

Mémoire de Master en Recherche Opérationnelle
Option : *Modélisation Mathématique et Evaluation de*
Performance des Réseaux



Thème

**Modélisation Analytique de la norme
IEEE 802.11e mode EDCA Bloc ACK
avec les chaînes de Markov**

Soutenu devant le jury composé de :

Présenté par :

Promoteur : P^r D. AISSANI

M^{elle} GADOUM Loubna

Co-Promotrice : M^{me} L. BACHRI

M^{elle} HAOUARI Siham

Président : M^r N. KHIMOUM

Examinatrices : M^{elle} L. LAKAOUR

M^{elle} Y. DJABALI

Promotion 2015/2016

Remerciements

Tout d'abord, nous devons remercier le Dieu le tout puissant de nous avoir donné tout le courage et la santé pour achever ce travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Monsieur AISSANI Djamil, pour nous avoir suivis durant notre travail, pour ces conseils précieux, pour sa disponibilité et la compétence de son encadrement, qu'elle trouve ici notre reconnaissance et notre respect.

Nous tenons également à remercier notre Co-promotrice Madame BACHIRI Lina pour ses précieux conseils, ses commentaires et ses encouragements tout au long de ce travail.

Nous remercions Monsieur KHIMOUM Nourdine de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Enfin nous remercions nos familles et nos amis pour leurs soutien moral et leurs aides, ainsi que tous ce qui nous avaient soutenu et aidé tout au long de ce travail.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis ;

A mes frères Nabil, Karim, Adel, Omar, Fares et leurs épouses ;

a mes chères soeurs Karima, Lina et Wafa ;

A mes grands parents et à toute ma famille ;

A mes adorable amies Fatima, Toubha, Dalila, Kahina, Nissa, Sabrina et Kahina ;

A Ma binôme Siham ;

A Tous mes collègues de la recherche opérationnelle.

Loubna

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes très chers parents, à qui je dois ce que je suis ;

A mon frère Saad et mes soeurs Soraya , Souhila et Lydia ;

A mes grands parents et à toute ma famille ;

A mon fiancé AMEZA Sofiane ;

A ma binôme Loubna ;

A tous ceux qui me sont cher avec toute mon affection..

Siham

Listes des abréviations

AC	A ccess C ategory
AC BE	A ccess C ategory B est E ffort
AC BK	A ccess C ategory B ack G round
ACK	A cknowledgements
AC VI	A ccess C ategory V ideo
AC VO	A ccess C ategory V oice
AIFS	A rbitration I nter F rame S pacing
AP	A ccess P oint
BA	B loc A CK
BEB	B inary E xponential B ackoff
BSS	B asic S ervice S et
CFP	C ontention F ree P eriod
CP	C ontention P eriod
CPU	C entral P rocessing U nit
CS	C arrier S ense
CSMA/CA	C arrier S ense M ultiple A ccess w ith C ollision A voidance
CTS	C lear T o S end
CW	C ontention W indow
DCF	D istributed C oordination F unction
DIFS	D istributed I nter F rame S pacing
DSSS	D irect S equence S pread S pectrum
DTMC	D iscrete T ime M arkov C hain

EDCA	E nhaned D istributed C ontrol A ccess
EIFS	E xtended I nter F rame S pacings
FHSS	F requency H opping S pread S pectrum
FIFO	F irst I n F irst O ut
IEEE	I nstitute of E lectrical and E lectronics E ngineers
IFS	I nter F rame S pacings
IR	I nfra R ed
ISM	I ndustrial, S cientific and M edical
HCCA	H ybrid C oordination F unction C ontrolled C hannel A ccess
HCF	H ybrid C oordination F unction
HiperLAN	H igh performance L ocal A rea N etwork
LIFO	L ast I n F irst O ut
MAC	M edium A ccess C ontrol
MIMO	M ultiple I nput M ultiple O utput
NA	N ormal A CK
NAV	N etwork A llocation V ector
OFDM	O rthogonal F requency D ivision M ultiplexing
OSI	O pen S ystem I nterconnetion
PC	P oint C oordinator
PCF	P oint C oordination F unction
PHY	couche P HYsique
PIFS	P oint C oordination I nter- F rame S pacings
QoS	Q uality of S ervice
RAM	R andom A ccess M emory
RTS	R eady T o S end
SIFS	S hort I nter F rame S pacings
TXOP	T ransmissions O Pportunity
Wi-Fi	W ireless F idelity
WLAN	W ireless L ocal A rea N etwork

Table des matières

Table des matières	iii
Table des figures	vii
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1
1 Standard IEEE 802.11	4
1.1 Introduction	4
1.2 Introduction aux standards IEEE 802.11	4
1.3 Architecture de la norme IEEE 802.11	7
1.3.1 Couche physique	7
1.3.2 Couche MAC(Medium Access Control)	9
1.4 Protocoles d'accès dans l'IEEE 802.11	10
1.4.1 DCF (Distributed Coordination Function)	10
1.4.2 PCF (Point Coordination Function)	12
1.5 QoS au niveau de la couche MAC 802.11	13
1.5.1 Standard IEEE 802.11e	14
1.6 Conclusion	18
2 Introduction à l'évaluation de performance	19
2.1 Introduction	19
2.1.1 Objectif de l'évaluation de performances	20
2.1.2 Technique de l'évaluation de performances	20
2.1.3 Métriques de performances	21
2.2 Rappel sur les Chaînes de Markov et les files d'attente	21
2.2.1 Files d'attente	21

2.2.2	Chaînes de Markov	24
2.3	Conclusion	26
3	Etat de l'art sur les modèles analytiques de DCF et EDCA	27
3.1	Modèles analytiques proposés pour DCF	27
3.1.1	Modèle analytique de BIANCHI-FRATTA-OLIVERI	27
3.1.2	Modèle Analytique de BIANCHI	28
3.1.3	Modèle ZIOUVA - ANTONAKOPOULOS	28
3.1.4	Modèle analytique de TAY - CHUA	31
3.1.5	Modèle CHTZIMISIOS-BOUCOUVALAS-VITSAS	31
3.1.6	Modèle analytique de XIAO	31
3.1.7	Modèle analytique avec le mécanisme de la fragmentation	31
3.2	Modèle analytique proposé pour EDCA	32
3.3	Etude critique sur les travaux	40
3.4	Conclusion	40
4	Modélisation analytique et résultats	41
4.1	Introduction	41
4.2	Protocole EDCA avec Bloc ACKs	41
4.2.1	Acquittement Normal (NA)	42
4.2.2	Acquittement de Bloc ACK (BA)	42
4.3	Modélisation EDCA avec Bloc ACK	42
4.3.1	Les hypothèses de la modélisation	42
4.3.2	Les paramètres du modèle	42
4.4	Modèle analytique	43
4.4.1	Description de la chaîne de Markov	43
4.4.2	Probabilités du modèle	43
4.4.3	Probabilités de transition	44
4.4.4	Probabilités stationnaires	46
4.4.5	Analyse de débit	46
4.5	Résultats numériques	47
4.6	Conclusion	50
	Conclusion générale	51
	Bibliographie	52

Table des figures

1.1	Réseau 802.11 avec infrastructure	5
1.2	Réseau 802.11 ad-hoc	5
1.3	Architecture en couche de la norme 802.11	7
1.4	DCF (Distributed Coordination Function)	12
1.5	Illustration de la méthode PCF	13
1.6	Catégories d'accès EDCA	15
2.1	Éléments d'un système d'attente	22
2.2	Éléments d'un système d'attente	22
3.1	Modèle de chaîne de Markov de ZIOUVA	30
3.2	Chaîne de Markov du protocole IEEE802.11 pour une AC d'une station	33
3.3	Diagramme de transition d'une étape d'un étage de backoff	34
4.1	EDCA : modèle de chaîne de Markov pour une AC par station	44
4.2	Débit normalisé : $BER = 10^{-5}$ et $BER = 10^{-3}$	49
4.3	Débit normalisé : $BER = 0$	50

Liste des tableaux

4.1	Paramètres du modèle	43
4.2	Valeurs des paramètres du système.	48

Introduction générale

Ces dernières années ont connu une démocratisation des réseaux sans fil. Les réseaux sans fil font maintenant partie du quotidien de l'homme par l'utilisation accrue des téléphones portables, la multiplication des hotspots WiFi dans les villes et l'installation de réseaux domestiques gravitant autour d'une box fournissant aux utilisateurs aussi bien un accès filaire que sans fil. Les réseaux industriels, utilisant traditionnellement des technologies filaires se sont tournés vers le sans-fil à cause de la facilité d'installation et de la flexibilité que ces technologies apportent. Une grande variété de standards de communications sans fil suit cette évolution pour satisfaire à ces besoins. De nos jours, plusieurs de ces standards existent, supportant des débits de données de plus en plus grands : IEEE 802.11, HiperLAN, Bluetooth, HomeRF, etc.

La norme IEEE 802.11 définit deux catégories possibles pour la formation des réseaux, les réseaux avec infrastructure, et les réseaux sans infrastructure (réseaux Ad Hoc). Dans la première catégorie (avec infrastructure), le réseau est constitué d'une ou plusieurs cellules appelée BSS (Basic Service Set) qui est défini comme étant un ensemble de plusieurs nœuds et ces BSS communiquent entre elles par l'intermédiaire d'un AP (point d'accès) et la deuxième catégorie (mode Ad Hoc) ou les BSS communiquent directement[5].

La norme IEEE 802.11 est un standard international s'adressant à la couche physique (PHY) et la couche contrôle d'accès au médium (MAC) du modèle de référence OSI (Open System Interconnexion). Elle a pour but de maintenir l'interopérabilité entre les équipements sans fil de différents constructeurs. Cette norme est conçue avant tout pour bâtir des réseaux autour d'une infrastructure fixe de bornes radio reliées entre elles par un réseau câblé. Mais la méthode d'accès au canal qu'elle propose par défaut fonctionne de manière totalement distribuée, c'est le DCF (Distributed Coordination Function). Cette dernière, alliée au coût modéré des équipements, a joué un rôle primordial pour l'utilisation de 802.11 dans un contexte Ad Hoc.

La méthode d'accès de base DCF dans les réseaux Ad Hoc du standard 802.11 est incapable d'assurer la performance demandée aux applications voix et vidéo. En effet, DCF a été initialement conçue pour les services Best Effort. Ainsi, l'amendement 802.11e a été publié 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 Control Access).

Les performances d'un réseau IEEE 802.11e sont, avant tout, liées au protocole d'accès au médium (EDCA). L'élément essentiel influençant ces performances est le phénomène collisions. Une collision signifie que sur le même médium, plusieurs nœuds émettent en même temps. Les trames sont perturbées entre elles et quand elles arrivent à la destination, elles sont erronées. Les stations sont obligées d'attendre le temps de transmission de la trame de données, plus un IFS (Inter Frame Spacing) pour détecter une collision. Ce temps perdu aura dégradé les performances du réseau 802.11 en diminuant le débit et en augmentant le délai de bout en bout. Cette dégradation est ainsi directement proportionnelle à la taille de la trame de données émise. D'où l'importance de l'utilisation du mécanisme d'acquittement BA (Bloc ACK) au niveau de la couche MAC (Media Access Control), car il permet d'augmenter le débit et de diminuer ce temps perdu.

L'objectif du travail présenté est donc de proposer un modèle analytique pour le protocole IEEE 802.11e mode EDCA intégrant le mécanisme d'acquittement avec Bloc ACK.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres, comme suit :

Le premier chapitre, est consacré à la représentation de la norme 802.11 et ses extensions et nous avons particulièrement mis l'accent sur la norme IEEE 802.11e mode EDCA, dans le but de considérer la qualité de service.

Le deuxième chapitre concerne l'introduction à l'évaluation de performance.

Dans le troisième chapitre, nous présentons quelques modèles analytiques pour l'évaluation de performance mis en application dans les IEEE 802.11 mode DCF et de IEEE 802.11e mode EDCA.

Dans le quatrième chapitre, nous décrivons le modèle analytique qu'on a proposé pour le protocole IEEE 802.11e mode EDCA en prenant en compte l'acquittement avec Bloc ACK qui

permet un débit plus élevé par rapport à l'acquittement normale (chaque trame est acquittée individuellement).

Enfin, notre mémoire s'achève par une conclusion générale résumant les grands points qui ont été abordés ainsi que les perspectives que nous souhaitons accomplir prochainement.

Standard IEEE 802.11

1.1 Introduction

Au début du 21^{ème} siècle, les réseaux locaux ont connu une évolution très importante, grâce à l'avènement de l'Internet et à l'arrivée en masse des ordinateurs et d'autres matériels mobiles. Ces derniers ont favorisé une utilisation plus courante du réseau local chez les particuliers et au sein de l'entreprise. Les technologies de réseaux sans fil ont été introduites plus tard dans les foyers et dans l'entreprise pour des besoins de mobilité et d'implication du câblage.

Actuellement, parmi les normes des réseaux locaux sans fil, on trouve la norme IEEE 802.11[1] qui a un vif succès et une démocratisation de son utilisation. Ses applications sont de plus en plus nombreuses et généralement orientées vers les besoins du grand public. Elle présente une simplicité dans l'installation des dispositifs. Elle a l'avantage de proposer une topologie dynamique, ce qui offre plus de souplesse dans la configuration du réseau.

1.2 Introduction aux standards IEEE 802.11

802.11 [[7],[14]] est une norme établie par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Elle décrit les couches physiques et MAC d'interface réseau radio et infrarouge . Les débits possibles varient entre 1 et 54 Mbit/s suivant les techniques et les éventuelles extensions de la norme employées. Les portées prévues varient entre quelques dizaines et quelques centaines de mètres en fonction de la vitesse choisie et de l'environnement. Cette norme cible deux contextes d'utilisation :

- **Le mode infrastructure** : est un mode de fonctionnemnt où des stations de base reliées entre elles par un réseau filaire assure la couverture d'une certaine zone et prennent en charge les mobiles dans leur voisinage (figure 1.1).

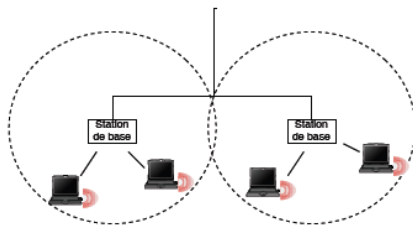


FIGURE 1.1 – Réseau 802.11 avec infrastructure

- **Le mode Ad hoc** : est un mode de fonctionnement qui consiste en fait simplement à autoriser les communications entre deux mobiles à portée l'un de l'autre, sans intervention de stations ou d'autres mobiles extérieurs (figure 1.2).

