

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A/Mira de Béjaïa  
Faculté des Sciences Exactes  
Département d'Informatique

## MÉMOIRE DE MASTER RECHERCHE

En  
Informatique

Option  
*Réseaux et Systèmes Distribués*

Thème

Modélisation analytique des réseaux IEEE 802.11e  
mode EDCA dans un canal bruité

Présenté par :

Mlle Mokrane Aldjia

Mlle Khoufache Feriel

Soutenu le 26 Juin 2016 devant le jury composé de :

|               |                    |                        |                   |
|---------------|--------------------|------------------------|-------------------|
| Présidente    | Mme S. Boulfekhar  | Maître de conférence A | U. A/Mira Béjaïa. |
| Promotrice    | Mme L. Bouallouche | Professeur             | U. A/Mira Béjaïa. |
| Co-promotrice | Mme L. Bachiri     | Docteur                | U. A/Mira Béjaïa. |
| Examinatrice  | Mme R. Souadih     | Maitre assistante B    | U. A/Mira Béjaïa. |
| Examinatrice  | Mlle L. Chelouah   | Doctorante             | U. A/Mira Béjaïa. |

Béjaïa, Juin 2016.

## *\* Remerciements \**

*Ce travail n'aurait pas pu être accompli sans l'aide précieuse et les conseils encourageants de nombreuses personnes.*

*Pour cela, Nous rendons grâce au Seigneur tout puissant, à qui revient le mérite de toute reconnaissance.*

*Nos plus profonds remerciements vont à nos parents. Tout au long de notre cursus, ils nous ont toujours soutenu, encouragé et aidé. Ils ont su nous donner toutes les chances pour réussir. Qu'ils trouvent, dans la réalisation de ce travail, l'aboutissement de leurs efforts ainsi que l'expression de notre plus affectueuse gratitude.*

*Nous exprimons Notre reconnaissances à notre Promotrice Mme L. Bouallouche, pour son envie de toujours vouloir transmettre ses connaissances à ses étudiants.*

*Nous adressons nos remerciements les plus chaleureux à notre Co-promotrice Mme Bachiri Lina, pour sa disponibilité et pour tous les conseils qu'elle nous a prodigué tout au long de ce semestre. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs connaissances.*

*Nos remerciements à toute notre famille et à nos amies et camarades de promotion pour les bons et les mauvais moments passés ensemble Un grand Merci à tous ceux que nous avons omis de citer ici, et qui ont contribué d'une façon ou d'une autre, dans ce travail.*

*Merci à tous et à toutes.*

## ✧ *Dédicaces* ✧

*Je commence par rendre grâce à DIEU, et sa bonté, pour la patience, la compétence et le courage qu'il nous a donné pour arriver à ce stade.*

*Avec tout mon amour, je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de mon Père Mohamed Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A ma très chère mère Affable, honorable, aimable : de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A mes très chers frères Mouloud et petit frère Yanis, ma sœur salwa présente dans tous mes moments d'examens par leur soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

*A cher Nadjim qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*A tous les membres de ma famille Mokrane et Mebarki, petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.*

*A tous mes chères amies Nawel.Z ,Nawel.B ,Lynda, Soraya et miliza Merci pour les bons moments que nous avons passés ensemble, de votre soutien et de votre serviabilité.*

*A ma chère binôme Ferial, Pour son entente et sa sympathie.*

*Mlle Mokrane Aldjia*

## ✧ *Dédicaces* ✧

*Je commence par rendre grâce à DIEU, et sa bonté, pour la patience, la compétence et le courage qu'il nous a donné pour arriver à ce stade.*

*Avec tout mon amour, je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A mes très chers sœurs Asssia et Nesma, mon frère Réda tous présent dans mes moments d'examens m'apportant leur soutien moral et leurs conseil. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

*A Lyes qui n'a pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu le protège et lui offre la chance et le bonheur.*

*A tous les membres de ma famille Khoufache et Ariouat petits et grands Veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.*

*A tous mes chères amis Nawel.Z ,Nawel.B Liala.Y, Nadia.M et milila.K, Dihia.I et Houcine.H Merci pour les bons moments que nous avons passés ensemble, de votre soutien et de votre serviabilité.*

*A ma chère binôme Aldjia, Pour son entente et sa sympathie*

*Mlle Khoufache Ferial*

# Table des matières

|  |            |
|--|------------|
| <b>Table des matières</b>                                  | <b>i</b>   |
| <b>Table des figures</b>                                   | <b>iii</b> |
| <b>Liste des tableaux</b>                                  | <b>v</b>   |
| <b>Liste des abreviations</b>                              | <b>vi</b>  |
| <b>Introduction générale</b>                               | <b>1</b>   |
| <b>1 Standard IEEE 802.11 et Qualité de Service</b>        | <b>3</b>   |
| 1.1 Introduction . . . . .                                 | 3          |
| 1.2 Présentation du standard IEEE 802.11 . . . . .         | 3          |
| 1.3 Généralités . . . . .                                  | 5          |
| 1.3.1 Réseaux sans fil, WLAN . . . . .                     | 5          |
| 1.3.2 Architecture des réseaux IEEE 802.11 . . . . .       | 6          |
| 1.4 Etude de la norme IEEE 802.11 . . . . .                | 7          |
| 1.4.1 Couche physique . . . . .                            | 8          |
| 1.4.2 Couche liaison de données . . . . .                  | 8          |
| 1.4.3 Couche de contrôle d'accès au médium (MAC) . . . . . | 9          |
| 1.5 Extensions de la norme IEEE 802.11 . . . . .           | 14         |
| 1.6 Qualité de service dans IEEE 802 . . . . .             | 15         |
| 1.6.1 Standard IEEE 802.11e . . . . .                      | 15         |
| 1.7 Conclusion . . . . .                                   | 19         |
| <b>2 Evaluation des performances</b>                       | <b>21</b>  |
| 2.1 Introduction . . . . .                                 | 21         |
| 2.2 Méthode de l'évaluation des performances . . . . .     | 21         |
| 2.2.1 Mesure . . . . .                                     | 22         |
| 2.2.2 Modélisation . . . . .                               | 23         |
| 2.3 Objectif de l'évaluation des performances . . . . .    | 26         |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.4      | Métriques de performances . . . . .                                     | 26        |
| 2.5      | Conclusion . . . . .  | 26        |
| <b>3</b> | <b>Synthèse sur les travaux existants, problématique et proposition</b> | <b>27</b> |
| 3.1      | Introduction . . . . .  | 27        |
| 3.2      | Etat de l'art sur quelques modèle de DCF et EDCA . . . . .              | 27        |
| 3.2.1    | Modele analytique pour DCF . . . . .                                    | 27        |
| 3.2.2    | Modele analytique pour EDCA . . . . .                                   | 33        |
| 3.3      | Proposition . . . . .   | 38        |
| 3.3.1    | Modélisation analytique du protocole IEEE 802.11e mode EDCA . . . . .   | 38        |
| 3.3.2    | Amélioration de la fonction EDCA IEEE 802.11e . . . . .                 | 43        |
| 3.3.3    | Modélisation analytique du protocole IEEE 802.11e E-EDCA . . . . .      | 43        |
| 3.4      | Conclusion . . . . .  | 46        |
| <b>4</b> | <b>Application numerique, simulation et résultat</b>                    | <b>47</b> |
| 4.1      | Introduction . . . . .  | 47        |
| 4.2      | Validation du modèle proposé . . . . .                                  | 48        |
| 4.3      | Conclusion . . . . .  | 55        |
|          | <b>Conclusion et perspectives</b>                                       | <b>56</b> |
|          | <b>Annexe</b>   | <b>57</b> |
| .1       | Chaîne de Markov . . . . .  | 57        |
| .1.1     | Le fondateur de la discipline . . . . .                                 | 57        |
| .1.2     | Les processus stochastiques . . . . .                                   | 57        |
| .1.3     | Les chaînes de Markov finies et homogènes à temps discret . . . . .     | 57        |
|          | <b>Bibliographie</b>  | <b>61</b> |

# Table des figures

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Modes de mise en réseaux IEEE 802.11 [13] . . . . .   | 6  |
| 1.2 | Architecture type d'un WLAN 802.11 [5] . . . . .  | 7  |
| 1.3 | Situation de la norme 802.11 [29] . . . . .   | 8  |
| 1.4 | Règles d'accès dans DCF, méthode d'accès de base [20] . . . . .   | 11 |
| 1.5 | Procédure backoff [20] . . . . .  | 11 |
| 1.6 | Chronogramme de l'algorithme CSMA/CA [8] . . . . .  | 12 |
| 1.7 | Règles d'accès dans PCF [10] . . . . .  | 13 |
| 1.8 | Modèle d'implémentation de référence d'EDCA [4] . . . . .   | 17 |
| 2.1 | Technique de l'évaluation de performances. . . . .  | 22 |
| 2.2 | Démarche de l'évaluation de performances. . . . .   | 23 |
| 3.1 | Durée moyenne d'une émission correcte (sans RTS/CTS) . . . . .  | 28 |
| 3.2 | Durée moyenne d'une collision (sans RTS/CTS) . . . . .  | 29 |
| 3.3 | Durée moyenne d'une émission correcte (avec RTS/CTS) . . . . .  | 29 |
| 3.4 | Durée moyenne d'une collision (avec RTS/CTS) . . . . .  | 29 |
| 3.5 | Chaîne de Markov du modèle de Bianchi . . . . .   | 31 |
| 3.6 | Chaîne de Markov du modèle de Katarzyna . . . . .   | 34 |
| 3.7 | La chaîne de markov pour IEEE 802.11e EDCA . . . . .  | 39 |
| 3.8 | La chaîne de markov pour IEEE 802.11e E-EDCA . . . . .  | 44 |
| 4.1 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA( $BER=0, \lambda = 5$ ). . . . .         | 49 |
| 4.2 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA( $BER = 10^{-6}, \lambda = 5$ ). . . . .           | 50 |
| 4.3 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour E-EDCA( $BER = 10^{-6}, \lambda = 5$ ). . . . .         | 51 |
| 4.4 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA( $BER = 10^{-5}, \lambda = 5$ ). . . . . | 52 |
| 4.5 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA( $BER = 10^{-3}, \lambda = 5$ ). . . . . | 52 |

---

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.6 | Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA( $\lambda = 5$ ). . . . . | 53 |
| 4.7 | Probabilité d'échec de transmission . . . . .  | 54 |
| 4.8 | Débit normalisé en fonction du taux d'arrivée des paquets pour $P_e = 0.0001$ . . . . .        | 54 |

# Liste des tableaux

- 1.1 Famille IEEE 802 [9] . . . . . 5
- 1.2 Différents standards 802.11 . . . . . 15
- 1.3 Relation entre les priorités et les catégories d'accès dans EDCA . . . . . 17
  
- 3.1 Probabilités du modèle analytique . . . . . 40
  
- 4.1 Paramètres PPH et MAC de IEEE 802.11e . . . . . 48

# Liste des abbreviations

## A

|       |                                      |
|-------|--------------------------------------|
| AC    | Acces Category                       |
| ACK   | ACKnowledgment                       |
| AIFS  | Arbitration Inter Frame Space        |
| AIFSN | Arbitration Inter Frame Space Number |
| AP    | Acces Point                          |

## B

|     |                   |
|-----|-------------------|
| BSS | Basic Service Set |
| BE  | Best Effort       |
| BER | Bit Error Rate    |
| BK  | Background        |
| BT  | Backoff Time      |

## C

|         |  |
|---------|--|
| CA      | Collision Avoidance                                    |
| CCA     | Clear Channel Assessment                               |
| CF      | Contention Free  |
| CFP     | Contention Free Period                                 |
| CRC     | Cyclic Redundancy Check                                |
| CSMA/CA | Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection |
| CTS     | Clear To Send  |
| CW      | Contention Window                                      |

## D

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| DCF  | Distributed Coordination Function |
| DIFS | Distributed IFS                   |
| DS   | Distribution System               |

---

|          |   |
|----------|---|
| DSSS     | Direct Sequence Spread Spectrum                   |
| <b>E</b> |   |
| EDCA     | Enhanced Distributed Channel Access               |
| ESS      | Extended Service Set                              |
| <b>F</b> |   |
| FHSS     | Frequency Hopping Spread Spectrum                 |
| <b>H</b> |   |
| HCCA     | HCF Controlled Channel Access)                    |
| HCF      | Hybrid Coordination Function                      |
| <b>I</b> |   |
| IBSS     | Independent Basic Service Set                     |
| IEEE     | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IFS      | Inter Frame Spacing                               |
| ISO      | International Organization for Standardization    |
| IR       | InfraRouge  |
| <b>L</b> |   |
| LAN      | Local Area Network                                |
| LLC      | Logical Link Control                              |
| LMSC     | LAN/MAN Standards Committee                       |
| <b>M</b> |   |
| MAN      | Metropolitan Area Network                         |
| MAC      | Media Access Control                              |
| <b>O</b> |   |
| OFDM     | Orthogonal Frequency Division Multiplexing        |
| OSI      | Organisation internationale de normalisation      |
| <b>P</b> |   |
| PC       | Point Coordinator                                 |
| PCF      | Point coordination Function                       |
| PLCP     | Physical Layer Convergence Protocol               |

---

|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| PMD  | Physical Medium Dependence       |
| Q    |                                  |
| QoS  | Qualité de Service               |
| R    |                                  |
| RLR  | Réseaux Locaux Radio-électriques |
| RTS  | Request To Send                  |
| S    |                                  |
| SIFS | Short IFS                        |
| T    |                                  |
| SIFS | Short IFS                        |
| W    |                                  |
| Wifi | wireless fidelity                |
| WLAN | Wireless Local Area Network      |

# Introduction générale

Nous vivons dans un monde sans précédent, avec des dimensions et des horizons totalement nouveaux, dans lequel les limites de la technologie et de l'imagination ont été repoussées à l'infini. L'une de ces technologies est celle des réseaux sans fil qui a fait son apparition vers la fin des années 80. Les réseaux sans fil ont reçu un grand succès grâce à leur simplicité, rapidité et faible coût de déploiement. Dès lors, ils constituent une alternative sérieuse aux réseaux locaux filaires. On commence d'ailleurs à les trouver partout : dans les aéroports, les hôtels, les bureaux et ainsi que dans les environnements domestiques. Cependant, l'utilisation de ces réseaux est limitée aux services de données et elle n'est pas encore étendue aux services de la voix ou de la vidéo.

