



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Hadj Lakhdar - Batna  
Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Département d'Informatique

**Mémoire de Magistère**

THÈME :

---

# Pour une QoS au niveau de la Couche MAC dans les Réseaux Sans Fil

---

Préparé par : *Nabil OUAZENE*

Proposé par : Dr. Azeddine BILAMI

Pour l'obtention du **Magistère en Informatique**  
Option : *Informatique Industrielle*

Soutenu publiquement le : 08 / 06 / 2009 devant le jury composé de :

---

Pr. Mohammed BENMOHAMMED	Professeur	<b>Président</b>	Université de Constantine
Dr. Azeddine BILAMI	M.C.	<b>Rapporteur</b>	Université de Batna
Dr. Abdelmadjid ZIDANI	M.C.	<b>Examineur</b>	Université de Batna
Dr. Salim CHIKHI	M.C.	<b>Examineur</b>	Université de Constantine

---

## Remerciements

---

*Je remercie ALLAH de m'avoir donné la santé, la volonté et la persévérance pour terminer ce travail.*

*Je tiens à remercier Dr. Azeddine BILAM9 qui a proposé et dirigé ce sujet de mémoire de magistère, pour ses conseils, ses critiques et sa continuelle présence dans l'accomplissement de ce travail.*

*Mes remerciements sont aussi destinés aux membres de jury, Pr. Mohamed BENMOHAMED, de m'avoir honoré en acceptant de présider ce jury, Dr. Abdelmadjid EDDANI et Dr. Salim CHIKHI examinateurs, d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Mes remerciements seraient sans doute incomplets si je ne cite pas :*

*Mes parents, sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour... Je leur suis infiniment reconnaissant pour leur patience et leur soutien moral, ainsi que pour leurs encouragements. Qu'ils trouvent dans ce mémoire le fruit de leur travail ! Je leur présente ici de manière spéciale toute ma gratitude.*

*Mes sœurs et mes frères, et toute ma famille.*

*Mes enseignants, mes amis, ainsi que mes collègues, un chaleureux merci pour Mr. Derradji DEBBACHE, pour ses encouragements et pour toute son aide.*

*Enfin, Toute personne qui m'a aidé de près ou de loin à mener à terme ce modeste travail.*

*Merci à tous.*

*OUAZENE Nabil*

*Ce travail est dédié*

*À mes parents*

*À ma femme Nedjwa*

# Abréviations

---

<b>AC</b>	: <b>A</b> ccess <b>C</b> ategory
<b>ACK</b>	: <b>A</b> CKnowledgement
<b>AIFS</b>	: <b>A</b> rbitrary <b>I</b> FS
<b>AP</b>	: <b>A</b> ccess <b>P</b> oint
<b>BSS</b>	: <b>B</b> asic <b>S</b> ervice <b>S</b> et
<b>CAP</b>	: <b>C</b> hannel <b>A</b> ccess <b>P</b> hase
<b>CBR</b>	: <b>C</b> onstant <b>B</b> it <b>R</b> ate
<b>CC</b>	: <b>C</b> entral <b>C</b> ontroler
<b>CDMA</b>	: <b>C</b> ode <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>CF-Poll</b>	: <b>C</b> ontention- <b>F</b> ree <b>P</b> oll
<b>CFP</b>	: <b>C</b> ontention <b>F</b> ree <b>P</b> eriod
<b>CP</b>	: <b>C</b> ontention <b>P</b> eriod
<b>CSMA/CA</b>	: <b>C</b> arrier <b>S</b> ense <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess with <b>C</b> ollision <b>A</b> voidance
<b>CSMA/CD</b>	: <b>C</b> arrier <b>S</b> ense <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess with <b>C</b> ollision <b>D</b> etection
<b>CTS</b>	: <b>C</b> lear <b>T</b> o <b>S</b> end
<b>CW</b>	: <b>C</b> ontention <b>W</b> indow
<b>DCF</b>	: <b>D</b> istributed <b>C</b> oordination <b>F</b> unction
<b>DiffServ</b>	: <b>D</b> ifferentiated <b>S</b> ervice
<b>DIFS</b>	: <b>D</b> CF <b>I</b> FS
<b>DSSS</b>	: <b>D</b> irect <b>S</b> equence <b>S</b> pread <b>S</b> pectrum
<b>EDCA</b>	: <b>E</b> nhanced <b>D</b> istributed <b>C</b> hannel <b>A</b> ccess
<b>EIFS</b>	: <b>E</b> xtended <b>I</b> FS
<b>ETSI</b>	: <b>E</b> uropean <b>T</b> echnical <b>S</b> tandard <b>I</b> nstitute
<b>FHSS</b>	: <b>F</b> requency <b>H</b> opping <b>S</b> pread <b>S</b> pectrum
<b>FIFO</b>	: <b>F</b> irst <b>I</b> n <b>F</b> irst <b>O</b> ut
<b>HC</b>	: <b>H</b> ybrid <b>C</b> oordinator

<b>HCCA</b>	: <b>HCF Controlled Channel Access</b>
<b>HCF</b>	: <b>Hybrid Coordination Function</b>
<b>HiperLAN</b>	: <b>High performance radio LAN</b>
<b>HomeRF</b>	: <b>Home Radio Frequency</b>
<b>IBSS</b>	: <b>Independent BSS</b>
<b>IEEE</b>	: <b>Institute of Electrical and Electronics Engineers</b>
<b>IFS</b>	: <b>Inter-Frame Space</b>
<b>IntServ</b>	: <b>Integrated Service</b>
<b>IR</b>	: <b>InfraRed</b>
<b>IrDA</b>	: <b>Infrared Data Association</b>
<b>ISM</b>	: <b>Industrial, Scientific, and Medical (Bande hors license)</b>
<b>ITU</b>	: <b>International Telecommunication Union</b>
<b>LAN</b>	: <b>Local Area Network</b>
<b>MAC</b>	: <b>Medium Access Control</b>
<b>MANET</b>	: <b>Mobile Ad hoc NETWORK</b>
<b>MPDU</b>	: <b>MAC Protocol Data Unit</b>
<b>MSDU</b>	: <b>MAC Service Data Unit</b>
<b>NAV</b>	: <b>Network Allocation Vector</b>
<b>NS2</b>	: <b>Network Simulator version 2</b>
<b>OFDM</b>	: <b>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</b>
<b>OSI</b>	: <b>Open Systems Interconnection</b>
<b>OTCL</b>	: <b>Object oriented Tool Command Language</b>
<b>PC</b>	: <b>Point Coordinator</b>
<b>PCF</b>	: <b>Point Coordination Function</b>
<b>PDA</b>	: <b>Personal Digital Assistant</b>
<b>PHY</b>	: <b>PHYSical (couche physique)</b>
<b>PIFS</b>	: <b>Point IFS</b>
<b>QAP</b>	: <b>QoS AP</b>
<b>QBSS</b>	: <b>QoS BSS</b>
<b>QoS</b>	: <b>Quality of Service (en français QoS: Qualité de Service)</b>
<b>QSTA</b>	: <b>QoS STATION</b>

<b>RTS</b>	: <b>R</b> equest <b>T</b> o <b>S</b> end
<b>SIFS</b>	: <b>S</b> hort <b>I</b> FS
<b>STA</b>	: <b>S</b> T <b>A</b> tion
<b>SWAP</b>	: <b>S</b> hared <b>W</b> ireless <b>A</b> ccess <b>P</b> rotocol
<b>TDMA</b>	: <b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>TSPEC</b>	: <b>T</b> raffic <b>S</b> PECification
<b>TXOP</b>	: <b>T</b> ransmission <b>O</b> Pportunity
<b>VBR</b>	: <b>V</b> ariable <b>B</b> it <b>R</b> ate
<b>VoD</b>	: <b>V</b> ideo <b>o</b> n <b>D</b> emand
<b>VoIP</b>	: <b>V</b> oice <b>o</b> ver <b>I</b> P ( <b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol)
<b>WLAN</b>	: <b>W</b> ireless <b>L</b> AN
<b>WMAN</b>	: <b>W</b> ireless <b>M</b> etropolitan <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WPAN</b>	: <b>W</b> ireless <b>P</b> ersonal <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WWAN</b>	: <b>W</b> ireless <b>W</b> ide <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
<b>WiFi</b>	: <b>W</b> ireless <b>F</b> idelity
<b>WiMax</b>	: <b>W</b> orldwide interoperability for <b>M</b> icrowave <b>A</b> ccess

---

# Sommaire

---

Abréviations.....	1
Sommaire.....	4
Liste des Figures.....	6
Liste des Tables.....	8
Résumé.....	9
Abstract.....	9
Introduction générale.....	11
I. Les réseaux sans fil.....	14
I.1. Introduction.....	15
I.2. Caractéristiques des communications sans fil.....	15
I.3. Type des réseaux sans fil.....	17
I.3.a. Selon l'architecture du réseau.....	17
I.3.b. Selon la couverture de communication.....	17
I.4. Différentes normes des WLANs.....	19
I.5. Réseaux Ad hoc mobiles.....	22
I.5.a. Caractéristiques et avantages.....	23
I.5.b. Issues et contraintes de conception.....	23
I.6. Conclusion.....	26
II. Présentation de la norme IEEE 802.11.....	28
II.1. Introduction.....	29
II.2. Présentation de 802.11.....	29
II.2.a. La couche physique.....	30
II.2.b. La couche MAC.....	31
II.3. L'architecture MAC d'IEEE 802.11 :.....	31
II.3.a. Présentation du mode DCF (CSMA/CA).....	32
II.3.b. Présentation du mode PCF.....	39
II.4. Conclusion.....	40
III. La qualité de service et IEEE 802.11e.....	42
III.1. Introduction.....	43
III.2. La qualité de service.....	43

---

III.2.a. Notion de qualité de service .....	43
III.2.b. Niveaux de service .....	44
III.2.c. Critères ou paramètres de qualité de service .....	44
III.3. Présentation d'IEEE 802.11e.....	49
III.3.a. Limitations de QoS de la couche MAC 802.11.....	49
III.3.b. Architecture de la couche MAC 802.11e .....	50
III.3.c. Hybrid Coordination Function (HCF).....	51
III.3.d. Mécanismes de QoS dans IEEE 802.11e .....	56
III.4. Conclusion.....	60
IV. Les travaux sur la QoS au niveau de la couche MAC 802.11 et 802.11e .....	62
IV.1. Introduction .....	63
IV.2. Ajustement des paramètres de la couche MAC :.....	64
IV.2.a. AMPA (Adaptif Mac PArameters).....	64
IV.2.b. AEDCF (EDCF Adaptative).....	65
IV.2.c. FCWAC (fuzzy CW allocation control).....	66
IV.2.d. Réduction de la famine par l'ajustement dynamique de paramètres.....	66
IV.3. Ordonnancement et contrôle d'admission .....	68
IV.3.a. MAHS (Multiple Access Hybrid Scheduler) .....	68
IV.3.b. DAHS (Dynamic Adaptive HCF Scheduler) .....	68
IV.3.c. Gestion dynamique de la bande passante et du contrôle d'admission.....	69
IV.3.d. Ordonnanceur et contrôleur d'admission (réseaux Ad hoc d'un seul-saut) .....	70
IV.4. Conclusion :.....	72
V. Amélioration de 802.11 dans les réseaux Ad hoc multi-sauts.....	73
V.1. Introduction .....	74
V.2. Problème de file d'attente pleine dans les réseaux Ad hoc multi-sauts.....	74
V.2.a. Description du problème .....	74
V.2.b. Notre solution proposée.....	76
V.3. Problème de la valeur de NAV.....	78
V.3.a. Présentation du problème .....	78
V.3.b. Solution pour ce problème.....	80
V.4. Simulations et résultats.....	81
V.4.a. Présentation du simulateur NS2 .....	81
V.4.b. Scénarios de simulation.....	81
V.4.c. Résultats de simulation.....	82
V.5. Conclusion.....	86
Conclusion générale.....	87
Références.....	88

## Liste des Figures

Fig.2.1.	Récapitulatifs des technologies et des débits possibles .....	29
Fig.2.2.	Architecture de la sous couche MAC 802.11 .....	32
Fig.2.3.	Relation entre les IFS .....	34
Fig.2.4.	Le Backoff et le defering .....	34
Fig.2.5.	Un exemple d'augmentation exponentielle de CW .....	35
Fig.2.6.	Problème des nœuds cachés .....	36
Fig.2.7.	Une configuration d'un échange RTS/CTS .....	36
Fig.2.8.	RTS/CTS/DATA/ACK et la mise de NAV .....	38
Fig.2.9.	Extended Inter-Frame Spacing (EIFS).....	39
Fig.2.10.	Alternance des modes PCF et DCF.....	40
Fig.3.1.	Satisfaction des utilisateurs en fonction de largeur de bande allouée pour le trafic CBR et VBR. ....	46
Fig.3.2.	Diagramme de délai de bout-en-bout.....	48
Fig.3.3.	Architecture MAC d'IEEE 802.11e.....	50
Fig.3.4.	Relations entre les IFSs dans 802.11e.....	53
Fig.3.5.	Modèle d'implémentation de référence d'EDCA .....	54
Fig.3.6.	Périodes CAP/CFP/CP .....	58
Fig.3.7.	Format commun d'une trame de gestion pour Traffic SPECification .....	59
Fig.4.1.	L'ordonnancement de TXOP réservée.....	71
Fig.5.1.	La réception d'une trame par une STA avec une file d'attente pleine (cas de 802.11) .....	74
Fig.5.2.	La perte de ressources (Voir la Fig.5.1).....	75
Fig.5.3.	Le refus de réception et la transmission par la STA avec une file d'attente pleine (cas de notre méthode proposée).....	77
Fig.5.4.	Le gain du temps (Voir la Fig.5.3).....	77
Fig.5.5.	Exemple illustre le problème de NAV rencontré.....	79
Fig.5.6.	La mise de NAV par 802.11 selon l'exemple et la Fig.5.5.....	79
Fig.5.7.	Solution pour le problème de NAV .....	80
Fig.5.8.	Taux de rejet des trames à cause du problème de file d'attente pleine. ....	82
Fig.5.9.	Débit moyen de réception de bout-en-bout.....	83
Fig.5.10.	Débit de réception cumulé de bout-en-bout.....	83
Fig.5.11.	Délai moyen au moment de réception de bout-en-bout.....	84

Fig.5.12.	Délai au moment de réception cumulé de bout-en-bout .....	84
Fig.5.13.	Gigue (variation de délai) de bout-en-bout .....	85
Fig.5.14.	Gigue cumulée de bout-en-bout.....	85

## Liste des Tables

---

Tab.3.1.	Correspondance entre UP et AC .....	54
Tab.5.1.	Paramètres des scénarios de simulation .....	82

## RÉSUMÉ

En raison de l'accessibilité croissante aux réseaux 802.11, les utilisateurs commencent à exiger un service équivalent au point de vue qualitatif, à celui offert par les mêmes applications dans les réseaux filaires. Pour ce faire, un support spécifique de la qualité de service (QoS) s'avère nécessaire pour les applications dans les WLANs. Quand la sous-couche MAC contrôle l'accès au média sans fil partagé, la réalisation d'un support de QoS au niveau de la couche MAC offre une plus grande flexibilité aux réseaux sans fil.

Dans ce mémoire, nous donnons un état de l'art des travaux les plus importants qui essayent d'offrir la QoS dans les réseaux sans fil au niveau de la couche MAC, ainsi qu'une présentation de la norme 802.11e proposée par le groupe « E » de la comité 802.11 pour offrir le support de la QoS.

Nous proposons deux solutions pour améliorer la QoS dans la norme 802.11 :

La première consiste à éviter le gaspillage des ressources, qui est engendré par l'état des files d'attente des stations intermédiaires dans les réseaux ad hoc multi-sauts, qui deviennent pleines quand la charge du réseau augmente. Ce problème engendre le rejet des trames récemment réceptionnées et cause la dégradation des performances et donc de la QoS dans les réseaux 802.11.

La deuxième consiste à donner une valeur plus réaliste au NAV (Network Allocation Vector), puisque dans certaines configurations de réseaux, cette valeur ne correspond pas à l'état physique du lien, dans ce cas les stations ne peuvent pas transmettre leurs trames. Nos solutions donnent une meilleure réutilisation spatiale de support sans fil et augmentent les performances de la QoS dans les réseaux 802.11.

**Mots clés :** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, QoS, file d'attente pleine, MANET, WLAN.

## ABSTRACT

Due to increasing accessibility to 802.11 networks, users are beginning to demand the same application support with the same quality as the same which they run over today's wired networks. This necessitates a viable application-specific Quality of Service (QoS) support. Since the MAC sub-layer controls access to the shared wireless medium, realizing QoS support at the MAC layer offers greater flexibility. In this report, we have made a state of the art of most important works which try to offer QoS in wireless networks on the MAC layer level, as well as a presentation of the 802.11e standard suggested by the group "E" of 802.11 committee to offer QoS support.

We propose here two solutions in order to improve QoS in 802.11 networks:

The first is to avoid the wasting of resources generated by the full queues in intermediate stations on multi-hop ad hoc networks, which generates consequently the drop of recently received frames that cause the decreasing of the QoS performances of 802.11.

The second is to give a more realistic value to the NAV (Network Allocation Vector), since in some network configuration, this value doesn't correspond to the physical state of the medium, and in this case the stations can't transmit their frames. Our solutions give a better spatial reuse of the wireless medium and increase the QoS performances of 802.11 networks.

**Keywords:** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, QoS, full queue problem, MANET, WLAN.

بسبب تزايد استعمال شبكات 802.11، بدأ المستخدمون بطلب دعم نفس البرامج التي يستخدمونها في الشبكات اللاسلكية. وهذا يتطلب وجود دعم خاص لتوفير جودة الخدمة (QoS) في الشبكات اللاسلكية المحلية WLANs. وبما أن طبقة MAC هي التي تتحكم في الوصول إلى الناقل اللاسلكي المشترك، فإنّ وضع دعم لجودة الخدمة QoS توفر قدراً أكبر من المرونة للشبكات اللاسلكية. ندرس في هذه المذكرة أهم الأعمال التي عنت بتوفير جودة الخدمة QoS في الشبكات اللاسلكية وهذا في طبقة MAC وأيضاً نقوم بعرض النموذج 802.11e الذي اقترحه المجموعة "E" من لجنة تقديم دعم جودة الخدمة QoS.

نقترح في هذه المذكرة حلين لتحسين جودة الخدمة QoS في الشبكات اللاسلكية 802.11؛ الأول لتجنب هدر الموارد الذي يسببه امتلاء طوابير الحُزم في الأجهزة التي تقوم بإيصال الحُزم في الشبكات اللاسلكية بلا بنية تحتية متعددة هوب، والذي يولد إهمال الحُزم التي يتم استقبالها مؤخراً ممّ يسبب في انخفاض أداء جودة الخدمة في شبكات 802.11. الثاني هو لإعطاء قيمة أكثر واقعية لـ NAV، إذ في بعض الحالات لا تعكس هذه القيمة حالة الناقل، حيث أنّ الجهاز لا يستطيع إرسال حزم المعطيات إن لم تكن هذه القيمة مساوية للصفر. حلونا هذه تعطي استخداماً أفضل لموارد الناقل وتوفر زيادة في أداء جودة الخدمة QoS في شبكات 802.11.

**الكلمات المفتاحية :** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, جودة الخدمة, مشكل امتلاء الطوابير, MANET,

الشبكات اللاسلكية.

# Introduction générale

---

Dans ces dernières années, les réseaux sans fil commencent à être déployés intensivement dans les campus, les entreprises, les bâtiments ...etc. Ceci en raison de leur facilité et de leur rapidité d'implantation, en plus de leur coût relativement bas par rapport aux réseaux filaires. Dans le marché des réseaux sans fil, il existe plusieurs normes sans fil : HyperLan, HomeRF, IEEE 802.11, Bluetooth ...etc., la plus utilisée pour le moment, est sans doute, l'IEEE 802.11, à cause de son coût, sa rapidité et facilité d'installation par rapport aux autres normes sans fil.

Avec la hausse de la demande et des besoins en QoS<sup>1</sup> (Quality of Service, en français : Qualité de service) par les utilisateurs et spécialement dans les applications multimédia, beaucoup de recherches se sont orientées vers la garantie de la QoS dans les réseaux. D'autre part avec la hausse de l'utilisation et la popularité accrue des réseaux sans fil, le besoin de garantir la QoS dans ces réseaux devient nécessaire. Malgré les perfectionnements dans les couches hautes (réseau et transport) pour garantir celle-ci (QoS), elle reste insuffisante car le support sans fil a des caractéristiques fondamentalement différentes de celles du support filaire. La largeur de bande et le temps d'attente ne peuvent être garantis comme dans un réseau filaire, particulièrement dans un spectre non autorisé (hors licence, comme la bande ISM de 2.4 GHz et de 5 GHz). Néanmoins, puisque le contrôle de l'accès partagé au média sans fil est résolu au niveau de la sous-couche MAC, la réalisation d'un support de QoS au niveau de la couche MAC offre une grande flexibilité aux réseaux sans fil.

La norme IEEE 802.11 décrit les deux couches basses de la pile OSI (la couche physique et la sous-couche MAC). Deux fonctions d'accès au média ont été définies pour IEEE 802.11 : une fonction d'accès au média basé conflit (contention-based channel access function) appelée DCF (Distributed Coordination Function) qui utilise la méthode d'accès CSMA/CA (carrier-sense multiple access with collision avoidance) avec une procédure de backoff, et une fonction d'accès au média

---

<sup>1</sup> A partir de maintenant nous référencerons QoS par QoS puisque c'est le mot le plus utilisé.

contrôlée (Controlled Channel Access Function) appelée PCF (Point Coordination Function) qui utilise un système de polling pour fournir l'accès au média.

DCF est la fonction principale, par contre PCF est une fonction optionnelle qui utilise les services de DCF.

Les mécanismes d'IEEE 802.11 rencontrent un grand problème pour le support de la QoS puisque DCF ne peut fournir la différenciation de services pour les différentes classes de trafic d'une part, et PCF peut fournir seulement un support de Qualité de Service (QoS) limité entre les stations dans une autre part. Par conséquent, IEEE 802.11 est seulement appropriée pour un service de meilleur effort mais pas pour les applications multimédia avec des besoins de QoS.

Pour fournir la QoS dans ce cas spécifique, nous devrions prendre en considération le fait que la couche MAC essaye de fournir des garanties de QoS sur un support qui est par sa nature imprévisible. Pour résoudre ce problème, le comité d'IEEE 802.11 a formé le groupe de travail « E » (802.11e) pour définir des perfectionnements au MAC 802.11 original. Cette norme est passée par 13 brouillons pour atteindre sa version finale en 2005. Il y a deux blocs fonctionnels principaux définis dans 802.11e. Ce sont les fonctions d'accès au média et la gestion de spécification du trafic (TSPEC).

Nous introduisons ce mémoire par une présentation des réseaux sans fil, en citant leurs types, caractéristiques, inconvénients et avantages. Ainsi que les différentes normes qui existent, aussi bien dans les réseaux Ad hoc que dans les réseaux avec infrastructure et les problèmes que posent les protocoles des différentes couches dans leurs conceptions.

Nous décrivons la norme IEEE 802.11 dans le deuxième chapitre et donnons les limitations de cette norme pour la garantie de la QoS.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la norme IEEE 802.11e qui est définie pour dépasser les limitations de QoS de 802.11 originale, ainsi que les mécanismes de QoS fournis dans cette norme.

Le quatrième chapitre présente un état de l'art sur les travaux entrepris au niveau de la couche MAC 802.11 et 802.11e et les différentes propositions de garantie et d'amélioration d'une Qualité de Service.

Dans le dernier chapitre, et avant une conclusion générale où nous exposons les limites et les perspectives futures de notre travail, nous commençons par détailler nos deux solutions au niveau de la couche MAC 802.11 dans les réseaux Ad hoc multi sauts. Nous présentons par la suite, les détails d'implémentation sous le simulateur NS2, ainsi que des comparaisons des résultats de simulation avec celles de 802.11.

# I. Les réseaux sans fil

---

- I.1. Introduction
- I.2. Caractéristiques des communications sans fil
- I.3. Type des réseaux sans fil
  - I.3.a. Selon l'architecture du réseau
  - I.3.b. Selon la couverture de communication
- I.4. Différentes normes des WLANs
  - I.4.a. Bluetooth
  - I.4.b. IrDA
  - I.4.c. HomeRF
  - I.4.d. HiperLAN
  - I.4.e. IEEE 802.11
- I.5. Réseaux Ad hoc mobiles
  - I.4.a. Caractéristiques et avantages
  - I.4.b. Issues et contraintes de conception
- I.6. Conclusion

## **I.1. Introduction**

Généralement la gestion des réseaux sans fil se rapporte à l'utilisation des signaux infrarouges ou hertziens (radiofréquences) pour partager l'information et les ressources entre les dispositifs. Beaucoup de types d'appareils sans fil sont disponibles aujourd'hui ; par exemple, terminaux mobiles, PCs de poche, ordinateurs portables, téléphone mobile, PDAs, capteurs sans fil, et récepteurs satellites.

La communication entre divers dispositifs sans fil permet de fournir des services uniques et innovateurs. Bien que cette communication sans fil inter-dispositifs soit un mécanisme très puissant, c'est également un mécanisme complexe et maladroit, menant à beaucoup de complexité dans les systèmes actuels. Ceci rend non seulement la gestion du réseau difficile mais bien aussi pose des limites dans sa flexibilité. Beaucoup de normes existent aujourd'hui pour la connexion de divers dispositifs.