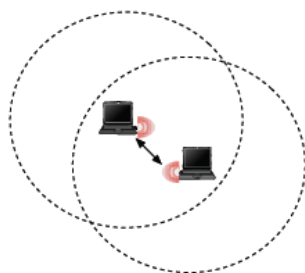


FIGURE 1.2 – Réseau 802.11 ad-hoc

La norme originelle 802.11 date de 1997 et décrit les couches physiques et MAC pour un débit allant jusqu'à 2 Mbit/s en radio, dans la bande des 900 MHz. Les extensions ont été publiées depuis qui viennent lui ajouter des améliorations et des modes de fonctionnement plus performants. Les principales extensions sont les suivantes :

802.11 (version de 1999) : passe dans la bande ISM (Industriel Scientifique and Medical) des 2.4 GHz, avec toujours des débits pouvant atteindre les 2Mbit/s. Cette bande de fréquence est partagée avec d'autres types de réseaux locaux sans fil (Bluetooth en particulier) ainsi que par diverses autres applications.

802.11b : elle propose des débits de 5.5 Mbit/s et 11 Mbit/s en plus de ceux déjà supportés (1 Mbit/s et 2 Mbit/s) en utilisant la couche physique HR-DSSS. Elle est connue sous

l'application Wi-Fi(Wirless Fidelity)[8].

802.11a : ajoute des modes encore plus rapides (jusqu'à 54 Mbit/s) en travaillant dans la bande des 5GHz, mais en utilisant des techniques OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) d'accès au canal.

802.11g utilise des techniques OFDM similaires à 802.11a, mais en restant dans la bande ISM à 2.4GHz. les débits possibles atteignent également les 54 Mbit/s tous en gardent la compatibilité avec les équipements 802.11b.

802.11e : cherche à améliorer 802.11 de façon à pouvoir donner des garanties de qualité de service.

802.11h : s'applique aux normes définies dans la bande des 5GHz et définit une politique de contrôle de puissance et d'allocation dynamique de fréquence.

802.11i : définit un standard dénommé Robust Security Networking qui présente une évolution notoire de la version initiale du protocole de sécurité, le WEP(Wired Equivalent Prvacy), car elle permet d'empêcher l'intrusion d'utilisateur indésirable sur le réseau.

802.11j : établissant la conformité de l'utilisation de la bande 4,9 à 5 GHz avec les règles japonaises.

802.11n-2009 : elle permettra d'atteindre des débits de l'ordre de 500 Mbits/s, les deux propositions actuellement sont basées sur une couche physique de type MIMO(Mutiple Input Mutiple Output)[9].

802.11p : 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 200 Km/h avec une portée allant jusqu'à 1000 m, le travail de ce groupe se pose dans le cadre d'un système de transport intelligent.

802.11ac 2012 : permet un profit de la bande des 60 GHz, la norme stipule en théorie un débit maximal de 7 Gbit/s, une valeur dix fois supérieure à ce qu'autorise l'actuelle norme IEEE 802.11n opérant dans les bandes 2.4 GHz et 5 GHz.

802.11ad 2014 : permet une connexion sans fil haut débit à un réseau local et utilise

exclusivement une bande de fréquence de 5 GHz et un débit théorique pouvant atteindre 1.3 Gbit/s et un débit utile 910 Mbit/s soit jusqu'à 7 Gbit/s de débit global grâce à l'agrégation des canaux, au codage OFDM-OFDMA et à l'utilisation de la technique multi-antennes MIMO.

1.3 Architecture de la norme IEEE 802.11

La norme 802.11 s'adresse essentiellement aux niveaux liaison des données et physique du modèle OSI (Open Systems Interconnection). En fait, elle introduit des modifications sur la couche basse du niveau liaison des données (donc niveau MAC) et sur le niveau physique avec le support de plusieurs méthodes d'accès radio (donc la définition de plusieurs couches physiques). La nouvelle couche MAC est commune à toutes les couches physiques[6].

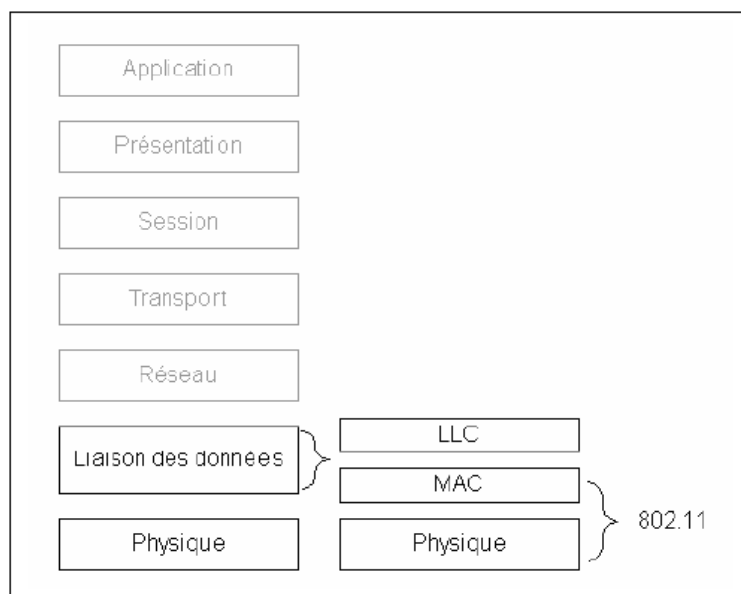


FIGURE 1.3 – Architecture en couche de la norme 802.11

1.3.1 Couche physique

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

- **FHSS** (Frequency Hoping Spread Spectrum) : La plupart des interférences nuisibles aux transmissions radio n'agissent en fait que sur des bandes de fréquence assez étroites. Si par malchance de telles interférences ont lieu au moment où l'on transmet, alors notre signal sera fortement dégradé. Une technique pour protéger notre signal consiste à régulièrement changer de fréquence. Bien sûr les paquets envoyés sur la bande perturbée seront affectés, mais ils ne représenteront plus qu'une minorité des transmissions et leur retransmission sera moins coûteuse. L'émetteur et le récepteur doivent connaître à l'avance le séquençage des sauts de fréquence, mais des informations portées par les paquets permettent à un mobile s'attachant au réseau de savoir à partir d'un paquet qu'il reçoit où en est le déroulement de la séquence.
- **DSSS**(Direct Sequence Spread Spectrum) : Toujours pour lutter contre les interférences importantes mais n'affectant que des plages de fréquences assez étroites, il existe la technique de l'étalement de spectre. Des manipulations sur le signal vont le faire occuper un spectre plus large (on le multiplie par une séquence pseudo-aléatoire ayant certaines propriétés d'auto corrélation). A la réception, une manipulation inverse est effectuée. Cette technique est moins sensible aux interférences dues aux fréquences parasites à faible largeur spectrale.
- **IR** (Infra Red) : consiste à la diffusion d'une lumière infrarouge de longueur d'onde comprise entre 850 et 950 nm pour la transmission des données.
- **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : Ce qui est illustré dans le problème des chemins multiples : lorsqu'un signal radio est émis, l'onde va se réfléchir se réfléchir et donc se diviser sur les divers obstacles rencontrés. A l'arrivée plusieurs chemins pourront avoir été empruntés, et leurs temps de parcours n'étant pas forcément les mêmes, les multiples réflexions/réfractions d'une même onde vont interférer entre elles. Plus la différence de temps de parcours sera grande vis-à-vis de la durée de transmission totale du symbole, plus les chances que des réflexions/réfractions de symboles consécutifs se chevauchent. Pour augmenter le débit, l'approche traditionnelle consiste à réduire la durée d'un symbole, mais cela augmente aussi les problèmes de chemin multiple. OFDM propose donc d'utiliser des symboles plus longs, mais envoyés en parallèle. On peut dire pour résumer succinctement cette méthode qu'en présence de chemins multiples, à débit total. L'agrégation d'un certain nombre de canaux lents donne de meilleurs résultats qu'un seul canal très rapide.

- **MIMO**(Multiple Input Multiple Output) : permet d'augmenter le débit sur un seul canal en créant d'avantage de trajets hertziens pour la transmission des données. Grace à des antennes d'émission et de réception multiples, chaque trajet peut véhiculer un ensemble différents de données sur la même fréquence. MIMO améliore la capacité du réseau en accélérant la transmission des données. Cette technique évite en outre de recourir à des schémas de modulation plus complexe qui réduise la portée et la robustesse d'une solution 802.11. Les propositions actuelles (par le groupe 802.11n) prévoient des largeurs de canaux de 20 et 40 MHz afin d'autoriser une exploitation dans le monde entier et d'accroître une capacité de transmission de données. les canaux de 40 MHz constitués par deux canaux adjacents de 20 MHz, vont plus que doubler l'actuel débit de 54 Mbit/s pour le porté à environ 125 Mbit/s par transmission. La technique consiste à employer de quadruplé de la bande inutilisé existant entre deux canaux. Sachant que le débit augmente proportionnellement par apport aux nombres d'antennes, une configuration MIMO à 2×2 antennes avec des canaux à bande passante élargie procure ainsi un débit de 250 Mbit/s, tendit qu'une configuration 4×4 permet d'approcher 500 Mbit/s ce qui représente un débit optimal pour interconnecter de multiples points d'accès sans fil.

1.3.2 Couche MAC(Medium Access Control)

La couche MAC est en fait une sous-couche de la couche de liaison de données. Son rôle est de déterminer si un nœud a le droit d'émettre afin d'éviter les collisions. Elle utilise deux modes de fonctionnement.

a) DCF (Distributed Coordination Function)

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

b) PCF (Point Coordination Function)

est un mode dans lequel les stations de base ont la charge de la gestion de l'accès au canal dans leur zone de couverture pour les mobiles qui leur sont rattachés.

Dans les réseaux ad hoc multi-sauts, il n'y a pas de station de base fixes et c'est donc le mode DCF qui sera employé.

1.4 Protocoles d'accès dans l'IEEE 802.11

IEEE 802.11 utilise deux protocoles différents d'accès au médium. En effet, au niveau MAC on trouve le DCF (Distributed Coordination Function) et le PCF (Point Coordination Function). Leurs fonctionnalités sont différentes mais elles peuvent être utilisées simultanément par une station (cas des réseaux en mode infrastructure).

1.4.1 DCF (Distributed Coordination Function)

DCF est le protocole d'accès de base introduit par IEEE 802.11. Il est basé sur un schéma CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), le 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). Les stations du réseau souhaitant accéder au réseau vont d'abord s'assurer que le médium est libre pendant un certain temps IFS (InterFrame Space), cette partie de la procédure est appelée CS (Carrier Sense); si le médium est libre, la station accède au médium, sinon la station diffère sa transmission jusqu'à ce que le médium devienne libre. Dès que le médium devient libre, une station souhaitant transmettre doit procéder au backoff en attendant un temps aléatoire tiré dans l'intervalle $[0, CW]$ (CW étant la valeur de la fenêtre de contention); ceci permet de réduire la probabilité de collision. À la réception correcte d'une trame qui lui est destinée, une station doit envoyer un acquittement (ACK), si aucun acquittement n'est reçu par la station émettrice à l'expiration d'une temporisation interne, la station émettrice déduit qu'une collision a eu lieu. Une collision a principalement lieu lorsque la procédure de backoff aléatoire de deux fonctions DCF de deux stations du réseau expirent en même temps. Ainsi, afin de réduire le taux de collisions, la valeur de la fenêtre de contention d'une station subissant une collision est doublée dans la limite de l'intervalle de contention $[CW_{min}, CW_{max}]$ (CW_{min} et CW_{max} étant des paramètres protocolaires décrits ci-après), la trame peut être retransmise jusqu'à atteindre la limite de retransmissions données m .

a) IFS (InterFrame Space)

Le standard définit cinq types d'espace entre trames (IFS) permettant d'instaurer des priorités entre les accès, ces temporisations sont utilisées par DCF et par les autres fonctions d'accès :

- **SIFS (Short InterFrame Space)** : sera utilisé pour séparer deux trames faisant partie d'un même échange atomique; par exemple entre la transmission d'une trame et la transmission de l'acquittement correspondant, entre la transmission d'une trame RTS et la trame CTS correspondante, entre deux trames faisant partie d'une même rafale.

SIFS est le plus petit des IFS, il permet ainsi d'empêcher qu'un échange en cours ne soit interrompu par un autre échange. Sa durée est définie par la valeur de $aSIFSTime$.

- **PIFS (PCF InterFrame Space)** : est la temporisation utilisée par l'élément central du réseau (le point d'accès AP) pour intervenir au profit d'une scrutation. Cette temporisation est utilisée par la fonction PCF et par HCCA. Elle est d'une durée supérieure à SIFS (afin d'éviter qu'une scrutation n'interrompe un échange en cours) mais inférieure à DIFS (afin de rendre une scrutation plus prioritaire qu'un accès avec contention).
- **DIFS (DCF InterFrame Space)** : est la temporisation minimale de médium libre qu'une fonction d'accès avec contention (notamment DCF) doit attendre avant de pouvoir entamer une procédure d'accès.
- **AIFS (Arbitration InterFrame Space)** : est utilisé par EDCA, il représente l'équivalent de DIFS dans DCF, à savoir une temporisation de séparation des trames représentant une partie du mécanisme de différenciation introduit par EDCA.
- **EIFS (Extended InterFrame Space)** : est une temporisation, d'une durée supérieure à DIFS, utilisée suite à une réception erronée par une station afin d'éventuellement permettre à une autre station du réseau d'acquitter la réception du paquet qui, pour la première station, contenait des erreurs.

b) NAV (Network Allocation Vector) :

c'est la durée qui indique combien de temps le canal est utilisée par un autre nœud et cela pour éviter les collisions.

BEB (Binary Exponential Backoff)

Une procédure de backoff est mise en place suite à la détection par la fonction d'accès DCF d'un état de médium libre pour une durée supérieure à DIFS. Cette procédure permet aux stations de réduire la probabilité de collisions. Le backoff correspond à l'attente pendant une durée aléatoire avant de procéder à l'envoi. Ce temps aléatoire ($TempsDeBackoff$) est choisi de la façon suivante :

$$TempsDeBackoff = Uniforme(0, CW) \times aSlotTime$$

Uniforme (a, b) étant la fonction de tirage aléatoire uniforme d'un entier dans l'intervalle $[a, b]$; CW étant la valeur en cours de la fenêtre de contention. La valeur de CW évolue dans l'intervalle $[CW_{min}, CW_{max}]$ défini par le standard, la valeur de CW est initialisée à CW_{min} lorsqu'un

paquet vient d'être envoyé avec succès ou lorsqu'un paquet est rejeté suite au dépassement de la limite de retransmissions. Suite à une collision, la valeur de CW est augmentée de façon exponentielle jusqu'à atteindre la borne maximale CW_{max} afin de réduire le taux de collisions :

$$CW = \min(CW \times 2 - 1, CW_{max})$$

Une fois la valeur du temps de Backoff tirée, elle est décrétementée de 1 à chaque slot libre observé par la fonction d'accès. Lorsque le temps de backoff atteint 0, et si le médium est toujours libre, la fonction d'accès tente l'envoi sur le médium. Si en cours de décrémentation du temps de backoff le médium devient occupé, la valeur en cours du temps de backoff est mémorisée, la décrémentation reprendra au point où elle s'était arrêtée lorsque la fonction observera à nouveau un intervalle DIFS d'inoccupation du médium.

