc.

La Figure 1.2 montre le principe de la transmission dans un contexte des réseaux Ad hoc où les informations passent du nœud  $N_1$  à  $N_3$  à travers le nœud intermédiaire  $N_2$ . Le cercle est la zone de la couverture du nœud.



**Figure 1.2** Le principe de transmission dans un réseau *Ad hoc*.

## 1.2 Caractéristiques des réseaux Ad hoc mobiles

D'après (Corson et Macker, 1999), les réseaux mobiles Ad hoc sont caractérisés par des propriétés particulières. Chaque propriété est considérée dans la littérature comme étant une problématique en soi :

- a-** L'absence de l'infrastructure : les réseaux Ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par l'absence de l'infrastructure fixe et par leurs contrôles décentralisés.
- b-** Les topologies dynamiques : les nœuds sont libres de se déplacer aléatoirement, alors la topologie du réseau précisément le multi-saut peut changer d'une façon brusque et rapide, et peut être constituée de liaisons unidirectionnelles et bidirectionnelles en même temps.
- c-** La bande passante limitée et des liens à débits variables : les liens sans fil posséderont toujours une capacité inférieure à leurs homologues câblés. L'utilisation des méthodes de partage du canal radio (accès multiple) influence directement la bande passante réservée à un terminal Ad hoc.
- d-** Utilisation limitée de l'énergie : l'alimentation des nœuds se reposent sur des batteries ou d'autres sources d'énergie limitées. Cette alimentation limitée demande de prendre en considération l'optimisation de la conservation de l'énergie.

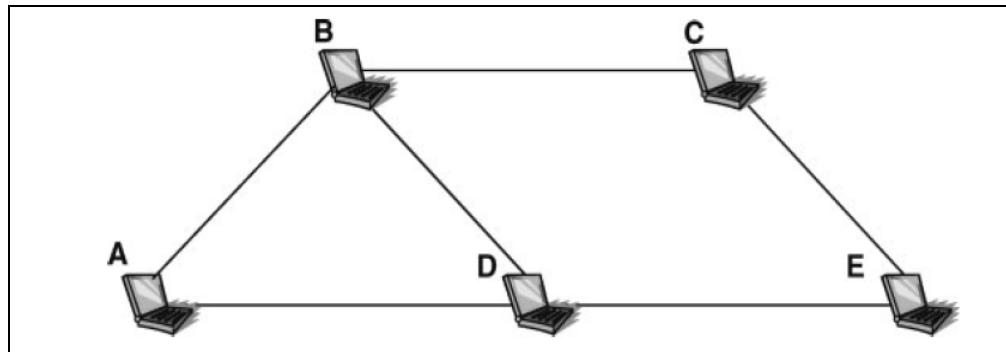
- e- Sécurité physique limitée : les réseaux sans fil mobiles sont généralement plus vulnérables à des attaques que les réseaux câblés fixes. En effet, la sécurité est nécessaire à la démocratisation des réseaux MANET.
- f- Qualité des liaisons variables : à cause du bruit et des interférences entre les nœuds, la qualité des liaisons peut varier.

### 1.3 Réseau Ad hoc sans fil : Principes de fonctionnement

Dans ce paragraphe, nous présenterons le principe de fonctionnement du réseau Ad hoc mobile selon (Chakrabarti et Mishra, 2004).

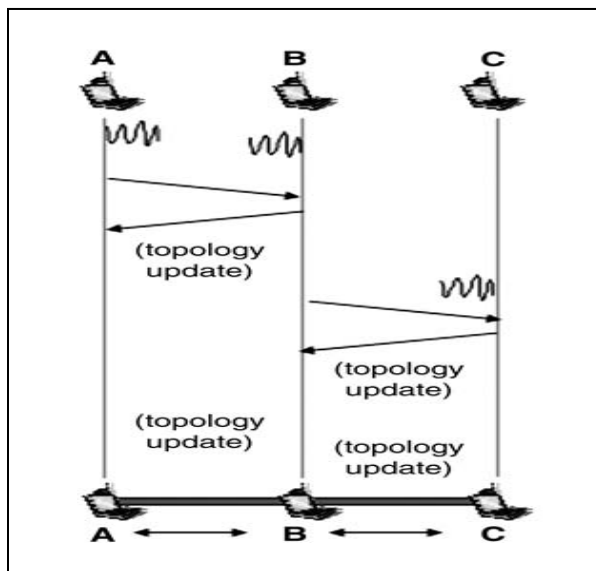
La Figure 1.3 représente un réseau Ad hoc à multi-sauts. Le nœud mobile A communique avec un autre nœud B directement (simple-saut) lorsqu'un canal radio avec des caractéristiques de propagation suffisantes est disponible entre eux. Autrement, la communication multi-sauts, dans laquelle au moins un nœud intermédiaire doit nécessairement agir comme un routeur entre la source et la destination. Par exemple, il n'y a pas un canal radio direct (montré par les lignes) entre A et C ou A et E dans la Figure 1.3. Les nœuds B et D doivent servir comme des routeurs intermédiaires à la communication entre A - C, et A - E, respectivement. En effet, les réseaux Ad hoc se distinguent par la capacité de tous ces nœuds à fonctionner comme des routeurs sur demande. Afin d'empêcher que les paquets traversent les chemins infiniment longs, une condition essentielle pour choisir un chemin est que ce dernier doit être sans boucle (*loop-free*). Un chemin *loop-free* entre une paire de nœuds s'appelle une route.





**Figure 1.3 Exemple d'un réseau Ad hoc.**  
Tiré de Chakrabarti et Mishra (2004, p. 132)

Un réseau Ad hoc commence par au moins deux nœuds annonçant leur présence (*beaconing*) avec leur information d'adresses respectives. Si le nœud A peut établir une communication directe avec le nœud B (Figure 1.3), vérifiée en échangeant les messages appropriés de commande entre eux, les deux mettent à jour leurs tables de routage. Quand un troisième nœud C joint le réseau avec son signal *beacon*, deux scénarios sont possibles. Dans le premier, A et B déterminent que la communication simple-saut avec C est possible. Dans le deuxième, seulement un des nœuds, soit B, identifie le signal *beacon* de C et établit la communication directe avec C. Ensuite, les mises à jour distinctes de la topologie, qui sont constituées des mises à jour des adresses et des routes, sont faites dans chacun des trois nœuds immédiatement. Dans le premier cas, toutes les routes sont directes. Dans le deuxième scénario, tel qu'illustré dans la Figure 1.4, la mise à jour de la route se produit d'abord entre B et C, puis entre B et A, et ensuite de nouveau entre B et C, confirmant la connexion mutuelle entre A et C par l'intermédiaire du B.



**Figure 1.4 Bringing up an Ad hoc network.**  
Tiré de Chakrabarti et Mishra (2004, p. 133)

La mobilité des nœuds peut changer les connexions en temps réel, exigeant des mises à jour des routes. Supposons que pour quelque raison, le lien entre B et C n'est plus disponible suivant la Figure 1.4. Les nœuds A et C sont encore accessibles entre eux, bien que cette fois seulement par l'intermédiaire des nœuds D et E (Figure 1.3). D'une manière équivalente, la route *loop-free* originale  $[A \leftrightarrow B \leftrightarrow C]$  est maintenant remplacée par la nouvelle route *loop-free*  $[A \leftrightarrow D \leftrightarrow E \leftrightarrow C]$ . Tous les nœuds dans le réseau doivent mettre à jour ses tables de routage appropriées pour refléter ce changement de la topologie, qui sera détecté d'abord par les nœuds B et C, puis transmis à A et à E, ensuite à D.

La connexion entre les nœuds peut être encore changée pour d'autres raisons. Par exemple, un nœud peut errer trop loin hors de la portée de transmission, sa batterie peut être épuisée, ou il peut être susceptible au mal fonctionnement de logiciel ou de matériel. Comme plus de nœuds joignent le réseau ou quelques nœuds existants quittent, les mises à jour de la topologie deviennent plus nombreuses, complexes, et plus fréquentes, ce qui diminue les ressources du réseau disponibles pour échanger l'information d'utilisateur.

La découverte d'un chemin *loop-free* comme une route légitime entre une source et une destination peut devenir impossible si la topologie du réseau change trop fréquemment. Ici,

« trop fréquemment » signifie qu'il n'y avait pas assez de temps pour faire propager, à tous les nœuds pertinents, toutes les mises à jour de la topologie résultantes des derniers changements, ou plus mauvais, avant la détermination de tous les chemins *loop-free* qui s'adaptent aux derniers changements de la topologie. La capacité de la communication dégrade avec l'accélération de la vitesse, à cause de la connaissance de la topologie du réseau qui devient de plus en plus inconsistante.

L'environnement sans fil partagé des réseaux Ad hoc mobiles exige l'utilisation des protocoles appropriés du MAC (*Medium Access Control*) pour atténuer les issues de contention de medium, permettre l'utilisation de la largeur de bande limitée, et résoudre les problèmes des terminaux cachés et exposés (Chakrabarti et Mishra, 2004).

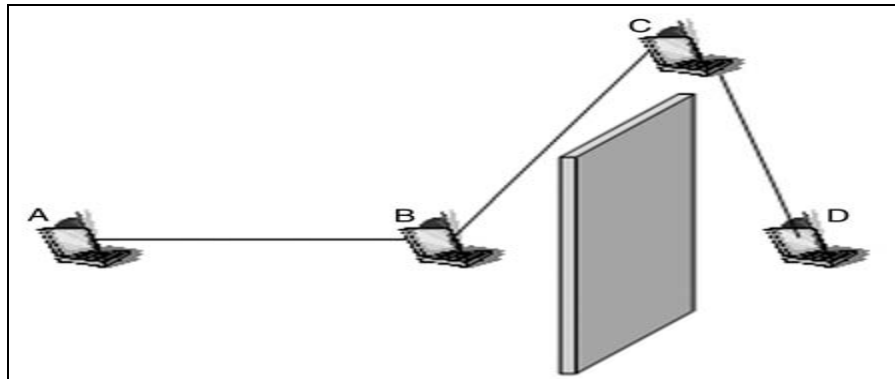
### 1.3.1 Le problème des stations cachées

Il s'agit d'un problème très connu dans les protocoles basés sur la contention comme *Pure ALOHA*, *Slotted ALOHA*, *CSMA*<sup>1</sup>, *IEEE 802.11*, etc.

Lorsque deux nœuds cachés l'un de l'autre (hors de la portée de la transmission) essaient de transmettre de l'information au même nœud de réception, par conséquent une collision de données se produit à la réception (Toh, 2002). Soit le scénario de la Figure 1.5, où une barrière empêche le nœud B de recevoir la transmission de D, et vice versa, ou, B et D ne peuvent pas s'entendre. La « barrière » ne doit pas être physique; la distance assez grande séparant deux nœuds est la « barrière » qui peut se produire fréquemment dans les réseaux Ad hoc. Le nœud C peut « entendre » B et D. Quand B transmet à C, D qui ne peut pas « entendre » B, peut aussi transmettre à C, ce qui entraîne une collision et expose le problème du terminal caché. Dans ce cas-ci, B et D « sont cachés » l'un de l'autre (Chakrabarti et Mishra, 2004).

---

<sup>1</sup> CSMA Carrier Sense Multiple Access



**Figure 1.5 Exemple du problème des stations cachées.**

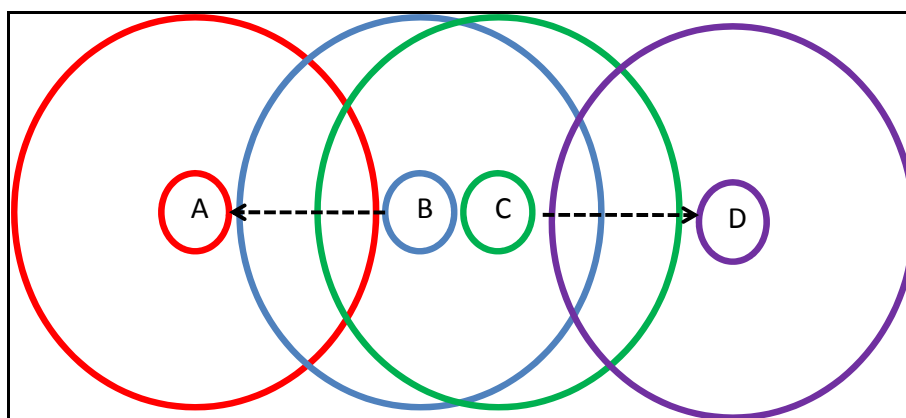
Tiré de Chakrabarti et Mishra (2004, p. 134)

Pour éviter la collision, tous les nœuds voisins au récepteur doivent être informés que le canal est occupé. Ce qui peut être atteint par un protocole simple d'échange de message. Quand D souhaite transmettre à C, il envoie d'abord un message RTS (*Request to Send*) à C. Dans la réponse, C annonce un message CTS (*Clear-To-Send*) qui est reçu par B et D. Puisque B a reçu le message de CTS non sollicité, B sait que C accorde la permission d'envoyer à une borne cachée et par conséquent s'abstient à la transmission. Lors de la réception du message CTS de C en réponse à son message RTS, D transmet son propre message.

Notons que la méthode RTS-CTS n'est pas une solution parfaite pour le problème de nœud caché. Parce qu'il y aura des cas où des collisions se produisent quand les messages de contrôle RTS et CTS sont envoyés par des nœuds différents. Pour plus de détails voir (Toh, 2002).

### 1.3.2 Le problème des stations exposées

La transmission des données des nœuds voisins peut empêcher un nœud de transmettre aux autres nœuds. Il s'agit d'un problème des nœuds exposés. Un nœud exposé est un nœud dans la portée de transmission de l'émetteur mais hors de la portée du récepteur (Toh, 2002). Soit l'exemple de la Figure 1.6, quand C transmet à D. Puisque B peut « entendre » C et B n'a aucun moyen de savoir que la transmission qu'elle veut engager avec A n'entraînerait pas de collision, alors B ne peut pas risquer de transmettre à A par crainte de causer une collision à C, alors B « est exposé » au C.



**Figure 1.6 Exemple du problème des stations exposées.**

La solution du problème de nœud exposé est l'utilisation des canaux de contrôle et de données de façon séparée ou l'utilisation des antennes directionnels (Toh, 2002).

### 1.4 Les applications des réseaux Ad hoc mobiles

Quelques applications de la technologie MANET peuvent inclure des applications industrielles et commerciales, entraînant des échanges de données. En plus, des applications lors de catastrophes naturelles (tremblement de terre, désastre naturel, etc) pour la mise en communication d'unités de secours sur des zones larges. Il y a aussi des applications militaires pour assurer la liaison entre les différentes unités d'une armée. Les réseaux

MANET peuvent être utilisés au niveau local pour faire un réseau multimédia autonome instantané à l'aide des ordinateurs portables ou des PDA (*Personal Digital Assistant*) dans une conférence ou une salle de classe (par exemple). Les réseaux Ad hoc sont utilisables aussi comme des réseaux de capteurs (*sensor-networks*) où les nœuds détiennent des capteurs, par exemple de température, et une autre application des MANET est dans les réseaux domestiques (*home networks*).

### 1.5 Le routage dans les réseaux Ad hoc

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau donné. Le rôle de routage est de déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau selon un certain critère de performance.

La zone de couverture radio est limitée, par conséquent les informations dans les réseaux Ad hoc peuvent exiger plusieurs sauts pour être transportées. Alors, le routage devient un mécanisme indispensable pour supporter la transmission radio multi-sauts. Les nœuds des réseaux Ad hoc changent fréquemment de position d'une façon aléatoire et imprévisible, ce qui aboutit à des interruptions et des ruptures brusques des liaisons.

Pourtant, les changements rapides de la topologie dans les réseaux Ad hoc demandent des protocoles de routage spéciaux qui s'adaptent facilement.

En fait, des protocoles de routage pour les réseaux Ad hoc ont été développés dans le cadre du groupe de recherche MANET de IETF (*Internet Engineering Task Force*).

Pour évaluer les performances d'un protocole de routage, nous avons besoin des mesures qualitatives et quantitatives simultanément. Ces métriques doivent être indépendantes de tous les protocoles de routage existants. Les propriétés qualitatives souhaitables sont : le traitement distribué, la liberté de bouclage, le traitement basé sur la demande, le traitement proactif dans certains contextes, la sécurité, le traitement des périodes de "sommeil" et le support des liaisons unidirectionnelles. Cependant, les unités quantitatives requises sont : le flux et le délai de données de bout en bout, le temps d'acquisition d'itinéraires, le pourcentage de réception dans le mauvais ordre, l'efficacité. De plus, il faut considérer le contexte du

réseau dans lequel les performances du protocole sont mesurées. Les paramètres essentiels sont : la taille du réseau, la connectivité du réseau, le taux de changement de topologie, la capacité des liaisons, le taux de liaisons unidirectionnelles, le type de trafic, la mobilité, et le ratio et la fréquence des périodes de sommeil des nœuds. En outre, il apparaît important que toute conception de protocole de routage doit étudier les problèmes suivants :

- Minimiser la charge du réseau ;
- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multi-sauts fiables ;
- Assurer un routage optimal ;
- Offrir une bonne qualité concernant le délai (Corson et Macker, 1999).

Selon la façon de la création et de la maintenance des routes lors de l'acheminement des données, ces protocoles sont divisés en deux catégories :

- Les protocoles proactifs ;
- Les protocoles réactifs.

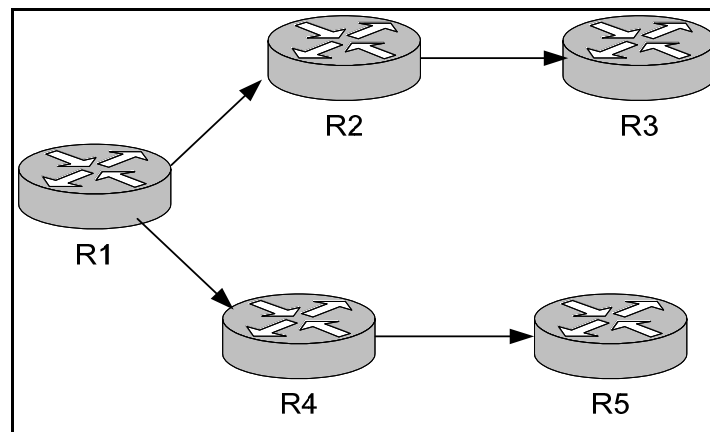
### **1.5.1 Protocoles de routage proactifs**

Les protocoles de routage proactifs sont basés sur la même philosophie des protocoles de routage utilisés dans les réseaux câblés traditionnels tels que les protocoles d'état de lien (*Link State*) et ceux du vecteur de distance (*Distance Vector*). Ce type de protocoles exige une mise à jour périodique des tables de routage. Exemples de ces protocoles: DSDV (*Destination Sequenced Distance Vector Routing*), OLSR (*Optimized Link State Routing*), CGSR (*Clusterhead Gateway Switch Routing*) et WRP (*Wireless Routing Protocol*). Les deux premiers protocoles DSDV et OLSR seront détaillés dans les paragraphes suivants.

#### **Le protocole de routage DSDV**

Le protocole DSDV ou (*Destination Sequenced Distance Vector*), développé en 1994 par C. Perkins, est basé sur l'algorithme distribué de Bellman-Ford en rajoutant quelques

améliorations. Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient toutes les destinations possibles, le nombre de sauts nécessaire pour atteindre la destination et le numéro de séquences qui correspond à un nœud destination. La mise à jour de la table de routage dépend des deux paramètres qui sont la période de transmission et les événements. La mise à jour du paquet contient le nouveau numéro de séquence incrémenté du nœud émetteur ainsi que l'adresse de la destination, le nombre de sauts et le numéro de séquence tels qu'ils ont été écrits par la destination pour chaque nouvelle route. Le DSDV élimine les deux problèmes de boucle de routage "*routing loop*", et celui du "*counting to infinity*". Le DSDV éprouve quelques désavantages : il demande une mise à jour régulière de ses tables de routage, ce qui réduit l'efficacité de la largeur de bande. Toutefois, dans ce protocole, le nœud mobile doit attendre jusqu'à ce qu'il reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination, afin de mettre à jour la table de routage. De plus, il n'est pas approprié au très grand réseau c'est à dire qu'il n'est pas mis à l'échelle. Ainsi, il n'est pas adapté pour les réseaux fortement dynamiques. La Figure 1.7 illustre un exemple d'un réseau Ad hoc constitué de 5 nœuds (de R1 à R5) et le Tableau 1.1 montre la table de routage du nœud R1.



**Figure 1.7 Exemple de réseau mobile Ad hoc.**



Tableau 1.1 La table de routage du nœud R1

Destination	Nombre de sauts	Prochain nœud	Numéro de séquence
R1	0	R1	1
R2	1	R2	4
R3	2	R2	5
R4	1	R4	6
R5	1	R5	3

### Le protocole OLSR

Le protocole OLSR (*Optimized Link State Routing*), développé pour les réseaux MANETs, est le sujet du RFC 3626. Il est basé sur la méthode "état de lien" et permet d'échanger des informations sur la topologie du réseau avec les autres nœuds. OLSR utilise le principe du relais multipoints MPR (*MultiPoint Relays*). Tous les nœuds du réseau envoient des messages "HELLO" pour déterminer la nature des liens qui les relient et découvrir l'ensemble du réseau. Ensuite, ces messages « HELLO » transmettent l'état et le type de lien entre l'expéditeur et chaque nœud voisin puis ils spécifient le MPR choisi par l'expéditeur. Ces nœuds particuliers MPR expédient des messages de diffusion pendant le processus d'inondation et produisent les messages d'état de lien.

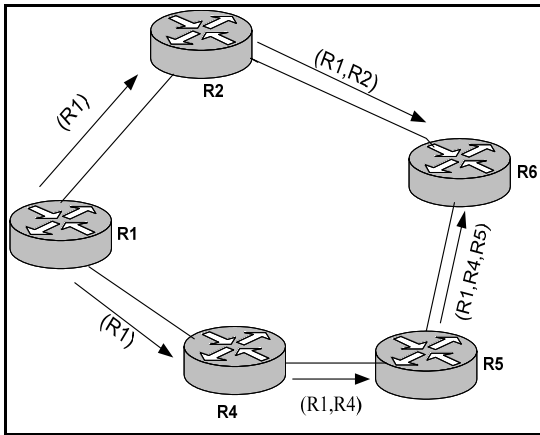
### 1.5.2 Protocoles de routage réactifs

Les protocoles de routage réactifs créent et maintiennent les routes selon les besoins. Lorsqu'une route est demandée, une procédure de découverte globale est lancée par la source afin de trouver le meilleur chemin. Exemples des protocoles réactifs : *Dynamic Source Routing* (DSR), *Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing* (AODV), *Temporally-Ordered Routing Algorithm* (TORA), *Associativity-Based Routing* (ABR) et *Signal Stability Routing* (SSR). Dans ce qui suit, nous écrivons en détails les deux protocoles DSR et AODV.

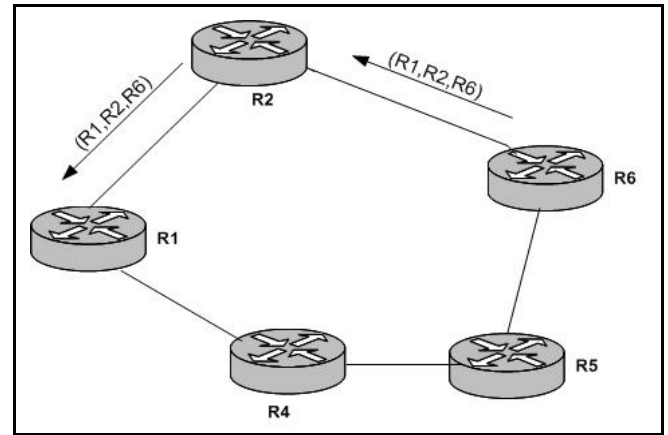
## Le protocole de routage DSR

Le protocole "Routage à Source Dynamique" (DSR : *Dynamic Source Routing protocol*), est basé sur la technique de routage par la source, sujet du RFC 4728 (Février 2007). La source des données détermine la séquence complète des nœuds intermédiaires par lesquels les informations vont transiter. Quand un nœud veut envoyer des données, il diffuse un paquet requête « *route request* » qui contient un champ permettant d'enregistrer tous les nœuds qu'il va visiter jusqu'à l'atteinte de la destination. En cas de découverte d'une route, la source reçoit un paquet réponse de la route « *route reply* » qui contient la séquence des nœuds traversés. Ensuite, la source insère la séquence de nœuds de la route reconnue dans l'entête de tous les paquets qu'il désire transmettre. Dans ce cas, les nœuds intermédiaires jouent un rôle de simple relayeur d'information. À la réception d'un paquet, chaque nœud supprime son adresse de la séquence de nœuds contenue dans l'entête, puis l'achemine au nœud suivant dans la séquence.

Figure 1.8 et la Figure 1.9 illustrent le fonctionnement de la découverte de route, notons que le nœud R1 est la source et le nœud R6 est la destination.



**Figure 1.8 La détermination d'une route selon DSR.**



**Figure 1.9 Le renvoi du chemin calculé.**

Le protocole DSR exécute une procédure de maintenance de routes afin d'assurer la validité des chemins utilisés. Un message erreur de route « *route error* » est envoyé à l'émetteur original du paquet, lors de la détection d'un problème majeur. Ce message contient l'adresse du nœud qui a détecté l'erreur et celle du nœud suivant dans le chemin. Lorsque le nœud source reçoit ce message d'erreurs, le nœud concerné par l'erreur est supprimé du chemin sauvegardé, et tous les chemins contenant ce nœud sont coupés à ce point là. Ensuite, l'émetteur initie une nouvelle opération de découverte de routes vers la destination.

Les paquets de données contiennent toutes les décisions de routage ce qui résulte que les nœuds intermédiaires n'aient pas besoin de maintenir les informations de mise à jour pour envoyer les paquets de données. Dans ce protocole, il n'y a pas de boucle de routage, parce que la route entre la source et la destination est une partie des paquets de données envoyés.

### **Le protocole de routage AODV**

Le protocole AODV (Ad-hoc On Demand Vector Distance), sujet du RFC 3561, représente une amélioration de l'algorithme DSDV (déjà discuté) et il peut être aussi vu comme un hybride des protocoles DSDV et DSR. Il est prévu pour être utilisé par les réseaux Ad hoc mobiles. L'amélioration par rapport au DSDV réside dans le fait que, le protocole AODV permet de mettre à jour la table de routage d'un nœud sans que celui-ci ait à communiquer

avec tous ses voisins ce qui diminue considérablement le nombre de paquets diffusés dans le réseau. L'AODV utilise le principe des numéros de séquence pour maintenir la consistance des informations de routage. Comme dans le DSR, l'AODV utilise le principe d'inondation pour trouver une route vers une certaine destination en envoyant un paquet RREQ « *route request* ». Cependant, contrairement au DSDV, chaque nœud recevant ce paquet prépare une entrée dans sa table de routage afin de pouvoir rediriger plus tard les paquets qu'ils recevront. Le paquet RREQ contient dans le champ « numéro de séquence destination » le dernier numéro de séquence associé à la destination. Ce numéro est recopié de la table de routage. Si ce numéro n'est pas connu, la valeur nulle ne sera prise par défaut. Afin de maintenir des routes consistantes, une transmission périodique du message "HELLO" est effectuée. Un lien est considéré défaillant, si trois messages "HELLO" ne sont pas reçus consécutivement à partir d'un nœud voisin. Le protocole AODV ne présente pas de boucle de routage et évite le problème "*counting to infinity*" de Bellman-Ford, ce qui offre une convergence rapide quand la topologie du réseau Ad hoc varie.

Notons qu'il existe aussi des protocoles hybrides qui utilisent l'une ou l'autre des deux types des protocoles selon le cas comme le protocole ZRP (*Zone Routing Protocol*).

### **1.5.3 La puissance**

La distance maximale de communication entre deux nœuds de WLAN est une fonction de trois paramètres: la puissance de transmission de l'émetteur, le modèle de propagation de perte de route "*path-loss*", et le seuil de la puissance de réception (sensibilité du récepteur) du nœud de réception. La norme IEEE 802.11 limite la distance entre les nœuds de WLAN à 300 mètres.

Par conséquent, les réseaux de WLAN qui se prolongent au delà de 300 mètres pourraient encourir une dégradation de performance dans l'algorithme de MAC de WLAN (OPNET documentation).

Afin de créer des problèmes dans le réseau de simulation, nous avons éloigné la destination de la source et nous avons diminué la puissance des stations pour affaiblir le signal entre la source et la destination et produire des situations d'erreurs dans le réseau pour bien montrer l'effet de FEC.

#### **1.5.4 La qualité de service dans MANET**

À cause de ses topologies dynamiques, ses capacités de traitement et ses bandes passantes limitées, les MANET exigent des contraintes additionnelles à celles des réseaux filaires.