Dans ces dernières années, beaucoup de normes et technologies sans fil de connectivité ont émergé. Ces technologies permettent à des utilisateurs de connecter un grand nombre de dispositifs de télécommunications facilement et simplement, sans la nécessité d'acheter, porter, ou relier des câbles.

## **I.2. Caractéristiques des communications sans fil**

En raison des différences trouvées dans la couche physique de ces systèmes, les réseaux et les appareils sans fil montrent des caractéristiques distinctes de leurs contreparties de câble [1, 2], spécifiquement,

- Des interférences très élevées qui engendrent une fiabilité très basse.
  - Les signaux infrarouges souffrent d'interférence de la lumière du soleil et des sources de chaleur, et peuvent être protégés/absorbés par de divers objets et matériaux. Les signaux par radio sont habituellement moins bloqués ; cependant, ils peuvent être interférés par d'autres dispositifs électriques.

- La nature de transmission broadcast signifie que tous les dispositifs s'interfèrent potentiellement les uns avec les autres.
- Auto-interférence due aux trajets multiples.
- Basse disponibilité de largeur de bande avec un débit de transmission très bas, typiquement une vitesse très lente que celle des réseaux filaires, causant la dégradation de qualité de service, y compris une gigue et des retards plus élevés, et en plus un temps de connexion très grand.
- État de réseau fortement variable:
  - Des taux de perte de données très élevés dus à l'interférence
  - Le mouvement d'utilisateur cause la déconnexion fréquente
  - L'énergie de réception diminue en fonction de la distance
- Ressources d'énergie et de calcul limitées : la puissance de calcul, la mémoire, et la taille de disque sont limitées en plus de la capacité limitée de batterie.
- Service de couverture limité. En raison des limitations de dispositif, distance, et de condition de réseau, l'implémentation du service pour des appareils et les réseaux sans fil fait face à beaucoup de contraintes et est plus défiant comparé aux réseaux filaires.
- Ressources de transmission limitées :
  - Partage du lien
  - Disponibilité limitée des fréquences avec des règlements restrictifs
  - Spectre rare et cher
- La limitation de taille de dispositif due aux conditions de portabilité a comme conséquence une limitation des interfaces et des affichages des utilisateurs.

- Une sécurité plus faible : parce que l'interface radio est accessible pour tout le monde, il est plus difficile de mettre en application une sécurité de réseau, car les attaquants peuvent connecter plus facilement.

### **I.3. Type des réseaux sans fil**

Il existe beaucoup de types de réseaux sans fil, et ils peuvent être classés par catégorie dans diverses manières présentées aux sous-sections suivantes selon les critères choisis pour leur classification [2, 3].

#### **I.3.a. Selon l'architecture du réseau**

Des réseaux sans fil peuvent être divisés en deux larges catégories basées sur la façon dont le réseau est construit et le choix de l'architecture de réseau :

##### *I.3.a.i. Les réseaux basés sur une infrastructure*

Un réseau avec une infrastructure pré-construit qui est faite de nœuds et de passerelles fixes d'un réseau filaire, avec, typiquement, des services réseau de transmission par l'intermédiaire de ces infrastructures préconfigurées.

##### *I.3.a.ii. Réseau sans infrastructure (ad hoc)*

Dans ce cas-ci un réseau est formé dynamiquement par la coopération d'un ensemble arbitraire de nœuds indépendants. Il n'y a aucun pré-arrangement concernant le rôle spécifique que chaque nœud devrait jouer. Au lieu de cela, chaque nœud prend sa décision indépendamment, basé sur la situation de réseau, sans utiliser une infrastructure préexistante de réseau. Par exemple, deux PCs équipés d'adaptateur de cartes sans fil peuvent installer un réseau indépendant chaque fois qu'ils sont dans la marge de l'autre. Dans réseaux ad hoc mobiles, les nœuds se comportent comme routeurs et participent à la découverte et à l'entretien des routes à d'autres nœuds.

#### **I.3.b. Selon la couverture de communication**

Comme avec les réseaux filaires, les réseaux sans fil peuvent être classifiés en différentes types basé sur la distance de transmission de données et la zone de

couverture géographique commençant par le plus grand et en terminant par le plus petit :

*1.3.b.i. Wireless Wide Area Networks (WANs sans fil ou WWANs)*

WANs sans fil sont des réseaux basés infrastructure. Les connexions peuvent être établies au-dessus de grands secteurs géographiques, à travers des villes ou même des pays, par l'utilisation des emplacements multiples d'antenne ou des systèmes satellites maintenus par des providers de service sans fil. Les réseaux cellulaires (comme les réseaux GSM ou les réseaux CDMA) et les réseaux satellites sont de bons exemples des réseaux WAN sans fil.

*1.3.b.ii. Wireless Metropolitan Area Networks (MANs sans fil ou WMANs)*

Des réseaux sans fil MAN désigné parfois sous le nom de sans fil fixé. Ce sont aussi des réseaux basés infrastructure qui permettent à des utilisateurs d'établir les connexions sans fil large bande depuis multiples emplacements dans une zone métropolitaine, par exemple, depuis différents bureau dans une ville ou sur un campus universitaire, sans coût élevé d'étendre la fibre ou les lignes de câblage. En outre, les MANs sans fil peuvent servir des réserves aux réseaux filaires si les connexions primaires pour des réseaux filaires deviennent indisponibles. IEEE a installé le groupe 802.16 un groupe de travail spécifique sur les normes d'accès sans fil de large bande pour supporter le développement et le déploiement des réseaux métropolitains sans fil de large bande.

*1.3.b.iii. Wireless Local Area Network (LANs sans fil ou WLANs)*

Les LANs sans fil permettent aux utilisateurs d'établir des connexions sans fil dans un local, typiquement dans un bâtiment d'entreprise ou de campus, ou dans un espace public, tel qu'un aéroport, habituellement dans une marge de 100 m. Les WLAN fournissent des systèmes flexibles de transmission de données qui peuvent être utilisés dans les bureaux provisoires ou d'autres espaces où l'installation du câblage étendu serait prohibitive, ou compléter un réseau local existant de sorte que les utilisateurs puissent travailler à différents emplacements dans un bâtiment aux

différentes heures. Les bureaux, les maisons, les cafés, et les aéroports représentent les emplacements typiques pour l'installation des WLANs.

Les réseaux locaux sans fil peuvent fonctionner dans le mode basé infrastructure ou en ad-hoc. Dans le mode infrastructure, les stations sans fil se connectent aux points d'accès sans fil qui fonctionnent comme passerelles entre les stations et un réseau principal préexistant. En mode ad-hoc, plusieurs stations sans fil dans une zone limitée, telle qu'une salle de conférence, peuvent former un réseau provisoire sans utiliser des points d'accès, si elles n'exigent pas l'accès aux ressources du réseau préexistant.

Les implémentations typiques des WLAN incluent 802.11 (WiFi) et Hiperlan2. Sous 802.11a et 802.11b, les données peuvent atteindre des vitesses de transmission entre 54 Mbps à 11 Mbps (respectivement).

#### *I.3.b.iv. Wireless Personal Area Networks (PANs sans fil ou WPANs)*

Les technologies PANs sans fil permettent aux utilisateurs d'établir un réseau ad hoc, la communication sans fil entre les appareils sans fil personnels tels que les PDAs, les téléphones mobiles, ou les ordinateurs portables qui sont utilisés dans un espace personnel, typiquement jusqu'à un intervalle de 10 mètres. Deux technologies PANs sans fil principales sont Bluetooth et l'infrarouge. Bluetooth est une technologie de remplacement de câble qui utilise les fréquences radio pour transmettre des données jusqu'à une distance de 9-10 m, tandis que l'infrarouge peut connecter des dispositifs dans une marge de 1 m. La PAN sans fil permet de gagner le temps en raison de sa basse complexité, faible consommation d'énergie, et interopérabilité avec les réseaux 802.11.

### **I.4. Différentes normes des WLANs**

Il y a beaucoup de technologies et normes utilisées dans les réseaux WLANs, et les notables parmi eux sont les normes : Bluetooth, Infrared Data Association (IrDA), HomeRF, HyperLAN et IEEE 802.11. Ces technologies concurrencent dans certains secteurs et quelques unes sont complémentaires dans d'autres. Ainsi, compte tenu du fait que tant de technologies existent, quelle technologie est la meilleure, et quelle est la solution qui devrait être choisie pour une application

spécifique? Pour pouvoir comprendre ça, nous devons regarder les forces et les faiblesses et également les domaines d'application de chacune de ces normes et technologies [4].

*I.4.a.i. Bluetooth*

Bluetooth est une technologie de liaison sans fil à grande vitesse, de basse puissance, de micro-onde conçue pour connecter des téléphones, des ordinateurs portables, des PDAs (Personal Digital Assistants), et tout autre matériel portable à peu ou pas d'intervention par l'utilisateur. À la différence de l'infrarouge, Bluetooth n'exige pas le positionnement de champ de vision des unités connectées. La technologie utilise des modifications des techniques existantes de WLAN mais elle est plus notable pour leur petite taille et coût bas. Chaque fois que les dispositifs Bluetooth arrivent à la portée d'un autre, ils immédiatement transfèrent la donnée d'adresses et établissent de petits réseaux, sans intervention de l'utilisateur. Il opère dans la fréquence 2.56GHz de la bande ISM, utilise FHSS et peut communiquer à 10 mètres de distance étendue à 100 mètres avec un amplificateur d'énergie externe.

*I.4.a.ii. IrDA (Infrared Data Association)*

IrDA est une organisation internationale qui crée et favorise des normes à infrarouges pour l'échange de données, car inter opérables et peu coûteuses. IrDA a défini un ensemble de protocoles (IrDA) de transfert des données couvrant toutes les couches, ainsi que quelques conceptions de gestion de réseau et d'interopérabilité. Les protocoles IrDA sont IrDA DATA pour la livraison de données et IrDA CONTROL pour envoyer les informations de contrôle. Généralement IrDA est utilisée pour fournir des technologies de connexion sans fil pour les dispositifs qui utiliseraient normalement des câbles pour la connectivité. IrDA est un protocole point-à-point, d'angle étroit (30°), une norme de transmission de données ad hoc conçue pour fonctionner au dessous d'une distance d'un mètre à deux mètres et aux vitesses de 9600 bits par seconde (bps) à 16 Mbps.

*I.4.a.iii. HomeRF*

HomeRF est un sous-ensemble de l'Union Internationale des Télécommunications (ITU : International Telecommunication Union) et travaille principalement au développement d'une norme de communication peu coûteuse par fréquences radio pour la transmission d'audio et de données. Le groupe de travail de HomeRF a également développé le protocole SWAP (Shared Wireless Access Protocol). SWAP est une spécification d'industrie qui permet aux PCs, aux périphériques, aux téléphones sans fil, et aux autres dispositifs de communiquer différentes formes de données (texte, audio...) sans l'utilisation des câbles. SWAP est semblable à CSMA/CA d'IEEE 802.11 mais avec une extension au trafic audio. SWAP peut fonctionner sur les deux modes : ad hoc ou infrastructure par l'utilisation d'un point d'accès. HomeRF supporte TDMA pour délivrer l'audio interactif et CSMA/CA pour délivrer les paquets de données à grande vitesse, la taille maximale du réseau est de 127 nœuds.

*I.4.a.iv. HiperLAN*

High Performance Local Area Network type 1 (HiperLAN 1) est un standard de l'European Technical Standard Institute (ETSI). Il décrit le fonctionnement d'équipements travaillant dans la bande des 5.15-5.30 GHz et permettant d'atteindre des débits de 23.5 Mbit/s sur une distance d'environ 50 mètres. L'architecture est totalement décentralisée. Il n'y a pas de notion de point d'accès, mais les nœuds HiperLAN 1 peuvent cependant avoir des rôles de passerelles.

HiperLAN type 2 est très différent dans son architecture d'HiperLAN type 1. Contrairement au type 1, le type 2 est basé sur une centralisation poussée. Les points d'accès sont d'ailleurs indifféremment appelés Access Points (AP) ou Central Controller (CC). Les points d'accès sont reliés entre eux par une infrastructure réseau filaire ou non-filaire. Les mobiles s'attachent ensuite à ces points d'accès pour accéder aux ressources du réseau.

HiperLAN 2 peut aussi fonctionner sans infrastructure fixe. Dans ce cas, un mobile est élu pour jouer le rôle de contrôleur central et les autres vont s'attacher à lui. Tout au plus, les mobiles pourront communiquer directement entre eux (un saut), ou alors par l'intermédiaire du contrôleur central (deux sauts).

*I.4.a.v. IEEE 802.11 (WiFi)*

La norme IEEE 802.11 est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). La marque WiFi correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), organisme ayant pour mission de spécifier l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11.

Dans la pratique, le Wifi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA), des objets communicants ou même des périphériques à une liaison haut débit (de 11 Mbit/s théoriques ou 6 Mbit/s réels en 802.11b et à 54 Mbit/s théoriques ou environ 25 Mbit/s réels en 802.11a et 802.11g). 802.11 utilise CSMA/CA et le nombre de nœuds n'est pas limité.

## **I.5. Réseaux Ad hoc mobiles**

Généralement des réseaux ad hoc mobiles sont formés dynamiquement par un système autonome de nœuds mobiles qui sont reliés par l'intermédiaire des liens sans fil sans employer une infrastructure réseau existante ou une administration centralisée. Les nœuds sont libres de se déplacer aléatoirement et s'organiser arbitrairement ; ainsi, la topologie de réseau sans fil peut changer rapidement et de manière imprévisible. Un tel réseau peut fonctionner dans un mode autonome, ou peut être relié à un réseau filaire plus grand. Les réseaux ad hoc mobiles sont des réseaux sans infrastructure puisqu'ils n'exigent aucune infrastructure fixe telle qu'une station de base pour leur opération. Généralement les routes entre les nœuds dans un réseau ad hoc peuvent inclure des sauts multiples et, par conséquent, il est approprié d'appeler de tels réseaux « réseaux ad hoc sans fil multi-sauts » [4].

Un réseau ad hoc pourrait se composer de plusieurs dispositifs de calcul de maison, y compris des PDAs, les PCs portables, et ainsi de suite. Chaque nœud pourra communiquer directement avec d'autres nœuds qui résident dans sa portée de transmission. Pour communiquer avec les nœuds qui résident au delà de cette portée, le nœud doit utiliser des nœuds intermédiaires pour transmettre les messages saut par saut.

### **1.5.a. Caractéristiques et avantages**

MANETs héritent des caractéristiques communes trouvées généralement dans les réseaux sans fil et ajoutent des caractéristiques spécifiques à la gestion de réseau ad hoc [3, 4] :

- Sans fil. Les nœuds communiquent sans fil et partagent les mêmes médias (radio, infrarouge, etc.).
- Basé Ad hoc. Un réseau ad hoc mobile est un réseau provisoire formé dynamiquement d'une façon arbitraire par une collection de nœuds selon le besoin.
- Autonome et sans infrastructure. MANET ne dépend d'aucune infrastructure établie ou administration centralisée. Chaque nœud fonctionne en mode distribué de peer to peer, et agit en tant que routeur indépendant, et produit des données indépendantes.
- Routage multi-sauts. Aucun routeur dédié n'est nécessaire ; chaque nœud agit en tant que routeur et expédie aux autres des paquets pour permettre le partage d'informations entre les nœuds mobiles.
- Mobilité. Chaque nœud est libre pour se déplacer en communiquant avec d'autres nœuds.

La topologie d'un réseau ad hoc change de manière dynamique en nature du mouvement constant des nœuds participants, faisant changer les modèles d'interconnexion sans interruption entre les nœuds.

### **1.5.b. Issues et contraintes de conception**

Comme décrit dans la section précédente, l'architecture ad hoc a beaucoup d'avantages, tels que l'auto-reconfiguration, la facilité de déploiement, et ainsi de suite. Cependant, ces flexibilités ont un prix ; les réseaux sans fil ad hoc héritent des problèmes classiques des communications sans fil, tels que l'optimisation de la largeur de bande, l'optimisation d'énergie, et le perfectionnement de qualité de transmission, en outre, leur mobilité, et la nature multi-sauts, ainsi que le manque d'infrastructure fixe, créent un certain nombre de contraintes de conception qui sont

spécifiques aux réseaux sans fil, comme discuté dans les sous-sections suivantes [3].

#### *1.5.b.i. Sans infrastructure*

Les réseaux ad hoc mobiles sont des réseaux sans fil multi-sauts sans infrastructure. Ce manque d'infrastructure fixe, en plus d'être sans fil, produit de nouvelles issues de conception comparées aux réseaux fixes. En outre, le manque d'une entité centralisée signifie que la gestion du réseau doit être distribuée à travers différents nœuds, ce qui apporte une difficulté supplémentaire dans la détection et la gestion de fautes.

#### *1.5.b.ii. Changement dynamique de topologies de réseau*

Dans les réseaux ad hoc mobiles, puisque les nœuds peuvent se déplacer arbitrairement, la topologie de réseau, qui est en général multi-sauts, peut changer fréquemment et de manière imprévisible. Ce qui a pour résultat, des changements de routes, des divisions fréquentes de réseau, et, probablement, des pertes de paquets.

#### *1.5.b.iii. Limitation de couche physique*

L'interface radio de chaque nœud emploie la diffusion radio pour la transmission du trafic avec une portée de transmission sans fil limitée. Ceci a pour conséquence, des problèmes spécifiques aux réseaux ad hoc mobiles comme : le problème du nœud caché, le problème du nœud exposé, et ainsi de suite. Les collisions sont inhérentes au support, et il y a une probabilité élevée de pertes de paquets, due aux erreurs de transmission comparativement aux réseaux filaires.

#### *1.5.b.iv. Largeur de bande et qualité du lien limitées*

Puisque les nœuds mobiles communiquent les uns avec les autres avec la contrainte de largeur de bande de capacité variable, sujette aux erreurs, car les canaux sans fil sont peu sûrs. Les liens sans fil continueront à avoir une capacité significativement inférieure à celle des liens filaires, et par conséquent, la congestion est plus problématique.

*I.5.b.v. Contrainte d'énergie*

Puisque les batteries portées par chaque nœud mobile ont une énergie limitée, la capacité de traitement et les services ou les applications qui peuvent être assurées par chaque nœud, se trouve aussi limitée. Ceci devient une grande problématique dans les réseaux ad hoc mobiles parce que pendant que chaque nœud agit en tant que nœud simple et routeur en même temps, une énergie est exigée en plus pour transférer les paquets des autres nœuds.

*I.5.b.vi. Robustesse et fiabilité*

Dans les MANETs, la connectivité du réseau est obtenue par le routage et la transmission des différents nœuds. Bien que cela remplace les contraintes de la connectivité d'infrastructure fixe, il apporte également des défis de conception. Un nœud peut échouer dans l'expédition du paquet en raison de diverses conditions comme la surcharge, en agissant de manière égoïste, ou ayant des liens cassés. Les nœuds et liens incertains peuvent avoir un impact négatif sur la performance globale du réseau. Le manque de points centralisés de surveillance et de gestion signifie que ces types de mauvais comportement ne peuvent pas être détectés et isolés rapidement et facilement, ajoutant alors, une complexité significative à la conception de protocoles.

*I.5.b.vii. Sécurité*

Les réseaux sans fil mobiles sont généralement plus vulnérables aux menaces de pertes d'information et de sécurité que les réseaux filaires. L'utilisation de canaux sans fil ouverts partagés, à diffusion, signifie que les nœuds ont une protection insatisfaisante et sont sujets à des menaces de sécurité. En outre, parce qu'un réseau ad hoc mobile est un réseau distribué sans infrastructure, la sécurité du réseau est fondée principalement sur la solution de sécurité individuelle de chaque nœud mobile, car il est difficile de mettre en place un contrôle de sécurité centralisé. Quelques exigences principales de sécurité dans la gestion de réseau ad hoc incluent:

- Confidentialité : empêchement de l'espionnage passif
- Contrôle d'accès : protection de l'accès à l'infrastructure du réseau sans fil

- Intégrité des données : empêchant de falsifier le trafic (c.-à-d., accédant, modifiant ou injectant un trafic)
- Refus de service d'attaques par des nœuds malveillants

#### *1.5.b.viii. Évolutivité*

Les algorithmes populaires de gestion du réseau ont été généralement conçus pour travailler dans les réseaux sans fil fixes ou relativement petits. Beaucoup d'applications de réseau ad hoc mobiles impliquent de grands réseaux de dizaines à des milliers de nœuds, comme il est le cas par exemple, dans les réseaux de capteurs et les réseaux tactiques. L'évolutivité de tels réseaux est critique.

#### *1.5.b.ix. Qualité du service*

Une garantie de qualité du service (QoS) est essentielle pour une livraison réussie d'un trafic multimédia. Les exigences de QoS se rapportent typiquement à un ensemble large de métriques comprenant le débit, la perte de paquets, le retard, la gigue, le taux d'erreurs, et ainsi de suite. Les caractéristiques spécifiques d'un réseau ad hoc sans fil mobile et les contraintes décrites au-dessus, comme le changement dynamique de topologie du réseau, la largeur de bande et la qualité de transmission limitée du lien, posent une difficulté supplémentaire pour la garantie d'une QoS dans un réseau ad hoc mobile.

## **I.6. Conclusion**

WLANs fournissent une connectivité réseau dans des locaux où il est difficile de mettre du câblage; ils permettent la flexibilité de déplacer et d'étendre des réseaux ou d'apporter des modifications sur ceux-ci. Les WLANs permettent aux utilisateurs mobiles de travailler avec des applications équivalentes à celles fournies dans les réseaux filaires traditionnels. En fait les WLANs sont les seuls dispositifs de LAN qui permettent une mobilité et une connectivité réelles. Les WLANs fournissent la connectivité pour les mobilités lentes (vitesse de marche) avec un débit élevé pour des environnements intérieurs et extérieurs.

Bien que les WLANs soient entrés dans le marché presque il y a une décennie, les WLANs normalisés ont été disponibles depuis la fin des années 1990 où IEEE

802.11 était née. Pendant ce temps plusieurs autres normes de WLAN ont vu le jour, par exemple, HiperLAN et HomeRF, mais aucune d'entre elles n'a eu le succès escompté. Le prochain chapitre présentera la norme qui nous intéresse dans ce travail, en l'occurrence la norme IEEE 802.11 et toutes ses caractéristiques.

# II. Présentation de la norme IEEE 802.11

---

- II.1. Introduction
- II.2. Présentation de 802.11
  - II.2.a. La couche physique
  - II.2.b. La couche MAC
- II.3. L'architecture MAC de 802.11
  - II.3.a. Présentation du mode DCF (CSMA/CA)
  - II.3.b. Présentation du mode PCF
- II.4. Conclusion

## II.1. Introduction

Les LANs sans fil (WLANs) ont été utilisés couramment dans les aéroports, les hôpitaux, les universités ... etc. Ceci est dû à leurs déploiements rapides et faciles et à leur coût bas comparés aux LAN filaires. La plupart des WLAN actuels mis en application sont basés sur la norme d'IEEE 802.11 [5]. Le Lan sans fil (WLAN) basé sur IEEE 802.11 a gagné une popularité accrue en raison du coût bas et du déploiement facile.

## II.2. Présentation de 802.11

802.11 est une norme établie par l'IEEE. Elle décrit les deux couches basses de la pile OSI (physique et MAC) d'une interface réseau sans fil (radio et infrarouge). Les débits possibles varient entre 1 et 54 Mbit/s selon les techniques et les extensions de la norme utilisées (voir Fig.2.1). Les portées prévues varient entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres en fonction de la vitesse choisie et de l'environnement.

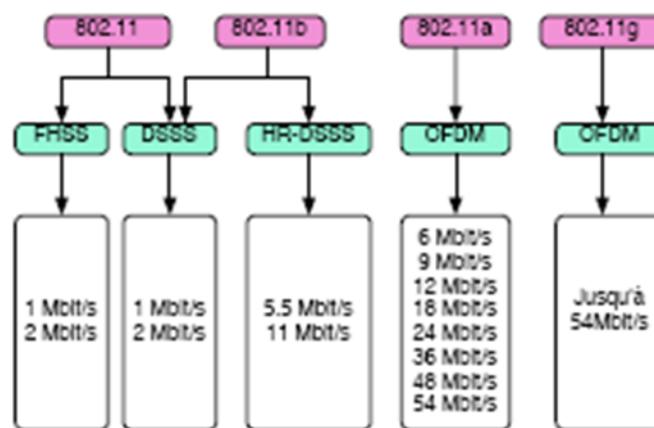


Fig.2.1. Récapitulatifs des technologies et des débits possibles

Cette norme est utilisée en deux modes :

- Le mode « infrastructure » (le mode le plus utilisé de 802.11), où des stations de base reliées entre elles par un réseau filaire assurent la couverture d'une certaine zone et prennent en charge les mobiles dans leur voisinage.

– Le mode appelé « ad hoc », qui consiste en fait simplement à autoriser les communications entre deux mobiles à portée l'un de l'autre, sans intervention de stations ou d'autres mobiles extérieurs.