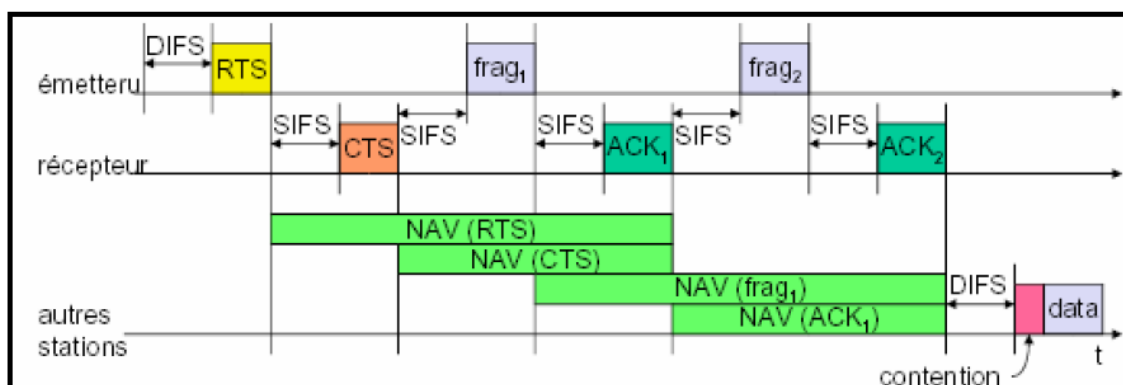


FIGURE 1.4 – DCF (Distributed Coordination Function)

1.4.2 PCF (Point Coordination Function)

Le protocole PCF est encore appelé mode d'accès contrôlé. Il est basé sur un algorithme centralisé pour la transmission synchrone et asynchrone. Cette méthode est fondée sur l'interrogation à tour de rôle des stations, ou polling, contrôlée par le point d'accès qui définit un point de coordination PC (Point Coordinator). Ce dernier gère l'accès de différentes stations au support suivant une liste de priorité (polling list) . Le polling permet l'élimination de contentions. Une station ne peut émettre que si elle est autorisée et elle ne peut recevoir que si elle est sélectionnée.

Le PCF fonctionne en alternance avec le DCF durant l'intervalle de répétition CFP (Contention Free Period) qui est aussi appelé super trame PCF. Le CFP est composé de deux périodes qui

sont déterminées par le PC. La période de contention CP (Contention Period) correspond à la période de temps avec contention durant laquelle DCF est utilisée.

La période CP est précédée de la période CFP qui est définie comme étant la période de temps sans contention pendant laquelle PCF est utilisé.

Cette méthode est conçue pour les applications temps réel (vidéo, voix) nécessitant une gestion du délai lors des transmissions de données.

En fait, DCF est l'accès de base disponible sur les cartes 802.11, vu sa simplicité et sa facilité de déploiement.

PCF n'a jamais été implémenté sur les cartes 802.11, vu sa complexité de déploiement. De plus, l'utilisation du point central est un handicap pour un déploiement complètement Ad Hoc

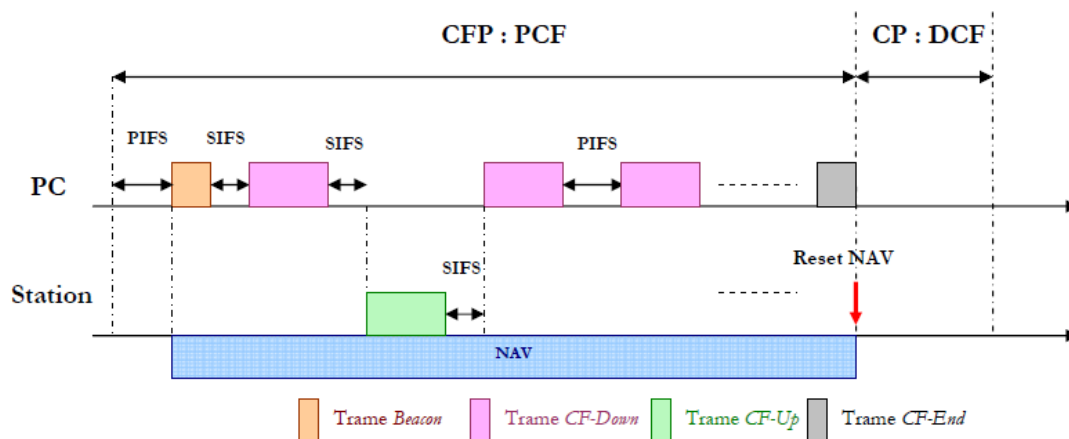


FIGURE 1.5 – Illustration de la méthode PCF

1.5 QoS au niveau de la couche MAC 802.11

Le DCF défini par le standard 802.11 fournit un service au mieux (best-effort) qui n'offre aucune garantie aux stations pour l'accès au canal. Ceci pose inévitablement le problème de la qualité de service exigée par les flux multimédia qui sont très sensibles au délai de transmission et à la variation du débit. Plusieurs travaux ont été menés pour introduire des mécanismes de QoS au niveau de la couche MAC 802.11 en préservant son principe de fonctionnement. Ces mécanismes peuvent être classés en deux catégories : la différenciation de services et la garantie de service.

1.5.1 Standard IEEE 802.11e

Devant la nécessité d'introduire la QoS au niveau de la couche MAC 802.11, le groupe de travail 802.11 a publié en 2005, sous le nom de 802.11e [6], un amendement au standard IEEE 802.11. Cet amendement définit un ensemble d'améliorations de la couche MAC pour le support de la QoS tout en gardant une rétrocompatibilité avec les anciennes normes IEEE 802.11 a/b/g. Les points d'accès et les stations qui implémentent cette nouvelle norme sont appelés respectivement QAP (QoS-enhanced Access Point) et QSTA (QoS-enabled station). Le 802.11e définit une nouvelle fonction de coordination appelée (HFC : Hybrid Coordination Function). Le HFC utilise deux méthodes d'accès concurrentes : EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) et HCCA (HFC-Controlled Channel Access).

a) EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

EDCA représente une amélioration de la méthode d'accès par contention DCF pour introduire plusieurs mécanismes de différenciation de services. L'EDCA définit quatre catégories d'accès (ACs : Access Categories) :

- **AC - VO** : pour les applications temps réels telle que la voix.
- **AC - VI** : pour les applications vidéo.
- **AC - BE** : pour le trafic Best Effort.
- **AC - BK** : pour le trafic Background.

Chaque catégorie possède ses propres paramètres pour accéder au canal de transmission. Trois techniques ont été retenues pour la construction de ces catégories : différents intervalles AIFS[i], différentes tailles pour la fenêtre de contention ($CW_{min}[i]$ et $CW_{max}[i]$) et enfin différentes opportunités de transmission (TXOP[i]), la couche MAC au niveau d'une station est formée de quatre files de transmission dont chacune fonctionne comme une entité de Backoff en mode DCF Ceci est illustré par la Figure 1-6.

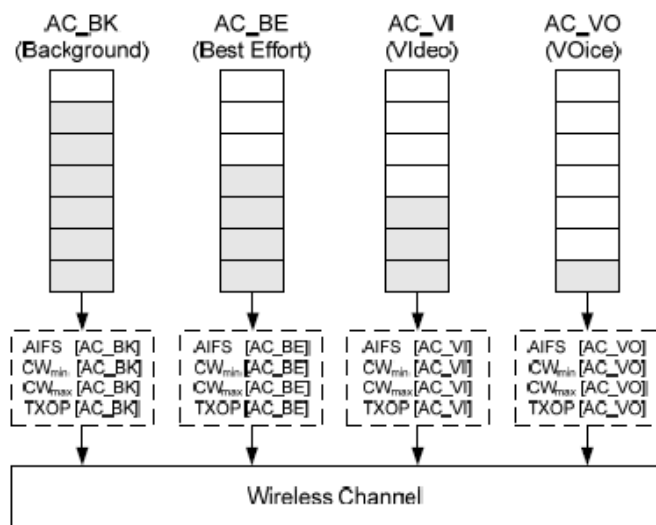


FIGURE 1.6 – Catégories d'accès EDCA

- Procédure de transmission dans EDCA

Dans EDCA, chaque AC dans une station se comporte comme une station virtuelle ; elle doit écouter le canal avant d'initier sa transmission. Si le canal est détecté libre pour une période de temps égale à son AIFS (AC) spécifique, elle lance sa procédure de Backoff en choisissant une valeur aléatoire de sa fenêtre de contention et commence à décrémenter le compteur de Backoff. A chaque slot de temps durant la procédure de Backoff, si l'AC détecte une activité sur le canal, elle stoppe son compteur de Backoff et attend jusqu'à ce que le canal redevienne libre de nouveau pour une période complète AIFS (AC) avant de décrémenter son compteur Backoff. Une fois que le compteur de Backoff atteint la valeur zéro, l'AC transmet sur le canal. Elle continue à transmettre jusqu'à l'expiration de sa limite de transmission en échangeant des séquences de données et d'acquittement avec sa destination séparées par des SIFS. Les acquittement sont utilisés pour notifier la station source de la bonne réception des données. Si la station ne reçoit pas d'acquittement pour une trame donnée, elle considère qu'il y a une collision ou une erreur sur le canal. Dans ce cas, elle attend une période AIFS (AC) avant de commencer la retransmission de cette trame. Les autres stations, qui ne sont pas impliquées par la collision, mais qui la détectent, diffèrent leur transmission d'une période de temps égale à $EIFS - DIFS + AIFS(AC)$.

Quand la collision se produit entre différentes ACs de la même station, l'AC de priorité supérieure obtient la transmission physique sur le canal.

Après chaque échec de transmission, la fenêtre de contention est doublée jusqu'à ce qu'elle atteigne $CW_{max}(AC)$. La valeur initiale de CW est $CW_{min}(AC)$. La trame est rejetée après un nombre maximum de retransmission appelé RETRY LIMITY. Après chaque transmission

réussie, l'AC effectue un Backoff aléatoire même si elle n'a pas d'autres trames à transmettre dans sa file d'attente. Ceci est appelé le post-Backoff, car il est effectué après et non pas avant la transmission.

Comme dans DCF, le RTS/CTS peut également être utilisée dans EDCA en remplacement de la technique d'accès de base décrite ci dessus. Cette technique permet de réserver le canal avant la transmission dans le but de réduire le taux de collision. Elle est particulièrement utilisée lorsque la taille de trames est supérieure à une certaine limite appelée $RTSThreshold$.

- Les paramètres de différenciation de service dans EDCA

Comme nous l'avons évoqué lors de la description du mécanisme d'accès EDCA la différenciation de services est basée sur l'utilisation des trois paramètres de différenciation. $AIFS(AC)$, $CW(AC)$, ($CW_{min}(AC)$, $CW_{max}(AC)$) et $TXOPlimit$ [16]

• Arbitration Interframe Spacing AIFSN et AIFS

Pour assurer la bonne différenciation au lieu d'utiliser une valeur DIFS fixe, un AIFS est appliqué pour chaque AC selon l'équation suivante :

$$AIFS = SIFS + AIFSN \times aSlotTime.$$

$aSlotTime$ est la durée d'un slot de temps.

L'AIFS représente le temps qu'une AC doit attendre avant de lancer son Backoff et essayer de transmettre une trame. Ce paramètre se traduit alors naturellement par un délai d'accès. Ce qui signifie que les ACs ayant un AIFS inférieur sont obligatoirement plus prioritaires car ils accèdent plus fréquemment au canal. Ceci résulte en des délais d'accès plus faibles et des débits obtenus plus importants que les ACs ayant des valeurs supérieures d'AIFS. On comprend alors pourquoi dans les paramètres par défaut du standard présentés dans le tableau 1.1, l'AC-VO et l'AC-VI ont la valeur minimale de ce paramètre car les applications qui utilisent ces deux ACs ne sont pas du tout tolérantes aux délais.

• Fenêtre de contention minimale et maximale CW_{min} et CW_{max}

Pour assurer une différenciation, deux valeurs minimale et maximale sont utilisées pour la fenêtre de contention.

Tout comme AIFS, ces deux paramètres se traduisent par des temps d'attente avant l'accès mais ici au sens statistique et non déterministe comme dans le cas d'AIFS. Car le temps d'attente du Backoff est choisi aléatoirement dans l'intervalle $[0, CW]$ avec $CW = CW_{min}$ au départ. Elle augmente selon la règle $(CW + 1) \times 2 - 1$ pour chaque échec et retransmission jusqu'à atteindre CW_{max} . On a donc intérêt à assigner des valeurs plus faibles de ces paramètres aux ACs prioritaires et plus particulièrement à celles qui ne sont pas tolérantes aux délais d'accès. Ceci justifie encore une fois les valeurs par défaut du standard présentées dans le

tableau 1.1 où l'AC-VO possède les plus faibles valeurs. De plus, CW_{min} définit l'intervalle de Backoff pour la première a plus d'influence sur la performance des flux temps réel que la deuxième. En effet, ces flux temps réel nécessitent d'être transmis aux premiers essais et non pas après plusieurs retransmissions causant des délais croissants.

ACs	CW_{min}	CW_{max}	AIFSN
AC-BK	31	1023	7
AC-BE	31	1023	3
AC-VI	15	31	2
AC-VO	8	15	2

TABLE 1.1 – Parametres d'EDCA

• **TXOPlimit** (transmission opportunity) : est un nouveau paramètre de QoS introduit par le standard IEEE 802.11e, qui est un intervalle de temps (dans HCF) au cours duquel une station a le droit d'envoyer une succession de paquet (un burst de paquets), ce burst contient un nombre de paquets proportionnel à la valeur TXOPlimit . Ce paramètre est utilisé dans les deux mécanismes de QoS, EDCA et HCCA

b) HCCA (HCF Controlled Channel Access)

La méthode d'accès HCCA [6] permet un accès au medium sans compétition avec une gestion centralisée de l'accès. Elle utilise un coordinateur hybride HC (Hybrid Coordinator), qui opère au niveau du point d'accès, pour déterminer quelle QSTA (QoS STATION) a le droit d'émettre. HCCA peut donc être décrite comme une amélioration du PCF. Elle implémente les fonctionnalités du PCF et comprend les améliorations suivantes :

- HCCA donne la possibilité à une QSTA d'émettre plusieurs trames de données dans une seule séquence de transmission. Une station qui accède au support de transmission a le droit à une durée spécifique de transmission, nommée TXOP (Transmission Opportunity), définie par HC. Le TXOP peut avoir une variabilité temporelle permettant ainsi une optimisation de la bande passante.
- Le trafic délivré par le HC et l'allocation des droits de transmission (TXOP), peuvent être programmés pendant la période de contention ainsi que dans toutes les périodes sans contention. Les phases d'accès contrôlées dans la période CP sont nommées CAP (Controlled Access Phase).

