

# Table des matières

Liste des figures . . . . .	vi
Liste des tableaux . . . . .	vii
Résumé . . . . .	vii
Abstract . . . . .	ix
Introduction générale . . . . .	1
I. Chapitre I : Les réseaux ad hoc . . . . .	4
I.1 Introduction . . . . .	5
I.2 Les réseaux locaux sans fil . . . . .	7
I.2.1 Introduction . . . . .	7
I.2.2 Topologie . . . . .	8
I.3 Le standard IEEE802.11 . . . . .	9
I.3.1 Architecture en couches . . . . .	9
I.3.2 Couches physiques de l'IEEE 802.11x . . . . .	10
I.3.3 Les bandes de fréquences . . . . .	12
I.3.3.1 La bande ISM . . . . .	12
I.3.3.2 La bande U-NII . . . . .	12
I.3.4 Couche MAC dans les réseaux ad hoc . . . . .	13
I.3.4.1 Protocole d'accès au médium . . . . .	13
I.3.4.1.1 Mode d'accès PCF . . . . .	13
I.3.4.1.2 Mode d'accès DCF . . . . .	14
I.3.4.2 Mécanisme d'accès CSMA/CA . . . . .	15
I.3.4.3 Retransmissions et backoff exponentiel . . . . .	18
I.3.4.4 Trames MAC . . . . .	18
I.4 Généralités sur les réseaux ad hoc . . . . .	19
I.4.1 Introduction . . . . .	19
I.4.2 Définition du réseau ad hoc . . . . .	20
I.4.3 Spécificités des réseaux ad hoc . . . . .	20
I.4.4 Domaines d'application des réseaux ad hoc . . . . .	22
I.4.5 Le routage dans les réseaux ad hoc . . . . .	23
I.5 Conclusion . . . . .	25
II. CHAPITRE 2 : Qualité de service (QoS) dans les réseaux ad hoc . . . . .	26
II.1 Introduction . . . . .	27

## **Table des matières**

II.2	Notion de QoS .....	27
II.3	La qualité de service dans les réseaux sans fil.....	29
II.3.1	Bluetooth .....	29
II.3.2	ZigBee .....	30
II.3.3	HiperLAN (High Performance Local area Network) .....	31
II.4	La qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11 .....	33
II.4.1	Problématique de la qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11 .....	33
II.4.2	Limites en termes de QoS du standard IEEE 802.11 .....	34
II.4.2.1	Limitations de la méthode d'accès de base DCF.....	34
II.4.2.2	Limitations de la méthode d'accès PCF .....	38
II.4.3	Apport de la norme 802.11e .....	39
II.5	Mécanismes de QoS dans les réseaux 802.11 .....	41
II.5.1	Différenciation de services .....	41
II.5.2	Contrôle d'admission et réservation de bande passante .....	42
II.5.3	Adaptation de lien.....	42
II.6	Qualité de service et réseaux ad hoc.....	42
II.7	Conclusion.....	43
III.	CHAPITRE 3 Les améliorations de la QoS dans les réseaux 802.11 .....	45
III.1	Introduction .....	46
III.2	Différenciation de service au niveau MAC .....	46
III.3	Approches par différenciation de service .....	47
III.3.1	Avant t le Draft 802.11e .....	48
III.3.1.1	DFS (Distributed Fair Scheduling).....	48
III.3.1.2	Black Burst .....	49
III.3.1.3	VMAC (Virtual MAC).....	50
III.3.1.4	Approche AC (Aad et Castellucia).....	50
III.3.1.5	Approche DC (Deng et Chang) .....	52
III.3.2	Le draft 802.11e.....	52
III.3.2.1	Les autres paramètres de QoS défini par le draft 802.11e.....	53
III.3.3	Après le draft 802.11e .....	54
III.4	Conclusion.....	57
IV.	Chapitre 4 : Algorithme de Backoff pour un accès différencié.....	58
IV.1	Introduction.....	59
IV.2	Etat de l'art .....	59

## **Table des matières**

IV.3	Contexte.....	60
IV.4	Motivation et solution proposé.....	61
IV.4.1	Problèmes liés à la méthode d'accès DCF.....	62
IV.4.1.1	Convergence de Backoff .....	62
IV.4.1.2	L'asynchronisme dans l'accès au canal .....	63
IV.4.2	Notre proposition :.....	63
IV.4.2.1	Méthode d'accès des différents types de trafics .....	65
IV.4.2.2	Le choix de la durée d'attente .....	67
IV.4.2.2.1	La fenêtre de contention .....	67
IV.4.2.2.2	Taille de la fenêtre de contention .....	67
IV.4.2.2.3	Taille de la fenêtre de contention et QoS .....	68
IV.4.2.2.4	Evaluation de la taille de la fenêtre de contention.....	68
IV.4.2.2.5	Algorithme de Backoff des différents types de trafics .....	69
IV.5	Introduction à ns2.....	69
IV.5.1	Présentation du simulateur NS2 .....	70
IV.5.2	L'outil de visualisation NAM.....	70
IV.5.3	Parameters de Simulation .....	71
IV.5.3.1	Débit utile (throughput).....	71
IV.5.3.2	Le taux de pertes.....	71
IV.5.3.3	Le délai .....	71
IV.5.4	Scenarios des simulations.....	71
IV.5.4.1	Paramètres de simulations .....	72
IV.5.4.2	Scenario 1 .....	72
IV.5.4.2.1	Le délai.....	73
IV.5.4.2.2	La perte.....	75
IV.5.4.2.3	Le débit.....	76
IV.5.4.3	Scenario 2 .....	77
IV.6	Conclusion.....	78
	Conclusion générale et perspectives .....	79
	Bibliographie .....	81

## Liste des figures

Figure I-1 Modes de fonctionnement en 802.11 .....	9
Figure I-2. Architecture en couche de 802.11 .....	10
Figure I-3. L'algorithme de CSMA/CA et algorithme de backoff .....	17
Figure I-4. Exemple d'accès au canal par deux stations concurrentes .....	18
Figure II-1. Performances du mode DCF en termes de bande passante [56].....	35
Figure II-2. Performances du mode DCF en termes de délais [56].....	35
Figure II-3. Bande passante cumulée dans une cellule [61].....	37
Figure II-4. Schéma des classes du trafic de la couche MAC du 802.11e .....	40
Figure III-1. Classification des approches de différenciation de services .....	48
Figure III-2. Méthode d'accès Black Burst.....	49
Figure III-3. Mécanisme de backoff dans AF-EDCF.....	55
Figure III-4. Algorithme utilisé dans AMPA [88] .....	56
Figure IV-1. Augmentation exponentielle de CW .....	61
Figure IV-2. Problème de la convergence .....	62
Figure IV-3. Accès au médium avec différenciation de service (DCF amélioré).....	65
Figure IV-4. Accès synchronisé .....	66
Figure IV-5. Scénario de la simulation.....	73
Figure IV-6. Délais des transmissions du trafic critique des différentes méthodes (réseau moyennement chargé). .....	74
Figure IV-7. Délais des du trafic critique transmissions des différentes méthodes (réseau chargé). .....	74
Figure IV-8. Nombre de paquet perdu du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau moyennement chargé). .....	75
Figure IV-9. Nombre de paquet perdu du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau chargé). .....	75
Figure IV-10. Débit utile du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau moyennement chargé). .....	76
Figure IV-11. Débit utile du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau chargé). .....	76
Figure IV-12. Débit moyen des trafics non critique rapport au temps des différentes méthodes .....	77

## **Liste des tableaux**

Tableau I.1. Amendements du 802.11.....	8
Tableau II.1. Exigences typiques des applications réseaux.....	28
Tableau IV.1. Paramètres des simulations .....	72

# RÉSUMÉ

Les réseaux sans fil se sont imposés comme moyen de communication et de travail au sein des différentes structures sociales. Les besoins en équipement de plus en plus fiable et l'exigence des utilisateurs ont amené les concepteurs à prendre en compte une notion fondamentale à savoir la qualité de service (QoS) qui s'est érigée en véritable méthode permettant les meilleures conditions d'acheminement d'un trafic de données.

Répondre à l'impératif QoS, apporter des compléments à la méthode d'accès DCF, rendre possible la différenciation de service par le biais de la priorisation aux trafics critiques, tel sont nos objectifs. Pour répondre à ces derniers nous avons mis en évidence les différents volets de notre approche qui nous ont permis d'aboutir à des résultats. D'une part, apporter les paramètres complémentaires à la méthode d'accès DCF ainsi qu'à l'algorithme de backoff; d'autre part, dégager des solutions à partir d'une analyse détaillée qui prend en compte l'asynchronisme dans l'accès au canal, ainsi que la convergence de l'algorithme de backoff.

## ABSTRACT

Wireless networks have emerged as a means of communication and working within different social structures. Equipment needs more reliable and user requirements have led designers to consider a fundamental concept, quality of service (QoS), which is built in beneficially method allowing the best conditions for data routing.

The main objective of our work is to meet the QoS requirement through which we brought complements to the DCF access method, and have implemented service differentiation through the prioritization of critical traffic. During our research, we have contributed firstly, to provide additional parameters to the access method DCF as well as backoff algorithm; and secondly, to identify solutions from a detailed analysis which takes into account asynchrony in channel access, as well as the convergence of the backoff algorithm.

## **Introduction générale**

Au début du 21<sup>ème</sup> siècle, les réseaux locaux informatiques connaissent deux évolutions importantes. D'une part, l'utilisation courante du réseau local chez les particuliers, due en grande partie à Internet, d'autre part, l'arrivée en masse des ordinateurs et autres matériels mobiles. Cette situation a poussé les concepteurs à trouver une technologie permettant de simplifier le câblage du réseau chez un particulier et de préserver la mobilité des produits portables. Ce principe fondamental a permis la création du sans fil. Celui-ci n'arrête pas de progresser au sein des différentes structures sociales en raison de la facilité d'utilisation et de la mobilité qu'il confère aux différents utilisateurs. Il s'est imposé comme moyen de communication et de travail aussi bien dans les entreprises que chez les particuliers. Ce moyen, de part son association très étroite au Wi-Fi (Wireless Fidelity) est devenue très vite indispensable et incontournable. En effet, les puces WiFi ne sont plus limitées aux seuls ordinateurs portables tel que c'était le cas ces dernières années. Aujourd'hui la plupart des téléphones mobiles permettent un accès WiFi, de même des baladeurs multimédia ainsi que d'autres équipements grand public.

Parallèlement l'univers des réseaux de données a connu une autre évolution au niveau applicatif. Il ne s'agit plus de transporter des données simples telles que du texte ou des images mais des données multimédia temps-réel gourmandes en bande passante et exigeantes, entre autres, en limite sur les délais ou sur le taux de perte. L'émergence et la coexistence de flux variés dans un même réseau introduit ainsi la nécessité d'offrir des services de communication avec une qualité de service. Celle-ci peut être définie comme étant un ensemble de mécanismes permettant de hiérarchiser le trafic afin de garantir que les données vitales ou sensibles au délai soient délivrées correctement et à temps. La priorisation des flux offre une garantie sur la disponibilité permanente d'une partie de la bande passante pour de telles applications.

Au niveau de la couche réseau du modèle OSI (typiquement IP), des solutions avaient été conçues pour répondre aux exigences de QoS des applications émergentes. IntServ (Integrated Services) et DiffServ (Differentiated Services) sont les modèles les plus marquants. IntServ, couplé avec RSVP (Resource ReSerVation Protocol), est un système permettant d'offrir de la qualité de service avec une granularité fine. Chaque application peut exprimer, par le biais de sa spécification (TSPEC - Traffic SPECification), un besoin de **réservation de ressources** nécessaires à son bon fonctionnement sur tout le chemin traversé. Le modèle de DiffServ



contraste avec IntServ par sa granularité moins fine et sa prise en compte du passage à l'échelle. DiffServ définit la notion de classes de trafic dans lesquelles sont classées les applications suivant leurs exigences en termes de QoS. Chaque classe est associée au niveau d'un domaine DiffServ à un comportement spécifique (PHB - Per Hop Behavior) permettant d'établir **une priorité** entre les classes et d'assurer aux applications ainsi classifiées les garanties qu'elles exigent. Bien que l'architecture des services différenciés soit une solution QoS flexible et facile à déployer dans les réseaux au sein desquels on souhaite gérer efficacement le partage de la bande passante dans l'objectif d'assurer des qualités différentes aux flots du réseau, celle-ci n'est pas cependant directement applicable aux réseaux sans fil tels que WiFi pour plusieurs raisons. Dans les réseaux sans fil, la qualité du canal dépend de la valeur du rapport signal sur bruit (SNR). Dans cet environnement, lorsque le canal est mauvais, le débit de transmission n'est pas nul mais diminue en fonction du SNR. Plus le SNR diminue, plus le débit de transmission diminue aussi. De plus, la réduction de bande passante n'est plus due à une rupture de câble mais à des phénomènes multiples tels l'interférence, le bruit, la distance entre émetteur et destination, ou encore la vitesse de déplacement des stations. Ces caractéristiques du sans fil rendent l'intégration de la qualité de service très compliquée et la priorisation à l'accès au canal difficile. De nouvelles solutions, assez différentes de celles des réseaux filaires, sont à concevoir. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail.

Le standard IEEE 802.11 a été conçu pour permettre un accès équitable au médium, à toutes les stations en compétition. Il couvre les deux couches basses du modèle OSI (MAC et physique). Le mécanisme d'accès de base défini par la couche MAC est le mécanisme distribué d'accès au canal ou DCF exécuté au niveau de chaque station sans fil. En considérant que la clé de garantie de QoS dans les réseaux IEEE 802.11 se situe au niveau des mécanismes d'accès au canal, notre travail est de s'intéresser aux moyens d'améliorer la couche MAC 802.11 et particulièrement le mécanisme d'accès DCF, afin de supporter des trafics avec différentes contraintes de QoS. Notre contribution dans ce travail se situe au niveau de :

- l'optimisation des performances de l'algorithme de Backoff Exponential Binary (utilisé par DCF).
- l'introduction d'un nouveau protocole MAC capable de gérer la QoS, par le biais de la modification apportée à l'algorithme de backoff.

Le mémoire se structure comme suit:

Dans le premier chapitre, qui constitue un recueil des données de la connaissance, nous avons tenté de développer les notions ayant trait aux différents types de réseaux sans fil en mettant le point sur la technologie 802.11 ainsi que les réseaux ad hoc.

Dans le deuxième chapitre sont regroupées les notions fondamentales, représentant les lignes directrices de notre travail. Elles concernent notamment:

- Les limites de service de QoS de la sous-couche MAC fourni par la norme 802.11
- Les suppléances actuelles qui sont l'aboutissement de recherches relatives à la diminution de la probabilité de collision et la priorisation d'accès au canal en fonction du type de trafic.

Dans le troisième chapitre consacrée à notre travail, sont mentionnés les différents points de notre approche qui nous ont permis d'une part d'apporter des modifications à la méthode d'accès DCF, d'autre part, de dégager des solutions à partir d'une analyse détaillée pour aboutir à des résultats.

La validation de notre proposition fait l'objet du chapitre 4. Nous terminons notre étude par une conclusion générale ainsi que des perspectives pour la continuation de ce travail.

# ***I. Chapitre I : Les réseaux ad hoc.***

## I.1 Introduction

Diverses technologies sans fil (par exemple, Bluetooth [30], IEEE 802.11 [32], HomeRF [31], HiperLAN [33]) ont été proposées, dans le but de substituer les transmissions filaires par des ondes radio-électriques. Ces technologies sont adaptées à des contextes d'utilisation spécifiques et ont notamment donné naissance à deux types de réseaux : les réseaux personnels sans fil ou PAN (*Personal Area Network*) et les réseaux locaux sans fil ou WLAN (*Wireless Local Area Network*).

Les réseaux locaux sans fil sont en passe de devenir l'une des principales solutions de connexion pour de nombreuses entreprises. Le marché du sans fil se développe rapidement dès lors que les entreprises constatent les gains de productivité qui découlent de la disparition des câbles. Au début de cette génération, une catégorie de ces réseaux sans fil, s'est essentiellement implémentée dans les usines, entrepôts et magasins de détail. Elle a fini par toucher les activités de santé, les institutions éducatives et les bureaux des grandes entreprises pour atteindre ensuite les entreprises, les salles de conférence, les zones publiques et les agences locales. La généralisation des WLAN dépend de la standardisation de l'industrie.

Un réseau local sans fil couvre le périmètre d'un réseau local, correspondant à celui d'un espace publique ou d'une entreprise. L'usage des technologies IEEE 802.11, HiperLAN et HomeRF est pertinent pour ce type de réseau puisque leur portée d'émission est de l'ordre de plusieurs centaines de mètres. Ces technologies utilisent deux méthodes différentes pour gérer la mobilité des utilisateurs. Certains réseaux, appelés *réseaux à base d'infrastructures*, ne supportent que le mouvement des terminaux, le cœur du réseau restant fixe.

D'autres réseaux, dits réseaux *ad hoc*, s'appuyant sur les technologies IEEE 802.11 et HiperLAN, proposent une solution alternative afin de fournir une connectivité à des terminaux fixes ou mobiles qui demandent un déploiement rapide. Ces réseaux se distinguent des autres formes de réseaux sans fil par une absence totale d'infrastructure fixe. Ils peuvent exister de façon autonome ou aussi être connectés à d'autres types de réseaux sans fils ou filaire, à base d'infrastructure ou non, et former ainsi un réseau hybride. Ces deux catégories de réseaux sans fil (réseaux à base d'infrastructure et réseaux *ad hoc*) partagent un certain nombre de problématiques communes, induites par les contraintes physiques inhérentes aux ondes radioélectriques : une faible bande passante et un faible taux de transmission (ou débit). Ces contraintes sont dues essentiellement à :

- Un canal de transmission susceptible d'être victime d'interférences, bruits ou parasite, pouvant affecter le signal,

- La distance entre deux terminaux sans fil,
- L'impossibilité à contrôler la propagation des ondes dans une direction particulière, d'où une pollution du canal et des collisions fréquentes.

En plus de ces contraintes, les réseaux *ad hoc* doivent faire face à d'autres problématiques qui leur sont propres :

- Les liens de communication dans les réseaux *ad hoc* sont asymétriques. Cela signifie que si un terminal reçoit un message d'un autre terminal, la réciproque n'est pas forcément vraie.
- L'accès au canal n'est pas contrôlé par une entité assurant la coordination des terminaux ou la synchronisation des communications. Par conséquent, tous les nœuds du réseau peuvent être victimes des interférences causées par l'émission de messages par les terminaux sans fil à portée de communication.
- La topologie du réseau change avec la mobilité de ses terminaux mobiles.

Néanmoins, malgré ces handicaps spécifiques, les réseaux *ad hoc* présentent des attributions indéniables. En effet, ils ont l'avantage de pouvoir être déployés rapidement et à faible coût puisqu'ils ne requièrent pas d'infrastructure fixe. Ils représentent ainsi une alternative intéressante dans de nombreuses situations dont les situations d'urgence (désastre naturel, tremblement de terre). Les réseaux ad-hoc permettent d'établir très rapidement un système de communication efficace. Ils sont aussi particulièrement utiles dans le cas d'applications militaires ou de sauvetage pour lesquelles il n'est pas envisageable d'installer des infrastructures.

Au début de l'apparition des réseaux mobiles ad hoc, l'objectif a été d'assurer la communication entre les nœuds en utilisant le service « best effort ». Mais pour des applications telles que : multimédia, téléphonie, jeux, applications critiques, communications dans un champ de bataille, etc. ce service n'est pas suffisant. Ces applications sont exigeantes en terme de certains critères (bande passante, délai, etc.). Les mécanismes classiques de qualité de service dans les réseaux filaires sont totalement ou partiellement inadaptés dans un environnement ad hoc. En effet, la plupart de ces méthodes reposent sur la connaissance d'informations précises quant à l'état du réseau (la bande passante utilisée, le délai, la gigue etc.). Dans un contexte sans fil, ces informations sont difficiles à évaluer notamment à cause des phénomènes propres aux transmissions sans fil [45] et peuvent être amenées à varier très rapidement, en fonction de la mobilité. Les solutions de QoS ont été classifiées en quatre grandes catégories :

- Les modèles de QoS définissent des architectures globales dans lesquelles des garanties peuvent être fournies.
- Les protocoles d'accès au médium cherchent à ajouter des fonctionnalités aux couches basses du modèle OSI afin de pouvoir offrir des garanties.
- Les protocoles de routage avec qualité de service recherchent les routes ayant suffisamment de ressources disponibles pour satisfaire une requête.
- Les protocoles de signalisation cherchent à offrir des mécanismes de réservation de ressources indépendants du protocole de routage sous-jacent.

Notre travail se situe dans le contexte du protocole d'accès au médium où nous nous proposons d'étudier le moyen de fournir une différenciation de service pour les applications nécessitant une certaine qualité de service, à travers le modèle proposé basé sur une modification apportée à l'algorithme de backoff.

Dans ce chapitre nous allons nous intéresser à la couche physique et aux différentes composantes assurant la transmission sans fil des données entre les terminaux. Nous nous intéresserons aussi à la sous couche MAC, tout particulièrement à la méthode d'accès DCF utilisée dans les réseaux ad hoc et qui fait l'objet de notre travail.

## **I.2 Les réseaux locaux sans fil**

Dans ce chapitre nous allons mettre l'accent sur quelques éléments essentiels caractérisant le standard IEEE 802.11. On s'intéressera à la couche MAC et aux différents mécanismes d'accès au médium. Les réseaux ad hoc constituent l'axe de notre étude. A cet effet, on se focalisera essentiellement sur l'approche décentralisée.

### **I.2.1 Introduction**

Les réseaux locaux sans-fil WLAN cherchent à offrir les mêmes prestations que les LAN d'entreprises avec l'avantage de la suppression du câblage et le déplacement à l'intérieur d'un immeuble ou même l'extérieur, dans certaines zones, sans interruption de la session en cours. Ces réseaux sont régis par l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) sur la norme portant la spécification IEEE 802.11. La norme originelle 802.11 date de 1997. Elle décrit les couches physiques et MAC pour un débit allant jusqu'à 2 Mbit/s en radio, dans la bande des 880MHz. Des extensions ont été publiées depuis. Celles-ci viennent lui ajouter des améliorations et des modes de fonctionnement plus performants. Plus d'une dizaine d'amendements ont été approuvés ou sont sur le point de l'être ; les différents amendements varient entre améliorations en terme de débit (802.11a [21], 802.11b [22], 802.11g [23],

802.11n [24]) et meilleurs mécanismes de sécurité (802.11i [25]), en passant par des spécificités liées aux régulations de différents pays (802.11d [26], 802.11h [27], 802.11j [28]) ou encore l'intégration de mécanismes de qualité de service (802.11e [3]). Le tableau suivant regroupe les différents amendements et leurs caractéristiques :

Normes	Descriptions
802.11	-Date de normalisation : 1997 -Bande de fréquence : 2.4Ghz -Débit théorique=2Mb/s, Réel< 1Mb/s -Porté théorique : 100m
802.11a	-Date de normalisation : 1999 -Bande de fréquence : 5Ghz -Débit théorique=54Mb/s, Réel= 30Mb/s -Porté théorique : 50m -Spécificité : 8 canaux radio
802.11b	-Date de normalisation : 1999 -Bande de fréquence : 2.4Ghz -Débit théorique=11Mb/s, Réel= 6Mb/s -Porté théorique : 100m -Spécificité : 3 canaux radio
802.11e	-Amélioration de la qualité de service (niveau MAC) pour le support audio et vidéo
802.11f	-Interopérabilité entre les points d'accès
802.11g	-Date de normalisation : 2003 -Bande de fréquence : 2.4Ghz -Débit théorique=54Mb/s, Réel= 30Mb/s -Spécificité : compatibilité 802.11b
802.11h	-Adaptation de 802.11a aux normes d'émissions électromagnétiques européennes
802.11i	-Amélioration de la sécurité des transmissions sur la bande de fréquences 2.4Ghz et 5 Ghz
802.11n	-Date de normalisation : 2006 -Débit théorique=500Mb/s -Spécificité : implémentation de la technologie MIMO
802.11k	-Apporte des améliorations dans le domaine de la mesure des ressources radio dans le but d'arriver à une meilleure gestion et maintenance des WLANs
802.11r	-Date de normalisation : 2008 -Spécificité : Amélioration des performances de la VoIP (Voice over IP)
802.11p	Porté : allant jusqu'à 1000m -Spécificité : étudie la possibilité de modifier le standard afin de fournir la possibilité de communiquer entre un véhicule et une entité de bord de route ou entre deux véhicules circulant à une vitesse allant jusqu'à 200Km/h
802.11aa	Spécificité : 802.11aa ou VTS (Video Transport System) a pour but de spécifier des mécanismes permettant le transport robuste des flux audio et vidéo sur 802.11

### I.1. Amendements du 802.11

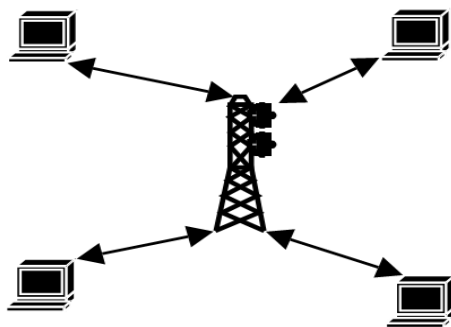
#### I.2.2 Topologie

Le standard 802.11 définit deux configurations de base (figure I.1) pour faciliter la communication des équipements. Dans ce contexte, un équipement, utilisateur ou réseau, est

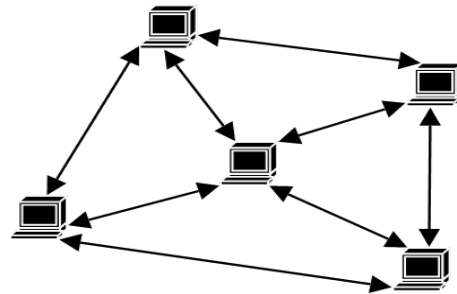
appelé station. Un ensemble de stations forme un BSS (Basic Service Set en anglais). Les stations peuvent être connectées en mode ad hoc ou en mode infrastructure.

- **Le mode infrastructure** : Dans ce mode (figure I.1(a)), toute communication passe par un point d'accès. Celui-ci joue aussi souvent le rôle de passerelle vers un réseau filaire, voire vers Internet. Le point d'accès joue ici le rôle d'une infrastructure servant au bon fonctionnement du réseau ;

- **Le mode ad hoc** : dans ce mode (figure I.1(b)), les BSS sont composés de stations fixes ou mobiles communiquant directement entre elles sans l'intermédiaire d'un point d'accès. Dans les réseaux ad hoc, tous les équipements utilisent le protocole 802.11 pour accéder au canal. L'intérêt de ce mode réside dans la possibilité de communiquer en l'absence d'infrastructure.