### **II.2.a. La couche physique**

Initialement, le standard IEEE 802.11 permet l'utilisation de trois couches physiques différentes (FHSS, DSSS et IR), auxquelles 802.11a a ajouté OFDM :

– FHSS : Frequency Hoping Spread Spectrum. La plupart des interférences nuisibles aux transmissions radio n'agissent en fait que sur des bandes de fréquence assez étroites. Si par malchance de telles interférences ont lieu au moment où l'on transmet, alors notre signal sera fortement dégradé. Une technique pour protéger notre signal consiste à régulièrement changer de fréquence. Bien sûr les paquets envoyés sur la bande perturbée seront affectés, mais ils ne représenteront plus qu'une minorité des transmissions et leur retransmission sera moins coûteuse. L'émetteur et le récepteur doivent connaître à l'avance le séquençement des sauts de fréquence, mais des informations portées par les paquets permettent à un mobile s'attachant au réseau de savoir à partir d'un paquet qu'il reçoit où en est le déroulement de la séquence.

– DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum. Toujours pour lutter contre les interférences importantes mais n'affectant que des plages de fréquences assez étroites, il existe la technique de l'étalement de spectre. Des manipulations sur le signal vont le faire occuper un spectre plus large (on le multiplie par une séquence pseudo-aléatoire ayant certaines propriétés d'auto-corrélation). A la réception, une manipulation inverse est effectuée. Cette technique est moins sensible aux interférences dues aux fréquences parasites à faible largeur spectrale.

– IR : Infra Red. Totalement absent du marché.

– OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Lorsqu'un signal radio est émis, l'onde va se réfracter, se réfléchir et donc se diviser sur les divers obstacles rencontrés. A l'arrivée plusieurs chemins pourront avoir été empruntés, et leur temps de parcours n'étant pas forcément les mêmes, les multiples réfractions / réflexions d'une même onde vont interférer entre elles. Plus la différence de temps de parcours sera grande vis à vis de la durée de transmission totale du symbole, plus

les chances que des réflexions/réfractions de symboles consécutifs se chevauchent. Pour augmenter le débit, l'approche traditionnelle consiste à réduire la durée d'un symbole, mais cela augmente aussi les problèmes de chemin multiple. OFDM propose donc d'utiliser des symboles plus longs, mais envoyés en parallèle. On peut dire pour résumer succinctement cette méthode qu'en présence de chemins multiples, à débit total équivalent, l'agrégation d'un certain nombre de canaux lents donne de meilleurs résultats qu'un seul canal très rapide.

### **II.2.b. La couche MAC**

La couche MAC de 802.11 peut utiliser deux modes de fonctionnement : Distributed Coordination Function (DCF) et Point Coordination Function (PCF).

– Distributed Coordination Function (DCF) est un mode qui peut être utilisé par tous les mobiles, et qui permet un accès équitable au canal radio sans aucune centralisation de la gestion de l'accès (mode totalement distribué). Ce mode peut aussi bien être utilisé lorsqu'il n'y a pas de stations de base (mode Ad hoc) que lorsqu'il y en a (mode infrastructure).

– Point Coordination Function (PCF) est un mode dans lequel les stations de base ont la charge de la gestion de l'accès au canal dans leur zone de couverture pour les mobiles qui leur sont rattachés.

### **II.3. L'architecture MAC d'IEEE 802.11 :**

L'architecture MAC peut être présentée comme dans la figure Fig.2.2, alors que fournir PCF à base des services de DCF.

Dans les réseaux ad hoc, il n'y a pas de stations de base fixes et c'est donc le mode DCF qui sera employé. Le mode DCF va être décrit dans la sous-section suivante. Le mode PCF sera néanmoins décrit brièvement lui aussi, puisque c'est optionnel il utilise les mécanismes que DCF lui propose, ces mécanismes sont fondamentaux dans 802.11.

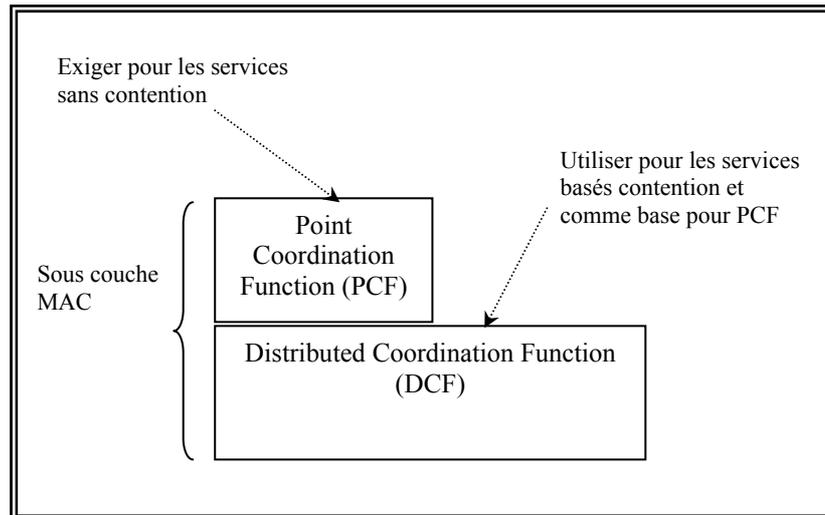


Fig.2.2. Architecture de la sous couche MAC 802.11

### II.3.a. Présentation du mode DCF (CSMA/CA)

Dans le monde filaire, lorsqu'un émetteur envoie un signal sur le câble, il peut y lire en même temps la valeur qui y est effectivement présente. Si jamais la valeur lue est différente de celle que l'émetteur écrit, c'est qu'un autre émetteur est actif au même moment et qu'il y a collision. Cette écoute du signal sur le câble au moment de l'émission est à la base de la méthode d'accès CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) bien connue d'Ethernet. CSMA/CD permet de détecter une collision et le cas échéant de retransmettre le paquet après un temps d'attente aléatoire.

En radio cependant, l'atténuation du signal en fonction de la distance est bien plus importante que sur un câble. Au niveau d'un émetteur, le signal qu'il envoie va donc être reçu avec une puissance très supérieure à un signal venant de n'importe quel autre mobile. Cependant, l'émetteur ne peut détecter que les signaux des autres mobiles (pas son signal) mais pas durant son envoi, car à un moment donné il peut seulement envoyer ou recevoir. Alors, du point de vue d'un émetteur, il n'y a donc jamais de collision en radio. Evidemment le problème se pose au niveau du récepteur, où plusieurs signaux pourraient ainsi être reçus simultanément avec des puissances comparables. Dans la pratique, des collisions se produisent effectivement uniquement au niveau des récepteurs.

La première caractéristique de la couche MAC 802.11 est donc d'utiliser des acquittements pour détecter ces collisions et permettre la retransmission des paquets

qui ont été perdus (en l'absence d'acquittement, l'émetteur sait qu'il doit retransmettre).

Il faut noter que 802.11 peut envoyer une trame à un récepteur spécifique (unicast) ou la diffuser (broadcast). Dans le cas de la diffusion, il n'y a pas d'acquittement et des paquets peuvent être perdus de manière tout à fait silencieuse (ce qui est logique, car chaque mobile ayant reçu le paquet chercherait à envoyer l'acquittement au même moment et il y aurait une série de collisions sur les acquittements).

Avec Ethernet, l'idée est d'observer l'état du canal avant d'émettre. Si le canal est libre, alors nous pouvons envoyer notre trame (et si à ce moment-là nous détectons une collision, nous réémettons la trame un peu plus tard, après une attente de durée aléatoire). Or nous venons de voir qu'en radio il n'était pas possible de détecter directement les collisions. Par conséquent, le mécanisme qui conditionne l'autorisation d'émettre sur le canal doit lui aussi être modifié par rapport à ce qui se fait en 802.3. En effet, si nous nous contentions d'attendre que le canal devienne libre pour émettre, alors si plusieurs mobiles étaient en attente d'émission, ils détecteraient tous le canal libre et émettraient au même moment. Il y aurait collision au récepteur et il faudrait attendre que le délai imparti pour le retour de l'acquittement soit écoulé pour s'en rendre compte, ceci pourrait être relativement long.

L'idée retenue pour 802.11 est donc, lorsque le canal devient libre, une station doit attendre une période de durée aléatoire supplémentaire appelée backoff avant d'émettre. Ce mécanisme s'applique lorsque le canal devient libre aussi bien après une de nos propres émissions qu'après toute autre émission. Ainsi, si plusieurs mobiles veulent émettre, il y a peu de chances pour qu'ils aient choisi la même durée. Celui qui a choisi le plus petit backoff va commencer à émettre, et les autres vont alors se rendre compte qu'il y a à nouveau de l'activité sur le canal et vont attendre.

Lorsque le canal devient libre, avant toute chose, il faut qu'il le reste pour une période DIFS (Distributed Inter-Frame Space) (Voir Fig.2.3). Si le canal est resté libre durant toute cette période, alors les mobiles qui veulent émettre choisissent un backoff aléatoire exprimé en un nombre de time slots d'une durée fixe de 20  $\mu$ s. Le

backoff est choisit au hasard dans un intervalle appelé Contention Window (CW) qui est par défaut [0 ;31] ; avec un time slot de 20  $\mu$ s, le backoff va donc normalement être compris entre 0 et 620  $\mu$ s.

Dans l'exemple de la Fig.2.4, les trois stations B, C et D veulent transmettre, chacun tire un nombre aléatoire dans l'intervalle CW, le nombre tiré par la station D est inférieur de celui des autres. Une fois ce tirage effectué, tant que le canal reste libre, les stations décrémentent leur backoff. Dès que l'une d'eux a terminée (ici la station C), elle émet. L'autre station, dès qu'elle détecte le regain d'activité sur le canal stoppe la décrémentation de son backoff et entre en période de defering.

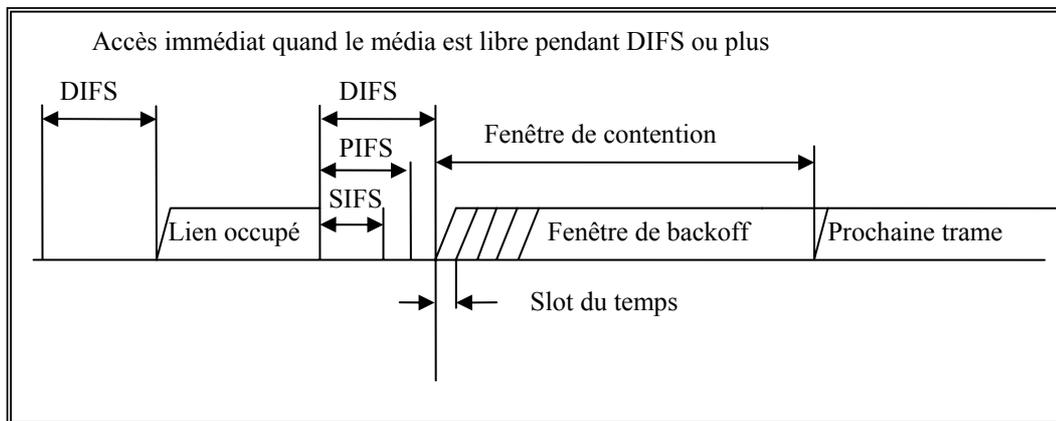


Fig.2.3. Relation entre les IFS

Il faut noter que le temps de pause qui sépare un paquet de données de son acquittement est appelé SIFS (Short Inter-Frame Space) et qu'il est plus court que DIFS. La station en période de defering ne pourra reprendre la décrémentation de son backoff que si le canal est à nouveau libre pendant DIFS. Le fait que SIFS soit plus court empêche que la décrémentation ne reprenne de manière inopportune entre les données et leur acquittement.

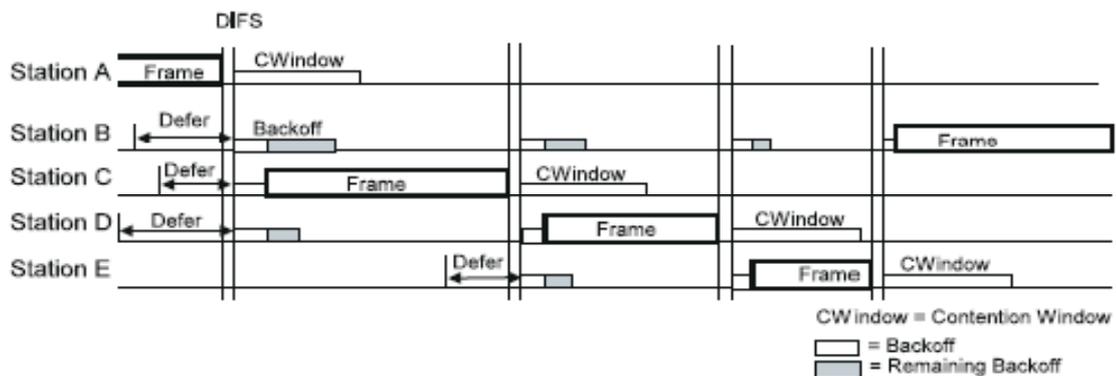


Fig.2.4. Le Backoff et le defering

Lorsque les données de la station C ont été acquittées et que DIFS s'est écoulé sans activité sur le canal, les deux stations B et D peuvent reprendre la décrémentation de ses backoff.

Le mécanisme de backoff limite les risques de collision mais ne les supprime pas complètement. Aussi, si une collision se produit quand même (détectée grâce à l'absence d'acquittement), un nouveau backoff va être tiré au hasard. Mais à chaque collision consécutive, la taille de la fenêtre va doubler afin de diminuer les chances que de telles collisions se répètent. La borne inférieure de la fenêtre de contention CW est toujours zéro, et la borne supérieure (dont les valeurs autorisées par la norme ne sont que des puissances de 2 moins 1) va évoluer entre les valeurs aCWmin et aCWmax définies par la norme. La borne supérieure de la fenêtre est réinitialisée à aCWmin sitôt qu'un paquet a été transmis correctement (ou lorsque les timers de réémission expirent). Un exemple d'évolution de la fenêtre de contention est donné sur la Fig.2.5.

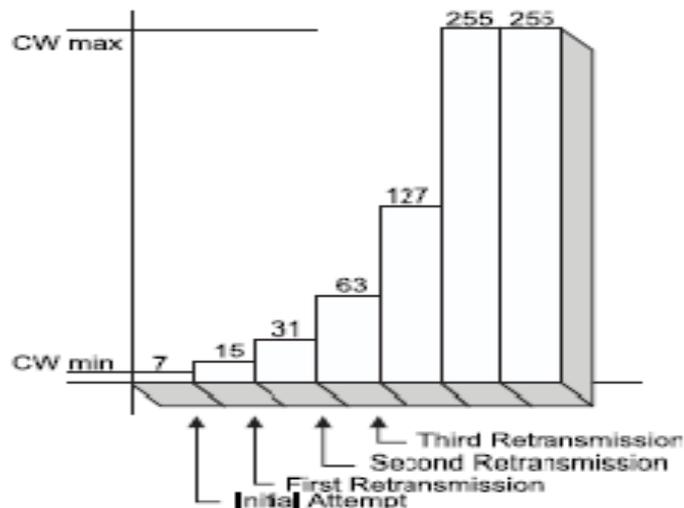


Fig.2.5. Un exemple d'augmentation exponentielle de CW

### II.3.a.i. Le mécanisme RTS/CTS

Nous avons vu que le mécanisme CSMA/CA cherche à éviter les collisions en écoutant l'activité sur le canal et en choisissant un délai aléatoire supplémentaire avant l'émission. Mais il existe une famille de configuration où ce mécanisme est insuffisant. Il s'agit du problème des nœuds cachés (Fig.2.6) où deux émetteurs qui ne peuvent pas du tout s'entendre (en général à cause d'un obstacle) veulent

atteindre un même récepteur. Comme dans cette configuration un émetteur ne détecte jamais l'activité de l'autre, il croit que le canal est toujours libre et émet dès qu'il a des données disponibles. Les chances de collisions à répétition au niveau du récepteur sont très élevées.

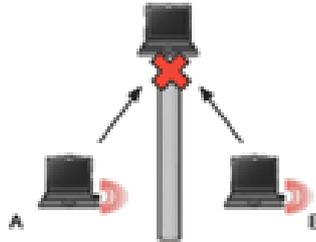


Fig.2.6. Problème des nœuds cachés

802.11 propose un mécanisme utilisant des paquets de contrôle appelés Request To Send (RTS) et Clear To Send (CTS) introduit par [6]. Un mobile qui veut émettre ne va plus directement envoyer son gros paquet de données, mais plutôt un petit paquet RTS pour lequel les chances de collision sont plus faibles. A ce paquet RTS, le destinataire va répondre par un petit paquet CTS qu'il diffuse à tout son voisinage. Les paquets RTS et CTS contiennent des informations qui permettent de réserver le canal pour la durée de transmission des données qui vont suivre. Un mobile qui reçoit un CTS alors qu'il n'a pas envoyé (ni même détecté de RTS) sait que quelqu'un d'autre va émettre et doit donc attendre. Le mobile qui a envoyé le RTS sait, quand il reçoit le CTS correspondant, que le canal a été réservé pour lui et qu'il peut émettre (Voir Fig.2.7).

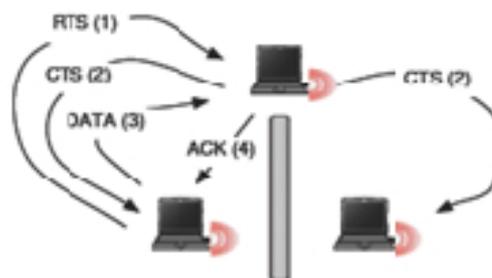


Fig.2.7. Une configuration d'un échange RTS/CTS

Le mécanisme RTS/CTS ne peut pas être utilisé pour les MPDUs avec broadcast et multicast parce qu'il y a des destinations multiples pour le RTS, et ainsi plusieurs expéditeurs concurrents potentiellement du CTS dans la réponse. Le mécanisme

RTS/CTS n'a pas besoin d'être utilisé pour chaque transmission de trame de données. Puisque les trames additionnelles RTS et CTS ajoutent des temps supplémentaires inefficaces, le mécanisme n'est pas toujours justifié, particulièrement pour les trames de données courtes.

L'utilisation du mécanisme RTS/CTS est sous le contrôle de l'attribut `dot11RTSThreshold`. Cet attribut permet aux STAs d'être configurées pour utiliser RTS/CTS toujours, jamais ou seulement avec les trames plus grandes qu'une longueur spécifique.

Une STA qui n'est pas configurée pour utiliser le mécanisme RTS/CTS, ne manquera pas de mettre à jour son mécanisme de détection de porteuse avec l'information de durée contenue dans une trame RTS ou CTS reçue, et répondra toujours à une RTS adressée à elle par une CTS.

### *II.3.a.ii. Mécanismes de détection de porteuse*

Les deux mécanismes, physique et virtuel, de détection de porteuse sont utilisés pour déterminer l'état du support. Quand l'une des deux fonctions indique que le support est occupé, le support sera considéré occupé ; autrement, il sera considéré libre.

#### II.3.a.ii.1. Mécanisme physique

Le mécanisme physique de détection de porteuse est fourni par la couche PHY (voir la norme [5] pour plus de détails sur ce mécanisme physique).

#### II.3.a.ii.2. Mécanisme virtuel (logique)

Le mécanisme virtuel de détection de porteuse est fourni par la couche MAC. Ce mécanisme est reporté comme le NAV (Network Allocation Vector). Le NAV maintient une prédiction du trafic futur sur le support basé sur l'information de durée qui est annoncée dans les trames RTS/CTS antérieures de l'échange actuel de données. L'information de durée est aussi disponible dans l'entête MAC de toutes les trames envoyées durant CP. Le NAV indique pour combien de temps le canal est utilisé par quelqu'un d'autre, indépendamment de ce qui est physiquement perçu sur le canal.

Sur la Fig.2.8 sont présentées les mises à jour du NAV au niveau d'un mobile alors qu'une trame est échangée entre deux autres mobiles. Lorsque le nœud non concerné par l'échange reçoit le RTS, il sait grâce aux informations contenues dans ce dernier pour combien de temps il ne devra pas accéder lui-même au canal. Nous avons vu que dans certaines configurations (par exemple celle de la Fig.2.6), certains paquets ne sont pas reçus par tous les mobiles potentiellement concernés. Les CTS et les paquets de données vont donc aussi devoir porter les informations de durée, afin que leur réception puisse mettre le NAV à jour (Fig.2.8).

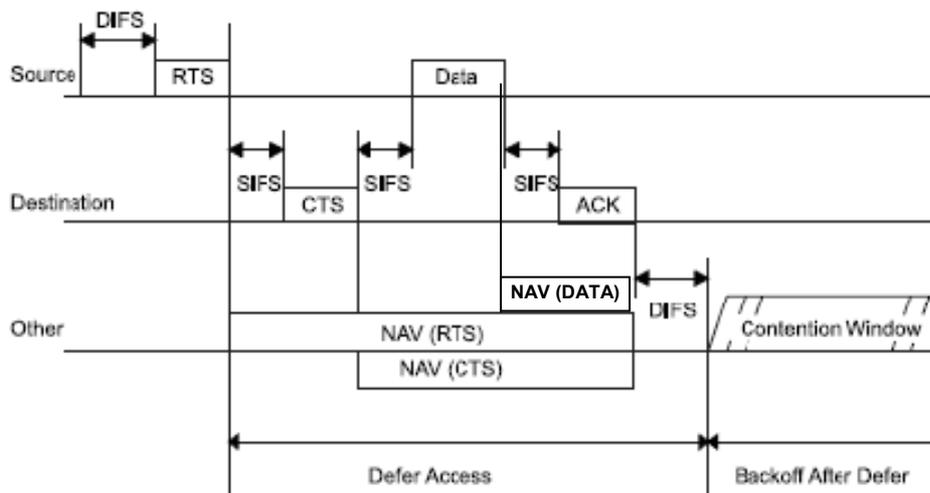


Fig.2.8. RTS/CTS/DATA/ACK et la mise de NAV

Le NAV peut être pensé comme étant un compteur, qui est décrémenté à zéro à un débit uniforme. Quand le compteur devient zéro, la détection virtuelle de porteuse indique que le support est libre ; dans l'autre cas, indique qu'il est occupé. Le support sera déterminé pour être occupé chaque fois que la STA transmette.

### II.3.a.iii. Le mécanisme EIFS

Dans cette configuration, le nœud « autre » (Dans la Fig.2.9) détecte la porteuse de l'émetteur sans pour autant comprendre ses messages (le signal est trop faible pour être décodé, mais suffisamment fort pour être reconnu comme tel). Les paquets envoyés par le récepteur ne sont quant à eux pas détectés du tout par le nœud « autre ». Dans cette situation, 802.11 impose l'utilisation d'un Extended Inter-Frame Spacing (EIFS), afin d'éviter une collision au niveau de l'émetteur au moment du CTS et de l'acquittement par le récepteur.

La Fig.2.9 détaille ce qui se passe : L'émetteur envoie tout d'abord un paquet de contrôle RTS. Ce paquet est reçu par le récepteur, qui va y répondre par un CTS. Le nœud « autre », lui, a détecté de l'activité au moment du RTS mais sans comprendre le paquet. Le mécanisme de defering présenté précédemment l'empêche d'émettre pendant l'envoi du RTS (canal occupé) et pendant une période DIFS consécutive (on est toujours obligé d'attendre que le canal ait été libre pendant DIFS pour émettre). Mais DIFS est plus court que SIFS+CTS. Si jamais le mobile de gauche avait terminé de décrémenter son backoff trop vite, il aurait pu émettre pendant le CTS, causant une collision au niveau de l'émetteur. Pour protéger le CTS (et de manière similaire l'acquittement), 802.11 impose qu'un nœud doive attendre pendant un temps EIFS lorsque le canal redevient libre mais que le paquet n'a pas été compris ; la longueur de EIFS étant suffisante pour que l'envoi du CTS ou de l'ACK aussi que pour la trame de données se déroule dans de bonnes conditions.



Fig.2.9. Extended Inter-Frame Spacing (EIFS)

### II.3.b. Présentation du mode PCF

Nous avons vu que le mode DCF permettait un fonctionnement totalement distribué de l'accès au média, mais que, afin de limiter le nombre des collisions, CSMA/CA avait recours à une durée aléatoire avant l'émission de chaque paquet. Le temps passé à attendre représente autant de débit effectif perdu. Aussi 802.11 propose en option un mécanisme centralisé qui permet d'obtenir un meilleur taux d'utilisation du canal, c'est le mode basé sur la Point Coordination Function (PCF), qui requiert l'utilisation de stations de base et de mobiles l'implémentant.

Le principe de base de PCF est de centraliser la gestion de l'accès au médium d'une cellule. C'est le point d'accès qui indiquera à chacun des mobiles qui lui sont rattachés quand ils doivent émettre leurs paquets. Le backoff aléatoire devient ainsi en partie inutile. Durant toute la phase où la station de base impose l'ordre des transmissions, il n'y a pas de contention pour l'accès au canal ; on parle de Contention Free Period (Fig.2.10).



Fig.2.10. Alternance des modes PCF et DCF

De plus, afin de préserver la compatibilité, dans chaque cycle de la PCF, une période de DCF est conservée et permet aux mobiles n'implémentant pas la PCF de continuer à accéder au canal. C'est la Contention Period (Fig.2.10). La cohabitation entre les mobiles implémentant la PCF et ceux ne l'implémentant pas est assurée grâce au temporisateur PIFS (PCF Inter Frame Spacing). Durant la période sans contention, les trames ne sont en effet séparées que de périodes PIFS (ou SIFS suivant les cas) qui sont toutes les deux plus courtes que DIFS. Grâce à ces temporisateurs, un mobile n'implémentant pas la PCF ne risque donc pas de prendre la main durant la période gérée par la station de base en mode PCF.