1.6 Conclusion

Le réseau WLAN étant une technologie la plus déployée dans le monde, ce type de réseau utilise les radiofréquences pour la transmission des données qui sont à faibles bandes passantes et rendent difficile la détection des collisions. Nous nous intéressons essentiellement au mode de fonctionnement EDCA du standard IEEE 8011e.

Dans ce chapitre, nous avons présenté le mécanisme EDCA du standard 802.11e. Ce dernier a introduit un certain degré de différenciation entre les différents types de trafic, il est donc utile de proposer un modèle analytique pour EDCA afin d'avoir une bonne prédiction des débits et des délais d'accès.

Introduction à l'évaluation de performance

2.1 Introduction

L'évolution permanente des systèmes et réseaux informatiques et des télécommunications souligne le besoin croissant d'outils facilitant l'étude de leur comportement. Il est nécessaire d'avoir une assistance dans les phases de conception (comparaison des solutions), de développement (dimensionnement) et d'utilisation (gestion des flux et de la QoS : Quality of Service) des systèmes et réseaux. En effet, le développement d'un système complexe demande non seulement une modélisation qualitative pour vérifier sa correction logique mais aussi une validation a priori des performances du système lors de la phase de conception. En plus, lorsque ces systèmes possèdent des contraintes temporelles (applications temps réel, par exemple), nous devons inclure parmi les éléments à retenir des considérations de performances qui ne peuvent être abordées avec rigueur que grâce à l'utilisation de techniques quantitatives pour l'évaluation de performances. Parmi de nombreux paramètres de performances d'un réseau, les deux suivants :

- le temps de réponse d'un message qui exprime le délai nécessaire pour qu'un message traverse un équipement réseau (contrôleur de communication, commutateur, ...) ou un réseau entier (temps de réponse de bout en bout). Ce paramètre intéresse surtout les utilisateurs (applications temps réel par exemple) et constitue le paramètre principal de qualité de service (QoS) d'un réseau.
- le rendement (throughput ou encore débit) d'un réseau qui exprime le rapport entre la quantité d'information (par seconde) et la quantité totale d'information (données utilisateurs + données de contrôle + données retransmises en cas d'erreurs) véhiculée par le réseau. Ce paramètre est généralement utilisé pour estimer l'efficacité d'un réseau.

Les réseaux informatiques et de télécommunications numériques sont conçus comme des ressources à partager par plusieurs utilisateurs. Afin de gérer le problème d'accès multiples à une ressource, on utilise une mémoire tampon pour éviter les collisions. Dans un équipement réseau, chaque fois qu'il y a une mémoire tampon, y a des attentes de traitement. Il est donc naturel de modéliser un réseau sous le formalisme de files d'attente.

2.1.1 Objectif de l'évaluation de performances

L'objectif de l'évaluation de performances est de fournir une garantie sur le temps de traversée du système d'un paquet et le débit. Si on ne dispose pas de connaissance sur le trafic d'entrée dans la file d'attente, aucune garantie ne sera possible. Si on dispose d'une connaissance stochastique sur le trafic, une analyse à la base de la théorie des files d'attente fournira des résultats utilisables pour fournir une garantie probabiliste ou en termes de temps moyen de traversée.

2.1.2 Technique de l'évaluation de performances

Parmi les techniques de l'évaluation de performance on trouve :

a) Modélisation analytique

La modélisation est la représentation du fonctionnement d'un système d'une manière plus ou moins précise est nécessaire, il existe beaucoup de formalismes (ou techniques) de modélisation. Le choix de formalismes est déterminé d'une part par la nature du système à modéliser et d'autre part par les résultats que nous voulons obtenir. Deux formalismes souvent utilisés dans le domaine de systèmes et réseaux informatiques sont :

- Les réseaux de Petri qui permettent une analyse plutôt qualitative et quantitative. Cette technique est souvent utilisée pour la validation et la vérification d'un système.
- Les réseaux de files d'attente qui permettent une analyse quantitative. Cette technique est souvent utilisée pour l'évaluation des performances d'un système.

b) Simulation

La simulation est une méthode de mesure et d'étude consistant à remplacer un phénomène, un système par un modèle plus simple. Le système ou phénomène analysé peut être schématisé sous forme d'un modèle mécanique, électronique ou logico-mathématique.

L'objectif d'un modèle de simulation peut être simplement descriptif : étudier le comportement d'un système sous différentes hypothèses d'évolution de l'environnement, ou aussi normatif (décisionnel) : en simulant plusieurs décisions envisagées choisir la meilleure ou la moins mauvaise.

2.1.3 Métriques de performances

Une métrique de performance est alors un critère de mesure choisi pour quantifier les performances d'un système. Dans cette section, nous allons donner la définition de certaines métriques de performances qui existent dans la littérature relative au protocole 802.11

a) Débit effectif global

Il représente la quantité de données utiles transmises avec succès dans un slot de temps complet. Après l'obtention du taux de transmission τ , nous déterminerons l'expression de débit effectif global en appliquant une analyse sur les événements du canal.

b) Délai moyen

Il est défini comme étant la première tentative de transmission d'un paquet jusqu'à ce qu'il soit transmis avec succès.

2.2 Rappel sur les Chaînes de Markov et les files d'attente

2.2.1 Files d'attente

Basé sur deux entités : client et serveur (un client arrive dans une file, attend un service, reçoit le service, se dirige vers une autre file où quitte le système), ce formalisme est largement utilisé pour modéliser des systèmes dans la vie quotidienne (acheter un ticket de cinéma au guichet, passer la caisse de supermarché, etc.), dans l'informatique (une tâche attend dans la RAM pour être traitée par la CPU), dans les télécommunications (un message dans la mémoire tampon de la carte réseau en attendant que le médium de transmission soit libre, dans un commutateur en attendant d'être acheminé vers une bonne ligne de sortie), dans le transport (voiture devant un péage, un feu tricolore), dans la gestion de production dans une usine, etc. La Figure 2.1 représente schématiquement les éléments d'un système d'attente.

Exemple

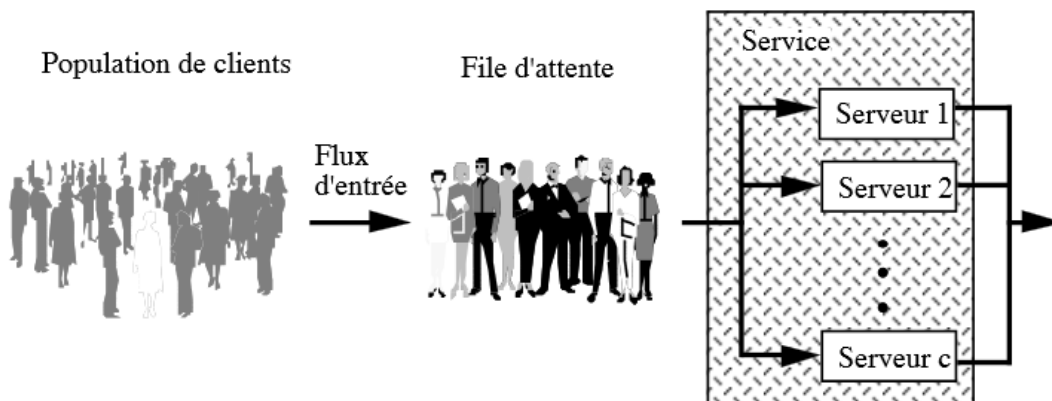
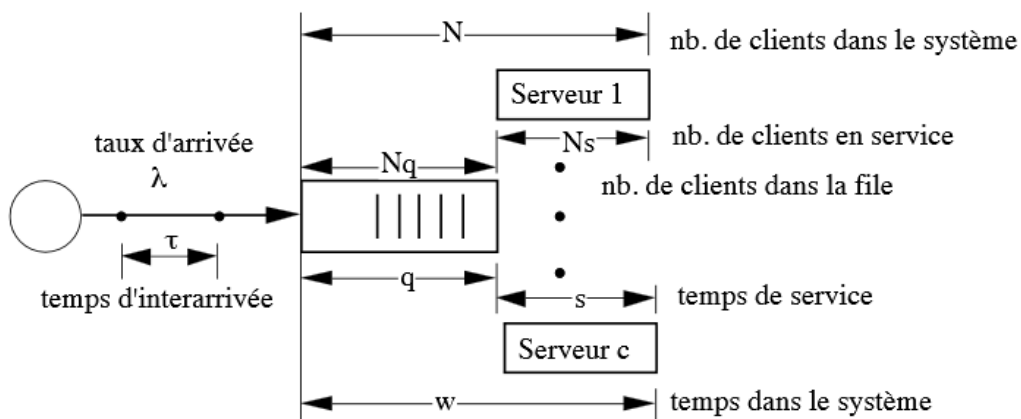


FIGURE 2.1 – Éléments d'un système d'attente

Ce système peut être modélisé en termes de files d'attente comme montré par la Figure 2.2 avec les variables qui peuvent nous intéresser



Où

- q : temps d'attente dans la file
- w : temps de séjour dans le système.

FIGURE 2.2 – Éléments d'un système d'attente

a) Caractérisation d'une file d'attente

- Notation de Kendall

Une file d'attente est notée **A/B/m/k/N/Z** selon Kendall avec :

- **A** : Processus d'arrivée des clients (distribution d'inter arrivée).
- **B** : Schéma de service (distribution de durée de service de clients).
- **m** : nombre de serveurs.
- **K** : capacité maximale de la file d'attente.
- **N** : nombre de clients utilisant le système.
- **Z** : discipline du système qui décrit la façon dont les clients sont ordonnancés.

Pour les arrivées et la loi de la durée de service on utilise les symboles suivants :

- **M** : loi exponentielle.
- **D** : loi déterministe.
- **G** : loi générale.
- H_k : loi hyper exponentielle d'ordre k.
- E_k : loi d'Erlang d'ordre k.
- **PRIOR** (Avec priorité, avec préemption ou sans préemption)

Le nombre de serveurs peut varier de 1 à l'infini (noté ∞), de même pour K et N. En ce qui concerne Z, les ordonnancements les plus utilisés sont :

- **FIFO** (First In, First Out).
- **LIFO** (Last In, First Out).

- Condition de stationnarité pour le système M/M/1

$$\lambda < \mu \tag{2.1}$$

qui s'exprime simplement que le système est stable si le taux d'arrivée des clients est inférieur au taux avec lequel le système évacue les clients.

- Formules de LITTLE

$$\begin{cases} E(N) = \lambda E(w) \\ E(N_q) = \lambda E(q) \end{cases} \tag{2.2}$$

qui s'exprime simplement que le nombre moyen de client dans un système est égal au taux d'arrivées des clients multiplié par le temps moyen d'attente d'un client. La relation suivante existe :

$$E(w) = E(q) + 1/\mu \tag{2.3}$$

2.2.2 Chaînes de Markov

Les chaînes de Markov constituent un outil simple de modélisation et d'évaluation de performances d'une classe particulière de systèmes à événements discrets. Par ailleurs, l'analyse des chaînes de Markov est un préliminaire nécessaire à l'étude des files d'attente et des réseaux de Pétri stochastiques.

a) Processus aléatoire

Un processus aléatoire à valeurs dans un ensemble E , est une famille de v.a (variable aléatoire) X_t à valeurs dans E indexées par un paramètre t décrivant l'ensemble T et on note $(X_t, t \in T)$, E est appelé ensemble des états, E sera en général $\mathfrak{R}, \mathbb{C}, \mathbb{Z}, \mathbb{N}$. T est l'ensemble des indices et ce sera en général \mathfrak{R}, \mathbb{N} , ou \mathbb{Z} . Si les v.a X_t sont définies sur l'ensemble Ω des événements élémentaires, on appellera trajectoire (ou réalisation) du processus $(X_t, t \in T)$ correspondant à l'événement élémentaire ω , la suite $(X_t(\omega), t \in T)$.

b) Chaînes de Markov à temps Discret (CMTD)

- Définition et représentation

Définition 1 :

$(X_n, n \in \mathbb{N})$ est une chaîne de Markov à temps Discret ssi

$$P[X_n = j / X_{n-1} = i_{n-1}, X_{n-2} = i_{n-2}, \dots, X_0 = i_0] = P[X_n = j / X_{n-1} = i_{n-1}] \quad (2.4)$$

On note

$$P_{ij}^{(m,n)} = P[X_n = j / X_m = i] \quad (2.5)$$

Une CMTD est dite Homogène si $P[X_n = j / X_m = i]$ ne dépend que de n et m pour i et j fixés.

On note alors :

$$P_{ij}^{(n)} = P[X_{n+m} = j / X_m = i] \quad (2.6)$$

Dans la suite de ce paragraphe, on s'intéressera uniquement aux CMTD homogènes. On définit la probabilité de transition d'un état i vers un état j en une seule étape P_{ij} :

$$P_{ij} = P_{ij}^{(1)} = P[X_n = j / X_{n-1} = i] \quad \forall n \in \mathbb{N} \quad \forall i, j \in E \quad (2.7)$$

Il est clair que la somme des probabilités en sortant d'un état égal à 1 : $\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1 \quad \forall j \in E$. Notons aussi que $P_{jj} \geq 0$: il est possible de rester dans un état entre deux étapes consécutives.

Pour décrire l'évolution d'une CMD homogène, on peut utiliser soit sa matrice de transition $P = [P_{ij}]_{i,j \in E}$ soit un graphe **état-transition**. La matrice de transition est une matrice carrée d'ordre fini ou infini (selon que l'espace d'état E est fini ou infini) :

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} & \cdots \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & & \\ \vdots & \vdots & & & \\ p_{i1} & & & p_{ij} & \\ \vdots & & & & \ddots \end{bmatrix}$$

- Régime transitoire

L'analyse du régime transitoire consiste à déterminer le vecteur de probabilité

$P_j^{(n)} = P[X_n = j]$ pour que le processus $X_n, n \in N$ se trouve dans l'état j ($j = 1, 2, \dots$) à la n ème étape :

$$\pi^{(n)} = [\pi_j^{(n)}]_{j \in E} = [\pi_1^{(n)}, \pi_2^{(n)}, \dots] \quad (2.8)$$

Ce vecteur des probabilités d'état dépend :

- De la matrice de transition P
- Du vecteur initial π^0

Il s'agit donc de décrire l'évolution du processus depuis l'état initial jusqu'à l'étape n , en passant par toutes les étapes intermédiaires.