(a) Mode infrastructure



(b) Mode ad hoc

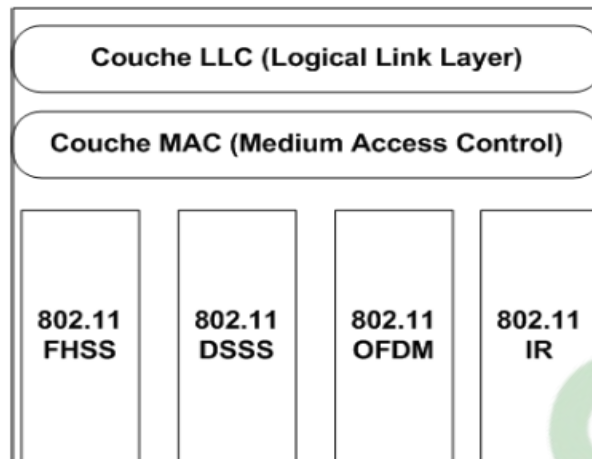
I-1 Modes de fonctionnement en 802.11

### I.3 Le standard IEEE802.11

#### I.3.1 Architecture en couches

Le protocole 802.11 est une norme établie par l'IEEE qui définit les deux premières couches (basses) du modèle OSI, à savoir la couche physique et la couche liaison de données pour les réseaux locaux sans fil. La couche liaison de données est elle-même subdivisée en deux sous-couches, la sous-couche LLC (Logical Link Control) et la couche MAC (Medium Access Control).





**Figure I-2.** Architecture en couche de 802.11

L'une des particularités de cette norme est qu'elle offre plusieurs variantes au niveau physique, tandis que la partie liaison est unifiée. Les quatre couches physiques constituant la norme définissent différents codages afin de transmettre de manière fiable les données en multiplexant plusieurs canaux de transmission. Un canal de transmission est une bande de fréquence attribuée à un système de communication Emetteur/Récepteur. Il doit restituer le même signal d'entrée avec un retard  $\tau$  dû au temps de propagation. Initialement réservées à un usage militaire, l'utilisation de ces bandes de fréquences a nécessité une régularisation gouvernementale. Toutefois des bandes de fréquences pour un usage libre sont aussi définies.

### I.3.2 Couches physiques de l'IEEE 802.11x

La norme IEEE 802.11 définit deux sous-couches physiques : la sous couche PMD (Physical Media Dependant) qui gère l'encodage des données et la modulation et la sous couche PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) qui s'occupe de l'écoute du support et est directement reliée à la couche MAC pour lui signifier que le support de transmission est libre [34]. La sous couche PMD peut se baser sur l'une des techniques de transmission suivantes :

- La technique FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) [6] [7] ou étalement de spectre par saut de fréquence consiste à diviser la bande de fréquence en 75 canaux d'une largeur de 1Mhz chacune, puis de transmettre en utilisant une combinaison de canaux connue de toutes les stations de la cellule. La transmission se fait ainsi en émettant successivement sur un canal puis sur un autre pendant une courte période de temps (d'environ 400 ms).

- La technique DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) [9] ou étalement de spectre à séquence directe transmet chaque bit en utilisant 11 changements d'état du signal. Ainsi, l'émission de chaque bit correspond à la transmission d'une séquence de 11 bits appelée séquence de Barker. La bande de fréquence est alors divisée en 14 canaux d'une largeur de bande de 22Mhz. L'inconvénient de la DSSS est qu'elle ne peut pas éviter les perturbations qui peuvent intervenir lors de la communication de deux dispositifs employant des canaux en recouvrement.
- La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) divise sur un grand nombre de porteuses le signal numérique à transmettre. Elle fait appel au multiplexage par la répartition des fréquences sur des porteuses orthogonales [14]. Cette orthogonalité permet de séparer les canaux afin d'éviter les interférences du canal. Par conséquent, dans un canal de transmission avec des chemins multiples où certaines fréquences seront détruites, le système sera en mesure de récupérer l'information perdue sur d'autres fréquences porteuses. Ce principe permet de limiter l'interférence entre symboles.
- La norme IEEE 802.11 propose également une alternative à l'utilisation des ondes radio par le biais de la lumière infrarouge. Les transmissions se font de manière unidirectionnelle ou par réflexion. Le caractère non dissipatif des ondes lumineuses offre un niveau de sécurité plus élevé. Il est possible grâce à la technologie infrarouge d'obtenir des débits allant de 1 à 2 Mbit/s en utilisant une modulation appelée PPM (*Pulse Position Modulation*) qui consiste à transmettre des impulsions à amplitude constante, et à coder l'information suivant la position de l'impulsion [35]. Grâce aux caractéristiques réfléchives de l'infrarouge, les stations appartenant au réseau ne doivent pas nécessairement être dirigées les unes vers les autres. Cependant, vu la portée très faible de l'infrarouge, les stations ne peuvent être éloignées les unes des autres de plus d'une dizaine de mètres. Un réseau 802.11 IR ne peut donc être déployé que dans un espace ayant la dimension d'une pièce.

Dans la première version de 802.11, la bande de fréquences utilisées était celle des 880 MHz. Avec les différentes extensions, d'autres bandes de fréquences ont commencé à être exploitées. C'est ainsi que les bandes de fréquences dédiées au monde industriel, médical et scientifique, plus communément appelé bande ISM située autour des 2,4 GHz (de 2,4 à 2,495 GHz) sont utilisées pour les versions de 802.11 (1999), 802.11b (Wi-Fi) et 802.11g. Un des avantages du 802.11b est l'adaptation dynamique du débit (Variable Rate Shifting). Ce

mécanisme permet, en ajustant la modulation et le codage, d'adapter le débit en fonction des variations du canal. Si l'environnement radio est sans perturbations, le débit est maintenu à son plus haut niveau (11Mbit/s). En revanche, le débit baisse automatiquement dès que l'environnement commence à se dégrader (interférences, charge du réseau, sensibilité du matériel, éloignement du point d'accès, etc). Les bandes de fréquences autour des 5 GHz sont également utilisées pour les versions 802.11a (Wi-Fi5) et 802.11n. Les débits possibles varient entre 1 et 54 Mbps suivant les techniques de modulation et les éventuelles extensions de la norme. Le Wi-Fi5, contrairement au Wi-Fi, n'utilise pas la bande ISM mais plutôt la bande U-NII située autour de 5 GHz et offrant une largeur de 300 MHz. Il utilise une technique d'accès multiples par répartition en fréquences orthogonales (OFDM), caractérisée par un faible taux d'interférences inter-symboles. Cependant la nouvelle norme 802.11n permet d'entrevoir des débits de l'ordre de 100 Mbps. Les portées prévues varient de quelques dizaines à quelques centaines de mètres en fonction des débits et de l'environnement.

### **I.3.3 Les bandes de fréquences**

Les différents modules radios des standards IEEE 802.11a/b/g utilisent des fréquences situées dans des bandes dites sans licence. Ce sont des bandes à accès libre. La configuration de ces bandes dépend du milieu de l'application intérieur ou extérieur (indoor/outdoor). Les deux bandes sans licence utilisées par L'IEEE 802.11 sont la bande ISM (Industrial, Scientific and Medical) et la bande U-NII (Unlicensed-National Information Infrastructure).

#### **I.3.3.1 La bande ISM**

Elle est utilisée dans toutes les versions du 802.11x, elle correspond à une bande de fréquence de la gamme UHF autour de 2.4 GHz, avec une largeur de bande de 68.5 MHz (2.4 GHz - 2.4683 GHz). Les réseaux locaux sans fil et les dispositifs Bluetooth émettent sur cette bande de fréquences. La puissance autorisée en PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) est de 100 mW (20 dBm) pour la bande (2400 à 2454 Mhz) en intérieur ou extérieur, pour (2454 à 2468.5Mhz) 100mW en intérieur et 10 mW (10 dBm) en extérieur.

#### **I.3.3.2 La bande U-NII**

La bande sans licence U-NII est située autour de 5 GHz. Elle offre une largeur de bande de 300 MHz (plus importante que l'ISM qui est égale à 68.5 MHz). Cette bande est divisée en trois sous-bandes de 100 MHz distinctes. La première et la deuxième sont employées pour les transmissions indoor.



La troisième sous-bande est, quant à elle, employée pour des transmissions outdoor. La disponibilité de ces trois bandes, de même que pour la bande ISM, est liée à la zone géographique concernée. A titre d'exemples, les Etats-Unis utilisent les trois sous-bandes, l'Europe n'utilise que la première et la deuxième, le Japon emploie uniquement la première.

Les techniques de codage des différentes couches physiques utilisent plusieurs canaux de transmission. Cependant, la plupart des protocoles pour réseaux ad hoc n'utilisent qu'un unique canal pour communiquer. Même si cette solution pose essentiellement des problèmes d'interférences, elle facilite tout de même la conception des protocoles pour ces réseaux.

### **I.3.4 Couche MAC dans les réseaux ad hoc**

Les spécificités du médium radio rendent l'utilisation efficace d'un protocole d'accès au médium primordiale. Le rôle du protocole d'accès au médium est multiple. Il est chargé d'éviter les collisions, d'assurer le partage de la bande passante et de résoudre certains problèmes spécifiques aux transmissions hertziennes (stations cachées ou exposées). Cependant, beaucoup de protocoles de routage avec QoS pour les réseaux ad hoc pourraient tirer parti de protocoles de niveau 2 capables de gérer une certaine qualité de service. Actuellement, les standards IEEE 802.11 et Bluetooth sont principalement utilisés dans les réseaux ad hoc pour le support des communications sans fil. Dans notre travail, nous avons utilisé la couche MAC du standard IEEE 802.11.

#### **I.3.4.1 Protocole d'accès au médium**

Dans les réseaux ad hoc, le support de communication est partagé entre les nœuds situés dans la même zone de couverture de leurs cartes réseau. Pour gérer l'accès au médium, différents mécanismes de contrôle d'accès ont mené à la norme IEEE 802.11, où les accès concurrents sont gérés par le protocole de détection de la porteuse CSMA, qui est bien approprié aux médias de transmission par diffusion. Ce protocole repose sur une écoute du canal de transmission, couplée à une attente aléatoire avant émission, afin de réduire la fréquence des émissions simultanées des trames rendant souvent la réception de ces trames impossible à cause de collisions. La couche MAC de la norme IEEE 802.11 définit deux modes d'accès au médium : Point Coordination Function (PCF) et Distributed Coordination Function (DCF).

##### **I.3.4.1.1 Mode d'accès PCF**

Le PCF, optionnel, sert à supporter les trafics synchrones, i.e. trafics temps réel tels que la voix ou la vidéo. Il est basé sur un algorithme d'ordonnancement centralisé où la station de

base appelé point d'accès gère les communications entre les mobiles se trouvant dans sa zone de couverture sur le principe de l'interrogation à tour de rôle des terminaux, ou polling. Une station ne peut émettre que si elle est autorisée par le point d'accès. Cette méthode permet une meilleure gestion de la bande passante puisqu'elle évite les collisions et est conçue essentiellement pour la transmission de données sensibles, qui demandent une gestion de la QoS. Cependant, la plupart des équipements présents sur le marché n'offrent pas cette option mais uniquement le DCF [37].

#### **I.3.4.1.2 Mode d'accès DCF**

Ce mode d'accès est assez similaire à celui des réseaux traditionnels supportant le best-effort. Il a été conçu pour prendre en charge le transport de données asynchrones, dans lequel tous les utilisateurs qui veulent transmettre des données ont une chance égale d'accéder au support. Le mode DCF est basé sur une écoute permanente du médium par les stations désirant émettre. La plupart des cartes 802.11 proposées sur le marché utilisent ce mode d'accès au canal radio.

Dans ce mode, les transmissions s'effectuent en mode diffusion (broadcast), d'une station vers plusieurs récepteurs ou en mode point à point (unicast), d'une station vers un unique récepteur. Dans ce dernier cas, en cas de transmission réussie, le récepteur renvoie à l'émetteur une trame d'acquiescement (ACK) afin d'indiquer à ce dernier que la trame de données a été reçue correctement. Les trames envoyées en mode diffusion ne sont pas acquiescées, du fait que la génération de plusieurs acquiescements simultanés entraîne des collisions potentielles sur les acquiescements ainsi qu'une surcharge du réseau. La norme définit également trois variables temporelles ou IFS (Inter Frame Space) qui caractérisent le temps s'écoulant entre l'envoi des trames.

#### **Espace inter-trames**

Un espace inter-trame IFS est une période d'inactivité sur le support de transmission qui permet de gérer l'accès au support pour les stations ainsi que d'instaurer un système de priorités lors d'une transmission. Pour définir les différentes sortes d'IFS, la norme a tout d'abord introduit la notion de time slot comme étant l'intervalle de temps qui permet à une station de savoir si une autre station a accédé au canal au début du slot précédent. La valeur d'un time slot dépend de la couche physique utilisée. Pour la couche PMD à étalement de spectre à séquence directe, cette valeur est 20  $\mu$ s.

Il existe quatre types d'IFS :

**Short Inter-Frame Spacing (SIFS):** est utilisé pour séparer l'instant de réception des données et l'envoi d'un acquittement correspondant. C'est le plus petit écart entre deux trames transmises au sein d'un même dialogue comme par exemple, entre des données et leurs acquittements ou entre différents fragments d'une même trame. Cette valeur est fixée par la couche physique et est calculée de façon à laisser le temps à la station émettrice de commuter en mode réception pour pouvoir décoder le paquet entrant. Sa valeur est de 10  $\mu$ s dans 802.11b.

**DCF Inter-Frame Spacing (DIFS):** est le temps d'attente de chaque station avant d'émettre un paquet en mode DCF. Sa valeur est égale à celle d'un SIFS augmentée de deux time slots, 50  $\mu$ s.

**PCF Inter-Frame Spacing (PIFS):** est le temps que doit attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode PCF. La valeur est inférieure au DIFS, pour permettre de favoriser ce mode.

**Extended Inter-Frame Spacing (EIFS):** l'EIFS est utilisé quand une station perçoit un signal qu'elle ne peut décoder. Elle diffère alors sa transmission d'un temps égal à EIFS, afin de ne pas provoquer de collision avec cette communication en cours. Sa valeur est de 364  $\mu$ s.

#### **I.3.4.2 Mécanisme d'accès CSMA/CA**

La méthode DCF s'appuie sur le protocole CSMA/CA (Carrier Sens Multiple Access/Collision Avoidance) qui est une technique d'accès aléatoire avec écoute de la porteuse, permettant d'écouter le support avant transmission et dont le but est d'éviter les collisions. Ce schéma d'accès est couplé à un mécanisme optionnel RTS/CTS (Request To Send/Clear To Send, mécanisme aidant à la résolution des problèmes du terminal caché et du terminal exposé et à la réduction de l'effet des collisions).

Ces types de protocoles sont très efficaces quand le support n'est pas surchargé, puisqu'ils autorisent les stations à émettre avec un minimum de délai. Cependant il y a toujours un risque pour que des stations émettent en même temps et engendrent des collisions. Il est donc nécessaire de pouvoir éviter au maximum ces collisions. Le mécanisme du backoff est utilisé dans ce but.

**L'algorithme de backoff :** C'est un mécanisme simple, basé sur le calcul d'un temporisateur qui gère les transmissions et les retransmissions. Il permet de réduire la probabilité de collision sur le canal en essayant de minimiser les chances d'avoir plusieurs stations qui

accèdent au support en même temps [35]. Il repose sur le tirage aléatoire, dans un intervalle appelé fenêtre de contention, d'un nombre appelé backoff (temporisateur), par une station désirant accéder au médium. Ce nombre est compris entre 0 et une valeur maximale correspondant à la taille de la fenêtre de contention et notée initialement CW. La station devra ainsi attendre en plus du DIFS, une durée supplémentaire équivalente au backoff multiplié par la durée d'un slot. Lorsque le support est libre, les nœuds décrémentent leur backoff d'une unité à chaque slot. La première station atteignant la valeur 0 émet ses informations sur le canal radio.

Si pendant la décrémentation du backoff une nouvelle transmission est détectée, la décrémentation du backoff est interrompue et ne pourra reprendre qu'en cas de libération du canal radio. La figure I.3 décrit le mécanisme CSMA/CA.

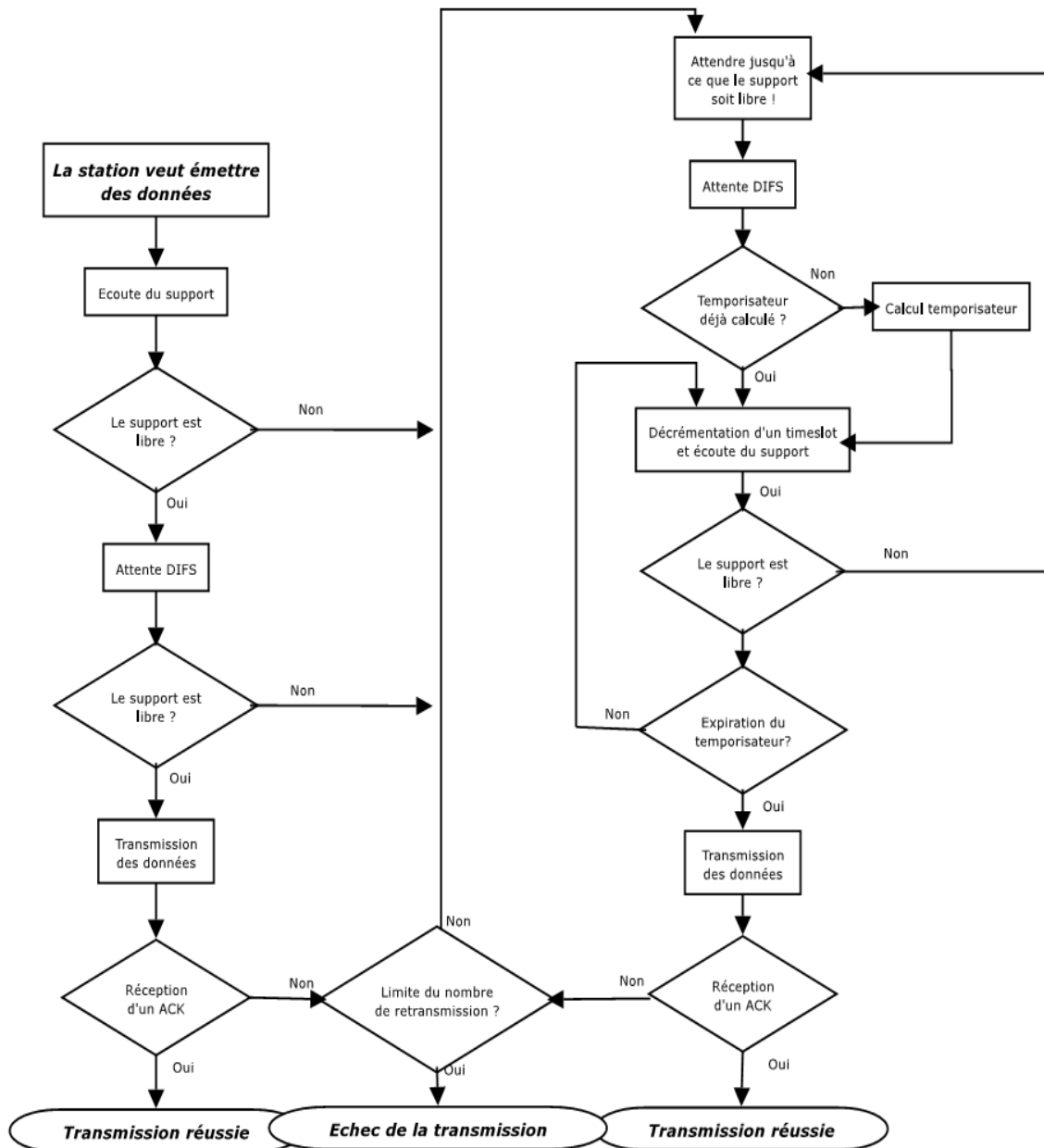


Figure I-3. L'algorithme de CSMA/CA et algorithme de backoff

La figure I.4 décrit un exemple d'accès concurrentiel au canal radio lors d'une transmission par deux stations A et B à portée de communication radio. Les stations A et B souhaitent émettre chacune une trame à la même date. Après une durée d'attente commune DIFS, la station A qui choisit le plus petit backoff, accède au canal et transmet sa trame. Pendant cette durée d'émission, le nœud B ne peut accéder au canal qu'il voit occupé. Après la réception de l'acquittement correspondant au niveau du nœud A, indiquant que la transmission s'est déroulée correctement, le nœud B peut alors effectuer sa transmission après



avoir décrémenté son backoff restant. Les transmissions se déroulent sans collisions et chaque trame est correctement acquittée.

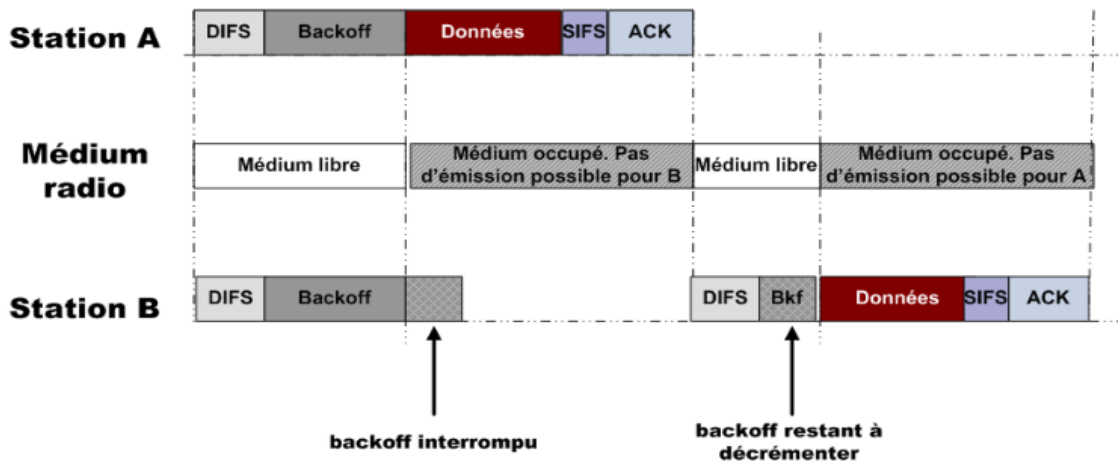


Figure I-4. Exemple d'accès au canal par deux stations concurrentes

### I.3.4.3 Retransmissions et backoff exponentiel

Lorsque les collisions sont détectées, la couche MAC retransmet le paquet sans avoir à repasser par les couches supérieures et évite ainsi d'engendrer des délais significatifs. La détection des collisions est indiquée par l'absence de réception d'un acquittement au bout d'un timeout et provoque la retransmission de la trame jusqu'au succès ou jusqu'à atteindre un nombre maximal de retransmissions autorisées. Dans ce dernier cas, la trame est détruite.

Au départ le temps de backoff est uniformément distribué dans l'intervalle  $[0; CW_{min}]$  et à chaque nouvelle retransmission, le protocole 802.11 double la valeur de la taille de la fenêtre de contention afin de réduire le risque de collision. Cette progression est bornée par une valeur maximale  $CW$  [38]. Lorsqu'une trame est reçue correctement, ou rejetée, la fenêtre de contention est ramenée à sa valeur initiale. L'augmentation exponentielle du temps de backoff augmente non seulement le temps de séjour des paquets dans les files d'attente mais diminue aussi la capacité effective du réseau.

### I.3.4.4 Trames MAC

Il existe deux types de trames dans la couche MAC des réseaux 802.11 : données et contrôle. Une trame de données comprend un en-tête, les données à transmettre et un champ de vérification d'erreurs. L'en-tête indique entre autres la nature et la durée de la trame ainsi

que les adresses source et destination. Le champ de vérification d'erreurs, quant à lui, permet de déterminer si la trame reçue est erronée ou non.

Afin de remédier au problème de la station cachée, 802.11 propose un mécanisme utilisant des paquets de contrôle appelés RTS (Request To Send) et CTS (Clear To Send). Ce mécanisme permet de réduire l'impact des collisions sans toutefois les supprimer entièrement.

Les trames de contrôle sont composées d'un en-tête et d'un champ de vérification d'erreurs.

1. La trame RTS : cette trame est envoyée par le nœud source lorsque ce dernier est prêt à envoyer un paquet vers une destination connue ;
2. La trame CTS : lorsque le nœud destination est prêt à recevoir une trame, en réponse à la trame RTS reçue, il envoie à la source une trame CTS. Le processus RTS/CTS permet au couple émetteur-récepteur de réserver de la bande passante afin de réduire les risques de collisions avec les autres stations. Ce principe de réservation du canal par l'envoi de petits paquets de contrôle est appelé détection de porteuse virtuelle ou Virtual Carrier Sense. La période de réservation est stockée dans le vecteur d'allocation du réseau (NAV – Network Allocation Vector).
3. Trame ACK : C'est le paquet envoyé par la destination lorsqu'elle reçoit correctement et sans erreur une trame de données.

Les messages RTS/CTS et ACK sont prioritaires à l'accès au médium, car ils disposent d'un temps d'attente IFS (Inter Frame Space) inférieur à celui des paquets de données.

## **I.4 Généralités sur les réseaux ad hoc**

Les réseaux ad hoc introduisent de nombreuses contraintes liées essentiellement au médium radio et à la mobilité inhérente des utilisateurs. Dans ce qui suit nous exposons quelques généralités sur les réseaux ad hoc afin de comprendre les phénomènes susceptibles de perturber la QoS dans ce type de réseaux notamment au niveau de l'accès au médium partagé.

### **I.4.1 Introduction**

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil et sans infrastructure fixe, où chaque nœud peut aussi bien jouer le rôle d'émetteur (initiateur de la communication), de routeur (relayage des informations vers d'autres mobiles) que de destinataire (réception et traitement des informations). Les réseaux ad hoc sont auto-organisés ce qui implique que la connectivité doit

être préservée autant que possible en cas de changement de topologie (suite à l'apparition, la disparition ou aux mouvements de certains nœuds) sans intervention humaine. Ainsi, la seule présence des terminaux équipés d'une carte d'interface sans fil suffit à créer et maintenir un réseau ad hoc.

Vers le début des années 1970, les réseaux ad hoc ont été conçus principalement pour des applications militaires. Cependant, avec le développement de l'Internet et la démocratisation des équipements sans fil, les possibilités d'utilisation de ces réseaux semblent beaucoup plus étendues. Les applications que l'on entrevoit actuellement vont des réseaux de capteurs souvent dédiés à la surveillance de l'environnement aux réseaux véhiculaires en passant par les réseaux maillés, réseaux sans fil fixes qui permettent par exemple d'étendre un accès Internet sans câblage.