L'accroissement des services multimédia dans les réseaux mobiles Ad hoc, les forts besoins de garantir la qualité de service et les contraintes particulières de ces réseaux ont amené à développer des protocoles et des modèles de qualité de service (QoS) dédiés pour les réseaux Ad hoc.

Avant d'aborder la qualité de service dans les réseaux Ad hoc, il faut, tout d'abord, définir la qualité de service qui sera le sujet du prochain chapitre.

## CHAPITRE 2

### LA QUALITÉ DE SERVICE (QoS)

Dans ce chapitre, nous définirons la notion de la qualité de service et les contraintes qu'elle affronte dans les réseaux mobiles Ad hoc. Nous présenterons aussi les modèles d'architecture de la QoS qui sont le DiffServ et l'IntServ et le FQMM. De plus, nous exposerons quelques protocoles de la couche MAC dans WLAN. En outre, nous décrirons les services multimédia et ses différentes contraintes. À la fin de ce chapitre, nous aborderons le code Reed Solomon qui est un type de correction d'erreurs FEC (*Forward Error Correction*). Ce code sera utilisé dans nos simulations comme vous pouvez le constater dans les chapitres qui suivent.

#### 2.1 Qu'est ce que la QoS ?

La qualité de service ou QoS (*quality of service*) est une expression qui n'a pas toujours été clair. Son but, selon [www.cisco.com](http://www.cisco.com), est de fournir le meilleur et le plus prévisible service de réseau en fournissant une bande passante réservée, une gigue et un délai contrôlés, et en améliorant les caractéristiques des pertes de paquets. Nous pouvons donc dire que la QoS est un ensemble d'outils qui permet de mieux gérer et contrôler le réseau en réglant la bande passante, le délai, la gigue et la perte de paquets. En général, la qualité de service n'appartient pas à une couche particulière mais elle demande des efforts coordonnés de toutes les couches.

##### 2.1.1 La bande passante

L'augmentation de la capacité de la bande passante résout les problèmes de congestion mais c'est une solution à court terme, très coûteuse et ne garantit pas une qualité de service QoS pour le trafic exigeant comme la VoIP et la vidéoconférence. De plus, elle permet que toutes les applications reçoivent le même traitement ce qui ne protège pas le trafic critique de l'entreprise contre des nouvelles applications.

## Les outils de QoS qui affecte la bande passante

La compression améliore la bande passante en comprimant les entêtes ou les données significatives et en réduisant le nombre de bits total requis pour transmettre des données. Le contrôle d'admission affecte aussi la bande passante en diminuant la charge introduite dans le réseau en rejetant les nouveaux appels de la voix et de la vidéo. En outre, la mise en file d'attente affecte la bande passante en réservant une quantité minimale de bande passante pour des types particuliers de paquets.

### 2.1.2 Le délai

Il y a deux sortes de délais qui sont les délais fixes et les délais variables :

#### Les délais fixes

- Délai de sérialisation : c'est le temps pris pour encoder les bits d'un paquet sur le lien physique.

La formule utilisée pour calculer ce délai est :  $\frac{\text{le nombre des bits envoyés}}{\text{la vitesse du lien}}$

- Délai de propagation : c'est le temps pris pour qu'un bit passe de la fin d'un routeur à l'autre routeur.

La formule utilisée pour calculer ce délai est :  $\frac{\text{longueur de lien}}{\text{la vitesse de la lumière}}$

Il est important de noter que la vitesse de la lumière utilisée dans les réseaux sans fil est réduite et cette réduction est due à l'atténuation causée par le conduit transportant le signal.

- Délai de codage : c'est le temps de conversion Analogique/numérique par le codeur, et vice-versa.

### Les délais variables

- Délai de queue : c'est le temps d'attente dans les queues des équipements.
- Délai de traitement (*processing*) : c'est le temps requis dès la réception du paquet jusqu'à la mise en file d'attente pour transmettre.
- Délai de compression : c'est le temps pris pour faire la compression.
- Délai de *shaping* : le délai produit par l'utilisation du *shaping*.
- Délai du réseau : c'est le délai créé par le trafic traversant les composants du réseau.

### Les outils de QoS qui affecte le délai :

L'ordonnancement de la file d'attente affecte le délai en arrangeant les paquets selon leur priorité. Ceux qui sont plus sensibles seront servis en premier. La fragmentation aussi affecte le délai en divisant les grands paquets en petits paquets pour ne pas retarder le trafic sensible au délai après la transmission des grands paquets car le routeur ne peut pas arrêter un paquet une fois commencé à transmettre. La compression et le *shaping* affectent aussi le délai. Le *shaping* retarde les paquets en les mettant dans des files d'attente même quand une bande passante réelle est disponible.

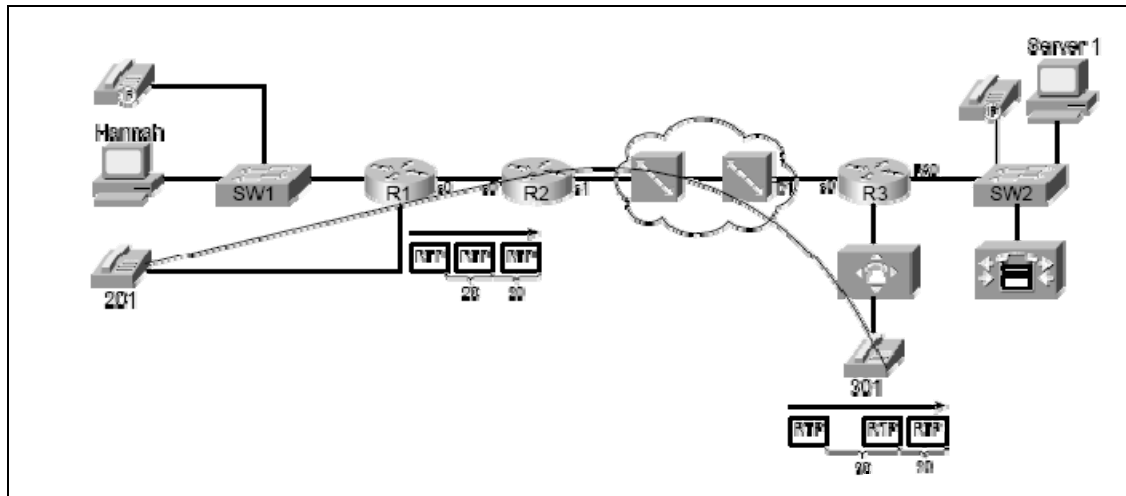
#### 2.1.3 La gigue

La gigue est la variation des délais à travers le réseau. La Figure 2.1 illustre un exemple de la gigue lors de la transmission de trois paquets d'un appel téléphonique où nous remarquons qu'à la transmission le délai entre les deux premiers paquets transmis est de 20 msec alors qu'il varie à la réception.

### Les outils de QoS qui affecte la gigue

La mise en file d'attente, la fragmentation, la compression et le *shaping* sont les outils qui affectent la gigue.





**Figure 2.1 Exemple de la gigue.**  
Tiré de Odom et Cavanaugh (2004, p. 27)

#### 2.1.4 La perte

Les routeurs perdent ou jettent les paquets pour plusieurs raisons. La plupart d'entre eux ne peuvent pas être résolus par les outils de QoS.

##### Les outils de QoS qui affecte la perte:

Quelques outils de QoS peuvent affecter la perte des paquets, tels que la mise en file d'attente qui a pour effet de créer de grandes files d'attente ce qui augmente le délai. Le RED (*Random Early Detection*) permet de jeter les paquets aléatoirement quand les queues commencent à être pleines.

## 2.2 Que se passe t-il sans QoS

Dans des réseaux sans qualité de service, les trafics de la voix, de la vidéo et des données sont assujettis aux problèmes de performance:

- Dans un réseau IP, les équipements et les stations d'extrémité qui portent les données et la voix ensemble ne peuvent pas différencier le trafic qui a besoin d'une priorité élevée du trafic qui ne demande pas un service prioritaire. Mais, la voix exige des garanties de QoS plus grandes que le trafic de données. Alors, sans QoS, la voix pourrait ne pas être comprise, elle pourrait être entrecoupée, dû aux délais importants et aux déconnexions.
- Sans QoS, la vidéo fait concurrence aux données pour la bande passante ce qui influe sur la qualité de service et cause une image très saccadée, la non synchronisation avec la voix et un mouvement lent. Par conséquent, les paquets multimédia arrivent en retard lorsqu'elles ne sont plus utiles.

## 2.3 Exemples des files d'attente pour le traitement différencié des paquets

Voici des différents exemples de file d'attente pour le traitement différencié des paquets :

- *Priority Queuing* (PQ) : les files d'attentes privilégiées ont la priorité la plus élevée, le taux des arrivées plus petit que le taux de départ.
- *Weighted Round Robin Queuing* (WRR) : files d'attente entretenues dans la mode round robin, le temps de service proportionnels au poids.
- *Weighted Fair Queuing* (WFQ) : c'est la méthode la plus juste. Le taux minimum garanti par classe. Le temps de service de chaque paquet dans chaque file d'attente est une fonction de la longueur de paquet et du poids de file d'attente. Le temps de service courant est mis à jour chaque fois qu'un paquet est envoyé.
- *Class Based Queuing* (CBQ): le taux maximum par classe est configuré.

Tous les mécanismes des files d'attente ont leurs avantages et inconvénients. La file d'attente FIFO est bonne pour les grandes files d'attente et les environnements *fast\_switching* avec des résultats prévisibles. Mais ils ne mettent en application aucune politique de service. Dans la file d'attente à priorité le trafic prioritaire reçoit une faible gigue et une basse perte de paquet. Ce type de file d'attente met en application des politiques de service. La différence principale entre la file d'attente basée sur classe (CBQ) et la file d'attente à priorité (PQ) est que CBQ offre au moins un certain niveau de service à la file d'attente à basse priorité. WFQ offre une répartition dynamique des ressources à toutes les files d'attente basées sur les poids configurés.

Pour plus de détails sur la QoS et les différents outils des files d'attentes voir (Odom et Cavanaugh, 2004) et la page de site web :

<http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/QoS.html>.

## 2.4 Les multimédias

Les systèmes multimédias sont des systèmes de traitement d'information traitant une combinaison des données de multimédia telle que le texte, les graphiques, les images, l'audio et la vidéo.

Les applications des multimédias sont classées selon les critères suivants (Mahbubur Rahman, 2002):

- a) Le degré d'interactivité : certaines applications telles que la vidéoconférence, *teleworking* et les jeux ont besoin de plus d'interactivité et d'un petit délai de transmission que d'autres applications comme l'accès aux bases de données, la vidéo sur demande et le courriel.
- b) Le type de distribution: les applications de diffusion comme la télévision et les services d'information sont distribués par multicast tandis que d'autres applications comme l'accès aux bases de données, *groupware*, la vidéoconférence et les jeux transmettent par des communications point-à-point ou point-à-groupe.

- c) La complexité informatique: les terminaux mobiles sont limités par des ressources qui doivent être prises en considération par des applications mobiles de multimédia :
- Mémoire limitée
  - Alimentation de CPU limitée
  - Batteries limitées
  - La connexion de la bande passante limitée
  - L'erreur de transmission
- d) Les besoins d'entrée-sortie : quelques applications ont besoin de différents dispositifs d'entrée-sortie. Dans les terminaux mobiles d'aujourd'hui, on peut trouver des dispositifs d'entrée tels que le microphone, les blocs de touches, les claviers, les écrans à contact et des dispositifs de sortie tels que les haut-parleurs, les écrans et les signaux audio.
- e) Sans dispositifs d'entrée ou de sortie.

Les applications multimédias ont besoin de la transmission de différents types de trafics sous des contraintes variables (largeur de bande, délai etc.).

## 2.5 Contraintes associées aux applications

Les contraintes des applications multimédias mettent l'accent sur le délai et les erreurs de transmission qui sont supportés par une application spécifique. De telles contraintes s'appellent la qualité du service (QoS). En téléphonie, les erreurs peuvent être tolérées alors qu'un délai de plus de quelques centaines de millisecondes est déjà perceptible. Pendant la transmission de la vidéo, les erreurs dans les parties critiques de données, telles que l'information sur le mode de codage ou les voies de compensation de mouvements mènent à des artefacts<sup>2</sup> très inquiétants. D'où la synchronisation entre la voix et la vidéo devient importante lorsque ces deux sont transmises ensemble. Enfin, la transmission de données graphiques soutient habituellement un grand délai.

---

<sup>2</sup> Artefact : « Perturbation artificielle de l'image ou du son, qui se manifeste de manière inattendue, lorsque ces derniers sont reproduits par un appareil » selon [www.granddictionnaire.com](http://www.granddictionnaire.com).

## 2.6 Contraintes spécifiques au multimédia

Sans qualité de service, les flots de la vidéo se dégradent: l'image devient très saccadée, la voix n'est plus synchronisée avec la vidéo et le mouvement apparaît lent. Alors, les applications ont des besoins variés en termes de la bande passante, le délai, la gigue et la perte des paquets. La qualité de service QoS permet au réseau de mieux (*best-effort*) de fournir les besoins appropriés des ressources de QoS pour chaque application.

Le Tableau 2.1, ci-dessous, montre quelques applications avec leurs besoins typiques de QoS.

Tableau 2.1 Quelques applications avec leurs besoins de QoS

	<b>Voix</b>	<b>Vidéo interactive (2 voies)</b>	<b>Flot de vidéo (1 voie)</b>	<b>Données (interactive et mission critique)</b>	<b>Données (non interactive et non mission critique)</b>
<b>Bande passante</b>	Basse	haute	haute	Variable typiquement moyenne	Variable typiquement haute
<b>Perte</b>	Basse	Basse	Basse	Moyenne	Haute
<b>Délai</b>	Bas	Bas	Haut	Moyen	Haut
<b>Gigue</b>	Basse	Basse	Haute	Moyenne	Haute

On constate d'après le Tableau 2.1 que la voix n'a pas besoin d'une grande bande passante mais elle ne tolère pas le délai, ni la gigue, ni la perte (parfois elle tolère un peu de perte). La vidéo interactive (2 voies) telle que la vidéoconférence a les mêmes caractéristiques que la voix mais elle demande une grande bande passante. Néanmoins, le flot de vidéo (1 voie) telle que la vidéo *e-learning* peut accepter le délai et la gigue mais ne tolère pas la perte.

### **2.6.1 Les caractéristiques du trafic vidéo**

Les codeurs vidéo convertissent l'audio et la vidéo analogiques en numériques. La voix est envoyée comme un flot séparé de la vidéo. Les codeurs tels que les G.711 et G.729 sont utilisés pour la voix tandis qu'une grande variété de codeurs incluant l'ITU<sup>3</sup> H.261 et le MPEG (*Moving pictures Experts Group*) convertissent le flux de la vidéo.

### **2.6.2 Les contraintes de QoS de la vidéo**

La vidéo demande une bande passante plus grande que celle de la voix, parce qu'elle utilise une variété de taille et de taux de paquets pour supporter un simple flot de vidéo. La moyenne de la bande passante requise pour une section de vidéo dépend de la complexité et de la quantité du mouvement de la vidéo. Le Tableau 2.2 suivant cite quatre codeurs de vidéo et leur bande passante requise.

---

<sup>3</sup> ITU International Telecommunication Union

Tableau 2.2 La bande passante requise de quatre codeurs de vidéo

Codeur vidéo	Marge de la bande passante requise
MPEG-1	500 à 1500 kbits/sec
MPEG-2	1.5 à 10 Mbits/sec
MPEG-4	28.8 à 400 kbits/sec
H.261	100 à 400 kbits/sec

En outre, la vidéo (1 voie) tolère un peu de délai mais le délai dans la vidéo (2 voies) a vraiment un impact sur la qualité. Le délai pour la vidéoconférence de haute qualité est de 0 à 200 msec. De même, la gigue peut être tolérée dans la vidéo (1 voie) plus que dans celle de 2 voies. La mise en file d'attente et la fragmentation réduisent la gigue. La vidéo ne tolère pas bien la perte des paquets. Le contrôle d'admission, le RED et l'augmentation de la file d'attente peuvent diminuer la perte dans la vidéo.

## 2.7 Les modèles d'architecture de QoS

L'IEFT (*Internet Engineering Task Force*) propose deux approches de QoS pour les réseaux filaires qui sont les services intégrés (IntServ) et les services différenciés (DiffServ).

### 2.7.1 Le modèle IntServ

IntServ (*Integrated Service*) est un modèle différent du DiffServ. Dans IntServ, chaque application est libre de demander une qualité de service spécifique à ses besoins. Pour fournir des garanties par flux, le RFC 1633 d'IntServ décrit deux mécanismes : la réservation des ressources et le contrôle d'admission.

La réservation des ressources s'agit d'offrir un service de type garanti tel qu'il existe dans les réseaux à circuits en utilisant le protocole RSVP (*Resource ReSerVation Protocol*). Chaque routeur IntServ maintient les informations sur les états de tous les flux comme la bande passante requise, le délai et le coût. Le contrôle d'admission décide quand la demande de réservation doit être rejetée.

IntServ possède quelque désavantages, le RSVP ne passe pas à l'échelle (*scalability*) parce que le routeur du cœur doit maintenir les états de réservation de tous les flux qui le traversent et les messages de rafraîchissement de RSVP doivent être émis périodiquement pour chaque flux.

### 2.7.2 Le modèle DiffServ

Le modèle DiffServ (*Differentiated Service*) a été proposé pour éviter le problème de mise à l'échelle imposé par IntServ. Il consiste à différencier les flux dans des classes offrant chacune une qualité de service différente et dans lesquelles sont agrégés plusieurs flux.

Le classement se fait par les routeurs de bordure grâce à un code présent dans l'entête du paquet IP. Les routeurs du cœur de réseau utilisent ce code pour déterminer la qualité de service requise par le paquet. Tous les flux appartenant à une même classe reçoivent le même traitement. Ensuite, des traitements différenciés seront appliqués aux différentes classes de trafic.

DiffServ définit chaque classe ou catégorie de paquets comme un BA (*Behavior Aggregate*). Le fait d'associer un outil de QoS à un BA s'appelle PHB (*Per-Hop Behavior*).

En général, l'IP définit un octet (8 bits : PPPDTRC0) qui est le type de service « ToS<sup>4</sup> ».

Les trois premiers bits (PPP) s'appellent « *IP precedence* » définissent la priorité du datagramme (111= la plus grande priorité).

Les autres bits sont :

---

<sup>4</sup> ToS Type of Service



D (*Delay*) pour le délai s'il est mis à 1 c'est-à-dire que le service nécessite un faible délai,  
 T (*Throughput*) pour le débit s'il est mis à 1 c'est-à-dire que le service nécessite un haut débit,

R (*Reliability*) pour la fiabilité s'il est mis à 1 c'est-à-dire que le service nécessite une grande fiabilité et

C (*Cost*) pour le coût s'il est mis à 1 c'est-à-dire que le service nécessite un faible coût et le dernier bit est inutilisé.

Les six premiers bits de l'octet ToS seront le champ DSCP (*Differentiated Services Code Point*) créé par DiffServ, ce qui permet 64 combinaisons différentes de classifications. Donc, une compatibilité avec l'IP précedence est nécessaire. Le Tableau 2.3, ci-dessous, montre la compatibilité entre les valeurs DSCP et l'IP précedence.

Tableau 2.3 Compatibilité entre les valeurs DSCP et l'*IP precedence*

Noms des « <i>class selector</i> »	Marge des valeurs DSCP	Valeur en binaire	Compatible avec <i>IP precedence</i>	PHB
Par défaut	0-7	000xxx	0	Best effort
CS1	8-15	001xxx	1	Classe 1 (AF)
CS2	16-23	010xxx	2	Classe 2
CS3	24-31	011xxx	3	Classe 3
CS4	32-39	100xxx	4	Classe 4
CS5	40-47	101xxx	5	Express forwarding
CS6	48-55	110xxx	6	Contrôle
CS7	56-63	111xxx	7	Contrôle

DiffServ suggère deux autres ensembles de PHB et de valeurs DSCP en plus des sélecteurs de classes (CS) :

- **Assured Forwarding (AF)**, définit dans le RFC 2597, permet à l'utilisateur de choisir une des 4 classes AF pour chaque flux afin de garantir un acheminement de paquets IP avec une haute probabilité. Chaque classe obtient une quantité différente de ressources dans les routeurs du cœur du réseau. Dans chaque classe, un algorithme de rejet sélectif différencie entre trois niveaux de probabilités de rejets. En cas de congestion, les paquets de basse priorité seront rejetés en premier.
- **Expedited Forwarding (EF) ou premium service**, définit dans le RFC 2598 ; il a pour but de minimiser la perte, le délai et la gigue et de garantir une bande passante. Pour cela, le RFC de EF propose deux actions de QoS : la mise en file d'attente et le *policing*.



Per-Hop Behaviors (PHB)				DiffServ Code Point (DSCP)			Maps to IP Prec.	
Default (Best Effort)				0	000000		0	
Assured Forwarding		Low Drop Pref	Med Drop Pref	High Drop Pref				
	Class 1	AF11	AF12	AF13	10	12	14	1
	Class 2	AF21	AF22	AF23	18	20	22	2
	Class 3	AF31	AF32	AF33	26	28	30	3
Class 4	AF41	AF42	AF43	34	36	38	4	
Expedited Forwarding					46	101110	5	

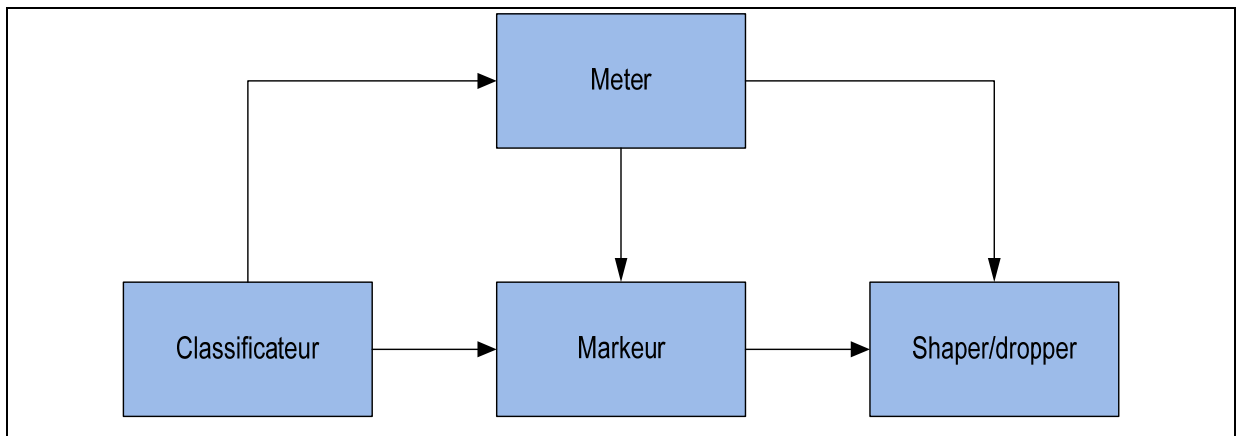
Figure 2.2 Résumé des DSCP.

Tiré de (www.cisco.com)

Dans DiffServ, il y a deux types de routeurs : les routeurs de bordure (*boundary*) qui sont responsables de la classification, le conditionnement (*Conditionner*) et les routeurs du cœur du réseau (*interior*) qui servent à acheminer les paquets selon le marquage.

En fait, La classification se fait par le classificateur BA qui regarde seulement le champ DSCP ou par le classificateur MF (*MultiField*) qui regarde plusieurs champs de l'entête du paquet. Les critères de classification des paquets doivent refléter les besoins réels de l'information qu'ils transportent en termes de bande passante, sensibilité aux pertes de paquets, aux délais et aux gigue. Le conditionnement est utilisé afin d'empêcher le trafic de dépasser le contrat. Pour arriver à ce but, plusieurs types de conditionneurs sont utilisés selon les besoins : le *metering* qui mesure le taux de trafic, le *policing* qui jette des paquets, le *shaping* qui ralentit le trafic en le mettant en queue, le *marking* qui re-marque le DSCP par une autre valeur si le trafic excède le contrat. La Figure 2.3 donne un résumé des DSCP.

La figure 2.3 illustre le diagramme des conditionneurs et des classificateurs cité dans le RFC 2475.



**Figure 2.3 Diagramme des conditionneurs et des classificateurs.**

### 2.7.3 Le modèle FQMM

Le modèle FQMM (*A Flexible QoS Model for MANETs*) selon (Hannan, Kee Chaing et Guan Winston, 2003), est un modèle de QoS qui est conçu spécialement pour des réseaux MANETs constitués de moins de 50 nœuds. Ce modèle utilise une architecture plate non hiérarchique et définit trois types de nœuds comme dans DiffServ : le nœud d'entrée (*ingress node*) est un nœud mobile qui envoie les données, les nœuds intermédiaires qui renvoient les

données aux autres nœuds, et le nœud de sortie (*egress node*) qui est la destination. C'est un système hybride qui combine les propriétés des deux modèles filaires : « par flux » de l'IntServ et « par classe » de DiffServ. Dans ce système, le « par flux » est utilisé pour les trafics prioritaires et le « par classe » pour les autres trafics. Le nœud d'entrée permet de marquer et classifier les paquets qui seront ensuite relayés par les nœuds intermédiaires suivant leurs PHB jusqu'ils arrivent à la destination.

Pour plus de détails sur ce modèle veuillez consulter l'article (*Hannan, Kee Chaing et Guan Winston, 2003*).

## **2.8 Protocoles de la couche MAC pour les réseaux WLAN**

Le médium de contrôle d'accès (MAC : *Medium Access Control*) de IEEE 802.11 ne possède pas la différenciation de service. Tous les types du trafic tels que les paquets de données, de la voix et de la vidéo, sont traités de la même façon. Ce qui provoque une détérioration de la qualité de la voix et de la vidéo quand le réseau est congestionné. La norme IEEE 802.11 définit deux modes de fonctionnement qui sont la fonction de coordination distribuée (DCF : *Distributed Coordination Function*) et la fonction de coordination par point (PCF : *Point Coordination Function*).

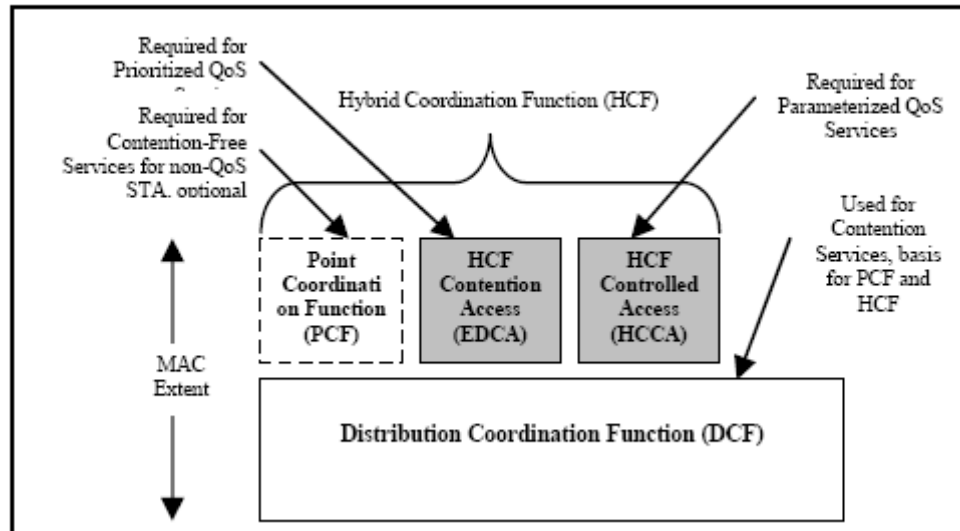
D'une part, DCF utilise le mécanisme CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) afin d'éviter les collisions et il n'est utilisable qu'à la mode Infrastructure parce que le point d'accès (AP) est le directeur. Il fournit seulement la livraison de *best-effort* et ne possède pas la priorité d'accès au médium, ni le support au délai, ni les exigences moyennes de la bande passante des différentes applications. Pour les réseaux Ad Hoc, la norme définit deux types d'espaces inter-trames qui sont le SIFS (*Short Inter Frame Space*) et le DIFS (*Distributed Inter Frame Space*).

D'autre part, PCF est un système sans contention (*contention free*) et il peut soutenir des applications sensibles au temps telles que la voix et la vidéo. Cependant, PCF ne supporte pas les mécanismes pour différencier les types du trafic afin d'avoir la qualité du service

(QoS), et il n'y a aucuns mécanismes pour que les stations communiquent leurs exigences de QoS au point d'accès (AP).