## II.4. Conclusion

Deux fonctions d'accès au média (MAC) ont été définies pour la norme IEEE 802.11 : une fonction d'accès au canal basé contention appelée DCF qui utilise CSMA/CA et la procédure de backoff exponentielle binaire, et une fonction d'accès au canal contrôlée appelée PCF qui utilise un système de polling pour fournir l'accès au média basé sur les services de DCF. PCF est une fonction optionnelle. D'une part, avec la haute demande des besoins des applications multimédia par les utilisateurs, le mécanisme 802.11 d'IEEE rencontre un grand défi pour le support de QoS puisque DCF ne peut fournir la différenciation de services pour les différentes classes de trafic. D'autre part, PCF peut fournir seulement un support de QoS limité entre les stations. Par conséquent, IEEE 802.11 est seulement approprié pour un

service de Best-Effort mais pas pour les applications temps réel avec le besoin de QoS.

# III. La qualité de service et IEEE 802.11e

---

III.1. Introduction

III.2. La qualité de service

III.2.a. Notion de qualité de service

III.2.b. Niveaux de service

III.2.c. Critères ou paramètres de qualité de service

III.3. Présentation d'IEEE 802.11e

III.3.a. Limitations de QoS de la couche MAC 802.11

III.3.b. L'architecture de la couche MAC 802.11e

III.3.c. Hybrid Coordination Function (HCF)

III.3.d. Mécanismes de QoS dans IEEE 802.11e

III.4. Conclusion

### **III.1. Introduction**

Le nombre d'utilisateurs des WLANs augmente chaque jour durant ces dernières années. Ils utilisent toutes les applications réseau comme dans les réseaux filaires. Comme dans les réseaux filaires, les utilisateurs et les applications demandent une QoS plus ou moins différente selon l'utilisation. Cette QoS est très demandée dans les WLANs, surtout que le support radio est très sensible aux interférences, la garantie de la QoS est plus difficile que dans les réseaux filaires.

Une autre variante de 802.11 (802.11e) est développée par IEEE pour garantir le service de QoS au niveau de la couche MAC. Dans le reste de ce chapitre, nous présentons le terme QoS et donnons des généralités sur ce service, après, nous présentons la nouvelle variante 802.11e et ses mécanismes qui fournissent la QoS.

### **III.2. La qualité de service**

#### **III.2.a. Notion de qualité de service**

Le terme QoS (acronyme de « Quality of Service », en français « Qualité de Service ») désigne la capacité à fournir un service (notamment un support de communication) conforme à des exigences en matière de temps de réponse et de bande passante [7].

Appliquée aux réseaux à commutation de paquets (réseaux basés sur l'utilisation de routeurs) la QoS désigne l'aptitude à pouvoir garantir un niveau acceptable de perte de paquets, défini contractuellement, pour un usage donné (voix sur IP, vidéoconférence, etc.).

En effet, contrairement aux réseaux à commutation de circuits, tels que le réseau téléphonique commuté, où un circuit de communication est dédié pendant toute la durée de la communication, il est impossible sur internet de prédire le chemin emprunté par les différents paquets.

Ainsi, rien ne garantit qu'une communication nécessitant une régularité du débit puisse avoir lieu sans encombre. C'est pourquoi il existe des mécanismes, dits mécanismes de QoS, permettant de différencier les différents flux réseau et réserver

une partie de la bande passante pour ceux nécessitant un service continu, sans coupures, on parle ici sur la garantie.

### **III.2.b. Niveaux de service**

Le terme « niveau de service » (en anglais Service level) définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :

\* Meilleur effort (en anglais best effort), ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé « lack of QoS ».

\* Service différencié (en anglais differentiated service ou soft QoS), permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.

\* Service garanti (en anglais guaranteed service ou hard QoS), consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (Resource reSerVation Protocol, traduisez Protocole de réservation de ressources).

### **III.2.c. Critères ou paramètres de qualité de service**

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

\* Débit (en anglais bandwidth), parfois appelé bande passante ou largeur de bande par abus de langage, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps.

\* Latence, délai, retard ou temps de réponse (en anglais delay) : elle caractérise le retard entre l'émission et la réception d'un paquet.

\* Gigue (variation de retard en anglais jitter) : elle représente la fluctuation du signal numérique, dans le temps ou en phase.

\* Perte de paquet (en anglais packet loss): elle correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.

\* Déséquencement (en anglais dequencing) : il s'agit d'une modification de l'ordre d'arrivée des paquets.

Les paramètres de QoS débit, retard, gigue et taux de perte sont appropriés aux applications multimédias et aussi à la couche MAC :

### *III.2.c.i. Débit*

Du point de vue d'application, le débit se rapporte au taux de données (bits par seconde) produit par l'application. Le débit, mesuré en nombre de bits par seconde, parfois s'appelle débit binaire ou largeur de bande. La largeur de bande est considérée pour être la ressource du réseau qui doit être correctement contrôlée et affectée aux applications.

Le débit exigé par une application dépend des caractéristiques de cette application. Par exemple, dans une application de streaming vidéo, les différentes propriétés visuelles produisent des débits différents.

Deux caractéristiques d'un processus de génération du trafic de données des applications : le taux de génération du trafic de données (débit binaire constant et variable) aussi bien que la rafale de génération d'un trafic de données.

#### III.2.c.i.1. Débit binaire constant et variable (CBR et VBR)

- CBR :

Les applications de débit binaire constant (CBR) produisent du trafic de données avec un débit binaire constant. Un exemple d'application CBR comme une central téléphonique numérique privé, qui génère un débit binaire constant de 64 Kbps, et la vidéo numérique non compressée.

La plupart des applications de débit binaire constant sont sensible au retard et exigent l'allocation d'une largeur de bande constante. L'attribution d'une largeur de bande au-dessous de la largeur de bande requise entraîne la panne d'application.

D'une part, l'attribution d'une largeur de bande au-dessus de la condition n'améliore pas la satisfaction des utilisateurs, suivant les indications dans la Fig.3.1.

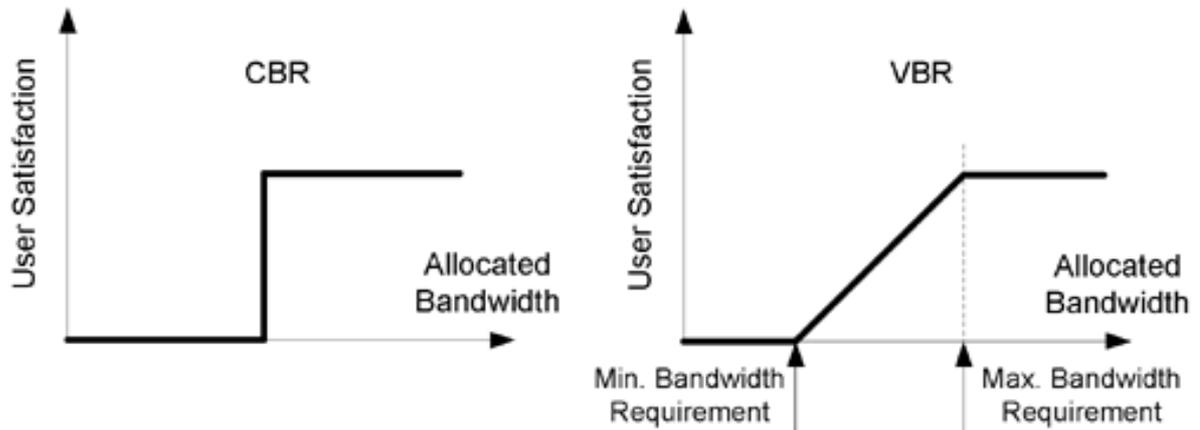


Fig.3.1. Satisfaction des utilisateurs en fonction de largeur de bande allouée pour le trafic CBR et VBR.

- VBR :

Les applications de débit binaire variable (VBR) génèrent un trafic de données avec un débit variable. Le degré de variabilité de débit binaire dépend de l'application. Un exemple d'applications VBR comme la vidéo et l'audio compressé.

Les applications VBR exigent une allocation minimale de largeur de bande afin de fonctionner avec succès. Plus de la largeur de bande assignée, plus la qualité reçue par l'utilisateur est meilleure. L'allocation de largeur de bande au delà de la largeur de bande requise maximale n'améliore pas la satisfaction des utilisateurs suivant les indications de la Fig.3.1.

### III.2.c.i.2. Rafale (Burstiness)

Le rafle du trafic de données mesure le degré de variabilité de débit binaire d'une application VBR. Le rafale est défini comme le rapport (taux) de débit binaire moyen (MBR) du débit binaire maximal (PBR) où :

- PBR est le nombre maximum des bits dans une courte période de temps
- MBR est le nombre moyen de bits dans une longue période de temps

*III.2.c.ii. Retard*

Le retard a un impact direct sur la satisfaction des utilisateurs. Les applications temps réel exigent la fourniture d'informations de la source à la destination dans une certaine période du temps. Les retards longs peuvent entraîner des incidents qui réduisent alternativement la fidélité de vidéo. D'ailleurs, il peut entraîner l'anéantissement (frustration) d'utilisateur pendant des tâches interactives. Quand le trafic de données est porté à travers une série de composants dans un système de communication qui interconnecte la source et la destination, chaque composant introduit un retard (Voir Fig.3.2). Nous pouvons classer les sources principales de retard comme suit :

1. Retard de traitement de la source (retard de numérisation et de mettre dans des paquets) : Ce retard, qui est introduit par la source qui produit des paquets, dépend de la configuration matériel de serveur de source (puissance CPU, RAM, carte mère, etc.) et de son chargement actuel (par exemple, le nombre de demandes fonctionnant simultanément et leurs ressources de matériel requises).

2. Retard de transmission : La période de transmission d'un paquet est une fonction de la longueur de paquet et de la vitesse de transmission.

3. Retard de réseau :

a. Retard de propagation : Le délai de propagation de la source à la destination est une fonction de la distance physique entre la source et la destination.

b. Retard de protocole : Le retard est causé par les protocoles de communication exécutés aux différentes parties du réseau telles que des routeurs, des passerelles, et des cartes d'interface réseau. Le retard dépend des protocoles, de la charge du réseau, et de la configuration matérielle qui exécute le protocole.

c. Retard de la file d'attente de sortie : Le retard est causé par le temps passé dans la file d'attente de sortie de lien avant qu'un paquet dans une partie du réseau. Par exemple, un tel retard peut être encouru à une file

d'attente de sortie intermédiaire d'un routeur. Le retard dépend de la congestion du réseau, de la configuration du matériel, et de la vitesse de lien.

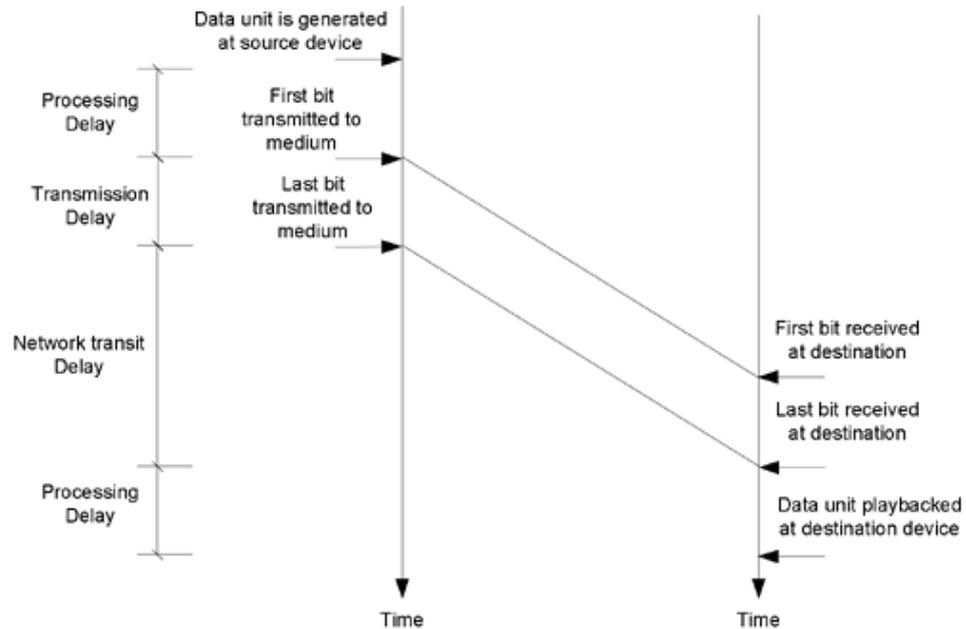


Fig.3.2. Diagramme de délai de bout-en-bout

4. le retard de traitement de la destination : Ce retard est introduit par le traitement exigé à la destination. Par exemple, un tel retard peut être encouru dans le processus de reconstruction de paquet. Semblable au retard de traitement à la source, ce retard dépend de la configuration matérielle et de la charge de destination.

### III.2.c.iii. Gigue

La gigue est une métrique de QoS qui se rapporte à la variation du retard introduit par les composants le long de chemin de communication. Puisque chaque paquet dans le réseau prend des chemins différents, et les conditions du réseau peuvent être différentes pour chaque paquet, le retard de bout en bout varie. Pour des données produites au débit constant, l'instabilité de retard déforme la synchronisation du trafic original. Les paquets voyagent par le réseau et éprouvent différents retards de bout en bout, atteignant la destination avec des déformations de synchronisation (signal inachevé ou différé) relativement au trafic initial.

#### *III.2.c.iv. Taux de perte ou d'erreur*

La perte de paquets affecte directement la qualité perçue de l'application. Elle compromet l'intégrité des données et perturbe le service. Au niveau de réseau, la perte de paquets peut être causée par la congestion du réseau, qui a comme conséquence les paquets rejetés. Une autre cause de la perte est provoquée par les erreurs de bit qui se produisent en raison d'un canal de communication bruyant. Une telle perte se produira très probablement dans un canal sans fil. Il y a plusieurs techniques pour recouvrir la perte ou l'erreur de paquets telle que la retransmission de paquet, correction d'erreurs à la couche physique, ou au codec à la couche application qui peut compenser ou cacher la perte.

### **III.3. Présentation d'IEEE 802.11e**

Le support sans fil a des caractéristiques fondamentalement différentes d'un support filaire. Nous devrions noter que le MAC essaye de fournir des garanties de service de QoS dans ce support qui est par sa nature imprévisible et dont la largeur de bande et le temps d'attente ne peuvent pas être garantis comme dans un système filaire, particulièrement dans un spectre non autorisé (hors License, comme la bande ISM de 2.4 GHz et de 5 GHz). Pour résoudre ce problème, le comité d'IEEE 802.11 a formé le comité du groupe de travail E (802.11e) pour définir des perfectionnements au MAC 802.11 original.

#### **III.3.a. Limitations de QoS de la couche MAC 802.11**

DCF n'a aucune garantie de supporter la QoS. Tout le trafic de données est traité par une stratégie FIFO (First In First Out) de façon de meilleur effort. Tout les STAs dans le BSS contestent pour le support sans fil avec la même priorité. Ceci entraîne le débit asymétrique entre la liaison montante et la liaison descendante, car l'AP a la même priorité que les autres STAs mais avec beaucoup d'exigence de haut débit. Aussi, Il n'y a aucune différenciation entre les flux de données pour supporter le trafic avec des exigences de QoS. Quand le nombre de STAs dans un BSS augmente, la probabilité des collisions devient plus haute et a comme conséquence les retransmissions fréquentes. Par conséquent la QoS diminue comme le débit global dans le BSS.

Bien que PCF ait été conçu pour supporter le trafic avec temps limité, beaucoup d'insuffisances ont été identifiées. Celles-ci incluent des retards imprévisibles de balise ayant pour résultat la diminution significative de CFP, et la durée inconnue de transmission de STA voté la rendant très difficile pour que le PC prévoie et contrôle le programme d'interrogation pour le reste de la CFP.

En outre, il n'y a aucune interface de gestion définie pour mettre et contrôler des opérations de PCF. Par conséquent il est impossible de mettre des règles pour PCF selon les exigences des protocoles des couches plus élevées tels que DiffServ [8] ou IntServ [9]. Également il n'y a aucun mécanisme pour STAs de communiquer des exigences de QoS à l'AP, qui est essentiel pour optimiser la performance de l'algorithme de vote dans le PC.

En résumé, ni DCF ni PCF fournis un service suffisant pour soutenir le trafic avec des exigences de QoS.

### III.3.b. Architecture de la couche MAC 802.11e

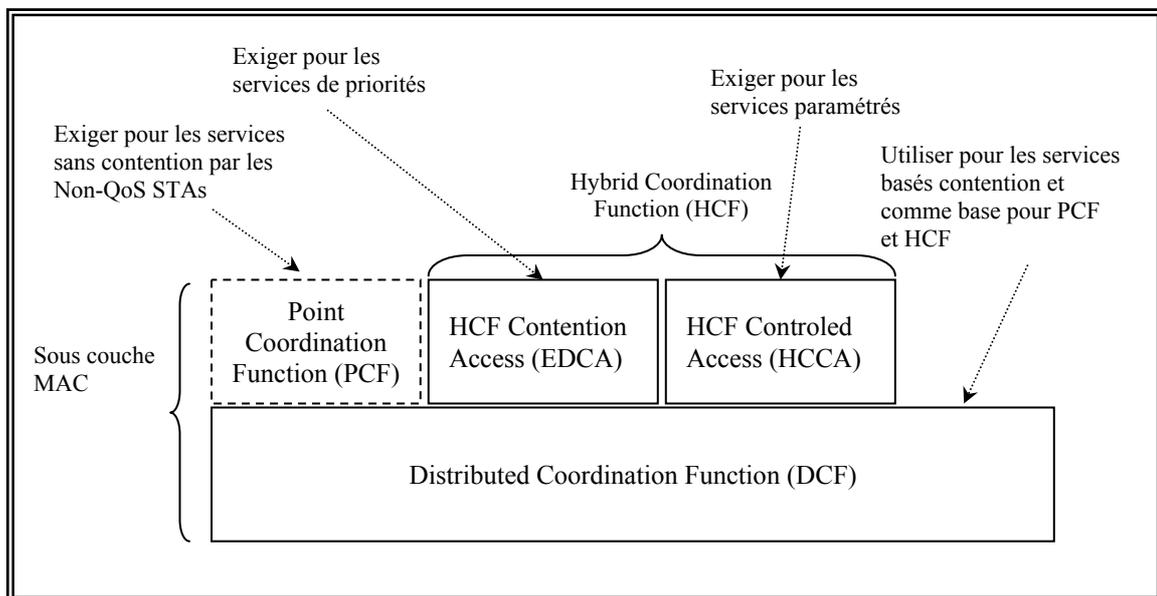


Fig.3.3. Architecture MAC d'IEEE 802.11e

Les perfectionnements ajoutés à la norme 802.11e consiste à ajouter une nouvelle fonction de coordination hybride « HCF » (en anglais Hybrid Coordination Function) [10], dans laquelle deux mécanismes d'accès au média sont définis (voir Fig.3.3). Semblable aux deux mécanismes d'accès dans 802.11, ceux-ci sont de type

d'accès au média basé contention (contention-based channel access), référé en tant que EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), et HCCA (HCF Controlled Channel Access). Dans la nouvelle norme la fonction PCF devienne optionnelle. Dans la suite nous décrirons les deux fonctions de coordination et ces mécanismes de QoS introduits. La Fig.3.3 illustre l'architecture de 802.11e et ces fonctions.

### III.3.c. Hybrid Coordination Function (HCF)

802.11e définit une version élaborée des dispositifs spécifiés dans l'édition 1999 d'IEEE 802.11. Ces perfectionnements distinguent les stations améliorées par QoS (QSTAs) et les stations ordinaires (non-QoS STAs), et le point d'accès amélioré par QoS (QAP) du point d'accès ordinaire (non-QoS AP). Ces dispositifs se nomment collectivement service de QoS.

Il y a deux principaux blocs fonctionnels définis dans 802.11e. Ce sont les fonctions d'accès au canal et la gestion de spécification du trafic (TSPEC). On décrira chacune d'eux en plus de détail et on commence par les fonctions d'accès au canal.

Le service de QoS de 802.11e définit une nouvelle fonction de coordination appelée la fonction de coordination hybride (HCF) utilisée seulement dans BSS (Basic Service Set) avec le support de QoS (QBSS : QoS BSS). HCF a deux modes de fonctionnement : EDCA est une fonction d'accès au canal basée sur contention qui fonctionne en même temps que la fonction HCCA qui est basée sur un mécanisme d'interrogation (Polling), ce mécanisme d'interrogation est contrôlé par le coordinateur hybride (HC : Hybrid Coordinator). Le HC est situé avec le QAP. Les deux fonctions d'accès améliorent ou étendent les fonctionnalités des méthodes d'accès initiales DCF et PCF. EDCA a été conçu pour le support du trafic prioritaire semblable à DiffServ, tandis que HCCA supporte le trafic paramétré semblable à IntServ.

Le concept fondamental de ces fonctions d'accès au canal est l'opportunité de transmission (TXOP : Transmission Opportunity). Un TXOP est un intervalle de temps contigu dans lequel la QSTA est permise de transmettre une série de trames. Un TXOP est défini par le temps de démarrage et une durée maximale. Si un TXOP

est obtenu par l'utilisation d'EDCA, le TXOP est appelé EDCA-TXOP, et s'il est obtenu par HCCA, alors il s'appelle HCCA-TXOP.

La durée de l'EDCA-TXOP est contrôlée par le QAP et distribuée aux non-AP QSTAs dans les trames de balise avec d'autres paramètres associés par EDCA. La durée d'un HCCA-TXOP est passée aux non-AP QSTA directement par le HC en tant qu'élément d'une trame de CF-Poll de QoS, qui admet le HCCA-TXOP.

EDCA est utilisé seulement pendant le CP (période de contention), alors que HCCA peut fonctionner théoriquement pendant CFP (période libre de contention) et le CP. Cependant la norme 802.11e recommande l'utilisation de HCCA pendant CP seulement, et décourage son utilisation pendant CFP. C'est principalement dû à la complexité d'implémenter le Polling en utilisant Cf-Poll et QoS Cf-Poll en même temps. Les trames multicast et broadcast sont délivrées par le QAP pendant le CP ou la CFP sous EDCA ou PCF respectivement.

Le standard original exige les accusés de réception des trames reçues avec succès. Dans niveau MAC de 802.11e l'accusé de réception (ACK) est devenu facultatif. Ceci signifie que quand la politique de "aucun ACK" est utilisée, le MAC n'enverrait pas un ACK quand il a correctement reçu une trame. Ceci signifie également que la fiabilité du trafic de "aucun ACK" est réduite, mais elle améliore l'efficacité globale de MAC pour le trafic sensible au temps, tel que le VoIP, où les données ont une certaine durée de vie très stricte.

L'option de "aucun ACK" introduit également des contraintes temps réel plus rigoureuses depuis si un ACK n'est pas prévu, alors la prochaine trame pour la transmission doit être prête dans le temps de SIFS de l'extrémité de la dernière transmission.

### *III.3.c.i. EDCA pour le support des trafics de priorités*

EDCA améliore le DCF original pour fournir la QoS de niveau priorité (Prioritized QoS), c.-à-d. QoS basé sur la priorité de l'accès au support sans fil (Voir Fig.3.4), et il supporte le service de meilleur-effort basé sur priorité tel que DiffServ.

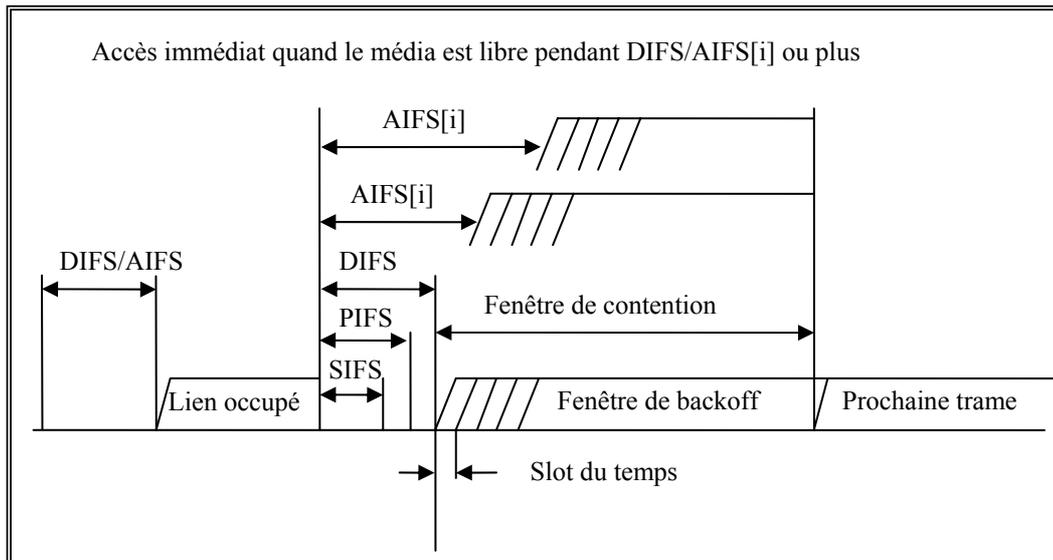


Fig.3.4. Relations entre les IFSs dans 802.11e

La QoS basée sur la priorité est réalisée par l'introduction de quatre catégories d'accès (AC), qui fournissent la livraison des trames liées aux priorités d'utilisateur (UP : User Priority) comme défini dans IEEE 802.1D.5 [11] (voir Tab.3.1). Chaque AC a sa propre file d'attente de transmission et son propre ensemble de paramètres (La Fig.3.5 présente le modèle d'implémentation d'EDCA). La différenciation dans la priorité entre les ACs est réalisée par l'affectation de différentes valeurs aux paramètres de chaque AC. Les plus importants parmi les suivants :

- Nombre de l'espace arbitraire inter-trame (AIFSN) : L'intervalle minimum du temps entre le temps où le média sans fil devient libre et le début de la transmission d'une trame.
- Fenêtre de contention (CW) : Un nombre aléatoire de cet intervalle, ou de cette fenêtre, pour le mécanisme de backoff.
- Limite de TXOP : La durée maximale pour laquelle une QSTA peut transmettre après l'obtention d'un TXOP.