D'après la formule des probabilités totales :

$$\pi_j^{(n)} = P[X_n = j] = \sum_{k \in E} P[X_n = j / X_{n-1} = i] P[X_{n-1} = i] = \sum_{k \in E} \pi_i^{(n-1)} P_{ij} \quad (2.9)$$

qui exprime que la probabilité se trouve dans l'état j à la n ème étape du processus n'est rien d'autre que la probabilité de passer d'un certain état i à l'état j pondérée par la probabilité d'être dans l'état i à l'étape précédente. Cette expression s'écrit sous forme matricielle :

$$\pi^{(n)} = \pi^{(n-1)} \times P \quad (2.10)$$

Appliquer n fois cette relation, on obtient la relation qui relie les probabilités d'état à l'étape n à celles de l'état initial :

$$\pi^{(n)} = \pi^{(0)} \times P^n \quad (2.11)$$

Régime stationnaire

L'analyse du régime stationnaire consiste à trouver une limite à $\pi^{(n)}$ lorsque n tend vers l'infini. Cette limite existe mais sous certaines conditions sur la chaîne de Markov.

- dit qu'une chaîne de Markov est irréductible si et seulement si : de tout état i , on peut atteindre tout état j (en un nombre fini d'étapes) ;
- état j est périodique si on ne peut y revenir qu'en un nombre d'étapes multiples de $k > 1$: $\exists k > 1$ tel que $p_{jj}^{(m)} = 0$ pour m non multiple de k . La période de l'état j est alors le plus petit entier k vérifiant cette propriété ;
- On dit qu'une chaîne de Markov est apériodique si le PGCD des périodes de chaque état est égal à 1 ;
- On dit qu'une chaîne de Markov est ergodique si elle est à la fois irréductible et apériodique.

Propriété :

Dans une chaîne de Markov irréductible et apériodique le vecteur des probabilités limites $\pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} \pi_j^{(n)}$ existe toujours et il est indépendant de la distribution des probabilités initiales $\pi^{(0)}$. Le vecteur des probabilités stationnaires π est une solution du système $\pi = \pi \times P$. L'équation $\pi_j = \sum_{i \in E} \pi_i p_{ij}$ (tirée de l'équation $\pi = \pi \times P$) s'écrit de façon équivalente $\sum_{i \neq j} \pi_i p_{ji} = \sum_{i \neq j} \pi_i p_{ij}$ (car $\sum_{j \in E} p_{ij} = 1$). Cette équation s'interprète de la façon suivante : $\sum_{i \neq j} \pi_i p_{ji}$ est le flux moyen de sortie de l'état j . de la même façon $\pi_j = \sum_{i \in E} \pi_i p_{ij}$ est le flux moyen d'entrée dans l'état j . L'équation reliant les probabilités en régime permanent s'interprète donc : pour tout état j , flux sortant de l'état j égale au flux rentrant dans j .

2.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les techniques d'évaluation de performance et quelques définitions sur les chaînes de Markov utilisées pour la résolution des différents systèmes des modèles analytiques.

Etat de l'art sur les modèles analytiques de DCF et EDCA

L'évaluation des performances du protocole IEEE dans le mode Ad Hoc a été le sujet de plusieurs articles dans la littérature. Le cas de saturation est largement abordé parce qu'il représente le pire cas que le réseau peut envisager. Les premiers travaux visent à fournir des modèles théoriques pour étudier les métriques de performance [11], le débit et le délai (pour supporter le trafic à temps réel) sont de bons indicateurs de performance d'un protocole de la couche MAC.

3.1 Modèles analytiques proposés pour DCF

3.1.1 Modèle analytique de BIANCHI-FRATTA-OLIVERI

Les auteurs ont proposé un modèle avec une fenêtre de contention adaptative [3]. Ils ont démontré que cette technique conduit à un comportement stable du protocole et amélioré les performances du système lorsque le trafic et le nombre de station sont très grands. Ils ont étudié CSMA/CA avec le mécanisme RTS/CTS. Ils ont montré aussi que leur technique de la fenêtre adaptative présente une meilleure performance seulement quand les paquets sont de petites tailles. La performance du système a été évalué avec des scénarios de simulation divers. Ils ont démontré que le choix de l'algorithme BeB conduit à une performance fortement liée à la valeur initiale de la fenêtre de contention de Backoff, et au nombre de stations. Pour régler ce problème ils ont proposé une fenêtre adaptative basée sur l'estimation dynamique du nombre de station qui se trouvent dans le réseau. Cette technique améliore le rendement du système significativement et le rend indépendant du nombre de stations. Ils ont supposé un nombre fixe de stations, un générateur de paquets selon un processus exponentiel, un canal idéal sans erreurs de transmission, et l'absence des stations cachées (chaque station peut écouter les autres).

Les métriques de performances du 802.11 considérées sont : le débit effectif est le temps nécessaire pour une transmission.

3.1.2 Modèle Analytique de BIANCHI

Le modèle analytique de BIANCHI [4], évalue la performance du débit de DCF d'IEEE 802.11 sous les conditions de saturation, avec un nombre fixe de stations, sous l'hypothèse du canal idéal. L'auteur a calculé le débit lors de la saturation, qui est une métrique fondamentale de performance. Il le définit comme une valeur maximale atteinte par le système quand le trafic augmente et il représente la charge maximale supportée dans les conditions de la saturation. BIANCHI a modélisé le comportement d'une seule station à l'aide d'une chaîne de Markov à temps discret (DTMC). Ce modèle est considéré comme un modèle de référence à base duquel se sont construits la plupart des modèles qui existent dans la littérature.

3.1.3 Modèle ZIOUVA - ANTONAKOPOULOS

Ils ont étudié la performance théorique des deux mécanismes RTS/ CTS et basique dans le cas de saturation [2]. Ils ont modifié le modèle de BIANCHI avec la prise en compte de l'occupation du canal et son impact sur l'algorithme du Backoff. Les mesures de performances calculées sont le débit effectif et le délai d'attente moyen.

La chaîne de Markov du modèle

Ils ont introduit la probabilité d'occupation du canal P_b , et cette probabilité est constante et indépendante de la procédure du Backoff. Dans leur modèle, ils ont ajouté un état noté par $\{-1, 0\}$.

Avec le modèle illustré dans la figure 3.1, ils ont trouvé la probabilité de transmission τ

$$\tau = \sum_{i=0}^{m_i} b_{i,0} \tag{3.1}$$

Une collision se produit lorsque deux ou plusieurs stations transmettent dans le même slot de temps, alors

$$P = 1 - (1 - \tau)^{N-1} \tag{3.2}$$

Le canal est détecté comme étant occupé lorsqu'au moins une station transmet dans ce slot de temps, donc

$$P_b = 1 - (1 - \tau)^N \tag{3.3}$$

Les mesures de performances calculées sont le débit effectif et le délai d'attente moyen. Ils ont défini D comme une valeur aléatoire qui représente le délai, $E[D]$ est le délai moyen. Le délai est calculé avec l'expression suivante :

$$E[D] = E[N_c](E[BD] + T_c + T_o) + (E[BD] + T_s) \quad (3.4)$$

$$O \quad T_o = \begin{cases} SIFS + ACK - timeout \\ SIFS + CTS - timeout \end{cases} \quad (3.5)$$

$E[N_c]$: Le nombre total de collision jusqu'à la réception.

$E[BD]$: Le temps moyens du Backoff.

T_c : Temps de collision.

T_o : Le temps que la station l'attend lorsqu'un paquet est collisionné.

T_s : Temps de transmission réussite.

$$E[D] = \sum_{i=0}^{m_i} \sum_{k=0}^{W_i-1} K b_{i,k} = \frac{b_{0,0}}{6(1-P_b)} \frac{W^2(1-P-3P(4P)^m)+4P-1}{(1-4P)(1-P)} \quad (3.6)$$

F : La durée de temps pendant laquelle la station gèle son compteur de Backoff.

$$E[F] = E(N_{Fr})(P_s T_s + (1 - P_s) T_c) \quad (3.7)$$

Ou $E(N_{Fr})$ représente le nombre moyen de slots actifs.

$$E(N_{Fr}) = \frac{E[x]}{\max(E[\Psi], 1)} - 1 \quad (3.8)$$

$E(x)$: Délai d'attente moyen de chaque station.

$E[\Psi]$: Le nombre de slots de temps libre avant une transmission.

$$\text{Et finalement } E(BD) = E[x] + E[F]. \quad (3.9)$$

3.1.4 Modèle analytique de TAY - CHUA

Les auteurs ont proposé un modèle mathématique [17], pour étudier le débit maximal d'un réseau saturé en mode basique sous l'hypothèse d'un canal idéal et l'inexistence des stations cachées. Ils ont prouvé que le doublement de la fenêtre W a un effet identique à la division du nombre de station N sur 2 et que le choix de W qui maximise le S (débit) et proportionnel à la racine de la longueur du paquet. Ils ont exprimé le nombre de transmission par une loi géométrique.

Ce modèle donne une expression pour la probabilité de collision, et le débit dans le cas de saturation. Il sert aussi à choisir la taille de la fenêtre de contention, le nombre de stations supportées, et le compromis entre le Backoff et la probabilité de collision.

3.1.5 Modèle CHTZIMISIOS-BOUCOUVALAS-VITSAS

Les auteurs ont développé ; dans [15], un modèle analytique pour étudier l'influence des paramètres de la couche MAC de 802.11 (durées IFSs, CSMA/CA, algorithme BeB et RTS/CTS) sur ses performances. Ils ont mesuré le débit effectif, le temps moyen d'un paquet, la probabilité d'annulation d'un paquet lorsque l'étage de Backoff atteint le nombre maximal de retransmission permise, le temps moyen pour annuler un paquet et le temps inter-arrivées. Ils ont démontré que la combinaison d'une petite fenêtre de contention maximale et d'un grand compteur de retransmission améliore considérablement les performances.

3.1.6 Modèle analytique de XIAO

Ce modèle [18], est une amélioration du modèle de BIANCHI et ZIOUVA . L'auteur a montré qu'il existe une limite finie de retransmission L_{retry} Cette hypothèse est consistante avec la norme IEEE 802.11. Les mesures de performances calculées sont le débit effectif et le délai d'attente moyen.

3.1.7 Modèle analytique avec le mécanisme de la fragmentation

Le modèle analytique avec le mécanisme de fragmentation [13], évalue les performances de DCF d'IEEE 802.11 sous les conditions de saturation, avec la prise en compte de l'opération de la fragmentation.

Chaque station est modélisée comme un système d'attente à temps discret M/G/1. Le service est modélisé par une chaîne de Markov à temps discret (CMTD) à deux dimensions $s(t), b(t)$ sous l'hypothèse que la probabilité de transmission P et la probabilité d'occupation du canal P_b qui sont indépendantes du processus de Backoff [10], et pour introduire le mécanisme de fragmentation ainsi la probabilité de fin de message P_f est ajouté au modèle .

3.2 Modèle analytique proposé pour EDCA

Dans ce modèle le temps est divisé en slot et chaque état représente une AC. Dans le diagramme de transition chaque station est représentée par une AC.

- Description de la chaîne de Markov

Le processus stochastique tridimensionnel $\{s(t), b(t), v(t)\}$ est une chaîne de Markov à temps discrets, tel que $s(t)$ est un processus stochastique qui représente l'étape de Backoff, $b(t)$ représente le compteur du Backoff et $v(t)$ représente le temps restant au cours d'arrêt de la transmission ou bien le temps de collision pour une station donnée à un instant donné.

Chaque état de station est décrit par (j, k, d) , tel que j représente l'étape de retransmission de Backoff $j = 0, 1, \dots, m + h$.

k signifie le compteur de backoff, il prend ses valeurs dans l'intervalle $[0, w_j]$ où w_j dépend de la j ème retransmission réussite

$$W_{j+1} = 2W_j + 1$$

d indique le temps restant avant que le compteur de bakoff soit réactivé.

Les probabilités du modèle :

- P_i : probabilité de collision d'ACi.
- P_b : probabilité d'occupation du canal.

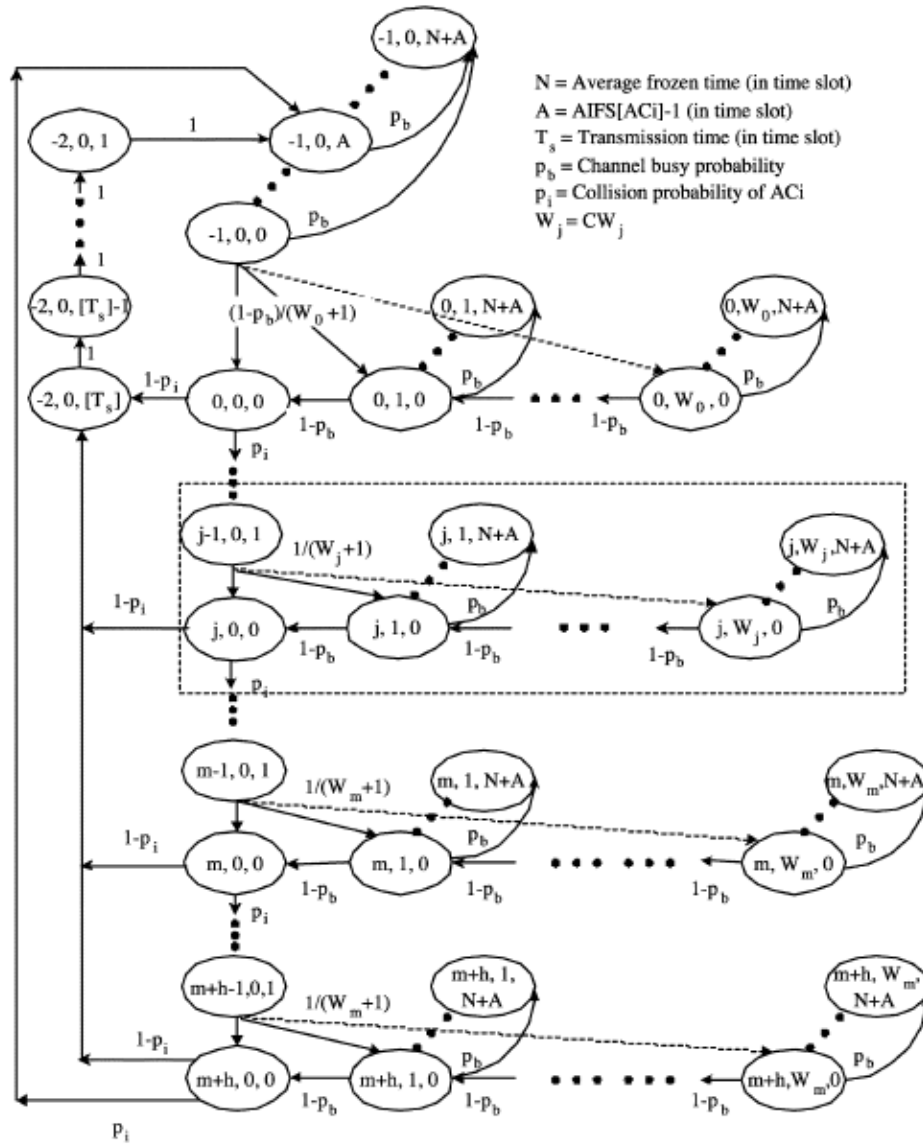


FIGURE 3.2 – Chaîne de Markov du protocole IEEE802.11 pour une AC d'une station

Principe de fonctionnement de la chaîne de Markov

Supposant dans la chaîne de Markov représenté dans la figure.3.2 Le temps d'AIFS Est égale à 4 times slots (c-à-d $A=3$) basé sur le mécanisme RTS/CTS. L'état $(j, 1, 0)$ indique que le paquet cible a eu j collisions et subit le backoff pour la retransmission.