À cause du manque de service de QoS fourni par la norme 802.11, l'IEEE a constitué le groupe de travail E (TGe) qui a un but de concevoir une nouvelle norme connue sous le nom 802.11e afin de fournir une QoS suffisante au WLAN pour supporter des services comme la voix, la vidéo et d'autres, permettant au WLAN de soutenir toutes les applications et fonctions comme un réseau filaire.

La norme 802.11e définit le HCF (*Hybrid Coordination Function*) qui introduit deux nouveaux systèmes qui sont : EDCA et HCCA. L'EDCA est une extension de DCF et le HCCA est une extension de PCF. L'architecture de 802.11e est illustrée dans la Figure 2.4.



**Figure 2.4** L'architecture de l'IEEE 802.11e.

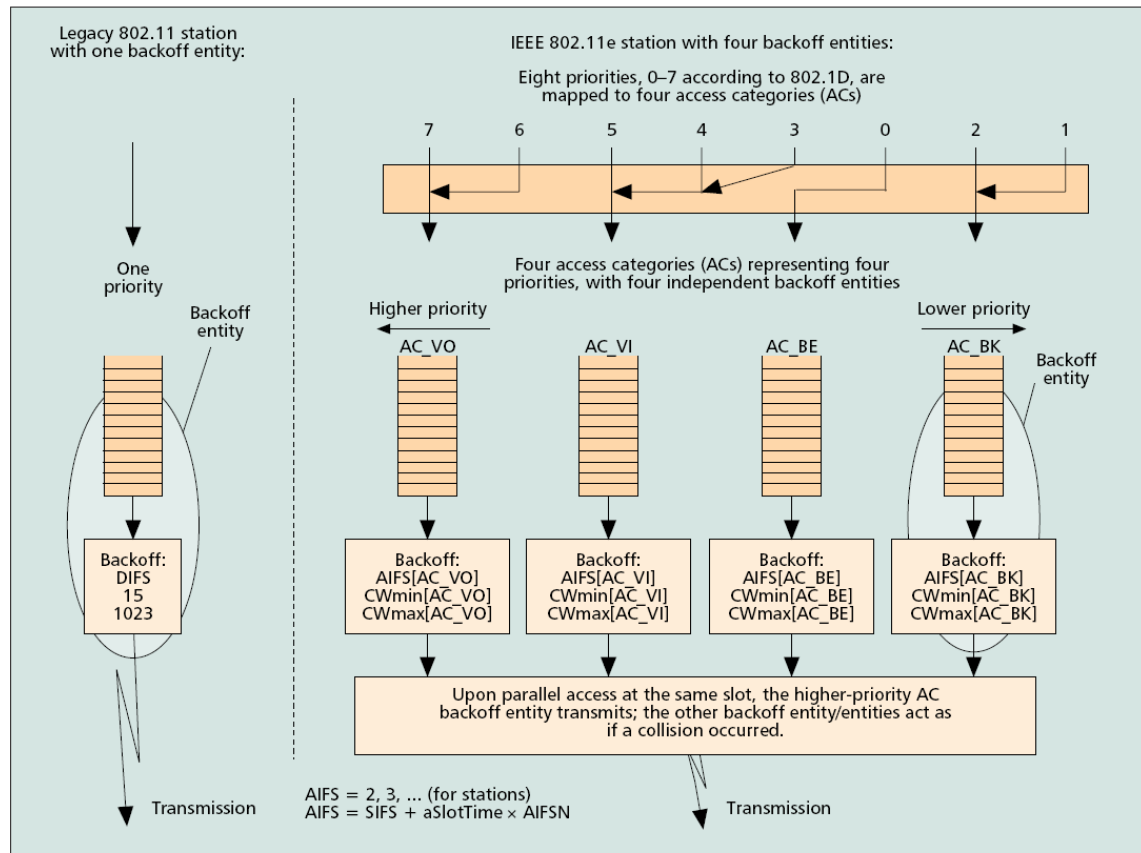
Tiré de Chen et Ma (2006, p. 1)

### 2.8.1 Le mode EDCA

L'EDCA (*Enhanced Distributed Coordination Function*) est un système d'accès basé sur la contention. C'est une extension du mécanisme DCF pour fournir un support des priorités du trafic différencié. La fenêtre de contention et les temps *backoff* sont ajustés pour augmenter ou diminuer la probabilité d'accès au médium afin de favoriser ou défavoriser la transmission de données aux flux de données de priorités faibles ou élevées. En fait, le trafic à priorité élevée a une chance plus grande d'être transmis que le trafic moins prioritaire. De plus, un TXOP (*Transmit Opportunity*) est assigné à chaque niveau de priorité. Un TXOP est un intervalle de temps durant lequel une station qui a obtenu l'accès au médium peut transmettre le plus possible de trames venant du niveau supérieur.

Le mécanisme EDCA fournit un accès différencié et distribué au milieu sans fil (WM: *Wireless Medium*) pour les stations de qualités améliorées (QSTAs : *Quality enhanced STation*) en utilisant huit niveaux différents de priorités d'utilisateur (UPs : *User Priority*) qui sont disponibles en basant sur la désignation de la norme d'IEEE 802.1D.

EDCA définit quatre catégories d'accès (ACs) qui sont AC\_BK, AC\_BE, AC\_VI et AC\_VO pour le trafic à temps non réel (background), à temps réel (Best-effort), la vidéo et la voix respectivement. Les ACs sont dérivés d'UPs tels que présenté dans la Figure 2.5.



**Figure 2.5 La station *legacy 802.11* et la station 802.11e avec quatre ACs dans une seule station.**

Tiré de Mangold et al.(2003, p. 44)

## 2.8.2 Le mode HCCA

Dans le mode HCCA (*HCF Controlled Channel Access*), l'intervalle entre deux trames de balise (*beacon frame*) est divisé en deux périodes CFP (*Contention Free Period*) et de CP (*Contention Period*), le HCCA permet aux CFP de transmettre à n'importe quel temps pendant CP. Ce mode ne peut être utilisé que dans un mode Infrastructure où il y a un point d'accès AP (*Access Point*).

En ce qui concerne notre mémoire, nous utiliserons le mode EDCA afin d'ajouter la QoS à notre réseau.

## 2.9 Le contrôle d'erreurs dans les applications Vidéo

Les paquets vidéo transmis sur les canaux sans fil sont corrompus par deux types d'erreurs (Wang, 2005) :

- les erreurs aléatoires stationnaires qui dépendent de la force moyenne de l'onde reçue ou de la distance entre la station et le terminal sans fil;
- l'erreur variable provoquée par le mouvement du terminal portable ou l'évanouissement Rayleigh.

Comme le terminal portable se déplace rapidement, la fréquence de la distorsion provoquée par des erreurs des rafales est haute et la détérioration dans la qualité de vidéo augmente. Puisque le signal vidéo comprimé est fortement sensible à la perte de l'information et les erreurs de bit de canal sans fil, la qualité de vidéo décodée se détériore d'une façon radicale au niveau des taux d'erreurs de bit (BER : *Bit Error Ratios*) du canal supérieur. Certains mécanismes de contrôle d'erreurs utilisent les techniques de recouvrement de données qui permettent aux décodeurs de dissimuler les effets des erreurs en prévoyant les signaux vidéo perdus ou corrompus des informations sans erreur précédemment reconstruite. Ces techniques ne placent aucune redondance sur les flux de vidéo comprimés et sont désignées par les techniques de dissimulation des erreurs de zéro-redondance. D'autres mécanismes de contrôle d'erreurs fonctionnent au niveau du codeur et appliquent une série de techniques pour augmenter la robustesse des signaux vidéo codés aux erreurs de canal. Ceux-ci sont connus comme des techniques d'erreurs de résilience. *Forwarded Error Correction* (FEC) et *Automatic Repeat Request* (ARQ) sont deux catégories de base des techniques de résilience d'erreurs. FEC utilise les codes correcteurs d'erreurs pour combattre les erreurs de bit en ajoutant la redondance (bits de parité) aux paquets de l'information avant qu'elles soient transmises. Cette redondance est utilisée par le récepteur pour détecter et corriger les erreurs. Dans une situation où le décodeur n'arrive pas à corriger les erreurs à partir les bits d'erreurs, ARQ est utilisé et l'information incorrecte est retransmise.



Dans ce mémoire, nous implémenterons un type de FEC qui est le Reed Solomon dans le logiciel OPNET afin de corriger les erreurs dans le réseau simulé.

## **2.10 Les codes Reed-Solomon**

### **2.10.1 Introduction**

Les codes Reed Solomon sont des codes cycliques et ont été découverts par Reed et Solomon en 1960. Ces codes sont des codes correcteurs d'erreurs basés sur des blocs avec une large gamme des applications dans des communications numériques et de stockage. Les codes Reed Solomon sont utilisés pour corriger des erreurs dans beaucoup de systèmes tels que: les dispositifs de stockage (disque compact CD, DVD<sup>5</sup>, codes barres, etc.), les communications sans fil ou mobiles (téléphones cellulaires, liaisons hertziennes, etc.), les communications par satellites, la télévision numérique (DVB<sup>6</sup>), les modems à grande vitesse tels que l'ADSL<sup>7</sup>, le XDSL<sup>8</sup>, etc. Le codeur Reed Solomon prend un bloc de données numériques et ajoute des bits redondants supplémentaires.

Les erreurs se produisent pendant la transmission ou le stockage pour un certain nombre de raisons comme par exemple le bruit ou l'interférence, les éraflures sur un CD, etc. Le décodeur Reed Solomon traite chaque bloc et essaye de corriger les erreurs et de récupérer les données originales. Le nombre et le type d'erreurs qui peuvent être corrigées dépend des caractéristiques du code Reed Solomon.

---

<sup>5</sup> DVD Digital Video Disc

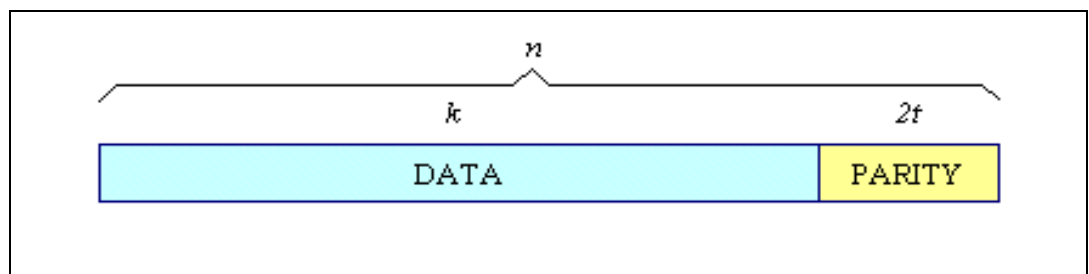
<sup>6</sup> DVB Digital video Broadcasting

<sup>7</sup> ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

<sup>8</sup> XDSL Digital Subscriber Line

### 2.10.2 Applications des codes Reed-Solomon

Les codes Reed Solomon sont un sous-ensemble de codes BCH<sup>9</sup> et sont des codes de bloc linéaires. Un code Reed Solomon est spécifié comme RS (n, k) avec des symboles s-bit. Ceci signifie que le codeur prend « k » symboles de données de « s » bits et ajoute des symboles de parité pour faire un mot codé de « n » symboles. Il y a des symboles de parité de « n-k » de « s » bits chacun. Un décodeur de Reed Solomon peut corriger jusqu'aux « t » symboles qui contiennent des erreurs dans un mot codé, où  $2t = n-k$ . Le diagramme suivant montre un mot codé typique de Reed-Solomon:



**Figure 2.6 Mot codé typique de RS.**

Tiré de Riley et Richardson (1998)

Exemple : Un code populaire Reed Solomon est RS (255,231) avec des symboles de 8 bits. Chaque mot codé contient 255 octets de mot de code, dont 231 octets sont dédiés aux données et 24 octets sont des parités. Pour ce code:  $n = 255$ ,  $k = 231$ ,  $s = 8$  alors  $2t = 255 - 231 = 24$ ,  $t = 12$ .

Le décodeur peut corriger n'importe quels 12 symboles dans le mot codé : c.-à-d. des erreurs jusqu'à 12 octets peu importe leur place dans le mot codé peuvent être automatiquement corrigées. Soit « s » une taille de symbole, la longueur maximale de mot codé (n) pour un code Reed Solomon est  $n = 2^s - 1$ . Par exemple, la longueur maximale d'un code avec des

<sup>9</sup> BCH Hocquenghem, Bose et Ray-Chaudhuri

symboles de 8 bits ( $s=8$ ) est de 255 octets. Des codes Reed Solomon peuvent se raccourcir (conceptuellement) en mettant un certain nombre de symboles de données à zéro au codeur, en ne les transmettant pas, et puis en les réinsérant au décodeur.

Erreur de symboles : une erreur de symbole se produit quand au moins un bit dans le symbole est erroné ou quand tous les bits dans un symbole sont erronés.

Par exemple: RS(255,231) peut corriger 12 erreurs de symboles. Dans le pire cas, 12 bits d'erreurs peuvent être produit, chacun dans un symbole différent (octet) alors le décodeur corrige 12 bits d'erreurs seulement. Dans le meilleur des cas, pour 12 erreurs dans un octet complet le décodeur corrige  $12 \times 8$  bits d'erreurs.

Dans notre projet, nous utiliserons le code Reed Solomon pour corriger les erreurs, avec  $n = 255$  octets et  $k = 231$  octets.

### 2.10.3 Le décodage Reed Solomon

D'après (Riley et Richardson, 1998), les procédures algébriques de décodage Reed Solomon peuvent corriger des erreurs et des effacements. Un effacement se produit quand la position d'un symbole erré est connue. Un décodeur peut corriger jusqu'aux  $t$  erreurs ou jusqu'aux  $2t$  effacements. L'information d'effacement peut souvent être fournie par le démodulateur dans un système de communication numérique, c.-à-d. le démodulateur « *flags* » les symboles reçus qui sont probable à contenir des erreurs.

Quand un mot codé est décodé, il y a trois résultats possibles :

1. Si  $2s + r < 2t$  ; ( $s$  erreurs,  $r$  effacements) alors le mot original transmis de code sera toujours récupéré,
2. Sinon, le décodeur détectera qu'il ne peut pas récupérer le mot codé original de code et il indique ce fait.
3. Ou, le décodeur décodera mal et récupérera un mot codé incorrecte sans aucune indication.

La probabilité de chacune des trois possibilités dépend du code particulier de Reed Solomon et du nombre et de la distribution d'erreurs.

#### 2.10.4 Architectures pour encoder et décoder les codes Reed Solomon

Les architectures pour encoder et décoder les codes Reed Solomon sont expliqués dans (Riley et Richardson, 1998) par :

##### Arithmétique finie de champ (de Galois)

Les codes Reed Solomon sont basés sur un principe mathématique connu sous le nom des champs de Galois ou champs finis. De plus, une des propriétés du champ fini est que les opérations arithmétiques (+, -, x/etc.) relatives aux éléments du champ ont toujours un résultat dans le champ. Un codeur ou un décodeur de Reed Solomon doit effectuer ces opérations arithmétiques. De plus, ces opérations exigent d'avoir des fonctions spéciales de matériel ou de logiciel pour les appliquer.

##### Le polynôme de générateur

La forme générale du polynôme de générateur est :

$$g(x) = (x - \alpha^i)(x - \alpha^{i+1}) \dots (x - \alpha^{i+2t-1})$$

Et le mot codé est construit en utilisant :  $c(x) = g(x).i(x)$

Avec  $g(x)$  est le polynôme de générateur,  $i(x)$  est le bloc de l'information,  $c(x)$  est un mot codé valide et est désigné sous le nom d'un élément primitif du champ.

Exemple: le générateur de RS(255,231)

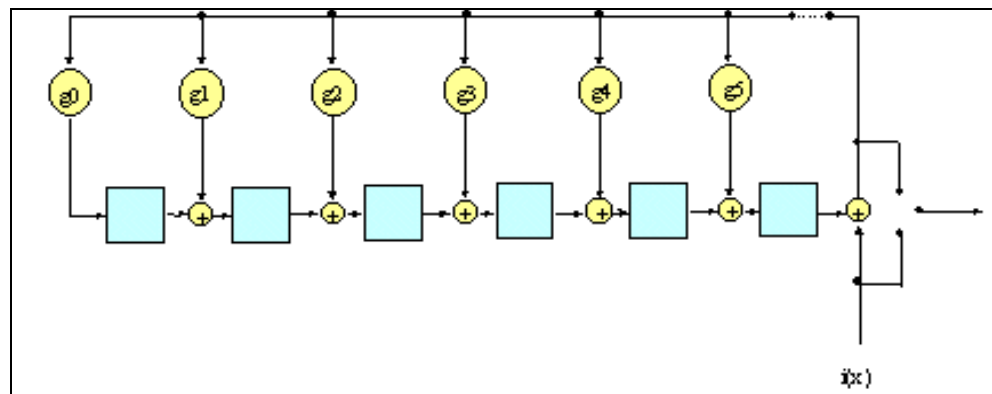
$$g(x) = (x - \alpha^0)(x - \alpha^2)(x - \alpha^4)(x - \alpha^6)(x - \alpha^8)(x - \alpha^{10})(x - \alpha^{12})(x - \alpha^{14})(x - \alpha^{16})(x - \alpha^{18})(x - \alpha^{20})(x - \alpha^{22})(x - \alpha^{24})(x - \alpha^{26})(x - \alpha^{28})(x - \alpha^{30})(x - \alpha^{32})(x - \alpha^{34})(x - \alpha^{36})(x - \alpha^{38})(x - \alpha^{40})(x - \alpha^{42})(x - \alpha^{44})(x - \alpha^{46})(x - \alpha^{48})(x - \alpha^{50})(x - \alpha^{52})(x - \alpha^{54})(x - \alpha^{56})(x - \alpha^{58})(x - \alpha^{60})(x - \alpha^{62})(x - \alpha^{64})(x - \alpha^{66})(x - \alpha^{68})(x - \alpha^{70})(x - \alpha^{72})(x - \alpha^{74})(x - \alpha^{76})(x - \alpha^{78})(x - \alpha^{80})(x - \alpha^{82})(x - \alpha^{84})(x - \alpha^{86})(x - \alpha^{88})(x - \alpha^{90})(x - \alpha^{92})(x - \alpha^{94})(x - \alpha^{96})(x - \alpha^{98})(x - \alpha^{100})(x - \alpha^{102})(x - \alpha^{104})(x - \alpha^{106})(x - \alpha^{108})(x - \alpha^{110})(x - \alpha^{112})(x - \alpha^{114})(x - \alpha^{116})(x - \alpha^{118})(x - \alpha^{120})(x - \alpha^{122})(x - \alpha^{124})(x - \alpha^{126})(x - \alpha^{128})(x - \alpha^{130})(x - \alpha^{132})(x - \alpha^{134})(x - \alpha^{136})(x - \alpha^{138})(x - \alpha^{140})(x - \alpha^{142})(x - \alpha^{144})(x - \alpha^{146})(x - \alpha^{148})(x - \alpha^{150})(x - \alpha^{152})(x - \alpha^{154})(x - \alpha^{156})(x - \alpha^{158})(x - \alpha^{160})(x - \alpha^{162})(x - \alpha^{164})(x - \alpha^{166})(x - \alpha^{168})(x - \alpha^{170})(x - \alpha^{172})(x - \alpha^{174})(x - \alpha^{176})(x - \alpha^{178})(x - \alpha^{180})(x - \alpha^{182})(x - \alpha^{184})(x - \alpha^{186})(x - \alpha^{188})(x - \alpha^{190})(x - \alpha^{192})(x - \alpha^{194})(x - \alpha^{196})(x - \alpha^{198})(x - \alpha^{200})(x - \alpha^{202})(x - \alpha^{204})(x - \alpha^{206})(x - \alpha^{208})(x - \alpha^{210})(x - \alpha^{212})(x - \alpha^{214})(x - \alpha^{216})(x - \alpha^{218})(x - \alpha^{220})(x - \alpha^{222})(x - \alpha^{224})(x - \alpha^{226})(x - \alpha^{228})(x - \alpha^{230})(x - \alpha^{232})(x - \alpha^{234})(x - \alpha^{236})(x - \alpha^{238})(x - \alpha^{240})(x - \alpha^{242})(x - \alpha^{244})(x - \alpha^{246})(x - \alpha^{248})(x - \alpha^{250})(x - \alpha^{252})(x - \alpha^{254})$$

### 2.10.5 L'architecture d'encodeur

Les  $2t$  symboles de parité dans un mot codé systématique de Reed Solomon sont donnés par:

$$p(x) = i(x) \cdot x^{n-k} \text{ mod } g(x)$$

Le diagramme suivant montre une architecture pour des codeurs systématiques RS(255,249):



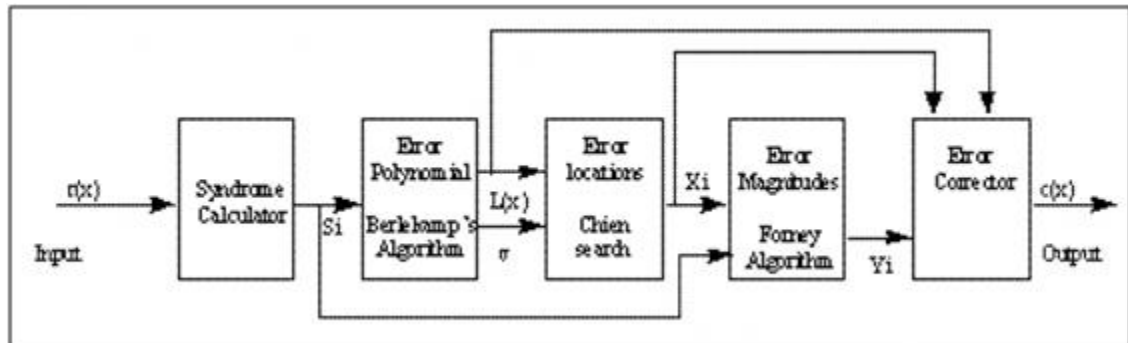
**Figure 2.7 Architecture des codeurs systématiques.**

Tiré de Riley et Richardson (1998)

Chacune des six registres contient un symbole (8 bits). Les opérateurs arithmétiques effectuent l'addition ou la multiplication de champ fini sur un symbole complet.

### 2.10.6 L'architecture de décodage

Une architecture générale pour le décodage des codes Reed Solomon est montrée dans le diagramme suivant.



**Figure 2.8 Diagramme de décodage.**  
Tiré de Riley et Richardson (1998)

Avec

- $r(x)$  Le mot codé reçu
- $S_i$  Syndromes
- $L(x)$  Le polynôme de position d'erreurs
- $X_i$  Les locations d'erreurs
- $Y_i$  Les magnitudes des erreurs
- $c(x)$  Le mot codé récupéré
- $v$  Le nombre des erreurs

Le mot codé reçu  $r(x)$  est le mot codé original (transmis)  $c(x)$  plus des erreurs:

$$r(x) = c(x) + e(x)$$

Un décodeur Reed Solomon essaye d'identifier la position et la magnitude de  $t$  erreurs (ou  $2t$  effacements) et de corriger les erreurs ou les effacements.

Calcul de syndrome : c'est un calcul semblable au calcul de parité. Un mot codé de Reed Solomon a  $2t$  syndromes qui dépendent seulement des erreurs (pas sur le mot codé transmis). Les syndromes peuvent être calculés en substituant les racines  $2t$  du polynôme de générateur  $g(x)$  dans  $r(x)$ .

Les positions d'erreurs de symbole : nécessitent la résolution des équations simultanées avec  $t$  inconnus. Plusieurs algorithmes rapides sont disponibles pour faire ça. Ces algorithmes

profitent de la structure de matrice spéciale des codes Reed Solomon et réduisent beaucoup l'effort informatique exigé. En général deux étapes sont impliquées :

Le polynôme de position d'erreurs : peut être calculé en utilisant l'algorithme de Berlekamp-Massey ou l'algorithme d'Euclid. L'algorithme d'Euclid tend à être plus utilisé généralement dans la pratique parce qu'il est plus facile à implémenter: cependant, l'algorithme de Berlekamp-Massey tend à mener à des implémentations plus efficaces de matériel et de logiciel.

Les racines de ce polynôme : peuvent être trouvés en utilisant l'algorithme de recherche de Chien.

Les valeurs de symbole d'erreurs : nécessitent de résoudre des équations simultanées de  $t$  inconnus. Un algorithme rapide qui est souvent utilisé est l'algorithme de Forney.

## 2.11 Les entrelacements

L'entrelacement est utilisé pour augmenter la capacité de correction d'erreurs dans les paquets. L'entrelacement consiste à permuter une séquence de bits de manière à ce que deux symboles proches à l'origine soient le plus possible éloignés l'un de l'autre. C'est-à-dire, au lieu de transmettre directement les mots du code, le premier symbole de chacun des mots sera transmis, suivi par le deuxième, puis par le troisième et ainsi de suite.

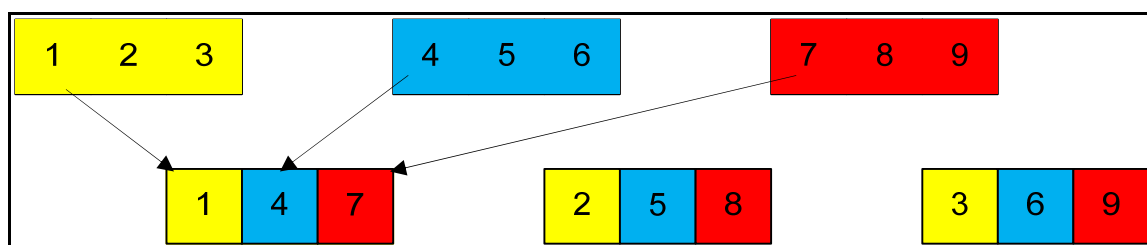


Figure 2.9 L'entrelacement.

## CHAPITRE 3

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le support de la qualité de service sur MANET fait le sujet de plusieurs articles dans la littérature. La majorité des approches sont sur le modèle de la QoS, la signalisation de réservation de ressource de la QoS, le routage de la QoS et le contrôle d'accès MAC (*Medium Access Control*) (Sarma et Nandi, 2006). Nous avons choisi quelques articles qui traitent ces sujets pour les présenter dans ce chapitre. La plupart des articles présentés ci-dessous utilisent les services multimédia. En outre, nous présenterons des articles qui s'agissent de la correction d'erreurs FEC dans MANET.

#### 3.1 Les protocoles de la couche MAC

Dans la littérature, les auteurs proposent différents protocoles pour certains problèmes tels que les protocoles de la couche MAC comme EDCF<sup>10</sup> dans (Hsu et al., 2004) et le protocole proposé dans (Ogawa, Shimojima et Hattori, 2002) qui ont amélioré le rapport de la livraison de paquet et la moyenne du délai de bout en bout et ont réduit le nombre de collision de paquet.

Dans l'article (Shklyeva, Kubanek et Novotny, 2007), les auteurs analysent les améliorations dans 802.11e et comparent sa performance à la norme 802.11. La nouvelle fonction hybride de coordination (HCF) de la couche MAC d'IEEE 802.11e avec ses deux protocoles «*contention-based*» et «*contention free*» sont évalués. Les mécanismes de fournir la QoS dans les réseaux wireless LAN basés sur la norme 802.11e sont aussi décrits.

Dans (Krunz, Muquattash et Lee, 2004), les auteurs proposent un protocole de la couche MAC qui contrôle la puissance à canal double PCDC (*Power Controlled Dual Channel*) pour les réseaux Ad hoc sans fil. En effet, ce protocole permet à la couche MAC d'influencer

---

<sup>10</sup> EDCF Enhanced Distributed Coordination Function



indirectement la décision de routage à la couche réseau en contrôlant le niveau de la puissance des paquets RREQ<sup>11</sup> diffusés. De plus, PCDC<sup>12</sup> utilise la force du signal de l'entête de commande (RTS/CTS) pour établir une topologie de réseau avec une puissance efficace.

### 3.2 Les protocoles de routage

Des solutions pour les problèmes de routage ont été aussi proposées dans (Bur et Ersoy, 2004), (Wang et al., 2001), (Hsu, Sheu et Tung, 2006), (Sheikh et al., 2003), et (Taing et al., 2005). Dans ces derniers articles, les auteurs traitent les difficultés de routage de différentes manières :

Dans (Sheikh et al., 2003), les auteurs proposent un protocole de routage de QoS (QoSR : *QoS Routing*) basé sur la prévision du profil de la mobilité des utilisateurs afin d'obtenir une transmission des services multimédia à travers un réseau mobile Ad hoc avec une garantie de QoS. Ce système établit et maintient des MHVCs<sup>13</sup> avec une garantie de QoS entre la source et la destination durant la durée de vie de la route RLT (*Route Life Time*). Mais, ce protocole n'était pas simulé et par conséquent, il n'y avait pas des résultats pratiques.