Priorité	UP (comme User Priority dans 802.1D)	désignation 802.1D	AC	Désignation (instructive)
Plus basse ↓ Plus haute	1	BK	AC BK	Background
	2	—	AC BK	Background
	0	BE	AC BE	Best Effort
	3	EE	AC BE	Best Effort
	4	CL	AC VI	Video
	5	VI	AC VI	Video
	6	VO	AC VO	Voice
	7	NC	AC VO	Voice

Tab.3.1. Correspondance entre UP et AC

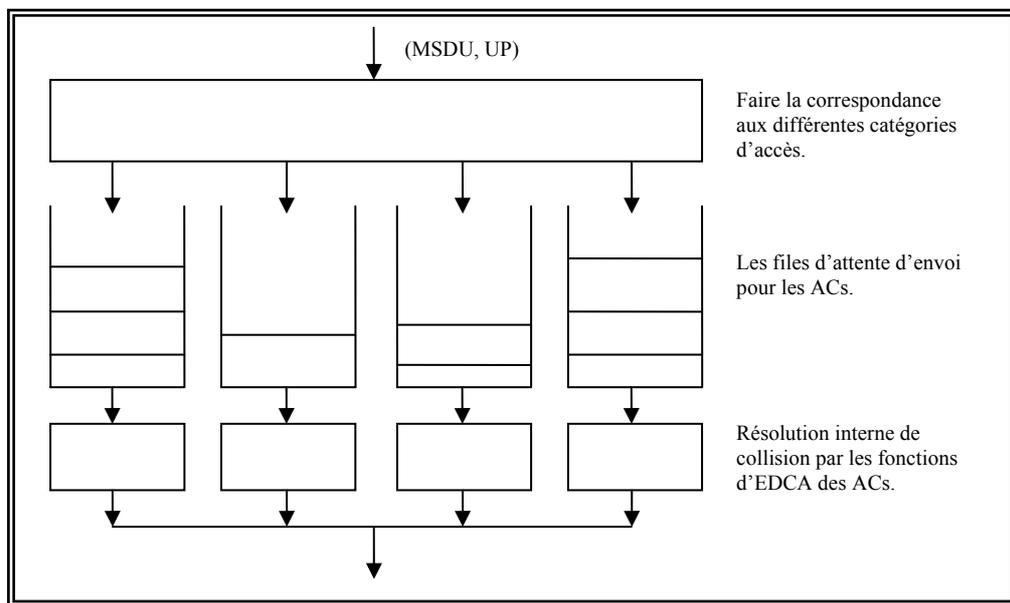


Fig.3.5. Modèle d'implémentation de référence d'EDCA

L'algorithme interne de contention calcule le backoff, indépendamment pour chaque AC, basé sur AIFSN, fenêtre de contention, et un nombre aléatoire. La procédure de backoff est similaire à celle de DCF, et l'AC avec le plus petit backoff gagne la contention interne.

L'AC gagnant contesterait alors extérieurement pour le support sans fil. L'algorithme de contention externe n'a pas changé significativement comparé à DCF, sauf que dans DCF le deferring et le backoff étaient constants pour chaque PHY particulier. 802.11e a changé le deferring et le backoff pour être variables, et les valeurs sont réglées selon l'AC approprié.

Avec l'ajustement correct des paramètres d'AC, la performance du trafic des différents ACs peut être optimisée et la priorisation du trafic peut être achevée. Ceci exige un coordinateur central (QAP) de mettre à jour un ensemble commun de paramètres d'ACs pour garantir l'équité de l'accès pour toutes les QSTAs dans le QBSS. Afin d'adresser également l'asymétrie entre le trafic ascendant (QSTA à QAP) et le trafic descendant (QAP à QSTA), un ensemble séparé de paramètres d'EDCA est défini pour le QAP seulement, qui tient compte de cette asymétrie.

### *III.3.c.ii. HCCA pour le support des trafics paramétrés*

HCCA est un composant de HCF et fournit le support de paramétrage de QoS. Il hérite certaines règles du PCF traditionnel, et il introduit beaucoup d'extensions. Semblable à PCF, HCCA fournit l'accès élu au support sans fil. Mais à la différence de PCF, le Polling (l'élection) de QoS peut avoir lieu pendant le CP et l'ordonnancement des paquets est basé sur les TSPECs admises.

Le concept central de HCCA est la phase d'accès contrôlée (CAP : Controlled Access Phase) qui est un intervalle du temps limité et il est formé en enchainant une série de HCCA-TXOPs. Le scheduling de HCCA-TXOP et la formation de CAP sont effectués par le HC.

Le HC gagne l'accès au media sans fil puisque il utilise des paramètres d'accès plus courts que celui des autres stations, cela donne au HC la plus haute priorité pour l'accès au média.

802.11e introduit un certain nombre de nouveaux sous-types de trame de QoS. Pour HCCA-TXOP, la trame QoS CF-Poll est utilisée pour allouer le TXOP, et alors le transfert des données commence en utilisant des trames de données QoS. Les trames QoS-Null peuvent être utilisées pour terminer un HCCA-TXOP par non-AP QSTA s'il n'a aucune donnée à envoyer, ou le transfert des données s'est terminé. Les nombreux différents types des trames de données QoS et de leurs règles d'utilisation associées augmentent l'efficacité du MAC 802.11e, bien qu'il augmente aussi la complexité de l'ordonnancement de HCCA.

### *III.3.c.iii. Traffic Specifications*

La spécification du trafic (TSPEC) est le dispositif de gestion de flux du trafic spécifié par la norme 802.11e, qui fournit le lien de gestion entre les protocoles de QoS des couches hautes tels que DiffServ ou IntServ et les fonctions d'accès au média de 802.11e. TSPEC décrit les caractéristiques des flux du trafic, tels que le débit, la longueur de paquet, le retard, et l'intervalle de service. La négociation de TSPEC entre les pairs de couches MAC fournit le mécanisme de contrôle d'admission, d'établissement, de réglage et de suppression des flux du trafic.

Le contrôle d'admission de flux du trafic est particulièrement important puisque la largeur de bande disponible est limitée dans le support sans fil. L'accès de largeur de bande doit être contrôlé pour éviter la congestion du trafic, qui peut mener à casser la QoS établie et la dégradation radicale de débit global. La norme 802.11e spécifie l'utilisation de spécification du trafic (TSPEC) pour un tel but pour EDCA et HCCA.

Des trames de gestion de QoS, des primitifs, et des procédures sont définis pour la négociation de TSPEC, qui est toujours initialisée par l'entité de gestion de station (SME : station management entity) d'une QSTA, et sont reçus ou rejetés par le HC (Hybrid Coordinator). TSPEC demandée est communiqué au MAC par l'intermédiaire de l'entité de gestion de la couche MAC (MLME) SAP. Ceci permet à la couche plus élevée (un commutateur, un protocole, ou une application) telle que RSVP, d'allouer des ressources dans la couche MAC.

### **III.3.d. Mécanismes de QoS dans IEEE 802.11e**

En raison des limitations de DCF et de PCF, 802.11e définit une fonction hybride de coordination, HCF, qui combine les fonctions de DCF et de PCF pour la transmission de données QoS. Dans 802.11e une super-trame comprend toujours les deux phases d'opérations, CP (contention period) et CFP (contention free period). EDCA est seulement utilisé dans CP, alors que HCCA peut être utilisée dans les deux phases.

### III.3.d.i. Les mécanismes de QoS d'EDCA

Dans EDCA, le support de QoS est réalisé en introduisant multiple catégorie d'accès (ACs) dans chaque station supportant la QoS (QSTA). EDCA définit quatre ACs, et les différentes ACs ont des priorités différentes, servant différents types de trafics.

Suivant les indications de Fig.3.4, chaque AC est une variante améliorée de DCF qui conteste pour l'opportunité de transmission (TXOP) en utilisant les paramètres d'accès au canal spécifiques à l'AC de l'ensemble de paramètres d'EDCA (EDCA parameter set), qui inclut :

- Valeur minimale CW (Contention Window) pour une AC donnée ( $CW_{\min}$  [AC]) :  $CW_{\min}$  peut être différente pour chaque ACs. L'attribution de plus petites valeurs de  $CW_{\min}$  aux classes prioritaires peut s'assurer que les classes prioritaires obtiennent plus de TXOPs que les moins prioritaires.
- Valeur maximale CW (Contention Window) pour une AC donnée ( $CW_{\max}$  [Ac]) : Semblable à  $CW_{\min}$ .
- L'espace d'arbitrage inter-trame (AIFS [AC]) : Chaque AC commence son procédure de backoff après que le canal soit en veille (inoccupé) pendant une période d'AIFS [AC] au lieu de DIFS. L'AIFS [AC] pour une AC donnée devrait être égal à un SIFS plus multiple tranches de temps (multiple of a slots time) (c.-à-d.,  $AIFS [AC] = aSIFSTime + AIFSN [AC] * aSlotTime$ ).  
Considérer :

$DIFS = aSIFSTime + 2 * aSlotTime$  dans 802.11,

AIFSN [AC] est typiquement ne mis pas moins de 2 tels que le délai d'attente le plus court est DIFS.

- TXOPlimit [AC] : TXOPs obtenus par EDCA sont référés par EDCA-TXOPs. Pendant un EDCA-TXOP, on peut permettre à une station de transmettre multiples trames de données de la même AC avec un intervalle de SIFS entre un ACK et la transmission ultérieure de trame de données. TXOPlimit [AC] donne la limite pour une transmission consécutive.

- Collision virtuelle : Si les compteurs de backoff de deux ou plus d'ACs concurrentes dans une station s'écoulent en même temps, un scheduler à l'intérieur de la station traite l'événement comme une collision virtuelle. Le TXOP est donné à l'AC avec la priorité la plus élevée parmi les ACs entrant en collision, et les autres ACs heurtées reportent et essaient de nouveau plus tard comme si la collision s'est produite dans le vrai support.

### III.3.d.ii. Les mécanismes de QoS de HCCA

Bien qu'EDCA améliore le DCF traditionnel, il n'est pas suffisant d'assurer la protection pertinente du trafic et les garanties de QoS, particulièrement sous les trafics de charges élevés. Ici venir le besoin de mécanisme d'accès au média à base de vote (Polling-based), HCCA.

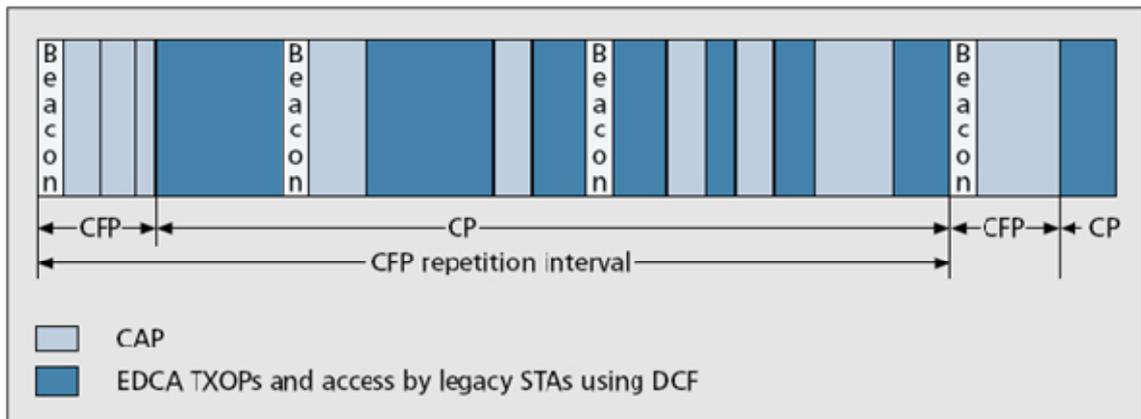


Fig.3.6. Périodes CAP/CFP/CP

Similaire au PCF traditionnel, HCCA fournit l'accès par vote au support sans fil. En particulier, HCCA utilise un coordonnateur hybride sensible à la QoS (HC), qui est typiquement se trouve au point d'accès qui supporte la QoS (QAP) dans les WLANs avec infrastructure. HC utilise PIFS pour gagner le contrôle du canal et puis assigne les TXOPs aux QSTAs, qui sont référés comme HCCA TXOPs ou TXOPs votés. À la différence de PCF, HCCA peut voter la QSTAs au cours des périodes de contention (CPs), et HCCA tient en compte les exigences spécifiques de flux des QSTAs dans l'ordonnancement de paquet. La figure 2 montre les différentes périodes sous HCCA. Noter que la phase d'accès contrôlée (CAP) est définie comme période de temps où HC maintient le contrôle du support. Il peut voir que les CAPs se composent non seulement des CFPs mais également partie des CPs.

Après qu'il prend le canal, le HC sélectionne (polls) les QSTAs en tour selon sa liste de polling. Afin d'être incluse dans la liste de polling du HC, une QSTA doit envoyer une demande de réservation de QoS utilisant la trame spéciale de gestion de QoS, et chaque flux individuel à besoin d'une demande particulière de réservation. La Fig.3.7 représente le format commun de trame pour collecter les paramètres de spécification du trafic (TSPEC : Traffic SPECification). Les paramètres principaux de TSPEC [8] incluent :

- Débit moyen ( $\rho$ ) : le débit binaire moyen pour la transmission de paquet, en bits par seconde.
- Limite de retard (D) : le retard maximum permet de transporter un paquet à travers l'interface sans fil (retard de queue y compris), en millisecondes.
- Intervalle maximum de service ( $SI_{max}$ ) : le temps maximum autorisé entre TXOPs voisin assigné à la même station, en microsecondes.
- Taille nominale de MSDU (L) : la taille nominale (symbolique) d'un paquet, en octets.
- Débit physique minimal (Minimum PHY rate) (R) : le débit binaire physique minimal supposé par le planificateur pour calculer le temps de transmission, en bits par seconde.

Pour les autres paramètres, leurs significations et leurs détails peuvent être trouvés dans [8].

Element ID	Length	TS info	Nominal MSDU size	Maximum MSDU size	Minimum service interval	Maximum service interval	Inactivity interval	Suspension interval
Service start time	Minimum data rate	Mean data rate	Peak data rate	Maximum burst size	Delay bound	Minimum PHY rate	Surplus bandwidth allowance	Medium time

Fig.3.7. Format commun d'une trame de gestion pour Traffic SPECification

Noter que, bien que la décision de QAP est basée sur les caractéristiques de flux individuel, les TXOPs de HCCA sont actuellement (basé sur le draft) assignés sur la

base de QSTA au lieu de flux, et chaque QSTA est alors responsable d'assigner les TXOPs à ses différents flux.

### *III.3.d.iii. Autre mécanismes de QoS*

En plus d'EDCA et de HCCA, la norme 802.11e fournit également quelques autres mécanismes de MAC pour des perfectionnements de QoS.

#### I.1.a.i.1. Accusé de réception de bloc (bloc ACK)

Le bloc ACK peut être lancé par un processus d'installation et de négociation entre un QSTA et le QAP. Une fois le bloc ACK a été établi, plusieurs trames de données QoS sont transmises une rafale libre de contention avec un intervalle de SIFS entre les trames consécutives. Ce mécanisme aide à réduire les temps supplémentaires de largeur de bande imposés par le mécanisme conventionnel d'ACK, qui exige un ACK individuel à chaque trame de données réussie.

#### I.1.a.i.2. Protocole de communication directe

Le DLP (Direct Link Protocol) permet à deux stations liées au même QAP de transmettre directement des données entre eux. Ceci facilite l'utilisation efficace du support de transmission car des transmissions n'ont besoin d'être dirigées plus par le QAP.

#### I.1.a.i.3. Aucun accusé de réception (aucun ACK)

Pour certaines applications, 802.11e ne permet aucun ACK d'être envoyé. Ce dispositif/caractéristique est très utile pour les applications qui ont des conditions rigoureuses de retard mais peut tolérer une quantité importante de pertes de paquets (par exemple, voix sur IP (VoIP : Voice over IP)).

## **III.4. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné la définition de qualité de service ainsi que ses principaux paramètres affectés par la couche MAC. Nous avons décrit la nouvelle norme 802.11e destinée à offrir la qualité de service au niveau de la couche MAC, ainsi que les mécanismes utilisés pour hériter des spécifications des

trafics afin de les utiliser comme dans les couches les plus hautes. Ces mécanismes offrent une qualité de service très intéressante. Dans EDCA, et dans un mode Ad hoc, le mécanisme utilisé est la différenciation de services qui donne la qualité de service aux groupes de trafics mais pas pour un trafic bien défini, ce qui amène les trafics de priorité basse d'entrer en famine surtout lorsque le réseau est trop chargé. Mais dans le mode infrastructure, un ordonnanceur simple est utilisé pour donner à chaque trafic admis ses besoins en QoS.

# IV. Les travaux sur la QoS au niveau de la couche MAC 802.11 et 802.11e

---

## IV.1. Introduction

## IV.2. Ajustement des paramètres de la couche MAC

### IV.2.a. AMPA (Adaptif Mac PArAmeters)

### IV.2.b. AEDCF (EDCF Adaptative)

### IV.2.c. FCWAC (fuzzy CW allocation control)

### IV.2.d. Réduction de la famine par l'ajustement dynamique de paramètres

## IV.3. Ordonnancement et contrôle d'admission

### IV.3.a. MAHS (Multiple Access Hybrid Scheduler)

### IV.3.b. DAHS (Dynamic Adaptive HCF Scheduler)

### IV.3.c. Gestion dynamique de la bande passante et du contrôle d'admission

### IV.3.d. Ordonnanceur et contrôleur d'admission (réseaux Ad hoc d'un seul-saut)

## IV.4. Conclusion

## **IV.1. Introduction**

Le MAC dans la norme 802.11 originale (et ces variantes a, b, et g), ne fournit pas de mécanismes nécessaires pour supporter la QoS. Les mécanismes pour identifier et donner la priorité aux différents types de flots, et réserver les ressources garanties pour des flots spécifiques n'étaient pas présents dans 802.11 originale. Pour cette raison IEEE a commencé une autre initiative pour améliorer la couche MAC et offrir les mécanismes nécessaires pour le support correct de QoS au niveau de la couche MAC. Ces perfectionnements sont présentés par la norme 802.11e.

Il y a eu beaucoup de recherches sur la QoS pour les WLAN et les réseaux ad hoc. Parmi ces études, beaucoup se sont concentrées sur une solution dans la sous-couche MAC. Ceci est justifié par le fait que l'approvisionnement de QoS n'est pas possible à moins que supporté par le protocole MAC. En d'autres termes, un protocole MAC sensible à la QoS est nécessaire. La plupart de ces travaux ont été faites pour les réseaux basés sur une infrastructure. Parmi les études qui se concentrent sur la couche MAC des réseaux sans infrastructure. Puisque la norme 802.11 est tellement étendue, alors n'importe quelle proposition pour être plus réaliste, doit être compatible avec cette technologie.

Bien que EDCA distribuée est une amélioration importante de DCF, il fournit peu de garantie de QoS due à sa nature non déterministe où les stations utilisent un temporisateur de backoff de longueur aléatoire pour contester pour l'accès au média. D'ailleurs, EDCA n'a aucun contrôle distribué d'admission, mais la gestion du contrôle d'admission est faite au QAP (seulement dans les réseaux avec infrastructure). D'une part, HCCA centralisée, où par exemple un QAP contrôle l'accès au média et tient compte des réservations de TXOP, ne peut pas être utilisée dans les réseaux indépendant d'une infrastructure centralisée.

La QoS dans la couche MAC a été introduite selon les trois axes suivants :

1. Ajustement des paramètres d'accès au média pour chaque catégorie de trafic (différentiation de trafics).
2. L'ordonnancement et le contrôle d'admission ou le paramétrage de QoS (garantie strict de QoS pour un nombre limité de trafics).

## **IV.2. Ajustement des paramètres de la couche MAC :**

Nous avons vu que si on donne des bonnes valeurs dans les bons moments, les performances de 802.11e peuvent s'augmenter. Pour cela, beaucoup de propositions sont basées sur cette réalité et essaient d'ajuster les paramètres des ACs de 802.11e. Dans cette partie nous présentons les propositions les plus intéressantes dans l'ajustement des paramètres de la couche MAC pour obtenir plus de qualité de service.

### **IV.2.a.AMPA (Adaptif Mac PArAmeters)**

Dans le modèle adaptatif de paramètre de MAC (AMPA : Adaptif Mac PArAmeters) [12], l'espace d'arbitrage inter-trame (AIFS) et le facteur persistant (PF) sont changés basés sur l'état du charge de réseau. Le taux de rejet de paquet et le taux de collision de canal sont utilisés pour déterminer l'état de charge de réseau. Ces quantités sont calculées à un intervalle précis. Basé sur le taux de rejet de paquet, l'AIFS est changé linéairement. Le trafic de meilleur-effort change son AIFS basé sur le taux de collision.

Dans ce papier, les auteurs proposent un modèle nommé AMPA qui ajuste d'une façon dynamique et donne des valeurs appropriées aux deux paramètres AIFS et PFactor (ce dernier paramètre mis à 2 dans la version finale de la norme 802.11e) des différentes catégories d'accès, AMPA adapte ces paramètres pour une meilleure exploitation du lien sans fil, et pour connaître l'état instantané du réseau, en utilisant le nombre de rejet de paquets et le taux de collision dans le réseau.

Fondamentalement dans l'état normal de réseau, les stations prioritaire augmentent les valeurs d'AIFS par un SlotTime chaque fois qu'ils ont constaté que le taux de rejet de paquets ne dépasse pas un demi de seuil ( $PCGi/2$ ) défini pour classe de trafic « i ». En plus ils maintiennent le PFactor<sub>i</sub> à la valeur initiale. En même temps, due au taux de collision bas, les stations de meilleur effort diminuent l'AIFS et le PFactor. Celles-ci permettent, dans des conditions normales de réseau, de réduire l'écart entre les classes prioritaires. En d'autres termes, AMPA diminue la différenciation entre les classes du trafic. Cependant, quand le réseau est surchargé, le taux de rejet de paquets à la couche application augmente, et dépassent donc la moitié du seuil défini pour des flots prioritaires. Ainsi les stations diminuent leur

AIFS pour atténuer le rejet des paquets. Dans le même temps, le taux de collision dans le réseau augmente. Ceci mène les stations de meilleur effort d'augmenter leur AIFS et PFactor. En d'autres termes, sous la charge élevée de réseau, AMPA augmente la différenciation entre la classe prioritaire et le meilleur effort, afin de protéger le flot prioritaire. Noter cela, la valeur calculée de l'AIFSi doit être dans l'intervalle défini pour la classe du trafic  $i$ . Si la valeur d'AIFSi atteint AIFS\_maxi ou AIFS\_min, elle ne sera plus mise à jour. En outre, AMPA réagit quand le taux de perte dépasse la valeur  $PCGi/2$ . Ceci permet d'empêcher de dépasser le taux de perte maximum toléré  $PCGi$  par la réaction avant d'atteindre le seuil. Cette anticipation fournit aussi bien un règlement doux de débit binaire.

#### IV.2.b. AEDCF (EDCF Adaptative)

Contrairement à AMPA, où AIFS est rendu dynamique, AEDCF (EDCF Adaptative) [13] introduit l'utilisation des tailles dynamiques de la fenêtre de contention (CW) dans l'amélioration des performances du protocole de couche MAC d'IEEE 802.11e. Dans AEDCF, CW est remise à l'état initial d'une façon plus adaptative plutôt que le remettant à l'état initial à la taille minimale de la fenêtre de conflit ( $CW_{min}$ ) après une transmission réussite. La nouvelle valeur de CW est calculée en basant sur le taux de collision, qui est calculée à des intervalles fixes de temps.

Deux modèles semblables à AEDCF sont présentés dans [14] et [15]. Dans [14] et [15], les deux extrémités de l'intervalle de la fenêtre de contention ( $CW_{min}$  et  $CW_{max}$ ) sont ajustés respectivement, basant sur le taux de collision. Comme avec AEDCF, le taux de collision est calculé à des intervalles fixes. Il peut voir des résultats de simulation que l'adaptation de  $CW_{min}$  donne un débit, une utilisation moyenne, un retard et un taux de collision meilleurs que le modèle d'adaptation de  $CW_{max}$ .

AMPA et AEDCF ne tiennent pas compte de la famine du trafic de priorité basse. L'utilisation d'AMPA aggrave la famine, depuis elle favorise en plus les trafics prioritaires quand la charge du réseau augmente.

#### IV.2.c. FCWAC (fuzzy CW allocation control)

Dans [16], la méthode FCWAC (fuzzy CW allocation control : contrôle d'allocation flou de CW) est proposée. Il vise à résoudre les problèmes qui se produisent due :

a) au doublement de la fenêtre de contention (CW) après chaque transmission non réussite

b) et à la remise de CW à l'état initial  $CW_{\min}$  après chaque transmission réussite.