Le médium ou canal radio, partagé par tous les nœuds, est une ressource rare qui constitue un des points critiques des réseaux ad hoc. La nature même du canal radio pose un certain nombre de problèmes. Le paragraphe suivant introduit quelques spécificités des réseaux ad hoc.

#### **I.4.2 Définition du réseau ad hoc**

Un réseau ad hoc [15] est un ensemble des terminaux mobiles, qui communiquent à travers leurs cartes sans fil tout en formant un réseau temporaire, sans l'existence d'une infrastructure pré-déployée, ni l'intervention d'un administrateur. Ce type de réseau se forme généralement d'une manière spontanée et dynamique avec l'apparition et le mouvement de nœuds. Chaque nœud communique directement avec les autres nœuds situés dans la portée de la zone d'émission et de réception de son interface radio, et indirectement avec les autres nœuds situés à l'extérieur de sa zone d'émission, en exploitant la coopération de nœuds intermédiaires jouant le rôle de routeurs, en relayant les informations vers les autres. Dans ce type de réseau, chaque nœud joue le rôle d'une station émettrice et d'un routeur.

#### **I.4.3 Spécificités des réseaux ad hoc**

Les réseaux ad hoc héritent des mêmes propriétés et problèmes liés aux réseaux sans fil. Particulièrement, le fait que le canal radio soit limité en termes de capacité, plus exposé aux pertes (comparé au médium filaire), et sujet à des variations dans le temps. Le canal est confronté aux problèmes de station cachée et station exposée. En outre, les liens sans fil sont asymétriques et pas sécurisés. D'autres caractéristiques spécifiques aux réseaux ad hoc

conduisent à ajouter une complexité et des contraintes supplémentaires qui doivent être prises en compte lors de la conception des algorithmes et des protocoles réseaux, à savoir :

- **Une atténuation** rapide du signal en fonction de la distance qui induit l'impossibilité pour l'émetteur de détecter une collision au moment de l'émission. L'environnement peut aussi détériorer un signal à cause des phénomènes d'atténuation et de réflexion ou de chemins multiples.
- **Les interférences** : les liens radio n'étant pas isolés, une communication entre deux mobiles peut interférer sur d'autres communications rendant le décodage des informations parfois impossible.
- **Liens bidirectionnels** : les liens radio ne sont pas toujours bidirectionnels. Ainsi un mobile peut recevoir des données de la part d'un autre mobile sans que la réciproque soit vraie. Ce phénomène pose un problème dans le processus de découverte de route car lorsqu'un chemin est créé, les informations de réponse ne peuvent pas toujours emprunter le chemin inverse, nécessitant la construction d'une nouvelle route. Ce phénomène pose aussi un problème dès lors qu'on utilise des échanges point-à-point avec 802.11 puisque ces échanges ne peuvent fonctionner que sur des liens bidirectionnels.
- **La puissance** du signal est limitée.
- **Un faible débit** par rapport à l'équivalent filaire.
- **L'énergie** : les applications relatives aux réseaux sans fil tirent leur autonomie des batteries et les différentes opérations (émettre, recevoir des données, écouter le support radio) consomment de l'énergie non négligeable. Sachant qu'une partie de l'énergie est déjà consommée par la fonctionnalité du routage, cela limite les services et les applications supportées par chaque nœud.
- **Une faible sécurité** : le canal radio n'étant pas isolé, il est très facile à l'aide d'une antenne espionne d'écouter les informations qui circulent sur le canal d'autant plus qu'il est partagé. Les solutions se trouvent donc au niveau d'un cryptage par l'émetteur.
- **La mobilité** des utilisateurs inhérente à ces réseaux peut se révéler un facteur contraignant car générant des modifications de topologies. Cette mobilité a naturellement un impact sur la morphologie du réseau et peut modifier le comportement du canal de communication.
- **La versatilité du médium** physique qui change rapidement entraîne une instabilité des transmissions radio.

- **L'hétérogénéité des nœuds** : un nœud mobile peut être équipé d'une ou plusieurs interfaces radio ayant des capacités de transmission variées et opérant dans des plages de fréquences différentes. Cette hétérogénéité de capacité peut engendrer des liens asymétriques dans le réseau. De plus, les nœuds peuvent avoir des différences en terme de capacité de traitement (CPU, mémoire), de logiciel, de taille (petit, grand) et de mobilité (lent, rapide). Dans ce cas, une adaptation dynamique des protocoles s'avère nécessaire pour supporter de telles situations.
- **La taille des réseaux ad hoc** : elle est souvent de petite ou moyenne taille (une centaine de nœuds); le réseau est utilisé pour étendre temporairement un réseau filaire, comme pour une conférence ou des situations où le déploiement du réseau fixe n'est pas approprié (ex : catastrophes naturelles). Cependant, quelques applications des réseaux ad hoc nécessitent une utilisation allant jusqu'à des dizaines de milliers de nœuds, comme dans les réseaux de senseurs [16]. Des problèmes liés au passage à l'échelle tels que : l'adressage, le routage, la gestion de la localisation des senseurs et la configuration du réseau, la sécurité, ...etc., doivent être résolus pour une meilleure gestion du réseau.
- **L'absence d'une infrastructure centralisée** : chaque nœud travaille dans un environnement pair à pair distribué, et agit en tant que routeur pour relayer des communications, ou génère ses propres données. La gestion du réseau est ainsi distribuée sur l'ensemble des éléments du réseau.

#### I.4.4 Domaines d'application des réseaux ad hoc

Les premières applications des réseaux ad hoc concernaient les communications et les opérations dans le domaine militaire. Cependant, avec l'avancement des recherches dans le domaine des réseaux et l'émergence des technologies sans fil (ex : Bluetooth, IEEE 802.11 et Hiperlan) d'autres applications civiles sont apparues. On distingue :

- Les services d'urgence : opération de recherche et de secours des personnes, tremblement de terre, feux, inondation, dans le but de remplacer l'infrastructure filaire,
- Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence par exemple,
- Home network : partage d'applications et communications des équipements mobiles,
- Applications commerciales : pour un paiement électronique distant (taxi) ou pour l'accès mobile à l'Internet, ou service de guide en fonction de la position de l'utilisateur,

- Réseaux de capteurs : pour des applications environnementales (climat, activité de la terre, suivi des mouvements des animaux, ...etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance),
- Réseaux en mouvement : informatique embarquée et véhicules communicants,
- Réseaux Mesh : c'est une technologie émergente qui permet d'étendre la portée d'un réseau ou de le densifier.

En plus, dans un LAN, un réseau ad hoc fournit une solution pour étendre une couverture sans fil avec un moindre coût. Dans un WAN (ex : UMTS), il permet d'accroître la capacité globale du réseau sans fil. En fait, plus de bande passante agrégée peut être obtenue en réduisant la taille des cellules et en créant des pico-cellules. Afin de supporter une telle architecture, les opérateurs disposent de deux options : déployer plus de stations de base (une station de base par cellule), ou utiliser un réseau ad hoc pour atteindre la station de base. La deuxième solution est clairement plus flexible et moins coûteuse.

#### **I.4.5 Le routage dans les réseaux ad hoc**

Une des grandes problématiques des réseaux ad hoc est la mise en place de politiques de routage. Dans un réseau ad hoc, il est fréquent que deux mobiles désirant communiquer soient hors de portée l'un de l'autre. Afin de permettre ces communications, les mobiles d'un réseau ad hoc doivent être capables d'acheminer les informations vers leur destinataire, relayé par des mobiles intermédiaires, c'est à dire d'effectuer un routage des données. Les protocoles de routage dans les réseaux ad hoc sont généralement classés en quatre grandes catégories :

- 1. Les protocoles de routage proactifs :** Ces protocoles maintiennent à jour une table de routage, de sorte que lorsqu'une application désire envoyer des données, la route est immédiatement connue. Les routes sont sauvegardées même si elles ne sont pas utilisées. Ces protocoles ont l'avantage de la disponibilité immédiate des routes vers tous les nœuds du réseau et ainsi le gain du temps lors d'une demande de route. Au niveau de la table de routage, chaque nœud stocke pour chaque destination, l'identité du mobile à contacter. La mise à jour de cette table de routage nécessite l'échange régulier de messages de contrôle, consommant une part non négligeable des ressources radio même en l'absence de trafic. L'inconvénient des protocoles proactifs réside dans le coût du maintien des informations de topologie et de routage même en absence de trafic de données ce qui implique une consommation continue de la bande passante. De plus, la taille des tables de routage croît

linéairement en fonction du nombre de nœud. Nous citons *OLSR* [40] et *DSDV* [41] comme exemples d'algorithmes proactifs.

2. **Les protocoles de routage réactifs** (dits aussi: protocoles de routage à la demande), créent et maintiennent les routes selon les besoins. La procédure de découverte de route n'est enclenchée que lorsqu'un nœud souhaite envoyer des paquets vers un destinataire pour lequel aucune route n'est connue. Une demande de route explicite vers ce destinataire est alors propagée à travers le réseau. Cette inondation surcharge localement le réseau puisque tous les nœuds atteints doivent répéter la requête. Si le réseau est mobile, le processus de reconstruction de route engendre de nouvelles inondations. En conséquence, le délai des paquets peut augmenter très rapidement. Le principal avantage est de ne générer du trafic que si nécessaire mais cela implique une inondation du réseau coûteuse en ressources. Le protocole *AODV* [42] fait partie de la famille des protocoles de routage réactifs.
3. **Les protocoles de routage hybrides** : Dans ce type de protocole, on peut garder la connaissance locale de la topologie jusqu'à un nombre prédéfini- à priori petit- de sauts par un échange périodique de trame de contrôle, autrement dit par une technique proactive. Les routes vers des nœuds plus lointains sont obtenues par schéma réactif, c'est-à-dire par l'utilisation de paquets de requête en diffusion. Ces protocoles combinent les avantages des approches précédentes en utilisant la notion de découpe du réseau en plusieurs zones, où la recherche de route en mode réactif est améliorée. *ZRP* [44] est le protocole hybride le plus connu.
4. **Les protocoles de routage géographiques** se basent sur des informations concernant la position des mobiles afin d'améliorer le processus de routage. Un système de localisation est donc mis en place afin de connaître à un instant donné la position des mobiles. Le GPS est actuellement le système de localisation le plus utilisé même si d'autres algorithmes proposent de calculer la position des mobiles à l'aide d'autres paramètres comme par exemple la puissance du signal. Un exemple de protocole géographique est le protocole *LAR* (Location-Aided Routing) [43].

Les protocoles cités sont sans QoS. Pour certaines applications telles que les applications multimédia et d'autres, ces protocoles ne sont pas toujours en mesure d'assurer les contraintes exigées par ces applications. Il est alors nécessaire de mettre en place la QoS pour satisfaire ce type d'application.

## **I.5 Conclusion**

Ce chapitre a été axé sur le concept des environnements ad hoc et l'utilisation de la technologie de communication sans fil. L'évolution rapide qu'a connue la technologie sans fil récemment, a facilité la mise en œuvre d'applications mobiles et ne supportant pas d'infrastructure préexistante (telles que les applications militaires) et a permis l'apparition de nouveaux systèmes de communication qui offrent plus d'avantages par rapport aux systèmes classiques. Les nouveaux systèmes n'astreignent plus l'utilisateur à une localisation fixe, mais lui permet une libre mobilité. Un réseau ad hoc doit pouvoir être déployé à la demande, fonctionner sans infrastructure de communication préexistante et bien sûr tolérer la mobilité. Il doit aussi garantir des échanges fiables et de qualité pour certaines applications critiques. La compréhension parfaite de la communication utilisée dans le nouvel environnement, nécessite la compréhension des notions de base de la technologie sans fil comme l'utilisation des ondes radio, la notion de bande passante, etc. Le but de ce chapitre a été de donner un aperçu général sur cette technologie notamment les mécanismes d'accès qu'elle propose.



***II. CHAPITRE 2 : Qualité de service (QoS)  
dans les réseaux ad hoc***

## II.1 Introduction

Le déploiement des réseaux locaux sans fil a fait naître de nouveaux types d'application. Ceci a permis d'améliorer les échanges de données entre les différentes stations du réseau. Ainsi, les exigences du trafic liées à la nature variable du flux multimédia ont rapidement fait sentir le besoin en matière de débit. La diversité de l'information transmise a motivé l'apparition de nouveaux mécanismes afin d'apporter davantage de robustesse dans le fonctionnement du réseau. Ces exigences ont été regroupées sous le concept de Qualité de Service (QoS). Au niveau architecture ce concept est variable pour chaque couche du réseau. La QoS est traitée différemment en fonction du niveau de l'information (message, paquet, trame, bit).

La QoS a été largement étudié dans les réseaux filaires pour lesquels divers mécanismes ont été intégrés à différents niveaux du réseau. L'adaptation de ces mécanismes aux réseaux ad hoc n'est pas triviale, c'est la raison pour laquelle ce domaine de recherche a beaucoup été investi par la communauté scientifique. La suite de ce chapitre est consacré à l'étude de la QoS dans les réseaux sans fil notamment les réseaux ad hoc.

## II.2 Notion de QoS

L'objectif de la qualité de service, dans les réseaux de télécommunication, est d'atteindre un comportement optimal de la communication, pour que les échanges au sein du réseau soient correctement acheminés, et les ressources utilisées d'une façon optimale.

La qualité de service QoS (Quality of Service) peut être définie comme le degré de satisfaction d'un utilisateur des services fournis par un système de communication. La QoS est définie dans [46] comme la capacité d'un élément du réseau (ex : routeur, nœud ou une application) de fournir un niveau de garantie pour un acheminement des données.

Dans le RFC 2384 [CRA RF], la QoS est caractérisée par un ensemble de besoins à assurer par le réseau pour le transport d'un trafic d'une source vers une destination. Ces besoins peuvent être traduits par un ensemble de métriques mesurables en termes de :

**Bande passante :** La bande passante ou débit (en anglais bandwidth) définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps que le réseau est capable de transmettre.

**Délai :** il s'agit du délai de bout en bout nécessaire pour acheminer un paquet d'une source à une destination. Ce délai est aussi appelé latence et n'est pas souvent symétrique dans les réseaux mobiles *ad hoc*, car les liens radio ne sont pas forcément des liens symétriques.

**Gigue :** La gigue est la variation de latence entre les différents paquets.

**Perte :** La perte correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.

Les besoins en qualité de service diffèrent selon le type de l'application [48]. Le tableau II.1 représente un ensemble d'applications réseaux typiques et leurs besoins, en termes de qualité de service, classées en trois degrés : faible, moyen et fort. On constate d'après ce tableau que les applications temps réel interactives tel que la téléphonie sur IP et la vidéoconférence ont de fortes exigences en termes de délai et de gigue. Le taux de perte s'ajoute aux deux métriques précédentes dans le cas des applications des jeux en réseaux par exemple.

Applications	Délai	Gigue	Bande passante	Taux de perte
Courrier électronique	Faible	Faible	Faible	Fort
Transfert de fichier	Faible	Faible	Moyen	Fort
Accès distant	Moyen	Moyen	Faible	Fort
Flux audio	Faible	Fort	Moyen	Faible
Flux vidéo	Faible	Fort	Fort	Faible
Voix sur IP	Fort	Fort	Faible	Faible
Vidéo Conférence	Fort	Fort	Fort	Faible
Jeux en réseau	Fort	Fort	Faible	Moyen

**Tableau II.1.** Exigences typiques des applications réseaux

Le support de la qualité de service a été largement étudié dans les réseaux filaires. Les réseaux ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) considèrent un plan de contrôle de la QoS pour les trafics en définissant plusieurs classes. Des solutions ont été proposées par l'IETF pour améliorer le réseau Internet afin de fournir la QoS aux communications multimédia. En outre, différents mécanismes ont été fournis pour gérer, de façon efficace, les ressources du réseau (bande, passante, buffer) afin de répondre aux exigences des applications. De nos jours, l'émergence des applications multimédia temps réel, a fait que la qualité de service, dans les réseaux mobiles *ad hoc*, devienne un thème de recherche qui suscite l'intérêt de nombreux scientifiques. De multiples travaux pour l'introduction des applications multimédia dans les réseaux *ad hoc* ont été proposés.

Cependant, garantir une quelconque qualité de service à une application temps réel dans un réseau *ad hoc* doit prendre en considération les spécificités de ces réseaux, à savoir : la bande passante limitée, le changement dynamique de la topologie en fonction du temps, le médium de communication, ainsi que le manque d'informations complètes sur l'état du réseau.

Les sections suivantes de ce chapitre sont consacrées à l'étude de la QoS dans les réseaux sans fil avec un détail particulier de la QoS dans les réseaux 802.11, objet de notre étude.

### **II.3 La qualité de service dans les réseaux sans fil**

Les évolutions dans le domaine des communications sans fils et les techniques multimédia ont conduit à un développement considérable d'une nouvelle génération de services multimédia sans fils. Avec le nombre croissant de ces applications et le nombre important de technologies d'accès (IEEE 802.11, Bluetooth, GSM, UMTS, WiMax, UWB, satellites,...), de nouveaux défis sont à remporter quant à la gestion de la qualité de service dans les réseaux sans fils. Actuellement, de nouveaux environnements logiciels permettent à des applications utilisateurs d'accéder aisément à plusieurs services variés à travers un ou plusieurs réseaux d'accès souvent sans fil. Les protocoles et les mécanismes de la qualité de service utilisés dans les environnements filaires ne peuvent pas être appliqués dans les environnements sans fils. Ceci est dû aux caractéristiques des réseaux sans fils. Dans la suite de cette section, nous présentons brièvement les solutions de qualité de service associées aux technologies sans fil Bluetooth, Zigbee et HiperLAN. La technologie IEEE 802.11, objet de notre étude, sera abordée d'une façon plus détaillée dans la suite du chapitre.

#### **II.3.1 Bluetooth**

La technologie Bluetooth a été développée à l'origine par Ericsson (entreprise suédoise de télécommunications). Elle fait actuellement l'objet d'une spécification maintenue et développée par le groupe SIG (Special Interest Group) de Bluetooth. L'objectif de cette technologie est de permettre des communications sans fils sur de courtes distances entre plusieurs appareils avec une faible consommation d'énergie. On parle alors de réseaux locaux sans fils WPAN (Wireless Personal Access Network). Cette technologie a été normalisée par l'IEEE sous la référence IEEE 802.15.1. Les applications de cette technologie vont du marché de la téléphonie mobile aux terminaux de paiement par carte bancaire et porte monnaie électronique, en passant par les équipements informatiques. La technologie Bluetooth utilise

une des bandes de fréquence ISM 1 2,4-2,4683 GHz qui présente l'avantage d'être libre au niveau mondial. La version 1.0 offre un débit maximal de 1 Mbps pour une couverture de l'ordre d'une dizaine de mètres. La version 1.2 offre un débit maximal de 2 à 3 Mbps et la version 2.0 permet d'atteindre les débits de 4,6 et 12 Mbps. Pour commencer une communication, un groupe d'équipements doit former une cellule appelée piconet. Une telle cellule comporte un maître et sept esclaves au plus. Plusieurs piconet peuvent se chevaucher pour former un scatternet. Le maître est responsable d'initier la connexion mais aussi de contrôler le trafic des autres esclaves. Il établit sa propre horloge et l'impose aux autres équipements. Deux types de liens sont possibles : les liens asynchrones sans connexion (Asynchronous Connection Less) et les liens synchrones orientés connexion (Synchronous Connection Oriented). Ces derniers offrent un support de qualité de service permettant des services synchrones et symétriques en mode circuit. Il est bien adapté aux communications temps réel telles que la voix. Avec la version 1.1, le débit utilisateur maximal qui peut être atteint sur un lien asynchrone est de 723,2 Kbps. Dans ce cas un lien de retour de 57,6 Kbps peut encore être supporté. Des débits symétriques compris entre 108 et 433 Kbps sont possibles. Le lien synchrone supporte un lien full-duplex avec un débit utilisateur de 64 Kbps dans chaque direction [62]. Les débits réellement obtenus sont inférieurs à ceux théoriquement annoncés.

Dans l'architecture générale de la norme Bluetooth, le protocole de la couche liaison de données L2CAP contrôle les ressources nécessaires pour offrir une qualité de service donnée. Le processus d'établissement d'une connexion L2CAP permet la négociation des paramètres qui influencent la qualité et la fiabilité d'un lien reliant deux unités Bluetooth. Un champ options est réservé à cet usage au niveau des paquets configuration request et configuration response. La spécification du flux comprend les paramètres : type de service, débit de jetons (Octets/seconde), taille du seau de jetons (octets), bande passante maximale (octets/seconde), latence (microsecondes) et variation du délai (microsecondes).

### **II.3.2 ZigBee**

L'objectif de cette technologie, dont l'idée initiale a commencé en 1998, est d'élaborer une solution simple de communication sans fils à faible débit procurant une autonomie d'énergie de plusieurs mois voire de plusieurs années. Cette technologie est définie par la norme IEEE 802.15.4 au niveau des couches physique et MAC. Au dessus de la couche LLC, la ZigBee Alliance ([www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)) travaille à des spécifications pouvant opérer sur des implémentations 802.15.4 et couvrant les couches réseau, sécurité et application (Stallings,

2005). Les deux couches physiques de type DSSS spécifiées par la norme sont définies dans les bandes 848MHz/895 MHz et la bande de 2.4 GHz permettant des débits respectivement de 20 à 40 Kbps et de 250 Kbps. Les marchés d'utilisation de cette technologie couvrent la domotique, la gestion intégrée et centralisée dans le secteur immobilier, la gestion de l'énergie. Cette technologie est de plus en plus utilisée dans le secteur industriel pour améliorer la fiabilité des systèmes de contrôle de processus industriels, la création de réseaux de supervision pour l'amélioration de la sécurité, l'acquisition automatique des données à partir des capteurs pour réduire et/ou faciliter l'intervention humaine. En effet, elle participe grandement à l'essor du marché des réseaux de capteurs sans fils.

ZigBee propose trois topologies possibles : point à point, où la communication est directe entre deux nœuds, en étoile, où toutes les communications passent par un point central ou coordinateur, et maillée, où il est possible de combiner des topologies en étoile et point à point. Deux méthodes d'accès au canal sont utilisées. Un mode sans coordination, aléatoire basé sur le protocole CSMA/CA sans échange de paquets RTS/CTS et un mode avec coordination. Le mode avec coordination est destiné à supporter la qualité de service nécessaire aux applications temps réel. Ce mode est utilisé uniquement dans les topologies en étoile. Le coordinateur envoie périodiquement des trames balises. Le temps qui s'écoule entre deux trames balises est une supertrame. Dans chaque supertrame, il y a une période d'inactivité au cours de laquelle les nœuds ne peuvent ni émettre ni recevoir. La période d'activité d'une supertrame est partagée en 16 slots de temps. La trame balise, envoyée au cours du premier slot, permet d'annoncer le début de la supertrame et d'indiquer si oui ou non des données sont destinées à l'ensemble des nœuds en attente.

La première partie de la période active est une période avec contention où les nœuds utilisent CSMA/CA pour accéder au médium. La deuxième partie est sans contention. Le coordinateur, suite à la demande d'un nœud, peut lui attribuer un ou plusieurs slots GTS (Guaranteed Time Slots) de la période sans contention. Ce mécanisme permet aux nœuds de réserver de la bande passante en fonction de leurs besoins. Cependant, les demandes doivent parvenir au point coordinateur pour être prises en compte, ce qui fait la faiblesse de cette méthode. Si des collisions ont lieu, un nœud est ramené à envoyer plusieurs demandes de GTS avant d'avoir la réservation souhaitée.

### **II.3.3 HiperLAN (High Performance Local area Network)**

L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) a développé deux normes de réseaux locaux sans fils : HiperLAN type 1 et HiperLAN type 2 respectivement en 1996 et

2000. L'objectif était de créer des environnements flexibles de communications à hauts débits permettant des communications point à point. De nos jours, il n'y a pas de produits industriels sur le marché conformes à ces normes. La norme HiperLAN type 1 utilise la bande radio de 5,15-5,30 GHz. Elle offre un débit de communication de 23,5 Mbps pour une portée moyenne d'environ 50m. HiperLAN 1 définit des fonctions d'accès multiple, de routage et de gestion du trafic multimédia. Pour l'accès au médium, HiperLAN1 utilise la technique EY-NPMA (Elimination Yield-Non Preemptive Multiple Access). Cette technique effectue entre autres une gestion de priorité pour assurer la qualité de service requise par les applications. Elle est un mélange de la technique de détection de porteuse CSMA et du signalement actif. Cette technique peut être résumée en 3 étapes :

- une étape de signalement de priorité : permet d'obtenir des performances d'accès hiérarchiquement indépendantes entre les différentes classes de priorité. Elle consiste à envoyer un signal court ne comportant pas de données, appelé burst de signalement. La position du burst dépend du niveau de priorité. Le standard propose cinq positions pour l'envoi de ce burst. La position d'indice 0 est affectée à la priorité la plus haute. La position d'indice 0 est donc la plus proche de la fin de la transmission précédente. Les stations à priorité plus faibles peuvent se rendre compte de l'existence de trafics à plus hautes priorités et s'abstiennent d'émettre.
- une étape d'élimination : cette étape permet de résoudre la contention au canal entre des trafics de même priorité. Suite à la transmission du slot de priorité, les stations continuent leurs transmissions pour une durée aléatoire puis écoutent le canal. S'il est toujours occupé, la ou les stations doivent retarder leurs transmissions. Si le canal est libre, la station peut entrer dans l'étape suivante.
- une étape d'écoute avant transmission : une station en compétition pour l'accès au canal doit encore attendre un intervalle de temps aléatoire avant la transmission effective de son paquet. Durant cet intervalle, si la station détecte une porteuse, elle abandonne la transmission du paquet.

La norme HiperLAN1 propose une solution de support de qualité de service pour les applications multimédia à fortes contraintes temporelles. Une application voulant accéder au réseau doit fournir deux paramètres définissant ses besoins en termes de qualité de service : la durée de vie résiduelle du paquet à émettre (le temps restant à ce paquet pour être délivré par le réseau) et la priorité utilisateur. La gestion du trafic multimédia de HiperLAN consiste à effectuer dans l'ordre les opérations suivantes [74]:

- mise à jour de la durée de vie résiduelle des paquets en attente. Un paquet dont le temps résiduel passe à 0 est éliminé.
- calcul de la priorité d'accès MAC pour les paquets en attente dans un nœud HiperLAN: cette priorité dépend de la priorité utilisateur du paquet en question (les deux valeurs 0 et 1 sont possibles avec 0, la priorité la plus élevée) et du temps résiduel normalisé (temps résiduel du paquet divisé par le nombre de sauts nécessaires pour atteindre la destination). Avec la priorité utilisateur 0, un paquet obtient un niveau supérieur de priorité d'accès MAC à niveau équivalent de temps résiduel normalisé.
- sélection du paquet devant être transmis vers la couche physique : le paquet à envoyer est celui avec le plus petit temps résiduel normalisé parmi ceux qui ont la plus grande priorité utilisateur.