L'article (Hsu et al., 2004) étale un protocole de routage de QoS pour des services multimédia dans les réseaux mobiles ad-hoc (MANETs) qui est l'EDCF. Ce protocole a été adopté afin de répondre aux exigences de la QoS telles que la bande passante requise et le délai de bout en bout pour différentes paires de transmission source-destination. Et de plus, pour résoudre le nouveau problème appelé « le problème des routes cachées ». EDCF montre des bons résultats en ce qui concerne le rapport de la livraison de paquet et la moyenne du délai de bout en bout d'EDCF.

Dans (Taing et al., 2005), les auteurs présentent un système de routage pour des services multimédia, qui choisit le chemin le plus court en utilisant le niveau de puissance. Ce

---

<sup>11</sup> RREQ     Route Request

<sup>12</sup> PCDC     Power Controlled Dual Channel

<sup>13</sup> MHVC     Multiple Heterogeneous Virtual Channels

protocole ne fournit pas seulement la plus petite moyenne du nombre des sauts de route de la source à la destination, mais aussi un débit plus élevé que le système conventionnel. Ce protocole permet de réduire le délai de transmission de trafic de multimédia en minimisant le nombre de sauts de ce trafic. En plus, ce protocole fournit un grand débit pour le trafic multimédia.

Dans (Hsu, Sheu et Tung, 2006), les auteurs proposent un protocole de routage sur demande « *An On-demand Bandwidth Reservation QoS routing* » pour les MANETS de multi-sauts basé sur TDMA<sup>14</sup>. Ils proposent un algorithme pour guider la destination à choisir la route qui est la plus susceptible de satisfaire les besoins de QoS et un algorithme pour réserver le time slot approprié et garde aussi plus des *time slots* libres pour d'autres besoins. Ce protocole proposé donne des bons résultats en ce qui concerne l'établissement de la route et le taux de perte de paquet. En outre, il peut atteindre une probabilité d'établissement de route élevée et une probabilité de perte de paquet faible.

L'article (Bur et Ersoy, 2004) définit les modules d'un protocole Ad hoc de multicast de QoS (AQM<sup>15</sup>), qui réalise l'efficacité de multicast par la disponibilité de routage de ressource dans le voisinage d'un nœud basé sur des réservations précédentes, et annonce les conditions de QoS à la session d'initiation. L'AQM a obtenu des meilleurs résultats en ce qui concerne le degré de satisfaction et il a amélioré l'efficacité de *multicasting* des sessions.

Dans (Wang et al., 2001), les auteurs proposent un protocole de routage QoS par la prévision de la mobilité (QRMP)<sup>16</sup>. Ce protocole choisit le chemin le plus stable basé sur la prévision de la mobilité et les besoins de QoS sur la largeur de bande et le délai. La simulation de QRMP montre une réduction dans le temps d'installation de la route et les entêtes de contrôles ainsi qu'une augmentation dans le rapport de la livraison de paquet.

---

<sup>14</sup> TDMA Time division multiple access

<sup>15</sup> AQM Ad Hoc QoS Multicast

<sup>16</sup> QRMP QoS Routing with Mobility Prediction protocol

Dans (Boshoff et Helberg, 2008), les auteurs étendent le protocole de routage AODV de MANET à un protocole de chemin multiple « *multi-path* » qui utilise le délai de bout en bout, à la place du compte des sauts, comme une métrique pour la sélection de la route. Les chemins multiples et le délai de bout en bout fourni par chaque route sont enregistrés dans les tables de routage. En cas de bri de route, la table de la route est recherchée pour une route alternative à la destination avant que la procédure de découverte d'une nouvelle route est initiée. Ce qui réduit l'entête de routage et le délai de bout en bout.

Dans les deux documents (Emin et Roger, 2006) et (Gabrielyan et Hersch, 2006a), les auteurs introduisent un algorithme capillaire de routage offrant un large éventail de topologies de routage par trajets multiples à partir d'une solution simple (*max-flow multi-path*) vers des plans plus fiables et plus fixes obtenus en écartant le flot secondaire individuel.

### **3.3 La qualité de service dans les réseaux Ad Hoc**

Dans l'article (Domingo et Remondo, 2004), les auteurs offrent un nouveau protocole, appelé DS-SWAN (*Differentiated Services-Stateless Wireless Ad hoc Networks*), pour supporter la qualité de service QoS de bout en bout dans les réseaux Ad hoc reliés aux domaines fixes de DiffServ. DS-SWAN avertit des nœuds dans le réseau Ad hoc quand la congestion est excessive pour le bon fonctionnement des applications en temps réel. Ces nœuds réagissent en ralentissant le trafic *best-effort*. Ce protocole proposé a donné des bons résultats au niveau du délai de bout en bout et de la perte de paquet de trafic VoIP (Voice over IP).

Dans (Chen et Ma, 2006), les auteurs présentent la performance d'un mécanisme d'accès spécifié dans la norme IEEE 802.11e, qui est le EDCA (*Enhanced Distributed Coordination Access*) quand le trafic multimédia est servi dans les WLANs. Ils évaluent la performance en changeant les paramètres du système. Nous utiliserons ce même mécanisme dans notre mémoire comme nous verrons dans les chapitres suivants.

Dans (Hannan, Kee Chaing et Guan Winston, 2003), les auteurs proposent un modèle flexible de QoS qui s'appelle FQMM (*A Flexible QoS Model for MANET*). Nous avons présenté ce modèle dans le paragraphe 2.7.3 de ce mémoire.

L'article (Yang et Kim, 2003) traite le problème de la garantie de la QoS en proposant un protocole nommé DCAP (*Distributed Channel Assignment Protocol*) qui combine la gestion de ressource distribuée et les techniques d'OFDM-CDMA<sup>17</sup>. Ce nouveau système rend l'architecture de nœud moins complexe que celle du DRNP (*Distributed Resource Negotiation Protocol*) original et le système plus robuste pour des multimédia de débit de données élevés. Ce protocole DCAP garantit la QoS dans les petits réseaux qui ne sont pas très chargés.

Les auteurs Dekeris, Adomkus et Budnikas (2006) traitent le sujet de l'assurance de la vidéo conférence en utilisant le modèle de la qualité de service WFQ (*Weighted fair Queuing*) combinément avec LLQ (*Low Latency Queue*).

Dans l'article (Lee et al.1999), les auteurs présentent le conception, l'implémentation et l'évaluation d'INSIGNIA qui est une approche IP pour l'intégration de la qualité de service dans les réseaux Ad Hoc mobile. INSIGNIA (*In-band Signaling Support for QoS*) combine la signalisation dans la bande (*In-band*), le contrôle d'admission et l'ordonnancement des paquets (*Packet Scheduling*). Il utilise l'approche de gestion des ressources *soft state* qui permet une libération rapide des ressources durant la configuration du chemin. Un niveau plus bas de service (*Best-effort*) peut être donné à l'application si les ressources ne sont plus disponibles. Comme les informations des *flow state* doivent être réservées pour chaque flow dans chaque routeur, INSIGNIA peut avoir le problème de mise à l'échelle (*scalability*).

Le support d'une solution complète de QoS pour les réseaux Ad hoc exige l'interaction et la coopération de plusieurs composants. Ces composants incluent un protocole de cheminement de QoS, un système de réservation de ressource et un protocole de QoS de la Couche MAC.

---

<sup>17</sup> OFDM-CDMA Orthogonal Frequency Division Multiplexing - Code Division Multiple Access

Dans (Perkins et Hughes, 2002), les auteurs présentent une étude de la recherche courante qui parle de ces composants pour supporter la QoS dans le contexte des réseaux Ad hoc. Ceci est fait pour fournir une vue large et complète des différents composants et protocoles requis pour supporter la QoS dans les réseaux Ad hoc.

L'article (Munaretto et al., 2004) traite le problème de la synchronisation en proposant un nouveau protocole qui élimine le besoin d'une horloge de synchronisation dure en implémentant un système virtuel qui se fonde sur la désynchronisation entre les nœuds. Ce protocole proposé atteint un niveau élevé de synchronisation sous un bas coût de communication.

Dans (Bheemarjuna Reddy, John et Murthy, 2007), les auteurs présentent un système composé de trois parties : ReAP (*ReAllocative Priority*), A-TXOP (*Adaptive-TXOP*), et TXOP sharing (*transmission opportunity*) afin d'améliorer la performance du trafic multimédia dans des réseaux Ad Hoc sans fil à multi-sauts. Son avantage est qu'il exige des modifications minimales au protocole 802.11e existant. Les améliorations sont basées sur la réduction du délai de bout en bout, ce qui améliore le taux de transmission du paquet (PDR : *Packet Delivery Rate*) de trafic multimédia.

### **3.4 La correction d'erreurs FEC**

La correction d'erreurs (*Forward Error Correction* : FEC) a été abordée dans plusieurs articles de la littérature.

Dans (Bo et al., 2005), les auteurs présentent un nouveau système hybride de contrôle d'erreurs qui introduit l'entrelacement entre FEC et ARQ pour diminuer les erreurs et les effets de pertes rencontrés dans MANET. Les résultats numériques de l'analyse mathématique montrent que ce nouveau système hybride de contrôle d'erreurs a le délai de transmission de données le plus court et qu'il a moins de perte de paquet que l'algorithme multicast de MANET qui utilise seulement l'ARQ.

Dans l'article (Ouyang, Hong et Yi, 2005), les auteurs classifient les protocoles qui transmettent les paquets multicast avec fiabilité en trois catégories selon la méthode de récupération utilisée : le premier est basé sur l'ARQ, le deuxième est basé sur gossip<sup>18</sup> et le troisième est basé sur la correction d'erreurs FEC et ils comparent ses avantages et ses désavantages ainsi que ses performances. Les flux à temps réel mettent des restrictions dures sur la taille du tampon et donc ne permettent pas au FEC de traiter de longues interruptions de lien sur une seule route. Cependant, le routage par trajets multiples (*multi-path*) peut rendre FEC efficace pour les flots à temps réel.

Le document (Rui et Ilow, 2003) propose une nouvelle structure dans les réseaux Ad hoc mobile (MANET) pour le routage par trajets multiples fiable avec les délais fixes basés sur le contrôle d'erreurs du niveau de paquet (FEC: *Forward Error Control*). L'innovation de ce travail provient de l'optimisation intégrée de la redondance à la route et aux niveaux de paquet de FEC pour arriver au concept des nœuds régénérés. Les nœuds régénérés peuvent réduire le taux de perte de paquet (PLR : *Packet Loss Rate*) entre la source et les nœuds intermédiaires, par la suite, le PLR entre la source et la destination sera réduit au minimum.

Dans l'article (Schierl et al., 2006), une approche de flot multi source est présentée pour augmenter la robustesse de la transmission vidéo à temps réel dans MANETs. Pour cela, le codage vidéo aussi bien que les techniques de codage de canal sont présentés sur la couche application, en exploitant la représentation multi source des médias transférés. Le codage de source est basé sur le SVC (*Scalable Video Coding*) de H.264/MPEG4-AVC<sup>19</sup> avec différentes couches pour attribuer l'importance à la transmission. Le codage du canal est basé sur les codes de correction d'erreurs (Raptor FEC).

Dans (Chen et al., 2004), les auteurs présentent une nouvelle technique qui sert à limiter les effets d'erreurs et de perte rencontrés dans des applications Internet avec et sans fil en

---

<sup>18</sup> Dans gossip les paquets multicast sont transmis d'une façon répétitive sur quelques reprises par certains membres multicast dans un mode *Peer to Peer*.

<sup>19</sup> MPEG4-AVC Moving pictures Experts Group 4 - Advanced Video Coding

incorporant l'entrelacement de mots, la correction d'erreurs directe (FEC) et la demande automatique de répétition (ARQ) aux sessions de multidiffusion de vidéo. La performance du concept est analysée et une comparaison entre des résultats en laboratoire et des résultats analytiques est faite.

Dans le document (Abd El Al, Saadawi et Lee, 2007) , les auteurs proposent un mécanisme qui combine la retransmission basée sur le contrôle d'erreurs avec le transport par des chemins multiples (*Multi-Path*) (MPT), pour fournir une protection de différents niveaux à la vidéo à temps réel dans les réseaux Ad hoc. Le mécanisme factorise dans l'importance des paquets retransmis à la qualité de la vidéo reconstruite aussi bien que les contraintes de la latence de bout en bout pour minimiser les entêtes et pour maximiser la qualité de la vidéo reconstruite au récepteur. Les résultats de la simulation prouvent que le mécanisme de la retransmission proposé maintient la qualité de la vidéo sous des taux de perte différents et sous des vitesses de mobilité, avec moins d'entêtes en comparaison aux méthodes de contrôle d'erreurs qui dépendent du contrôle de taux d'intra-update.

### **La synthèse**

D'après la littérature, nous constatons qu'il y a plusieurs façons d'ajouter de la qualité de service au réseau MANET soit à travers un protocole d'accès au médium, soit à partir des mécanismes des files d'attente, soit par l'introduction de la correction d'erreurs. Pour cela, nous avons décidé, dans notre mémoire, de faire une comparaison entre la correction d'erreurs FEC à savoir le Reed Solomon et un outil de QoS en appliquant un protocole d'accès au médium comme le protocole EDCA.

## CHAPITRE 4

### SIMULATIONS DES DIFFÉRENTS MODÈLES

#### 4.1 Problématique et objectifs de projet

Les applications multimédia vidéo/voix deviennent rapidement très populaires. L'adaptation de ces services dans MANET exige un support de la qualité de service. Afin de supporter la QoS dans MANETs, le réseau doit optimiser un ensemble de métriques mesurables, tels que le délai, la gigue, la largeur de bande, le taux de livraison de paquet, etc. Cependant, dans MANET, le problème de nœud caché, la nécessité de partager les ressources de canal, l'organisation distribuée du réseau et la topologie dynamique apportent des défis importants à l'offre de la QoS.

De plus, les pertes et les erreurs de paquets causées par la mobilité des nœuds MANET, nécessitent un mécanisme de réduction d'erreurs.

Notre objectif est d'améliorer la performance d'un réseau mobile Ad Hoc à multi-sauts en essayant d'avoir une meilleure qualité de service en contrôlant le délai de bout en bout, la gigue des services multimédia et de plus réduire les pertes des paquets. En fait, nous ajouterons un correcteur d'erreurs de type FEC (Forward Error Correction), le Reed Solomon, au flux multimédia afin de minimiser le nombre des erreurs dans le réseau causées par les différents problèmes tels que les problèmes des nœuds cachés et exposés. En outre, nous appliquerons l'EDCA qui est un protocole d'accès au médium utilisé dans la norme IEEE 802.11e qui permet de faire de la qualité de service sur les réseaux sans fils.

Vu que les stations sont réduites dans leur capacité de traitement, il est important d'utiliser le minimum de méthodes qui apporteront la QoS requise. C'est-à-dire, de voir s'il est toujours nécessaire d'utiliser les deux méthodes (FEC et QoS) en même temps ou l'une d'entre elles suffira dans certain cas.



La simulation a été utilisée pour analyser le réseau MANET sous les conditions requérant la QoS et nous avons appliqué les méthodes mentionnées pour mesurer notre approche.

## 4.2 Modèles de tests et configuration de réseaux

Le support des services multimédia Audio/Vidéo dans un réseau mobile Ad hoc rencontre plusieurs problèmes, tels que ceux reliés au routage, à la congestion, à la synchronisation des réseaux multimédia Ad hoc, à la difficulté de garantir de la QoS dans MANET, à la collision et à la correction d'erreurs. Ces problèmes peuvent être causés par la mobilité des réseaux MANETs ou par les besoins des applications multimédia. La littérature a traité ces problèmes de plusieurs manières (voir chapitre 3 de ce mémoire pour plus de détails).

De tous ces problèmes, c'est celui de la qualité de service que nous allons traiter au sein de notre projet.

La correction d'erreurs a été le sujet de plusieurs articles, tel qu'il a été mentionné dans la revue de littérature. Chaque auteur l'avait étudiée d'une façon différente. En ce qui nous concerne, nous modèlerons la correction d'erreurs en utilisant le type de *Forward Error Correction FEC*, le Reed Solomon. En fait, nous allons ajouter  $n-k$  paquets additionnels sur la charge utile «  $k$  ». Ceci va produire  $n$  paquets à transmettre à travers le réseau ( $n$ , est le nombre de symboles transmis qui correspond à la somme de la charge utile et la correction d'erreurs).

Pour résoudre notre problématique et atteindre nos objectifs, il faut tout d'abord constituer un réseau MANET, composé de plusieurs stations. Par la suite, essayer de créer des situations d'erreurs dans ce réseau. Celles-ci seront générées par des différents scénarios et en utilisant plusieurs niveaux de charge dans le réseau. Cette approche va nous permettre de savoir si ce réseau a besoin des deux méthodes, la qualité de service QoS (la différenciation des services DiffServ) et la correction d'erreurs FEC, conjointement, ou bien une seule d'entre elles suffira.

#### **4.2.1 Les modèles de tests**

Afin de voir l'effet du FEC et de la QoS, maintes situations seront créées dans le réseau MANET. Pour ce faire, plusieurs scénarios peuvent être exécutés:

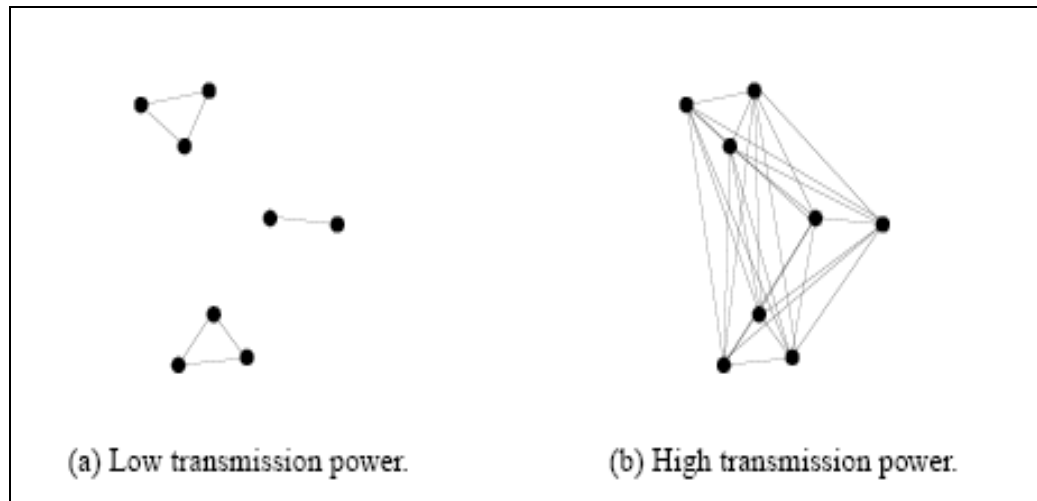
##### **Scénario du « problème du terminal caché »**

Ce scénario consiste à créer une barrière dans le réseau, entre la source et la destination. Ceci se fait en éloignant la destination considérablement de la source. Cette méthode est nommée le problème du terminal caché (paragraphe 1.3.1).

Pour mieux comprendre ce phénomène, considérons trois nœuds A, B et C dans un réseau MANET, tels que B communique avec les deux autres nœuds, alors que A et C sont cachés l'un par rapport à l'autre. Cette situation peut générer une collision, dans le cas où A et C veulent transmettre des paquets à B en même temps.

##### **Scénario de la réduction de la puissance**

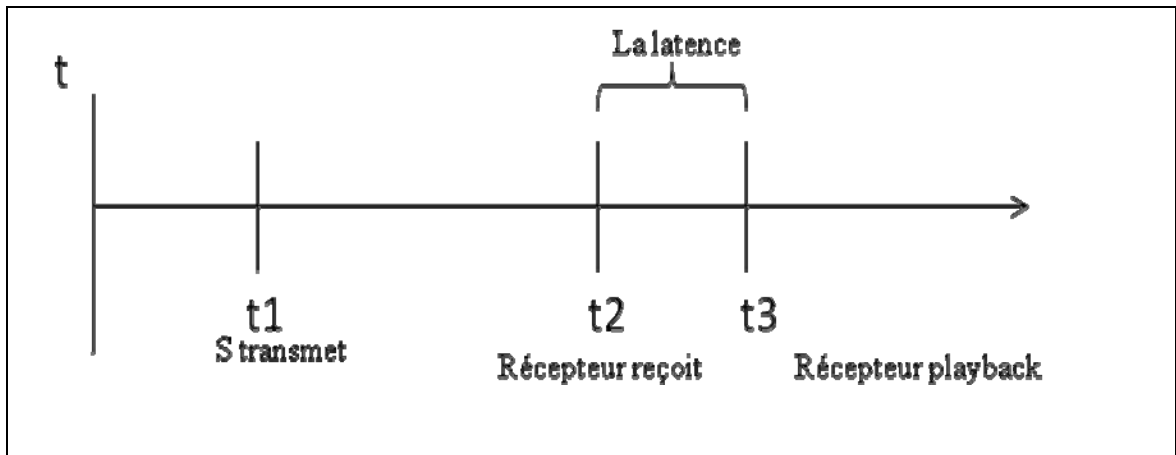
Ce scénario consiste à réduire la puissance de transmission des stations du réseau MANET. La puissance de transmission détermine la portée dans laquelle le signal peut être reçu. Elle est cruciale en déterminant la performance du réseau en termes de débit, délai, et consommation d'énergie. D'autre part, cette puissance détermine les nœuds qui peuvent entendre le signal. En outre, sa réduction peut défavorablement influencer la connectivité du réseau. Ceci en réduisant le nombre de liens actifs et, potentiellement, en divisant le réseau (Figure 4.1). Par conséquent, la diminution de la puissance de transmission crée des erreurs dans le réseau (Krunz, Muquattash et Lee, 2004).



**Figure 4.1** L'effet du niveau de puissance sur la connectivité du réseau.  
Tiré de Krunz, Muquattash et Lee (2004, p. 3)

### Scénario de latence

La latence est le temps que prend l'application, à la réception, avant de faire *playback* (Figure 4.2). Plus la latence est grande, plus nous avons besoin d'augmenter la taille du buffer. Ceci peut augmenter les délais et influencer la qualité de service désirée. Alors, nous pouvons augmenter la latence afin de créer des situations d'erreurs dans le réseau. Par conséquent, nous arriverons à voir l'effet de la correction d'erreurs et la QoS DiffServ.



**Figure 4.2 La latence.**

### Scénario du débit

Ce scénario consiste à diminuer le débit « *data rate* ». Ce dernier désigne le taux auquel l'information est transportée sur le canal de transmission. Le ralentissement du débit crée des situations dans le réseau MANET qui peuvent déterminer l'effet de notre approche.

Concernant notre projet, nous implémenterons, dans le logiciel OPNET 14.0, le Reed Solomon qui est un type de correction d'erreurs FEC. De plus, nous utiliserons le mode EDCA afin de faire de la qualité de service sur le réseau MANET. Ensuite, nous considérerons les deux premiers scénarios du paragraphe précédent qui sont le problème du terminal caché et la réduction de la puissance, pour créer des situations d'erreurs dans le réseau. Ces situations permettront de montrer l'effet de la correction d'erreurs FEC combinée ou pas avec la qualité de service. Pour ce faire, nous effectuerons des simulations des situations citées ci dessus, sur le logiciel OPNET 14.0.

Dans la section 4.3, nous expliquerons notre approche pour implémenter le code Reed-Solomon dans notre solution. Quant à la section 4.4, elle englobe les simulations.

### 4.3 Implémentation du code Reed-Solomon dans OPNET

Le code Reed Solomon s'agit d'un code de correction d'erreurs (FEC) appartenant au groupe des codes de média indépendants. Ce dernier utilise des codes de blocs en produisant des paquets additionnels afin d'éviter la perte des paquets.

Il est important de souligner que chaque code prend un nombre de symboles d'information, appelé charge utile «  $k$  » et produit «  $n-k$  » paquets additionnels, qui sont utilisés dans la transmission de «  $n$  » paquets à travers le réseau. Notons que «  $n$  » est le nombre de symboles transmis : la charge utile et la correction d'erreurs. Le rôle principal du code Reed-Solomon (RS) est la détection et la correction des erreurs dans des flots de bits. Dans ce projet, il a été adapté pour faire le même travail pour les flots des paquets.

Dans le présent mémoire, nous avons fait appel au code RS à cause de ses avantages par rapport à d'autres codes, tel que son niveau de fiabilité correspondant à la correction d'erreurs et aussi sa robustesse contre les pertes dans les séquences des bits. La procédure du codage est basée sur un système de codage utilisant des polynômes et des algorithmes disponibles facilement, ce qui réduit le coût du calcul.

Toutefois, le code RS a des inconvénients éventuels, telles que la possibilité d'avoir un délai, une augmentation de la bande passante et une difficulté dans l'implémentation (Chow, Chan et Khushal, 2002).

Afin d'étudier l'avantage de l'utilisation du code RS dans des réseaux Ad hoc mobiles (MANET), nous avons fait la modélisation du comportement de ce type de FEC à l'aide du logiciel. Pour cela, nous avons modifié le modèle de WLAN intégré dans OPNET en ajoutant le code Reed Solomon au pipeline d'émetteur récepteur de la liaison hertzienne (*Radio Link Transceiver Pipeline*) (Chow, Chan et Khushal, 2002).

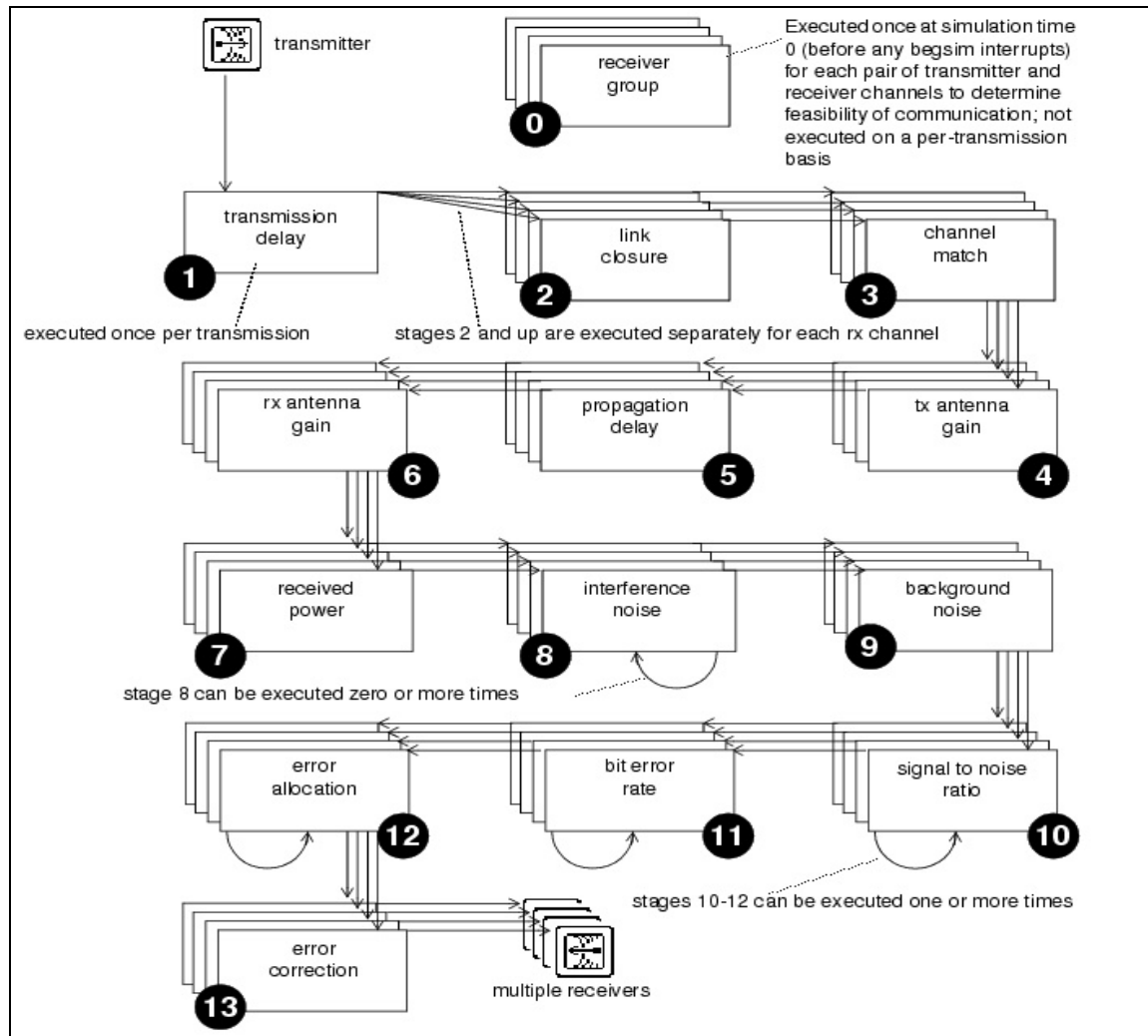
### **4.3.1 L'outil de simulation OPNET**

OPNET Modeler (*Optimized Network Engineering Tool*) d'OPNET Technologies Inc. est un outil de développement permettant la conception et l'étude des réseaux numériques, et des protocoles de communication avec une grande flexibilité. Son approche est orienté objet et il possède une interface graphique simple dans laquelle on place les différents composants du réseau à étudier. Il comprend plusieurs protocoles, technologies et applications incluant WLAN (IEEE 802.11). Nous avons utilisé la version 14.0 dans notre simulation.