Le premier événement a comme conséquence des retards très grands après juste quelques retransmissions non réussites tandis que le deuxième événement peut avoir comme conséquence des collisions consécutives puisque les conditions de réseau actuel ne sont pas prises en compte. Au lieu de cela, après chaque collision ou transmission réussite de données, FCWAC ajuste dynamiquement CW basé sur la longueur de file d'attente, la probabilité de perte et le temps d'attente actuels de paquet.

Bien que FCWAC essaye d'améliorer EDCA, il est toujours basé sur un temps d'attente aléatoire avant d'accéder au support et il n'a aucun algorithme de contrôle d'admission distribué. En d'autres termes, il n'est pas possible de garantir la QoS parce que la méthode est basée seulement sur la différenciation de service comme EDCA.

#### IV.2.d. Réduction de la famine par l'ajustement dynamique de paramètres

Dans [17] deux modèles originaux sont proposés, qui utilisent des paramètres dynamiques de la couche MAC pour réduire la famine des trafics de priorité basse. Contrairement aux modèles qui utilisent les paramètres dynamiques de MAC [14] [15], où l'espace inter-trame (IFS), CW, le  $CW_{\min}$  ou le  $CW_{\max}$  est dynamique, dans ce travail, l'efficacité d'avoir IFS et le  $CW_{\min}$  dynamiques sont étudiés. Une nouvelle métrique a été introduite qui peut être employé pour ajuster les paramètres de MAC, c.-à-d., fraction des occasions de transmission. La fraction des occasions de transmission est une mesure du nombre de transmissions faites par une classe de

priorité particulière en ce qui concerne tout le nombre de transmissions faites par le noeud dans un intervalle de temps particulier.

*IV.2.d.i. Modèle I : AIFS+CW<sub>min</sub> dynamiques*

Avec chaque transmission réussite ou non, la valeur de CW change de CW<sub>min</sub> à CW<sub>max</sub>. Par conséquent, le CW<sub>avg</sub> dépend de CW<sub>min</sub> et de CW<sub>max</sub>. Dans ce modèle, la valeur de T<sub>wait</sub> est changée par l'utilisation d'AIFS et CW<sub>min</sub>. AIFS est changé selon  $\Psi(I, \Delta(t))$  et la valeur de CW<sub>min</sub> est changée selon Pc(I,  $\Delta(t)$ ) et  $\Psi(I, \Delta(t))$ . Le raisonnement derrière la sélection de paramètre est comme suit. AIFS est adapté surtout en contrôlant la rapidité de lancement du processus de backoff. Par conséquent, le nombre de tentatives de transmission faites par un AC peut être contrôlé plus effectivement par AIFS. D'une autre part, CW<sub>min</sub> est adapté surtout en contrôlant la probabilité de collision. Cependant, il devrait y avoir une certaine dépendance dans ces réglages, car AIFS et CW<sub>min</sub> affect  $\Psi(I, \Delta(t))$ . Par conséquent, en ajustant CW<sub>min</sub> le Pc(I,  $\Delta(t)$ ) et  $\Psi(I, \Delta(t))$  sont considérés. L'algorithme suivant est employé pour changer les valeurs d'AIFS et de CW<sub>min</sub> pour un AC particulier.

$$\Psi(I, \Delta(t)) = N_{\text{access}}(I, \Delta(t)) / \sum_{\text{all } i} N_{\text{access}}(I, \Delta(t))$$

Où N<sub>access</sub>(i,  $\Delta(t)$ ) c'est le nombre de transmission de AC(i) accomplies dans l'intervalle du temps  $\Delta(t)$ .

*IV.2.d.ii. Modèle II : CW dynamique*

Dans [13] a été discuté que si on remet CW d'une façon adaptative, plutôt que la remise à l'état initial à CW<sub>min</sub>, réduit le nombre de collisions. Cette idée est étendue en incorporant l'équité (Fairness) en remettant à l'état initial CW. Pour mesurer mieux l'état de réseau et en même temps l'équité, nous définissons le facteur d'équité F(I,  $\Delta(t)$ ) pour AC(i) pour un intervalle de temps  $\Delta(t)$  comme suit,

$$F(i, \Delta(t)) = \frac{\psi(I, \Delta(t))}{\psi_{\text{Threshold}}(I)} * P_c(I, \Delta(t))$$

F(I,  $\Delta(t)$ ) incorpore l'état actuel de charge du réseau aussi bien que l'équité à chaque AC à l'intérieur du nœud. La quantité  $\Psi(I, \Delta(t)) / \Psi_{\text{Threshold}}(i)$  est une mesure d'équité, et si elle est plus grande que 1, l'AC particulier utilise plus

que sa part équitable de tentatives de transmission. La nouvelle CW est décidée en prenant en compte l'état de charge du réseau et l'équité.

### **IV.3. Ordonnancement et contrôle d'admission**

Le besoin de fournir la qualité du service (QoS) dans les réseaux 802.11 a conduit des activités de recherches et des efforts de standardisation pendant quelque temps. Les résultats de recherche courants fournissent des mécanismes pour fournir les niveaux de base de la qualité du service aux collections de flux et sous forme de services de priorités (par exemple [18, 19, 20]), ce type de service est appelé service différencié comme EDCA dans 802.11e.

Mais pour fournir un service garanti ou paramétré où la QoS est donnée à chaque flux mais pas pour un groupe, pour ça 802.11e définit l'ordonnanceur simple et le contrôle d'admission mais sont utilisés seulement dans le mode HCCA. Dans ce qui suit nous présentons les différentes propositions faites sur l'ordonnancement et le contrôle d'admission dans les deux modes EDCA et HCCA.

#### **IV.3.a. MAHS (Multiple Access Hybrid Scheduler)**

Dans [21], les auteurs proposent une plate-forme qui est construite sur les capacités de la norme 802.11e, et fournisse des garanties de QoS déterminées par flot dans des sessions multimédia dans les WLANs. Ce module de l'ordonnanceur réside au point d'accès 802.11e (QAP). Cette méthode centralise la plupart des fonctions de gestion de QoS de l'environnement distribué d'un WLAN. Cependant, le renforcement de QoS est réalisé d'une façon virtuellement distribuée. MAHS essaye d'ordonner les Upstreams et les DownStreams en utilisant un mécanisme de génération de paquets virtuels pour estimer l'état de réseau.

#### **IV.3.b. DAHS (Dynamic Adaptive HCF Scheduler)**

Dans [22], les auteurs concentrent sur le problème d'améliorer la QoS de HCF par l'ordonnancement dynamique et de manière adaptative de flux de trafics dans un scénario mélangé d'EDCA et de HCCA. En surveillant les quantités des trafics de VBR et de CBR en temps réel, l'ordonnanceur ajuste dynamiquement et de manière

adaptative le rapport de la durée d'EDCA sur la durée de la phase d'accès contrôlée(CAP) pour améliorer la QoS.

Les auteurs sont basés sur les résultats des études faites dans [23, 24], qui démontrent qu'EDCA est efficace à la différenciation de service dans des réseaux légèrement chargés et est bien adapté aux trafics à flot d'explosion avec des conditions du trafic inconnues telles que les trafics VBR, et HCCA est efficace pour fournir de strict QoS au trafic lourd et est bien adapté pour les flots qui exigent l'accès garanti au canal et ont une prévision de trafic tel que les trafics CBR.

Cet ordonnanceur calcule le rapport de données transmises en octet des trafics VBR aux CBR dans une période d'une seule balise (Beacon). Après, ce rapport est utilisé pour calculer les durées d'EDCA et de CAP. Les auteurs ajoutent un champ de deux octets qui contient les durées d'EDCA et de CAP pour les envoyer aux stations.

La durée de TXOP est calculée comme dans 802.11e pour chaque trafic, et quand un nouveau trafic arrive, le contrôle d'admission est très simple. Si TXOP demandée est supérieur au surplus de périodes disponibles d'EDCA et de CAP la demande est rejetée, sinon la demande est acceptée.

#### **IV.3.c. Gestion dynamique de la bande passante et du contrôle d'admission**

Dans [25] un modèle de contrôle d'admission et de gestion dynamique de bande passante est proposé, pour fournir des garanties soft et équitables dans les réseaux ad-hoc d'un seul saut. Les auteurs justifient leurs choix de ce type de réseau que ce type de réseau a un avantage au lieu de ceux opérant dans le mode infrastructure traditionnel, est que toutes les trames n'ont pas besoin de passer d'un point d'accès (AP) qui engendre un gaspillage de bande passante et en rendant la transmission inefficace ; Si l'AP est utilisé comme intermédiaire, les transmissions directes d'un saut deviennent inutilement des transmissions de deux sauts. D'ailleurs, l'AP est une source de panne et peut ainsi faire échouer le réseau entier. Au lieu de relier les transmissions peer-to-peer entre les stations dans le réseau sans fil, l'AP devrait être utilisé seulement comme entrée au réseau filaire.

La partie principale de ce modèle est un gestionnaire centralisé (mais sans fil) de largeur de bande (BM : Bandwidth Manager) utilisé pour affecter dynamiquement une part du canal à chaque flot, selon les exigences du flot relativement aux exigences des autres flots dans le réseau. Le BM est également responsable pour la gestion des contrôles d'admission. Les auteurs considèrent un réseau ad-hoc d'un seul saut, mais leur proposition peut seulement donner des garanties de soft QoS, et en outre, elle se fonde sur une station centrale (BM) et fonctionne à la couche application.

#### IV.3.d. Ordonnanceur et contrôleur d'admission (réseaux Ad hoc d'un seul-saut)

Dans [26] les auteurs considèrent un réseau ad hoc d'un seul saut comme dans [27], et proposent une extension à 802.11e, qui fournit des garanties de QoS dans les réseaux ad hoc d'un seul saut en utilisant les avantages du HCCA et les intègrent dans l'EDCA.

Les auteurs utilisent le scheduler simple et le contrôle d'admission situés dans le coordinateur hybride proposé dans la norme 802.11e. Cependant, les auteurs modifient et déplacent ces deux algorithmes du QAP central aux stations pour les utilisés dans le mode ad hoc alors l'algorithme de contrôle d'admission est distribué, et donne aux stations avec trafic prioritaire la possibilité de réserver le support sans fil.

Pour ordonnancer un TXOP pour un flux du trafic admis, l'ordonnanceur calcule deux paramètres :

- *Intervalle de service ordonnancé (SI)* : l'intervalle entre TXOPs, qui est le même pour toutes les stations. Pour calculer le SI, l'ordonnanceur calcule  $m$  le minimum de tous les intervalles de service maximaux pour tous les flux admis. Alors le SI est égal à une valeur plus basse que  $m$  et un diviseur de l'intervalle de balise (beacon). Le SI doit être recalculé quand on admet un nouveau flux du trafic qui a un intervalle maximal de service plus petit que le SI actuel.
- *Durée de TXOP* : pour calculer la durée de TXOP pour un flux admis, l'ordonnanceur utilise les paramètres suivants : débit moyen ( $\rho$ ) et taille de

trame nominale ( $L$ ) du TSPEC, SI comme calculé ci-dessus, débit de transmission physique ( $R$ ), taille de trame maximale permise ( $M = 2304$  octets), et le temps supplémentaire (overhead) des en-têtes MAC et PHY ( $O$ ). D'abord, l'ordonnanceur calcule le nombre de trames de données en considérant le débit moyen pendant l'intervalle de service:

Alors l'ordonnanceur calcule la durée de TXOP comme le maximum entre le temps de transmettre  $N_i$  trames avec  $R_i$  plus la surcharge du temps (Overhead) et le temps de transmettre une trame de données de taille maximale avec  $R_i$  plus le temps complémentaire (overhead) :

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O\right)$$

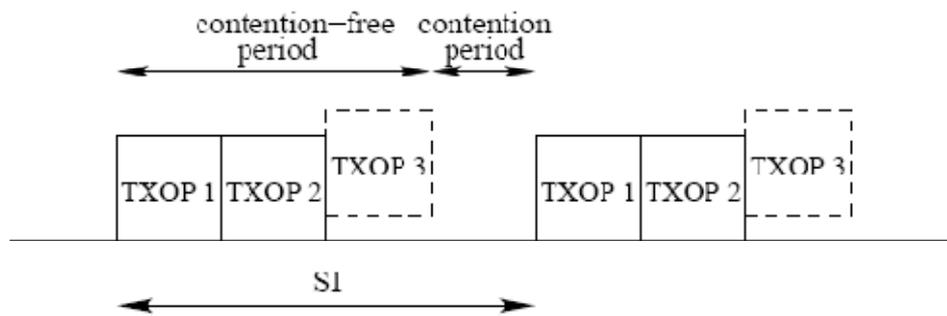


Fig.4.1. L'ordonnement de TXOP réservée

Une fois que les durées de SI et de TXOP sont calculées, la décision de contrôle d'admission est facile. S'il y a  $k$  flux admis, un nouveau flux  $k+1$  peut être admis s'il satisfait l'inégalité suivante :

$$TXOP_{k+1} + \sum_{i=1}^k TXOP_i \leq SI - T_{CP}$$

Où le  $T_{CP}$  est la durée de la période de contention.

C'est le scheduler le plus important parmi tous les autres proposés, puisqu'il est distribué, mais il est seulement pour les réseaux Ad hoc à un seul-saut.

#### **IV.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons cité les plus importants travaux qui s'intéressent à l'enrichissement de 802.11e par la qualité de service. Beaucoup de travaux proposés essaient d'améliorer 802.11 en ajustant ses paramètres d'une manière dynamique selon l'état du réseau, ces travaux sont généralement basés sur un ou deux paramètres ce qui engendre une amélioration dans quelques situations seulement. A notre connaissance, aucune étude, tenant compte tous les paramètres de QoS dans la norme 802.11, n'a été faite jusqu'à ce jour.

Plusieurs travaux se sont intéressés à l'ordonnancement et le contrôle d'admission au niveau de la couche MAC 802.11e, dans les deux fonctions d'accès EDCA ou HCCA ou pour EDCA et HCCA combinées. HCCA n'est pas implémentée jusqu'à maintenant (sauf pour des raisons de test) car elle demande beaucoup de ressources, en plus peu de mécanismes d'ordonnancement et de contrôle d'admission sont proposés dans HCCA. Au contraire, EDCA a été implémentée, et la majorité des propositions sont relatives à EDCA. Cependant, la majorité de ces propositions sont basées sur le mode infrastructure, et le mécanisme est centralisé dans le point d'accès. Peu de propositions sont celles qui essaient dans le mode ad hoc avec un seul saut seulement (Single-hop). Alors qu'il n'y a pratiquement pas de propositions d'algorithmes d'ordonnancement et de contrôle d'admission dans les réseaux Ad hoc multi-sauts.

# V. Amélioration de 802.11 dans les réseaux Ad hoc multi-sauts

---

- V.1. Introduction
- V.2. Problème de file d'attente pleine dans les réseaux Ad hoc multi-sauts
- V.3. Problème de la valeur de NAV
- V.4. Simulations et résultats
  - V.4.a. Présentation du simulateur NS2
  - V.4.b. Scénarios de simulation
  - V.4.c. Résultats de simulation
- V.5. Conclusion

## V.1. Introduction

La norme IEEE 802.11, malgré sa facilité et son succès dans les WLANs, comporte des insuffisances, dont certaines ne sont pas ou sont peu étudiées, par exemple la surcharge de la file d'attente dans un réseau Ad hoc multi-sauts, et la mise à la bonne valeur du NAV.

Pour dépasser ces deux problèmes et pour améliorer les performances de la norme 802.11, nous proposons une solution pour chacun de ces deux problèmes, la première est pour le problème des files d'attente pleines des stations intermédiaires dans les réseaux ad hoc multi-sauts avec trop de charge [27, 28], et une autre pour la mise de NAV avec des valeurs qui donnent des meilleurs résultats. Nos solutions sont compatibles avec la norme et ses différentes variantes. Ces solutions sont implémentées dans le simulateur de réseau NS2 [29] pour comparer ces résultats avec celles de 802.11.

## V.2. Problème de file d'attente pleine dans les réseaux Ad hoc multi-sauts

### V.2.a. Description du problème

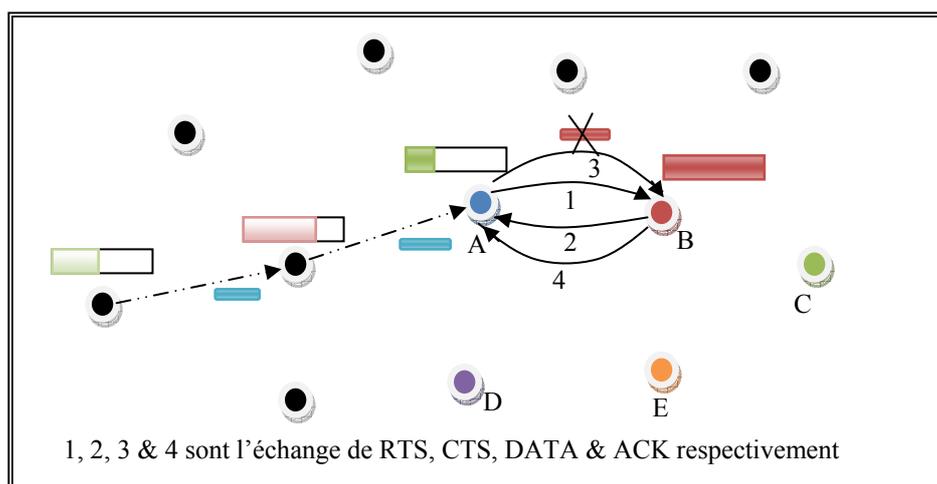


Fig.5.1. La réception d'une trame par une STA avec une file d'attente pleine (cas de 802.11)

Due à la nature de CSMA/CA de la couche MAC 802.11, les applications des différentes stations injectent leurs trames de données dans le réseau sans tenir compte de la charge actuelle du réseau et sans assurance que ces trames arrivent à

leurs destinations finales, ce qui engendre la congestion et le rejet de trames [30] (Fig.5.1 et Fig.5.2) et qui à comme conséquence le gaspillage des ressources du utilisées pour livrer les trames comme le débit global [31, 32]. Ce gaspillage affecte la Qualité de Service du réseau, en termes de paramètres les plus importants comme le débit, le délai et la gigue (variation de délai) [33].

Lorsque le nombre de stations actives et de trafics augmente, le taux de collision augmente, ce qui engendre l'augmentation du retard, ainsi que le taux de rejet de paquet. Les files d'attente des stations intermédiaires deviennent pleines (généralement dans un réseau ad hoc multi-sauts chaque station joue aussi le rôle d'un routeur), et quand des nouvelles trames arrivent à cette station elles seront rejetées [34].

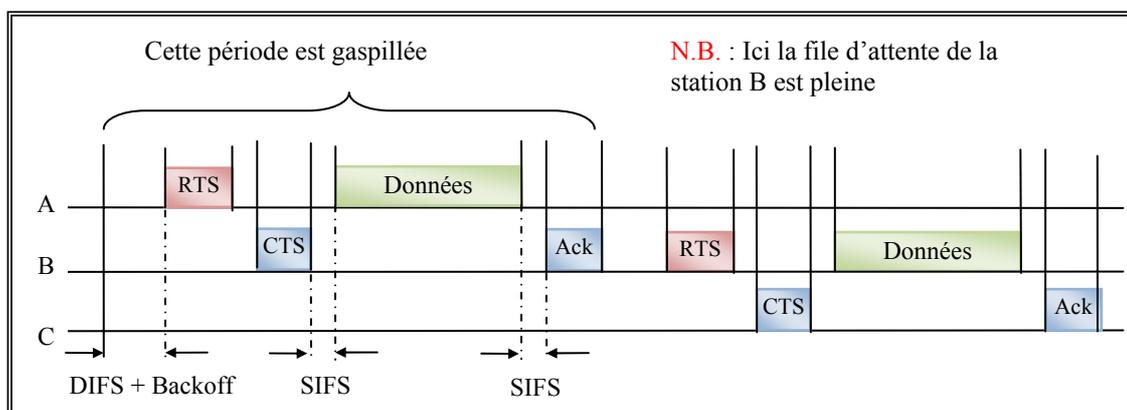


Fig.5.2. La perte de ressources (Voir la Fig.5.1)

Le taux de perte de paquets (rejet de paquets au niveau MAC) affecte bien sûr la QoS dans un réseau filaire ou sans fil. Les trafics multimédia temps réel sont généralement sensibles à la perte de paquets, ces pertes sont généralement dues à la congestion qui est causée par les couches supérieures, essentiellement la couche réseau. Même, les trafics de meilleur effort sont aussi affectés par ces pertes qui ont comme conséquence la retransmission des paquets perdus [33].

De sa nature, un réseau sans fil est très affecté par le taux de perte de paquets par rapport à un réseau filaire, à cause du type de lien et de la méthode d'accès CSMA/CA.

Dans un réseau Ad hoc multi-sauts, pour qu'une trame arrive au destinataire, elle peut passer par plusieurs sauts (stations intermédiaires). Si le réseau est trop

chargé, la probabilité de congestion est très forte et les files d'attentes deviennent pleines se qui amène au rejet de trames récemment réceptionnées, ce problème est causé par la couche réseau (algorithme de routage) qui ne tient pas bien en considération le problème de surcharge de route aussi bien sans oublier la méthode d'accès CSMA/CA.

Alors pour améliorer la QoS et rattraper le manque dans l'algorithme de routage et CSMA/CA, nous proposons une solution qui minimise le taux de rejet de paquets au niveau de la couche MAC 802.11.

Dans ce type de réseaux, une trame traverse plusieurs sauts pour arriver à la station destinataire finale, et quand le réseau est surchargé et si une des stations intermédiaires a sa file d'attente pleine, la trame sera rejetée lorsqu'elle arrive à la station (intermédiaire). Alors, toute la bande passante consommée par cette trame est gaspillée, comme le montre la Fig.5.2.

### **V.2.b. Notre solution proposée**

Dans les réseaux ad hoc avec beaucoup de charge, 802.11 utilise le mécanisme RTS/CTS pour dépasser le problème du nœud caché [35]. Notre solution est basée sur ce mécanisme car le taux de collisions dans ce cas est élevé.

Alors le mécanisme RTS/CTS est utilisé pour réserver le support sans fil pour une transmission de données entre deux stations. Ce mécanisme réserve le support et ne tient pas compte de l'état de charge actuel. Et comme nous avons détaillé le problème de file d'attente pleine dans les réseaux Ad hoc multi-sauts, nous avons utilisé l'état de la file d'attente, comme une métrique dans l'admission de réception des trames par l'envoi ou non de la trame CTS correspondante.

Lorsqu'une station gagne l'accès au média sans fil, elle envoie une trame RTS et attend une CTS, si la file d'attente de la station réceptrice n'est pas pleine elle répondra par une trame CTS; la station émettrice continue l'envoi de la trame DATA; si l'inverse (la file est pleine) alors cette station ne répond pas et elle prend l'accès après un SIFS du temps et envoie une trame RTS (à la station qui doit réceptionner la première trame à l'entête de la file d'attente) dans le but de transmettre une trame et libérer de l'espace pour les autres trames qui arrivent (voir Fig.5.3).

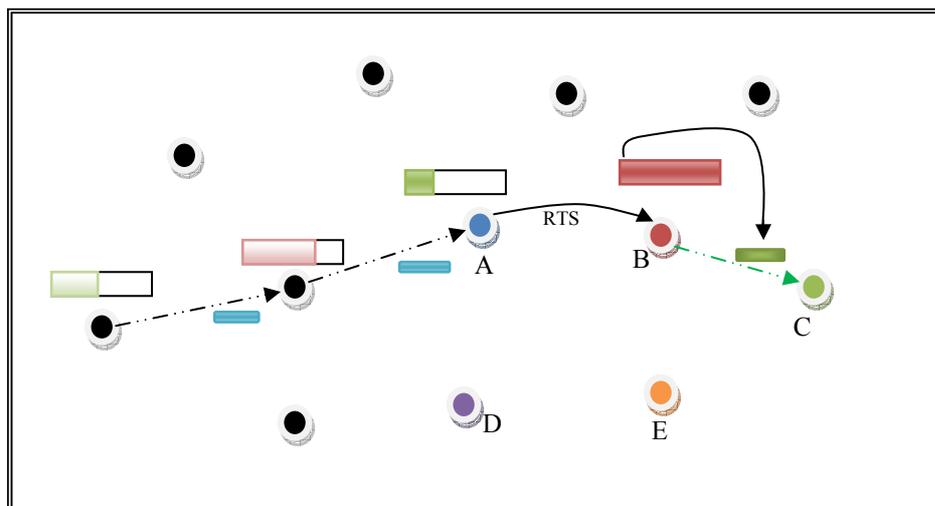


Fig.5.3. Le refus de réception et la transmission par la STA avec une file d'attente pleine (cas de notre méthode proposée)

Dans le deuxième cas, où la station réceptrice prend l'accès au média sans fil, la première station interprète cela comme collision puisqu'elle ne réceptionne pas une CTS, elle augmente alors sa fenêtre de contention (comme spécifié par la norme [5]) ce qui donne à la deuxième station qui prend l'accès au lien sans fil, la possibilité d'envoyer plus de trames et libérer un peu d'espace dans sa file d'attente pour les autres trames qu'elle va réceptionner au futur.