La mobilité des utilisateurs et leurs besoins d'accès itinérant aux réseaux informatiques rendent les réseaux traditionnels (filaires) obsolètes. De plus, le besoin accru d'accéder à différents types d'applications via le support radio pousse la recherche vers de nouvelles solutions de plus en plus adaptées à cet environnement. Ainsi, on note ces dernières années des avancées rapides dans la standardisation de nombreuses technologies sans fils allant des réseaux personnels à faible couverture jusqu'aux réseaux à couverture mondiale. Dans notre étude, nous nous intéressons au standard 802.11, nommé également WiFi (Wireless Fidelity) ou WLAN. Les réseaux locaux sans fil du standard 802.11 sont des réseaux peu coûteux qui ont une couverture de plusieurs centaines de mètres et qui interconnectent facilement les équipements informatiques de l'entreprise, du domicile, etc. Ces réseaux permettent un débit allant de quelques Mbit/s à quelques centaines de Mbit/s.

En 1999, le standard 802.11 a défini la méthode d'accès distribuée DCF. Cette dernière a été conçue pour le support unique des applications élastiques de transfert de données et du web, et il n'a pas été prévu initialement que le standard DCF puisse être utilisé par les applications exigeantes en termes de QoS comme la voix et la vidéo. Dès lors, 802.11 DCF a été incapable d'assurer la performance demandée par ce type d'applications. La présence de cette limitation accompagnée du besoin croissant du multimédia a poussé les activités de recherche

à investiguer et proposer différentes solutions possibles capables d'améliorer la performance des WLANs. Parmi ces différentes solutions, une solution basée sur la différenciation de service a été retenue par l'IEEE 802.11 qui a fondé un groupe de travail qui a abouti en 2005 à la standardisation d'un amendement de QoS appelée 802.11e. Dans cet amendement, DCF a été remplacée par EDCA (Enhanced Distributed Channel Access).

802.11e EDCA a réussi à améliorer la performance du 802.11. La différenciation de service qui y est introduite a aboutit à de bons comportements du protocole avec les applications ayant des contraintes de QoS. DCF a été remplacé par EDCA qui supporte quatre AC (Access Category), chacune possède ses propres paramètres d'accès : AIFS (Arbitration Inter Frame Spacing), CW (Contention Window) et TXOPLimit (Transmission Opportunity Limit). La priorité de chaque catégorie d'accès est définie par les valeurs de ces paramètres qui ne sont pas fixes comme dans DCF mais ajustable selon les besoin.

L'étude des spécification d'EDCA, d'un coté et des modèles analytiques proposés pour le protocole, d'un autre coté, nous ont conduites à proposer une amélioration pour EDCA et un modèle analytique E-EDCA. Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons dans un premier temps, une description générale de la norme IEEE 802 ainsi que du standard IEEE 802.11 et nous illustrons quelques architectures d'un réseaux sans fil. Dans un second temps, nous avons tracé l'évolution qu'a subi le standard 802.11 dans le but d'améliorer les performances de cette norme avec les contraintes à respecter en terme de QoS et nous décrivons les spécifications des mécanismes d'accès de l'amendement de QoS du standard 802.11e. Nous nous intéressons particulièrement à la méthode d'accès EDCA, sa procédure de transmission et ses différents paramètres de différenciation.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une introduction à l'évaluation de performance des réseaux sans fil, dans le but de fournir les définitions et les mécanismes de base qui permettent de comprendre la manière de réaliser cette évaluation ainsi que l'importance et l'utilité de cette dernière.

Nous avons consacré le troisième chapitre, à l'état de l'art où nous avons fait une étude sur quelques modèles existants de DCF et EDCA, et à la proposition d'un nouveau modèle analytique global pour le mécanisme d'accès EDCA du standard IEEE 802.11e.

Le quatrième chapitre concerne la validation de nos résultats analytiques donnés dans le chapitre précédent, dans le cas de non-saturation et sous un canal bruité.

Enfin, nous achevons ce mémoire par une conclusion générale suivi de quelques perspectives.

# Standard IEEE 802.11 et Qualité de Service

## 1.1 Introduction

Depuis que les réseaux locaux sans fil ont connu un grand succès, de nouveaux horizons vers des applications utilisant ces technologies sans fil sont apparues. Bien qu'initialement prévus pour des services sans aucune garantie, les réseaux mobiles actuels ont tendance à acheminer des flux de toutes sortes d'applications : FTP, mail, téléphonie, visiophonie, web, etc. Ainsi, poussée par plusieurs facteurs économiques, la mobilité est devenue de plus en plus un élément fédérateur des réseaux de communication. Dans la suite de ce rapport, on s'intéressera plus particulièrement aux réseaux sans fil normalisés IEEE 802.11.

## 1.2 Présentation du standard IEEE 802.11

IEEE 802 est un comité de l'IEEE qui décrit une famille de normes de réseaux locaux et réseaux métropolitains. Plus spécifiquement, les normes IEEE 802 sont limitées aux réseaux utilisant des paquets de tailles variables contrairement aux réseaux dans lesquels les données sont transmises dans des cellules de taille fixe et généralement courtes. Également non traités par l'IEEE 802 : les réseaux isosynchrones où des données sont transmises par groupes d'octets à intervalles réguliers.

Les services et les spécifications décrits par l'IEEE 802 se réfèrent aux deux couches inférieures du modèle OSI, à savoir la couche physique et la couche liaison de donnée. Dans les faits, l'IEEE 802 découpe la couche liaison en deux sous-couches appelées Logical Link Control (LLC) et Media Access Control (MAC). couche physique Les standards IEEE 802 sont maintenus par le comité de normalisation LAN/MAN (LMSC pour LAN/MAN Standards Committee). Les standards les plus largement répandus sont l'Ethernet, le Token Ring, l'ASFI (WiFi), les VLAN [21].

Chaque secteur fait à l'attention d'un groupe de travail spécifique ce que nous allons présenter dans le tableau ci-dessous :

|             |   |
|-------------|---|
| IEEE 802.1  | Gestion des réseaux locaux, VLAN, authentification, etc.  |
| IEEE 802.2  | Distinction entre couche Logical Link Control (LLC) et Media Access Control (MAC)                 |
| IEEE 802.3  | Couche média CSMA/CD Ethernet   |
| IEEE 802.4  | Couche média CSMA/CA Token Bus et AppelTalk (utilisée en informatique industrielle) (dissous)     |
| IEEE 802.5  | Couche média Token Ring (IBM)   |
| IEEE 802.6  | Groupe de conseils sur les réseaux à grande distance (Metropolitan area network ou MAN) (dissous) |
| IEEE 802.7  | Groupe de conseils sur les réseaux à large bande (dissous)  |
| IEEE 802.8  | Groupe de conseils sur les réseaux sur fibre optique (dissous)                                    |
| IEEE 802.9  | Réseaux à intégration de services comme RNIS(dissous)   |
| IEEE 802.10 | Interopérabilité de la sécurité des LAN/MAN (dissous)   |
| IEEE 802.11 | Réseaux sans fil : infrarouge, ASFI, etc.   |
| IEEE 802.12 | Réseaux locaux utilisant le mécanisme de demande de priorité                                      |
| IEEE 802.13 | non utilisé   |
| IEEE 802.14 | Réseaux et modems câble (dissous)   |
| IEEE 802.15 | Réseaux privés sans fil (WPAN) comme Bluetooth  |
| IEEE 802.16 | Réseaux sans fil à large bande par exemple le WiMax   |
| IEEE 802.17 | Réseaux de fibres optiques en anneau (Resilient Packet Ring)                                      |
| IEEE 802.18 | Groupe de conseils pour la normalisation des communications radio électriques                     |
| IEEE 802.19 | Groupe de conseils sur la cohabitation avec les autres standards                                  |
| IEEE 802.20 | Accès sans fil à bande large  |

|                |  |
|----------------|--|
| IEEE<br>802.21 | Transfert automatique des liaisons indépendamment du média |
| IEEE<br>802.22 | Réseaux régionaux sans fil                                 |

TABLE 1.1 – Famille IEEE 802 [9]

Dans notre travail on s'intéressera à la norme 802.11.

## 1.3 Généralités

IEEE 802.11 est un terme qui désigne un ensemble de normes concernant les réseaux sans fil qui ont été mises au point par le groupe de travail 11 du Comité de normalisation LAN/MAN de l'IEEE (IEEE 802). Le terme 802.11x est également utilisé pour désigner cet ensemble de normes et non une norme quelconque de cet ensemble comme pourrait le laisser supposer la lettre " x " habituellement utilisée comme variable. Il n'existe donc pas non plus de norme seule désignée par le terme 802.11x.

Le terme IEEE 802.11 est également utilisé pour désigner la norme d'origine 802.11, et qui est maintenant appelée parfois 802.11legacy (legacy en anglais veut dire héritage) L'application de ces normes est la technologie Wi-Fi qui s'appuie sur ces spécifications [21].

### 1.3.1 Réseaux sans fil, WLAN

Les WLAN sont baptisés officiellement par la législation française Réseaux Locaux Radio-électriques (RLR). L'idée de réseau locaux sans fil est d'utiliser les ondes hertziennes pour établir des communications entre équipements. Le terme radio ne signifie pas nécessairement liaison à longue portée : l'appellation WLAN désigne des dispositifs dont le rayon d'action ne dépasse pas quelques centaines de mètres. Ils sont destinés à des réseaux de communication interne comme des entreprises, des administrations, etc.

Bien que l'infrarouge puisse être utilisé pour les communications sans fil à courtes portées, la liaison radio apporte une solution souple et pratique. Les distances possibles atteignent quelques centaines de mètres autour de l'émetteur et surtout la transmission est possible à travers les cloisons, sans la nécessité d'une vue directe entre émetteur et récepteur. L'inconvénient majeur est que les ondes radios sont sensibles aux masses métalliques : la traversée des murs en béton armés est donc par exemple très difficile.

C'est en 1990 que l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a lancé son projet de normalisation des WLAN (Wireless Local Area Network). La première norme

publiée fut l'IEEE 802.11 puis sont apparues ensuite les normes IEEE 802.11a et 802.11e. La norme de base, 802.11, est détaillée en premier lieu. On s'intéressera ensuite à ses extensions [20].

### 1.3.2 Architecture des réseaux IEEE 802.11

Le principe de la cellule est au centre de l'architecture 802.11. Une cellule est la zone géographique dans laquelle une interface 802.11 est capable de dialoguer avec une autre interface 802.11.

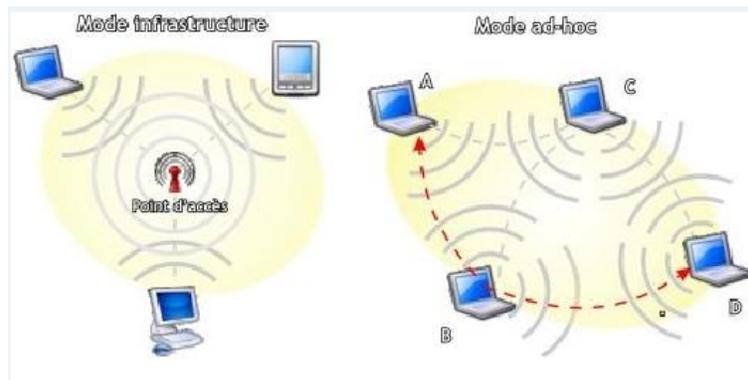


FIGURE 1.1 – Modes de mise en réseaux IEEE 802.11 [13]

Le plus souvent, une cellule est contrôlée par une station de base appelée point d'accès. Ce mode est encore appelé mode infrastructure car les terminaux proches d'un point d'accès vont pouvoir utiliser un ensemble de services fournis par l'infrastructure du réseau 802.11 via un point d'accès. Il est cependant possible d'établir des communications ad-hoc permettant une communication directe entre terminaux, sans passer par l'infrastructure centrale. Une vue complète des éléments architecturaux proposés par l'IEEE 802.11 peut se résumer par le schéma suivant :

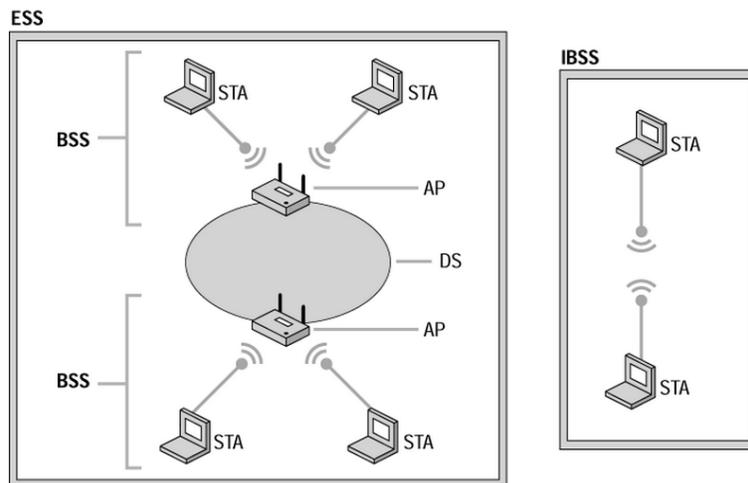


FIGURE 1.2 – Architecture type d'un WLAN 802.11 [5]

On distingue les éléments suivants :

- la cellule de base appelée BSS (Basic Service Set)
- la cellule de base en mode ad-hoc appelée IBSS (Independent Basic Service Set)
- le point d'accès appelé AP (Acces Point)
- l'ensemble du réseau sans fil appelé ESS (Extented Service Set)
- l'épine dorsale appelée DS (Distribution System)

Typiquement, chaque cellule est contrôlée par un AP, toutes les cellules (encore appelées BBS) sont reliées à une épine dorsale DS qui permettra le transfert de données au sein d'un même ESS ainsi que la communication avec des réseaux filaires. En mode ad-hoc, un groupe de terminaux forment un IBSS et communiquent au sien de cet IBSS sans avoir recours à des tiers.