### **4.3.2 Description des étapes des pipelines de transmission dans OPNET**

OPNET est un simulateur à base de paquet, l'émetteur, les récepteurs et les propriétés du canal radio sont modélés dans 14 étapes des pipelines de transmission (*Radio Link Transceiver Pipeline Stage*) (documentation d'OPNET).

Les 14 étapes des pipelines de transmission sont présentées dans la Figure 4.3:



**Figure 4.3 Les pipelines de transmission.**

Tiré de Documentation OPNET (chapitre Radio Transceiver Pipeline dans Overview)

- L'étape 0 : *Receiver Group*, est appelée une fois au début de la simulation. Elle fournit une technique d'accélération en optimisant le temps de simulation par l'élimination des récepteurs non éligibles. Son but est de créer un premier groupe de récepteur pour chaque canal d'émetteur. Le noyau de simulation vérifie chaque paire possible du canal de l'émetteur-récepteur, et crée un groupe de récepteur pour chaque canal d'émetteur.
- L'étape 1 : *Transmission Delay*, exécutée dès le début de la transmission, appelée une seule fois pour tous les canaux de destination. Elle évalue le temps nécessaire pour la transmission d'un paquet entier. C'est le résultat de la différence de temps entre le début et la fin de la transmission du paquet. Par défaut, le délai de transmission =

longueur du paquet / taux de données. Cette étape rajoute un événement de fin de transmission et signale le début de transmission du paquet suivant.

- L'étape 2 : Closure, appelée pour chaque destination et immédiatement après l'étape 1. Elle détermine si le signal physique peut atteindre la destination et permet de gérer dynamiquement le voisinage radio. Ses résultats sont une transmission ou une obstruction.
- L'étape 3 : Channel Match, son but est de classifier la transmission en basant sur la fréquence, bande passante, débit, codage, etc. Ce qui résulte à caractériser la transmission: valide, bruitée ou ignorée. Si les paquets ignorés, seront détruits (fin du pipeline).
- L'étape 4 : Transmitter Antenna Gain, calcul du gain de l'antenne émettrice (dB) en tenant compte de la direction du récepteur.
- L'étape 5 : Propagation Delay, calcul du temps de propagation émetteur et récepteur. Ce délai de propagation dépend de la distance et la vitesse de la propagation (délai = distance / vitesse).
- L'étape 6 : Receiver Antenna Gain, pour chaque récepteur, c'est la première étape après le début de la réception, calcul du gain de l'antenne réceptrice (dB) en tenant compte de l'orientation de l'antenne émettrice.
- L'étape 7 : Received Power. Calcul du niveau de la puissance du signal reçu, elle est basée sur la puissance d'émission, la fréquence, la distance, les gains des antennes, et calculée pour tous les paquets valides ou bruités.
- L'étape 8 : Interference Noise, en cas de transmissions simultanées. Cette étape tient compte des transmissions concurrentes et calcule les effets du bruit sur les paquets valides. Elle est utilisée dans l'étape 10 pour calculer le taux signal sur bruit (SNR).

Les étapes 9 à 12 du pipeline sont appelées pour évaluer la performance d'un lien en réponse aux changements de l'état du signal. Il y a toujours au moins une invocation des étapes 10 à 12 pour évaluer la performance au-dessus de la pleine durée d'un paquet valide. Cependant, une invocation additionnelle se produira pour chacune de ces étapes (9-12) à chaque fois qu'un paquet d'interférence arrive, pour calculer les conditions du nouveau signal.



- L'étape 9 : *Background Noise*, intègre les différentes sources de bruit (*background*). Elle prend en compte :  
Bruit thermique (et bruit galactique);  
Émissions électroniques du voisinage;  
Possibilité de rajouter autres sources de bruit.  
Ce bruit est utilisé dans l'étape 10 pour calculer le taux signal sur bruit (SNR).
- L'étape 10 : *Signal-to-Noise Ratio*, uniquement pour les paquets valide. Cette étape calcule le taux signal sur bruit (SNR), elle est basée sur la puissance de réception et le bruit.
- L'étape 11 : *Bit Error Rate*, uniquement pour les paquets valides. Cette étape calcule la probabilité des bits erronés et est calculée pour chaque segment de paquet (à SNR constant).
- L'étape 12 : *Error Allocation*, cette étape estime les bits erronés pour un segment de paquet et est utilisée dans l'étape 13 pour la correction d'erreurs.
- L'étape 13 : *Error Correction*, uniquement pour les paquets valides. Cette étape détermine si un paquet est acceptable ou non.

Puisque les liaisons hertziennes n'existent pas en tant qu'objets physiques, les étapes de pipeline utilisées pour soutenir une transmission radio particulière doivent être associées à l'émetteur radio et au récepteur radio qui forment le lien. Les six premières étapes (groupe de récepteurs, délai de transmission, établissement du lien, compatibilité des canaux, gain de l'antenne émettrice et les délais de propagation) sont associées à l'émetteur. Et les autres huit étapes (gain de l'antenne réceptrice, puissance reçue, bruit background, bruit dû aux interférences, rapport signal sur bruit, taux d'erreurs bits, modèle d'erreurs et la correction d'erreurs) sont associées au récepteur.

### 4.3.3 Le code Reed Solomon dans OPNET

Pour implémenter le code Reed Solomon, deux nouveaux attributs sont utilisés : le nombre de symboles transmis ( $n$ ), et le nombre de symboles d'information ( $k$ ). Le nombre d'erreurs de bits corrigeable ( $t$ ) qui est calculé à partir de  $n$  et  $k$ , où  $2t = n - k$ . Selon le code RS, afin de

corriger les erreurs, l'émetteur attachera  $n-k$  bits de parité pour chaque  $k$  bits de données. Ce comportement a été modélisé en changeant la première étape de pipeline responsable de calculer le délai de transmission. Pour chaque paquet, nous avons calculé les bits de parité supplémentaires exigés de RS. Ensuite, nous avons ajouté les bits supplémentaires à la longueur du paquet, qui est utilisé pour calculer le délai de transmission. Dans le côté du récepteur, l'étape 12 qui est l'étape d'attribution des erreurs détermine le nombre des bits erroné dans le paquet basant sur les BER calculés dans l'étape 11. Dans l'étape 13, qui est pour la correction d'erreurs, le modèle original décide s'il accepte ou rejette le paquet selon l'attribut de seuil *ecc\_thresh*. Cette étape a été remplacé par notre modèle qui rejette tous les paquets avec le nombre de bit erroné plus grand que  $2t$  (Chow, Chan et Khushal, 2002).

#### 4.4 Les modèles de simulation OPNET

Afin de mieux présenter l'effet de la correction d'erreurs FEC et de la qualité de service QoS (DiffServ), des simulations d'un réseau MANET et avec différentes conditions ont été effectuées. Nous avons classé les simulations dans quatre modèles différents, le premier est sans problème et les trois autres sont avec des situations d'erreurs.

##### 4.4.1 MOD 1 : Modèle de référence

La simulation a été faite à l'aide du logiciel OPNET version 14.0. Tout d'abord, nous avons créé un réseau ad hoc mobile à multi-sauts. Ce réseau Ad hoc mobile est constitué de 100 stations WLAN (Workstation LAN) qui sont distribuées dans une aire de la forme d'un carré (*grid*) de  $1000 \times 1000 \text{ m}^2$  (Figure 4.4). La topologie de carré a été utilisée afin d'augmenter les chances de trouver des différentes routes entre la source et la destination. La portée de transmission de chaque nœud est presque 430 m. La source et la destination sont présentées sur la Figure 4.4, et elles sont été choisies de façon que l'une soit à l'extérieur de la portée de transmission de l'autre. Nous avons utilisé deux applications : la vidéo conférence et la voix. Le protocole de routage utilisé est l'AODV. Le temps de simulation est de 5 minutes. Afin de prendre ce modèle comme référence, la simulation a été faite pour le réseau sans aucune

variation dans les paramètres des stations. En d'autres termes, il n'y a pas de *background traffic*, toutes les stations sont fixes et la puissance n'est pas réduite. Le Tableau 4.1 et le Tableau 4.2 représentent les paramètres de la vidéo conférence et de la voix respectivement.

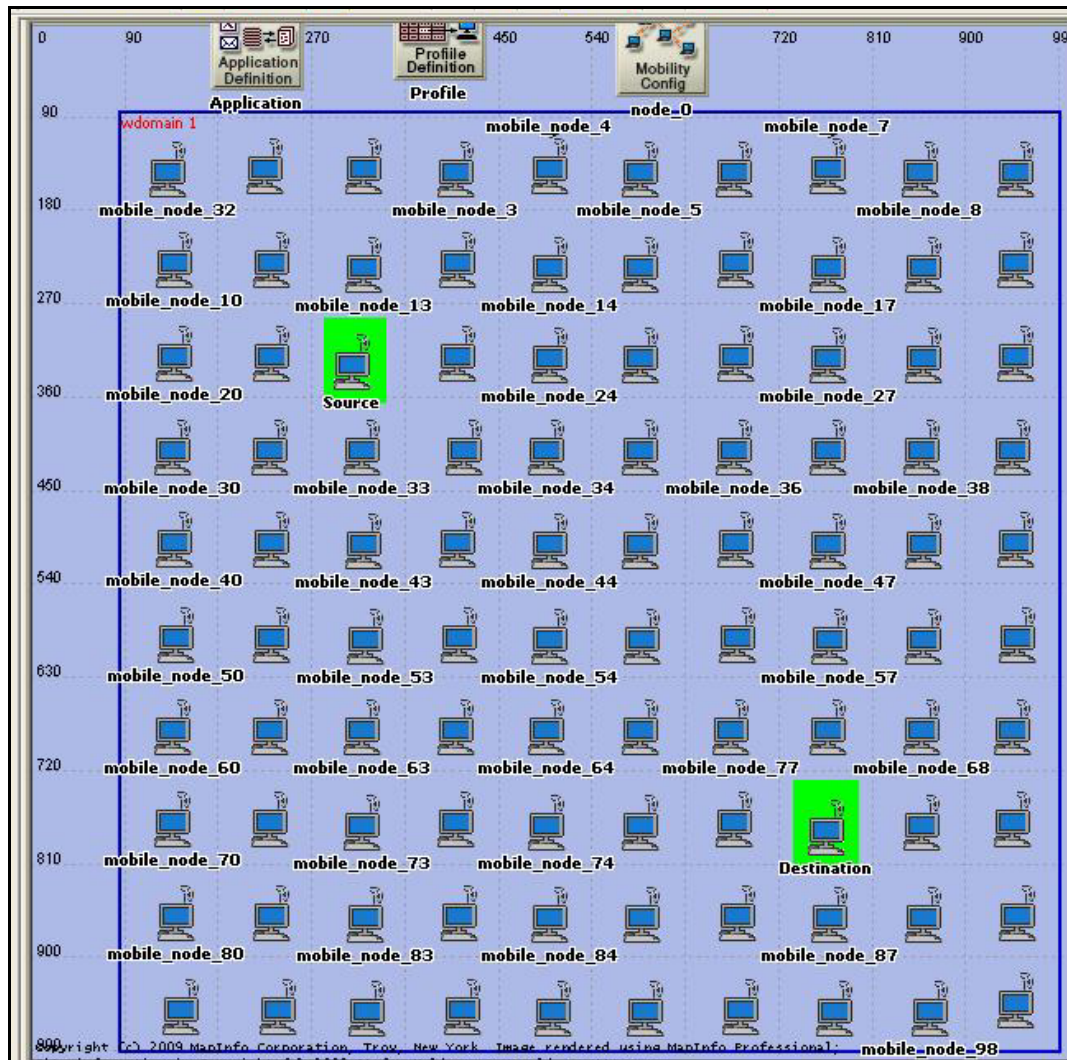


Figure 4.4 Le réseau Ad hoc simulé dans OPNET.

Nous avons utilisé les paramètres par défaut des profils des applications. Les profils de ces deux applications sont exécutés en série et le temps de départ de ces profils est uniforme (100,110) secondes et la durée est jusqu'à la fin de la simulation et elles se répètent une fois

au début. Le temps de départ de chaque application dans son profile est uniforme (5,10) secondes et la durée est jusqu'à la fin du profile et sa répétition est illimitée.

Tableau 4.1 Les paramètres de l'application vidéo conférence

• <b>Information du temps entre arrivées de la trame</b>	12.5 trames/sec
• <b>Taille de la trame entrante</b>	640 octets
• <b>Taille de la trame sortante</b>	640 octets
• <b>Nom de la destination</b>	Vidéo destination
• <b>Type de service</b>	Multimédia Interactive (5)

Tableau 4.2 Les paramètres de l'application voix

• <b>Nom de la destination</b>	Voice destination
• <b>Système d'encodage</b>	G.711
• <b>Trames de voix par paquet</b>	20
• <b>Type de service</b>	Interactive voix (6)

#### 4.4.2 MOD 2 : Modèle de la mobilité

Dans ce modèle, nous avons simulé le même réseau décrit précédemment (MOD1) mais, en déplaçant la source et la destination avec une vitesse de 10 m/s sans temps de pause afin de créer des situations d'erreurs dans le réseau (le problème de nœud caché déjà expliqué) pour voir l'effet de la correction d'erreurs FEC et de la QoS au réseau.

Il est important de souligner que nous avons utilisé les paramètres par défaut de l'EDCA afin d'appliquer la QoS dans notre réseau (Tableau 4.3).

Dans tous les scénarios simulés dans ce modèle, il y a un *background traffic* qui n'est pas à temps réel, le FTP (*File Transfer Protocol*). Ce *background traffic* se trouve entre plusieurs stations du réseau et cela pour rendre le réseau plus réel. Ses stations ont été choisies d'une façon de bloquer les routes entre la source et la destination et les obliger de passer toujours à travers le réseau où il y a un *background traffic* (Figure 4.5). Nous avons choisi trois niveaux du trafic background: bas, moyen et haut. Ceci est pour voir l'influence du trafic sur les résultats des deux applications étudiées (voix et vidéo conférence). Pour chaque niveau de trafic background, nous avons varié la taille des paquets. Les valeurs de ces trois niveaux sont présentées ci-dessous :

- Le niveau de *background traffic* faible est : 1000 octets chaque 1 seconde.
- Le niveau de *background traffic* moyen est : 22000 octets chaque 1 seconde.
- Le niveau de *background traffic* élevé est : 50000 octets chaque 1 seconde.

Tableau 4.3 Les paramètres par défaut d'EDCA utilisés dans Opnet

<b>Application</b>	<b>AC</b>	<b>CWmin</b>	<b>CWmax</b>	<b>AIFSN</b>
Voix	AC-VO	$(PHY\ CWmin + 1) / 4 - 1$	$(PHY\ CWmin + 1) / 2 - 1$	2
Vidéo	AC-VI	$(PHY\ CWmin + 1) / 2 - 1$	PHY CWmin	2
<i>Best-Effort</i>	AC-BE	PHY CWmin	PHY CWmax	3
<i>Background</i>	AC-BK	PHY CWmin	PHY CWmax	7

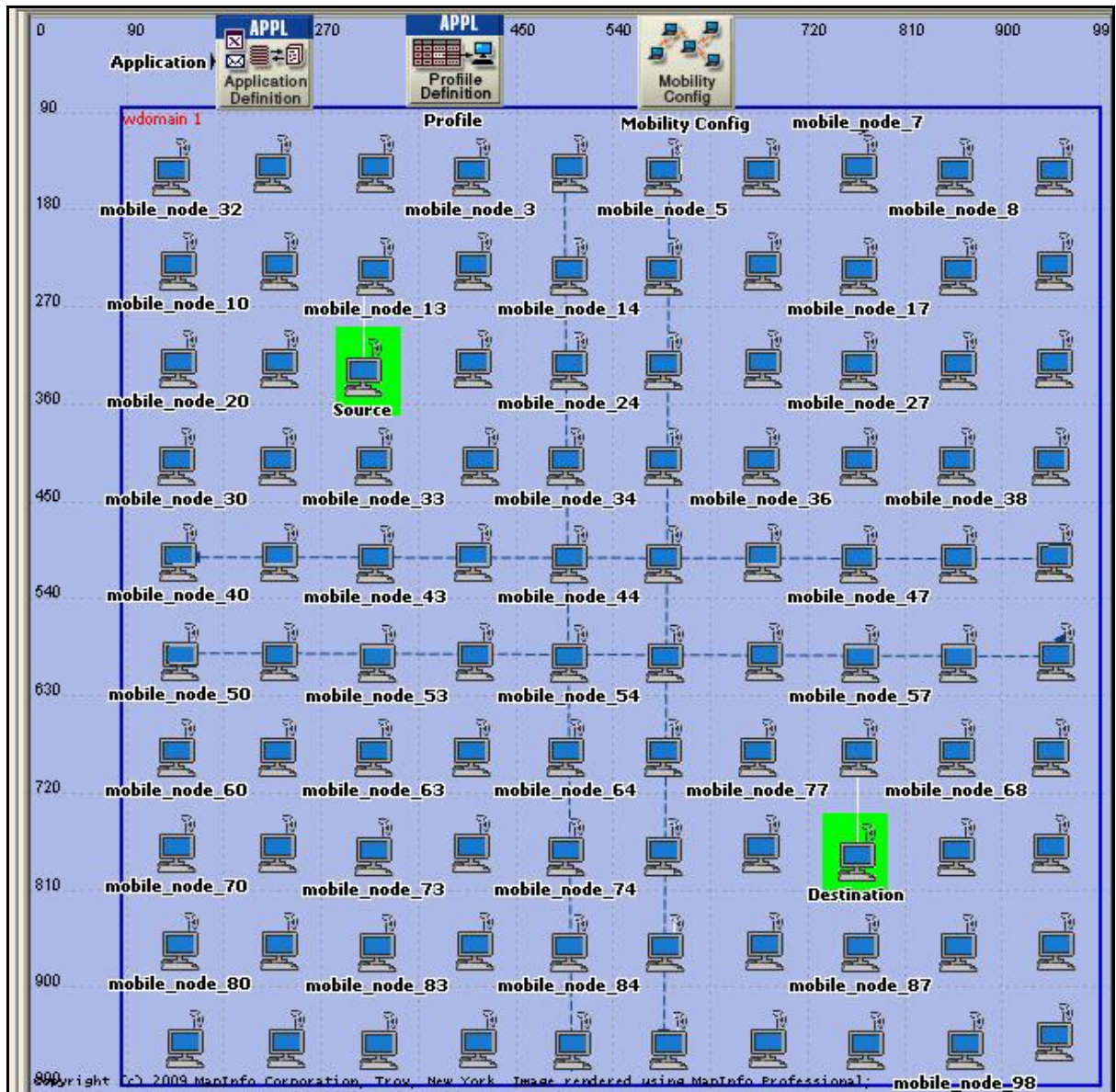


Figure 4.5 Le *background traffic* présenté sur le réseau Ad hoc simulé.

#### 4.4.3 MOD 3 : Modèle de la réduction de la puissance

Dans ce modèle, nous avons simulé le même réseau décrit précédemment (le paragraphe 4.4.2) mais maintenant la source seule qui se déplace et la puissance des stations a été diminuée de sorte que chaque station ne couvre qu'une seule station (presque 150 m). Nous avons fait cela afin d'affaiblir le signal et de créer des situations (des pertes et des

erreurs) dans le réseau pour voir l'influence de la qualité de service et la correction d'erreurs FEC.

#### **4.4.4 MOD 4 : Modèle de la mobilité et de réduction de la puissance en même temps**

Dans ce modèle, nous avons combiné les deux derniers modèles exposés ci-dessus. C'est-à-dire que, la source et la destination se déplacent aléatoirement selon le modèle *Random Waypoint* et la puissance est réduite.

La simulation a été réalisée, pour chacun des modèles précédents, sous forme de quatre scénarios différents : avec et sans l'intégration de la correction d'erreurs FEC (le Reed Solomon) et avec et sans l'utilisation de la qualité de service.

En outre, les simulations des trois modèles de création d'erreurs (MOD 2, MOD 3 et MOD4) avec les quatre scénarios (avec et sans FEC, avec et sans QoS) ont été répétées, pour les trois niveaux de *background traffic*.

D'après la simulation, nous espérons savoir ce qu'ajoute la QoS à un tel réseau. Si la QoS et la correction d'erreurs FEC optimisent les ressources du réseau et si elles garantissent de bonnes performances aux applications en minimisant le délai de bout en bout et la gigue et en diminuant le nombre des pertes. Et nous souhaitons savoir si l'application de l'une de ces deux méthodes seule, suffira dans certain cas.

## CHAPITRE 5

### RÉSULTATS ET ANALYSES

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats et les analyses des simulations relatives à notre travail, qui sont effectuées avec le logiciel OPNET 14.0.

#### 5.1 Les métriques de performance

Avant de présenter les résultats et les analyses des simulations réalisées, nous définirons quelques termes qui seront abordés dans ce chapitre. Ces définitions, tirées de la documentation d'OPNET, sont:

- Délai de bout en bout de la vidéo conférence ou PEED (Packet End to End Delay) video: le temps que prend un paquet vidéo partant de la couche application de la source et arrivant à la couche application de la destination. Cette statistique enregistre des données relatives à tous les nœuds du réseau.
- Délai de bout en bout de la voix ou PEED (Packet End to End Delay) voice: Le délai total d'un paquet de voix, nommé le délai "mouth-to-ear". Cette valeur est donnée par la formule :  
Délai "mouth-to-ear" = délai du réseau + délai de codage + délai de décodage + délai de compression + délai de décompression.

Les termes ci-haut mentionnés se définissent ainsi :

- Le délai du réseau est le temps pendant lequel l'émetteur cède le paquet au RTP (*Real Time Protocol*) jusqu'au temps où le récepteur le reçoit du RTP.
- Le délai de codage (sur le nœud émetteur) est calculé par l'encodeur. Notons que le délai de décodage (sur le nœud de récepteur) est égal au délai de codage.



- Les délais de compression et de décompression deviennent des attributs correspondants dans la configuration de l'application voix. Cette statistique enregistre des données de tous les nœuds dans le réseau.
- La gigue mesure les écarts entre les délais de transmission. Par exemple soit deux paquets consécutifs qui sont émis de la source aux instants  $t_1$  et  $t_2$  et ils s'exécutent à la réception aux instants  $t_3$  et  $t_4$ , ce qui donne l'équation suivante :  
La gigue =  $(t_4 - t_3) - (t_2 - t_1)$ .  
La gigue négative indique que la différence entre les temps de réception des deux paquets (à la destination) est inférieure à celle relative aux temps de leurs émissions (à la source).
- Les paquets perdus correspondent à la taille totale des paquets de données perdus de la couche supérieure (en bits/seconde) par tous les MAC de WLAN dans le réseau à cause des insuccès de retransmissions.

## 5.2 Les critères de la qualité de service de la voix et de la vidéo

1. La qualité de service pour un flux voix sur IP nécessite les critères suivants (Moawad, 2004) :
  - Le délai de bout en bout unidirectionnel est excellent s'il est entre 100 et 150 ms et acceptable s'il est entre 150 ms et 250 ms. De plus, il peut être tolérable s'il est strictement inférieur à 400 msec.
  - La gigue de délai est excellente si elle est inférieure à 40 ms et acceptable si elle est entre 40 ms et 75 ms.
  - Le taux de pertes de paquets est excellent s'il est inférieur à 5%.
2. Les paramètres de la qualité de service requise pour la vidéo sont d'après (UNM, 1997) :
  - Le délai de bout en bout de 200 msec peut être toléré.
  - La gigue de la vidéo de mauvaise qualité est de 5 msec.
  - La tolérance des erreurs et la perte des paquets est à peu près 0.01%.

Pour chaque niveau de background trafic (bas, moyen et haut), nous avons simulé quatre scénarios différents : scénario de base, scénario avec FEC, scénario avec QoS et scénario avec FEC et QoS en même temps. Les résultats de ces simulations sont présentés ci-dessous.

### 5.3 Les résultats et les analyses des modèles avec *background traffic* bas

Le *background traffic* utilisé, dans les scénarios suivants, est de niveau bas. En d'autres termes, nous envoyons 1000 octets chaque 1 seconde.

Les paramètres utilisés dans ce modèle sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.1 Les paramètres utilisés dans la simulation

<b>Nombre des stations</b>	100
<b>Terrain</b>	Carré de 1000 m x 1000 m
<b>Le déplacement de la source et la destination</b>	Modèle Random waypoint
<b>Applications considérées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vidéo conférence de type <i>interactive multimedia</i></li> <li>• voix de type <i>interactive voice</i></li> </ul>
<b>Taille des paquets vidéo</b>	640 octets entrants et 640 octets sortants
<b>Le codeur de la voix</b>	G.711
<b>Temps de simulation</b>	5 minutes
<b>Protocole de routage</b>	AODV
<b>Les valeurs de Reed Solomon utilisées</b>	RS (255,231)
<b>WLAN</b>	802.11g
<b>Data rate</b>	11 Mbps

### **5.3.1 Les modèles des simulations de niveau de *Background traffic* bas**

#### **Scénario 1.bas Modèle de base**

C'est le modèle de base où la qualité de service et la correction d'erreurs ne sont pas utilisées.

#### **Scénario 1.1 bas Modèle de la mobilité**

Dans ce modèle, la destination et la source sont mise en mouvement afin de créer des situations d'erreurs dans le réseau. Ce scénario est simulé sans l'ajout de FEC et sans l'utilisation de la QoS afin de voir la situation du réseau avant l'ajout de la qualité de service.

#### **Scénario 1.2 bas Modèle de la réduction de la puissance**

Dans ce modèle, la source est mobile et la puissance des stations a été diminuée pour affaiblir le signal. Et par conséquence, générer de situations d'erreurs dans le réseau. Ce scénario sera pris comme un modèle de base parce qu'il est simulé sans l'utilisation de FEC et de la QoS.

#### **Scénario 1.3 bas Modèle de la mobilité et de la réduction de la puissance**

Dans ce modèle, nous associons les deux modèles décrivaient précédemment. C'est-à-dire que la source et la destination sont en mouvement, de plus la puissance est réduite.

#### **Scénario 2. bas Modèle avec FEC seulement**

Dans ce scénario, nous appliquons seulement le Reed Solomon qui est un type de FEC.

#### **Scénario 2.1 bas Modèle de mobilité avec FEC seulement**

Dans ce scénario, la correction d'erreurs FEC a été ajoutée pour corriger les erreurs créées par le déplacement de la source et la destination.

**Scénario 2.2 bas Modèle de réduction de la puissance avec FEC seulement**

La réduction de la puissance des stations sans fil génère des situations d'erreurs qui peuvent être corrigées par l'ajout de la correction d'erreurs FEC.

**Scénario 2.3 bas Modèle de la mobilité et de la réduction de la puissance avec FEC seulement**

La correction d'erreurs FEC seule est utilisée dans ce modèle afin de corriger les erreurs éprouvées par la mobilité de la source et de la destination et par la réduction de la puissance.

**Scénario 3. bas Modèle avec QoS**

Dans ce scénario, nous avons introduit la QoS. Pour ce faire, le protocole EDCA a été appliqué. L'objectif est de voir si la QoS est apte à améliorer la situation du réseau ou non.

**Scénario 3.1 bas Modèle de la mobilité avec QoS seulement**

En déplaçant la destination et la source, des situations d'erreurs seront créées. Alors, la QoS est utilisée pour obtenir des résultats optimaux dans ce modèle.

**Scénario 3.2 bas Modèle de réduction de la puissance avec QoS seulement**

Tout comme la mobilité, la réduction de la puissance crée elle aussi des situations d'erreurs dans le réseau. En conséquence, la QoS est utilisée, dans ce scénario, afin de minimiser les erreurs dans le réseau.

**Scénario 3.3 bas Modèle de la mobilité et de la réduction de la puissance avec la QoS seulement**

La qualité de service seule est utilisée, dans ce modèle, afin de corriger les erreurs éprouvées par la mobilité de la source et de la destination et par la réduction de la puissance.

#### **Scénario 4. bas Modèle avec FEC et QoS**

Telle que son nom l'indique, la correction d'erreurs FEC corrige les erreurs dans un réseau. La qualité de service, quant à elle, améliore la situation du réseau. Ainsi, ces deux méthodes permettent d'optimiser l'état du réseau. Cela entraîne à faire des simulations, à l'aide des deux méthodes, ce qui nous permet de confirmer s'il est toujours intéressant d'utiliser les deux méthodes combinées ou si l'une d'entre elles suffira, dans tous ou certains cas.