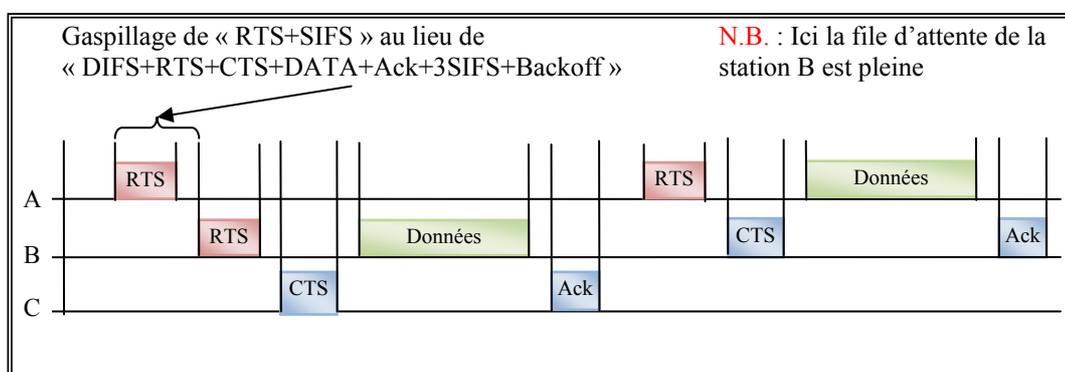


Fig.5.4. Le gain du temps (Voir la Fig.5.3)

Dans notre solution le gain comme il est figuré dans Fig.5.4 est de :

« DIFS+CTS+DATA+Ack+2SIFS+Backoff ».

Notre solution est compatible avec la norme 802.11 et ces variantes, et cette solution aussi est facile à intégrer dans la norme.

### **V.3. Problème de la valeur de NAV**

Comme nous avons vu dans le premier chapitre, toute station qui n'est pas concernée par une trame réceptionnée active son NAV par la durée qui est définie dans la trame réceptionnée.

Le NAV joue le rôle du mécanisme de détection de porteuse virtuelle. Le mécanisme physique de détection de porteuse ne peut être lancé que si le mécanisme virtuel dit que le lien est libre (NAV égale à zéro) ; Alors si on donne une valeur différente à zéro au NAV la station ne peut transmettre ou réceptionner.

Il y a une configuration de réseau où la valeur de NAV ne représente pas l'état réel du lien autour de la station, alors il y a un gaspillage de ressources dans ce cas. Dans le paragraphe suivant nous présentons un exemple illustratif de ce problème.

#### **V.3.a. Présentation du problème**

Nous avons vu précédemment, que le NAV est activé par la valeur contenue dans la trame réceptionnée, qu'elle soit de contrôle (RTS et CTS) ou de donnée (DATA) et ce, pour protéger les trames en cours de transmission. Lorsqu'une station réceptionne une trame RTS qui n'est pas pour elle, elle doit activer son NAV par la valeur qui est dans cette trame, cette durée est comptée à partir de la fin de réception du dernier bit de RTS jusqu'à la réception du dernier bit de Ack (acquiescement de la trame de données DATA) [5].

En prenant l'exemple de la Fig.5.5. Supposons que les deux stations H et G échangent les données (H est l'émettrice), la station C reçoit la trame RTS envoyée par H, alors elle active le NAV par la durée qui est dans la trame RTS réceptionnée. Dans ce moment la station B veut transmettre les données vers la station C (noter que B n'est pas dans la portée de H et G) et que le NAV de C est activé, elle ne répondre par CTS, la station B attend une certaine durée et traduit la situation comme collision, elle double alors sa période de Backoff et essaiera d'obtenir le lien une nouvelle fois.

Retournons à la trame RTS envoyée par B, qui réceptionnée par les stations A et I, ces stations activent leurs NAVs par la durée de la trame RTS, supposons que ces stations ont des trames à envoyer ou ont des demandes de réception par d'autres

stations. Dans ce cas, elles ne peuvent pas envoyer ou réceptionner, car leurs NAVs sont activés et que la station B ne peut pas envoyer aussi, puisqu'elle ne réceptionne pas une CTS. Dans cette configuration le réseau peut entrer dans une situation d'inter blocage qui durera un temps non négligeable.

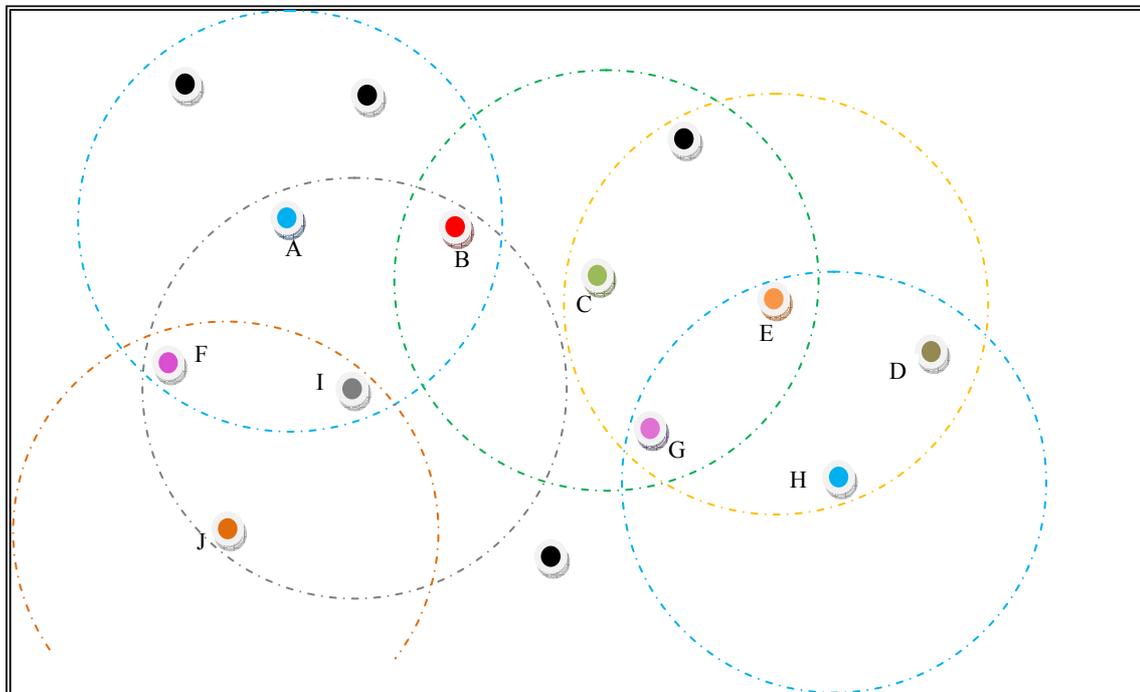


Fig.5.5. Exemple illustre le problème de NAV rencontré

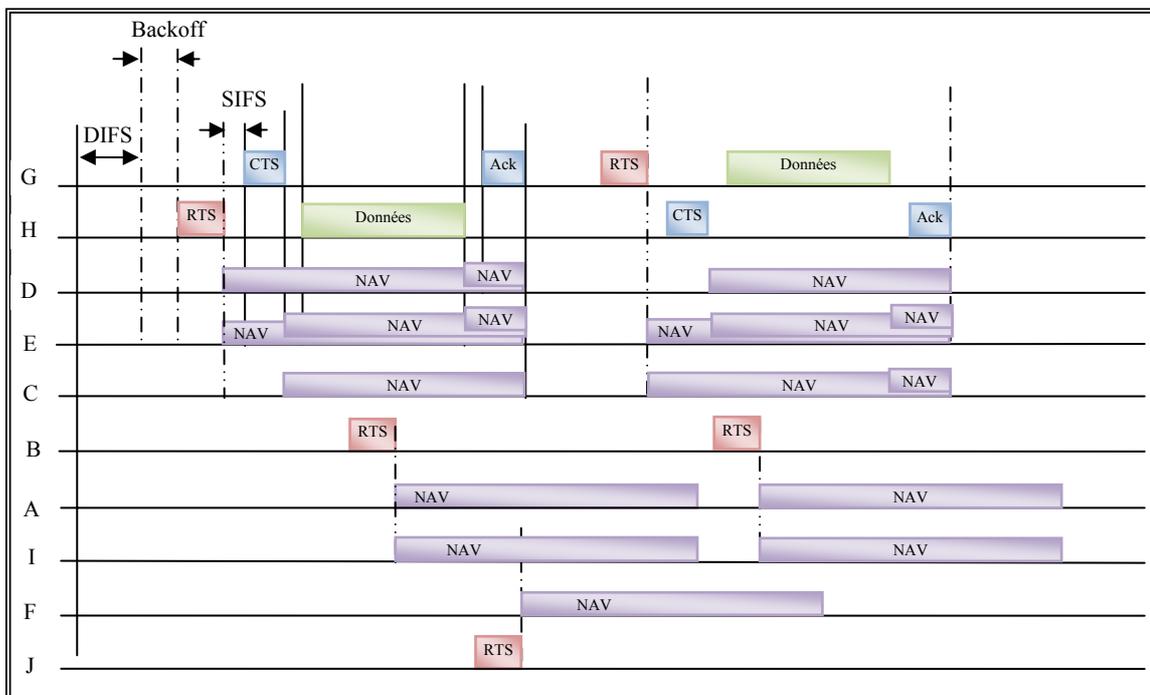


Fig.5.6. La mise de NAV par 802.11 selon l'exemple et la Fig.5.5

### V.3.b. Solution pour ce problème

Dans la norme 802.11, lorsqu'une station veut envoyer une trame elle doit vérifier que le support sans fil est libre par les deux méthodes physique et virtuelle (vérifie que le NAV est égale à zéro), s'il est occupé elle doit attendre qu'il devient libre, et après une durée DIFS suivie par un Backoff (tiré aléatoirement ou continuer à décrémente l'ancien Backoff).

Pour dépasser ce problème de la valeur du NAV, nous proposons la solution suivante :

Pour chaque station qui réceptionne une trame RTS, et si cette station n'est pas la station qui doit répondre à cette trame RTS, elle doit activer son NAV par une valeur qui donne à la station émettrice le temps de commencer la transmission de sa trame de données, c.à.d. une valeur égale à «  $2 * SIFS + CTS$  ». La Fig.5.7 présente notre solution pour la valeur du NAV.

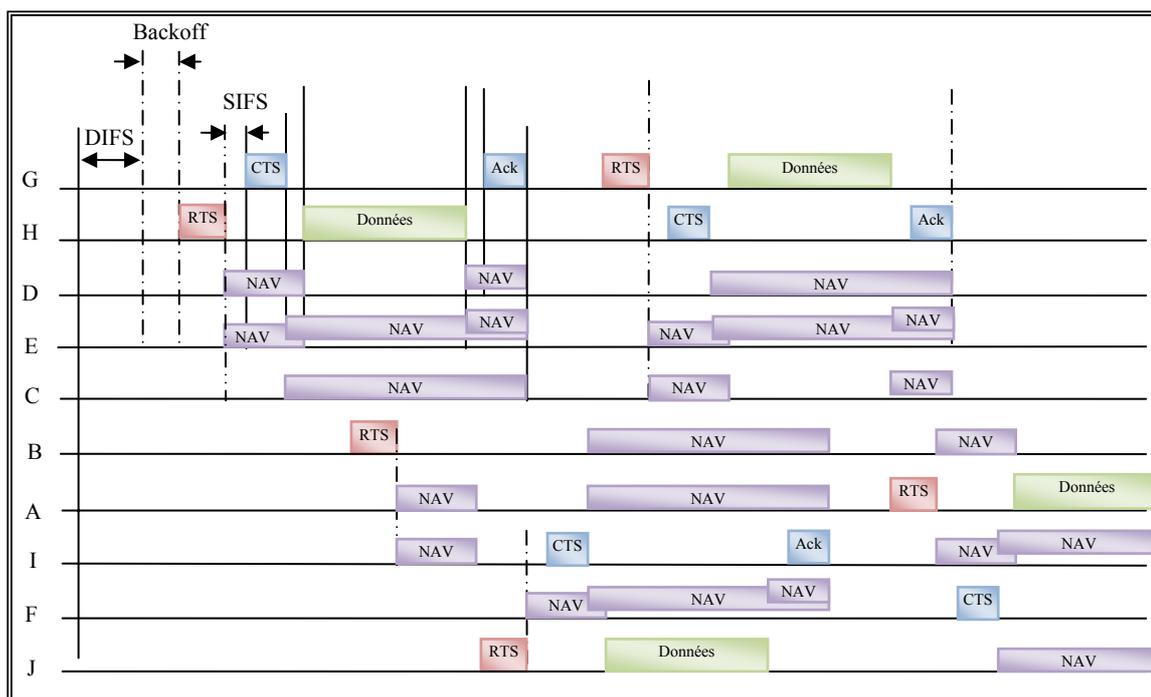


Fig.5.7. Solution pour le problème de NAV

## **V.4. Simulations et résultats**

Pour évaluer les performances de nos solutions, nous utilisons un simulateur, puisque les tests réels ne sont pas possibles (en plus du manque de moyens, et des difficultés de déploiement du réseau, il n'est pas possible d'implémenter nos solutions sur une carte réseau). Beaucoup de simulateurs de réseaux sans fil ont été développés comme OPNET, OMNET, NS2, J-SIM ...etc. Nous choisissons NS2 pour implémenter nos solutions puisqu'il est gratuit et contient beaucoup de protocoles dans des différentes couches. Il est extensible car permet facilement d'ajouter de nouveaux protocoles.

Il faut noter que nous avons combiné nos deux solutions et nous avons implémenté la solution qui tient compte des deux, dans NS2, donc les résultats de simulation correspondent à la combinaison des deux solutions.

### **V.4.a. Présentation du simulateur NS2**

NS-2 est un logiciel de simulation open source gratuit (libre) à événements discrets. Il est développé dans le cadre du projet VINT qui regroupe plusieurs laboratoires de recherche comme AT&T institut de recherche à Berkeley (ACIRI), Xerox PARC et Sun Microsystems. Ce simulateur est développé en C++ et OTCL, est utilise le langage TCL comme langage de création des scénarios de simulation. Supporte les réseaux sans fil et filaires, avec plusieurs protocoles des différentes couches (Physique, MAC, réseaux, transport ... etc.).

Par sa possibilité d'extension, NS2 est le simulateur le plus utilisé dans le domaine de recherche pour les tests des nouveaux protocoles proposés. Pour plus d'information sur NS2 ou sur son installation, veuillez consulter [36].

### **V.4.b. Scénarios de simulation**

Nous utilisons deux scenarios de simulation, le réseau est en mode Ad hoc avec la prise en charge de mobilité, pour les paramètres de chacun de ces scénarios voir le tableau Tab.5.1.

	Durée de la simulation	Nombre de stations	Nombre de trafics	Taille de paquet	Intervalle du service	Mobilité	Mode
Scénario 1	11 s	20	6	512 octets	5 ms	Aléatoire	Ad hoc
Scénario 2	51 s	30	24	1000 octets	5 ms	Aléatoire	Ad hoc

Tab.5.1. Paramètres des scénarios de simulation

#### V.4.c. Résultats de simulation

La Fig.5.8 présente le taux de rejet lié au problème de files d'attente pleines au niveau de la couche MAC, dans cette figure nous voyons que notre solution baisse ce taux plus que la norme 802.11 et les trames rejetées dans notre solution sont dues aux couches supérieures. Notre solution ne permet le rejet d'aucune trame à cause du problème de file d'attente pleine, car elle n'admet la réception d'une trame que s'il existe un emplacement disponible dans cette file.

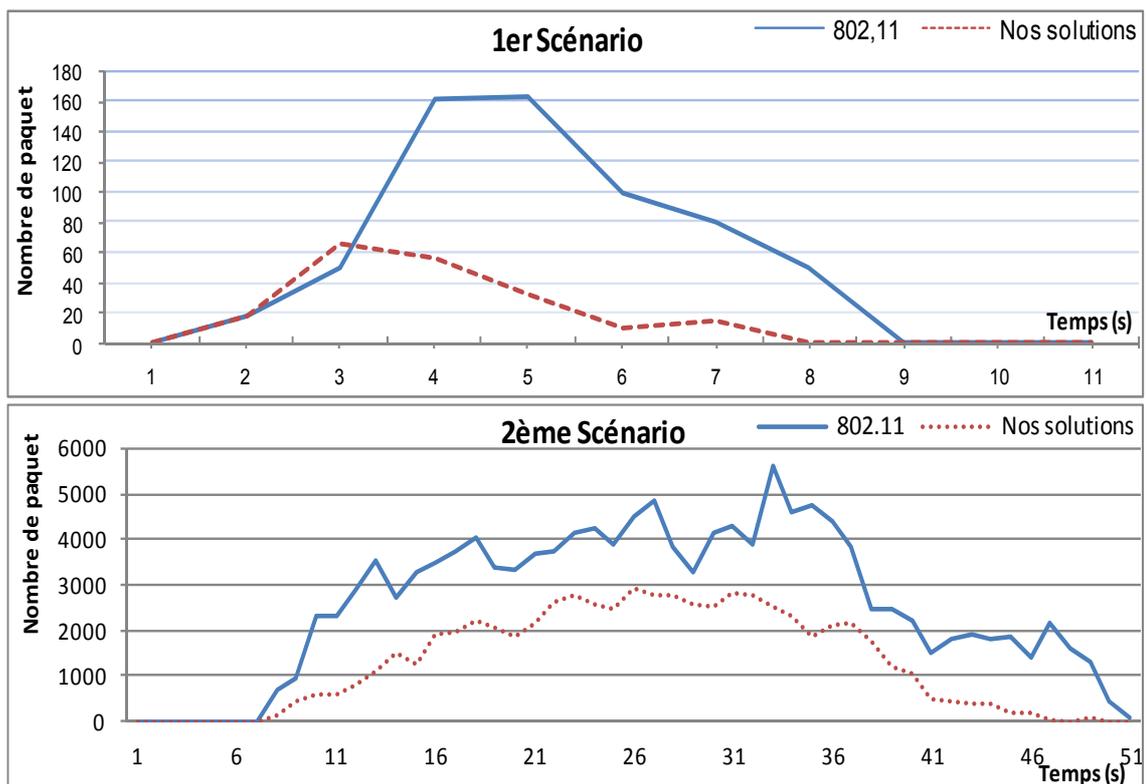


Fig.5.8. Taux de rejet des trames à cause du problème de file d'attente pleine.

Le débit global du réseau donné par notre solution est plus grand que le débit global du réseau donné par 802.11, comme nous le voyons dans les deux figures Fig.5.9 et Fig.5.10.

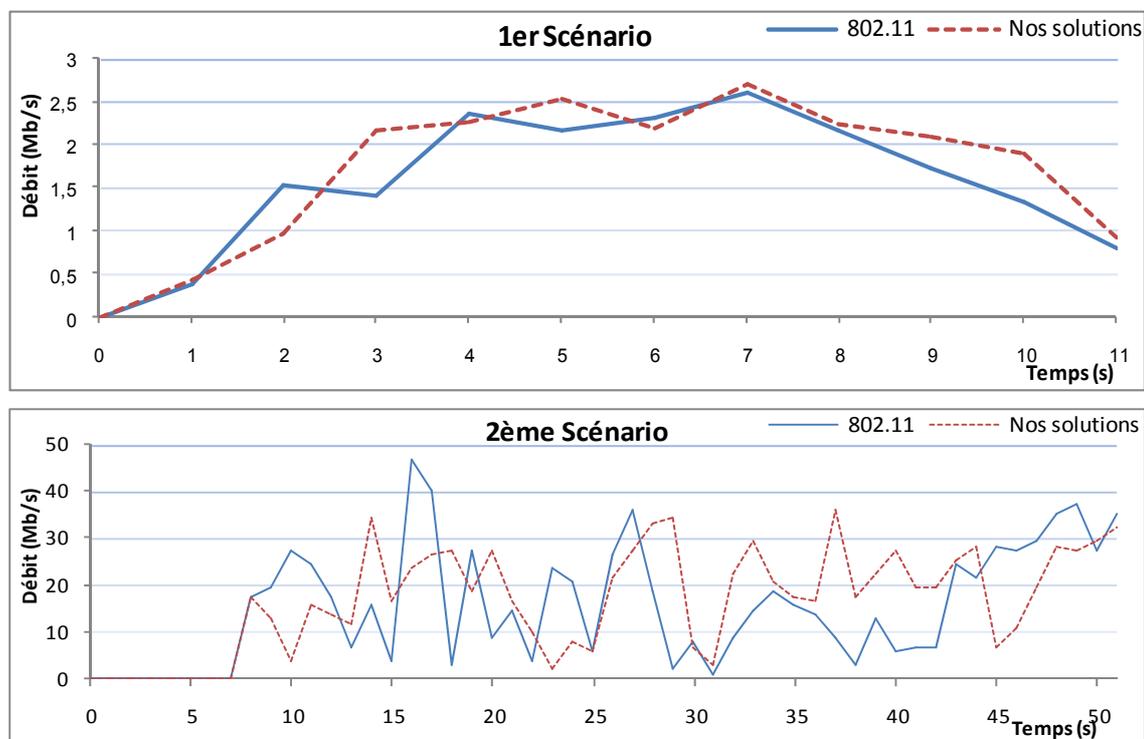


Fig.5.9. Débit moyen de réception de bout-en-bout.

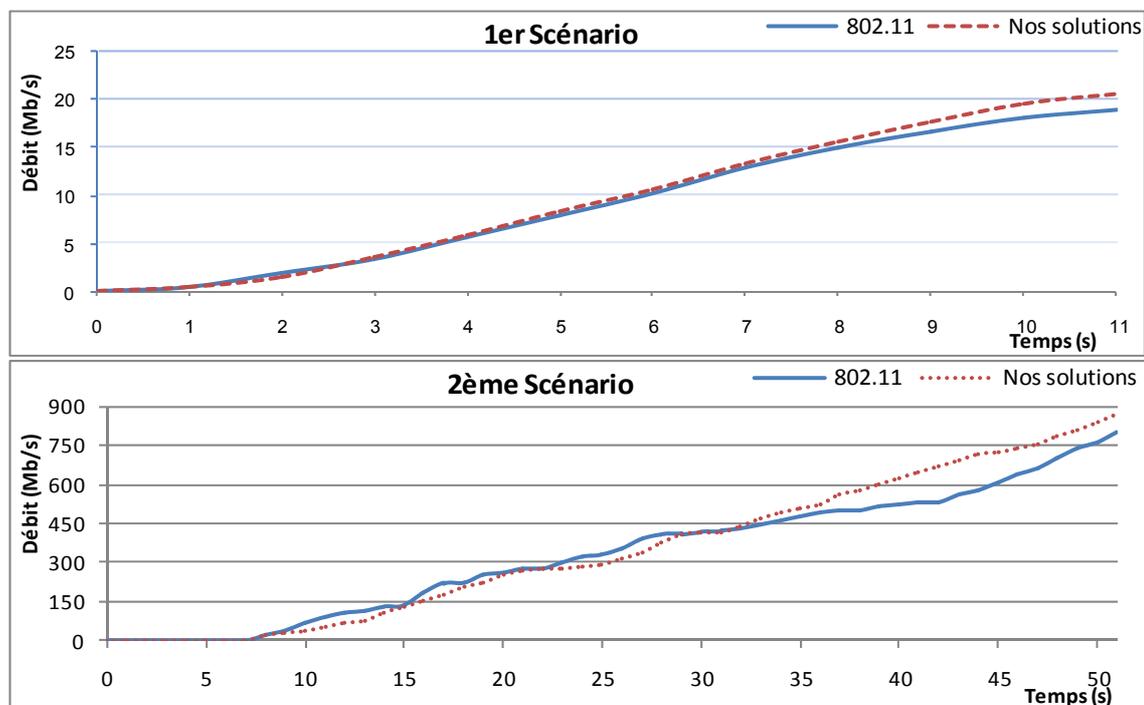


Fig.5.10. Débit de réception cumulé de bout-en-bout

Le délai et sa variation (gigue) sont des paramètres très importants pour les applications multimédia. Nos solutions diminuent le délai global de bout-en-bout d'une manière plus claire. Beaucoup d'applications sont plus sensibles au délai comme la visioconférence.

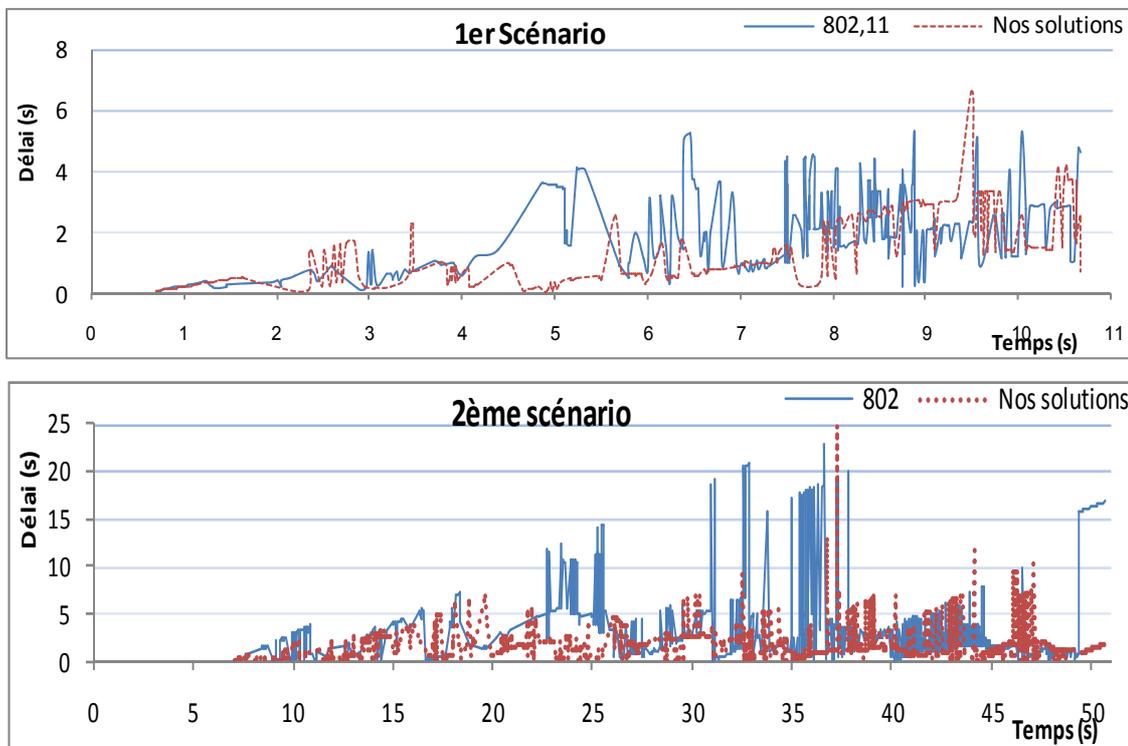


Fig.5.11. Délai moyen au moment de réception de bout-en-bout.