Le système de gestion de trafic multimédia d'HiperLAN 1 permet aussi de gérer des contraintes temps réel dans le cas de réseaux ad hoc multi-sauts [74].

## **II.4 La qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11**

### **II.4.1 Problématique de la qualité de service dans les réseaux IEEE 802.11**

Le développement du réseau Internet et le grand nombre d'utilisateurs connectés à ce réseau imposent le recours à des supports de qualité de service. Dans cette perspective, plusieurs groupes de travail ont vu le jour pour les réseaux filaires. Les nouveaux besoins en termes de mobilité des utilisateurs et la croissance des réseaux permettant le nomadisme des utilisateurs ont fait migrer le problème vers la boucle locale sans fils, entre autres les réseaux IEEE 802.11. Les fournisseurs d'accès à Internet commencent à mettre en place un large nombre de hotspots 802.11 ou Wi-Fi dans les divers lieux publics [54]. Des applications multimédia telles que la voix sur IP ou la vidéo sur demande en plus des applications classiques seront de plus en plus utilisées dans ce type de réseaux. Ces applications multimédia nécessitent un niveau minimal de qualité de service en termes de bande passante, de délai, de gigue ou de taux de perte. D'autres types d'applications avec des contraintes plus aiguës en termes de QoS commencent à émerger. Des applications du standard 802.11 en milieu industriel pour la commande et la supervision des systèmes ou en milieu médical pour la télémédecine [55] imposent des exigences strictes en termes de QoS (délais + taux d'erreurs).



La réponse à ces besoins accrus en QoS dans les hotspots 802.11 est d'autant plus difficile à cause des caractéristiques spécifiques du médium sans fils. En effet, pour la couche physique DSSS permettant un débit au-delà de 11 Mbps, parmi 11 canaux possibles, seulement 3 ne se chevauchent pas. Ce médium présente alors un taux de perte assez élevé à cause des interférences. En plus, les caractéristiques du support physique ne sont pas constantes et varient dans le temps et dans l'espace [56]. Quand les utilisateurs bougent, les chemins de bout en bout changent et les utilisateurs se réassocient chaque fois à des nouveaux APs. Ces utilisateurs doivent avoir la même QoS indépendamment de leurs associations et du chemin de bout en bout du trafic.

Plusieurs travaux de recherche ont essayé d'évaluer les performances du standard 802.11 quant à sa capacité de répondre aux besoins en termes de QoS des utilisateurs. Ces travaux ont investigué essentiellement les possibilités offertes par la sous couche MAC du standard pour garantir un niveau minimal de QoS pour les utilisateurs. Dans le même objectif, d'autres travaux ont adopté des modèles analytiques ou des approches par simulation. Plusieurs solutions ou approches pour l'amélioration du support de QoS par la couche MAC 802.11 ont été proposées.

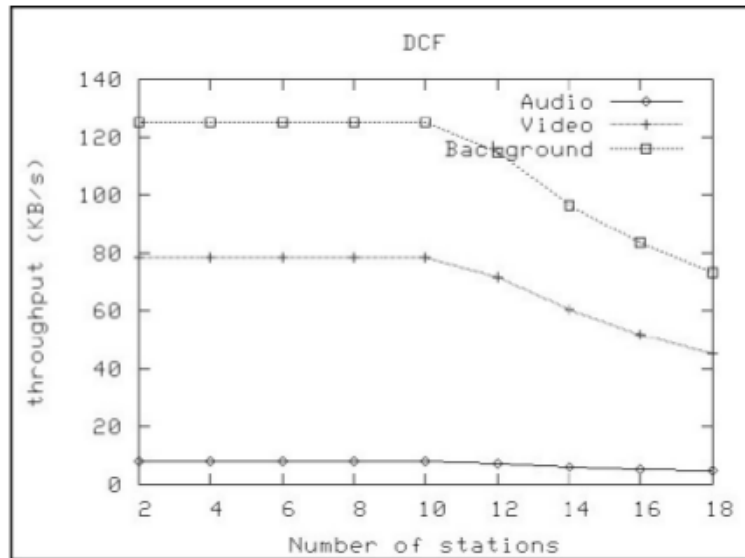
#### **II.4.2 Limites en termes de QoS du standard IEEE 802.11**

Le contrôle d'accès au médium, le maintien de la QoS et la sécurité sont les fonctions les plus importantes de la sous couche MAC 802.11. Cependant plusieurs limitations se présentent quant au support de la qualité de service.

##### **II.4.2.1 Limitations de la méthode d'accès de base DCF**

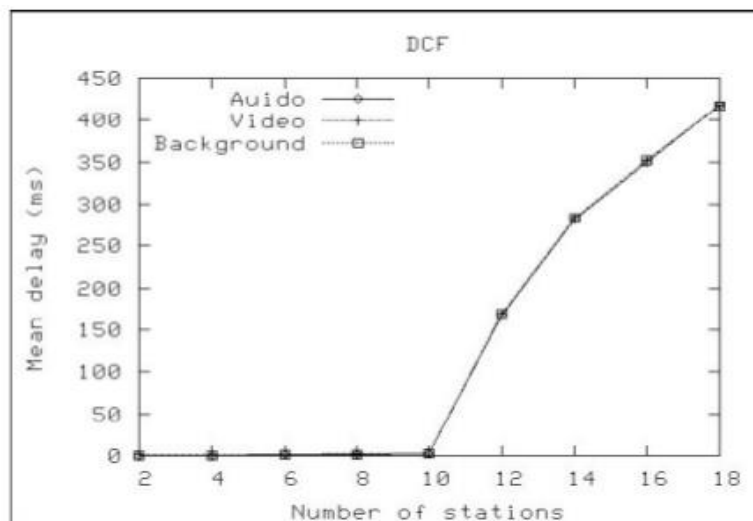
Le protocole CSMA/CA utilisé avec cette méthode permet un accès best-effort au canal. Les utilisateurs ne peuvent avoir aucune garantie de qualité de service minimale. Toutes les stations d'un même BSS concourent pour l'accès au canal et aux ressources du réseau avec les mêmes priorités. Aucun mécanisme de différenciation entre plusieurs types de flux n'est mis en place pour garantir la bande passante, le délai de bout en bout ou la gigue pour des trafics à hautes priorités tels que la voix sur IP ou la vidéo/visioconférence. Le taux des erreurs dues à la couche physique 802.11 est à peu près trois fois plus grand que celui observé dans les réseaux locaux filaires [57]. Le nombre important de collisions et de retransmissions implique des délais de transmission imprévisibles et une dégradation de la qualité de transmission des flux temps réel tels que pour la voix ou la vidéo. Plusieurs simulations ont été effectuées pour la mesure des performances de la méthode DCF. Les auteurs dans [56] ont utilisé ns-2 [58]

pour simuler une topologie de n stations (utilisant la couche physique 802.11a) fonctionnant en mode ad hoc. Ces stations qui sont fixes au cours des simulations génèrent trois types de trafics : audio, vidéo et un trafic de fond (Background traffic). La charge du réseau varie de 9,6% à 88 % en augmentant le nombre de stations de 2 à 18. La figure suivante présente les résultats de performance du mode DCF en termes de bande passante utilisée.



**Figure II-1.** Performances du mode DCF en termes de bande passante [56]

Quand le nombre de stations est supérieur à 10, la bande passante utilisée par les trois trafics décroît rapidement. La bande passante est aux alentours de 60% quand le réseau est chargé à 88%. Les performances du mode DCF en termes de délai moyen sont présentées par la figure II-2.



**Figure II-2.** Performances du mode DCF en termes de délais [56]

Cette figure montre que le délai atteint la valeur 420 ms et ce d'une façon égale pour l'ensemble des trafics. Ces simulations démontrent clairement qu'aucune classification ni en termes de bande passante ni en termes de délai n'est assurée pour les utilisateurs du réseau. Ils présentent approximativement les mêmes délais du moment qu'ils partagent tous la même file d'attente pour l'accès au médium.

Pour améliorer les performances de la méthode DCF, un nombre de paramètres d'accès pour la couche physique et la sous couche MAC 802.11 sont paramétrables [59]. Parmi ces paramètres, on peut citer :

- L'intervalle balise (Beacon Interval) : détermine la période d'envoi des trames balises. L'augmentation de ce paramètre permet d'améliorer la bande passante et l'autonomie des stations sans fils. Sa diminution permet aux stations de bouger rapidement tout en gardant la connectivité au réseau.
- le seuil RTS (RTS threshold) : en l'absence de nœuds cachés et d'interférences, son augmentation permet d'augmenter le maximum de bande passante disponible. En présence de nœuds cachés, on améliore la bande passante en le décrémentant.
- Le seuil de fragmentation (Fragmentation threshold) : la bande passante varie proportionnellement à ce paramètre uniquement quand il n'y pas d'erreurs de transmission sur le canal.
- Limite courtes et longues retransmissions (short/long retry limit) : C'est le nombre maximal de retransmissions permises pour les trames plus courtes/longues que le seuil RTS. L'incrémentant de ce paramètre permet de diminuer le taux de perte des trames. En revanche il y aura une itération de temps de backoff plus longue et donc moins de bande passante disponible. En diminuant ces paramètres, on minimise la taille des buffers tout en augmentant le taux de perte des trames.

Les auteurs ont montré dans [46] que la variation de l'ensemble de ces paramètres ne permet pas de différencier plusieurs types de flux. Il est donc nécessaire de recourir à des solutions additionnelles pour garantir la QoS nécessaire aux utilisateurs.

Les travaux effectués par les auteurs dans [61] ont permis de détecter un ensemble d'anomalies dans le fonctionnement de la méthode DCF. Des simulations effectuées sur un modèle analytique établi par les auteurs, consolidées par des mesures sur une plateforme réelle ont montré que la bande passante réellement disponible pour les utilisateurs sans fils est

inférieure au débit nominal de 11 Mbps (pour le 802.11b). Cette bande passante cumulée pour l'ensemble des stations est aux alentours de 6,5 Mbps [61] comme montré dans la figure II-3. Ces valeurs sont aussi confirmées par les tests montrés dans [62] sur des flux TCP et UDP avec un nombre de stations variable (la distance séparant deux stations est aussi variable).

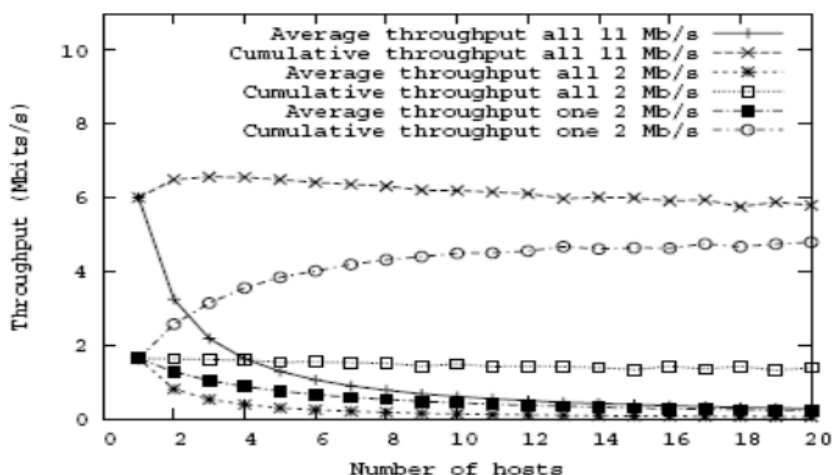


Figure II-3. Bande passante cumulée dans une cellule [61]

Ces simulations montrent aussi, que lorsqu'une station de la cellule fonctionne avec un faible débit théorique (2 Mbps), ceci affecte le débit de transmissions des autres stations fonctionnant à un débit théorique plus élevé.

La mobilité intra et intercellulaire peut également conduire à une dégradation de la performance globale du réseau. Quand les stations bougent à l'intérieur d'un même BSS ceci peut affecter le taux d'erreurs binaires et réduire ainsi les débits de transmission. En ce qui concerne la mobilité entre des BSS différents, ceci peut affecter l'acheminement des flux multimédia puisque le mode DCF n'offre aucun mécanisme pour l'accélération ou la prise en compte des handovers.

La présence de plusieurs points d'accès avec des zones de couverture communes conduit à une dégradation plus grave des performances du mode d'accès DCF [64]. Les résultats de simulation obtenus par les auteurs montrent clairement que la méthode d'accès DCF est loin d'être satisfaisante par exemple pour l'acheminement de la voix. Le taux de perte observé pour ce type de flux atteint 59,97%. DCF ne peut fournir aucun support de qualité de service.

#### **II.4.2.2 Limitations de la méthode d'accès PCF**

Spécialement conçue pour apporter un support de qualité de service en priorisant les applications temps réel par rapport aux autres, cette procédure d'accès avec scrutation souffre de plusieurs défaillances. Tout d'abord ce mode ne peut être utilisé qu'en alternance avec le mode d'accès DCF et ne peut jamais fonctionner à part entière. PCF présente tous les inconvénients d'une approche centralisée tel que l'effet d'une défaillance du point central. En plus, à faible charge, les stations voulant émettre en mode PCF subiront des délais très élevés.

Elles seront obligées d'attendre d'être scrutées avant d'émettre [63]. De plus, le coordinateur (généralement confondu avec le point d'accès) doit systématiquement accéder au canal sans fil lors de la période DCF afin de débiter la période PCF suivante. Dans certains cas, il peut être difficile de garantir l'établissement de ce mode d'une façon périodique. En effet, le point de coordination génère des trames balises à des intervalles réguliers. Ces trames indiquent le temps TBTT correspondant à l'instant d'émission de la prochaine trame balise. A l'instant TBTT, le point d'accès se prépare à émettre la trame balise mais doit attendre que le médium soit libre pendant une durée PIFS. Cette trame pourra effectivement être retardée à cause d'une activité sur le médium qui entraînera un retard dans la transmission des trames devant s'effectuer dans la période sans contention. Selon les textes du standard 802.11, les stations commencent à émettre leurs trames même si leur émission continuera après l'écoulement du TBTT. Un retard imprévisible peut donc être introduit dans chaque période sans contention CFP [161], c'est le problème d'écourtement.

Dans le mode PCF, il sera très difficile de répondre aux besoins d'un nombre important de trafics temps réel sans pénaliser les applications qui se dérouleront par la suite dans la période avec contention [46]. Un autre problème de ce mode est l'impossibilité de prévoir la durée de transmission des stations sollicitées. Une station sollicitée par le point coordinateur peut transmettre un MSDU de taille maximale 2304 octets. Cependant, le standard n'empêche pas sa fragmentation en plusieurs MPDU. Ceci, en plus des débits de transmission dépendant de l'état du canal physique, conduit à une durée de transmission d'un MSDU non contrôlée par le point coordinateur ce qui induira des délais supplémentaires pour le reste des stations en mode PCF [66]. Enfin le mode PCF est géré par un algorithme de scrutation Round-Robin à une seule classe. Il ne lui est donc pas possible de répondre aux besoins de QoS de plusieurs types de flux (voix, vidéo,...).

### **II.4.3 Apport de la norme 802.11e**

L'intégration de nouvelles techniques de traitement de signal combinées à des architectures multi antennes (MIMO) a permis d'atteindre des hauts débits de transmission. Ceci, a rendu possible l'intégration de nouvelles variétés d'applications entre autres des flux multimédias. Par conséquent, il est devenu nécessaire de gérer conjointement des flux classiques et des flux multimédias dans le même réseau sans fil (cas de plusieurs scénarios comme le réseau domestique par exemple). Toutefois, sans un mécanisme fiable de gestion des priorités au niveau MAC entre les flux, le haut débit, à lui seul, ne pourra pas répondre aux exigences de QoS de certaines applications temps réels (voix, audio et vidéo).

Pour répondre à ce besoin, un nouveau standard 802.11e a été développé. Il est compatible avec les versions précédentes puisque il maintient la même couche physique. Sa particularité se manifeste au niveau de la couche MAC où plusieurs files d'attente avec un ordre de priorité différent sont spécifiées. Ce nouveau mécanisme permet de différencier entre les flux et d'améliorer par conséquent le niveau de la QoS par rapport aux générations précédentes du standard.

La spécification du draft IEEE 802.11e [50] propose le support de la QoS dans les réseaux sans fil avec une nouvelle fonction de contrôle EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), considérée comme la nouvelle version de la fonction DCF, et une fonction de coordination hybride (HCF). EDCA introduit quatre catégories de trafics (TC). Les priorités sont contrôlées par les stations en modifiant le schéma d'accès de base (DCF). Plus flexible que la fonction DCF, HCF est utilisée par les points d'accès pendant la période d'accès contrôlée (CAP), qui peut commencer à n'importe quel moment durant 'la super frame'. Autrement dit, ça lui permet d'avoir accès au médium pour faire passer un trafic ayant des contraintes de QoS.

Le schéma suivant (figure II-4) montre la classification du trafic au niveau MAC pour le standard 802.11e [49].

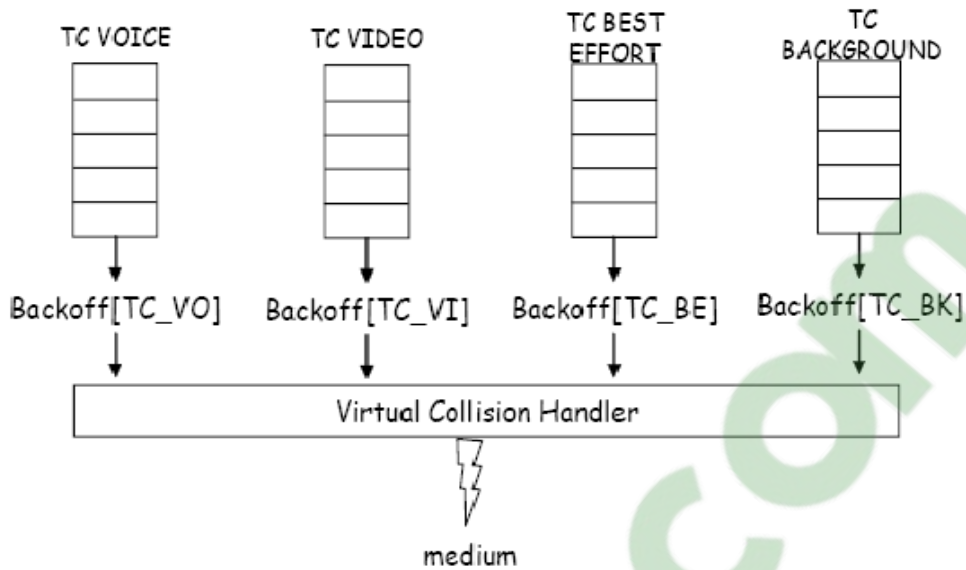


Figure II-4. Schéma des classes du trafic de la couche MAC du 802.11e

Les 4 files d'attente FIFO sont traitées par ordre croissant comme suit:

1. TC-VO : pour le trafic de type voix,
2. TC-VI : pour le trafic de type vidéo,
3. TC-BE : pour un trafic associé à une technique d'accès de type « Best Effort »,
4. TC-BK : pour un trafic de type «Background» (regroupe les signaux de contrôle)

Nous avons mentionné précédemment les limitations de la QoS dans 802.11 qui se résumant, en plus du fait que la méthode d'accès DCF ne supporte que le best effort, par l'absence de garantie de la bande passante, du délai et de la gigue au niveau DCF. Quant à la méthode d'accès PCF, celle-ci fournit un système de vote central inefficace et ne fait aucune différenciation de trafics, VoIP, Vidéo, Données. La norme 802.11e vient combler ces limitations en visant à donner des possibilités en matière de QoS au niveau de la couche liaison de données sur la base de nouvelles méthodes d'accès EDCF et EPCF. Le but est de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et délai de transmission et permettre aussi une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.

La méthode d'accès améliorée EDCF a l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et permet de régler des flux en fonction des classes de trafic. Cependant, elle repose sur le hasard (il peut arriver que certains paquets prioritaires soient retardés un peu trop longtemps). Aussi, cette méthode engendre le problème de famine (un message peu prioritaire peut être

émis avec beaucoup de retard s'il y a un trafic régulier et plus prioritaire sur le réseau) et peut faire perdre de l'efficacité au réseau. La méthode EPCF du 802.11e est plus flexible, mais est aussi la plus complexe : elle gère finement la QoS pour chaque classe de trafic. Les études ont montré un net avantage en faveur d'EPCF en raison de sa meilleure gestion des flux best effort.

## **II.5 Mécanismes de QoS dans les réseaux 802.11**

L'un des inconvénients de la couche MAC 802.11 est lié au fait que tous les paquets envoyés par les utilisateurs sont traités de la même façon, sans tenir compte de leurs exigences en qualité de service. Etant donné que les applications de voix et de vidéo ont des critères de qualité de service très sévères, et qu'elles doivent rivaliser avec les applications de transfert de données pour accéder au canal, des mécanismes ont été proposés dans le standard 802.11e, permettant de satisfaire dans la mesure du possible la qualité de service des applications de voix et de vidéo dans les réseaux sans fil 802.11.

Dans ces réseaux, les paquets sont délivrés avec le best-effort, puisque la norme ne définit aucune méthode pour donner de la QoS. Dans [46], les auteurs ont présenté plusieurs solutions, adaptées au mécanisme DCF, pour offrir une qualité de service relativement meilleure que le best-effort. Ces méthodes peuvent être classifiées en trois catégories.

### **II.5.1 Différenciation de services**

La différenciation de service définie dans la norme IEEE 802.11e, fonctionne de deux manières dans les WLANs. L'une consiste à accorder une priorité de service à certains flots de trafic en réduisant la taille maximale de la fenêtre de contention (CW), le temps de backoff et les espacements inter-trames IFS qui leur sont associés dans la couche MAC.

La deuxième approche consiste à partager la largeur de bande de façon équitable entre les applications en leur accordant des poids. Les flots provenant d'applications sensibles au délai reçoivent les poids les plus élevés. La valeur des poids est ensuite prise en compte dans le calcul des paramètres de contention associés à chaque application. Ainsi, le temps de backoff qui précède l'envoi d'un paquet appartenant à un flot prioritaire, donc de poids élevé, est plus petit que le temps calculé pour les flots non prioritaires, de poids plus faible. Il en est de même pour les temps IFS et la taille de la fenêtre de contention.

Bien que les spécifications du standard 802.11e permettent d'améliorer la qualité de service des applications les plus sensibles, les effets de l'overhead ne sont pas pour autant résolus et réduisent toujours la performance du réseau.



### II.5.2 Contrôle d'admission et réservation de bande passante

Le contrôle d'admission et la réservation de bande passante sont deux méthodes qui permettent de garantir la qualité de service du trafic qui sera admis dans le réseau. En effet, le contrôle d'admission permet de déterminer s'il est possible de transmettre un nouveau flot d'information sans dégrader la qualité de service exigée par les flots en cours de transmission. Il est donc nécessaire de connaître la largeur de bande totale disponible et celle qui a déjà été réservée par les applications. Cependant, la variabilité du canal sans fil et sa nature partagée ne permettent pas de connaître avec précision la bande passante disponible. Cette situation rend particulièrement difficile le contrôle d'admission et la réservation de bande passante dans les réseaux sans fil. Deux approches ont tout de même été proposées pour faire du contrôle d'admission dans le 802.11. La première consiste à estimer les conditions du canal en mesurant le délai et le débit moyen tandis que la deuxième calcule un coefficient de saturation à partir d'informations telles que le nombre de stations actives, leur débit de transmission, la longueur des paquets à transmettre [47]. La valeur de ce coefficient ou les conditions du canal indique si un nouveau flot peut être accepté dans le réseau.

### II.5.3 Adaptation de lien

Utilisée dans la couche PHY, l'adaptation de lien est une méthode qui permet de varier le taux de transmission des paquets en fonction des conditions du canal. Les différents taux de transmission sont obtenus en combinant différentes techniques de modulation et de codage. La plupart de ces algorithmes sont basés sur une ou des combinaisons des métriques suivantes : le rapport signal sur bruit (SNR), le taux d'erreur par paquet, le nombre d'ACK reçus [46].

### II.6 Qualité de service et réseaux ad hoc

Les mécanismes classiques de qualité de service dans les réseaux filaires sont totalement ou partiellement inadaptés dans un environnement ad hoc. En effet, la plupart des ces méthodes reposent sur la connaissance d'informations précises quant à l'état du réseau (la bande passante utilisée, le délai, la gigue de phase, etc.). Dans un contexte sans fil, ces informations sont difficiles à évaluer notamment à cause des phénomènes propres aux transmissions sans fil (versatilité du lien radio, interférences, atténuation du signal, etc.) et peuvent être amenées à varier très rapidement, en fonction de la mobilité.

Un état de l'art sur la QoS dans les réseaux ad hoc, a été proposé dans [51], classifiant les solutions de QoS en quatre grandes catégories :

- Les modèles de QoS définissent des architectures globales dans lesquelles des garanties peuvent être fournies.
- Les protocoles d'accès au médium cherchent à ajouter des fonctionnalités aux couches basses du modèle OSI afin de pouvoir offrir des garanties.
- Les protocoles de routage avec qualité de service recherchent les routes ayant suffisamment de ressources disponibles pour satisfaire une requête.
- Les protocoles de signalisation cherchent à offrir des mécanismes de réservation de ressources indépendants du protocole de routage sous-jacent.

Cette classification très souvent utilisée permet d'identifier les différentes briques à mettre en œuvre pour assurer une certaine qualité de service. Dans [53], les auteurs proposent une classification différente : ils distinguent les approches de qualité de service statistique des approches avec garanties quantitatives. Dans les approches de qualité de service statistiques, l'idée est d'offrir plus de ressources aux trafics prioritaires comparés aux trafics moins prioritaires, sans néanmoins assurer de garanties quantitatives. La norme IEEE 802.11e [52] fait partie de cette approche. Dans un contexte ad hoc, l'ordre des priorités reste néanmoins difficile à respecter de part la difficulté de reporter des politiques locales de voisinage en voisinage. Pour des applications strictes comme la diffusion de vidéo, les approches avec garanties quantitatives semblent être plus appropriées.

Parmi les approches avec garanties quantitatives, les auteurs de [52] distinguent les approches à posteriori des approches à priori. Les approches à posteriori peuvent être basées sur n'importe quel protocole de routage et ne cherchent qu'à réguler l'environnement afin d'offrir des garanties aux applications le nécessitant. A l'opposé, les approches à priori vont se baser sur un routage avec qualité de service. Le principe du routage avec qualité de service est de rechercher un chemin entre deux nœuds satisfaisant certaines contraintes. Plusieurs métriques peuvent être utilisées telles que le délai, la bande passante, la gigue ou encore le taux de perte.