#### **Scénario 4.1 bas Modèle de la mobilité avec FEC et QoS**

Les deux méthodes : FEC et QoS doivent, en principe, améliorer la situation d'un réseau. Afin de savoir jusqu'à quel point cette affirmation est juste et si ce principe est applicable dans tous les cas ou dans des cas spéciaux seulement, nous générerons des situations d'erreurs dans un réseau MANET en déplaçant la destination et la source, tout en appliquant les deux méthodes présentées ci dessus.

#### **Scénario 4.2 bas Modèle de réduction de la puissance avec FEC et QoS**

Dans ce scénario, les deux méthodes FEC et QoS seront appliquées de façon combinée pour voir si elles corrigent la situation d'un réseau MANET ayant des problèmes, en diminuant les puissances des stations sans fil.

#### **Scénario 4.3 bas Modèle de la mobilité et de la réduction de la puissance avec FEC et QoS**

Dans ce modèle, la correction d'erreurs FEC est utilisée d'une façon combinée avec la QoS afin d'améliorer la situation du réseau.

### 5.3.2 Le modèle de référence

Ce scénario présente le modèle que nous utiliserons comme référence dans nos simulations. Dans ce scénario, nous simulons le même réseau sans *background traffic* ni mobilité, ni réduction de la puissance c'est-à-dire que toutes les stations du réseau sont fixes et la puissance utilisée est la même que celle utilisée dans le modèle de la mobilité. De plus, ni la correction d'erreurs FEC ni la QoS ne sont utilisées dans ce scénario.

Il est important de noter que les résultats de ce modèle apparaissent dans tous les graphes présentés ci-dessous.

Dans ce qui suit, nous présenterons les résultats des simulations faites pour tous les scénarios présentés précédemment.

### 5.3.3 Notation des graphes simulés

Afin de simplifier la compréhension des résultats et des graphes obtenus dans les prochains paragraphes, nous présenterons quelques notes :

- FQM est le nom de notre approche qui désigne FEC QoS pour Multimédia.
- Nous avons nommé les scénarios simulés de la manière suivante : niveau de *background traffic*, modèle de création d'erreurs utilisé, la méthode utilisée (FEC, QoS ou les deux ensembles). Par exemple : *Low Mobility Power QoS FEC* pour désigner que le *background traffic* utilisé est de niveau faible, le modèle de création d'erreurs utilisé est la mobilité avec la réduction de la puissance, la QoS et le FEC sont utilisés.
- Tous les scénarios qui n'utilisent pas la correction d'erreurs FEC ni la QoS sont présentés en bleu clair.
- Tous les scénarios qui utilisent la correction d'erreurs FEC seule sont présentés en bleu foncé.
- Tous les scénarios qui utilisent la qualité de service seule sont présentés en vert.

- Tous les scénarios qui utilisent la correction d'erreurs FEC de façon combinée avec la QoS sont présentés en rouge.
- Le modèle de référence est le même qui existe dans toutes les figures et il est présenté en jaune.

### 5.3.4 Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes

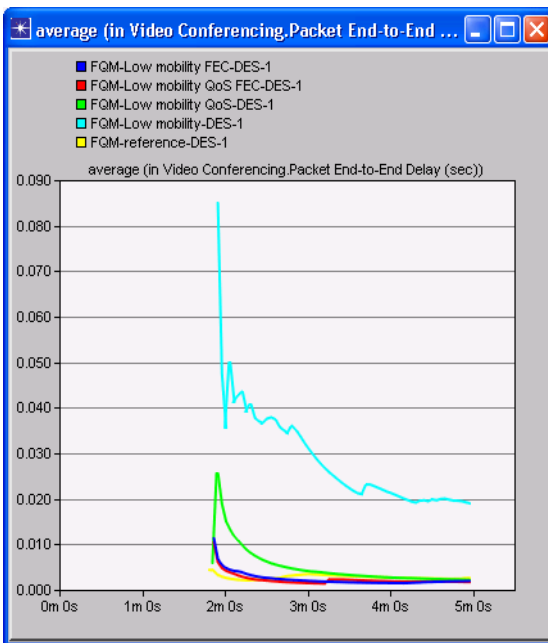


Figure 5.1 *PEED video*<sup>20</sup> du modèle de la mobilité avec *background traffic* bas.

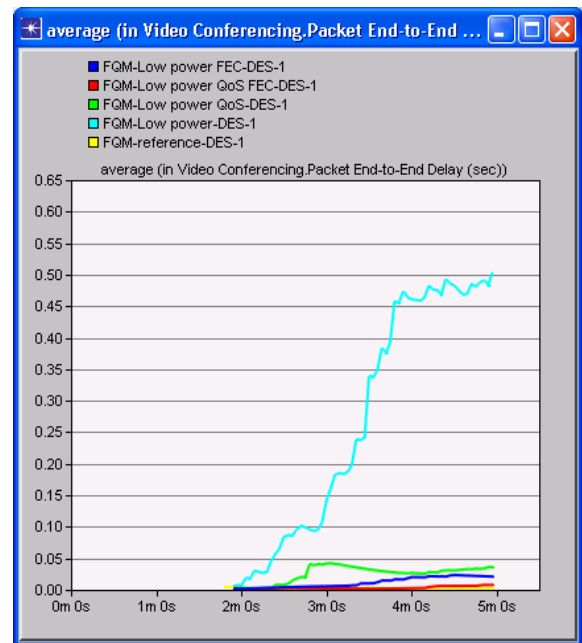


Figure 5.2 *PEED video* du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* bas.

La Figure 5.1 et la Figure 5.2 montrent que le délai de bout en bout de la vidéo conférence, en utilisant de façon combinée la correction d'erreurs FEC et la qualité de service (en rouge) et celui qui intègre le FEC seul (en bleu foncé) sont proches, dans un contexte de problèmes dans le réseau. Bien que, dans les deux cas, la qualité de service seule donne de bons résultats c'est-à-dire moins de 150 msec (en vert), mais l'utilisation de FEC et de QoS combinée reste la meilleure solution.

<sup>20</sup> *PEED Video* pour désigner le délai de bout en bout de la vidéo conférence.

Nous remarquons aussi que le *PEED video* du modèle de référence (en jaune) est un peu plus grand que celui qui utilise le FEC et la QoS chacun seul ou d'une façon combinée dans le modèle de mobilité tandis que ces derniers sont un peu plus élevés que le modèle de référence dans le modèle de la réduction de la puissance.

### 5.3.5 Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes

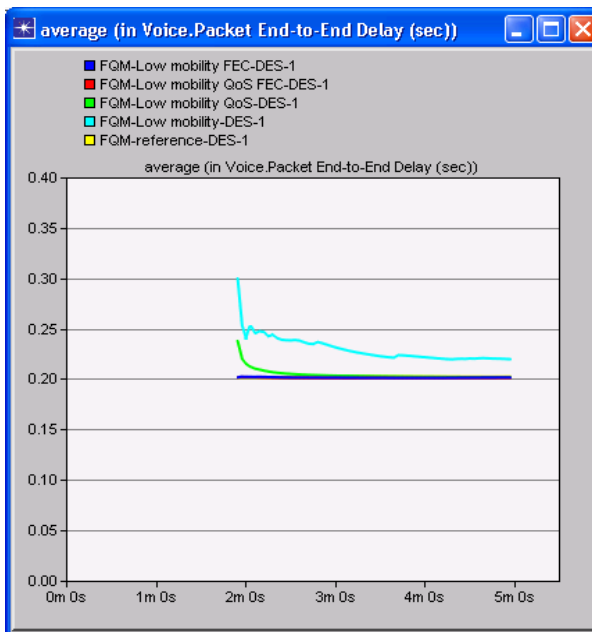


Figure 5.3 *PEED voice* du modèle de la mobilité avec *background traffic* bas.

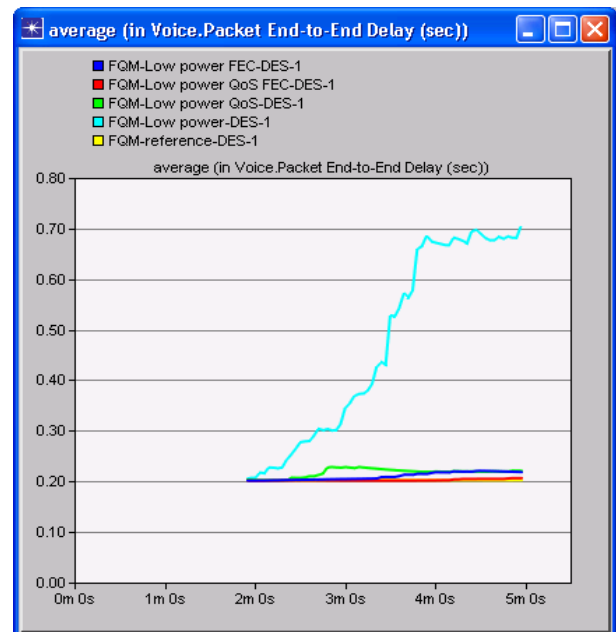


Figure 5.4 *PEED voice* du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* bas.

Dans le cas d'un réseau MANET avec un *background traffic* de niveau faible, nous remarquons que les délais de bout en bout de la voix en utilisant FEC seul ou avec la QoS sont proches surtout dans le cas de la mobilité (les graphes en bleu foncé et en rouge dans la Figure 5.3 et la Figure 5.4). Dans la Figure 5.4, nous remarquons que le délai de bout en bout en intégrant la correction FEC et la QoS d'une façon combinée (en rouge) est meilleur que celui qui utilise le FEC seul (en bleu foncé).

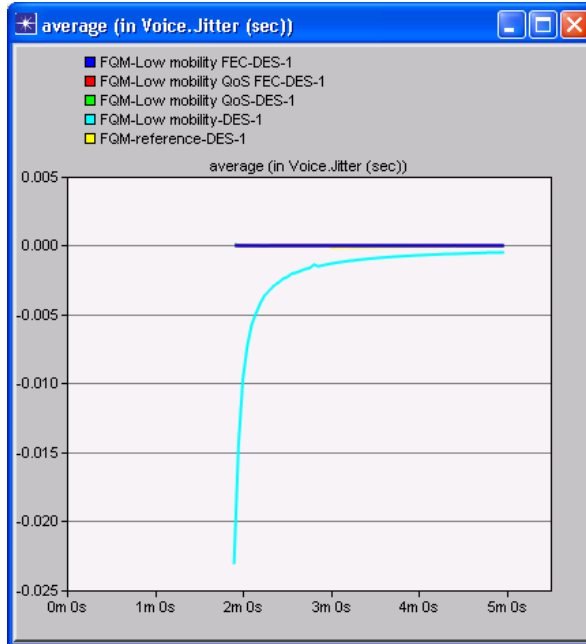


En outre, dans les deux cas de création d'erreurs, le délai de bout en bout utilisant la QoS seule a des valeurs acceptables c'est-à-dire plus petites que 250 msec. Ce qui nous permet de conclure que l'utilisation de la correction d'erreurs FEC et de la QoS chacune seule ou d'une manière combinée se montre très acceptable. Or, afin d'obtenir de meilleurs résultats, il serait préférable d'utiliser le FEC et la QoS en même temps.

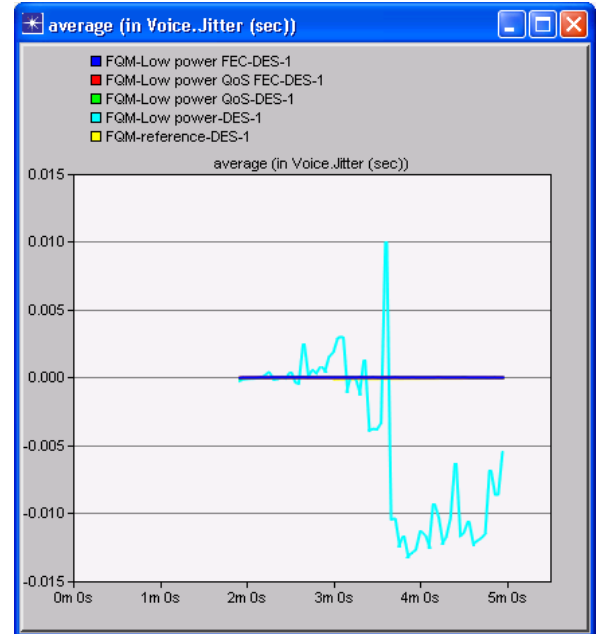
Il est bon de souligner que les graphes en bleu clair représentent le réseau sans l'utilisation de la QoS ni de la correction d'erreurs FEC, afin de voir sa situation avant l'ajout de la qualité de service.

D'ailleurs, nous remarquons que les valeurs obtenues de nos solutions proposées (les graphes en verts, rouge et bleu foncé dans la Figure 5.3 et la Figure 5.4) ne sont pas loin de celles du modèle de référence (en jaune).

### 5.3.6 Les résultats de la gigue de la voix en secondes



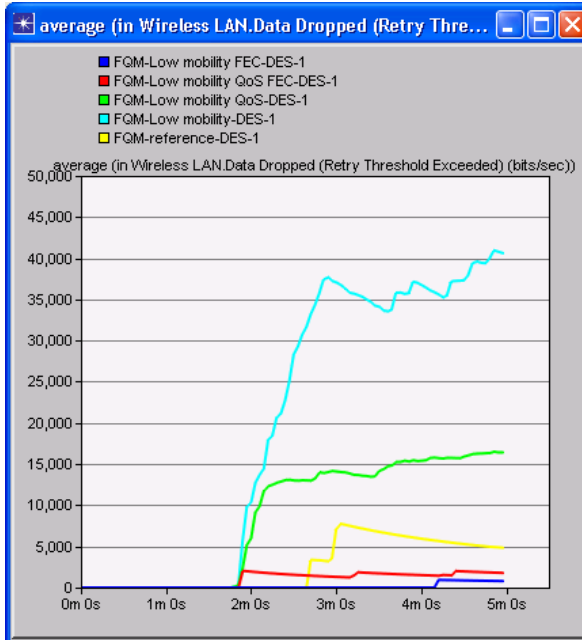
**Figure 5.5** Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec *background traffic* bas.



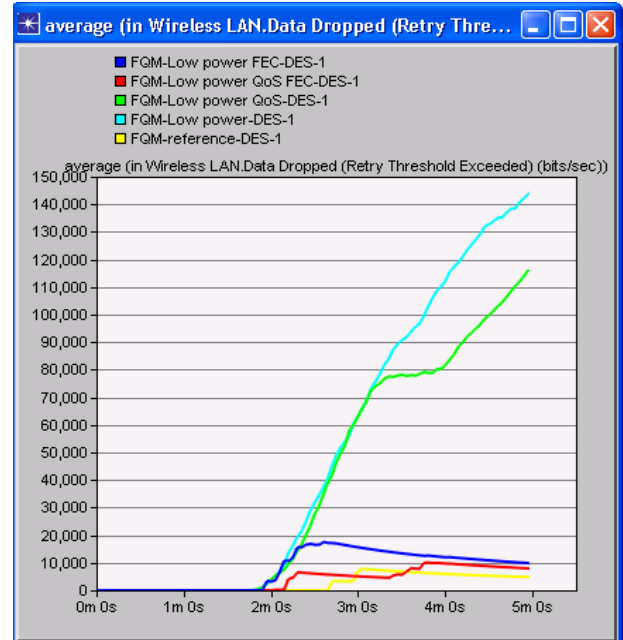
**Figure 5.6** Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* bas.

La Figure 5.5 et la Figure 5.6 montrent que dans un contexte de création d'erreurs, il n'y a pas une grande différence entre la gigue de la voix en utilisant le FEC et la qualité de service ensemble et celle en introduisant chacune d'entre elles à la fois. Ce qui permet de conclure que les trois solutions donnent des valeurs acceptables (proches de zéro) et stables en ce qui concerne la gigue.

### 5.3.7 La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/secondes



**Figure 5.7** La perte des paquets du modèle de la mobilité et *background traffic* bas.



**Figure 5.8** La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* bas.

Dans le cas de déplacement de la destination et avec l'utilisation de FEC et de la QoS chacune seule ou combinée, nous remarquons, d'après la Figure 5.7 que les pertes des paquets dans les stations du réseau relatives au *Retry Theshold Exceeded* en utilisant le FEC seul sont les plus faibles tandis que celles en intégrant le FEC et la QoS d'une façon combinée sont les plus petites dans la Figure 5.8.

Cependant, dans le cas de la QoS seule, nous remarquons une quantité considérable de pertes de données dues aux retransmissions excessives indiquant des états durs de contention et probablement à une « trop-petite » fenêtre de contention utilisée en contestant des stations.

D'ailleurs, la Figure 5.7 illustre que la quantité des pertes obtenue en intégrant le FEC seul ou en même temps avec la QoS est plus petite que celle obtenue avec le modèle de référence.

Pourtant, dans le cas de la réduction de la puissance (Figure 5.8), nous remarquons que les pertes dans le modèle de référence sont proches de celles obtenus en utilisant le FEC et la QoS en même temps.

Finalement, malgré que les résultats obtenus avec l'intégration de la correction d'erreurs FEC et la QoS chacune seule sont appropriés et proches de ceux obtenus en utilisant le FEC et la QoS ensemble. Nous pouvons conclure que, dans le cas d'un réseau MANET présentant des problèmes et en utilisant un *background traffic* de niveau bas, l'utilisation de la correction d'erreurs FEC conjointement avec la QoS donne de meilleurs résultats en ce qui concerne les délais de bout en bout de la vidéo conférence et de la voix, ainsi que pour la gigue de la voix et la perte des paquets.

#### **5.4 Les résultats et les analyses des modèles avec background trafic moyen**

Pour ce niveau de background trafic, nous répéterons les mêmes scénarios que nous avons décrits précédemment pour le *background traffic* bas, mais en fixant, cette fois ci, la taille des paquets à 22000 octets chaque 1 seconde.

Pour chacun des scénarios suivants, les deux modèles de création des situations d'erreurs seront utilisés qui sont le modèle de déplacement de la destination et le modèle de la réduction de la puissance.

##### **5.4.1 Les modèles des simulations de niveau de *Background traffic* moyen**

###### **Scénario 1. moyen Modèle de base**

Ce scénario représente le modèle de base où la qualité de service et la correction d'erreurs ne sont pas utilisées.

###### **Scénario 2. moyen Modèle avec FEC seulement**

Dans ce scénario, nous n'appliquons que le Reed Solomon, qui est un type de FEC.

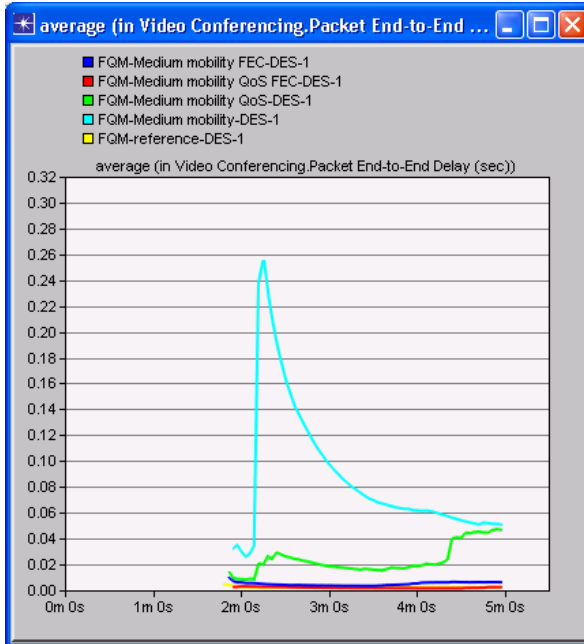
**Scénario 3. moyen Modèle avec QoS**

Dans ce scénario, le modèle de QoS choisi, à savoir l'EDCA a été ajouté afin de voir s'il est apte à améliorer la situation du réseau ou non.

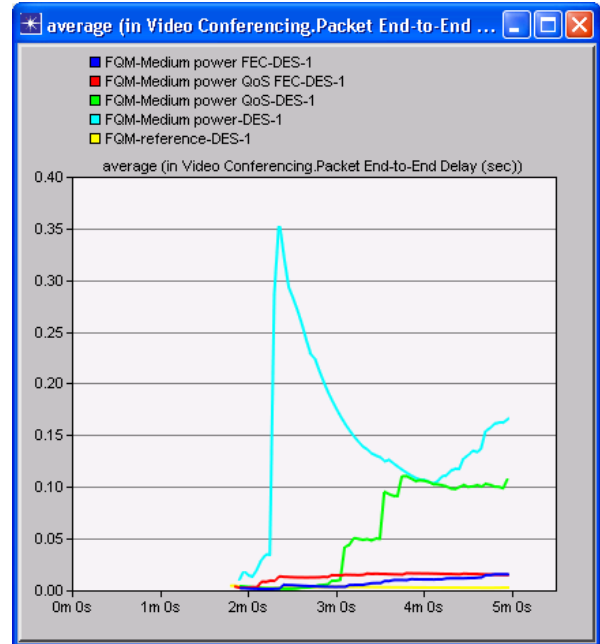
**Scénario 4. moyen Modèle avec FEC et QoS**

Comme nous l'avons déjà mentionné, la correction d'erreurs FEC corrige les erreurs dans un réseau et la qualité de service améliore la situation du réseau. Ce qui permet d'optimiser l'état du réseau. Or, est-il toujours primordial et indispensable d'utiliser les deux méthodes citées ci-dessus? Pour répondre à cette question nous réaliserons des simulations, dans lesquelles la méthode de correction d'erreurs et celle d'utilisation de la QoS seront ajoutées et examinées afin de découvrir dans quels cas nous devons avoir recours aux deux méthodes conjointement, et dans quels autres cas l'utilisation d'une seule d'entre elles suffira. Dans ce dernier cas, nous aimerions connaître laquelle des deux solutions est meilleure.

## 5.4.2 Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes



**Figure 5.9** *PEED video* du modèle de la mobilité avec *background traffic* moyen.



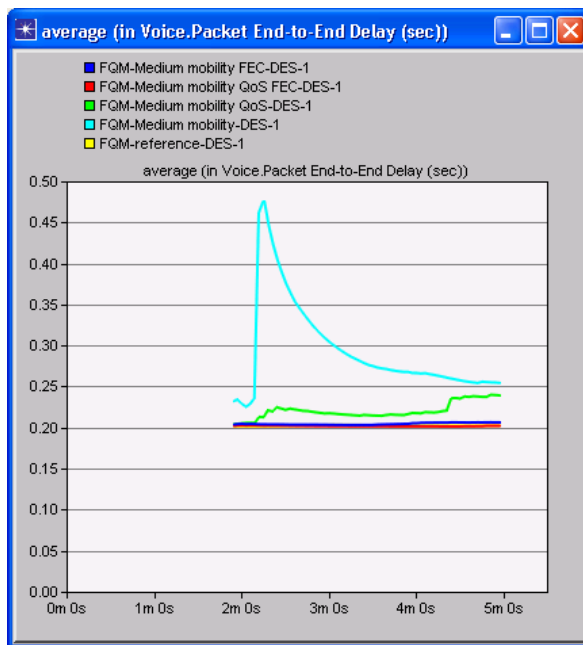
**Figure 5.10** *PEED video* du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* moyen.

La Figure 5.9 montre que le délai de bout en bout pour la vidéo, en utilisant la méthode de correction d'erreurs FEC seule (en bleu foncé), est proche de celui utilisant le FEC et la QoS ensemble (en rouge) dans le modèle de la mobilité tandis que dans le modèle de la réduction de la puissance le FEC montre une petite amélioration que dans le cas de FEC et QoS conjointement (en bleu foncé dans la Figure 5.10). L'incorporation de la qualité de service seule donne des valeurs acceptables qui sont inférieures à 120 msec mais elles sont plus élevées par rapport à celles obtenues en incorporant la correction d'erreurs FEC seul ou avec la QoS dans les deux modèles de créations d'erreurs (en vert).

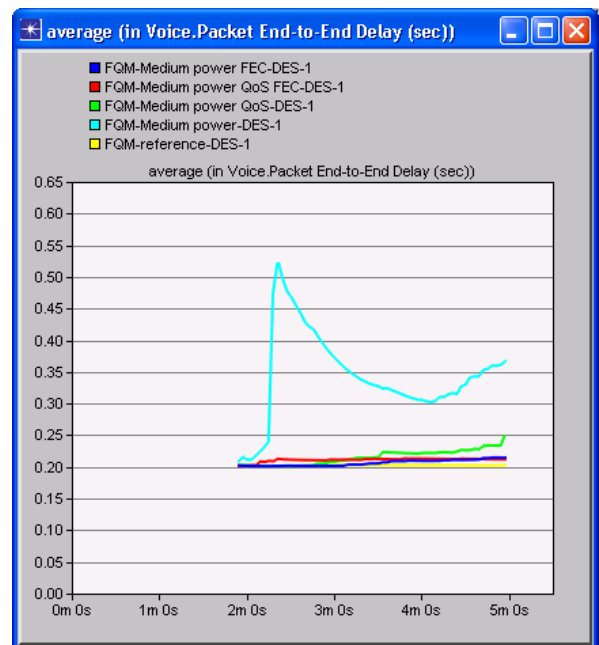
Nous pouvons, donc, conclure que lorsque la charge du réseau est moyenne et qu'il existe des problèmes dans le réseau, la correction d'erreurs FEC seule suffira pour obtenir un meilleur délai de bout en bout pour la vidéo conférence. Notons aussi que les valeurs

obtenues en intégrant le FEC seul et d'une façon combinée avec QoS sont proche de celles du modèle de référence.

### 5.4.3 Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes



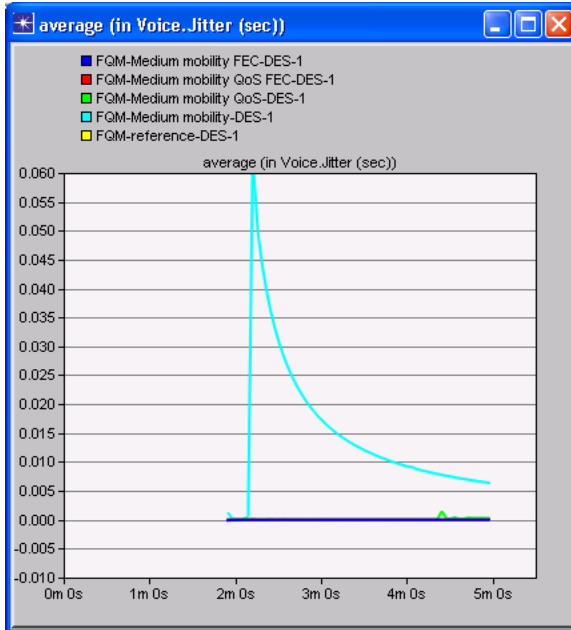
**Figure 5.11** *PEED* voice du modèle de la mobilité avec *background traffic* moyen.



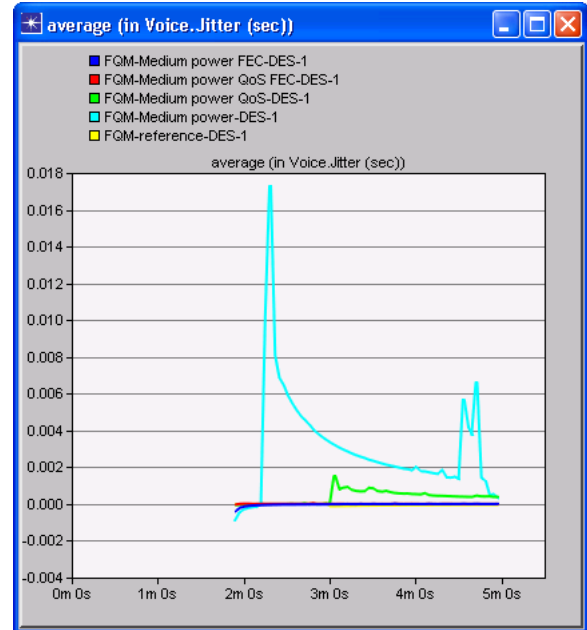
**Figure 5.12** *PEED* voice du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* moyen.

De même que pour la vidéo conférence, la Figure 5.11 et la Figure 5.12 montrent que, malgré que la QoS donne des résultats appropriés, l'utilisation de la méthode FEC seule suffira pour obtenir un meilleur délai de bout en bout de la voix dans le cas d'un réseau avec problèmes et avec une charge de réseau moyenne.