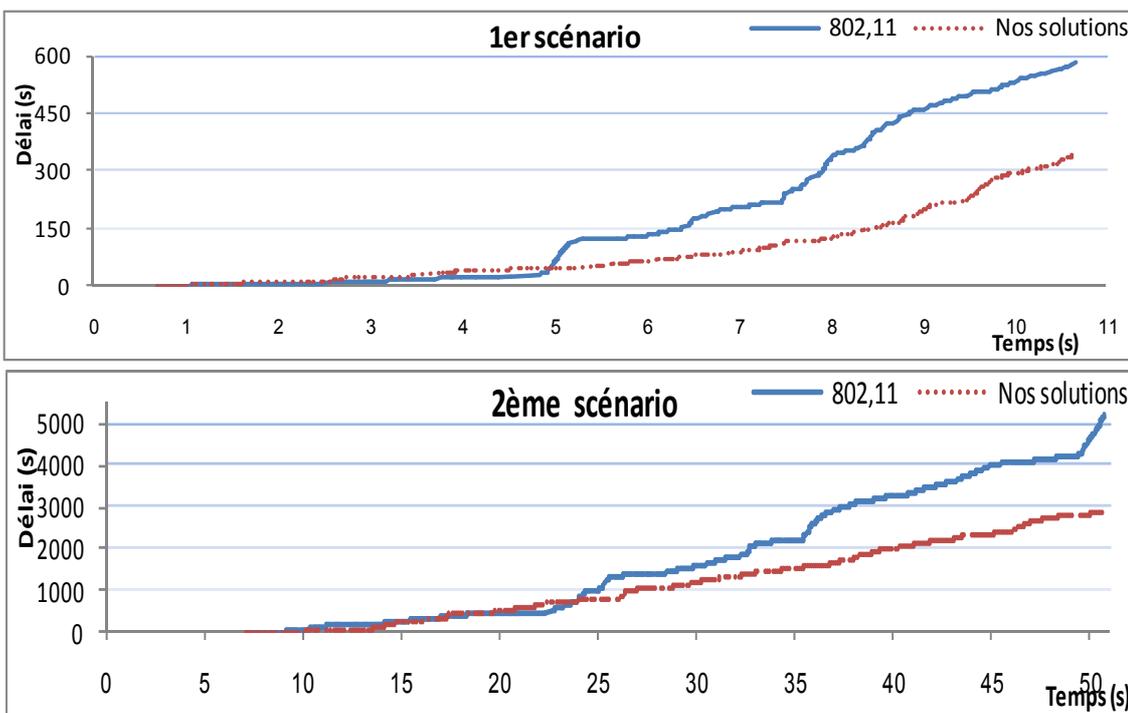


Fig.5.12. Délai au moment de réception cumulé de bout-en-bout

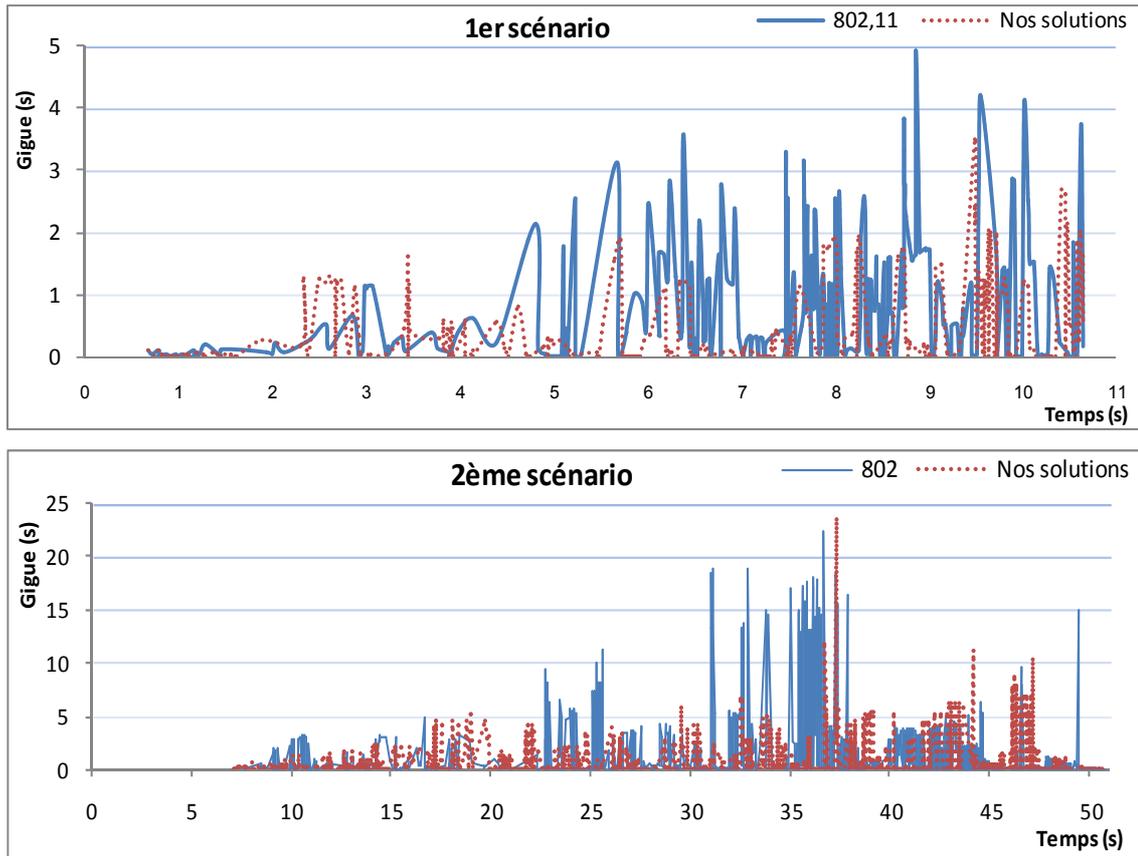


Fig.5.13. Gigue (variation de délai) de bout-en-bout.

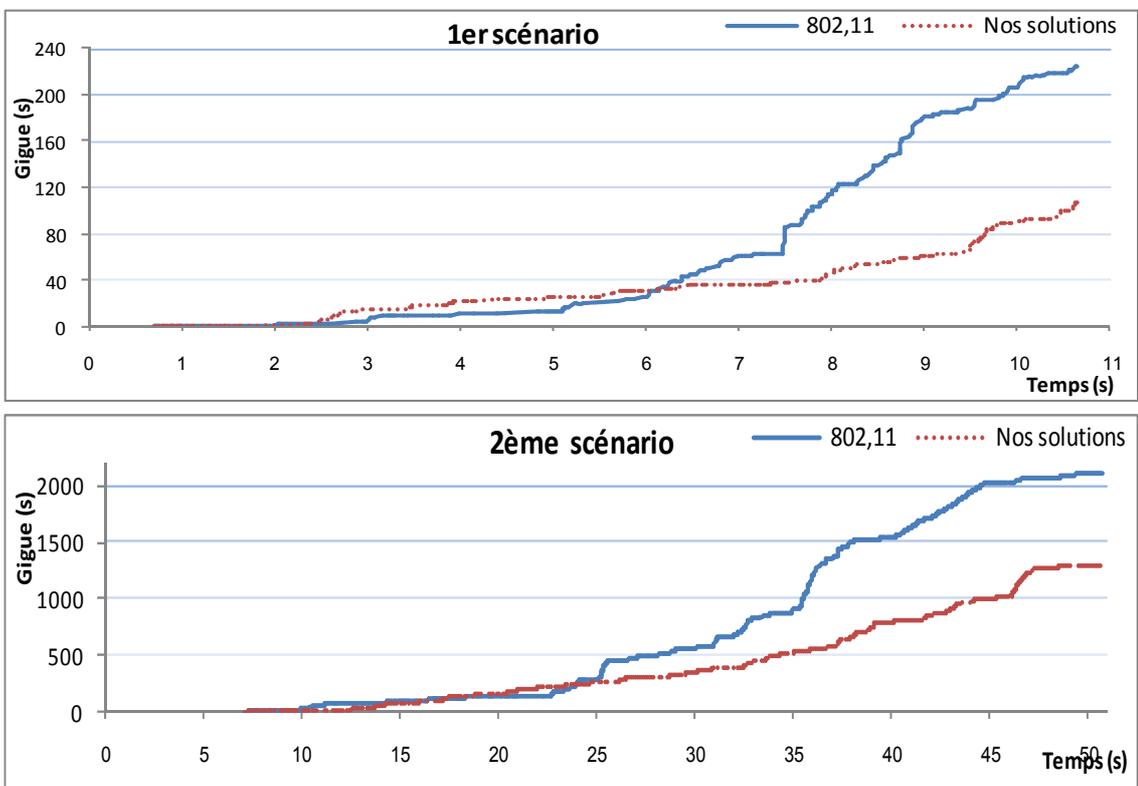


Fig.5.14. Gigue cumulée de bout-en-bout

Nous voyons dans les deux figures Fig.5.12 et Fig.5.14 que le délai et la gigue de 802.11 ont changé brusquement dans certains points où de nouveaux trafics sont injectés, surtout les points 5 et 7.5 secondes, et 23 et 35 secondes dans le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>ème</sup> scénario respectivement. Contrairement à 802.11, le délai et la gigue de notre solution restent presque stables.

Nous constatons aussi que nos solutions donnent des bons résultats quand le réseau est trop chargé.

## **V.5. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté deux solutions ; la première, pour dépasser le problème des files d'attente pleines dans les réseaux Ad hoc multi-sauts qui apparaît quand le réseau est trop chargé, la deuxième est pour donner une valeur plus significative au NAV, puisque la valeur donnée par 802.11 est très grande, et dans certaines configurations, il se trouve qu'elle ne correspond pas à l'état réel du réseau.

Nous avons implémenté ces deux solutions et nous avons comparé les résultats de simulations avec celle de 802.11, la simulation confirme que les performances du réseau se dégradent quand la charge de réseau augmente, et que nos solutions améliorent ces performances et minimisent ces problèmes.

## Conclusion générale

---

Due à la hausse de la demande des utilisateurs et des applications d'une QoS dans les WLANs, le comité de la norme IEEE 802.11 a formé le groupe de travail « e » pour étendre la capacité de la norme à supporter la QoS à ce bas niveau (la sous-couche MAC). Malgré cela, la nouvelle norme IEEE 802.11e ne fournit que les services différenciés (basés sur les priorités) et ne donne pas une garantie de QoS. Le grand intérêt de cette norme réside dans les mécanismes de QoS, qui ont été utilisés par les chercheurs dans leurs propositions pour la garantie de la QoS. Notre mémoire contient un aperçu sur ces travaux.

Une des problématiques de ces réseaux que nous soulevons dans ce mémoire, est que lorsque la charge du réseau ad hoc sans fil augmente, les tailles des files d'attente des stations intermédiaires augmentent aussi, et lorsque les files deviennent pleines, toutes les trames qui arrivent à ces stations seront rejetées, ce qui affecte la QoS, c'est-à-dire, diminue le débit global de bout-en-bout du réseau, et augmente le délai et la gigue. Pour éviter cela, nous avons proposé une nouvelle technique qui utilise seulement les mécanismes de 802.11; particulièrement le mécanisme RTS/CTS. Cette méthode est implémentée dans le simulateur NS2, et les résultats de simulation montrent que notre méthode est meilleure que la norme 802.11.

Pour certaines configurations de réseaux, la valeur du NAV ne correspond pas à l'état réel du support sans fil. Dans ce mémoire, nous avons proposé de donner une valeur plus réelle au NAV, et qui correspond à l'état actuel du support sans fil. Les résultats de simulations confirment que la valeur que nous avons attribuée au NAV a donné de bons résultats.

Pour les travaux futurs, nous espérons améliorer nos propositions et les tester avec différents scénarios en utilisant divers trafics (uniforme, avec rafales (burst),...).

Nous essayerons aussi d'étudier la méthode EDCA et l'effet de chaque paramètre pour trouver une relation entre les différents paramètres pour les ajuster dynamiquement en prenant compte aussi de l'état du lien.

---

## Références

---

- [1] Anand R. Prasad, Neeli R. Prasad: “*802.11 WLANs and IP Networking: Security, QoS, and Mobility*”, ARTECH HOUSE, 2005, ISBN: 1-58053-789-8.
- [2] Sarkar S. K., Basavaraju T. G., Putta-madappa C.: “*Ad Hoc Mobile Wireless Networks. Principles, Protocols, and Applications*”, Auerbach Publications, 2008, ISBN-13: 978-1-4200-6221-2.
- [3] Jagannathan Sarangapani: “*Wireless Ad Hoc and Sensor Networks: Protocols, Performance, and Control*”, CRC Press, 2007, ISBN-13: 978-0-8247-2675-1.
- [4] Stefano Basagni, Marco Conti, Silvia Giordano, Ivan Stojmenovic: “*MOBILE AD HOC NETWORKING*”, IEEE Press and John Wiley and Sons Inc, New York, 2004.
- [5] IEEE Computer Society LAN MAN Standard Committee: “*Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*”, IEEE Computer Society, ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition (R2003).
- [6] P. Karn: “MACA – a new channel access method for packet radio”. In ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference, pages: 134-140, 1990.
- [7] Aura Ganz, Zvi Ganz & Kitti Wongthavarawat, “*Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS*”, Prentice Hall PTR, September 2003, ISBN: 0-13-046099-0.
- [8] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, RFC 2475: “*An Architecture for Differentiated Services*”, December 1998.
- [9] R. Braden, D. Clark and S. Shenker, RFC 1633: “*Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*”, June 1994.

- 
- [10] IEEE 802.11e Group: “*Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements*”, IEEE Computer Society, IEEE Std 802.11e, 2005.
- [11] IEEE 802.1D: “*IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges*”, IEEE Computer Society, IEEE Std 802.1D, 2004.
- [12] S. Kuppa and R. Prakash: “*Service Differentiation mechanisms for IEEE 802.11 based wireless networks*”, Proceedings of IEEE WCNC’04, pages: 796-801, March 2004.
- [13] A. Ksentini, A. Nafaa, A. Guéroui, and M. Naimi: “*Adaptive service differentiation for QoS provisioning in wireless ad-hoc networks*”, Proceedings of the 1st ACM Workshop on Performances Evaluation of Wireless Adhoc, Sensor and Ubiquitous Network, pages: 39-45, Venice, Italia 2004.
- [14] L. Romdhani, Q. Ni, and T. Turetli: “*Adaptive EDCA: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad hoc networks*”, Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networking Conference’03, vol. 2, pages: 1373-1378, New Orleans, Louisiana, March 16-20, 2003.
- [15] L. Gannoune, S. Robert, N. Tomar, and T. Agarwal: “*Dynamic tuning of the maximum contention window (CW<sub>max</sub>) for enhanced service differentiation in IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks*”, Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference 2004 (VTC 2004 Fall), vol. 4, pages: 2956-2961, September 2004.
- [16] I. Hwang and C. Wang: “*Improving the QoS Performance of EDCA in IEEE 802.11e WLANs Using Fuzzy Set Theory*”, Active Networking Workshop, 2004.
- [17] Roshan Lenagala and Qing-An Zeng: “*Study of Dynamic MAC Layer Parameters for Starvation Prevention in the IEEE 802.11e MAC Layer Protocol*”, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMobapos’06, pages:124 – 131, 19-21 June 2006.

- [18] W. Pattara-Atikom, P. Krishnamurthy and S. Banerjee: “Distributed mechanisms for quality of service in wireless LANs”, *Wireless Communications*, IEEE, Volume: 10 , Issue: 3 , Pages: 26 – 34, June 2003.
- [19] Qiang Qiu, L. Jacob, R. Radhakrishna Pillai and B. Prabhakaran: “*MAC protocol enhancements for QoS guarantee and fairness over the IEEE 802.11 wireless LANs*”, 11th International Conference on Computer Communications and Networks Proceedings, Pages: 628-633, 14-16 Oct. 2002.
- [20] A. Banchs, M. Radimirsch and X. Perez: “*Assured and expedited forwarding extensions for IEEE 802.11 wireless LAN*”, 10th IEEE International Workshop on Quality of Service. Pages: 237-246, 15-17 May 2002.
- [21] Yaser Pourmohammadi Fallah, Anwar Elfeitori & Hussein Alnuweiri: “*A Unified Scheduling Approach for Guaranteed Services over IEEE 802.11e Wireless LANs*”, First International Conference on Broadband Networks (BROADNETS'04), pages: 375-384, California, October 2004.
- [22] Rongbo Zhu & Yuhang Yang: “*Adaptive Scheduler to Improve QoS in IEEE 802.11e Wireless LANs*”, First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC'06), pages: 377-380, Beijing, China, August 2006.
- [23] S. Mangold, S. Chio, G. R. Hiertz, O. Klein and B. Walke: “*Analysis of IEEE 802.11 e for QoS Support in Wireless LANs*”, *IEEE Wireless Communications*, v 10, n 6, pages: 40-51, December 2003.
- [24] Pierre Ansel, Qiang Ni and Thierry Turletti: “*An Efficient Scheduling Scheme for IEEE 802.11e*”, *Proceedings of IEEE WiOpt (Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks)*, Cambridge, UK, March 2004.
- [25] S. H. Shah, K. Chen and K. Nahrstedt: “*Dynamic Bandwidth Management in Single-Hop Ad Hoc Wireless Networks*”, *Proc. IEEE Int'l. Conf. Pervasive Comp. and Commun.*, 2003.
- [26] Ali Hamidian & Ulf Körner: “*An Enhancement to the IEEE 802.11e EDCA Providing QoS Guarantees*”, *Journal of Telecommunication Systems*, Volume 31, Numbers 2-3, Springer Netherlands, pages: 195-212, March 2006.

- 
- [27] Ouazene N., Bilami A.: “*Enhancing 802.11 MAC in High Load Multi-hop Ad hoc Networks*”. ACIT’08, The 9th International Arab Conference on Information Technology, Hammamet, Tunisia, 16-18 December, 2008.
- [28] Ouazene N., Bilami A.: “Admission de trames au niveau de la couche MAC 802.11”. JSIA’09, Journées Scientifiques de l’Informatique et ses Applications, Guelma, Algeria, 2-3 Mars, 2009.
- [29] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [30] Sadeghi B., Yamada A., Fujiwara A., Yang L.: “*A Simple and Efficient Hop-by-hop Congestion Control Protocol for Wireless Mesh Networks*”. WICON’06, The 2nd Annual International Wireless Internet Conference, Boston, United States, 2006.
- [31] Zhai H., Wang J., Fang Y.: “*Distributed Packet Scheduling for Multihop Flows in Ad Hoc Networks*”. WCNC’04, p. 1081-1086, 2004.
- [32] Zhai H., Fang Y.: “*Distributed Flow Control and Medium Access in Multihop Ad Hoc Networks*”. IEEE Transactions On Mobile Computing, Vol. 5, N°11, p. 1503-1514, 2006.
- [33] Ganz A., Ganz Z., Wongthavarawat K.: “*Multimedia Wireless Networks: Technologies, Standards, and QoS*”. Prentice Hall PTR, ISBN: 0-13-046099-0, 2003.
- [34] Wu Q., Gong M., Williamson C.: “*TCP fairness issues in IEEE 802.11 wireless LANs*”. Computer Communications, 2008.
- [35] Zhai H., Fang Y.: “*A solution to hidden terminal problem over a single channel in wireless ad hoc networks*”, MILCOM’06, 2006.
- [36] The VINT Project: “*The ns Manual*”, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation>, March 2007.

## RÉSUMÉ

En raison de l'accessibilité croissante aux réseaux 802.11, les utilisateurs commencent à exiger un service équivalent au point de vue qualitatif, à celui offert par les mêmes applications dans les réseaux filaires. Pour ce faire, un support spécifique de la qualité de service (QoS) s'avère nécessaire pour les applications dans les WLANs. Quand la sous-couche MAC contrôle l'accès au média sans fil partagé, la réalisation d'un support de QoS au niveau de la couche MAC offre une plus grande flexibilité aux réseaux sans fil.

Dans ce mémoire, nous donnons un état de l'art des travaux les plus importants qui essaient d'offrir la QoS dans les réseaux sans fil au niveau de la couche MAC, ainsi qu'une présentation de la norme 802.11e proposée par le groupe « E » de la comité 802.11 pour offrir le support de la QoS.

Nous proposons deux solutions pour améliorer la QoS dans la norme 802.11 :

La première consiste à éviter le gaspillage des ressources, qui est engendré par l'état des files d'attente des stations intermédiaires dans les réseaux ad hoc multi-sauts, qui deviennent pleines quand la charge du réseau augmente. Ce problème engendre le rejet des trames récemment réceptionnées et cause la dégradation des performances et donc de la QoS dans les réseaux 802.11.

La deuxième consiste à donner une valeur plus réaliste au NAV (Network Allocation Vector), puisque dans certaines configurations de réseaux, cette valeur ne correspond pas à l'état physique du lien, dans ce cas les stations ne peuvent pas transmettre leurs trames. Nos solutions donnent une meilleure réutilisation spatiale de support sans fil et augmentent les performances de la QoS dans les réseaux 802.11.

**Mots clés :** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, QoS, file d'attente pleine, MANET, WLAN.

## ABSTRACT

Due to increasing accessibility to 802.11 networks, users are beginning to demand the same application support with the same quality as the same which they run over today's wired networks. This necessitates a viable application-specific Quality of Service (QoS) support. Since the MAC sub-layer controls access to the shared wireless medium, realizing QoS support at the MAC layer offers greater flexibility. In this report, we have made a state of the art of most important works which try to offer QoS in wireless networks on the MAC layer level, as well as a presentation of the 802.11e standard suggested by the group "E" of 802.11 committee to offer QoS support.

We propose here two solutions in order to improve QoS in 802.11 networks:

The first is to avoid the wasting of resources generated by the full queues in intermediate stations on multi-hop ad hoc networks, which generates consequently the drop of recently received frames that cause the decreasing of the QoS performances of 802.11.

The second is to give a more realistic value to the NAV (Network Allocation Vector), since in some network configuration, this value doesn't correspond to the physical state of the medium, and in this case the stations can't transmit their frames. Our solutions give a better spatial reuse of the wireless medium and increase the QoS performances of 802.11 networks.

**Keywords:** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, QoS, full queue problem, MANET, WLAN.

بسبب تزايد استعمال شبكات 802.11، بدأ المستخدمون بطلب دعم نفس البرامج التي يستخدمونها في الشبكات السلكية. وهذا يتطلب وجود دعم خاص لتوفير جودة الخدمة (QoS) في الشبكات اللاسلكية المحلية WLANs. وبما أن طبقة MAC هي التي تتحكم في الوصول إلى الناقل اللاسلكي المشترك، فإن وضع دعم لجودة الخدمة QoS توفر قدراً أكبر من المرونة للشبكات اللاسلكية. ندرس في هذه المذكرة أهم الأعمال التي عُنّت بتوفير جودة الخدمة QoS في الشبكات اللاسلكية وهذا في طبقة MAC وأيضاً نقوم بعرض النموذج 802.11e الذي اقترحه المجموعة "E" من لجنة تقديم دعم جودة الخدمة QoS.

نقترح في هذه المذكرة حلين لتحسين جودة الخدمة QoS في الشبكات اللاسلكية 802.11؛ الأول لتجنب هدر الموارد الذي يسببه امتلاء طوابير الحُزم في الأجهزة التي تقوم بإيصال الحُزم في الشبكات اللاسلكية بلا بنية تحتية متعددة هوب، والذي يولد إهمال الحُزم التي يتم استقبالها مؤخراً مما يسبب في انخفاض أداء جودة الخدمة في شبكات 802.11. الثاني هو لإعطاء قيمة أكثر واقعية لـ NAV، إذ في بعض الحالات لا تعكس هذه القيمة حالة الناقل، حيث أن الجهاز لا يستطيع إرسال حزم المعطيات إن لم تكن هذه القيمة مساوية للصفر. حلولنا هذه تعطي استخداماً أفضل لموارد الناقل وتوفر زيادة في أداء جودة الخدمة QoS في شبكات 802.11.

**الكلمات المفتاحية :** MAC, IEEE 802.11, 802.11e, جودة الخدمة, مشكل امتلاء الطوابير, MANET, الشبكات اللاسلكية.