## **II.7 Conclusion**

Les réseaux sans fil sont en plein essor, en offrant des services équivalents aux réseaux filaires avec plus de mobilité. Cependant, l'inconvénient principal des réseaux locaux sans fil est lié au type et à l'utilisation du canal de communication. De capacité limitée, il doit être partagé entre les stations mobiles de façon équitable, ce qui engendre une dégradation des performances surtout dans le cas des flux multimédia à taux binaire variable.

L'étude du fonctionnement de la couche MAC nous a permis de mettre en évidence la nécessité de respecter les besoins de qualité de service lorsque plusieurs applications convergent sur un même canal sans fil. Si les méthodes présentées dans ce chapitre permettent d'offrir de la qualité de service dans les réseaux 802.11, elles ne donnent cependant aucune garantie de qualité de service. Elles permettent seulement à chaque station d'offrir différents traitements aux applications.

Dans ce chapitre nous avons défini la problématique de la qualité de service dans les réseaux et en particulier dans les réseaux sans fil. Nous avons ensuite présenté les problématiques de la qualité de service liées aux différentes méthodes d'accès de la couche MAC du standard 802.11.

***III. CHAPITRE 3 Les améliorations de la QoS dans les réseaux 802.11***

### **III.1 Introduction**

La gestion de la QoS dans les réseaux IEEE 802.11 a donné lieu à plusieurs travaux menés conjointement par l'industrie et les universitaires. Cet engouement pour la QoS dans les réseaux 802.11 est le résultat du besoin pressant formulé par les opérateurs réseau afin de proposer des services multimédia dans les réseaux locaux sans fil. Ces travaux concernent plus particulièrement les mécanismes d'accès au canal (MAC).

### **III.2 Différenciation de service au niveau MAC**

La méthode d'accès de base DCF (Distributed Coordination Function) dans les réseaux locaux sans fil du standard IEEE 802.11 est incapable d'assurer la performance demandée aux applications voix/vidéo. En effet, DCF a été initialement conçue pour les services best effort. Ainsi l'amendement 802.11e a été conçu avec le but d'introduire le support de la QoS dans ce type de réseau. Ce dernier a réussi à introduire la différenciation de service via la nouvelle méthode d'accès EDCA (Enhanced Distributed Coordination Function), en mode décentralisé et HCCA (Hybrid Controlled Channel Access) en mode centralisé. Cependant, il ne permet pas de fournir les garanties de QoS aux applications ayant des contraintes strictes de QoS. Ceci apparaît plus particulièrement dans le cas où le réseau est complètement saturé. De ce fait, la maîtrise de la QoS dans 802.11e ne peut être assurée que par un mécanisme de contrôle d'admission efficace qui empêche le réseau d'atteindre un état de saturation importante et par la même, garantit les besoins de QoS des applications voix/vidéo.

La différenciation de service consiste à définir des priorités entre plusieurs flux en accordant à chaque classe de flux un comportement différent. Cette différenciation permet ainsi aux flux prioritaires d'être servis en premier. Le standard de communication IEEE 802.11 des réseaux locaux sans fil couvre la couche Physique (PHY) et la sous-couche MAC. Comme cette dernière n'intègre pas la notion de priorité dans sa version originale, les paquets sont alors délivrés avec le mécanisme du meilleur effort (best-effort). Il est alors impossible de différencier les flux.

Pour concevoir des mécanismes de différenciation de services efficaces, les auteurs dans [78] ont proposé de doter le protocole IEEE 802.11 d'un mécanisme de priorités entre les trames. Pour ce faire, ils ont adapté certains paramètres de la fonction de coordination distribuée (DCF) du protocole selon la priorité des paquets. Cette adaptation peut se faire dynamiquement afin d'offrir un mécanisme réactif de priorité au protocole 802.11 :

- Lorsqu'une collision survient, les délais avant retransmission sont allongés aléatoirement. Il est possible d'incrémenter différemment ces délais en fonction du niveau de priorité.
- Selon le niveau de priorité d'une transmission, il est possible d'utiliser différentes valeurs du délai de silence avant transmission.
- Une autre possibilité est de limiter la longueur des trames selon le niveau de priorité. Les trames moins prioritaires occuperaient le canal moins longtemps.

Bien que ces solutions semblent performantes pour offrir une QoS meilleure que le best-effort, elles présentent toutefois l'inconvénient d'être basées sur un contrôle centralisé alors que dans les réseaux sans fil multi-sauts, un contrôle distribué est indispensable. Le protocole MACA/PR (Multiple Access Collision Avoidance with Piggyback Reservation) [79] propose de fournir des garanties de bande passante pour les applications temps réel via une réservation. Il utilise un dialogue RTS/CTS avec acquittement et différencie la politique d'accès au médium selon la nature des flux. Les paquets des flux non privilégiés sont traités de façon standard.

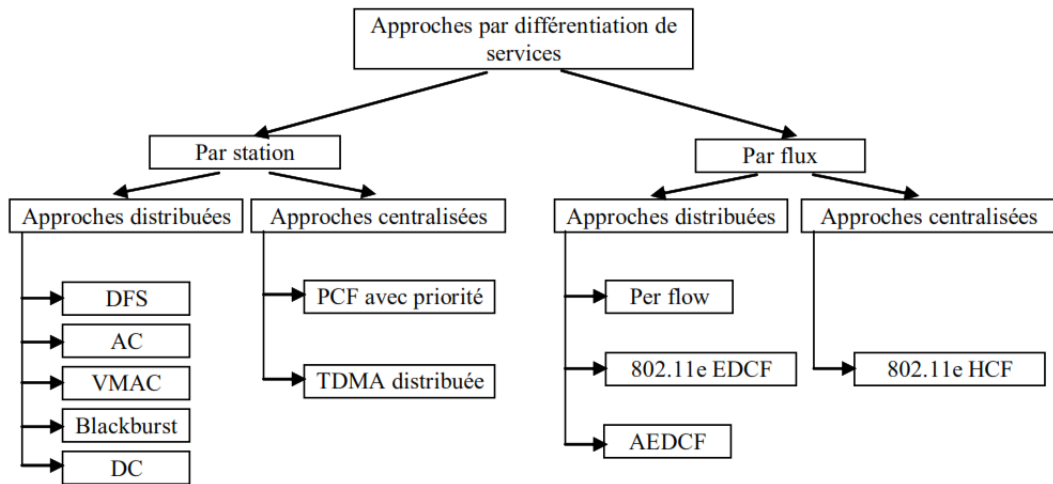
Les paragraphes suivants donnent les différents mécanismes de différenciation de service proposés pour le standard IEEE 802.11.

### **III.3 Approches par différenciation de service**

L'amélioration de la qualité de service est assurée en intégrant une différenciation de services (bande passante, délai, gigue) au niveau de la couche MAC. Pour chaque station ou flux, on modifie les différents paramètres d'accès au support sans fil. Dans la littérature, les approches basées sur la différenciation de services sont classées selon:

- Une approche distribuée (améliorant la méthode DCF)
- Une approche centralisée (améliorant la méthode PCF)
- Une approche par station ou par flux.

Une classification à deux niveaux proposée dans [56] est présentée dans la figure III-1 suivante :



**Figure III-1.** Classification des approches de différenciation de services

Dans ce qui suit nous présentons les travaux de recherche en les classant dans deux groupes :

- (i) le premier contenant les travaux antérieurs au draft 802.11e et qui forment les concepts de différenciation de service dans les réseaux 802.11. Ces concepts sont repris par le groupe 802.11e dans la définition du premier draft 802.11e ;
- (ii) dans le second groupe nous mentionnerons les travaux proposés pour améliorer les mécanismes présentés par le groupe 802.11e.

### III.3.1 Avant t le draft 802.11e

#### III.3.1.1 DFS (Distributed Fair Scheduling)

Le mécanisme DFS présenté dans [70] modifie la fonction DCF de 802.11 en adaptant les procédures de fair queuing aux réseaux sans fil. Il effectue une différenciation basée sur l'intervalle de backoff. Celui-ci est initialisé avant la transmission d'une trame et est fonction de la taille du paquet à envoyer et inversement proportionnel au poids du flux. Ainsi, les stations qui transmettent en premier sont celles qui possèdent le plus petit intervalle de backoff. Ce dernier est calculé par la formule suivante :

$$Backoff = \left\lceil \rho \times \left[ \text{Facteur\_Echelle} \times \frac{\text{taille\_paquet}}{\phi} \right] \right\rceil \quad (1)$$

Où  $\phi$  est le poids de la station et  $\rho$  une variable aléatoire uniformément distribuée dans l'intervalle [0.99, 1.1]. Le paramètre Facteur\_Echelle est utilisé pour mettre à l'échelle les valeurs des intervalles de backoff. En cas de collision une nouvelle fenêtre de backoff est calculée en utilisant l'algorithme de backoff défini par le standard.

Cependant DFS exhibe quelques imperfections :

- (i) Une grande consommation d'énergie étant donné que les stations sans fil doivent capturer chaque paquet envoyé dans le réseau afin de lire le champ « finish tag » ;
- (ii) Une modification de la structure des paquets afin d'inclure le champ « finish tag ».

### III.3.1.2 Black Burst

La méthode Black Burst proposée dans [67] et améliorée dans [68] a pour objectif de minimiser les délais d'accès pour les trafics temps réel. Elle peut être déployée au dessus des implémentations de 802.11 sans devoir changer les procédures d'accès pour les stations ayant des paquets de données et avec des changements mineurs pour les stations ayant du trafic temps réel. Elle permet de bloquer le canal radio pendant une période de temps et impose aux stations des intervalles précis pour les tentatives d'accès. Pour transmettre sa trame, une station à haute priorité doit vérifier tout d'abord que le canal est libre pendant une durée PIFS. Elle commence ensuite une période de contention où elle bloque le canal durant une période de temps en envoyant une trame dite Black Burst. La longueur de cette trame, en nombre de black slot, dépend de la durée d'attente au cours de laquelle le canal est occupé. L'utilisation des black slot et des trames de tailles minimales pour les trafics temps réel garantit un vainqueur unique pour chaque période de contention Black Burst. Avec la méthode d'accès Black Burst, les stations à faible priorité utilisent la méthode d'accès ordinaire DCF du standard.

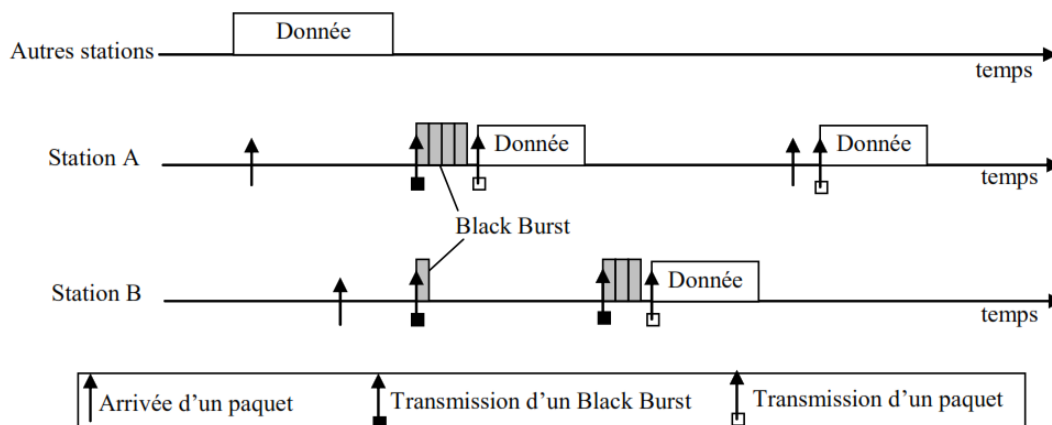


Figure III-2. Méthode d'accès Black Burst

La méthode Black Burst supporte un nombre important d'applications temps réel par rapport à la méthode standard. Elle permet en outre des valeurs très faibles de délais et de



gigue même en cas de réseau chargé. C'est une méthode qui converge vers un TDMA distribué, sans avoir besoin de synchronisation ni d'attribution explicite des temps de transmission. Elle assure aussi un accès sans collision et donne aux paquets temps réel la priorité sur les paquets de données. Le mécanisme d'accès aléatoire est donc remplacé par Black Burst. Les performances de ce mécanisme sont proches de ceux d'un multiplexage en temps parfait. Néanmoins, il ne s'applique pas aux réseaux possédant des nœuds cachés.

### III.3.1.3 VMAC (Virtual MAC)

En se basant sur la méthode DCF, Campbell et Al. [47] proposent deux nouveaux algorithmes MAC virtuel (VMAC) et source virtuelle (VS). VMAC observe passivement le canal radio et établit des estimations locales des délais, des giges, des collisions et des pertes de paquets en prenant en compte les conditions locales et les interférences des cellules voisines. En utilisant les estimations de VMAC, VS ajuste les paramètres de l'application et détermine si une nouvelle session demandant un certain niveau de service peut être admise. L'utilisation de ces méthodes pour le contrôle d'accès au canal radio permet le maintien d'un état globalement stable sans avoir à utiliser des méthodes centralisées pour la gestion des ressources radio. La différenciation des délais peut être assurée en augmentant l'écart entre les valeurs de  $CW_{min}$  affectées pour les priorités élevées et faibles. L'un des inconvénients de cette méthode est la complexité introduite par les interactions entre les couches MAC et application.

### III.3.1.4 Approche AC (Aad et Castellucia)

Dans leur approche, les auteurs Aad et Castellucia démontrent dans [78] qu'il est possible de différencier les flux dans le réseau IEEE 802.11 par le biais de plusieurs paramètres MAC :

- Différents facteurs d'incrémentation du temporisateur *backoff* pour différentes priorités : après une collision, la taille de la fenêtre de contention est multipliée par un facteur  $P_j$  au lieu de 2 (formule ci-dessous). Par la définition de plusieurs valeurs pour le  $P_j$ , il est possible alors de différencier les flux selon leurs priorités ; plus la valeur de  $P_j$  est grande, plus le temps d'attente est grand avant la prochaine tentative de transmission. Donc les flux de haute priorité sont associés à des petites valeurs de  $P_j$ , et les flux de moindre priorité utilisent des valeurs élevées de  $P_j$ .

$$Backoff = [P_j^{k+i} \times rand( )] \times timeslot \quad (2)$$

- Différentes tailles minimales de la fenêtre de contention,  $CW_{min}$  : en attribuant de courtes fenêtres de contention aux flux de haute priorité, cela garantit que ces flux ont plus de chance de pouvoir accéder au canal que ceux de moindre priorité.
- Différents espacements inter trames DIFS : en associant différents DIFS à différents flux, il est possible d'établir une stricte différenciation entre ces flux dans l'accès au médium. En effet, plus la valeur du DIFS est petite, plus le flux a de chance d'accéder au canal, et vice versa.
- Différentes longueurs maximales de paquets : en donnant la possibilité d'envoyer des paquets de tailles différentes, le débit utile obtenu par une priorité est proportionnel à la taille des paquets utilisés.

Cependant dans [78] les auteurs ne spécifient aucun algorithme pour choisir les valeurs à attribuer à chaque niveau de priorité.

Les expérimentations ont montré que cette différenciation fonctionne bien pour un flux UDP. Avec un flux TCP cette méthode n'est pas performante à cause des acquittements TCP qui possèdent la même priorité. Pour contourner cette limite les auteurs ont proposé, lorsque le nombre de terminaux en contention est faible et dans la mesure où la valeur CW est dans la plupart du temps égale à  $CW_{min}$ , une seconde méthode [47] basée sur un choix adéquat de la valeur initiale ( $CW_{min}$ ) pour chaque classe de service.

Cependant, ce mécanisme ne permet pas toujours d'obtenir une différenciation de services stricte pour les flux TCP [47]. Des temps inter trame DIFS différents sont utilisés, où chaque station mobile dispose de sa propre valeur de DIFS qui définit son niveau de priorité pour l'accès au médium. Des temps d'attente plus faibles sont alors attribués aux priorités élevées. L'inconvénient de cette différenciation est que les priorités faibles vont souffrir du problème de famine en présence d'un trafic permanent à priorité élevée.

Une différenciation par limitation des tailles des paquets est alors utilisée dans laquelle les différentes priorités transmettent des paquets de tailles différentes. Le débit utile obtenu par une priorité sera proportionnel à la taille de ses paquets. Deux types d'implémentation de cette différenciation sont possibles : rejeter les paquets dépassant la taille maximale allouée à une station ou bien fragmenter les paquets dépassant ce seuil maximal. Cela permet d'assurer à la fois la différenciation et la fiabilité des transmissions pour les différents types de flux. L'inconvénient ici est la perte d'efficacité de la différenciation dans les environnements

bruités. Les paquets les plus longs, correspondant aux plus hautes priorités ont plus de chance d'être corrompus.

### III.3.1.5 Approche DC (Deng et Chang)

Deng et Chang [83] proposent une approche de différenciation de services avec des modifications minimales de la méthode DCF. La différenciation est assurée par deux paramètres de la couche MAC 802.11 : l'intervalle de Backoff et le temps inter trame. Deux temps de backoff sont proposés. Chacun est combiné avec deux temps inter trame différents PIFS et DIFS. Quatre classes de priorités sont alors obtenues. Avec cette méthode, les stations à hautes priorités attendent un temps plus court (PIFS) pour accéder au canal. Quand une collision a lieu, les stations à hautes priorités ont plus de chance d'accéder au canal en possédant des intervalles de backoff plus court. Cependant, quand il n'y a que des stations à faibles priorités voulant transmettre sur le canal, elles continuent quand même à utiliser de longs intervalles de backoff. Des délais plus longs sont alors observés lors de l'accès au canal.

### III.3.2 Le draft 802.11e

Comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre précédent, la spécification du draft IEEE 802.11e [3] propose le support de la QoS dans les réseaux sans fil avec une nouvelle fonction de contrôle EDCA (Enhanced Distributed Channel Access), considérée comme la nouvelle version de la fonction DCF, et une fonction de coordination hybride (HCF). EDCA introduit quatre catégories de trafics (AC) ayant des propriétés différentes à l'accès. Les priorités sont contrôlées par les stations en modifiant le schéma d'accès de base (DCF). Un message de faible priorité peut être émis avec un retard si le réseau gère au même temps d'autres trafics prioritaires. Le standard 802.11e est alors plus flexible, mais sa mise en œuvre est plus complexe car il prend en charge la gestion de la QoS pour chaque classe de trafic.

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

La différenciation de service définie dans la norme IEEE 802.11e, fonctionne de deux manières dans les WLANs. L'une consiste à accorder une priorité de service à certains flots

de trafic en réduisant la taille maximale de la fenêtre de contention (CW), le temps de backoff et les espacements inter-frames IFS qui leur sont associés dans la couche MAC. La deuxième approche consiste à partager la largeur de bande de façon équitable entre les applications en leur accordant des poids. Les flots provenant d'applications sensibles au délai reçoivent les poids les plus élevés. La valeur des poids est ensuite prise en compte dans le calcul des paramètres de contention associés à chaque application. Ainsi, le temps de backoff qui précède l'envoi d'un paquet appartenant à un flot prioritaire, donc de poids élevé, est plus petit que le temps calculé pour les flots non prioritaires, de poids plus faible. Il en est de même pour les temps IFS et la taille de la fenêtre de contention.

Bien que les spécifications du standard 802.11e permettent d'améliorer la qualité de service des applications les plus sensibles, les effets de l'overhead ne sont pas pour autant résolus et réduisent toujours la performance du réseau.

La différenciation fournie par EDCA est efficace lorsque les nœuds sont soumis aux mêmes conditions du canal. Dès que ces conditions ne sont plus uniformément réparties, du fait de la mobilité par exemple, EDCA se trouve dans l'incapacité d'assurer une différenciation. Dans le pire des cas, de mauvaises conditions du canal amènent à une inversion des priorités [84]. Dans cette situation, le trafic à haute priorité subit davantage la chute du débit que le trafic à basse priorité. En effet, les paquets prioritaires nécessitent davantage de retransmissions par rapport aux autres paquets. Cette situation fait que la différenciation obtenue par le paramétrage du backoff ne sera plus effective. Par ailleurs, sous forte charge, de nombreuses collisions surviennent même avec les trafics prioritaires. Ainsi, même si le délai moyen est faible pour les flots de priorité haute, certains paquets peuvent subir d'importants délais. Cette situation favorise l'apparition de gigue. Par ailleurs, étant donné que la méthode EDCA fonctionne en mode DCF au sein de chaque AC, elle comporte les mêmes défauts.

### III.3.2.1 Les autres paramètres de QoS défini par le draft 802.11e

Parallèlement à EDCA et HCCA, le draft 802.11e a introduit d'autres paramètres pour la gestion de la QoS :

*Les blocs d'acquittements ou Block acknowledgement (block ACK)* : Le bloc d'acquittement permet à une QSTA d'envoyer une succession de paquets séparés par un SIFS. La station réceptrice n'envoie un ACK qu'après la réception de l'ensemble des paquets. Par le biais de l'envoi d'un seul ACK pour un ensemble de paquet, le block d'acquittements permet de diminuer la charge introduite par le renvoi d'un ACK pour chaque

paquet.

*Le lien direct ou Direct Link Protocol (DLP)* : DLP permet à deux stations associées au même QAP (point d'accès avec QoS) d'établir des transmissions sans passer par ce dernier. Ce mécanisme permet une meilleure utilisation du canal étant donné que les communications ne passent pas par le QAP.

*Pas d'acquittement (No ACK)* : Pour certain type d'application, 802.11e permet de ne pas utiliser les paquets d'acquittements (ACK). Cette possibilité est très utile pour les applications qui d'une part ont des contraintes temporelles très strictes ; et d'autre part de faibles contraintes de fiabilité.

### III.3.3 Après le draft 802.11e

Sachant la difficulté de déploiement des mécanismes centralisés et de leurs gestions très délicates, la majorité des travaux post draft 802.11e se sont intéressés à l'amélioration du mécanisme EDCA plutôt que HCCA. Cependant, la nature du protocole CSMA/CA rend difficile la garantie de QoS dans EDCA. En effet, dès que le réseau devient congestionné, EDCA exhibe une grande dégradation de la QoS. Dans ce contexte, il est nécessaire de prendre plus en compte l'état du réseau afin de définir des paramètres dynamiques qui permettent de garantir une bonne QoS pour les AC de haute priorité.

Dans le but d'améliorer le mécanisme Enhanced Distributed Coordination Function (EDCF) (l'ancienne appellation de EDCA. Draft 3.1), les auteurs proposent le mécanisme Adaptive EDCF (AEDCF) [87]. Ce mécanisme propose d'ajuster la fenêtre de contention de chaque classe de trafic en prenant en compte les conditions du réseau. En effet AEDCF utilise le concept de SD, à savoir qu'après chaque transmission fructueuse la valeur de la fenêtre de contention est diminuée par un facteur au lieu d'être initialisée avec la valeur minimale  $CW_{min}[i]$ . Dans AEDCF ce facteur prend en compte :

- (i) le taux de collision  $f_i$  qui est calculé par chaque classe  $i$  d'une station ;
- (ii) la priorité du flux  $i$ . Le facteur de diminution est défini comme suit :

$$MF[i] = \min((1 + 2 \times i) \times f_{curr}^j, 0,8) \quad (3)$$

De plus, la nouvelle valeur de  $CW$  est basée sur la formule suivante :

$$CW_{new}[i] = \max(CW_{min}[i], MF[i] \times CW_{old}) \quad (4)$$

Cependant, la faiblesse de ce mécanisme provient des stations cachées. Sachant que le taux de collision est calculé par chaque flux en se basant sur le nombre de collisions subies par ses paquets et non les collisions globales du réseau, il est possible alors que le taux calculé pour deux flux de la même classe de trafic soit différent. Ce qui provoquera une inégalité d'accès au canal entre les flux de la même classe de service.

Le mécanisme Adaptive Fair EDCA [86], adapte la procédure de fast collision resolution proposée dans [89] au mécanisme EDCA (Draft 5.0). AF-EDCA redéfinit la procédure de résolution de la contention comme suit :

- La procédure de diminution de la valeur du backoff : chaque classe de trafic vérifie si le canal est libre afin de commencer à diminuer le backoff de manière linéaire. Si une succession de timeslot libres est détectée et si la valeur restante du backoff est inférieure ou égale à un seuil  $Bof\_Th[i]$ , alors le backoff est diminué de façon exponentielle (figure III-3).

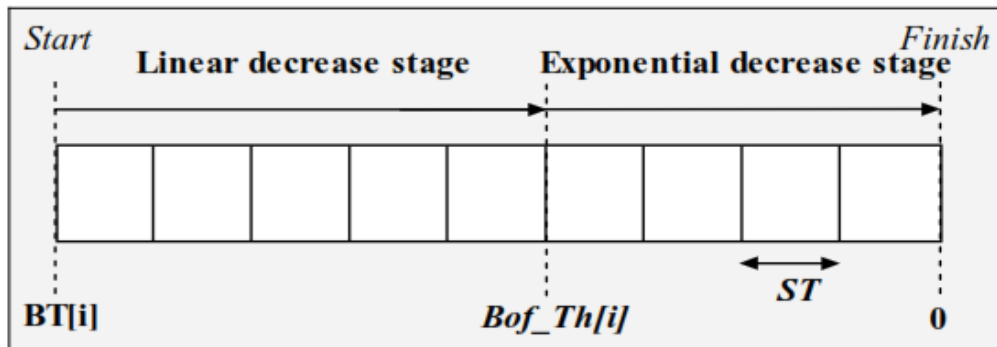


Figure III-3. Mécanisme de backoff dans AF-EDCF

- Après une transmission non fructueuse : Outre l'augmentation de la fenêtre de contention et le choix d'une valeur aléatoire pour le backoff, AF-EDCF augmente la valeur du seuil par le biais de la formule :

$$Bof\_Th[i] = \frac{CWmax[i] - CW[i]}{CWmax[i] - CWmin[i]} \times \frac{Backoff[i]}{CW[i]} \times CWmin \times Slot\_Time \quad (5)$$

- Après une transmission fructueuse : Dès qu'un paquet est transmis avec succès, chaque classe de trafic réinitialise le CW à la valeur minimale  $CW_{min}[i]$  et augmente le  $Bof\_Th[i]$  par le biais de la formule (5).
- La période d'attente (appel de la procédure du backoff) : Si une classe de trafic détecte qu'une transmission débute sur le canal tandis qu'elle est en état d'attente, c'est-à-dire qu'elle est en train de diminuer la valeur du backoff pour chaque slot time libre, alors la classe de trafic exécute les mêmes étapes que pour le cas d'une transmission non fructueuse.

Dans [88] le mécanisme AMPA proposé repose sur une gestion dynamique de la QoS dans EDCA. Sachant que l'état du réseau influence considérablement les performances de EDCA, ce mécanisme utilise des valeurs dynamiques des paramètres MAC (AIFS et PFactor) afin d'établir un mécanisme dynamique de différenciation de service. Si le réseau est surchargé, AMPA augmente la différenciation entre les classes best-effort et haute priorité :

- en augmentant l'AIFS et PFactor de la classe best-effort ;
- en diminuant l'AIFS et PFactor de classes prioritaires.