#### 5.4.4 Les résultats de la gigue de la voix en secondes



**Figure 5.13** Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec *background traffic* moyen.



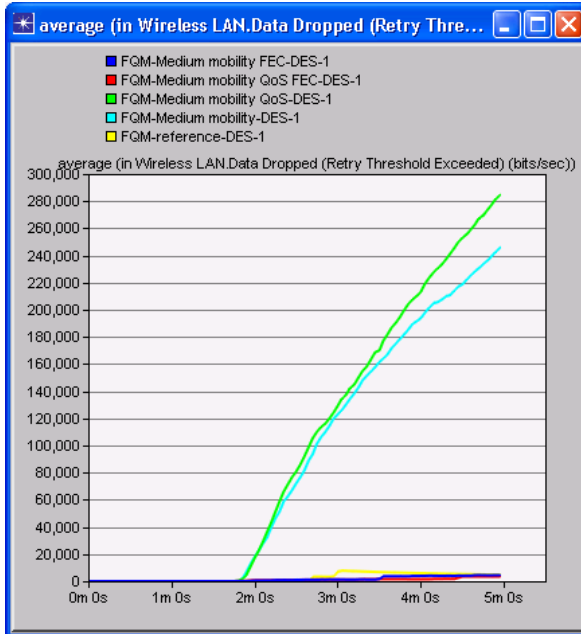
**Figure 5.14** Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* moyen.

La correction d'erreurs FEC seule ou combinée avec la qualité de service donne de bonnes valeurs qui sont proches du zéro et stables pour la gigue de la voix dans les deux méthodes de création des situations d'erreurs (en bleu foncé et en rouge dans les figures 5.13 et 5.14).

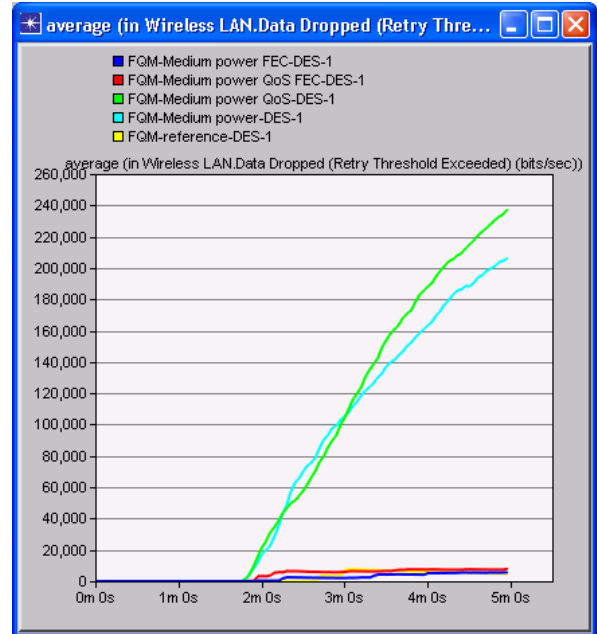
La qualité de service seule (en vert) donne aussi des valeurs très acceptables en ce qui concerne la gigue de la voix mais les deux autres solutions (FEC seul ou avec QoS) restent meilleures surtout quand on réduit la puissance (Figure 5.14).



### 5.4.5 La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/secondes



**Figure 5.15** La perte des paquets du modèle de la mobilité avec *background traffic* moyen



**Figure 5.16** La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* moyen.

La Figure 5.15 et la Figure 5.16 montrent que les pertes des paquets dues au *Retry Threshold Exceeded* en utilisant le FEC seul ou d'une manière combinée avec la QoS sont faibles ce qui montre la fiabilité de la correction d'erreurs au lieu de retransmettre les paquets erronés. Cependant nous remarquons, que le réseau subit des pertes considérables en intégrant la QoS seule ceci est à cause de l'utilisation d'une petite fenêtre de contention.

Pour conclure, les graphes précédents (de 5.9 à 5.16) montrent l'efficacité de la correction d'erreurs FEC. Il est clair que l'utilisation de FEC seul est préférable dans le cas d'un réseau avec problèmes, ayant un *background traffic* moyen qui serait généré entre les stations, car les résultats obtenus pour les délais de bout en bout relatifs à la vidéo conférence et à la voix ainsi que pour les résultats correspondants à la gigue de la voix et la perte des paquets sont meilleurs.

## **5.5 Les résultats et les analyses des modèles avec background trafic haut**

De même que pour les deux niveaux de *background traffic* bas et moyen. Dans ce cas, nous utiliserons le *background traffic* de niveau haut, en fixant la taille des paquets à 50000 octets chaque 1 seconde.

### **5.5.1 Les modèles des simulations de niveau de *Background traffic* haut**

Nous allons simuler les scénarios suivants. Chacun de ces scénarios sera simulé dans les deux cas de création d'erreurs à savoir la mobilité et la réduction de la puissance.

**Scénario 1. haut Modèle de base**

**Scénario 2. haut Modèle avec FEC seule**

**Scénario 3. haut Modèle avec QoS seule**

**Scénario 4. haut Modèle avec FEC et QoS de façon combinée.**

Un rappel des paramètres utilisés dans la simulation est présenté dans le Tableau 5.2:

Tableau 5.2 Les paramètres utilisés dans la simulation

<b>Nombre des stations</b>	100
<b>Terrain</b>	Carré de 1000 m x 1000 m
<b>Le déplacement de la source et de la destination</b>	Modèle Random waypoint
<b>Applications considérées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vidéo conférence de type <i>interactive multimedia</i></li> <li>• voix de type <i>interactive voice</i></li> </ul>
<b>Taille des paquets vidéo</b>	640 octets entrants et 640 octets sortants
<b>Le codeur de la voix</b>	G.711
<b>Temps de simulation</b>	5 minutes
<b>Protocole de routage</b>	AODV
<b>Les valeurs de Reed Solomon utilisées</b>	RS (255,231)
<b>WLAN</b>	802.11g
<b>Data rate</b>	11 Mbps

### 5.5.2 Les résultats du délai de bout en bout de la vidéo conférence en secondes

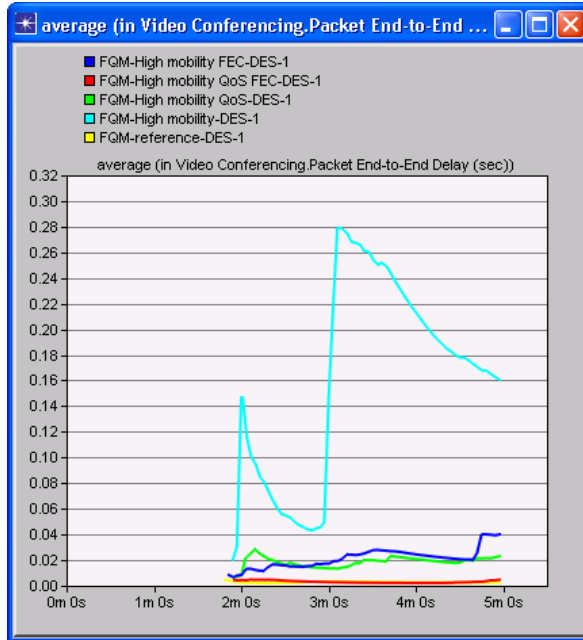


Figure 5.17 *PEED video* du modèle de la mobilité avec *background traffic* haut.

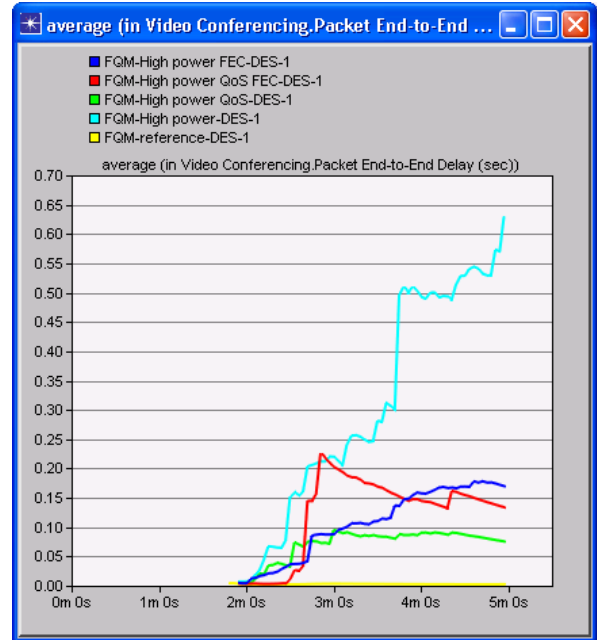
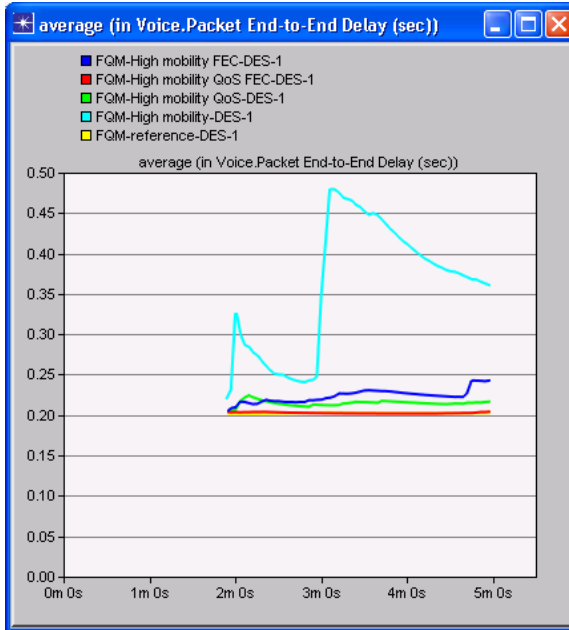


Figure 5.18 *PEED video* du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* haut.

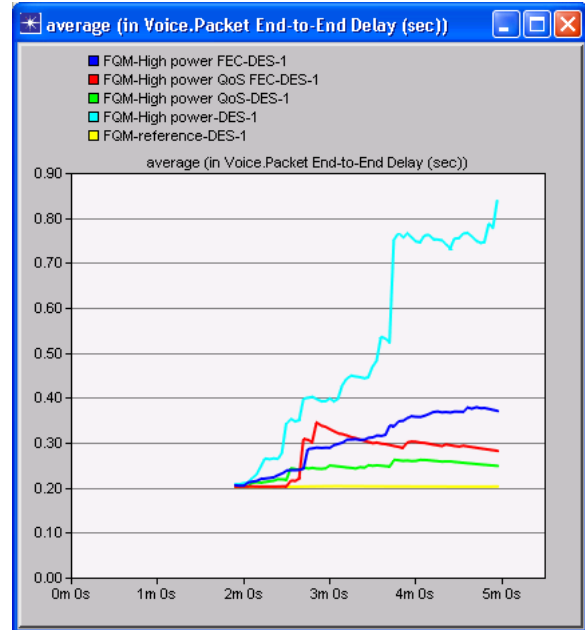
Dans le but de créer des situations d'erreurs dans le réseau, nous avons mis en mouvement la source et la destination. En effet, la Figure 5.17 montre que l'utilisation de la correction d'erreurs FEC de façon combinée avec la QoS (en rouge) donne un meilleur délai de bout en bout pour la vidéo conférence quand le *background traffic* utilisé est élevé. Mais, ce n'est pas le cas dans la Figure 5.18, lorsqu'on diminue la puissance, où on remarque que l'utilisation de la QoS seule (en vert) donne un meilleur délai de bout en bout pour la vidéo conférence. Pourtant la correction d'erreurs FEC seule montre des résultats convenables c'est-à-dire moins de 200 msec (en bleu foncé) dans le contexte de création d'erreurs.

Notons que le PEED du modèle de référence est inférieure (en jaune) à celui obtenu en utilisant la QoS et la FEC chacune seule ou d'une façon combinée.

### 5.5.3 Les résultats du délai de bout en bout de la voix en secondes



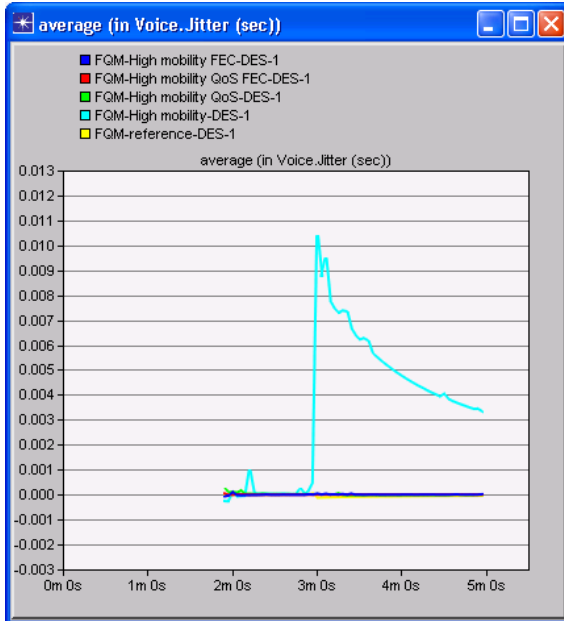
**Figure 5.19** *PEED* voice du modèle de la mobilité avec *background traffic* haut.



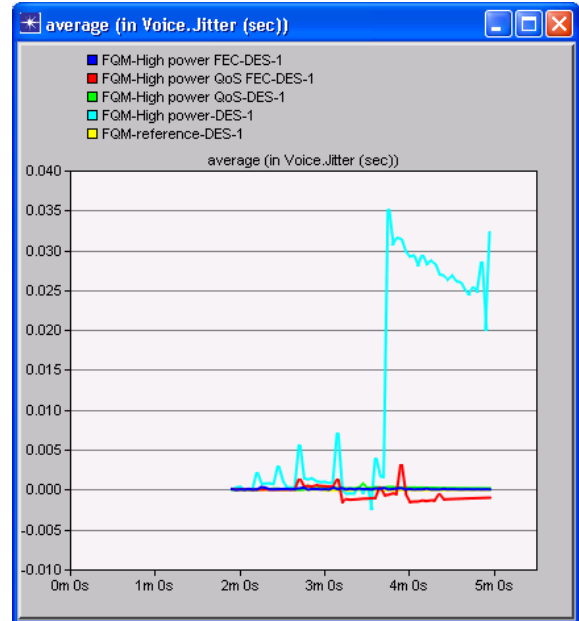
**Figure 5.20** *PEED* voice du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* haut.

Les résultats du délai de bout en bout de la voix sont proches de ceux obtenus pour la vidéo conférence, où nous remarquons que la correction d'erreurs FEC utilisée de façon combinée avec la QoS donne le meilleur PEED dans le cas de la mobilité (en rouge dans la Figure 5.19) tandis que dans le cas de la diminution de la puissance c'est la QoS seule qui offre le meilleur PEED (en vert dans la Figure 5.20). Nous remarquons aussi que la correction d'erreurs FEC utilisée seule donne un délai de bout en bout un peu plus élevé que celui dans les autres cas à savoir la QoS seule ou combinée avec FEC mais il reste acceptable parce qu'il est inférieur à 400 msec qui est la valeur limite qui peut être tolérer pour un trafic de la voix.

### 5.5.4 Les résultats de la gigue de la voix en secondes



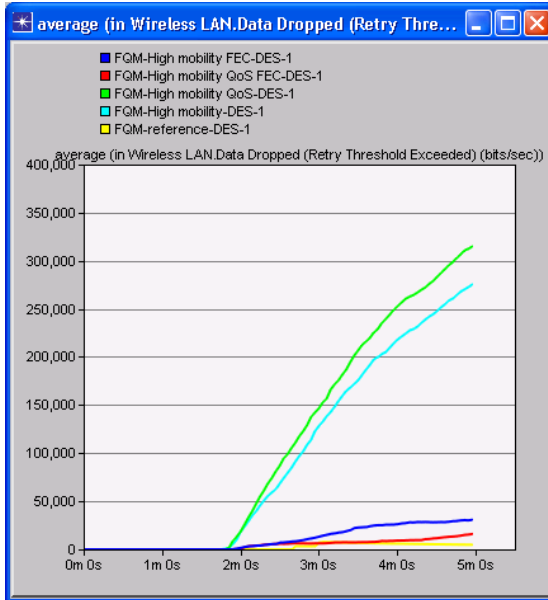
**Figure 5.21** Gigue de la voix du modèle de la mobilité avec *background traffic* haut.



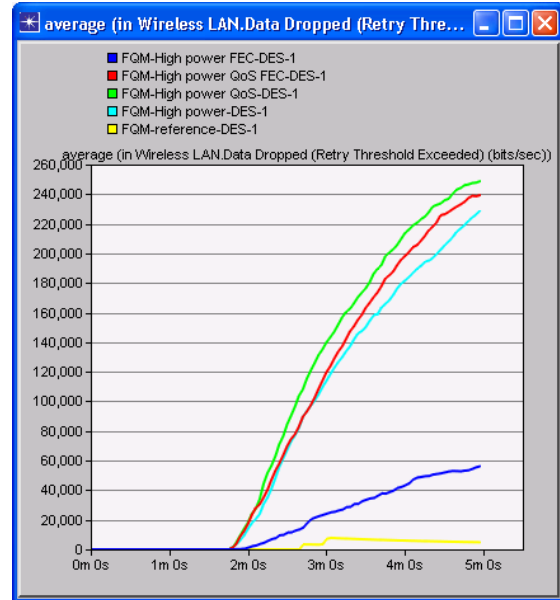
**Figure 5.22** Gigue de la voix du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* haut.

Lorsque la source et la destination se déplacent, l'utilisation de la correction d'erreurs FEC ou la QoS chacune seule donne des excellents résultats pour la gigue de la voix (les graphes en bleu foncé et en vert dans la Figure 5.21 et la Figure 5.22). En revanche, la qualité de service utilisée d'une manière combinée avec la FEC donne des valeurs qui ne sont pas très appropriées de la gigue lorsque nous diminuons la puissance (en rouge dans la Figure 5.22).

### 5.5.5 La perte des paquets des stations locales sans fil en bits/secondes



**Figure 5.23** La perte des paquets du modèle de la mobilité avec *background traffic* haut.



**Figure 5.24** La perte des paquets du modèle de diminution de la puissance avec *background traffic* haut.

Selon la Figure 5.23, l'utilisation de FEC de façon combinée avec la QoS subit des pertes dues au dépassement du seuil de tentative de la retransmission (*Retry Threshold Exceeded*) qui sont inférieures à celles que connaît le réseau dans les deux autres cas, à savoir l'utilisation de la QoS et la FEC chacune seule (en vert et en bleu foncé respectivement).

Pourtant, nous voyons bien, dans la Figure 5.23 et la Figure 5.24, que la quantité des paquets perdus éprouvée dans le réseau, dans le cas de FEC seul (en bleu foncé), n'est pas très grande et ceci grâce à la correction d'erreurs qui diminue le nombre de retransmission dans le réseau. Cependant, l'application de la QoS seule subit d'une grande quantité de perte parce qu'elle essaye toujours d'améliorer la situation du réseau en retransmettant les paquets lorsqu'il est congestionné.

En conclusion, dans le cas de *background traffic* élevé, les résultats obtenus en utilisant les trois méthodes (la correction d'erreurs FEC et la QoS chacune seule ou d'une façon combinée) semblent acceptables.

### **5.6 Les résultats de la simulation de la mobilité et la réduction de la puissance en même temps**

Dans ce paragraphe, nous allons présenter les résultats des simulations des scénarios en intégrant la mobilité et la diminution de la puissance ensemble pour les trois niveaux de *background traffic* (Bas, moyen et haut). En d'autres termes, la source et la destination se déplacent à une vitesse de 10 m/sec sans temps de pause et la puissance est réduite de sorte que la portée de transmission de la station ne couvre qu'une seule station. Les paramètres utilisés dans ses simulations sont le mêmes que ceux présentés dans le Tableau 5.2.



### 5.6.1 Les résultats des simulations pour le *background traffic* de niveau faible

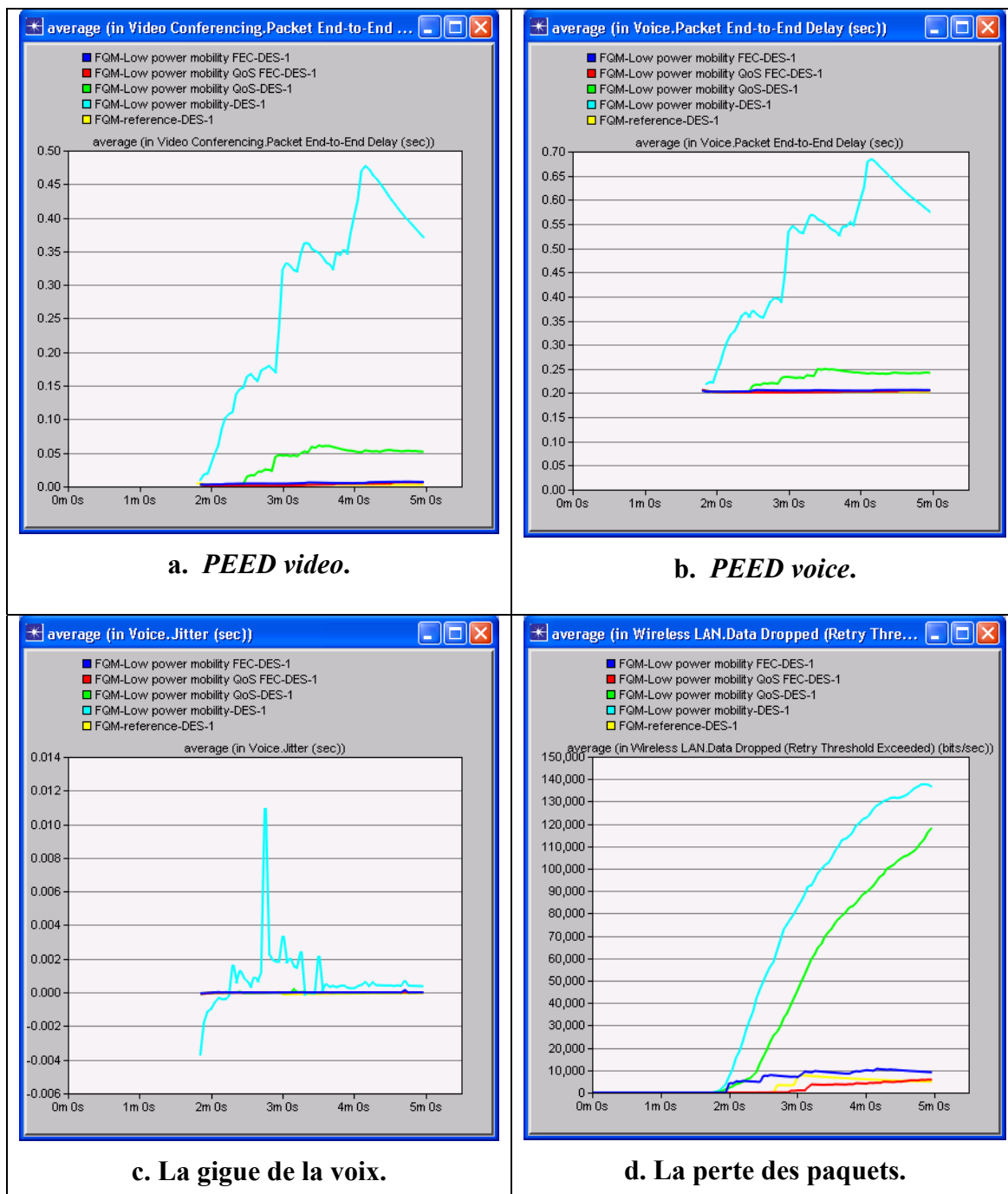


Figure 5.25 Les résultats des simulations pour le *background traffic* de niveau faible.

La Figure 5.25 montre que les résultats des simulations du réseau qui intègre la mobilité et la réduction de la puissance en même temps et le *background traffic* est de niveau faible, en utilisant la correction d'erreurs FEC seule ou combinée avec la QoS sont proches et ils semblent très acceptables (en bleu foncé et en rouge). Bien que les valeurs obtenues en incorporant la QoS soient appropriées (en vert), nous préférons celles obtenues quand le FEC seul, qui se montrent meilleures. Ceci dit, nous constatons que l'utilisation de FEC seul suffira pour l'obtention de résultats performants (en bleu foncé). Ce qui évite de surcharger inutilement le réseau en utilisant les deux méthodes combinées.

D'ailleurs, les résultats du modèle de référence (en jaune) sont très proches de ceux obtenus par nos solutions à savoir le FEC seul ou combiné avec la QoS.

## 5.6.2 Les résultats des simulations pour le background traffic de niveau moyen

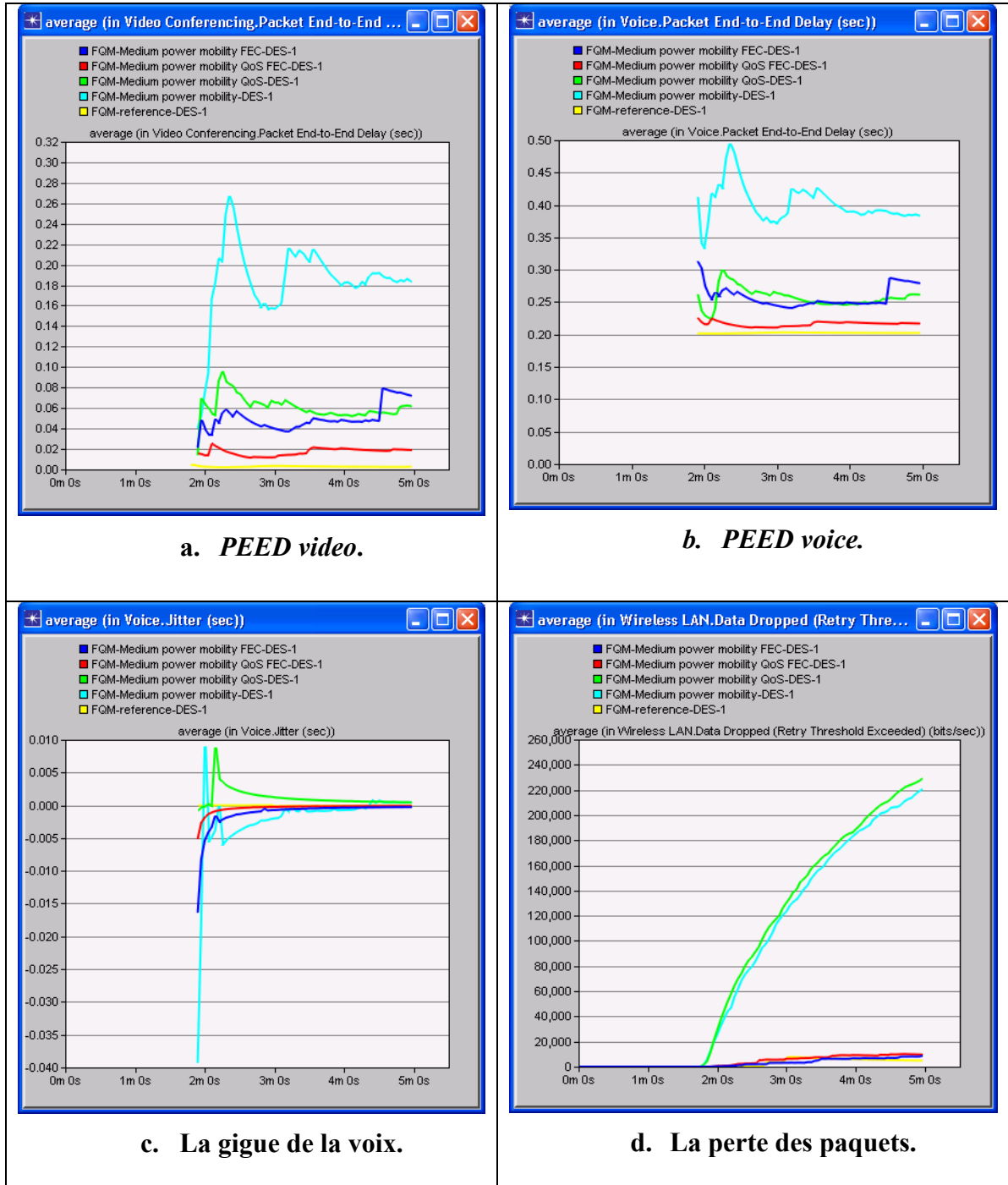


Figure 5.26 Les résultats des simulations pour le *background traffic* de niveau moyen.

La Figure 5.26 montre que les résultats des simulations du réseau, qui intègre la mobilité et la réduction de la puissance en même temps quand le *background traffic* est de niveau moyen, en utilisant la correction d'erreurs FEC combinée avec la QoS sont les plus petits. Malgré que les résultats obtenus par l'incorporation de la correction d'erreurs FEC et la qualité de service chacune seule paraissent satisfaisants, la méthode de les utiliser d'une façon combinée reste la meilleure solution.

D'ailleurs, les résultats du modèle de référence (en jaune) sont plus petits que ceux obtenus par l'intégration de FEC ou de QoS chacune seule ou combinées.