## 1.4 Etude de la norme IEEE 802.11

A l'instar des autres normes 802.x, 802.11 couvre les couches physique et liaison de données. Le schéma suivant présente les couches en question, positionnées par rapport au modèle de référence OSI de l'ISO :

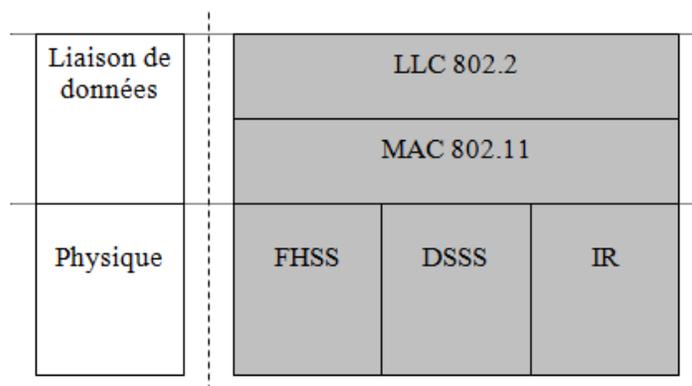


FIGURE 1.3 – Situation de la norme 802.11 [29]

### 1.4.1 Couche physique

La couche physique est chargée de véhiculer les bits de l'émetteur au récepteur. La porteuse est donc l'onde hertzienne. Deux sous-couches ont été définies :

- PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), qui écoute le support et indique ainsi à la couche MAC via un CCA (Clear Channel Assessment) si le support de transmission est libre ou non.
- PMD (Physical Medium Dependur), qui s'occupe de l'encodage des données.

Par ailleurs, la norme de base spécifie trois modes de transmission différents :

- FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) dans la bande des 2,4 GHz ;
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) dans la bande des 2,4 GHz ;
- IR (InfraRouge), seulement pour la communication entre stations proches.

En DSSS : on envoie des données sur une large bande qui permet un débit élevé, mais qui rend le système peu résistants aux perturbations.

En FHSS : une technique plus sophistiquée qui consiste à faire changer la fréquence de l'émetteur après quelques millisecondes est utilisée, ce qui accroît l'immunité au bruit, l'atténuation n'étant pas constante en fonction de la fréquence.

### 1.4.2 Couche liaison de données

La couche liaison de données en 802.11 est composée, à l'instar d'autres normes de la famille 802.x, des deux sous-couches LLC 802.2 et MAC 802.11.

- ✓ La couche LLC normalisée 802.2 permet de relier un WLAN 802.11 à tout autre réseau respectant l'une des normes de la famille 802.x.
- ✓ La couche MAC 802.11 est comparable à la couche MAC 802.3 : elle implante la politique d'accès. Cependant, cette couche MAC est spécifique à l'IEEE 802.11 car elle offre d'avantages de fonctions par rapport à une couche MAC classique (allocation du support, adressage, formatage des trames). Ces fonctions supplémentaires offertes sont normalement confiées aux protocoles supérieurs, comme les sommes de contrôle de CRC, la fragmentation et le réassemblage (très utile car le support radio a un taux d'erreur important), les retransmissions de paquet et les accusés de réception. Cela ajoute de la robustesse à la couche MAC 802.11.

### 1.4.3 Couche de contrôle d'accès au médium (MAC)

Les stations partagent un même support de transmission (les ondes hertziennes en 802.11, le support filaire en 802.3) et doivent obéir à une politique d'accès pour l'utiliser. Ainsi dans cette partie, nous cantonnerons notre étude à la sous-couche MAC et présenterons les différents modes d'accès, ainsi que leurs avantages et inconvénients [13].

Dans 802.11, deux méthodes d'accès sont proposées :

- ✓ la DCF (Distributed Coordination Function), basée sur le principe d'égalité des chances d'accès au support de transmission pour tous les utilisateurs (méthode probabiliste)
- ✓ la PCF (Point coordination Function), basé sur une méthode de polling gérée par le point d'accès (méthode déterministe)

#### 1.4.3.1 Mode DCF Distributed Coordination Function

Le mode DCF est basé sur l'algorithme Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) une adaptation du CSMA/CD (Collision Detection) qui est utilisé par le protocole Ethernet dans les réseaux locaux filaires. Avec CSMA/CD, la station émettrice envoie et écoute le médium en même temps pour détecter d'éventuelles collisions avec d'autres signaux existants dans le canal. Ce n'est pas le cas dans les réseaux sans fil où les collisions peuvent ne pas être détectées par la station émettrice car la puissance du signal émis masque tous les autres signaux. Une autre raison qui peut causer des collisions est le problème des stations cachées. Nous détaillerons après ce problème.

Donc pour qu'une station sans fil envoie des données en évitant les collisions : elle écoute le médium, si ce dernier est libre, la station commence à transmettre les trames. L'algorithme

CSMA/CA est basé sur ce mécanisme de transition. Cette méthode ne garantit pas la transmission correcte des trames surtout si la collision est due à des effets extérieurs comme ondes électromagnétiques venant des machines dans un milieu industriel. Un mécanisme d'acquiescement est implémenté pour assurer l'arrivée correcte des trames émises vers le récepteur. Pour cette raison, la communication sans fil est considérée comme connexion half duplex.

Pour assurer le fonctionnement d'accès au canal, le DCF se base sur un jeu d'intervalle de temps appelé IFS (Inter Frame Spacing). Lorsqu'une station souhaite émettre des trames, elle écoute le médium pendant un temps nommé DIFS (Distributed IFS). Si le canal est libre durant cette période, et si la file d'attente dans la couche MAC de l'émetteur est vide, la trame est directement envoyée. Si non, la station tire un temps aléatoire nommé Backoff Time (BT) durant lequel elle s'absente. Notons que, BT représente un nombre de slots aléatoirement choisi suivant une loi de distribution uniforme dans un intervalle.

$$BT = rand[0, CW] * slot\ time$$

*avec rand[] est une fonction qui  
une loi de distribution uniforme*

Cet intervalle est appelé fenêtre de contention CW (Contention Window). Le slot est une unité de temps (slot time) défini par la couche physique (exemple : slot time pour 802.11a=9µs). La Figure 1.4 explique l'accès au canal en utilisant le mode DCF. La station reste bloquée tant que le canal est occupé. Chaque fois que le médium reste libre durant une durée égale à DIFS, la station recommence à décrémenter son ancien BT. Une fois que le BT atteint la valeur zéro, la station transmet la trame immédiatement. La Figure 1.5 illustre la procédure de Backoff pour différentes stations. Dans le cas où la trame envoyée n'est pas erronée, la station réceptrice envoie une trame d'acquiescement à l'émetteur après un temps SIFS (Short IFS). Ce dernier est utilisé pour séparer les trames d'un dialogue. Sa valeur est inférieure à celle d'un DIFS. Notons que  $DIFS = SIFS + 2 * slot\ time$ . Dans le cas où l'émetteur ne reçoit pas la trame d'acquiescement, c'est à dire lors d'un échec de transmission, la trame de donnée est supposée mal reçue par le récepteur. Cette situation est le plus souvent due à une collision entre les trames émises par différentes stations dans le canal. Pour sortir de cette situation, la station ralentira son rythme d'émission afin que le canal soit moins occupé. Pour cela, elle doublera sa fenêtre de contention CW dans le but d'avoir un BT (temps d'absence) plus grand, puis elle recommencera de nouveau la procédure.

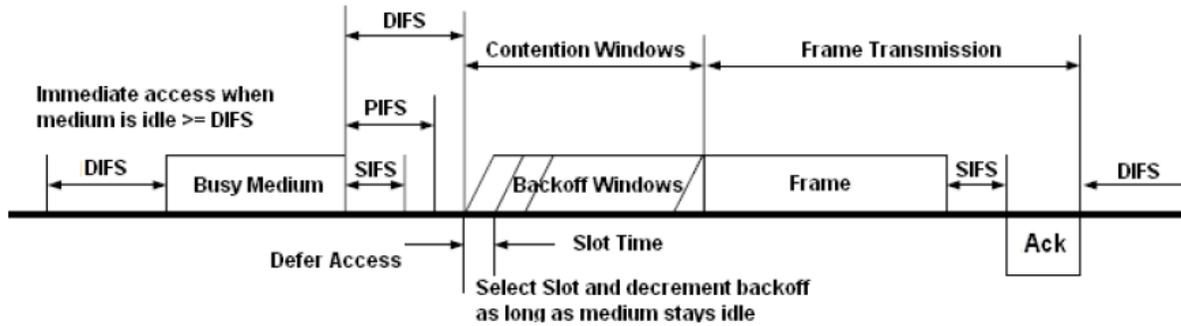


FIGURE 1.4 – Règles d'accès dans DCF, méthode d'accès de base [20]

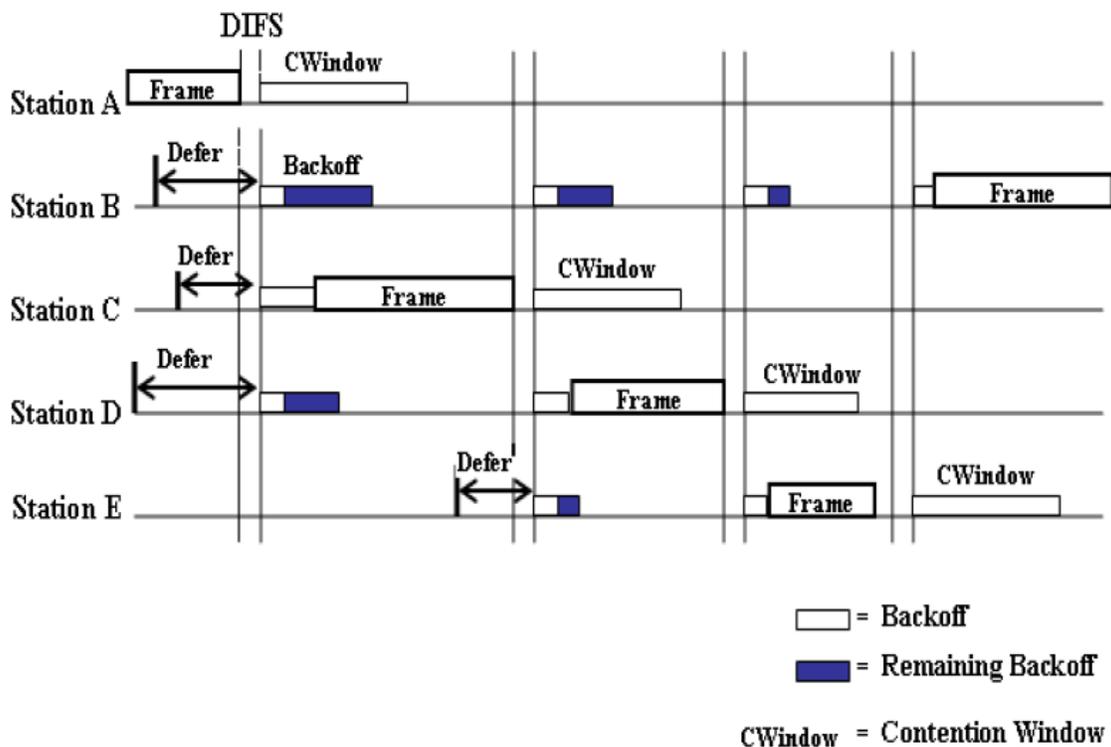


FIGURE 1.5 – Procédure backoff [20]

La taille de la fenêtre de contention est initialisée à une valeur  $CW=CW_{min}=31$ . Lors de chaque nouvelle tentative de transmission suite à un échec,  $CW$  augmente exponentiellement sa valeur selon la formule  $(CW+1)*2 - 1$ .  $CW$  augmentera jusqu'à atteindre  $CW_{max}$ . En cas de succès d'une transmission,  $CW$  est réinitialisée et reprendra la valeur  $CW_{min}$ . Notons qu'une station transmettra une même trame un nombre maximal de fois, équivalent à Short Retry Limit lorsque la taille de cette trame est plus petite qu'un seuil spécifié, ou bien Long Retry limit lorsque sa taille est plus grande qu'un seuil spécifié. Notons bien que les deux

attributs short Retry limit et Long Retry limit sont des attributs variables. En d'autres termes l'utilisateur peut gérer ces attributs pour paramétrer son réseau [26].

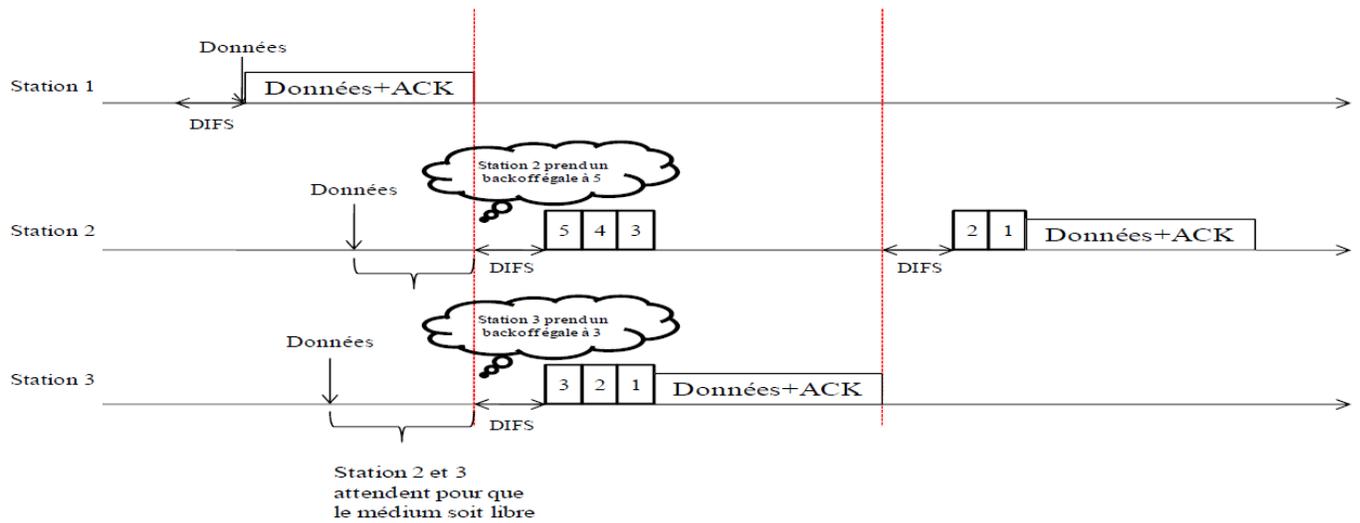


FIGURE 1.6 – Chronogramme de l'algorithme CSMA/CA [8]

Un problème classique des réseaux sans fil est relatif aux stations cachées : deux stations émettrices se situent hors de portée radio l'une de l'autre, mais partagent une zone de couverture commune. Si ces stations veulent envoyer des trames vers une station réceptrice qui se trouve dans la zone commune, leurs trames peuvent entrer en collision puisque chaque station croit que le canal est libre. Pour palier ce problème, la station émettrice peut utiliser un protocole MAC optionnel : le RTS/CTS (Request To Send / Clear To Send). Lorsque cette fonction est utilisée, la station émettrice envoie un RTS à la station réceptrice. Cette dernière répond par une trame CTS qui sera entendue par toutes les stations dans la portée de la station réceptrice. Les trames RTS et CTS contiennent des informations sur la durée d'occupation du réseau nécessaire pour la transmission de données entre la station émettrice et la station réceptrice. Par conséquent, toutes les stations émettrices qui se situent à la portée de la station réceptrice pourront donc différer de ce temps leur accès au médium.