En revanche, si le réseau est moins chargé, la différenciation entre ces classes de trafic est alors réduite en :

- diminuant l'AIFS et PFactor des classes best-effort ;
- augmentant l'AIFS et PFactor des classes prioritaires.

L'algorithme global utilisé par AMPA est présenté dans la Figure III-4 suivante :

```

Si (i représente un trafic de haut priorité){
Alors {
    Si {(le taux de paquet supprimé > Un seuil défini par l'application)}
        Alors
            Diminuer les valeurs du AIFS et PFactor
        Sinon
            Augmenter les valeurs du AIFS et PFactor}
    }
}
Si (i représente un trafic best-effort){
Alors {
    Si {(le taux de collision < la moyenne des cinq dernier taux de collisions)}
        Alors
            Diminuer les valeurs du AIFS et PFactor
        Sinon
            Augmenter les valeurs du AIFS et PFactor}
    }
}
    
```

Figure III-4. Algorithme utilisé dans AMPA [88]

Par le biais de cet algorithme, AMPA met à jour les paramètres MAC de chaque classe en prenant en compte : d'une part la charge du réseau pour la classe best-effort ; et d'autre part le taux de paquets supprimés au niveau de la file d'attente des classes prioritaires.

### **III.4 Conclusion**

Les mécanismes vus dans ce chapitre particulièrement dans cette section garantissent une différenciation de service uniquement entre les AC. De plus, tous ces mécanismes exhibent une dégradation de performances lorsque le nombre de flux dans le réseau augmente. Ceci a conduit à conclure que pour obtenir un bon mécanisme de gestion de QoS celui-ci doit couvrir trois aspects importants :

- Maintenir une différenciation entre les AC.
- Garantir une différenciation de service entre les flux de la même AC.
- Limiter le nombre de flux actifs dans le réseau afin de garantir une QoS aux flux déjà admis dans le réseau.



***IV. Chapitre 4 : Algorithme de Backoff pour un accès différencié***

## IV.1 Introduction

Le succès du standard IEEE 802.11 est principalement dû à la simplicité du mécanisme d'accès DCF. En effet, ce mécanisme utilise un algorithme distribué pour partager le canal sans fil entre les différentes stations mobiles. Cependant il introduit un grand nombre de collisions lorsque le réseau est surchargé, ce qui conduit à une dégradation du débit global du canal. De plus, le protocole utilisé n'est pas équitable dans le partage de la bande passante entre les stations sans fil. Dans ce chapitre, nous allons d'abord étudier les faiblesses de l'algorithme BEB (Binary Exponential Backoff) de partage du canal utilisé par le protocole CSMA/CA. Nous présenterons ensuite un algorithme de backoff pour un accès différencié.

## IV.2 Etat de l'art

La couche MAC du standard 802.11 partage l'accès du canal en utilisant un algorithme asynchrone et distribué. De ce fait, le problème associé à ce type de protocole provient des collisions (transmission simultanée de deux stations) mais aussi des timeslot non utilisés pendant et juste après une collision. En effet, après une collision les deux stations vont attendre un temps aléatoire avant qu'une autre tentative de transmission ne soit possible. Par conséquent, le canal est libre et ainsi inexploité durant cette période. Les deux facteurs majeurs qui influent sur les performances du réseau 802.11 sont les transmissions infructueuses (collisions) et les timeslot non utilisés résultant des collisions.

Plusieurs travaux de recherche ont été menés dans la perspective d'améliorer l'algorithme de backoff utilisé par le protocole CSMA/CA [101]. Dans [96] les auteurs proposent un modèle analytique qui donne la valeur optimale de la fenêtre de contention  $CW$  qui maximise l'utilisation du canal. Toutefois, la méthode proposée pour ce calcul est basée sur la connaissance préalable du nombre de stations présentes dans le canal, ce qui difficile à obtenir dans une implémentation réelle. Le mécanisme Slow Decrease (SD) présenté dans [97] consiste à diminuer la fenêtre de contention  $CW$  par un facteur multiple de deux au lieu d'être réinitialisé avec la valeur  $CW_{min}$ . Cependant, il a été observé que ce mécanisme est performant que lorsque le réseau est surchargé. Le facteur de diminution est statique et ne s'adapte pas réellement à la charge du réseau.

Un nouveau protocole de backoff exponentiel nommé Fast Collision Resolution (FCR) a été proposé dans [C]. Dans FCR, une station sans fil augmente la fenêtre de contention si :

- (i) Le paquet envoyé est perdu (collision)
- (ii) La procédure de décrémentation de la valeur du temporisateur de backoff est

suspendue (démarrage d'une transmission dans le réseau). De plus, dès qu'une succession de time slot libres est détectée, la décrémentation du backoff passe d'une décrémentation exponentielle à une décrémentation linéaire.

Cette modification du mécanisme BEB est particulièrement efficace pour diminuer le taux de collision dans le réseau. Cependant, la faiblesse de FCR provient de l'inégalité établie entre les stations sans fil.

En alternative à l'algorithme de backoff exponentiel, d'autres algorithmes de résolution de contention ont été proposés pour les réseaux IEEE 802.11. Ces protocoles reposent sur les mécanismes dits multiplicative increase and linear decrease (MILD) [99]. Ces mécanismes ont pour but :

- (i) De minimiser la variation de la valeur de CW
- (ii) De régler le problème d'inégalité associé avec BEB.

Cependant, bien que ce protocole affiche des performances lorsque le réseau est surchargé, néanmoins ces performances sont dégradées lorsque le réseau n'est pas surchargé notamment lors d'un changement brutal de la charge du réseau. Pour couvrir ces faiblesses, le protocole EIED (exponential increase and exponential decrease) proposé dans [100] augmente CW par un facteur  $\tau_D$  après chaque collision et diminue CW par  $\tau_I$  après chaque transmission fructueuse. Ainsi, dans EIED la diminution est exponentielle et n'est pas aussi agressive que dans BEB, vu que le protocole EIED évite de réinitialiser CW au minimum.

### IV.3 Contexte

L'algorithme de reprise après collision BEB est un algorithme qui vise à résoudre le problème de collisions entre plusieurs stations. Il permet de déterminer le temps d'attente avant retransmission du même block de données en cas de collision et d'éviter la congestion du réseau en éliminant ce block après un certain nombre d'essais infructueux. Le BEB repose sur le facteur temps de backoff qui correspond à :

$$\text{TempsDeBackoff} = \text{Random}(0, CW) \times \text{aSlotTime}$$

Ce temps aléatoire est tiré dans l'intervalle de la fenêtre de contention CW. Cette fenêtre est multipliée par deux après chaque collision jusqu'à atteindre sa taille maximale  $CW_{max}$ . Les exemples de cet algorithme se rencontrent dans les retransmissions des trames concernant le CSMA/CA des réseaux sans fil et le CSMA/CD des réseaux filaires. Dans le cas des réseaux sans fil contrairement aux réseaux filaires la collision ne peut être détectée qu'à la fin

de la transmission. Cette détection se fait par la non-réception de l'acquittement supposé parvenir à la station réceptrice. Dans ce cas de figure, un délai Backoff est généré par les stations impliquées dans la collision. Ce délai aléatoire est supposé être différent pour chaque station pour leur permettre une retransmission sans collision. Si la collision se reproduit, les stations généreront un Backoff dans un intervalle plus large en doublant la taille de la fenêtre de contention CW. La trame est éliminée quand la fenêtre de contention qui a atteint sa taille maximale  $CW_{max}$  n'a pas réussi à résoudre le problème de collision. Le CSMA/CA adopte donc un algorithme de backoff exponentiel (figure IV-1). On note que lorsque la fenêtre de contention CW atteint sa valeur maximale  $CW_{max}$ , elle restera à cette valeur jusqu'à sa réinitialisation. Ceci a pour avantage d'améliorer la performance de protocole dans des conditions de trafic chargé [102] [103].

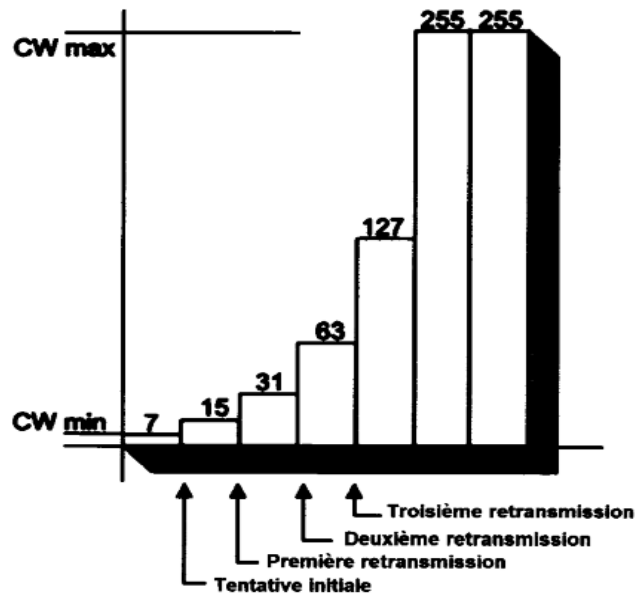


Figure IV-1. Augmentation exponentielle de CW

#### IV.4 Motivation et solution proposé

Le but de ce travail est donner un ordre dans l'accès au canal pour prioriser un type de trafic par rapport aux autres types. La solution proposée, repose d'abord sur une réflexion concernant deux problèmes liés à l'accès au medium à savoir la convergence de Backoff et l'asynchronisme dans l'accès au canal. A travers l'étude de ces deux points fondamentaux nous avons dégagé une solution pour apporter un ordre différencié dans l'accès au canal.

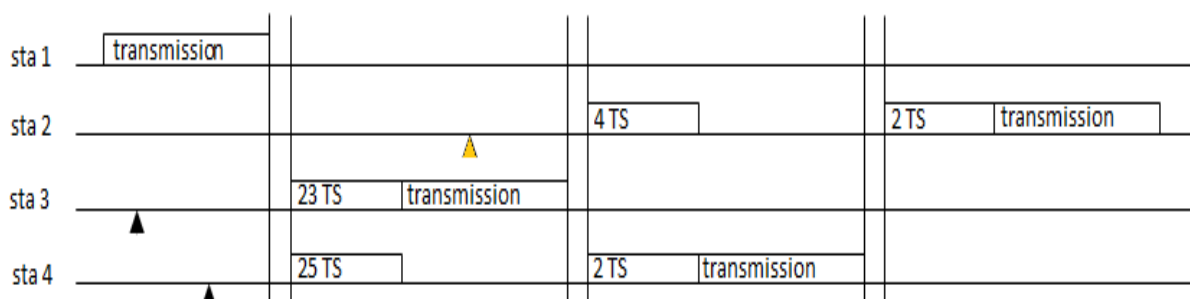
#### IV.4.1 Problèmes liés à la méthode d'accès DCF

##### IV.4.1.1 Convergence de Backoff

Certains travaux, rapportent que le fait de diminuer la taille de la fenêtre de contention pour générer un nombre de backoff plus petit pour le trafic prioritaire, priorise l'accès au canal pour ce type de trafic [89]. Le critère de la convergence de backoff, explique comment cette diminution de la taille de la fenêtre de contention ne suffit pas à établir une priorité au trafic privilégié pour l'accès au canal.

Quand on introduit au niveau de plusieurs stations, un trafic exigeant, les stations souhaitant émettre un trafic non critique, (en générant un nombre de backoff beaucoup plus grand que celui d'une station souhaitant émettre un trafic critique) voient leur backoff chuter après chaque transmission. Nous observons alors, qu'à un certain moment les stations qui n'ont pas de contraintes de QoS auront un nombre de Backoff petit, et rentrent par conséquent en concurrence avec la station exigeante pour finir probablement par accéder au canal après décrémentation du backoff (valeur zéro atteinte).

Nous saisissons ainsi, la probabilité où une station souhaitant émettre un trafic critique, peut être dans la situation où des stations voulant émettre du trafic moins important ont déjà commencé à décrémenter leur backoff bien avant. Ceci est dû au fait que la demande d'accès de ces stations a eu lieu au temps  $t$  où la station de flux prioritaire n'a pas encore décidé d'émettre. Lorsque celle-ci souhaite émettre et que le canal est occupé, elle tire un nombre de backoff qui pourrait éventuellement être supérieur à celui des stations qui sont déjà en attente pour l'accès au canal (et dont la demande a été faite antérieurement au temps  $t$ ). Cette probabilité ne cessera de croître tant que le nombre de stations souhaitant émettre un trafic non critique augmente, et que la probabilité liée aux contraintes du trafic critique diminue. (Figure IV-2)



IV-2. Problème de la convergence

Sur cette figure sont mentionnés quatre stations, le symbole triangle correspond à l'instant où la station souhaite émettre un trafic. Le triangle noir correspond aux trafics non critiques, et celui en jaune correspond aux trafics critiques.

A travers cet exemple, nous remarquons que la station 2 souhaite émettre un trafic critique, mais la station 4 émet avant elle un trafic non critique même si le nombre de Backoff généré par cette dernière était largement supérieur à celui généré par la station 2. Nous pouvons remarquer à travers ce schéma illustratif, réduit à un petit nombre de stations, les conséquences de la convergence du nombre de Backoff et nous pouvons imaginer les conséquences dans le cas d'un grand nombre de stations.

#### **IV.4.1.2 L'asynchronisme dans l'accès au canal**

Dans cette section nous considérons le cas où l'accès au medium est complètement asynchrone et où chaque station n'a qu'une vision locale du réseau. A ce niveau une station donnée n'a pas de connaissance ou a une connaissance approximative sur l'état des stations voisines avec lesquelles une collision peut avoir lieu.

Dans ce cas de figure si une station  $S_{nc}$  souhaite émettre un trafic non critique, cette dernière ne peut pas savoir si une des stations voisines souhaite émettre un trafic critique sensible au délai. La station  $S_{nc}$  peut éventuellement avoir accès au canal en premier, ou entrer en collision avec la station voisine. Cette situation conduit au risque de l'augmentation du délai du trafic critique. A titre d'exemple, considérons le cas où une station souhaite utiliser de la téléphonie sur IP (application sensible au délai) au même moment où d'autres stations souhaiteraient télécharger des fichiers (pas de contrainte de délai). Il y a donc concurrence entre les deux stations pour l'accès au support partagé. Dans cette situation, la deuxième station pourrait accéder au canal en premier (backoff décrétement inférieur à celui de la première station), comme il est possible d'avoir collision. Dans les deux possibilités, la qualité de service pour le trafic critique est dégradée.

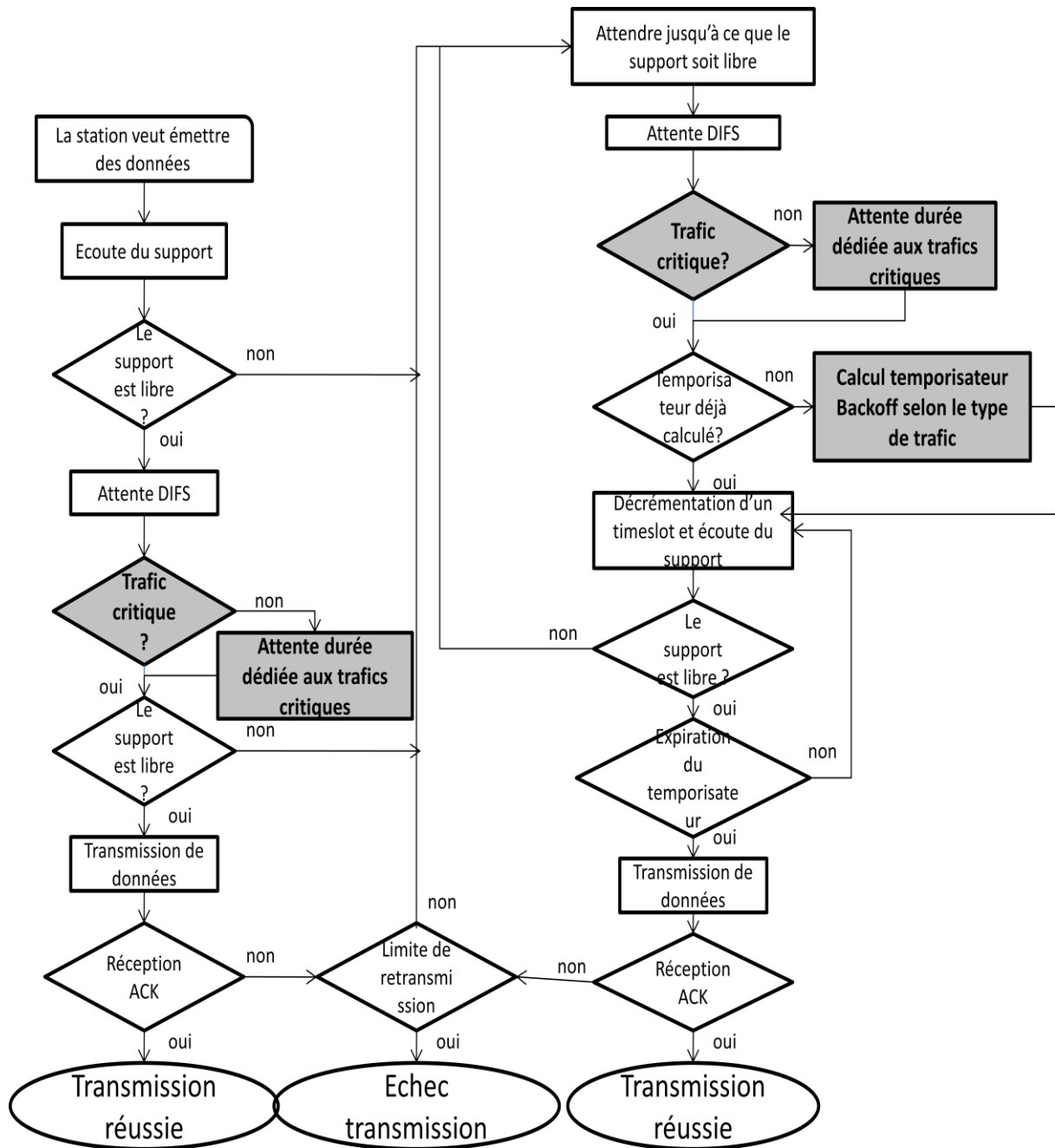
#### **IV.4.2 Notre proposition :**

Notre contribution pour répondre au problème de l'asynchronisme et à celui de la convergence du nombre généré par Backoff, se résume en deux points :

- 1) Nous avons créé une synchronisation entre les différents types de trafics pour que l'accès au media soit ordonné et cela malgré le problème d'absence d'information sur les stations voisines.

- 2) Afin de différencier (prioriser) l'accès au canal, nous avons alloué un temps précis dans le canal une fois celui-ci libéré et le DIFS (fixé par la norme 802.11) écoulé. C'est uniquement dans cet espace de temps accordé, que les stations souhaitant émettre un trafic critique auront la possibilité de décrémenter leur Backoff, et accéder ainsi au canal. Les autres stations souhaitant émettre un trafic moins prioritaire, devront attendre l'achèvement de ce délai avant de pouvoir commencer à décrémenter leur backoff.

La solution proposée permet de créer un ordre dans l'accès au médium (accès différencié selon les priorités) et d'éliminer la concurrence entre les différents types de trafics. Notre contribution consiste donc à améliorer le protocole d'accès distribué DCF afin que celui-ci supporte un service différencié en plus du service best effort. Cette contribution est résumée au niveau de l'algorithme amélioré de partage du canal BEB utilisé par le protocole CSMA/CA (figure IV-3).



IV-3. Accès au medium avec différenciation de service (DCF amélioré)

#### IV.4.2.1 Méthode d'accès des différents types de trafics

Nous présentons dans cette section les deux types d'algorithme correspondant respectivement aux trafics non critique et critique ainsi qu'un exemple d'accès synchronisé au canal par 4 stations concurrents.

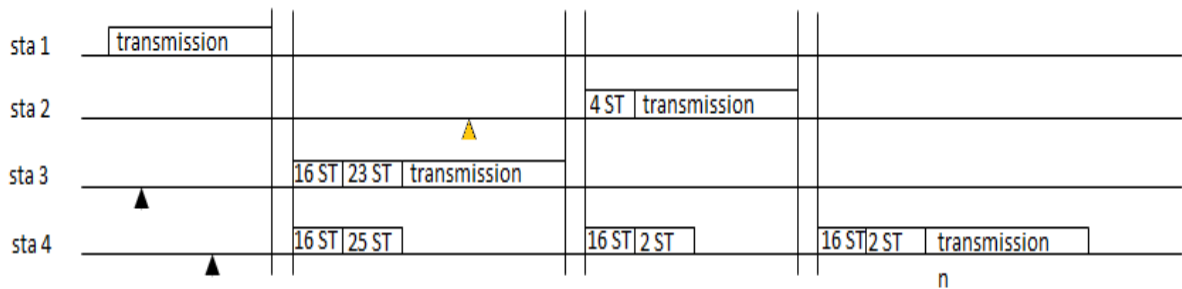


**Algorithme d'accès pour trafic non critique**

- Si (canal est libre)
  - Attendre (DIFS)
  - Attendre (temps réservé au trafic critique sur le canal)
  - Tantque (canal est libre et Backoff>0) faire
  - Décrémentation de Backoff
  - Finfaire
  - Envoie de la trame
- 

**Algorithme d'accès pour trafic critique**

- Si (canal est libre)
  - Attendre (difs)
  - Tantque (canal est libre et Backoff>0) faire
  - Décrémentation de Backoff
  - Finfaire
  - Envoie de la trame
- 



**IV-4. Accès synchronisé**

Dans cet exemple illustratif (figure IV-4), à titre de simplification, on considère une attente équivalente à 16 time slot pour les trafics non critiques. En appliquant notre approche nous remarquons qu'à l'arrivée de la station 2, le nombre de Backoff restant de la station 3 est inférieur à celui généré par la station 2, mais grâce à l'attente des stations souhaitant émettre un trafic non critique d'une durée de 16 time slot, nous pouvons certifier que le trafic critique

aura la priorité pour accéder au canal quelque soit le nombre de backoff généré par les stations souhaitant émettre un trafic non critique.

#### **IV.4.2.2 Le choix de la durée d'attente**

##### **IV.4.2.2.1 La fenêtre de contention**

La fenêtre de contention est l'intervalle dans lequel les stations génèrent un nombre aléatoire lorsque le medium est occupé au moment de l'envoi d'une trame. Dans notre travail nous avons utilisé deux fenêtres de contention, où l'une d'elles est associée pour le trafic critique et l'autre pour le trafic restant.

- La fenêtre de contention dédiée au trafic critique est une fenêtre de taille fixe et elle est égale à la durée allouée aux trafics critique sur le canal. Même s'il y a collision la station générera un nombre de backoff dans le même intervalle.
- La deuxième fenêtre, celle réservée pour les trafics non critique, elle est identique à celle définie dans la norme 802.11 c.à.d. que la taille de la fenêtre double en cas de collision.

La raison pour laquelle nous avons décidé de fixer la taille de la fenêtre de contention est que si la taille de la fenêtre de contention augmente après chaque collision il ya risque que le nombre de backoff généré par une station souhaitant émettre un trafic critique dépasse le temps que nous avons dédié à ce type de trafic sur le canal. De ce fait, la station pourra finir de décrétement son backoff dans un moment où les autres stations avec un trafic non critique décrétement leurs backoff et entrer ainsi en concurrence avec ces stations pour l'accès au canal. Ce qui nous amène au problème de l'ordre pour l'accès au medium.

##### **IV.4.2.2.2 Taille de la fenêtre de contention**

Le problème qui se pose est de choisir la taille de la fenêtre de contention pour les trafics critiques, car choisir une fenêtre de contention trop petite, augmentera la probabilité que deux ou plusieurs stations généreront des nombres de backoff identiques et augmentera le risque d'avoir des collisions entre les trafics critiques émis par différentes stations.

Dans le cas d'une fenêtre de contention de trop grande taille, la probabilité d'avoir des stations qui généreront un nombre de backoff identique est diminuée ainsi que le nombre de collisions entre les trafics critiques. Cependant, lorsqu'il n y a pas de station souhaitant émettre un trafic critique, l'inconvénient est que le trafic non critique devra attendre plus

longtemps pendant que le canal est libre pour pouvoir décrémenter son backoff et ainsi accéder au canal.

#### IV.4.2.2.3 Taille de la fenêtre de contention et QoS

Pour assurer une qualité de service dans les réseaux ad hoc, il faut satisfaire les critères de QoS de certaines applications temps réel. Celles-ci sont très exigeantes au niveau du délai et de la gigue mais n'acceptent qu'un taux réduit de perte de paquet. Comme par exemple la téléphonie qui ne tolère au maximum que 5% de perte pour que la communication soit bonne, sachant qu'une perte de paquet est due généralement à une collision et que la cause des collisions dans les réseaux sans fil est due au choix du même nombre de backoff pour deux ou plusieurs stations.

De ce fait, la taille de la fenêtre de contention devra être choisie de telle sorte que la probabilité pour que deux ou plusieurs stations génèrent le même nombre de backoff se rapproche du taux de perte de paquet admis par les applications temps réel.

#### IV.4.2.2.4 Evaluation de la taille de la fenêtre de contention

La formule suivante nous donne la taille de la fenêtre de contention TFC en fonction de la probabilité P de perte de paquet dans un réseau ad hoc et N qui représente le maximum entre les nombres de voisins souhaitant émettre un trafic critique et ceux souhaitant émettre un trafic non critique.

La probabilité pour qu'il y'ait collision pour une station a avec ces n voisines.

$P = p(\text{Backoff station } a = \text{Backoff station } 1) \text{ ou } p(\text{Backoff station } a = \text{Backoff station } 2) \text{ ou } \dots$   
ou  $p(\text{Backoff station } a = \text{Backoff station } n)$

Quel que soit i  $p(\text{Backoff station } a = \text{Backoff station } i) = 1/\text{TFC}$

$P = n * p(\text{Backoff station } a = \text{Backoff station } i) = n * ( 1 / \text{TFC} )$ .

$\text{TFC} = n / p$ .

Par exemple pour avoir une probabilité de collision de 0.05 dans un réseau ad hoc où le nombre maximum de station voisine souhaitant émettre un trafic critique est de 3 la taille de la fenêtre de contention pour les trafics critique TFC est :

$\text{TFC} = 3 / 0.05 = 60$

#### IV.4.2.2.5 Algorithme de Backoff des différents types de trafics

Nous aurons deux algorithmes de Backoff, dont l'un est dédié pour les stations souhaitant émettre du trafic critique et l'autre pour le trafic non critique. Le premier algorithme sera modifié afin que le nombre tiré soit dans une fenêtre de contention fixe dont la taille soit selon le taux de perte et le nombre de station voisine comme nous avons pu le voir dans la formule précédente. Le deuxième algorithme est similaire à celui défini dans la norme 802.11 où le nombre sera généré dans une fenêtre minimale  $CW_{min}$  et en doublant la taille de la fenêtre de contention en cas de collision et cela jusqu'à ce que la fenêtre atteigne sa taille maximale  $CW_{max}$ .