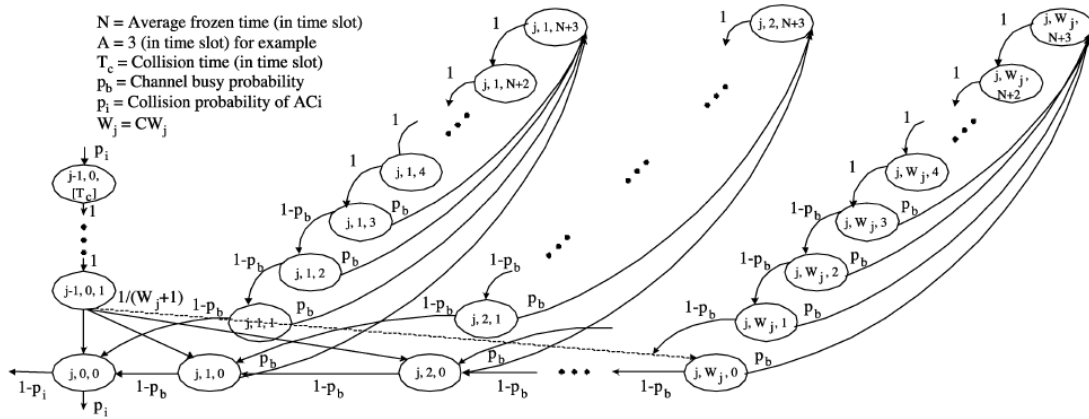


FIGURE 3.3 – Diagramme de transition d'une étape d'un étage de backoff

Dans l'état $(j,0,0)$ si le canal est occupé le compteur de backoff est gelé et commence à reporter sa valeur à l'état $(j, 1, N+3)$. La valeur $N+3$ indique qu'il y a $N+3$ slots temps laissées avant que le compteur puisse être réactivé, et N est le nombre entier le plus proche au temps gelé dans l'unité de slot de temps. Au cours de la période gelée, le temps diminue avec une probabilité 1. La transition de la chaîne à l'état $(j, 1, 3)$ signifie que la période gelée s'est écoulée et la période de déférence est fini. Puis, la station doit surveiller le canal s'il est libre jusqu'à la fin de l'intervalle d'AIFS qui dans ce cas là, est de quatre slots de temps. Si à l'état $(j, 1, 1)$ le canal est encore libre, le compteur du backoff est réactivé et diminue de 1. Ceci mène la l'état $(j, 0, 0)$. Cependant, si une autre AC de haute priorité est détecté sur la même station où dans une autre station avant que la AC cible termine le compte à rebours d'AIFS, puis l'AC gèle son compteur de backoff à nouveau. Ceci est reflété par les transitions de l'état $(j, 1, d)$, $d= 1,2, 3$, à le nouveau état $(j, 1, N+3)$. Le AC doit passer par le procédé de déférence à nouveau jusqu'à l'état $(j, 0, 0)$ pour accéder au canal. si aucune autre AC de haute priorité n'est détecté le paquet de AC cible est transmit avec succès. Un certain temps est exigé pour cette transmission dans les états $(-2, 0, d)$, $d=1,2, \dots, \lceil T_s \rceil$. Où T_s est le temps de transmission réussi dans une unité de slot de temps. Cependant, s'il y a une collision, avant qu'un nouveau backoff soit appelé, un certain temps (timeout) s'écoulera avant que la station implique la

collision. Cette durée est également divisée en slots de temps et dénotée par des états $(j, 0, d)$, $d=1, 2, \dots, T_c$ où $[T_c]$ est le temps de collision. Après une transmission réussie, si le canal est toujours libre, l'AC écrit la première étape de backoff; si le canal est toujours senti occupé pendant la période d'AIFS, l'AC arrête de nouveau (avec le compteur de backoff égale à zéro), et attend jusqu'à la terminaison de la transmission. L'états $(-1, 0, d)$ $d = 1, 2, \dots, N + A$ indique le procédé avant que l'AC écrit sa première étape de backoff.

- les probabilités de transitions

Toutes les probabilités de transition dans ce modèle sont décrites comme suit.

1. Pour les états $(-2, 0, d)$, $d=1, 2, \dots, [T_s]$. le temps progresse par 1 pour chaque slot de temps

$$P\{(-2, 0, d-1)|(-2, 0, d)\} = 1, \quad 2 \leq d \leq [T_s].$$

Après une transmission réussie, un nouveau paquet est programmé pour la transmission

$$P\{(-1, 0, A)|(-2, 0, 1)\} = 1.$$

2. Pour les états $(j, 0, 0)$, $j=0, 1, \dots, m+h$, quand le compteur de backoff est à zéro, si aucun autre AC n'essaye de transmettre au même temps, la transmission est réussi

$$P\{(-2, 0, [T_s])|(j, 0, 0)\} = 1 - p_i, \quad 0 \leq j \leq m + h.$$

Une fois qu'une tentative de transmission rencontre une collision, l'AC écrit la période de collision

$$P\{(j, 0, [T_c])|(j, 0, 0)\} = p_i, \quad 0 \leq j \leq m + h - 1.$$

Si le nombre de retransmission dépasse $m+h$ le paquet est rejeté, et un nouveau paquet est prêt à être transmet

$$P\{(-1, 0, A)|(m + h, 0, 0)\} = p_i.$$

3. Pour les états $(j, 0, d)$, $j=1, 2, \dots, m+h-1$ et $d \geq 1$, quand il y a une collision, un certain temps est nécessaire pour AC pour impliquer la collision (déterminée par ACK Timeout ou CTS-Timeout). Au cours d'une telle période de collision, le temps progresse par un pour chaque slot

$$P\{(j, 0, d-1)|(j, 0, d)\} = 1 - p_i, \quad 0 \leq j \leq m + h, \quad 2 \leq d \leq [T_c].$$

Après avoir impliqué la collision, l'AC double la taille de CW et choisit un nombre aléatoire uniformément distribué dans $[0, W_{j+1}]$ et écrit la prochaine étape de backoff

$$P\{(j+1, k, 0)|(j, 0, 1)\} = \frac{1}{W_{j+1+1}}, \quad 0 \leq k \leq W_{j+1}, \quad 0 \leq j \leq m+h-1.$$

4. Pour des états $(j, k, 0)$, $j=0,1,\dots, m+h$ et $k \geq 1$, le compteur de backoff diminue de 1 si le canal est senti libre, et l'AC n'est pas arrêté

$$P\{(j, k-1, 0)|(j, k, 0)\} = 1 - p_b, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h.$$

Le compteur de backoff est arrêté quand le AC sent l'occupation de canal, et il doit attendre des slots de temps

$$P\{(j, k, N+A)|(j, k, 0)\} = p_b, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h.$$

Pour les états (j, k, d) , $j=0, 1, \dots, m+h$, $k \geq 1$ et $d \geq 1$, quand un slot de temps s'est écoulée au cours de la période arrêté, le temps congelé restant est réduit d'un

$$P\{(j, k, d-1)|(j, k, d)\} = 1, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h, \quad A+1 \leq d \leq N+1.$$

Au cours de la période post-AIFS après la période gelée, si le canal est déterminé pour être libre, le temps congelé restant diminue de 1. Cependant, si à l'extrémité de deuxième dernier slot d'AIFS le canal est encore libre, le compteur diminue de 1 comme souligné avant

$$- P\{(j, k, d-1)|(j, k, d)\} = 1 - p_b, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h, \quad 2 \leq d \leq A.$$

$$- P\{(j, k-1, 0)|(j, k, 1)\} = 1 - p_b, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h.$$

Au cours d'une telle période de post-AIFS, si le canal est déterminé pour être occupé, le compteur est gelé, et le temps congelé restant est remis à l'état initial à $N+A$

$$P\{(j, k, N+A)|(j, k, d)\} = p_b, \quad 1 \leq k \leq W_j, \quad 0 \leq j \leq m+h, \quad 1 \leq d \leq A.$$

Pour les états $(-1, 0, d)$, $d=0, 1, \dots, N+A$ quand le nouveau paquet est prêt pour la transmission, AC écoute le canal pendant une période d'AIFS. Si le canal est libre à la fin de la période d'AIFS, le backoff est appelé. Sinon l'AC reporte la tentative d'accès sans appeler le procédé de backoff

$$\left\{ \begin{array}{ll} P\{(-1, 0, d-1)|(-1, 0, d)\} = 1 - p_b, & 1 \leq d \leq A \\ P\{(0, k, 0)|(-1, 0, 0)\} = \frac{1-p_b}{W_0+1}, & 0 \leq k \leq W_0 \\ P\{(-1, 0, N+A)|(-1, 0, d)\} = p_b, & 0 \leq d \leq A \\ P\{(-1, 0, d-1)|(-1, 0, d)\} = 1, & A+1 \leq d \leq N+A. \end{array} \right.$$

- Equations du système

Soit $b_{j,k,d}$ la probabilité régulière de l'état (j, k, d) , tel que :

$$- b_{j,0,0} = p_i^j b_{0,0,0}, \quad 0 \leq j \leq m+h \quad (3.10)$$

Et

$$- b_{j,k,0} = \frac{W_j+1-k}{W_j+1} b_{0,0,0}, \quad 0 \leq j \leq m+h, \quad 1 \leq k \leq W_j \quad (3.11)$$

Les probabilités régulières de la chaîne de Markov s'écrivant comme suit

$$\begin{cases} b_{j,k,d} = \frac{p_b}{(1-p_b)^A} b_{j,k,0} & A \leq d \leq N+A, & 1 \leq k \leq W_j, & 0 \leq j \leq m+h \\ b_{j,k,d} = \frac{p_b}{(1-p_b)^d} b_{j,k,0} & 1 \leq d \leq A-1, & 1 \leq k \leq W_j, & 0 \leq j \leq m+h \\ b_{j,k,d} = p_i b_{j,0,0} & 1 \leq d \leq [T_c], & 0 \leq j \leq m+h & \end{cases} \quad (3.12)$$

Et

$$\begin{cases} b_{-2,0,d} = (1 - p_i^{m+h+1}) b_{0,0,0}, & 1 \leq d \leq [T_s] \\ b_{-1,0,d} = \frac{1}{(1-p_b)^{d+1}} b_{0,0,0}, & 0 \leq d \leq A \\ b_{j,k,d} = p_i b_{j,0,0}, & 1 \leq d \leq [T_c], & 0 \leq j \leq m+h \end{cases} \quad (3.13)$$

toutes les probabilités $b_{j,k,d}$ peuvent être exprimées en termes de p_b et p_i par conséquent $b_{0,0,0}$ est

$$b_{0,0,0} = \left[\frac{1+N_{p_b}}{p_b} \frac{1-(1-p_b)^{A+1}}{(1-p_b)^{A+1}} + [T_s](1 - p_i^{m+h+1}) + (1 + [T_c]p_i) \frac{(1-p_i^{m+h+1})}{1-p_i} + \frac{1+N_{p_b}}{2(1-p_b)^A} \sum_{j=0}^{m+h} W_j p_i^j \right]^{-1} \quad (3.14)$$

La probabilité de transmission τ est

$$\tau_i = \sum_{j=0}^{m+h} b_{j,0,0} = \sum_{j=0}^{m+h} p_i b_{0,0,0} = \frac{1-p_i^{m+h+1}}{1-p_i} b_{0,0,0} \quad (3.15)$$

La probabilité τ que la station accède au canal est donc

$$\tau = 1 - \sum_{i=0}^3 (1 - \tau_i) \quad (3.16)$$

Une collision se produit lorsque deux ou plusieurs stations transmettent dans le même slot de temps alors

$$v_i = \sum_{d=1}^{\lceil T_s \rceil} b_{-2,0,d} + \sum_{j=0}^{m+h} \sum_{d=0}^{\lceil T_c \rceil} b_{j,0,d} \quad (3.17)$$

Le canal est détecté comme étant occupé lorsqu' au moins une station transmet dans ce slot de temps, donc

$$v = 1 - \sum_{i=0}^3 (1 - \tau_i) \quad (3.18)$$

Enfin, le canal est considéré comme inactif (libre) si et seulement si aucune station ne l'utilise. Par conséquent, la probabilité, P_b , que le canal est occupé est donnée par

$$p_b = 1 - (1 - v)^M \quad (3.19)$$

Où M est le nombre total de stations actives.

La probabilité conditionnelle de collision interne et externe de l'AC $_i$ est :

$$p_i = 1 - (1 - \tau)^{M-1} \prod_{i' > i} (1 - \tau_{i'}) \quad (3.20)$$

Où $i > i'$ les moyens AC $_i$ ' qui a une priorité plus élevée que l'AC $_i$.

Les mesures de performance calculées sont le débit effectif et le délai d'attente moyen

a) Débit

Le débit normalisé d'un AC est calculée comme le rapport du temps occupé par les informations transmises dans l'intervalle entre deux émissions successives. Selon cette définition, le débit de l'AC $_i$ est exprimé comme suit

$$S_i = \frac{p_{si} E[P]}{E[I] + \sum_{i'=0}^3 p_{si'} T_s + AIFS[AC_{i'}] + (1 - \sum_{i'=0}^3 p_{si'}) T_c} \quad (3.21)$$

– P : est la taille de charge utile.

– $E [I]$: est la valeur prévue de slot de temps libre avant une transmission.

– P_{si} et $P_{si'}$ sont les probabilités conditionnelles de transmission réussies pour AC_i et $AC_{i'}$. Respectivement.

- T_s : est le temps moyen de transmission réussi.
- T_c : est le temps de collision.
- $AIFS[AC_i]$: est la période AIFS de AC.