#### 1.4.3.2 Mode PCF : Point Coordination Function

Pour pouvoir répondre aux besoins des applications qui demandent des temps de service bornés, IEEE 802.11 définit le mode d'accès PCF pour permettre aux stations d'avoir une priorité d'accès au médium radio. PCF est un mode de communication synchrone où chaque station émet ses trames après avoir reçu une autorisation. Donc l'accès au médium est géré par un contrôleur (Point Coordinator, PC), qui est relié au point accès. C'est pour cette

raison que le PCF n'est utilisé que dans le mode infrastructure. Le PC appelle les stations d'une manière cyclique. Ce cycle est nommé Beacon interval et la longueur de ce cycle est défini par Target Beacon Transition Time (TBTT) [22].

Ce cycle est formé de deux grandes parties :

- ✓ la Contention Free Period (CFP) où le PC gère l'accès au médium sans contention (mode PCF).
- ✓ la Contention Period (CF) où le mode DCF est utilisé.

Au début du Beacon Interval et pour qu'il ait la priorité d'accès au médium, le PC écoute le canal pendant un temps Priority InterFrame Space (PIFS,  $PIFS < DIFS$ ) et diffuse une trame balise (Beacon frame) à toutes les stations, cette trame contient le TBTT et la durée maximale du CFP nommée CFP-Max-Duration. Les stations qui reçoivent cette trame mettent à jour leur temporisateur appelé Network Allocator Vector (NAV), l'affectant à CFP-Max-Duration. Ces stations décalent leurs souhaits d'accéder au médium avec CSMA/CA jusqu'à l'expiration de leur temporisateur.

Ensuite, le PC commence à interroger les stations associées en envoyant des trames CF-Poll afin de savoir si elles possèdent des données prioritaires à transmettre. La station destinataire du CF-Poll répond à son tour, après un temps SIFS, une trame d'acquittement (CF-ACK) qui acquitte la CF-Poll. Généralement, des données accompagnent les trames CF-ACK. Pour sa part, le PC acquitte la trame qu'il reçoit de la station également après un intervalle SIFS. Cet acquittement est généralement accompagné par une CF-Poll pour interroger une autre station.

Si la station destinataire ne répond pas après un temps PIFS, le PC passe à l'interrogation de la station suivante. La Figure 1.7 illustre un exemple du Beacon Interval avec les différents étapes qui se produisent durant cet intervalle. Peu de vendeurs d'équipements Wifi implémentent le mode PCF dans leurs cartes réseau. Pour cette raison, ce mode est utilisé dans des applications privées. Par contre, toutes les cartes réseau sans fil communiquent à travers le mode DCF. Nous nous intéressons donc au mode DCF.

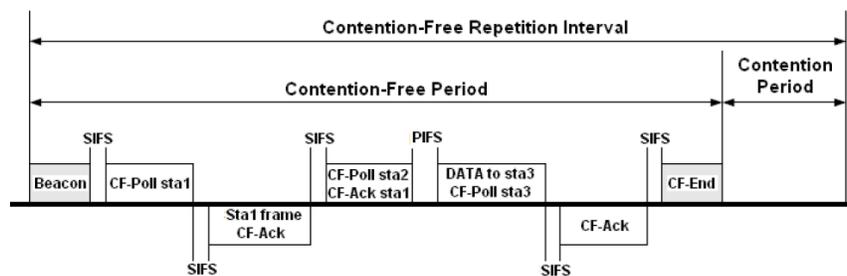


FIGURE 1.7 – Règles d'accès dans PCF [10]

## 1.5 Extensions de la norme IEEE 802.11

Avec la récente adoption de ces nouveaux standards pour les sans fil haut débit, les utilisateurs nomades disposent désormais de performances, de débits. Ce qui explique pourquoi les WLAN sont sur le point de devenir la solution de connexion préférée des entreprises. Le nouveau standard de transmission sans fil IEEE 802.11HR (Haut Débit), qui définit un débit de jusqu'à 11 Mbit/s, annonce l'ouverture de nouveaux marchés pour les WLAN.

Les nouvelles générations de réseaux locaux sans fil proposés par l'IEEE 802.11 sont décrites dans les normes 802.11a et 802.11e, qui représentent des évolutions par rapport à la norme de base présentée ci-avant.

Les différentes révisions de la norme 802.11 sont citées ici :

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 802.11<br>(norme initiale) | Dans sa version initiale de 1997, 802.11 proposait trois couches physiques : Radio a étalement de spectre par utilisation de séquences directes (DSSS3), débit bande de base 1 Mbits/s et 2 Mbits/s, Radio a étalement de spectre par utilisation de sauts de fréquences (FHSS3) a 1,6 Mbits/s, Infrarouge, 1 ou 2 Mbits/s.   |
| 802.11a                    | propose 8 canaux dans la bande des 5 GHz. Cette proposition permet d'atteindre un débit bande de base de 54 Mbits/s sur une portée d'une vingtaine de mètres environ etc.   |
| 802.11b                    | propose une amélioration de la norme initiale en introduisant la modulation CCK3 dans la bande des 2,4 GHz. Deux nouveaux débits sont alors disponibles : 5,5 Mbits/s et 11 Mbits/s sur une portée de quelques dizaines de mètres environ. Ratifiée en septembre 1999, 802.11b est l'amendement de 802.11 qui a donné sa popularité au Wifi. Bien que 802.11b soit encore largement utilisé, il est maintenant supplanté par 802.11g. |
| 802.11c                    | propose une modification de la norme 802.1d existante pour les réseaux filaires afin de la transposer a 802.11. Elle permet une normalisation de l'interconnexion de niveau 2 (pont) entre un réseau filaire et un réseau Wifi.   |
| 802.11d                    | propose un protocole d'échange d'informations sur les fréquences et les puissances d'émission en vue d'une utilisation dans chaque région du monde, quelque soit le pays d'origine du matériel.   |
| 802.11e                    | propose des outils de Qualité de Service. Les travaux spécifiques de ce groupe de travail seront détaillés et cette norme sera étudiée plus loin dans ce rapport.   |
| 802.11f                    | est une recommandation qui propose une extension pour la communication entre points d'accès compatibles 802.11 par le protocole IAPP en introduisant des capacités de changement de cellules et d'équilibrage des charges (load-balancing).   |
| 802.11g                    | constitue une amélioration directe de 802.11b en proposant un débit bande de base de 54 Mbits/s sur la bande des 2,4 GHz. Ce gain en débit est réalisé en reprenant le concept de l'étalement de spectre par OFDM utilisé dans 802.11a. Toutefois, 802.11g garde une compatibilité avec 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g peuvent fonctionner en 802.11b.                                       |

|         |   |
|---------|---|
| 802.11h | propose des améliorations pour pallier au futur problème de la sur utilisation des fréquences dédiées à 802.11. Ce groupe de travail propose d'une part une possibilité de sélection dynamique de fréquence appelée DFS, qui permet de choisir le canal le moins perturbé, et d'autre part le contrôle de puissance TP pour Transmit Power Control, qui permet à l'émetteur de réduire sa puissance d'émission au minimum nécessaire. |
| 802.11i | met en place les mécanismes afin de garantir la sécurité. Cette norme définit des techniques de chiffage telles que l'AES.  |
| 802.11n | son but est d'étendre le standard 802.11 pour atteindre un débit de 540 Mbit/s tout en assurant une rétrocompatibilité avec les trois précédents amendements (a, b et g). Sa portée est d'une centaine de mètre. il utilise les deux bandes 2.4 et 5GHz.  |
| 802.11x | sécurisation de divers médias y compris le lien sans fil par le biais de mécanismes d'authentification fort et de serveur RADIUS avec une distribution dynamique des clés.  |

TABLE 1.2 – Différents standard 802.11

## 1.6 Qualité de service dans IEEE 802

IEEE 802.11e est un amendement à la norme IEEE 802.11 qui introduit des améliorations en termes de Qualité de Service (QoS) au niveau de la sous-couche Medium Access Control (MAC) de la couche liaison de données du modèle OSI. Cet amendement a été approuvé le 22 septembre 2005 et publié le 11 novembre de la même année[3].

### 1.6.1 Standard IEEE 802.11e

IEEE 802.11e apporte des améliorations en terme de qualité de service relativement au transport de la voix, de l'audio et de la vidéo par le biais de réseaux informatiques locaux à liaison sans fil (WLAN)[3]. L'architecture MAC comporte :

- la fonction de coordination distribuée DCF (Distributed Coordination Function) qui est une variante améliorée de la méthode d'accès CSMA/CA. Celle-ci permet d'éviter les collisions lors de la transmission par ralentissement aléatoire après chaque trame (backoff).
- la fonction de coordination part point PCF (Point Coordination Function) permettant d'accéder au médium sans fil de manière équitable et sans contention.
- la fonction de coordination hybride HCF (Hybrid Coordination Function) intermédiaire entre DCF et PCF et permettant d'avoir une qualité de service améliorée par rapport à DCF.

- le mode EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) qui définit quatre catégories d'accès aux canaux ou priorités :
  - ✓ une priorité à la voix.
  - ✓ une priorité à la vidéo.
  - ✓ une priorité dite "Best Effort" pour les applications standards.
  - ✓ une priorité dite "Backroug" lorsque le trafic est faible.
- le mode HCCA (HCF Controlled Channel Access) avec contrôle d'accès pour la durée et la régularité des transmissions.

### 1.6.1.1 Enhanced Distributed Channel Access, EDCA

A l'identique du mode DCF de la norme 802.11, EDCA fournit une transmission asynchrone et fonctionne en mode ad-hoc ou en infrastructure. Dans ce mode, chaque flux aura une priorité. Chacune d'elle correspond à une probabilité d'accès au médium différente. EDCA utilise le même algorithme d'accès au médium que pour le DCF : le CSMA/CA. Mais le jeu d'intervalles de temps (Backoff time, DIFS) sur lequel cet algorithme repose a été personnalisé pour chaque priorité. Plus le flux est important (exemple : information critique de système de commande tel qu'une alarme) plus sa priorité est grande et plus le flux aura la possibilité d'accéder au canal grâce à un DIFS plus petit et un Backoff time tiré dans un intervalle plus petit.

Les types de flux portent un identifiant nommé Traffic Identifier (TID). Selon leur besoin de QoS, c'est à dire selon leur priorité, TID varie de 0 à 15. Les flux de TID compris entre 0 et sept utilisent l'EDCA, tandis que les autres flux (TID=8, ..., 15) utilisent le mécanisme HCCA. Dans l'EDCA, les huit niveaux sont appelés User Priority (UP). Chaque priorité est associée à une catégorie d'accès (Access Category ou AC) [9]. Le Tableau 1.3 indique les différentes priorités des flux ainsi que leur classification selon les ACs.

| Priorité   | User priority (UP) | 802.1D Designation | Access Category (AC) | Designation |
|--|--------------------|--------------------|----------------------|-------------|
| ↓<br>Plus bas<br><br><br><br><br><br><br>Plus haut | 1                  | BK                 | AC_BK                | Background  |
|  | 2                  | -                  |                      | Background  |
|  | 0                  | BE                 | AC_BE                | Best Effort |
|  | 3                  | EE                 |                      | Best Effort |
|  | 4                  | CL                 | AC_VI                | Vidéo       |
|  | 5                  | VI                 |                      | Vidéo       |
|  | 6                  | VO                 | AC_VO                | Voix        |
|  | 7                  | NC                 |                      | Voix        |

TABLE 1.3 – Relation entre les priorités et les catégories d'accès dans EDCA

En réalité, chaque AC utilise une file d'attente. Chacune possède ses propres paramètres et son propre comportement EDCA Function (EDCAF). La Figure 1.8 présente clairement les quatre AC qui se trouvent dans une carte réseau sans fil.

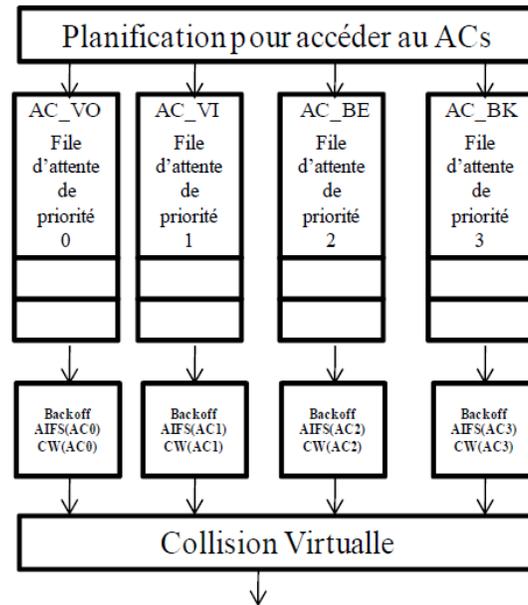


FIGURE 1.8 – Modèle d'implémentation de référence d'EDCA [4]

Rappelons que dans le mode DCF, les caractéristiques de temps d'attente sont les paramètres DIFS, CWmin et CWmax. Pour l'EDCA, DIFS est appelé Arbitration IFS (AIFS) et chaque AC(i), est caractérisé par un AIFS(i), CWmin(i), CWmax(i) où i représente les quatre AC. Plus le flux présente des contraintes de QoS, plus son AC est grande, plus le temps d'attente pour accéder au médium doit être faible. Par conséquent, AIFS(i), CWmin(i) et

$CW_{max}(i)$  présenteront des petites valeurs. Un autre paramètre intégré dans EDCA est le Transmit Opportunity,  $TXOP(i)$ . 802.11e définit cette variable comme étant un intervalle de temps durant lequel une station possède le droit de transmettre en continu.