##### Algorithme de backoff pour trafic non critique

$CW = CW_{min}$

If (no collision)

Backoff = random(CW) \* slottime

Else

Backoff = random(CW\*2) \* slottime

---

##### Algorithme de backoff pour trafic critique

$CW = CW_{QoS}$  // calculer par la formule

Backoff = random(CW) \* slottime

---

## IV.5 Introduction à NS2

Dans la recherche sur les réseaux d'ordinateurs, la simulation du réseau est une technique où un programme simule le comportement d'un réseau. Le programme exécute cette simulation en calculant l'interaction entre les différentes entités du réseau (serveurs/routeurs, liaisons de données, paquets, etc.) en utilisant des formules mathématiques, ou réellement en saisissant et en variant les paramètres du réseau pour la production d'un réseau. En utilisant cette entrée, on peut observer le comportement du réseau et les divers applications et services qu'il supporte dans une simulation. Divers attributs de l'environnement peuvent également être modifiés de façon à contrôler ces comportements dans différentes conditions. Quand un programme de simulation est utilisé en même temps que les applications et les services afin d'observer la performance de bout en bout sur le

bureau de l'utilisateur, cette technique est désignée également sous le nom de l'émulation du réseau.

#### **IV.5.1 Présentation du simulateur NS2**

NS2 (Network Simulator) est aujourd'hui l'outil de simulation de réseaux le plus puissant et le plus utilisé par la communauté scientifique. Il s'agit d'un simulateur à événements discrets, fruit de la collaboration entre l'université de Berkley, USC (University of Southern California) et Xerox PARC dans le cadre du projet VINT (Virtual Inter Network Testbed). Ce projet est soutenu par DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency).

Il est principalement bâti avec les idées de la conception par objets, de réutilisabilité du code et de modularité [104]. C'est un logiciel dans le domaine public disponible sur l'Internet. Son utilisation est gratuite. Le logiciel est exécutable tant sous Unix que sous Windows. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau. NS2 utilise le langage OTcl (Object Tool Command Language) dérivé de Tcl. A travers ce langage, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, etc.

La simulation doit d'abord être saisie sous forme de fichier texte. NS2 utilise en entrée ce fichier et génère en sortie un fichier trace contenant les résultats. Ensuite, on utilise le programme NAM (Network AniMator) pour interpréter ces données et fournir une représentation graphique.

#### **IV.5.2 L'outil de visualisation NAM**

NS-2 ne permet pas de visualiser le résultat des expérimentations. Il permet uniquement de stocker une trace de la simulation, de sorte qu'elle puisse être exploitée par un autre logiciel, comme NAM.

NAM est un outil de visualisation qui présente deux intérêts principaux : représenter la topologie d'un réseau décrit avec NS-2, et afficher temporellement les résultats d'une trace d'exécution NS-2. Par exemple, il est capable de représenter des paquets TCP ou UDP, la rupture d'un lien entre nœuds, ou encore de représenter les paquets rejetés d'une file d'attente pleine. Ce logiciel est souvent appelé directement depuis les scripts TCL pour NS-2, pour visualiser directement le résultat de la simulation.

### IV.5.3 Parameters de Simulation

#### IV.5.3.1 Débit utile (throughput)

Le débit utile (ou throughput) est le débit total en réception. Il est calculé pour un intervalle de temps, en divisant la quantité totale d'information reçue pendant cet intervalle, par la durée de l'intervalle en question.

La formule générale pour le calcul du débit utile est ainsi :

$$\text{throughput} = \frac{\text{nombre des paquets reçus pendant } \Delta t * \text{taille d'un paquet}}{\Delta t}$$

Avec :

$\Delta t$  : Durée de l'intervalle considéré.

t : limite supérieure de l'intervalle  $\Delta t$

#### IV.5.3.2 Le taux de pertes

Nous avons modélisé ce taux de pertes par le nombre de bits perdus en fonction du temps. Pour cela, nous avons utilisé l'agent Loss Monitor qui enregistre le nombre de paquets perdus dans sa variable associée `n_lost`.

#### IV.5.3.3 Le délai

Le délai est le temps entre l'envoi d'un paquet par un émetteur et sa réception par le destinataire. Nous le calculons pour un paquet donné de la manière suivante :

Délai =  $t_r - t_s$  avec  $t_r$  : instant de réception du paquet et  $t_s$  : instant de son émission.

Ainsi, toutes les courbes de délai qui suivent représentent le délai en fonction du temps d'émission.

### IV.5.4 Scenarios des simulations

Pour bien analyser notre approche, nous avons choisi de mettre en œuvre différents scénarios avec différents paramètres et ce pour démontrer les points que nous avons cités dans la partie relative aux solutions proposées. Dans ce cadre nous allons faire une comparaison entre la méthode d'accès DCF du standard 802.11, la méthode d'accès EDCF du standard 802.11e et celle qui a fait l'objet de notre travail. Cette comparaison sur la base de simulations a pris en compte les paramètres se rapportant au délai, le débit et la perte.

#### IV.5.4.1 Paramètres de simulations

Les paramètres portés dans le tableau ci-dessous ont été pris en considération dans le cadre des simulations réalisées.

Dans le premier scénario nous avons effectué trois simulations correspondantes aux trois méthodes d'accès retenus. Dans le deuxième scénario nous avons effectué une seule simulation se rapportant à notre méthode d'accès.

Le type de trafic retenu pour réaliser les simulations correspond au type CBR. La taille des paquets CBR et la fréquence ont été retenues comme des constantes, elles ont été fixées pour la première dans les petites tailles soit 100 octets et pour la deuxième dans la fréquence 700 Kb par seconde. Nous avons procédé de la sorte pour augmenter le nombre de paquets émis par seconde afin de surcharger le réseau et d'évaluer le risque de collisions.

Paramètre	Valeurs
Type du canal	Canal sans fil (Wireless channel)
Model de propagation radio	Two ray ground
Couche MAC	DCF 802.11, EDCF 802.11e, DCF modifié
Modèle de trafic UDP/CBR	UDP/CBR
Taille des paquets CBR	100 octet
Fréquence CBR	700 Kb par seconde
Temps de simulation	50 s

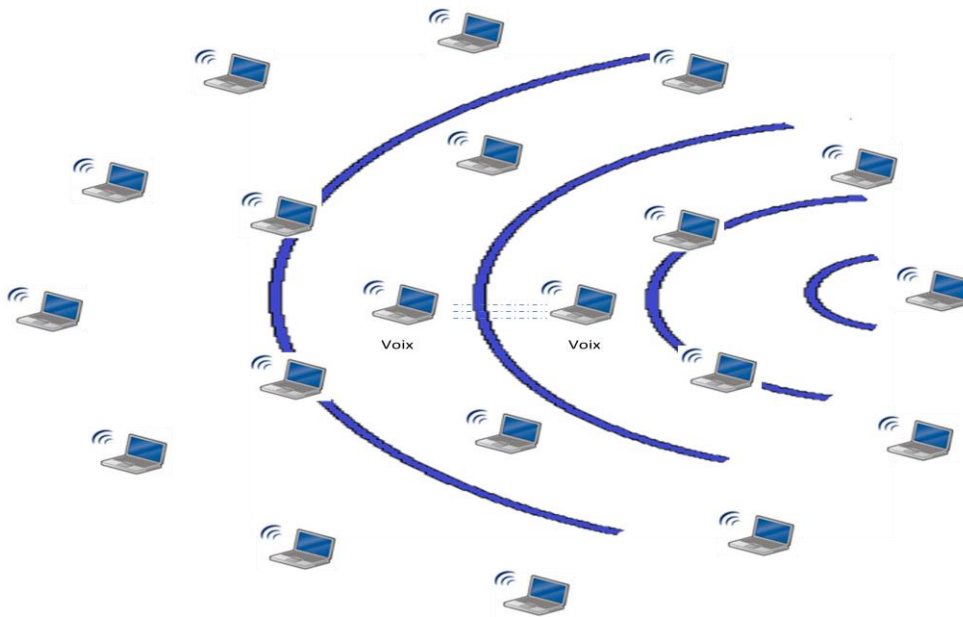
**Tableau IV.1.** Paramètres des simulations

#### IV.5.4.2 Scenario 1

Pour démontrer qu'il y a un ordre pour accéder au canal. Nous avons défini dans ce scénario comme il apparaît dans (figure IV-5) : Dans un premier temps 14 stations aux milieux desquelles figurent deux stations qui émettent un trafic critique et qui sont entourées par les autres stations émettant un trafic best effort très dense ; en sachant que ces deux stations centrales ont été placées dans la zone de couverture du reste des stations.

Dans un deuxième temps nous avons doublé le nombre de station initial (soit 28 stations) pour voir comment se comportent les différentes méthodes d'accès vis-à-vis du trafic critique dans un réseau surchargé.





IV-5. Scenario de la simulation

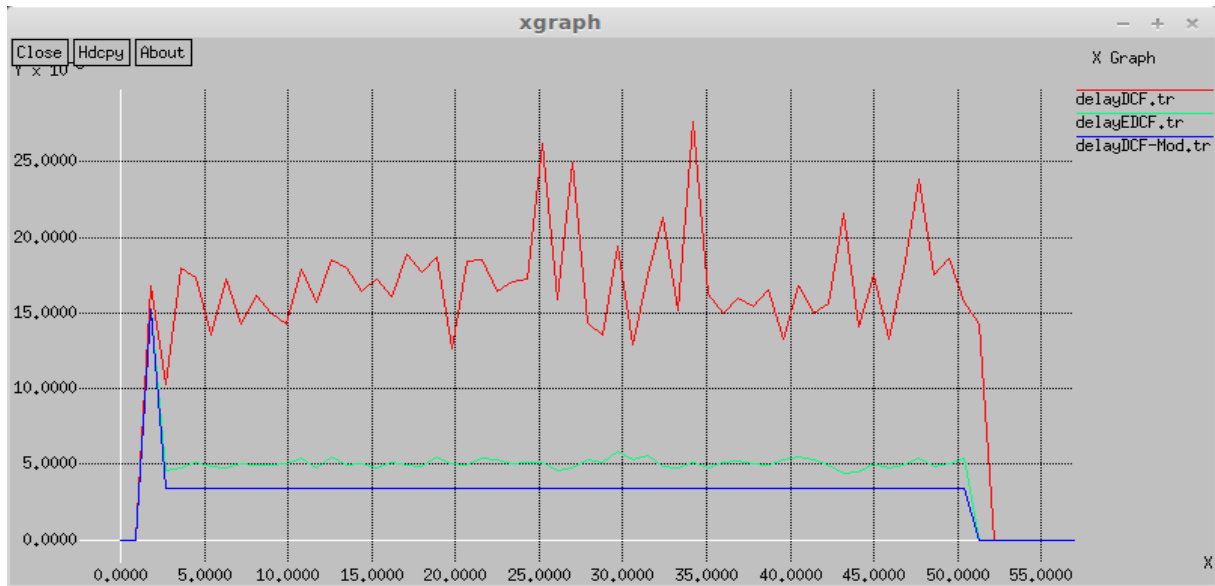
#### IV.5.4.2.1 Le délai

A travers les figures IV-6 et IV-7 nous remarquons que le délai est minimal et reste inchangé pour le trafic critique en utilisant notre méthode d'accès (courbe en bleu), malgré la surcharge du réseau. Ceci est dû à l'ordre pour l'accès au canal que nous avons introduit qui oblige les stations avec un trafic non critique à attendre une certaine durée avant d'émettre.

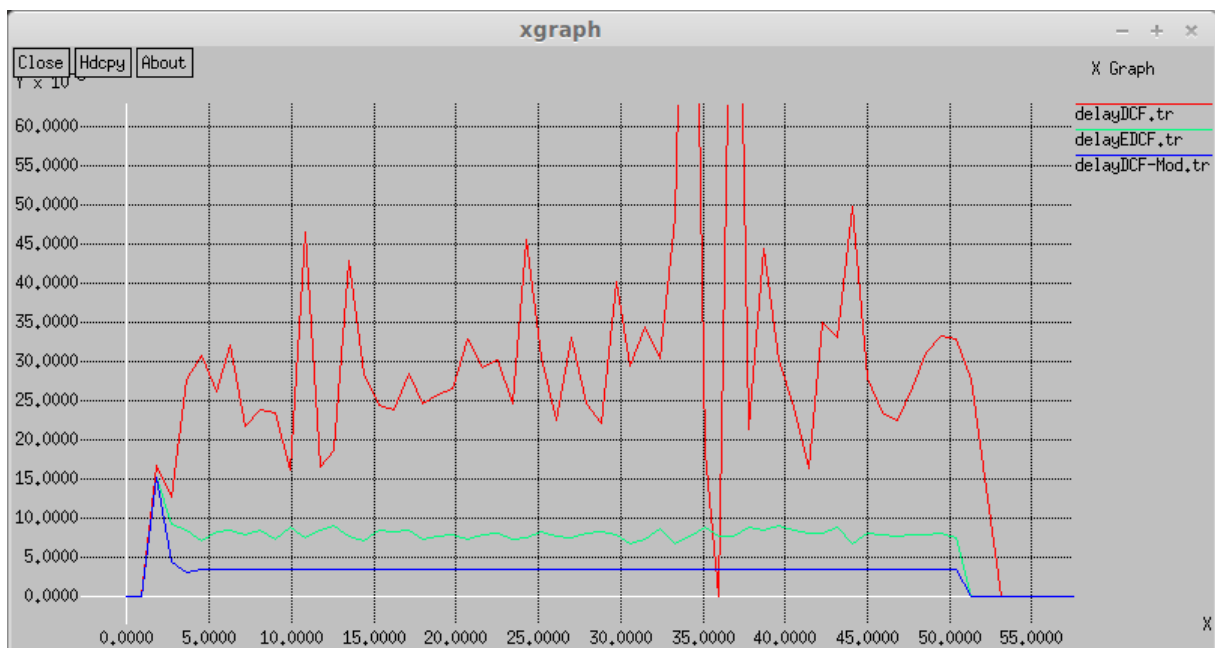
Le délai est faible pour la méthode EDCF (courbe en vert) et se rapproche de celui résultant de notre méthode lorsque le réseau est moyennement chargé. Lorsque le réseau est surchargé, le délai reste toujours faible même s'il augmente pratiquement du double.

La courbe en rouge qui représente le délai de la méthode d'accès DCF qui ne comporte aucune qualité de services est grande et augmente avec la surcharge du réseau.





IV-6. Délais des transmissions du trafic critique des différentes méthodes (réseau moyennement chargé).

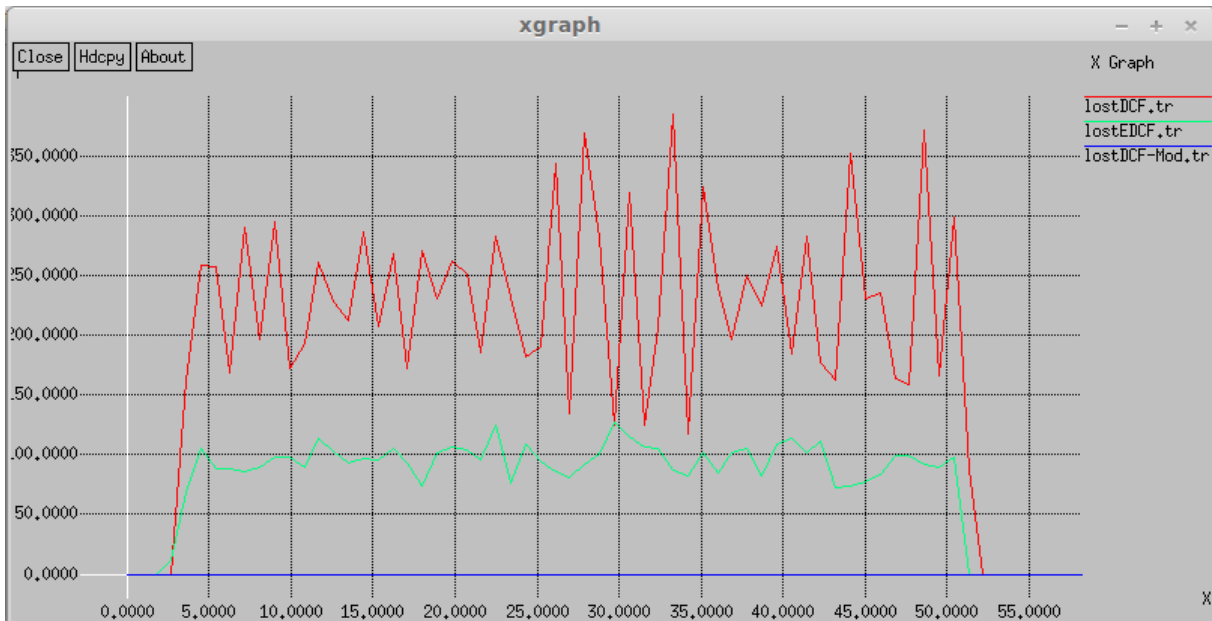


IV-7. Délais des du trafic critique transmissions des différentes méthodes (réseau chargé).

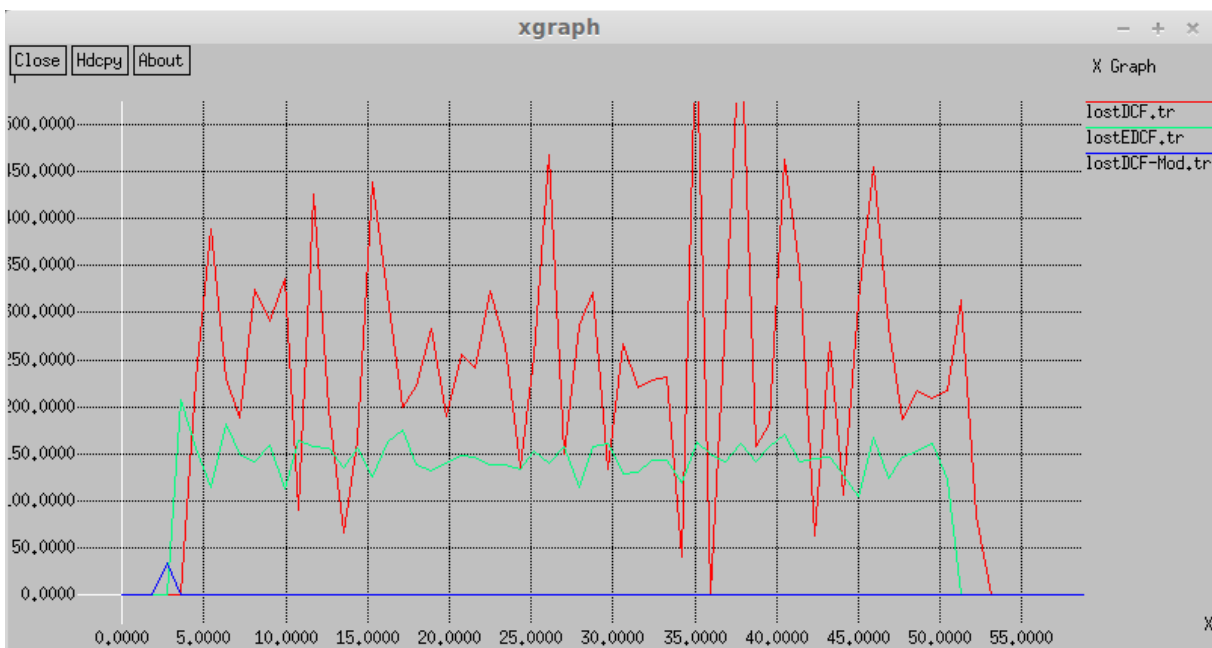
**Remarque :**

Il faut bien signaler que notre simulation ne comporte pas de saut. Alors qu'en réalité les paquets doivent traverser plusieurs stations avant d'arriver à destination, dans ce cas le délai augmente par rapport aux nombres de sauts.

### IV.5.4.2.2 La perte



**IV-8.** Nombre de paquet perdu du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau moyennement chargé).



**IV-9.** Nombre de paquet perdu du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau chargé).

A travers les figures IV-8 et IV-9 nous remarquons que La perte est nulle pour la méthode d'accès DCF modifié (en bleu) ceci s'explique par le fait qu'il n'y a qu'une seule transmission d'un trafic critique et que l'ordre dans l'accès au media oblige les station avec

un trafic non critique à ne pas rentrer en concurrence, en donnant la priorité au trafic critique et ce indépendamment de la charge du réseau.

Concernant la méthode EDCF la perte augmente parallèlement à la charge du réseau. Même si les stations qui émettent un trafic critique tirent un Back-off dans une fenêtre de contention très réduite, le phénomène de la convergence de Backoff va entrainer les autres stations à rentrer en concurrence. Concernant la méthode d'accès DCF la perte est très grande augmente avec la charge du réseau.

#### IV.5.4.2.3 Le débit

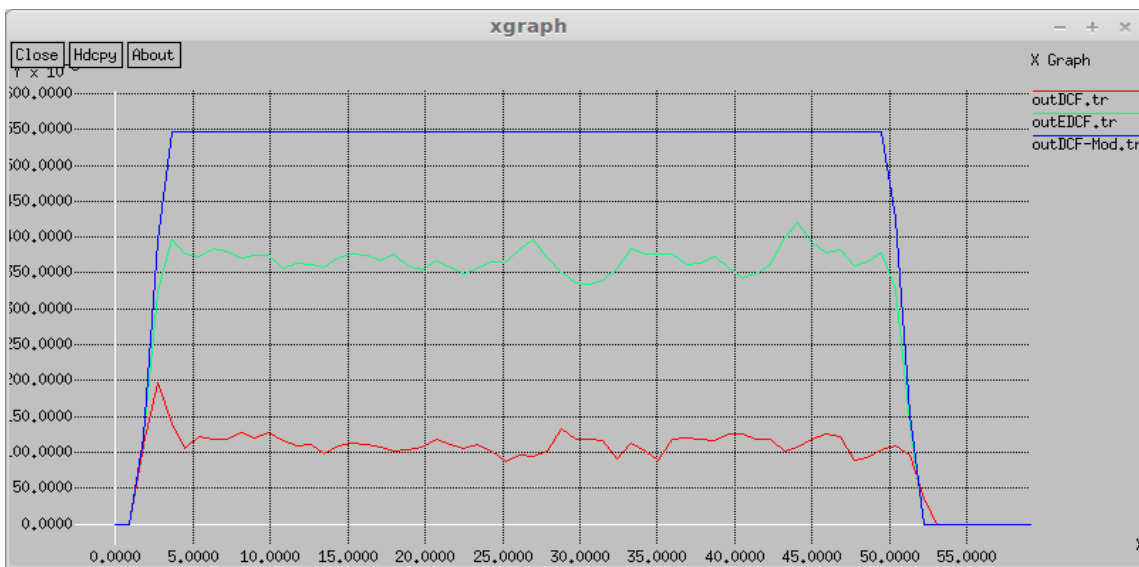


Figure IV-10. Débit utile du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau moyennement chargé).

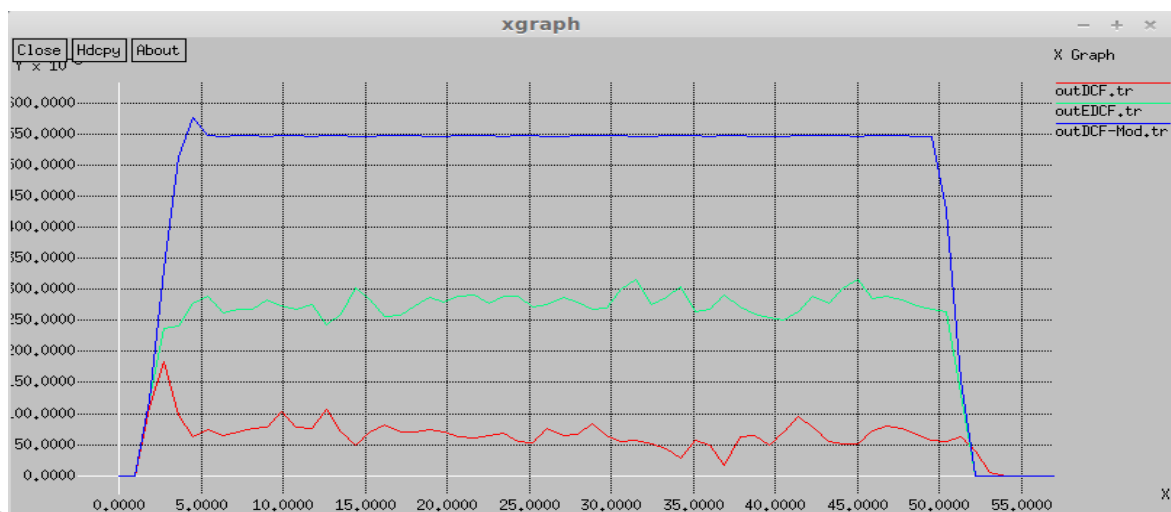
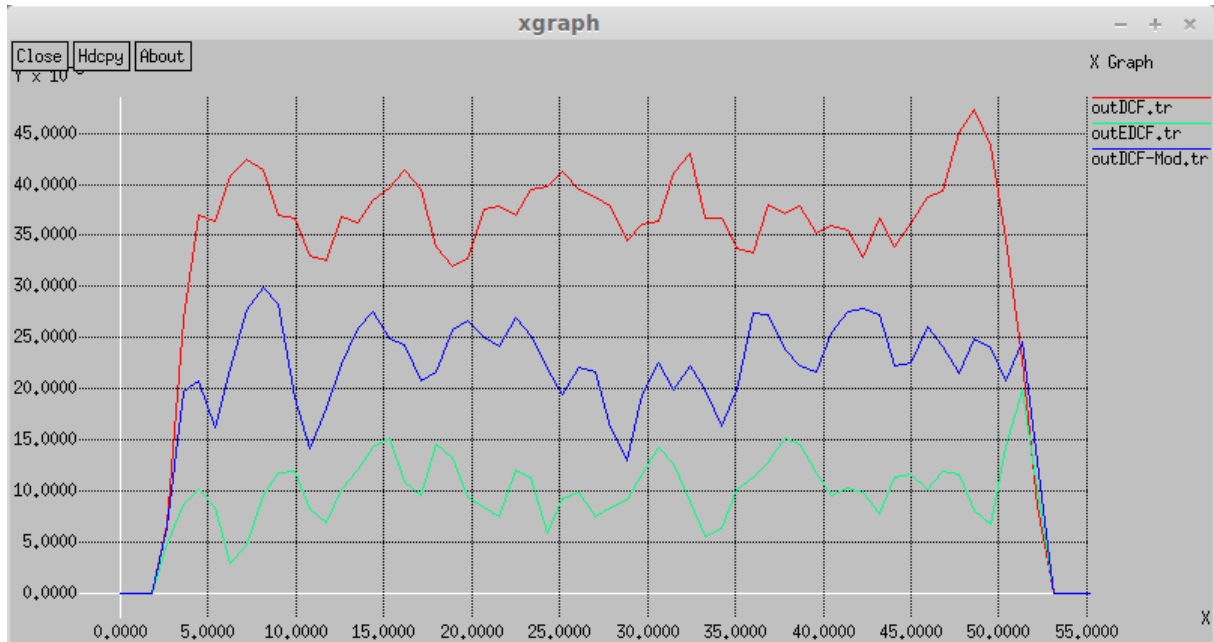


Figure IV-11. Débit utile du trafic critique par rapport au temps des différentes méthodes (réseau chargé).