### 5.6.3 Les résultats des simulations pour le *background traffic* de niveau haut

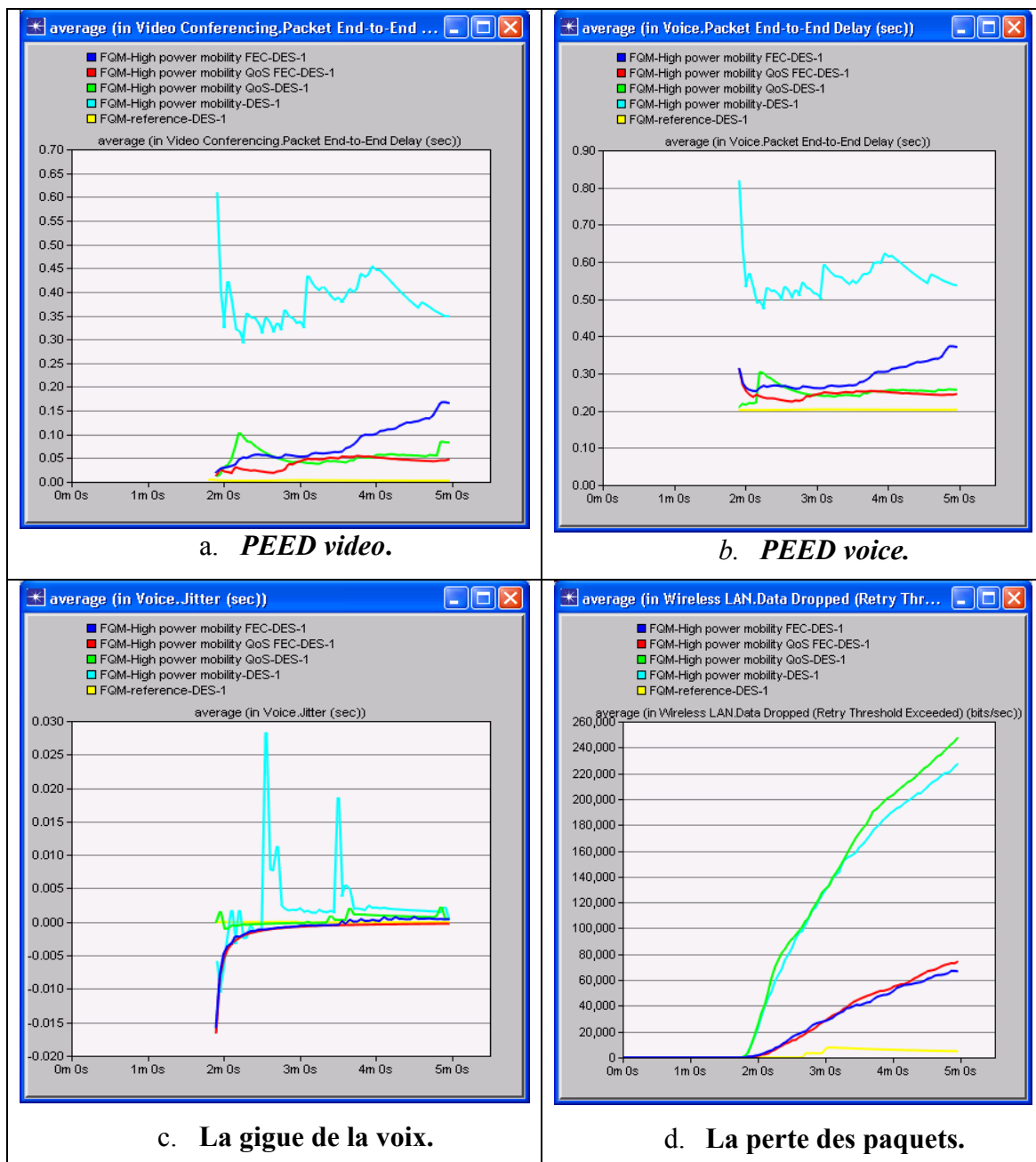


Figure 5.27 Les résultats des simulations pour le *background traffic* de niveau haut.

Dans ce scénario, le *background traffic* utilisé est de niveau élevé, la puissance est réduite et la source et la destination sont mobiles ce qui mène à des collisions et des congestions dans le réseau. Malgré cela, la correction d'erreurs et la qualité de service chacune seule ou combinée améliorent la situation du réseau en réduisant les délais et les pertes des paquets (Figure 5.27)

Toutefois, le FEC ajoute des informations supplémentaires ce qui permet de saturer la bande passante alors il est préférable d'utiliser la QoS seule.

## 5.7 Conclusion

Les résultats des simulations montrent une amélioration dans le réseau, en incorporant n'importe quelle méthode des trois à savoir la correction d'erreurs FEC et la QoS chacune seule ou de façon combinée, par rapport à sa situation lorsqu'il n'adopte aucune méthode (tous les graphes des simulations en bleu clair).

Toutefois, dans tous les scénarios simulés, nous remarquons que la différence entre les résultats obtenus en intégrant la correction d'erreurs FEC ou la QoS chacune seule et ceux obtenus en utilisant le FEC en même temps que la QoS n'est pas très significative. De plus, tous les trois sont acceptables. Cependant, nous remarquons toujours la performance de certains résultats par rapport aux autres.

Par exemple, lorsque le *background traffic* utilisé est de niveau faible, l'intégration de la QoS de façon combinée avec le FEC donne des résultats optimaux, alors nous préférons l'utilisation de cette méthode afin d'avoir des résultats idéaux, dans ce cas, car le réseau n'est pas très congestionné et il y a assez de bande passante.

Pourtant que dans le cas de *background traffic* de niveau moyen, malgré que la QoS et la FEC combinées donne des meilleurs résultats lorsque la mobilité et la diminution de la puissance sont appliquées, il est préférable d'intégrer la correction d'erreurs FEC seule parce

que les résultats obtenus par cette méthode sont très acceptables et nous évitons de surcharger inutilement le réseau en utilisant les deux méthodes combinées.

Lorsque le *background traffic* est de niveau élevé, nous remarquons qu'il n'y a pas une seule méthode parfaite qui peut être utilisée dans tous les cas. En d'autres termes, la QoS combinée avec la FEC donne des meilleurs résultats dans le cas de la mobilité tandis qu'elle donne seule des bons résultats dans le cas de la diminution de la puissance. Il faut souligner aussi que l'utilisation de la correction FEC seule donne des délais de bout en bout pour la voix et la vidéo un peu plus élevées (mais moins de 400 msec) que ceux obtenus par les deux autres méthodes à savoir la QoS seule ou combinée avec le FEC, tandis que la perte des paquets est réduite. Mais, afin d'éviter de saturer la bande passante en utilisant la correction d'erreurs FEC qui ajoute des bits supplémentaires, la QoS seule semble la meilleure solution dans ce cas.

En conclusion, nous notons que lorsque le *background traffic* utilisé est bas, la correction d'erreurs FEC et la QoS chacune seule donne des résultats appropriés, seulement, dans le but d'avoir des résultats optimaux, il faut utiliser la correction d'erreurs et la qualité de service en même temps. D'autre part, il devient indispensable d'appliquer la correction d'erreurs FEC seule, quand le *background traffic* augmente au niveau moyen et la QoS seule au niveau élevé, ce qui permet d'obtenir des résultats performants.

## CONCLUSION

Les services multimédia deviennent très importants et très populaires dans la vie quotidienne. Cependant, ces applications sont sensibles au délai et à la perte des informations. Par ailleurs, les réseaux Ad hoc mobiles « MANET » ont une bande passante limitée et susceptible d'avoir des erreurs. Alors, l'utilisation des services multimédia sur MANET exige un support de qualité de service.

Dans le présent mémoire, nous avons étudié le support de la QoS dans un réseau MANET qui utilise des services multimédia (voix et vidéo conférence). En fait, nous avons essayé d'obtenir une meilleure qualité de service en contrôlant le délai de bout en bout et la gigue des applications multimédia ainsi qu'en diminuant les pertes des paquets. Afin d'atteindre notre objectif, nous avons ajouté au réseau simulé sous OPNET, le Reed Solomon, qui est un correcteur d'erreurs de type FEC, et avons appliqué l'EDCA qui est un protocole d'accès au médium utilisé dans la norme IEEE 802.11e qui permet d'appliquer une différenciation de services sur les réseaux sans fils afin d'avoir une certaine QoS dans le réseau.

D'après les simulations que nous avons faites, nous concluons que lorsque le *background traffic* est faible et moyen le FEC seul donne des valeurs très acceptables mais si on veut améliorer la qualité de la voix nous pouvons introduire la QoS qui donne la priorité à la voix.

Toutefois, quand le *background traffic* est moyen, le FEC donne un semblant de QoS, ce qui est très approprié pour le trafic *best effort*. En fait, les délais de bout en bout relatifs à la voix et à la vidéo conférence en incorporant la correction d'erreurs FEC et le *background traffic* moyen, sont très convenables, ainsi que la quantité des paquets perdus due à la faible retransmission, ce qui montre une très grande fiabilité de la correction d'erreurs non pas pour le trafic à temps réel seulement mais pour tous les trafics qui existent dans le réseau. En d'autres termes, les utilisateurs de la voix et de la vidéo conférence en plus de ceux de *background traffic*, à savoir le FTP, sont satisfaits parce que les délais obtenus de ces travaux sont appropriés avec le moins de pertes possibles.



Lorsque le *background traffic* est élevé, nous remarquons que les délais de bout en bout obtenus par la QoS seule sont meilleurs en les comparant à ceux obtenus par le FEC car la qualité de service représentée par EDCA dans le présent travail, donne la priorité à la voix puis à la vidéo ensuite aux trafics *best effort* et *background traffic* respectivement, ce qui cause des conséquences négatives sur les utilisateurs de *background traffic* à cause du faible trafic qu'ils vont recevoir. Tandis que le FEC corrige les erreurs de tous les trafics, incluant le *background traffic*, ce qui permet d'obtenir un débit important pour ce dernier en plus de celui de la voix et de la vidéo.

Aussi, il est important de noter que le FEC est meilleur que l'ARQ parce qu'il corrige les erreurs au lieu de faire simplement des retransmissions des paquets perdus. Nous pouvons remarquer clairement cette conclusion dans tous nos graphes de pertes de paquets où le FEC donne toujours une quantité de pertes assez faible devant celle obtenue en intégrant la QoS.

Il est important de souligner que dans tous nos scénarios, nous avons procédé à la comparaison de nos résultats avec ceux du modèle de référence qui a été simulé sans aucune modification dans le réseau, autrement dit, on n'a introduit ni la QoS ni le FEC dans ce modèle.

Alors, les résultats des simulations montrent une grande amélioration dans le réseau au niveau des délais de bout en bout des services vidéo conférence et voix, de la gigue de la voix et de la perte relatifs aux stations sans fil lorsqu'on introduit la correction d'erreurs FEC et la QoS chacune seule et lorsqu'on les utilise de façon combinée, dans les cas où le réseau est congestionné ou non.

Enfin, nous concluons que nos résultats des simulations répondent aux objectifs que nous avons fixés au début. Parce que grâce à notre approche, la qualité de service dans un réseau qui éprouve des situations critiques est améliorée en réduisant les délais, la gigue de la voix et les pertes des paquets. Ce qui donne une certaine satisfaction aux utilisateurs des services

multimédia dans un tel réseau en comparaison avec le service qu'ils pouvaient avoir sans l'incorporation de cette qualité de service.

## RECOMMANDATIONS

Nous recommandons de concevoir un mécanisme dynamique qui peut différencier les méthodes (FEC seul et QoS seule, et FEC avec QoS ensemble) pour activer seulement l'une ou l'autre des deux méthodes selon la situation dans laquelle se trouve le réseau. Par exemple, si le trafic utilisé dans le réseau est critique, alors nous choisirons d'utiliser le FEC et la QoS simultanément. Autrement, nous utiliserons le FEC seul ou la QoS seule.

L'utilisation de Reed Solomon comme correcteur d'erreurs de type FEC a donné de bons résultats. Nous suggérons d'essayer, pour un futur travail, un autre type de la correction FEC tel que le code turbo et de voir s'il donnera de meilleurs résultats que ceux obtenus avec Reed Solomon.

Comme le Reed Solomon cause un trafic supplémentaire au réseau en ajoutant les données redondantes, il serait intéressant de concevoir un algorithme de compression d'entête.

Dans notre mémoire, nous avons utilisé les communications unicast. Comme nous utilisons les applications "vidéo et voix", il serait important d'essayer les communications multicast.

La simulation est une première étape de vérification et de validation et elle est proche du modèle naturel. Comme les résultats de simulation sont jugés satisfaisants, alors ils peuvent être vérifiés par une implémentation pratique de la correction d'erreurs et la QoS sur des ordinateurs portables et des assistants personnels PDA qui utilisent un trafic à temps réel basé sur la voix et la vidéo et en faisant un réseau congestionné ou non, selon le nombre des utilisateurs qui participent au réseau. Ce qui assure une évaluation de notre approche dans un système réel.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abd El Al, Ahmed, Tarek Saadawi et Myung Lee. 2007. « Unequal error protection for real-time video in mobile ad hoc networks via multi-path transport ». *Computer Communications*, vol. 30, n° 17, p. 3293-3306.
- Basalamah, A, et T Sato. 2007. « A Comparison of Packet-Level and Byte-Level Reliable FEC Multicast Protocols for WLANs ». In *Global Telecommunications Conference, 2007. GLOBECOM '07. IEEE*, sous la dir. de Sato, T. p. 4702-4707.
- Bernsen, James, et D. Manivannan. 2009. « Unicast routing protocols for vehicular ad hoc networks: A critical comparison and classification ». *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, n° 1, p. 1-18.
- Bheemarjuna Reddy, T., John P. John et C. Siva Ram Murthy. 2007. « Providing MAC QoS for multimedia traffic in 802.11e based multi-hop ad hoc wireless networks ». *Computer Networks*, vol. 51, n° 1, p. 153-176.
- Bo, Rong, Kais Mnif, Michel Kadoch et Ahmed K. Elhakeem. 2005. « A hybrid error control scheme for MANET reliable multicast ». In. Vol. 2005, p. 1086-1089. Coll. « Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering ». Saskatoon, SK, Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <<http://dx.doi.org/10.1109/CCECE.2005.1557165>>.
- Boshoff, J. N., et A. S. J. Helberg. 2008. « Improving QoS for real-time multimedia traffic in Ad-hoc networks with delay aware multi-path routing ». In., p. 1-8. Coll. « 7th Annual Wireless Telecommunications Symposium, WTS 2008 ». Ponomo, CA, United states: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society. <<http://dx.doi.org/10.1109/WTS.2008.4547536>>.
- Bur, Kaan, et Cem Ersoy. 2004. « Multicast routing for ad hoc networks with a quality of service scheme for session efficiency ». In. Vol. 2, p. 1000-1004. Coll. « IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC ». Barcelona, Spain: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Carsenat, David 2003. « Contribution à l'étude de réseaux de communication sans fil: application au LMDS ». Thèse de doctorat en ligne Limoges, Université de Limoges, 230 p. <[www.unilim.fr/theses/2003/sciences/2003limo0039/carsenat.pdf](http://www.unilim.fr/theses/2003/sciences/2003limo0039/carsenat.pdf)>.
- Cetinkaya, Coskun. 2009. « Service differentiation mechanisms for WLANs ». *Ad Hoc Networks*, vol. In Press, Corrected Proof.

- Chakrabarti, Satyabrata, et Amitabh Mishra. 2004. « Quality of service challenges for wireless mobile ad hoc networks ». *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 4, n° 2, p. 129-153.
- Chen, Donghui, Bo Rong, N. Shayan, M. Bennani, J. Cabral, M. Kadoch et A. K. Elhakeem. 2004. « Interleaved FEC/ARQ coding for QoS multicast over the internet ». *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 29, n° 3, p. 159-166.
- Chen, F. K. L., et M. D. Ma. 2006. « Supporting Quality of Services in Wireless LANs by EDCA Access Scheme ». In [www.opnet.com](http://www.opnet.com). <[https://enterprise1.opnet.com/tsts/4dcgi/Biblio\\_FullAbstract?BiblioID=1159](https://enterprise1.opnet.com/tsts/4dcgi/Biblio_FullAbstract?BiblioID=1159)>.
- Chen, L. 2006. « Protocols for Supporting Quality of Service in Mobile Ad Hoc Networks ». University of Rochester.
- Chow, Ivy, Horace Yat-Hong Chan et Sameer Khushal. 2002. « Forward Error Control in Wireless Local Area Networks ».
- Corson, S., et J. Macker. 1999. « RFC 2501 ». *Mobile Ad hoc networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations*.
- Dekeris, B., T. Adomkus et A. Budnikas. 2006. « Analysis of QoS assurance using weighted fair queueing (WFQ) scheduling discipline with low latency queue (LLQ) ». In., p. 507-12. Coll. « ITI 2006 Proceedings of the 28th International Conference on Information Technology Interfaces ». Zagreb, Croatia: University of Zagreb.
- Domingo, M. C., et D. Remondo. 2004. « An interaction model between ad-hoc networks and fixed IP networks for QoS support ». In., p. 188-194. Coll. « ACM MSWiM 2004 - Proceedings of the Seventh ACM Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems ». Venezia, Italy: Association for Computing Machinery.
- Emin, Gabrielyan, et D. Hersch Roger. 2006. « Rating of Routing by Redundancy Overall Need ». In *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, sous la dir. de Roger, D. Hersch. p. 786-789.
- Gabrielyan, E., et R. D. Hersch. 2006a. « Fault-Tolerance of Capillary Multi-Path Routing for Real-Time Multimedia Streaming with Forward Error Correction ». In *Information and Communication Technologies, 2006. ICTTA '06. 2nd*, sous la dir. de Hersch, R. D. Vol. 2, p. 3198-3203.

- Gabrielyan, E., et R. D. Hersch. 2006b. « Reducing the Requirement in FEC Codes via Capillary Routing ». In *Computer and Information Science, 2006 and 2006 1st IEEE/ACIS International Workshop on Component-Based Software Engineering, Software Architecture and Reuse. ICIS-COMSAR 2006. 5th IEEE/ACIS International Conference on*, sous la dir. de Hersch, R. D. p. 75-82.
- Gong, Michelle X., Scott F. Midkiff et Shiwen Mao. 2009. « On-demand routing and channel assignment in multi-channel mobile ad hoc networks ». *Ad Hoc Networks*, vol. 7, n<sup>o</sup> 1, p. 63-78.
- Hannan, Xiao , Chua Kee Chaing et Seah Khoon Guan Winston. 2003. « Quality of Service Models for Ad Hoc Wireless Networks ». In *The handbook of ad hoc wireless networks Ilyas, M.* CRC press.
- Hsu, Chia-Hao, Yu-Liang Kuo, Eric Hsiao-Kuang Wu et Gen-Huey Chen. 2004. « QoS routing in mobile ad hoc networks based on the enhanced distributed coordination function ». In, 4. Vol. 60, p. 2663-2667. Coll. « IEEE Vehicular Technology Conference ». Los Angeles, CA, United states: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Hsu, Chih-Shun, Jang-Ping Sheu et Shen-Chien Tung. 2006. « An on-demand bandwidth reservation QoS routing protocol for mobile ad hoc networks ». In. Vol. 2006 I, p. 198-207. Coll. « Proceedings - IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing ». Taichung, Taiwan: Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society.  
<<http://dx.doi.org/10.1109/SUTC.2006.39>>.
- IEEE Standard for Information technology, Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements. 2007. *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. IEEE Std 802.11™-2007. IEEE, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA: IEEE. Consulté le 25 juin 2009.
- ITU, ITU-T Telecommunication Standardization Sector Of. 2001. *Series G: Transmission Systems and Media Digital Systems and Networks, Quality of service and performance; End-user multimedia QoS categories*. ITU-T Rec. G.1010 (11/2001). G.1010.
- Ivascu, Gabriel Ioan, Samuel Pierre et Alejandro Quintero. 2009. « QoS routing with traffic distribution in mobile ad hoc networks ». *Computer Communications*, vol. 32, n<sup>o</sup> 2, p. 305-316.
- Jabri, Issam, Nicolas Krommenacker, Thierry Divoux et Adel Soudani. 2008. « IEEE 802.11 load balancing: An approach for QoS enhancement ». *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 15, n<sup>o</sup> 1, p. 16-30.

- Kantorovitch, Julia, Zach Shelby et Tommi Saarinen. 2003. *Wireless Adaptation Techniques for Heterogeneous Multihop Networking* Coll. « Wireless Adaptation Techniques for Heterogeneous Multihop Networking ». 24 p.
- Krunz, M, A Muquattash et SJ Lee. 2004. « Transmission power control in wireless ad hoc networks: challenges, solutions and open issues ». *Network, IEEE*, vol. 18, n° 5, p. 8-14.
- Lahlou, Omar. 2005. « Routage multi-chemin basé sur la fiabilité des routes dans les réseaux mobiles Ad Hoc ». Maitrise en sciences appliquées, Sherbrooke, Université de sherbrooke, 101 p.
- Mahbubur Rahman, Syed 2002. "Chapter 19 - Mobile Multimedia over Wireless Network". *Multimedia Networking: Technology, Management and Applications*. . Idea Group Publishing In [www.books24x7.com](http://www.books24x7.com).  
<[http://common.books24x7.com/book/id\\_4070/book.asp](http://common.books24x7.com/book/id_4070/book.asp)>.
- Majkowski, J., et F. Casadevall. 2005. « Admission control in IEEE 802.11 e EDCA ». *International Wireless Summit*.
- Mangold, S., S. Choi, G. R. Hiertz, O. Klein, B. Walke, P. Res et G. Aachen. 2003. « Analysis of IEEE 802.11 e for QoS support in wireless LANs ». *IEEE Wireless Communications*, vol. 10, n° 6, p. 40-50.
- Moawad, Rabih. 2004. « QoS dans les WPAN, WLAN et WMAN ». Mémoire en ligne de DEA Réseaux et télécommunications, Liban, Université Libanaise, EAF et Université St Joseph, 64 p.  
<[www.lb.refer.org/memoires/560895RabihMOAWAD.pdf](http://www.lb.refer.org/memoires/560895RabihMOAWAD.pdf)>.
- Mohammad Ilyas, Boca Raton. 2003. *The handbook of ad hoc wireless networks* Boca Raton London New York Washington, D.C.
- Munaretto, Anelise, Mauro Fonseca, Khaldoun Al Agha et Guy Pujolle. 2004. « Virtual time synchronization for multimedia ad hoc networks ». In, 4. Vol. 60, p. 2587-2590. Coll. « IEEE Vehicular Technology Conference ». Los Angeles, CA, United states: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Muquattash, Alaa, et Marwan M. Krunz. 2004. « A distributed transmission power control protocol for mobile ad hoc networks ». *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, n° 2, p. 113-128.
- Odom, Wendell, et Michael J. Cavanaugh. 2004. *IP Telephony Self-Study Cisco DQOS Exam Certification Guide*. USA: Cisco Press.

- Ogawa, Masakatsu, Ikumi Shimojima et Takeshi Hattori. 2002. « CoS guarantee control for wireless LAN ». In. Vol. 1, p. 50-54. Coll. « IEEE Vehicular Technology Conference ». Birmingham, AL, United states: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <<http://dx.doi.org/10.1109/VTC.2002.1002662>>.
- Ouyang, Beini, Xiaoyan Hong et Yunjung Yi. 2005. « A comparison of reliable multicast protocols for mobile ad hoc networks ». In., p. 339-344. Coll. « Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON ». Piscataway, NJ 08855-1331, United States: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Perkins, C. E., et P. Bhagwat. 1994. « Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers ». *Computer Communications Review*, vol. 24, n° 4, p. 234-234.
- Perkins, Dmitri D., et Herman D. Hughes. 2002. « A survey on quality-of-service support for mobile ad hoc networks ». *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, n° 5, p. 503-513.
- Riley, Martyn, et Iain Richardson. 1998. « Reed Solomon codes, an introduction to Reed-Solomon codes: principles, architecture and implementation ». <[http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/pscico-guyb/realworld/www/reedsolomon/reed\\_solomon\\_codes.html](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/project/pscico-guyb/realworld/www/reedsolomon/reed_solomon_codes.html)>. Consulté le 7 mai 2009.
- Rui, Ma, et J. Ilow. 2003. « Reliable multipath routing with fixed delays in MANET using regenerating nodes ». In., p. 719-25. Coll. « Proceedings 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks - LCN 2003. Held in conjunction with the Workshop on High-Speed Local Networks (HSLN) and Workshop on Wireless Local Networks (WLN 2003) ». Los Alamitos, CA, USA: IEEE Comput. Soc. <<http://dx.doi.org/10.1109/LCN.2003.1243205>>.
- Sarma, Nityananda, et Sukumar Nandi. 2006. « QoS support in mobile ad hoc networks ». In. Coll. « 2006 IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks ». Bangalore, India: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society.
- Schierl, Thomas, Karsten Ganger, Cornelius Hellge, Thomas Wiegand et Thomas Stockhammer. 2006. « SVC-based multisource streaming for robust video transmission in mobile Ad Hoc Networks ». *IEEE Wireless Communications*, vol. 13, n° 5, p. 96-103.
- Sheikh, W., B. Shafiq, R. A. Paul et A. Ghafoor. 2003. « Provision of multimedia services in a mobile ad hoc network ». In., p. 87-93. Coll. « Proceedings. Ninth IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems ». Los Alamitos, CA, USA: IEEE Comput. Soc. <<http://dx.doi.org/10.1109/WORDS.2003.1267494>>.



- Shklyaeva, A., D. Kubanek et V. Novotny. 2007. « Analysis of IEEE 802.11e for Delay Sensitive Traffic in Wireless LANs ». In *Networking, 2007. ICN '07. Sixth International Conference on*, sous la dir. de Kubanek, D. p. 38-38.
- Taing, Nguon, Sakchai Thipchaksurat, Ruttikorn Varakulsiripunth et Hiroshi Ishii. 2005. « Routing scheme for multimedia services in mobile Ad hoc network ». In Vol. 2005, p. 11-15. Coll. « 2005 Fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing ». Bangkok, Thailand: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society.
- Toh, C K. 2002. *Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and systems : Age of Pervasive Mobile Networks and Computing* Upper Sadde River: Prentice Hall
- UNM. 1997. « Networking Futures: QoS Parameters ». In <http://www.unm.edu/~network/presentations/course/chapters.html> <[http://www.unm.edu/~network/presentations/course/appendix/appendix\\_b/tsld033.htm](http://www.unm.edu/~network/presentations/course/appendix/appendix_b/tsld033.htm)>. Consulté le 25 juin 2009.
- Valois, Fabrice. 2005. *Simulation de réseaux radio sous OPNET Modeler*. INSA , Lyon. <[fvalois.insa-lyon.fr/hdr/HDR\\_CV\\_F\\_Valois\\_112007.pdf](http://fvalois.insa-lyon.fr/hdr/HDR_CV_F_Valois_112007.pdf)>.
- Varposhti, Marzieh, et Naser Movahhedinia. 2009. « Supporting QoS in IEEE 802.11e wireless LANs over fading channel ». *Computer Communications*, vol. 32, n° 5, p. 985-991.
- Wang, H. 2005. « Algorithms and QoS of video streaming over wireless networks ». The University Of Texas At Dallas, 133 p.
- Wang, J., Y. Tang, S. G. Deng et J. Chen. 2001. « QoS routing with mobility prediction in MANET ». In Vol. II, p. 357-360. Coll. « IEEE Pacific RIM Conference on Communications, Computers, and Signal Processing - Proceedings ». Victoria, BC, Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Wu, Hsiao-Kuang, et Pei-Hung Chuang. 2001. « Dynamic QoS allocation for multimedia ad hoc wireless networks ». *Mobile Networks and Applications*, vol. 6, n° 4, p. 377-384.
- Wu, K., et J. Harms. 2001. « QoS support in mobile ad hoc networks ». *Crossing Boundaries-the GSA Journal of University of Alberta*, vol. 1, n° 1, p. 92-106.
- Xiao, Hannan, Chaing Chua Kee et Winston Seah Khoon Guan. 2003. « Quality of service models for ad hoc wireless networks ». In *The handbook of ad hoc wireless networks*, sous la dir. de Ilyas, Mohammad. p. 467-482. Boca Raton, Fla.: CRC Press, Inc.

Yang, Hyunho, et Kiseon Kim. 2003. « Multimedia Ad Hoc Wireless LANs with Distributed Channel Allocation Based on OFDM-CDMA ». *IEICE Transactions on Communications*, vol. E86-B, n° 7, p. 2112-2118.

Zhu, Hua, et Imrich Chlamtac. 2006. « Admission control and bandwidth reservation in multi-hop ad hoc networks ». *Computer Networks*, vol. 50, n° 11, p. 1653-1674.