Le déroulement des transmissions des données dans EDCA se fait comme suit : Les trames qui arrivent vers la couche MAC sont divisées selon leurs priorités. Puis, elles entrent dans l'une des quatre files d'attente (AC). Dans l'EDCA, chaque AC se comporte à elle seule comme une station virtuelle. Plus précisément, chaque AC attend un temps  $AIFS(AC)$  et décrémente son propre temps Backoff si le médium est libre. De même, si le médium est occupé, tous les temps Backoff des AC se bloquent. En d'autres termes, chaque file exécute son propre algorithme CSMA/CA. Une collision peut se produire entre les différents ACs dans une même station physique. Dans ce cas, l'AC de haute priorité gagne l'accès au médium, tandis que l'AC de faible priorité prend un nouveau temps Backoff en doublant la fenêtre de contention, c'est comme si son paquet avait subi une collision avec une trame venant d'une autre station. Ce phénomène est appelé Collision Virtuelle.

Le comportement à l'identique du DCF se poursuit, après transmission des trames, chaque AC attend une trame d'acquittement. Au cas où cette dernière n'arrive pas, l'AC double la fenêtre de contention et exécute de nouveau la procédure de Backoff. La station recommence à transmettre la trame durant un nombre maximal de fois, équivalent à Short/Long Retry Limit. Après ces retransmissions, la trame est supposée perdue. En général, dans un SDCR sans fil, les trames sont de petite taille donc le Short Retry Limit est plutôt utilisé dans ces systèmes. Dans la suite de ce mémoire, le Short Retry Limit sera appelé Nombre maximal de retransmission [26].

Dans le but de respecter une QoS pour les trafics temps réels dans EDCA, le QAP peut demander à certains AC un contrôle d'admission. Cette demande sera effectuée via la trame de balise grâce à un champ appelé Admission Control Mandatory (ACM). Si l'ACM d'un AC est égal à 1, cela aura comme signification que tous les trafics qui appartiennent à cet AC doivent faire une demande d'accès au QAP afin d'envoyer leurs trames. Au cas où ils n'ont pas eu l'autorisation de transmettre, ces trafics diminuent leurs priorités. Dans le cas contraire, si l'ACM d'un AC est égal à 0, cela signifie que ses trafics peuvent directement accéder au réseau.

En général, les quatre valeurs des paramètres de chaque AC,  $AIFS(i)$ ,  $CW_{min}(i)$ ,  $CW_{max}(i)$  et  $TXOP(i)$  sont définies dans le standard par défaut mais elles peuvent être changées dynamiquement par le QAP, qui envoie ces valeurs dans la trame de balise. Rappelons bien que ce cas n'existe pas dans le 802.11-DCF, les DIFS,  $CW_{min}$  et  $CW_{max}$  sont des valeurs fixes.

Dans EDCA, une option (NO ACK) est incluse : le récepteur peut ne jamais envoyer des

trames d'acquittement. L'émetteur suppose alors que la trame de données est arrivée correctement au destinataire. Une autre option qui est intégrée dans l'EDCA, c'est le BLOCK d'acquittement où le récepteur envoie une seule trame d'acquittement après avoir reçu plusieurs trames de données. Dans la trame d'acquittement, il indiquera les trames de données qu'il a mal reçues. Comme dans le DCF, le mécanisme RTS/CTS peut être utilisé dans l'EDCA afin de réserver le médium pour échanger des informations entre deux stations [10].

Rappelons que ce mécanisme a pour but de diminuer les collisions entre différentes stations Cachées.

### 1.6.1.2 Hybrid coordination function Control Channel Access (HCCA)

HCCA est utilisé seulement dans un réseau infrastructure et fournit une transmission synchrone. Ce mécanisme est similaire au mode PCF, avec cependant quelques modifications. Dans HCCA, PC est appelé HC (Hybrid Coordinator). Ce dernier sert à contrôler les trafics du réseau de telle sorte que chaque flux doit envoyer une demande au HC pour une obtenir une permission d'accès au médium. Sa demande décrit ses besoins de QoS. Le HC répond par une trame qui donne à la station un temps global maximal d'accès appelé medium-time. Le HC autorise également à la station d'envoyer en continu durant un temps limité, HCCA-XOP, pour qu'elle ne monopolise pas le médium. L'algorithme utilisé pour calculer le medium-time est un algorithme ouvert, qui est un sujet de recherche.

Des études (Ansel, et al., 2004),(Choi, 2004) ont montré que l'algorithme standardisé pour calculer HCCA-TXOP est efficace pour les flux à débit constant mais l'est moins pour les flux à débit variable. Des travaux de recherche (Lee, et al., 2006), (Grilo, et al., 2003), (Passas, et al., 2006), (Inan, et al., 2006), (Yang, 2004) font des propositions afin de déterminer les valeurs de HCCA-TXOP pour obtenir une meilleure performance et assurer les besoins des applications[21].

Ce mode n'est pas implémenté dans les cartes réseau sans fil disponibles sur le marché, vu sa complexité de gestion des flux. Par conséquent, il est préférable de s'intéresser plutôt au mode EDCA. Ce dernier existe actuellement dans les nouvelles cartes sous le nom de WMM (WiFi- Multimedia). Intel® Wireless WiFi Link 4965AGN est un exemple d'une carte que l'on trouve actuellement sur le marché, qui peut gérer le mode EDCA.

## 1.7 Conclusion

Les réseaux locaux sans fil sont une alternative sérieuse aux réseaux locaux entièrement filaires. Cependant, ceci ne peut être réalisé qu'après la résolution d'un ensemble de problèmes

inhérents à ces environnements. Parmi ces problèmes, nous pouvons citer ceux liés à la QoS et au support des applications temps réel et multimédia par ce type de réseaux. Comme nous l'avons souligné dans ce chapitre, un ensemble important d'activités de recherches ont été réalisées dans ce sens. Ainsi, les réseaux locaux sans fil ont passé de réseaux capables d'acheminer uniquement des données best effort à des réseaux à différenciation de services capables de supporter des flux qui nécessitent une QoS. Le mécanisme de base DCF dans 802.11 a été remplacé par EDCA dans 802.11e, ce dernier a introduit un certain degré de différenciation entre les différents types de trafic.

# Evaluation des performances

## 2.1 Introduction

Les systèmes informatiques et les réseaux de communication (réseau Internet, réseaux mobiles, réseaux ad hoc, de capteurs, etc) ont récemment vu une période de croissance comme jamais dans l'histoire. Leur évolution autorise la mise en œuvre d'architectures parallèles et distribuées de plus en plus sophistiquées, qui intègrent à la fois des traitements répartis et des échanges d'information entre ces traitements. Ces réseaux étant de plus en plus complexes, la modélisation et l'évaluation de performance joue un rôle crucial dans leur processus de conception pour assurer leur déploiement et leur exploitation efficaces dans la pratique.

Ainsi le présent chapitre donne une idée sur les méthodes de l'évaluation des performances avec leurs principaux avantages et inconvénients.

## 2.2 Méthode de l'évaluation des performances

L'évaluation des paramètres des performances d'un modèle avant son implémentation en un prototype, peut se réaliser par 3 méthodes : la simulation, les méthodes analytiques et les mesures comme suit :

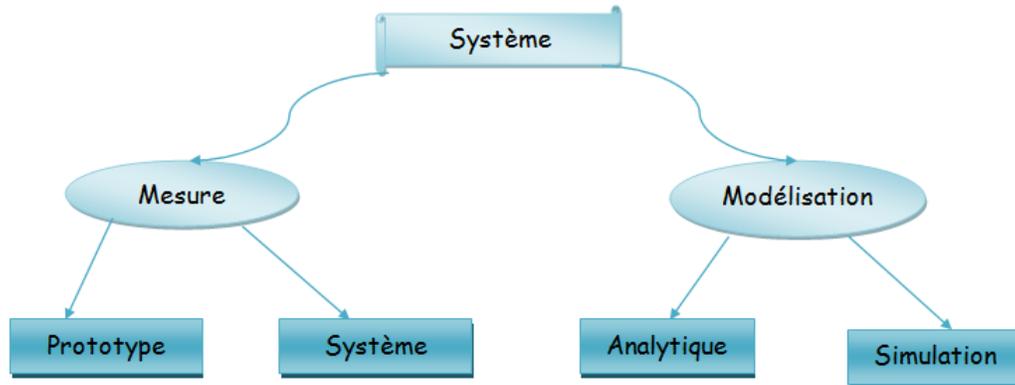


FIGURE 2.1 – Technique de l'évaluation de performances.

### 2.2.1 Mesure

Elles ne peuvent se pratiquer que sur un système réel déjà en exploitation ou sur un prototype, Ainsi, on peut effectuer des mesures sur un réseaux mobile à l'aide d'un moniteur logiciel ou matériel qui génère le trafic à partir d'un terminal ou d'une station. L'analyse de ce trafic jusqu'à saturation, L'analyse de ce trafic permet d'en effectuer une analyse statistique et déterminer les mesures de performance qui nous intéresse (par exemple, le temps de réponse). en faisant varier le trafic jusqu'à saturation, on peut estimer la capacité maximal du réseaux et proposer des solutions pour son dimensionnement. Les moniteurs matériels sont composés de capteurs et de sonde positionnés aux points stratégiques des stations à évaluer. Ils comprennent en outre des modules permettant de récolter les données interceptées et d'en effectuer un traitement [25].

#### ✓ Inconvénients

- Les inconvénients liés à ce type d'approche sont liés à des questions de cout et certaines difficultés techniques de mise en œuvres (positionnement des sondes ou capteurs, interprétation des données, fiabilités des mesures, court-circuit, etc).

#### ✓ Avantages

- Résultats plus crédibles.
- Peuvent servir comme trace pour des simulations ou pour valider des modèles analytiques.

## 2.2.2 Modélisation

L'étude d'un système réel n'est que rarement réalisable dans un environnement opérationnel. La représentation du fonctionnement d'un système d'une manière plus ou moins précise est nécessaire pour nous permettre d'approcher le comportement du système. Cette représentation se nomme modélisation. La démarche à suivre pour l'évaluation de performances peut être schématisée par La Figure 2.2

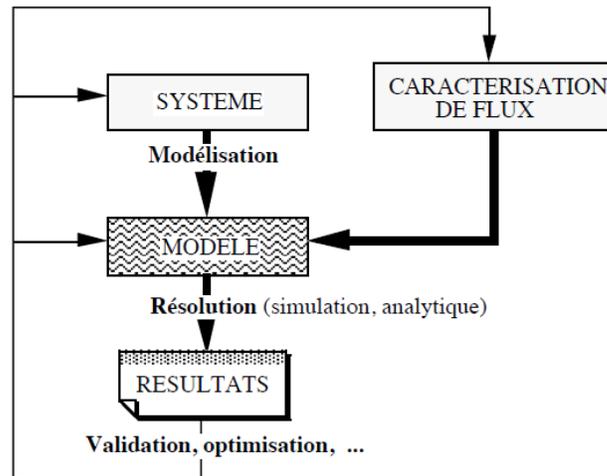


FIGURE 2.2 – Démarche de l'évaluation de performances.

Étant donné un système à étudier, nous devons d'abord créer un modèle de celui-ci. Il convient de souligner qu'un tel modèle est toujours un compromis entre la fidélité et la simplicité. En effet, il n'existe pas de modèle unique pour un système réel donné. Selon la connaissance du système de chacun, on peut obtenir soit un modèle très fidèle mais souvent peu exploitable, soit un modèle peu fidèle et très exploitable. Notre tâche ici est de trouver un modèle qui soit relativement fidèle au système réel et exploitable.

la modélisation est donc une représentation logique et mathématique du comportement système réel dans un contexte donné et une problématique donnée. Le modèle prend dans la majorité des cas la forme d'une série d'hypothèses concernant le fonctionnement du système et qui sont exprimés à l'aide de relations mathématiques, logiques ou symboliques entre les entités (objet d'intérêt). Ces modèles sont dit analytique. Lorsque le système est assez complexe à modéliser de manière analytique, Les praticiens utilisent un modèle descriptif qui détaille les différents événements et actions décrivant son comportement cette méthode est appelée la simulation [6].

### 2.2.2.1 Simulation

La simulation [6] représente un ensemble de techniques permettant d'approcher le comportement d'un système quelconque de façon stochastique. Le simulateur est le programme contenant l'algorithme utilisé pour simuler le système étudié.

Il est bien sûr possible d'écrire un programme de simulation en utilisant un langage de programmation générique tel que Java ou C. C'est d'ailleurs très formateur d'écrire ainsi au moins une fois dans sa vie un simulateur. Mais il s'avère très vite que l'effort de programmation est trop important pour développer des simulateurs complexes de grande taille.

Afin de faciliter l'utilisation de la simulation, de nombreux efforts ont été faits sur la construction des outils de simulation dédiés. Ces outils sont souvent dotés d'une interface graphique facilitant ainsi la construction des modèles et l'exploitation des résultats. On peut trouver beaucoup d'outils de simulation, citons les quelques uns les plus connus : Opnet qui dispose des bibliothèques de modèles préconstruits, ns qui est bien connu du monde académique et gratuit, OMNeT++ qui est aussi gratuit et suit le même principe que Opnet (sans les bibliothèques de modèles),etc.

#### ✓ Inconvénients

- une simulation n'est qu'un déroulement possible, les résultats (estimations) sont fournis avec une incertitude statistique.
- les temps d'exécution peuvent être très importants.

#### ✓ Avantages

- on peut simuler des modèles complexes, plus réalistes que ceux que l'on peut résoudre analytiquement.

### 2.2.2.2 Modélisation analytiques

Ce sont des méthodes basées sur des modèles mathématiques, et leurs résultats sont obtenus par calcul. De nombreuses recherches dans le domaine de la modélisation se sont focalisées sur la théorie de la file d'attente. Plusieurs modèles de file d'attente sont établis [24]. Il existe de nombreux outils mathématiques permettant de telles évaluations :

- Les automates, Les RdP.
- Les approches probabilistes (Chaine de Markov, file d'attente).
- Les approches déterministes.