Ces courbes nous indiquent que le débit varie dans une proportion inverse par rapport à la perte.



**FigureIV-12.** Débit moyen des trafics non critique rapport au temps des différentes méthodes

Ces courbes nous montrent le débit moyen des trafics non critique selon les différentes méthodes d'accès.

Le débit du trafic non critique des méthodes d'accès EDCF et DCF modifié (courbe vert et bleu) est moindre par rapport à celui de la méthode d'accès DCF. Cette constatation est en rapport avec le grand débit du trafic critique qui ressort dans la figure IV-12.

Le débit est moindre pour la méthode EDCF par rapport à celle modifié ceci est en rapport direct avec le nombre collision figure IV-8.

#### IV.5.4.3 Scenario 2

Dans le deuxième scenario nous avons testé deux paramètres à savoir:

- le taux de perte des trafics critiques
- la taille de la fenêtre de contention calculée sur la base des motifs discutés et retenus dans (section IV.3.2.2.4).

Après avoir monté qu'il existe un ordre dans l'accès du canal et qu'il ne peut par conséquent y avoir des collisions entre les trafics de différents types; nous avons décidé de créer un scénario avec seulement des stations émettant un trafic critique.

```
smallko@smallko-myns2 ~/ns-allinone-2.29/ns-2.29/mac/802_11
$ gawk -f loss.awk out2.tr
number of packets sent:43171 lost:3192
```

Les résultats obtenus nous donnent un taux de perte de 7%. Ce taux se rapproche de celui rapporté dans l'étude théorique et qui est de 5%.

#### IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu mettre en évidence une certaine qualité de services rapportée à la modification de la méthode d'accès DCF. Pour aboutir à ce résultat nous avons réalisé une étude comparative basée sur des simulations prenant en compte l'outil NS2. L'étude a concerné respectivement la méthode d'accès DCF du standard 802.11, la méthode d'accès EDCF du standard 802.11e et celle à laquelle nous avons apporté des modifications. Cette étude a démontré que dans un réseau surchargé où un ordre d'accès est introduit que :

- La méthode d'accès EDCF conçue à la base pour apporter une qualité de service ne répond plus à ces objectifs. Cette dégradation de la qualité trouve son explication sur la base des données relatives à la convergence de Backoff et à l'asynchronisme dans l'accès au media.
- La méthode d'accès à laquelle nous avons apporté des modifications présente des avantages en matière de qualité de services.

Ces constatations s'accordent avec les solutions que nous avons proposées à savoir l'ordre dans l'accès au canal.

## **Conclusion générale et perspectives**

Les réseaux sans fil se caractérisent par une flexibilité d'emploi sans cesse croissante. Les réseaux ad hoc sont une variété de réseaux sans fil équipés d'une technologie de transmission sans fil et dotés de protocoles permettant la mise en réseaux de ceux-ci. Cependant, il est très difficile de garantir une quelconque qualité de service à une application temps réel dans un réseau ad hoc, car il faut prendre en considération les spécificités de ces réseaux. En effet, la méthode d'accès utilisée dans les réseaux ad hoc est la méthode d'accès DCF du standard 802.11, cette dernière ne comporte aucune garantie en termes de qualité de services. Ce point faible s'explique par le fait que toutes les stations ont le même droit d'accéder au canal peu importe le type de trafic qu'elle souhaite émettre.

Dans notre travail, nous avons tenté de mettre en œuvre une certaine qualité de service à savoir garantir un service différencié pour les applications exigeantes. Pour ce faire, nous avons étudié les différents problèmes liés à la méthode d'accès DCF sur la base des travaux se rapportant à la question afin de dégager quelques solutions. Par ailleurs, l'accès d'une manière aléatoire au canal constitue une limite à cette méthode qui se manifeste et devient évidente avec l'augmentation de la charge du réseau. Le principal problème étant l'absence d'un ordre dans l'accès au support partagé. En effet, comme l'accès au médium se fait d'une manière aléatoire, il devient asynchrone.

Dans notre contribution, nous avons expliqué comment la convergence du backoff rendait inefficace la solution qui est de diminuer la valeur de backoff pour accéder au canal en premier.

A travers l'étude et les simulations effectuées, nous avons pu mettre en place cet ordre dans l'accès et en même temps confirmer les problèmes que nous avons cités à savoir l'asynchronisme dans l'accès et la convergence de Back-off.

Nous pensons à travers ce travail avoir apporté une contribution relative au problème de la qualité de service QoS, qui a permis un essor considérable des réseaux sans fil et qui représente encore un véritable déficit pour les concepteurs appelés à œuvrer dans un cadre pluridisciplinaire.

Ce travail peut être perfectionné par des travaux futurs qui testeront notre algorithme d'accès différencié dans des scénarios plus compliqués, où il s'agit :

- d'ajouter d'autres classes de service pour des trafics moins exigeants ;
- de diminuer le taux de perte des trafics non critique en adaptant la taille de la

fenêtre de contention par des méthodes telles que EIED ou LMILD ;

- de tester l'algorithme dans le cas des stations cachées ;

Nous pensons aussi orienter notre recherche vers la conception de fonctions qui assurent la sécurité du réseau contre des altérations hostiles au mécanisme du backoff.

*Clcours.com*

## **Bibliographie**

- [1] 802.11. IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks- Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999), 2007.
- [2] 802.11. IEEE Std 802.11-1997 Information Technology- telecommunications And Information exchange Between Systems-Local And Metropolitan Area Networks-specific Requirements-part 11: Wireless Lan Medium Access Control (MAC) And Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std 802.11-1997, 1997.
- [3] 802.11e. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements. IEEE Std 802.11e-2005 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003)), 2005.
- [4] 802.11k. IEEE Standard for information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1 : Radio Resource Measurement of Wireless LANs. IEEE Std 802.11k-2008 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007), 2008.
- [5] 802.11r. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 2: fast Basic Service Set (BSS). IEEE Std 802.11r-2008 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k- 2008), 2008.
- [6] Ban, K. and H. Gharavi. "IEEE 802.11 FHSS receiver design for cluster-based multihop video communications," *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2 (6): 595-605, 2002.
- [7] Vassiss, D., et al. "The IEEE 802.11 g standard for high data rate WLANs," *IEEE network*, 19(3):21—26, 2005.
- [8] Vermeer, V. and L. Technol. "Wireless LANs; Why IEEE 802.11 DSSS?." *Wescon 97. Conference Proceedings*. 172-178. 1997.
- [9] Lacage, M., et al. "IEEE 802.11 rate adaptation: a practical approach." *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. 126—134. 2004.
- [10] Jun, J., et al. "Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications." *Proceedings of the IEEE International Symposium on Network Computing and Applications*. 249—257. 2003.



- [11] O'Hara, B. IEEE 802.11 handbook: "a designer's companion". Institute of Electrical Electronics Engineers (IEEE), 2004.
- [12] Sousa, E. and J. Silvester. "Optimum transmission ranges in a direct-sequence spread-spectrum multi-hop packet radio network," IEEE journal on selected areas in communications, 1988.
- [13] Lee, WCY. "Estimate of channel capacity in Rayleigh fading environment," Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 39 (3):187—189, 2002.
- [14] Terry, J. and J. Heiskala. OFDM wireless LANs: "a theoretical and practical guide". Sams Publishing, 2001.
- [15] S. Corson, J. Macker, "Mobile Ad hoc Networking (MANET)". Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations', Request for Comments 2501, IETF, January 1999.
- [16] James A. Freebersyser, Barry Leiner, "A DoD perspective on mobile ad hoc networks", Ad Hoc Networking, Addison Wesley, pp. 29-51, 2001.
- [17] Khaled Dridi, Khaled Dridi. "Spécification du protocole MAC pour les réseaux IEEE 802.11e a différenciation de services sous contrainte de mobilité". Other. Université Paris-Est, 2011.
- [18] Rabah Meraihi. "Quality of service support and topology control in mobile ad hoc networks". Domain other. Telecom ParisTech, 2005.
- [19] Mémoire de magister : "CONTRIBUTION À LA GESTION DE QUALITE DE SERVICES DANS LES RESEAUX LOCAUX SANS FIL". Nadia Benhamel et Malika Bourenane, Université d'Oran, 2013.
- [20] The Institute of Electrical and Electronics Engineers , Inc. IEEE Std 802.11 – Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1999 edition.
- [21] 802.11a : High-speed Physical Layer in the 5 GHz band.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11a-1999.pdf>, 1999.
- [22] 802.11b : Higher speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11b-1999.pdf>, 1999.
- [23] 802.11g : Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11g-2003.pdf>, 2003.
- [24] 802.11n : Enhancements for Higher Throughput, 2008.
- [25] 802.11i : Medium Access Control (MAC) Security Enhancements.  
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11i-2004.pdf>, 2004.
- [26] 802.11d : Specification for Operation in Additional Regulatory Domains.

- <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11d-2001.pdf>, 2001.
- [27] 802.11h : Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5GHz band in Europe. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11h-2003.pdf>, 2003.
- [28] 802.11j : 4.9 GHz–5 GHz Operation in Japan. <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11j-2004.pdf>, 2004.
- [29] Bonald, T., and al. “Statistical performance guarantees for streaming flows using expedited forwarding.” IEEE INFOCOM 2 . 1104—1112. 2001.
- [30] Bluetooth special interest group. Specification of the bluetooth system 1.0b, volume 1: Core, <https://www.bluetooth.org>, November 2003.
- [31] K.J Negus, J. Waters, J. Tourrilhes, et al. Homerf and swap: Wireless networking for the connected home. ACM Mobile Computing and Communications Review, 2(4), 1998.
- [32] The Institute of Electrical and Electronic Enginners. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: High-speed physical layer in the 5 ghz band. Technical report, IEEE standard 802.11, 1999.
- [33] R.D.J. van Nee, G.A. Awater, Masahiro Morikura, et al. New high-rate wireless lan standards. IEEE Communications Magazine, 37(12), 1999.
- [34] ANSI/IEEE Std 802.11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC ) and Physical Layer ( PHY) Specifications, 1999 Edition Part11.
- [35] N. Prasad, A. Prasad. “WLAN Systems and Wireless IP for Next Generation Communication”, Edition Artech House 2002.
- [36] Odom, Wendell, and Michael J. Cavanaugh. “IP Telephony Self-Study Cisco DQOS Exam Certification Guide”. USA: Cisco Press, 2004.
- [37] WANG, W., LIEW, S. et LI, V. “Solutions to performance problems in VoIP over a 802.11 wireless LAN”. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 54 (1), 366–347, 2005.
- [38] RIGGIO, R., MIORANDI, D., DE PELLEGRINI, F., GRANELLI, F. et CHLAMTAC, I. “A traffic aggregation and differentiation scheme for enhanced QoS in IEEE 802.11-based wireless mesh networks“. Comput. Commun., 31(7), 1288–1300. 2008.
- [39] Vaduvur Bharghavan, Alan J. Demers, Scott Shenke and Lixia Zhang. MACAW : “A media access protocol for wireless LAN’s“. In Special Interest Group on Data Communications (SIGCOMM), pages p. 212–225, 1994.
- [40] Philippe Jacquet and Thomas Clausen. “Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) “. Internet Request For Comments RFC 3626. Internet Engineering Task Force (IETF), October 2003.
- [41] C. E. Perkins, P. Bhagwat . “Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector

- routing protocol (DSDV) “. In Proc. of the SIGCOMM 1994 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, pages 234 – 244, August 1994.
- [42] Charles E. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer and Samir Das. “Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing“. Internet Request For Comments RFC 3561. Internet Engineering Task Force IETF, July 2003.
- [43] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya . “Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks“. In Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, pages p. 66–75, Dallas, Texas, United States, 1999.
- [44] Zygmunt J. Haas, Marc R. Pearlman and Prince Samar. “The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks - Internet Draft“. Internet Engineering Task Force (IETF), July 2002.
- [45] F. BAI, N. SADAGOPAN and A. HELMY. “Important: A framework to systematically analyze the impact of mobility on performance of routing protocols for ad hoc networks”. In Proceedings of IEEE Infocom, April 2003.
- [46] Zhu, H., M. Li, I. Chlamtac et B. Prabhakaran. “A survey of quality of service in IEEE 802.11 networks”. IEEE Wireless Communications, special issue mobility and ressource management, Vol. 11, No. 4, pp. 6-14, 2004.
- [47] M. Barry, A. Campbell and A. Veres. “Distributed control algorithms for service differentiation in wireless packet networks”. In Proc. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), volume 1, pages 567–588, 2001.
- [48] Z. Mammeri. “Concepts et mécanismes de la qualité de service du point de vue réseau” : Mécanismes du contrôle de la qualité de service : applications temps réel et multimédia. Abdelhamid Mellouk (Eds.), Hermès Science Publications, p. 23-51, mars 2007.
- [49] Xiao, Y. “IEEE 802.11 e: QoS provisioning at the MAC layer,” Wireless Communications, IEEE, 11 (3):72—79, 2004.
- [50] IEEE 802.11 WG, Draft Supplement to STANDARD FOR Telecommunications and Information Exchange Between Systems-LAN/MAN Specific Requirements – Part 11 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : Medium Access Control (MAC) Enhancement for Quality of Service (QoS), IEEE 802.11e/Draft 3.0, May 2002.
- [51] K. Wu and J. Harms « QoS Support in Mobile Ad Hoc Networks». Crossing Boundariesthe GSA Journal of University of Alberta, Volume 1, n° 1, pages 92- 106, Nouvember 2001.
- [52] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss. “An architecture for differentiated services”. Internet Request For Comments RFC 2475, IETF, December1998.

- [53] C. Chaudet and I. Guérin-Lassous. “Etat des lieux sur la qualité de service dans les réseaux ad hoc”. In Proceedings of Colloque Francophone sur l’Ingénierie des Protocoles (CFIP’06), pages p. 229–251, Tozeur, Tunisie, 2006.
- [54] R., M. Conti et E. Gregori. “Design of an enhanced access point to optimize TCP performance in Wi-Fi hotspot networkks”. *Wireless Networks*, Vol. 13, pp. 259- 274, 2007.
- [55] Soomro, A. and D. Cavalacanti. “Opportunities and challenges in using WPAN and WLAN technologies in medical environments”. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, No. 2, pp.114-122, 2007.
- [56] Ni, Q., L. Romdhani et T. Turletti. “A survey of QoS enhancements for IEEE 802.11 wireless LAN”. *Journal of wireless communications and mobile computing*, Vol. 4, No. 5, pp. 547-566, 2004.
- [57] Ni, Q. “Performance analysis and enhancements for IEEE802.11e wireless networks”. *IEEE Network*, Vol. , pp 21-27, 2005.
- [58] NS-2 Simulator. [http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/User\\_Information](http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/User_Information), date d’accès 2007.
- [59] Gast, M. 802.11 Wireless networks : the definitive guide. O’reilly, 2002.
- [60] D. Chalmers and M. Sloman, “A Survey of Quality of Services in Mobile Computing Environments”, 1999.
- [61] Heusse, M., F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and A. Duda. “Performance anomaly of 802.11b”. *IEEE INFOCOM*, 2003.
- [62] Labiod, H., H. Afifi. “De bluetooth à Wi-Fi”. GET et Lavoisier, Paris, ISBN 2-7462-0813-X, 2004.
- [63] Lindgren, A., A. Almquist et O. Schelén. “Evaluation of quality of service schemes for IEEE 802.11 wireless LAN’s”. 26th Annual IEEE conférence. Local Computer Networks, Tampa Florida, Novembre 2001.
- [64] Pries, R., K. Heck, P. Tran-Gia et T. Wirth. “QoS traffic in wireless LAN overlapping cells”. *European Wireless*, Athen, Greece. 2006.
- [65] Mangold, S., S. Choi, G. R. Hiertz, O. Klein et B. Walke. “Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LANs”. *IEEE Wireless Communications*, Vol. 10, N°. 6, pp 40-50, 2003.
- [66] I. Jabri. Gestion dynamique des topologies sans fils. “Networking and Internet Architecture”. Université Henri Poincarée - Nancy I, 2008.
- [67] J.L. Sobrinho and A.S.Krishnakumar. “Real-time traffic over the IEEE 802.11 medium access control layer”. *Bell labs technical journal*, pp. 172-187, 1996.

- [68] Sobrinho, J.L. et A.S.Krishnakumar. "Quality of service in ad hoc carrier sense multiple access networks". IEEE journal on selected areas in communications, Vol. 17, No. 8, pp. 1353-1368, 1999.
- [69] A.G. Malamos, T.A. Varvarigou, and E.N. Malamas. "Quality Of Service Admission Control For Multimedia End-Systems", Proc. IMACS/IEEE CSCC'99, Greece, 1999.
- [70] Vaidya, N. H., P. Bahl and S. Gupta . "Distributed Fair Scheduling in a wireless LAN". 6<sup>th</sup> Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2000), Boston, USA, pp. 167-178, August 2000.
- [71] Veres, A., AT. Campbell, M. Barry and LH. Sun . "Supporting service differentiation in wireless packet networks using distributed control". IEEE Journal of Selected Areas in Communications, special issue on mobility and resource management in next generation wireless systems, Vol. 19, No. 10, pp. 2094-2104, 2001.
- [72] A. Vogel, B. Kerherve, G.V. Bochmann et J. Gecsei. "Distributed multimedia and QoS a survey". IEEE Multimedia, Vol. 2, No. 2, pp. 10-19. 1995.
- [73] A.G. Malamos, T.A. Varvarigou, and E.N. Malamas. "Quality Of Service Admission Control For Multimedia End-Systems", Proc. IMACS/IEEE CSCC'99, Greece, 1999.
- [74] Muhlethaler, P. "802.11 et les reseaux sans fil". ISBN 2-212-11154-1, Eyrolles, 2002.
- [75] ITU-T Recommendation X 739 ISO/IEC 10164-12, Information Technology-Open System Interconnection-Structure of Management Information: Metric Objects and Attributes, 1993.
- [76] A.G. Malamos, T.A. Varvarigou, and E.N. Malamas. "Quality Of Service Admission Control For Multimedia End-Systems", Proc. IMACS/IEEE CSCC'99, Greece, 1999.
- [77]. ISO/IEC, "The ODP Trading Function", ISO/IEC JTC1/SC21, 1995.
- [78] Aad, I. et C. Castelluccia . " Differentiation mechanisms" for IEEE 802.11. IEEE Infocom 2001. Alaska, USA, pp 209-218, 2001.
- [79] C. R. Lin and M. Gerla, "MACA/PR : An Asynchronous Multimedia Multihop Wireless Network". In Proceedings of IEEE INFOCOM '97, Apr. 1997.
- [80] Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "M ACAW: A M edia Access Control Protocol for Wireless LANs," Proc. SIGCOMM '94 Conf. ACM , pp. 212-225, 1994
- [81] K. Jang, "A New Backoff Algorithm to Guarantee Quality of Service over IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks," LNCS 298, pp 371-376, 2004
- [82] Chonggang Wang, Bo Li, Lemin Li , "A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF", IEEE Transactions on Vehicular Technology , Volume 53, Issue 4 (s): 1235 – 1246, July 2004 Page.
- [83] Deng, J. et RS. Chang. " A priority Scheme for IEEE 802.11 DCF access method", IEICE Transactions in Communications, pp 96-102, 1999.

- [84] Ramos Naomi, Panigrahi Debashis and Dey Sujit. "Quality of Service Provisioning in 802.11e Networks: Challenges, Approaches, and Future Directions". IEEE Network, vol. 19, n4, pp. 14–20, July-August 2005.
- [85] L. Romdhani, Q. Ni, T. Turletti, « Adaptive EDCF : Enhanced Service Differentiation For IEEE 802.11 Wireless Ad-Hoc Networks », in Proc. of IEEE WCNC'03, New Orleans, USA, March 2003.
- [86] M. Malli, Q. Ni, T. Turletti, C. Barakat, "Adaptive fair channel allocation for QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless LAN ", in Proc of IEEE ICC'04, Paris, France, July 2004.
- [87] Y. Kwon, Y. Fong and H. Latchman. " A Novel MAC protocol Fast Collision resolution for wireless LAN's", in Proc. Of IEEE INFOCOM'03, San Fransisco, USA, March 2003.
- [88] Adlen Ksentini, Abdelhamid Nafaa, Abdelhak Gu eroui and Mohamed Naimi, "Adaptive service differentiation for QoS provisioning in wireless ad hoc networks", in Proceeding of ACM PE-WASUN'04, the ACM Workshop on Performances Evaluation of Wireless Adhoc, Sensor and Ubiquitous Network. Venise, Italie, October 2004.
- [89] S. S. Kang and M. W. Mutka, "Provisioning service differentiation in ad hoc networks by the modification of backoff algorithm," In Proceedings of Int'l Conference on Computer Communication and Network (ICCCN'01), Scottsdale, Arizona, October 2001.
- [90]. Zhang et al and YE Cheng-qing, « On service differentiation in mobile Ad Hoc networks », Journal of Zhejiang University, 2004.
- [91] S. Marwaha et al. "Challenges and Recent Advances in QoS Provisioning, Signaling, Routing and MAC protocols for MANETs". In: Proc. of Telecommunication Networks and Applications Conference, pp. 97-102, 2008.
- [92] M. Sulthani, D. Rao. "Design of an Efficient QoS Architecture (DEQA) for Mobile Ad hoc Networks". ICGST-CNIR Journal, vol.8, 2009.
- [93] N. Meghanathan, "Impact of simulation time and network shape on the hop count and stability of routes for mobile ad hoc networks," Proceedings of the 47th Annual Southeast Regional Conference, 2009.
- [94] H. Zhai, et al, "Medium access control in mobile ad hoc networks: challenges and solutions," Wireless Communications and Mobile Computing, volume 6, issue 2, pp 151-170, 2006.
- [95] A. Koub aa, et al, "Improving the IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA MAC for time-critical events in wireless sensor networks," In Proceedings of Workshop of Real-Time Networks, pp 270-277, 2006.
- [96] F. Cali, M. Conti and E. Gregori, "Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit", in IEEE/ACM Networking Transactions, Vol. 8, Dec. 2000.

- [97] Q. Ni, I. Aad, C. Barakat and T. Turletti. “Modeling and analysis of slow decrease for IEEE 802.11 WLAN”, in Proc of IEEE PIMRC’03, Beijing, China, September 2003.
- [98] Y. Know, Y. Fong and H. Latchman. “A Novel MAC protocol with Fast Collision resolution for wireless LAN’s”, in Proc. Of IEEE INFOCOM’03, San Francisco, USA, March 2003.
- [99] V Bharghavan et al, “MACAW: A media acces protocol for wireless LAN’s”, in Proc. Of ACM Specil Group Communication conference (SIGCOMM’94), August, London, UK, 1994.
- [100] Nah-Oak Song, Byung-Jae Kwak, Jabin Song, M. E. Miller, “Enhancement of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function with Exponential Increase Exponential Decrease Backoff Algorithm”, The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, vol. 4, pp. 2775-2778, 2003.
- [101] Y i-hua Zhu, Xian-Zhong Tian, Jun Zheng, “Performance Analysis of the Binary Exponential Backoff Algorithm for IEEE 802.11 Based Mobile Ad Hoc Networks”, IEEE International Conference on Communications (ICC), IEEE Xplore 2011.
- [102] Maali ALBALT, Qassim NASIR, “Adaptive Backoff Algorithme for IEEE 802.11 MAC Protocol”, Int J. Communication, Network and System Science, 4, 246-324, 2009.
- [103] Q. and M. Albalt, “History based adaptive backoff (HBAB) IEEE 802.11 MAC protocol,” Proceedings of CNSR 2008, Nova Scotia, Canada, May 2008.
- [104] for the Network Simulator NS, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/,2006>.

# RÉSUMÉ

Les réseaux sans fil se sont imposés comme moyen de communication et de travail au sein des différentes structures sociales. Les besoins en équipement de plus en plus fiable et l'exigence des utilisateurs ont amené les concepteurs à prendre en compte une notion fondamentale à savoir la qualité de service (QoS) qui s'est érigée en véritable méthode permettant les meilleures conditions d'acheminement d'un trafic de données.

Répondre à l'impératif QoS, apporter des compléments à la méthode d'accès DCF, rendre possible la différenciation de service par le biais de la priorisation aux trafics critiques, tel sont nos objectifs. Pour répondre à ces derniers nous avons mis en évidence les différents volets de notre approche qui nous ont permis d'aboutir à des résultats. D'une part, apporter les paramètres complémentaires à la méthode d'accès DCF ainsi qu'à l'algorithme de backoff; d'autre part, dégager des solutions à partir d'une analyse détaillée qui prend en compte l'asynchronisme dans l'accès au canal, ainsi que la convergence de l'algorithme de backoff.

## **Mots clefs :**

Ad hoc, 802.11, 802.11e, QoS, DCF, EDCF, backoff, IFS, méthode d'accès, différenciation de services.



# RÉSUMÉ

Les réseaux sans fil se sont imposés comme moyen de communication et de travail au sein des différentes structures sociales. Les besoins en équipement de plus en plus fiable et l'exigence des utilisateurs ont amené les concepteurs à prendre en compte une notion fondamentale à savoir la qualité de service (QoS) qui s'est érigée en véritable méthode permettant les meilleures conditions d'acheminement d'un trafic de données.

Répondre à l'impératif QoS, apporter des compléments à la méthode d'accès DCF, rendre possible la différenciation de service par le biais de la priorisation aux trafics critiques, tel sont nos objectifs. Pour répondre à ces derniers nous avons mis en évidence les différents volets de notre approche qui nous ont permis d'aboutir à des résultats. D'une part, apporter les paramètres complémentaires à la méthode d'accès DCF ainsi qu'à l'algorithme de backoff; d'autre part, dégager des solutions à partir d'une analyse détaillée qui prend en compte l'asynchronisme dans l'accès au canal, ainsi que la convergence de l'algorithme de backoff.

## **Mots clefs :**

Ad Hoc; 802.11; 802.11<sup>e</sup>; Qos; DCF; EDCF; Backoff; IFS; Méthode D'accès; Différenciation De Services.