La période de veille moyenne peut être facilement obtenue :

$$E[I] = \frac{1}{p_b} - 1. \quad (3.22)$$

b) Le délai moyen d'attente

Le délai moyen entre la première tentative de transmission d'un paquet jusqu'à ce qu'il soit transmis avec succès est calculé par une méthode récursive tel que $D_{j,k,d}$ le délai de temps de l'état actuel (j, k, d) jusqu'à ce que le paquet soit transmis avec succès. Supposer $D_{j,k-1,0}$ est connu, les rapports du délai entre les états (j, k-1, 0) et (j, k, d), $d=0,1,\dots,N+A$, est

$$\begin{cases} D_{j,k,d} = (1 - p_b)D_{j,k-1,0} + p_b D_{j,k,N+1} + 1, & d = 0,1 \\ D_{j,k,d} = (1 - p_b)D_{j,k,0} + p_b D_{j,k,N+1} + 1, & 2 \leq d \leq A \\ D_{j,k,d} = D_{j,k,d-1} + 1, & A + 1 \leq d \leq N + A \end{cases} \quad (3.23)$$

Le retard pour chaque état dans l'étape j de backoff peut être atteint tant que $D_{j,0,0}$ est connu. Ainsi, le retard est exprimé comme suit :

$$D_{j,0,0} = p_i(D_{j,0,[T_c]} + 1) + (1 - p_i), \quad 0 \leq j \leq m + h - 1 \quad (3.24)$$

Pour la chaîne de Markov entière, dans l'état (m+h, 0, 0), si le paquet ne peut pas être envoyé à ce moment, il sera rejeté, ainsi le retard d'accès est :

$$D_{m+h,0,0} = 1$$

Par conséquent, le retard d'accès moyen pour ce système peut être exprimé comme suit :

$$D = \sum_{d=0}^{N+A} b_{-1,0,d} D_{-1,0,d} + \sum_{j=0}^{m+h} \sum_{d=0}^{[T_c]} b_{j,0,d} D_{j,0,d} + \sum_{j=0}^{m+h} \sum_{k=1}^{W_j} \sum_{d=0}^{N+A} b_{j,k,d} D_{j,k,d} \quad (3.25)$$

3.3 Etude critique sur les travaux

L'étude du modèle de BIANCHI, même s'il n'est pas dédié au délai, reste perfectible. Ce travail a été optimisé et poursuivi par beaucoup d'auteurs.

Les modèles de BIANCHI et CHTZIMISIOS supposent que le compteur de Backoff est toujours décrémenté même si le canal est occupé. Cette hypothèse n'est pas consistante avec la norme IEEE 802.11 puisque le compteur de Backoff est arrêté quand une transmission est détectée sur le canal, et réactive quand le canal est libre. XIAO et ZIOUVA améliorent le modèle de BIANCHI en levant cette hypothèse.

Le modèle de ZIOUVA a supposé qu'après chaque transmission réussie, une station peut transmettre sans invoquer le processus de Backoff si le canal est libre. Pour cela, ZIOUVA introduit un étage de non Backoff. Et cette hypothèse n'est pas consistante avec la norme d'EEE 802.11 [13].

Les modèles de ZIOUVA et BIANCHI supposent que la retransmission est infinie, alors que cette hypothèse n'est pas consistante avec la norme IEEE 802.11. Dans le modèle de XIAO, cette hypothèse a été supprimée. L'auteur a ajouté une limite de retransmission L_{retry} (nombre de transmissions fini).

Le groupe de IEEE 802.11 a proposé le mécanisme de fragmentation conçu originalement pour réduire le taux de collision d'un paquet, afin d'améliorer les performances du protocole. Cette hypothèse n'est pas utilisée dans les modèles cités ci-dessus (BIANCHI, ZIOUVA, XIAO).

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les modèles d'évaluation des performances du protocole IEEE 802.11. Ces travaux s'inspirent principalement du modèle de BIANCHI .

Ces modèles sont limités aux services de données. Ils ne sont pas encore étendus aux services de la voix ou de vidéo. Il est donc utile de proposer un modèle analytique pour EDCA afin d'avoir une bonne prédiction des débits, ainsi que sur la prise en compte des spécifications de Qos pour les différents types de trafic.

Modélisation analytique et résultats

4.1 Introduction

La qualité de service au sein d'un réseau sans fil Ad Hoc est dans le but de garantir quelques métriques de performances comme le débit, le délai, le taux de perte, . . . et pour cela le groupe IEEE 802.11e MAC introduit le Bloc ACK pour améliorer l'efficacité du système de réseau local sans fil (WLAN). L'utilisation de Bloc ACK peut réduire la transmission de ce dernier en intégrant de multiples ACKs pour un certain nombre de données (trames) en une image dans une carte binaire qui est contenue dans un cadre Bloc ACK, afin d'augmenter l'efficacité. Dans ce chapitre, nous présentons un modèle théorique pour l'évaluation de la non saturation du débit. Ce modèle tient en compte les effets des collisions et les erreurs de transmission dans le canal .

4.2 Protocole EDCA avec Bloc ACKs

IEEE 802.11 est devenu la technologie dominante dans le WLAN. Le DCF est l'un des mécanismes d'accès au canal basé sur le schéma CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Ce mécanisme est exécuté localement sur chaque station afin de déterminer les périodes d'accès au médium. Avant chaque émission, la station désirant émettre écoute le support, s'il est libre pendant une certaine durée AIFS, la transmission est possible, une procédure de backoff est déclenchée et choisit sa valeur initiale aléatoirement dans une marge prédéterminée.

DCF fournit seulement le service best-effort. Pour offrir une qualité de service, le mécanisme EDCA basé sur un système de priorité est ajouté pour la gestion de l'accès au support de transmission.

L'EDCA différencie les classes de service à travers trois paramètres à savoir

- AIFS (Arbitrage InterFrame Space).
- Les valeurs de Contention CW_{min} et CW_{max} .
- Transmission OPPORTUNITE limite TXOPlimit.

Le paramètre TXOPlimit d'EDCA définit deux méthodes : la première transmission normale ACK (NA) et la seconde transmission avec Bloc ACK (BA).

4.2.1 Acquittement Normal (NA)

Dans la transmission avec acquittement normale (NA), chaque paquet est acquitté individuellement

4.2.2 Acquittement de Bloc ACK (BA)

Dans la norme IEEE 802.11e, un nouveau système d'accusé de réception est défini afin de réduire le taux de perte de la bande passante dû à la transmission de l'ACK. Ce nouveau régime permet d'être reconnu par une trame finale ACK agrégée, appelée bloc ACK (BACK). Cette procédure optionnelle permet d'améliorer l'utilisation du médium. En effet, elle permet à une station d'envoyer plusieurs paquets sans que ceux-là soient acquittés individuellement. Le bloc de paquets pourra être acquitté à la fin de l'envoi du bloc ou dans un TXOP ultérieur.

4.3 Modélisation EDCA avec Bloc ACK

4.3.1 Les hypothèses de la modélisation

Notre modèle mathématique est basé sur quelques hypothèses suivantes :

- Le réseau est complètement relié avec N stations et les paquets de chaque nœud sont classifiés en catégories différentes (voix, vidéo, données, Background).
- Condition de trafic non saturé.
- Le canal est sujet à des erreurs de transmission.

4.3.2 Les paramètres du modèle

Les paramètres importants de notre modèle sont représentés dans le tableau suivant :

N	le nombre de stations dans le réseau
$W_{i,j}$	taille de la fenêtre de contention d'un paquet de la catégorie i
δ	durée d'un slot vide
∂	temps de propagation du signal
$E [P]$	est la taille de charge utile
$E[N_s]$	est le nombre moyen de transmission avec succès
$E [I]$	est la valeur prévue de slot de temps libre avant une transmission
T_s	est le temps de transmission
N_{bi}	est le nombre de trames transmet par une station dans TXOPlimit
$E[T_e]$	est le temps moyen de collision
MAC	taille de l'entête MAC
PHY	taille de l'entête PHY
$AIFS[AC_i]$	durée d'interframe associé à un paquet de la catégorie i

TABLE 4.1 – Paramètres du modèle

4.4 Modèle analytique

Nous présentons un modèle analytique qui sert à calculer le débit effectif pour le régime de BA.

4.4.1 Description de la chaîne de Markov

Le processus stochastique bidimensionnel $s(t)$, $b(t)$ est une chaîne de Markov à temps discret, tel que $s(t)$ et $b(t)$ sont des processus stochastiques qui représentent l'étage du Backoff et le compteur de Backoff respectivement pour une station donnée à un instant donné voir la figure 4.1

Chaque état de station est décrit par (i, j, k) , tel que i est le nombre de ACi ($I = 0, 1, 2, 3$), j représente l'étage du backoff où $j_0 < j < m$ et k est le compteur de backoff.

4.4.2 Probabilités du modèle

- P_i : probabilité de collision de ACi est indépendante de la procédure de backoff.
- P_b : probabilité que le canal soit occupé par une transmission.
- P_{si} : probabilité de transmission réussie.

- P_{tr} : probabilité qu'au moins une station transmet à la fois.
- P_e : probabilité d'erreur
- p_{succ} : probabilité pour que toutes les trames sont transmises avec succès.
- q : probabilité qu'on a un paquet dans la file d'attente.

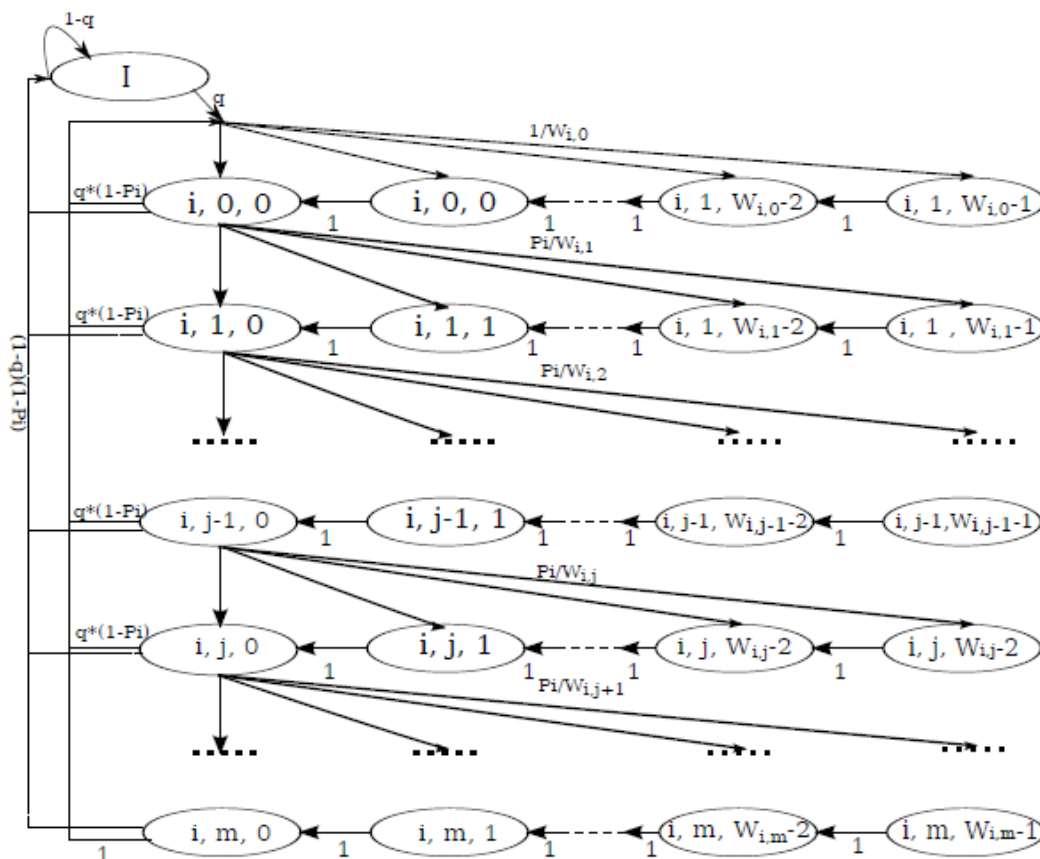


FIGURE 4.1 – EDCA : modèle de chaîne de Markov pour une AC par station

4.4.3 Probabilités de transition

Les probabilités de transition de ce modèle sont décrites comme suit :

1. Le compteur de backoff décrémente avec une probabilité 1 à chaque slot de temps

$$p\{i, j, k | i, j, k + 1\} = 1 \quad 0 \leq j \leq m \quad 0 \leq k \leq (W_{i,j-1}) \quad (3.1)$$

2. Lorsque le compteur de Backoff est à zéro, l'ACi commence la transmission

$$p\{i, 0, k | i, j, 0\} = \frac{(1-q)^*(1-p_i)}{W_{i,0}} \quad 0 \leq j \leq m \quad 0 \leq k \leq (W_{i,j-1}) \quad (3.2)$$

$$p\{I | i, j, 0\} = \frac{q*(1-p_i)}{W_{i,0}} \quad 0 \leq j \leq m \quad 0 \leq k \leq (W_{i,j-1}) \quad (3.3)$$

3. L'ACi choisit un délai d'attente de l'étape suivante j après un échec de transmission de l'étape j-1

$$p\{i, j, k | i, j, 0\} = \frac{p_i}{W_{i,j}} \quad 1 \leq j \leq m \quad 0 \leq k \leq (W_{i,j-1}) \quad (3.4)$$

4. Si le nombre de retransmissions dépasse m le paquet est rejeté avec une probabilité 1 et commence une nouvelle transmission

$$p\{i, 0, k | i, m, 0\} = \frac{1}{W_{i,0}} \quad 0 \leq k \leq (W_{i,j-1}) \quad (3.5)$$

5. Lorsque la file d'attente est vide ACi boucle dans l'état I

$$p\{I | I\} = q \quad (3.6)$$

$$q = 1 - \exp^{-\lambda T}$$

avec

λ : est le taux d'arrivée

T : est le slot de temps

La probabilité de collision et la probabilité d'erreur :

$$P_i = 1 - (1 - \tau)^{N-1} \prod_{i>i'} (1 - \tau_i) \quad (3.7)$$

Où i' signifie que ACi' a une priorité supérieure ACi.

$$P_e = 1 - (1 - BER)^\iota \quad (3.8)$$

avec ι est la taille de la frame.

4.4.4 Probabilités stationnaires

Soit $b(i, j, k)$ la probabilité constante de l'état (i, j, k) nous avons :

$$b_{i,j,k} = \frac{W_{i,j-k}}{W_{i,j}} = \begin{cases} P_i^j b_{i,0,0} & 1 \leq j \leq m, k = 0 \\ b_{i,j,0} & 1 \leq j \leq m, 1 \leq k \leq W_{i,j-1} \end{cases} \quad (3.9)$$

En utilisant la condition de normalisation, on obtient :

$$b_{i,0,0} = \frac{2(1-2p_i)(1-p_i)q}{[(1-2p_i)(W+1)+p_i w(1-(2p_i)^m)]q+2(1-q)(1-p_i)(1-2p_i)} \quad (3.10)$$

$$\tau_i \text{ est obtenu à partir de } b_{i,0,0} \text{ avec } \tau_i = \sum_0^m b_{i,j,0} \quad (3.11)$$

$$\tau_i = \frac{2(1-2p_i)q}{[(1-2p_i)(W+1)+p_i w(1-(2p_i)^m)]q+2(1-q)(1-p_i)(1-2p_i)} \quad (3.12)$$

$$\tau = 1 - \prod_{j=0}^3 (1 - \tau_i) \quad (3.13)$$

Les équations (6-13) forment un ensemble d'équations non linéaires. Des méthodes numériques ont été utilisées pour les résoudre. Toutes les probabilités de transition et les probabilités d'état d'équilibre peuvent être obtenues.