**✓ Inconvénients**

- Peu de modèles qu'on sait résoudre simplement de façon exacte, complexité numérique élevée pour les modèles Markoviens.

**✓ Avantages**

- Résultats sans incertitude, résultats paramétriques.
- Les formules analytiques sont peu couteuse en temps de calcul.

**A Chaîne de Markov**

Les chaînes de Markov facilitent l'analyse des performances des systèmes dynamiques dans de nombreux domaines d'application grâce à un ensemble de théorèmes qui permettent de mettre en œuvre des calculs matriciels pour l'obtention des indices de performance attendus.

Plusieurs formalismes de haut niveau ont été proposés pour permettre de générer des chaînes de Markov très grandes et très complexes de façon compacte et structurée. Par exemple, les réseaux d'automates stochastiques, les réseaux de files d'attente, les réseaux de Pétri stochastiques généralisés, les algèbres de processus sont largement utilisés dans divers domaines d'application, grâce à leur grand pouvoir de modélisation. Le système est alors représenté sous forme de sous-systèmes qui interagissent. Il est alors possible d'obtenir le générateur infinitésimal de la chaîne de Markov à partir du formalisme de haut niveau, et de calculer les solutions stationnaires et transitoires. Lors de l'utilisation de tels formalismes, un logiciel permet souvent de générer l'espace d'états et de calculer des indices de performances.

**B Files d'attente**

La théorie des files d'attente ("queueing theory" en anglais) permet de modéliser des situations où des clients arrivent à des temps aléatoires à un serveur. Le serveur peut être le guichet d'une banque, d'un bureau de poste, la caisse d'un supermarché, une station service par exemple, mais également un serveur informatique dont les clients sont des tâches que le serveur doit traiter. Le temps nécessaire à servir chaque client est également supposé aléatoire [28].

## 2.3 Objectif de l'évaluation des performances

L'analyse de performance vise à chercher la configuration satisfaisante afin de prédire correctement les performances d'un système ainsi, d'améliorer la qualité de service de celui-ci durant les deux phases : conception et exploitation.

### ✓ Phase de conception

- Comparer différentes alternatives (architectures, algorithmes de routage, etc).
- Dimensionner le système, c.à.d., déterminer le nombre et la taille des composants pour répondre aux objectifs fixés.
- surcout inutile.
- Réalisation parfois impossible.

### ✓ Phase d'exploitation

- Améliorer les performances d'un système existant.
- Etudier le système sous des conditions critiques.
- Etudier l'évolution possible du système.

## 2.4 Métriques de performances

- Le débit.
- Le temps de réponses.
- Nombre de client dans le système.
- Le taux d'utilisation.
- La probabilité de perte.

## 2.5 Conclusion

Ce chapitre a fourni un aperçu sur les spécificités de l'évaluation des performances, en faisant le point sur ses différentes méthodes dont la Mesure, les méthodes analytiques et la simulation, en précisant leurs avantages et inconvénients. Ce qui nous a permis d'opter pour la méthode analytique dans le but de réaliser notre travail. Dans ce travail, nous avons utilisé la modélisation (simulation et méthode analytique)

# Synthèse sur les travaux existants, problématique et proposition

## 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons, dans un premier temps, une analyse détaillée des apports des modèles analytiques de la littérature. Suite à cette critique, nous présentons un nouveau modèle analytique pour EDCA, une amélioration du mécanisme EDCA et, enfin un modèle analytique pour EDCA amélioré. Ce mécanisme est appelé E-EDCA. Dans E-EDCA, pour chaque catégorie d'accès, une AC ne double pas la taille de sa fenêtre de contention, mais attend la fin du blocage, puis tente de transmettre à nouveau.

## 3.2 Etat de l'art sur quelques modèle de DCF et EDCA

### 3.2.1 Modele analytique pour DCF

#### 3.2.1.1 Modèle de Bianchi

Les modèles analytiques basés sur les chaînes de Markov ont à peu près commencé avec le fameux modèle de Bianchi [7]. Bianchi a proposé un modèle basé sur une chaîne de Markov à deux dimensions pour modéliser le processus de backoff et prédire le comportement du mécanisme DCF. Ce modèle avait pour but d'estimer le débit de saturation et d'évaluer la performance du protocole.

L'analyse du fonctionnement du protocole 802.11 [7] permet de diviser l'axe du temps en slots temporels, un slot correspond soit à une émission (correcte ou non) d'une trame soit à un slot vide où aucune émission n'a eu lieu, dans ce dernier cas on dit que le slot est vide et il correspond à une décrémentation d'un compteur de backoff. Cette observation nous permet de considérer trois types d'événements pouvant se produire dans un slot :

- a. Une transmission correcte d'une trame ;
- b. Une transmission non correcte (collision) ;
- c. Aucune transmission.

Notons  $P_{tr}$  la probabilité qu'au moins une de  $n$  stations émet une trame durant un time slot, et  $P_s$  la probabilité conditionnelle que l'émission soit correcte sachant que la trame a été effectivement émis sur le medium physique, alors les probabilités des événements a, b, c précédents sont :

$$P[a] = P_{tr}P_s$$

$$P[b] = P_{tr}(1 - P_s)$$

$$P[c] = 1 - P_{tr}$$

L'expression du débit utile s'exprime :

$$S = \frac{E[\text{Charge utile transmise dans un slot}]}{E[\text{durée d'un slot}]} = \frac{P_s P_{tr} E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c}$$

Où :

$E[P]$  : la longueur moyenne de la charge utile d'une trame ;

$T_s$  : la durée moyenne d'une émission correcte ;

$T_c$  : la durée moyenne d'une émission non correcte ;

$\sigma$  : la durée d'un slot vide.

Les expressions de  $T_s$  et  $T_c$  dépendent du mécanisme utilisé : mécanisme de base ou avec RTS/CTS.

Dans le cas du mécanisme de base (sans RTS/CTS), une émission correcte est représentée sur la figure suivante :

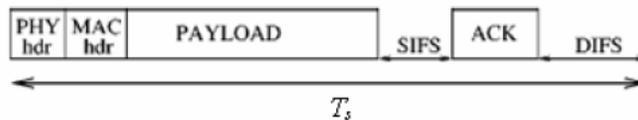


FIGURE 3.1 – Durée moyenne d'une émission correcte (sans RTS/CTS)

La durée moyenne  $T_s(E[P]) = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta$  tel que  $H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$

Une émission non correcte est représentée par :

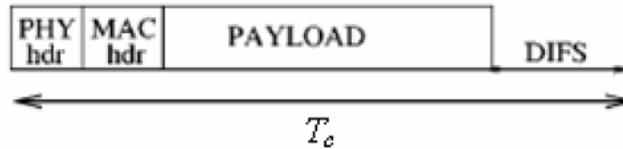


FIGURE 3.2 – Durée moyenne d'une collision (sans RTS/CTS)

Sa durée moyenne est :  $T_c(E[P*]) = H + E[P*] + DIFS + \delta$

Où  $E[P*]$  représente la valeur moyenne de la longueur maximale des trames participant dans une collision. La durée d'une collision dépend du nombre des stations participant dans cette collision, pour cela l'expression de  $E[P*]$  dépend de la probabilité qu'une station accède au médium.

Dans le cas du mécanisme RTS/CTS, une émission correcte est représentée sur la figure suivante :

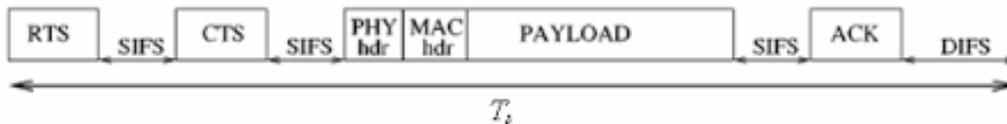


FIGURE 3.3 – Durée moyenne d'une émission correcte (avec RTS/CTS)

$$T_s(E[P]) = RTS + SIFS + \delta + CTS + SIFS + \delta + H + E[P] + SIFS + ACK + DIFS + \delta$$

Et une collision par :

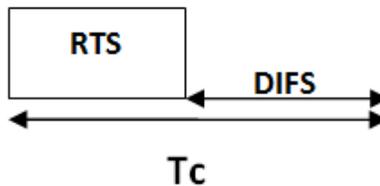


FIGURE 3.4 – Durée moyenne d'une collision (avec RTS/CTS)

$$T_c = RTS + DIFS + \delta$$

Le calcul des probabilités  $P_{tr}$  et  $P_s$  peut se faire en supposant une deuxième hypothèse simplificatrice, c'est de découpler l'interaction entre les différentes stations, c'est à dire que la

probabilité d'accès au medium d'une station est indépendante de l'état (nombre de retransmission) des autres stations. Cette hypothèse est beaucoup moins évidente que la première, mais les simplifications qu'elle entraîne dans les calculs sont énormes. Grâce à cette approximation on peut définir la probabilité  $\tau_n$  qu'une station particulière parmi les  $n$  autres stations émette une trame durant un time slot, alors  $P_{tr} = 1 - (1 - \tau_n)^n$ . Sachant que la probabilité qu'une seule station émette une trame dans un time slot est  $n\tau_n(1 - \tau_n)^{n-1}$  alors :

$$P_s = \frac{n\tau(1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n}$$

Pour calculer la probabilité  $\tau_n$  on va utiliser les chaînes de Markov. L'idée principale est de modéliser le couple (nombre de retransmission, compteur de backoff) par une chaîne de Markov à temps discrète. Soit  $b(t)$  le processus aléatoire représentant la valeur du compteur de backoff pour une station particulière au début du  $t^{ième}$  slot.  $b(t)$  est un processus aléatoire à temps discrète mais non Markovien parce que  $b(t)$  ne dépend pas seulement de  $b(t-1)$  mais aussi du nombre de retransmission. Soit  $s(t)$  le processus aléatoire qui représente le nombre de la retransmission courante, alors le processus  $(s(t), b(t))$  est Markovien. En supposant qu'il a au maximum  $m$  retransmissions, la longueur des fenêtres de backoff sera notée  $CW_i = 2^i W_0$  pour  $0 \leq i \leq m$ , avec  $CW_{min} = W_0$  et  $CW_{max} = 2^m W_0$

L'approximation clé de ce modèle est que chaque trame émise entre en collision avec une probabilité  $p$  indépendante du nombre de retransmission de la station courante et de celle des autres stations.

$$p = P[\text{collision} / \text{la trame est émise}]$$

Alors Chaîne de Markov du modèle de Bianchi  $(s(t), b(t))$  est :

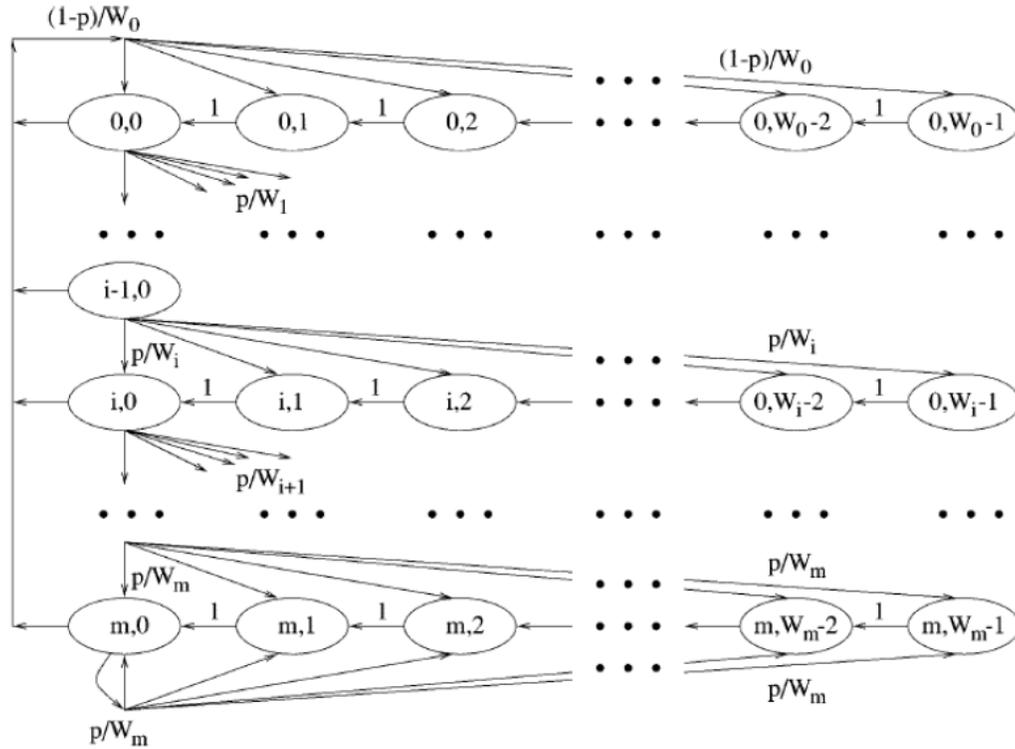


FIGURE 3.5 – Chaîne de Markov du modèle de Bianchi

Puisque  $\tau_n$  correspond à la probabilité que la station se trouve en état d'émission durant la période du time slot alors :

$$\tau = \frac{2(1 - 2p_c)}{(1 - 2p_c)(CW_{min} + 1) + p_c CW_{min}(1 - (2p_c)^m)}$$

P : est la probabilité de collision sachant que la station est en train d'émettre, ceci est équivalent à dire qu'il y a au moins une autre station parmi les  $n-1$  restant qui en train d'émettre. Donc  $p = 1 - (1 - \tau_n)^{n-1}$

### 3.2.1.2 Tay et Chua

Tay et Chua, dans [15], évaluent le débit en saturation d'un réseau à un saut, c'est-à-dire synchronisé, sans bruit et sans mécanisme RTS-CTS, cet article montre que la probabilité de collision ne dépend que de la taille des fenêtres de contention initiale et maximale et du nombre de stations en concurrence. Ils montrent par ailleurs que le débit de saturation ne dépend que du rapport la taille de la fenêtre de contention initiale et le nombre de stations. En conséquence, diviser par deux la taille de la fenêtre de contention initiale est équivalent en terme d'utilisation du canal à doubler le nombre de stations en concurrence. Enfin, ils montrent que pour utiliser au mieux la capacité d'un tel réseau, il est nécessaire de choisir

la taille de la fenêtre de contention en fonction de la racine carrée de la taille de paquet. Les analyses présentées dans cet article, ainsi que les expressions sont validées en utilisant le simulateur de Giuseppe Bianchi.

### 3.2.1.3 Lishnevsky et Liakhov

Lishnevsky et Liakhov, dans [11], s'intéressent à l'impact d'une perturbation du canal radio par un bruit homogène sur les performances du protocole IEEE 802.11 dans le cas d'un réseau à un saut. L'ajout de cette perturbation au niveau radio aura pour conséquence un accroissement du taux d'erreurs bits sur chaque trame. Les auteurs modifient le modèle proposé par Bianchi en ajoutant une probabilité, fonction de la longueur de trame, pour chaque trame de subir une perturbation. Ils aboutissent à une estimation du débit résultant et de la probabilité de rejet d'une trame fonction du nombre de stations dans le réseau et de l'intensité du bruit perturbateur.

### 3.2.1.4 Li et al

Li et al. , dans [12] étudient par simulation et analytiquement la capacité de réseaux ad hoc utilisant le protocole IEEE 802.11. Au travers de l'évaluation du débit de bout en bout que peuvent espérer obtenir les émetteurs de différents scénarios tels qu'une chaîne de nœuds, une grille régulière ou un scénario aléatoire. Cependant, dans le cas général, les performances de réseaux entièrement aléatoires sont bien en deçà de cette limite. Le passage à l'échelle des réseaux ad hoc ainsi formés semble donc difficile. Cependant, ce problème de performances est fortement réduit lorsque l'on considère que les trafics gardent une certaine localité, c'est-à-dire lorsque la distance en nombre de sauts entre les émetteurs et leurs récepteurs associés reste en moyenne faible, évitant la saturation du cœur du réseau et améliorant ainsi la répartition de la charge dans le réseau.

### 3.2.1.5 Jun et Sichitiu

Jun et Sichitiu, dans [17] s'intéressent eux aussi à la capacité d'un réseau sans fil multi sauts mais dans le contexte un peu particulier où toutes les communications sont à destination d'un nœud central, une passerelle. Ce type de réseaux, appelés Mesh Networks, est destiné, par exemple, à fournir un accès à Internet sans fil. Dans ce contexte, un simple calcul montre que, en fonction de la longueur des routes, si l'on souhaite conserver un comportement équitable dans le sens où les nœuds proches de la passerelle doivent pouvoir être en mesure de transmettre autant de trafic que les nœuds lointains, les performances du réseau sont fortement affectées par la présence d'un tel point de concentration des trafics.

## 3.2.2 Modèle analytique pour EDCA

### 3.2.2.1 Modèle de Katarzyna

Cet article [18] présente un nouveau modèle mathématique de l'IEEE 802.11 mode EDCA, le principale avantage de ce modèle est qu'il combine des probabilités précises pour déclencher le compte à rebours du backoff avec la manipulation correcte des paquets. En outre, il tient compte de la différenciation de la circulation avec l'utilisation des paramètres d'accès prioritaire dépendant du trafic en plus, une nouvelle méthode de modélisation de AIFS entre les classes de trafic est proposée. Enfin, le modèle est maintenu raisonnablement simple et construit de manière à ce que la prise en compte du mécanisme des quatre catégories d'accès ne soit pas compliqué. Le modèle proposé est comparé aux simulations ainsi qu'aux résultats numériques obtenus pour deux autres modèles présentés dans la littérature de Malone et al [16]. et Engelstad et al [19] La comparaison donne des résultats satisfaisants, indépendamment de la charge offerte, nombre de nœuds, ou de la configuration d'un réseau.

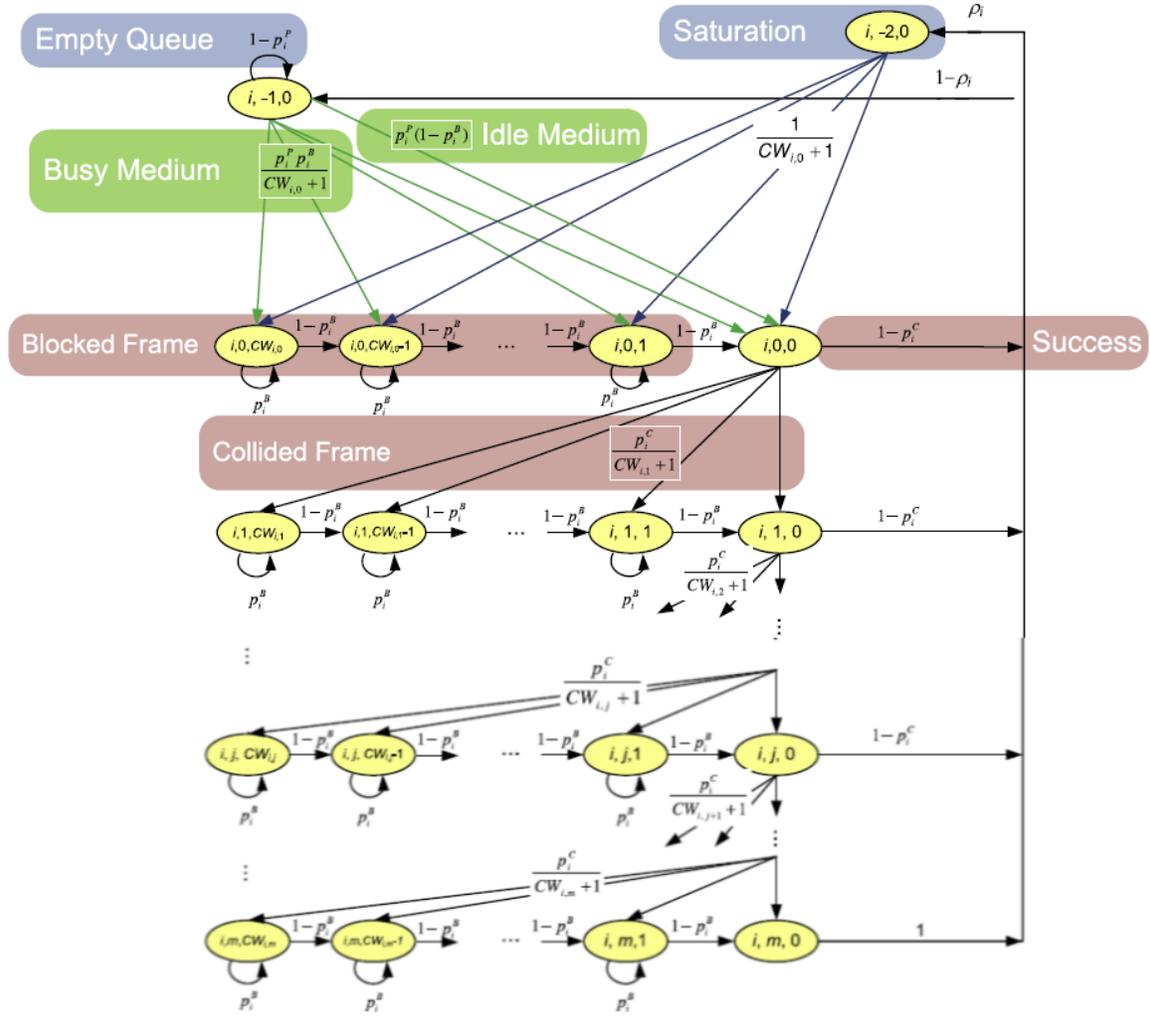


FIGURE 3.6 – Chaîne de Markov du modèle de Katarzyna

Soit la probabilité  $\tau_n$  que  $l'AC_i$  essaie d'accéder au canal dans un slot de temps choisi aléatoirement, que ce soit une tentative de transmission réussie ou échouée, donc :

$$\tau_i = \frac{2(-1 + p_i^B)\alpha p_i^P}{-2 + 2\rho_i + 2p_i^B(1 - \rho_i + p_i^P(\alpha + \rho_i)) - p_i^P\beta}$$

Tel que :

Pour le mode RTS/CTS :

$$\alpha = (1 + p_i^C)(1 + (p_i^C)^2)(1 + (p_i^C)^4)$$

$$\beta = 2 + 2\rho_i + CW_{i,0} + p_i^C(2 + CW_{i,1} + p_i^C(2 + CW_{i,2} + p_i^C(2 + CW_{i,3} + p_i^C(2 + CW_{i,4} + p_i^C(2 + CW_{i,5} + p_i^C(2 + CW_{i,6} + p_i^C(2 + CW_{i,7}))))))$$

Pour le mode de base :

$$\alpha = 1 + p_i^C + (p_i^C)^2 + (p_i^C)^3 + (p_i^C)^4$$

$$\beta = 2 + 2\rho_i + CW_{i,0} + p_i^C(2 + CW_{i,1} + p_i^C(2 + CW_{i,2} + p_i^C(2 + CW_{i,3} + p_i^C(2 + CW_{i,4}))))).$$

Où  $CW_{i,j}$  c'est fenêtres de contention et  $\rho_i$  c'est la probabilité de saturation avec  $\rho_i = \lambda_i D_i$

$\lambda$  représente le paramètre de la loi de Poisson. D Le taux de service

La probabilité du blocage d'une trame est égale à :

$$p_i^B = 1 - (1 - \tau_i)n^{i-1} \prod_{j=0, j \neq i}^{N_c-1} (1 - \tau_j)^{n_j}$$

La probabilité de génération d'une trame :

$$p_i^p = 1 - e^{-\lambda_i T^{CS}}$$

$\lambda$  représente le paramètre de la loi de Poisson.

Probabilité qu'une trame entre en collision :

$$p_i^C = 1 - (1 - \tau_i)n^{i-1} \prod_{j=0, j \neq i}^{N_c-1} (1 - \tau_j)^{n_j}$$

L'expression du débit utile s'exprime :

$$S_i = \frac{p_i^S T^{DATA}}{T^{CS}} = \frac{p_i^S T^{DATA}}{(1 - p^B)T_e + P^S T^S + (p^B - p^S)T^C}$$

Où :

$P_i^S$  : la probabilité d'une transmission réussite dans un slot du temps pour une  $AC_i$  ;

$P^B$  : la probabilité d'un canal soit occupée ;

$P^S$  : la probabilité d'une transmission réussite pour tout les AC c'est la probabilité globale d'un succès de transmission dans un slot du temps.

$P_i^S, P^B$  et  $P^S$  sont données comme suit :

$$p_i^S = n_i \tau_i (1 - \tau_i)^{n_i-1} \prod_{j=0, j \neq i}^{N_c-1} (1 - \tau_j)^{n_j}$$

$$p^B = 1 - \prod_{j=0, j \neq i}^{N_c-1} (1 - \tau_j)^{n_j}$$

$$p^S = \sum_{i=0}^{Nc-1} p_i^S$$

$T^S$  : la durée moyenne d'une émission correcte ;

$T^C$  : la durée moyenne d'une émission non correcte ;

$T^{DATA}$  : la durée moyenne d'une transmission d'une trame ;

$T^e$  : la durée d'un slot vide ;

$T^{CS}$  : la durée d'un slot ;

$n$  : le nombre de station.

Les expressions de  $T_s$  et  $T_c$  dépendent du mécanisme utilisé : mécanisme de base ou avec RTS/CTS.

Dans le cas du mécanisme de base (sans RTS/CTS) :

La durée moyenne

$$T^S = \min[AIFS_i] + T^H + T^{DATA} + SIFS + T^{ACK} + 2\delta \text{ tel que } T^H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$$

Une émission non correcte sa durée moyenne est :

$$T^C = T^H + T^{DATA} + ACK_{Timeout} + \min[AIFS_i] + \delta$$

Dans le cas du mécanisme RTS/CTS, une émission correcte sa durée moyenne est :

$$T^S = T^{RTS} + T^{CTS} + \min[AIFS_i] + T^H + T^{DATA} + SIFS + T^{ACK} + 4\delta$$

et une collision sa durée moyenne est :

$$T^C = T^{RTS} + CTS_{Timeout} + \min[AIFS_i]$$

### 3.2.2.2 Xiao et al

Xiao [30], a étendu la chaîne de Markov de Bianchi à une chaîne de Markov à trois dimensions. Cependant, la première dimension est toujours constante et elle a pour valeur le numéro de l'AC étudiée. Ceci veut dire qu'on peut facilement supprimer la première dimension de la chaîne de Markov du modèle proposé dans [30] et on se retrouve avec une chaîne de Markov à deux dimensions pour chaque AC identique à celle de Bianchi. Ceci ne modifie en rien les résultats du modèle. Donc, bien que la contribution dans [30] peut être considérée comme un modèle basé sur une chaîne de Markov à deux dimensions, cette chaîne de Markov reste néanmoins identique à celle de Bianchi avec l'ajout de la limite de retransmission et de la suspension du compteur de backoff quand le canal est occupé. Toutefois, nous pouvons également identifier un défaut important dans le modèle introduit dans [30] ; c'est que l'auteur considère que c'est la probabilité de collision qui contrôle l'activité du compteur de backoff

(décrémentation et suspension), ceci n'est pas correct, car en réalité l'activité du compteur de backoff est contrôlée par la probabilité d'occupation du canal. Une collision entraîne une occupation du canal mais l'inverse n'est pas vrai. De plus, dans [30], les auteurs ne considèrent pas la collision virtuelle dans leur modèle. Au final, le modèle de [30] est tout simplement un modèle de Bianchi amélioré pour l'analyse de la différenciation par CW, la différenciation par AIFS et TXOPLimit n'y existe pas.

### 3.2.2.3 nada et al

Dans [23], développent un modèle analytique pour EDCA sous la forme d'une chaîne de Markov à quatre dimensions. Celui-ci est développé d'abord dans les conditions de saturation et permet d'estimer le débit et le délai d'accès de saturation des différentes ACs. Partant de la nécessité d'avoir un modèle analytique capable de prédire les métriques de performances dans toutes les régions de fonctionnement, allant de la non-saturation à la saturation complète, et proposent une extension du modèle analytique proposé aux conditions générales de trafic. Ainsi, le contrôle d'admission sera capable de prédire les métriques de performances dans toutes les régions de fonctionnement du réseau et par suite éviter de le faire fonctionner dans un état de saturation avancé. Un algorithme de résolution numérique du modèle est également proposé dans le but d'accélérer la recherche de solution et par suite limiter le temps de réponse.