4.4.5 Analyse de débit

Le débit normalisé d'un ACi est calculé en tant que le rapport de temps occupé par les informations transmises à l'intervalle entre deux transmissions consécutives. D'après cette définition, le débit d'ACi est exprimé comme suit :

$$S_i = \frac{P_{tr} P_{s_i} E[N_s] E[P]}{E[I] + P_{tr} \sum_0^3 P_{s_i} P_{succ_i} T_s + P_{tr} 1 - \sum_{i=0}^3 P_{s_i} E[T_e]}$$

avec $E[I] = (1 - P_{tr}) \delta N b_i$

P_{tr} est la probabilité qu'au moins une station transmet à la fois et peut être calculé comme suit

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^N$$

Une AC_i peut être transmise avec succès que lorsque aucune autre catégorie de plus haute priorité dans la même station ou d'une autre station ($N - 1$) transmet à la fois. Par conséquent, P_{si} (la probabilité de transmission réussie), peut être obtenu par :

$$P_{si} = \frac{N\tau_i(1-\tau)^{N-1} \prod_{i' > i} (1-\tau_{i'})}{1-(1-\tau)^N}$$

$$E[N_s] = \sum_{j=2}^N b_i(j-1)(1-P_e)^{j-1}P_e + P_{succi}Nb_i$$

Où p_{succi} est la probabilité pour que toutes les trames dans la station sont transmises avec succès, il peut être obtenu par :

$$P_{succi} = (1 - P_e)^N b_i$$

$$E[T_e] = \sum_{j=1}^N b_i(1 - P_e)^{j-1}P_eT_e$$

ou $T_e = T_s - SIFS + Timeout$

$$Timeout = EIFS - DIFS + AIFSN[AC_i]\delta + SIFS - T_t$$

4.5 Résultats numériques

Dans cette section, nous présentons les résultats numériques. Nous avons calculé le débit normalisé sous le canal pour EDCA Bloc ACK. Par souci de simplicité et sans généralités, nous supposons qu'il ya deux ACs actifs dans chaque station, la première est AC3 avec une priorité plus élevée, et la seconde est AC0 avec une priorité inférieure. Les résultats analytiques ont été obtenus en utilisant les paramètres indiqués dans le tableau suivant :

Paramètres	Valeur numérique
Temps de propagation du signal	$64\mu s$
Taille de la charge	1000 octets
Taille de l'entête PHY	192 bits
Taille de l'entête MAC	272 bits
RTS	$PHY + 160$ bits
CTS	$PHY + 112$ bits
ACK	$PHY + 112$ bits
CTS-timeout	$DIFS + CTS$
ACK-timeout	$DIFS + ACK$
Taux de transmission de données	11 Mbps
Taux de transmission de base	2 Mbps
Time slot	$20\mu s$
SIFS	1 Time slot
$AIFS[AC3]$	3 Time slot
$AIFS[AC0]$	4 Time slot
$CW[AC3]$	{ 15, 31, 63, 127 }
$CW[AC0]$	{ 31, 63, 127, 255 }

TABLE 4.2 – Valeurs des paramètres du système.

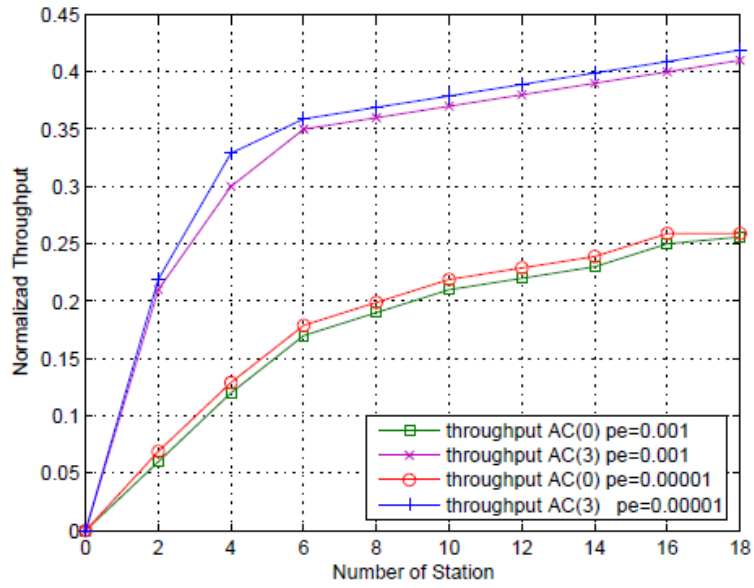


FIGURE 4.2 – Débit normalisé : $BER = 10^{-5}$ et $BER = 10^{-3}$.

La figure 4.2 montre le débit de non saturation, avec deux valeurs de P_e . Cette figure montre l'influence de P_e sur le débit. On remarque que le débit de non saturation augmente avec la diminution de la probabilité p_e .

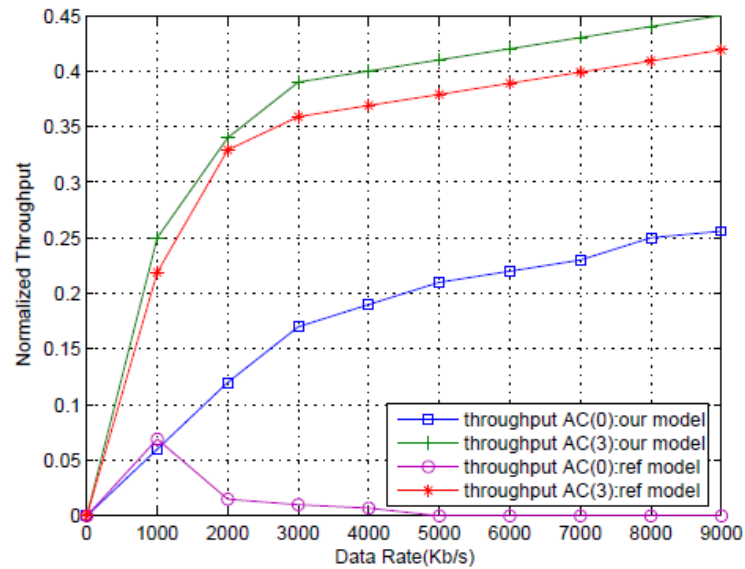


FIGURE 4.3 – Débit normalisé : $BER = 0$.

Dans la figure 4.3, nous avons comparé nos résultats avec les résultats d’une autre étude de la méthode NA (Normale ACK)[12]. La comparaison montre que le débit dans le procédé de BA est meilleur que le procédé de NA.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une analyse précise du modèle analytique pour le protocole IEEE802.11e EDCA avec Bloc ACK afin d’avoir la qualité de service en utilisant la modélisation par chaîne de Markov. Ensuite nous avons évalué le débit effectif de non saturation d’ EDCA avec Bloc ACK.

Conclusion générale

Nous constatons aujourd'hui une forte demande des services multimédia et temps réel dans les réseaux sans fil basés sur la technologie IEEE 802.11. Or, plusieurs caractéristiques de ses réseaux font que le déploiement à grande échelle de tels services présente un réel challenge par rapport aux applications telles que l'email et le Web. Ces applications audiovisuelles doivent faire face au manque de bandes passantes et la variation du délai de transfert, tout en restant robustes aux pertes de paquets et aux rafales d'erreurs caractérisant les réseaux sans fil. Partant de cette compréhension, notre travail s'est focalisé sur la proposition d'un modèle analytique, en appliquant les chaînes de Markov afin de garantir la QoS aux applications temps réel dans les réseaux IEEE 802.11e mode EDCA.

La notion de qualité de service (QoS) dans les réseaux consiste à privilégier certaines informations par rapport à d'autres, en offrant des services différenciés en fonction des exigences des applications. Et pour réduire le taux de collision, notre modèle a pris en compte le paramètre d'acquittement du Bloc ACK (BA).

Pour pouvoir évaluer notre modèle, nous avons calculé analytiquement les probabilités de tous les états de cette chaîne de Markov, ainsi que les probabilités de transition. Tout ceci réalisé de façon à refléter correctement le fonctionnement d'EDCA. Au final, le développement des équations de notre modèle nous a permis de calculer les métriques de QoS en augmentant le débit.

Pour valider notre modèle, nous avons comparé les résultats d'acquittement du Bloc ACK (BA) par rapport aux résultats obtenus par l'acquittement normal (NA), en utilisant le logiciel MATLAB. Les résultats de cette validation ont montré la supériorité qu'apporte notre modèle ainsi que sa capacité à estimer correctement le débit et le délai d'accès dans le cas de saturation de chaque AC. Nous avons montré que l'acquittement du Bloc ACK améliore les performances du réseau et constitue une solution très efficace pour réduire le taux de collision.

Comme perspective de recherche souhaité prochainement :

- Utilisation de notre modèle pour avoir d'autres résultats comme taux de perte , délai de transmission.
- Comparer nos résultats avec les résultats de simulation.
- Un algorithme Backoff adaptatif pour chaque catégorie d'accès.
- Une solution d'optimisation des paramètres d'accès des différentes ACs.

Bibliographie

- [1] Computer Society. 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), pages C1 1184, 122007.
- [2] E. ZIOUVA and T. ANTONAKOPOULOS, CSMA/CA performance under high traffic conditions : throughput and delay analysis. Computer communications, Vol.25, pp.313-321, 2002.
- [3] G. BIANCHI, L. FRATTA, and M. OLIVERI. Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA protocol for 802.11 WLAN. In proceedings PIMRC, Taipei, Taiwan, pp 392, 1996.
- [4] G. BIANCHI. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE Journal of Selected Areas in communication, Vol.18, 2000, pp 535-547.
- [5] G. PUJOLLE. Les réseaux. Editions Eyrolles, 2000.
- [6] IEEE Computer Society. 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 802.11 e-2005 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003))*", pages 01-189, 2005.
- [7] IEEE Computer Society LAN MAN Standard Committee. Wireless Lan Media Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1999.
- [8] IEEE 802.11b supplement to 802.11-1999. Wireless LAN MAC and PHY specifications : Higher Speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 GHz band, 1999.

-
- [9] IEEE P 802.11n-D3.00, Approved Draft Standard for Information exchange between systems local and metropolitan area networks Specific requirements Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physic, Septembre 2007.
- [10] IEEE 802.11 W G. Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specification , IEEE, Aout 1999.
- [11] J.A : I DIEGUEZ. Contribution à la modélisation et à la simulation accélérée de réseaux de communication. Thèse de doctorat en informatique, université de Rennes 1, France, 2001.
- [12] K. KOSEK-SZOTT, M. NATKANIES, A. R. PACH, A simple but accurate throughput model for IEEE 802.11 EDCA in saturation and non-saturation conditions, Computer Networks, (2011).
- [13] M. TOUMI. Evaluation des performances du réseau IEEE 802.11 mode Ad Hoc avec fragmentation. Thèse de Magister, Département d'Informatique, Université de Béjaia, 2006.
- [14] MUHLETHALER PAUL. 802.11 et les réseaux sans fils. Paris, Eyrolles, 2002.281p.
- [15] P. CHATZIMISIOS, A.C. BOUCOUVALAS, V. VITSAS. IEEE 802.11 WLAN : performance analysis and protocol refinement. EURASIP Journal on applied signal processing, No.1, 2005, pp 67-78.
- [16] P.E. ENGELSTAD and O.N. OSTERBO. Non-Saturation and Saturation Analysis of IEEE 802.11e EDCA with Starvation Prediction. In International Symposium on Modeling. Analysis and Simulation of Wireless and mobile systems, Montréal, Quebec, 2005, pp.224-233.
- [17] Y. TAY and K. CHUA. A capacity analysis of the IEEE 802.11 Mac protocol, Wireless Networks, Vol.7, pp. 159-171, 2001.
- [18] Y. XIAO. Saturation performance metrics of the IEEE 802.11 MAC. In proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 2003 Fall), pp.1453-1457, Orlando, Florida, October 2003.

Résumé

Les réseaux locaux sans fil implémentant la norme IEEE 802.11 sont en expansion croissante. D'un côté, le développement d'applications multimédias est de plus en plus important. D'un autre côté, les WLANs présentent des limites en termes de satisfaction des exigences de telles applications. Ainsi, le groupe de travail IEEE 802.11 a introduit des mécanismes garantissant la QoS sur les WLANs. C'est ainsi que la norme IEEE 802.11e a été innovée visant à appliquer une différenciation de services. L'analyse des mécanismes existants a conduit à retenir le protocole EDCA, supportant la QoS. La plupart des études existantes sur l'évaluation des performances du protocole EDCA montre la difficulté d'assurer la performance demandée aux différentes applications. D'où la nécessité d'avoir un modèle capable d'assurer les métriques de performances pour ces applications.

Dans ce travail, nous proposons un modèle analytique qui prend en compte le paramètre de différenciation de service ainsi l'acquiescement avec Bloc ACK garantissant une certaine qualité de service. Le modèle utilisant une chaîne de Markov, est développé dans les conditions de saturation pour calculer le débit pour chaque catégorie. Une implémentation sur MATLAB a été réalisée pour valider les résultats analytiques.

Mots clés : IEEE 802.11e, QoS, EDCA, Modélisation, Chaîne de Markov, Acquiescement Bloc ACK.

Abstract

The wireless LANs implementing the IEEE 802.11 standard are increasing expansion. On the one hand, the development of multimedia applications is increasingly important. On the other hand, WLANs have limitations in terms of meeting requirements of such applications. Thus, the IEEE 802.11 working group to introduce mechanisms to ensure QoS on WLANs. Thus, the IEEE 802.11e has been innovated to implement a service differentiation. The analysis of existing mechanisms has led to retain the EDCA protocol supporting QoS. Most existing studies on the evaluation of EDCA protocol performance shows the difficulty of ensuring the performance required for different applications. Hence the need for a model capable of ensuring performance metrics for these applications.

In this work, we propose an analytical model that takes into account the service differentiation parameter and acquittal with Block ACK guaranteeing a certain quality of service. The model using a Markov chain, developed in saturated conditions to calculate the flow rate for each category. Implementation on MATLAB was performed to verify the analytical results.

Keywords :IEEE 802.11e, QoS, EDCA, Modelling, Markov Chain, Block AcknowledgeACK.