### 3.2.2.4 Kong et al

Dans [27], Kong et al. ont mis le focus sur la possibilité de suspension répétée du compteur de backoff d'une station suite à des transmissions consécutives multiples des autres stations. Ils ont essayé de modéliser la caractéristique de suspension du backoff et la différenciation par AIFS par l'ajout d'une troisième dimension à la chaîne de Markov. Contrairement aux autres modèles, le modèle de [27] couvre un grand nombre de caractéristiques d'EDCA (Collision virtuelle, limite de retransmission, suspension du backoff), mais il manque la différenciation par TXOPLimit et présente un défaut dans la modélisation de la différenciation par AIFS. En fait, les auteurs de [27] considèrent que durant le temps d'attente AIFS, si le canal est détecté occupé par une AC dans un slot de temps donné, cette AC stoppe l'attente. Une fois que le canal redevient libre, elle reprend l'attente à partir de la valeur à laquelle elle s'est arrêtée. Ceci reflète une mauvaise compréhension de la procédure EDCA, car on n'a pas une suspension de l'attente durant AIFS, et si le canal est détecté occupé pendant la période AIFS, l'AC doit ré-attendre une durée complète AIFS.

### 3.3 Proposition

#### 3.3.1 Modélisation analytique du protocole IEEE 802.11e mode EDCA

Dans cette partie, nous présentons le modèle analytique proposé pour la fonction IEEE 802.11e EDCA. Nous supposons que le nombre de stations est fixe soit  $N$  le nombre de station et chaque station dispose de quatre  $AC_s$ . L'analyse est effectuée sous un canal bruité et avec des conditions de non-saturation.

##### 3.3.1.1 Modélisation par une chaîne de Markov à temps discret pour EDCA

Dans notre modèle, le temps est divisé en slot et chaque état représente une  $AC_i$   $i=(0,1,2,3)$  dans un slot de temps. A la fin de chaque slot, il y a un déclenchement d'un évènement qui représente une transition à un autre état [14]. Dans notre modèle, on a modélisé une seule AC, parce que chaque AC est une station virtuelle et elle a sa propre procédure de backoff.

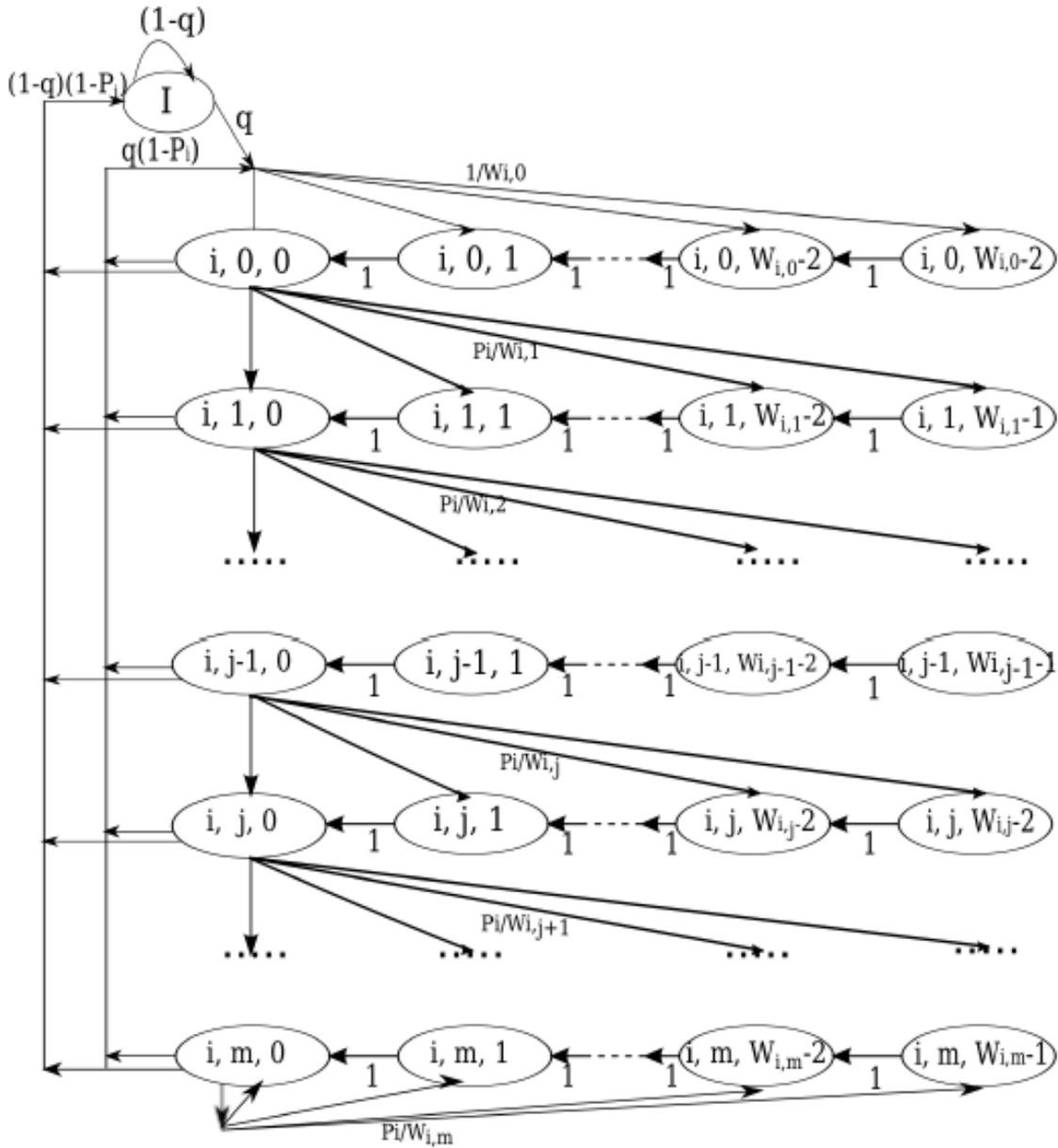


FIGURE 3.7 – La chaîne de markov pour IEEE 802.11e EDCA

Soit  $s(i, t)$  le processus stochastique qui représente l'étage du backoff  $j$  l'instant  $t$ , où  $0 \leq j \leq m$  et  $m$  est le nombre maximum de retransmissions, Soit  $b(i, t)$  le processus stochastique qui désigne la valeur du compteur de backoff  $(0, \dots, m', \dots, m)$  pour chaque ACi ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) au temps  $t$ , et la valeur du compteur de backoff est uniformément choisit dans un intervalle  $[0, W_{i,j}]$ , avec  $W_{i,j}$  dépend du nombre de retransmission de l'étage  $j$  et qui satisfait :

$$W_{i,j} = \begin{cases} 2^j W_{i,0} & 0 \leq j \leq m' \\ 2^{m'} W_{i,0} & m' + 1 \leq j \leq m \end{cases} \quad (3.1)$$

### A Probabilités de transition

Dans ce qui suit, nous présentons les probabilités de transitions :

$$W_{i,j} = \begin{cases} p\{i, j, k | i, j, (k+1)\} = 1, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, 0, k | i, j, 0\} = q(1 - P_i)/w_{i,0}, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, j, k | i, j - 1, 0\} = P_i/w_{i,j}, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, m, k | i, m, 0\} = P_i/w_{i,m}, & 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, 0, k | I\} = q/w_{i,0}, & 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{I | i, j, 0\} = (1 - q)(1 - P_i) \\ p\{I | I\} = 1 - q \end{cases} \quad (3.2)$$

| Probabilité    | Signification                                |
|----------------|--|
| $P_i$          | Probabilité d'échec d'une transmission       |
| $P_{col}$      | Probabilité de collision                     |
| $P_e$          | Probabilité d'erreur                         |
| $q$            | Probabilité s'il y a un paquet à transmettre |
| $\tau_{iEDCA}$ | Probabilité qu'une $AC_i$ accède au médium   |
| $\tau_{EDCA}$  | Probabilité qu'une station accède au médium  |

TABLE 3.1 – Probabilités du modèle analytique

Où :

$$P_i = P_{col} + P_e \quad (3.3)$$

$$P_e = 1 - (1 - BER)^l \quad (3.4)$$

Avec  $BER$  est le taux d'erreur par bit et  $l$  est la taille de la trame.

$$P_{col} = 1 - (1 - \tau_{EDCA})^{N-1} \prod_{i>i'} (1 - \tau_{iEDCA}) \quad (3.5)$$

Où  $i'$  signifie que  $AC_{i'}$  a une priorité supérieure que  $AC_i$ .

Dans notre analyse, nous considérons le processus de Poisson pour l'arrivée des paquets. Le taux d'arrivée des paquets moyenne globale est notée par  $\lambda$ , Elle est mesurée en paquets/s. Nous utilisons le modèle proposé dans [16], pour mesurer la probabilité  $q$  on utilise la relation suivante :

$$q = 1 - \exp^{-\lambda T} \quad (3.6)$$

Avec  $T$  est le slot de temps.

## B Probabilités stationnaires

Soit  $b_{i,j,k}$  la probabilité de l'état  $(i, j, k)$ .

$$b_{i,j,k} = \frac{W_{i,j} - k}{W_{i,j}} \begin{cases} q(1 - p_i) \sum_{j=0}^m b_{i,j,0} + qb_I & j = 0 \\ p_i b_{i,j-1,0} & 1 \leq j \leq m - 1 \\ p_i (b_{i,m-1,0} + b_{i,m,0}) & j = m \end{cases} \quad (3.7)$$

$$b_I = (1 - q)(1 - P_i) \sum_{j=0}^m b_{i,j,0} + (1 - q)b_I = \frac{(1 - q)(1 - P_i)}{q} \sum_{j=0}^m b_{i,j,0} \quad (3.8)$$

Utilisant la condition de normalisation, nous obtenons :

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{w_{i,j}-1} b_{i,j,k} + b_I \\ &= \frac{b_{i,0,0}}{2} [W_{i,0} [\sum_{j=0}^{(m-1)} (2P_i)^j] + \frac{(2P_i)^j}{(1 - P_i)}] + \frac{1}{(1 - P_i)} + \frac{(1 - q)(1 - P_i)}{q} \sum_{j=0}^m b_{i,j,0} \\ &= \frac{b_{i,0,0}}{2} [W_{i,0} [\sum_{j=0}^{(m-1)} (2P_i)^j] + \frac{(2P_i)^j}{(1 - P_i)}] + \frac{1}{(1 - P_i)} + \frac{(1 - q)(1 - P_i)}{q} b_{i,0,0} \\ &= \frac{b_{i,0,0}}{2} [W_{i,0} [\sum_{j=0}^{(m-1)} (2P_i)^j] + \frac{(2P_i)^j}{(1 - P_i)}] + \frac{1}{(1 - P_i)} + \frac{2(1 - q)}{q} \end{aligned}$$

$$b_{i,0,0} = \frac{2(1 - 2P_i)q}{q[(W_{i,0} + 1)(1 - 2P_i) + W_{i,0}P_i(1 - (2P_i)^m)] + 2(1 - q)(1 - P_i)(1 - 2P_i)} \quad (3.9)$$

La probabilité  $\tau_{iEDCA}$  qu'un  $AC_i$ , ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) accède au médium dans un temps choisi au hasard dans un slot du temps est exprimée en :

$$\begin{aligned} \tau_{iEDCA} &= \sum_{j=0}^m b_{i,0,0} = \frac{b_{i,j,0}}{1 - P_i} \\ &= \frac{2(1 - 2P_i)q}{q[(W_{i,0} + 1)(1 - 2P_i) + W_{i,0}P_i(1 - (2P_i)^m)] + 2(1 - q)(1 - P_i)(1 - 2P_i)} \quad (3.10) \end{aligned}$$

La probabilité  $\tau_{EDCA}$  que la station accède au canal est :

$$\tau_{EDCA} = 1 - \prod_{i=0}^3 (1 - \tau_{iEDCA}) \quad (3.11)$$

Les équations (3.3), (3.4), (3.5), (3.10) et (3.11) forment un système non linéaire. Une fois ce système résolu numériquement, toutes les probabilités de transition et les probabilités stationnaires peuvent être obtenues.

### 3.3.1.2 Calcul du débit normalisé atteignable par AC

Le débit normalisé pour chaque  $AC_i$  est calculée comme le rapport du temps occupé par la transmission de donnée sur l'intervalle du temps entre deux transmissions consécutives [3]. Le débit pour  $AC_i$ ,  $S_{iEDCA}$  est défini comme suit :

$$S_{iEDCA} = \frac{P_{tr} P_{si} (1 - P_e) E[P]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} \sum_{i=0}^3 P_{si} (1 - P_e) T_s + P_{tr} (1 - \sum_{i=0}^3 P_{si}) T_c + P_{tr} \sum_{i=0}^3 P_{si} P_e T_e} \quad (3.12)$$

$E[P]$  est la taille de la charge utile,  $T_s$  est le temps moyen de transmission,  $T_c$  est le temps de collision et  $T_e$  est le temps d'erreur.  $T_s$ ,  $T_c$  et  $T_e$  on mode de base peuvent être calculés comme suit :

$$\begin{cases} T_s = AIFS + H + P + SIFS + ACK \\ T_c = H + P + SIFS \\ T_e = AIFS + RTS + SIFS + CTS + SIFS + H + P + SIFS + ACK_{timeout} \end{cases} \quad (3.13)$$

$P_{tr}$  est la probabilité que dans un slot du temps une seul station émet une trame et elle peut être obtenue comme suit :

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau_{EDCA})^N \quad (3.14)$$

Une trame d'une  $AC_i$  peut être transmise avec succès si et seulement si aucune autre  $AC$  plus prioritaire ou aucune station du reste des stations ( $N - 1$ ) transmettent.

La probabilité conditionnelle d'une transmission avec succès  $P_{si}$ , peut être obtenue comme suit :

$$P_{si} = \frac{N \cdot \tau_{iEDCA} \cdot (1 - \tau_{EDCA})^{N-1} \cdot \prod_{i' > i} (1 - \tau_{i'EDCA})}{P_{tr}} \quad (3.15)$$

### 3.3.2 Amélioration de la fonction EDCA IEEE 802.11e

Dans la fonction EDCA de IEEE 802.11e, une station ne différencie pas entre une collision d'accès aux médias et une défaillance du canal. Donc si un paquet disparaît, la station effectue la procédure d'attente exponentielle et double sa taille de fenêtre de contention, ceci est semblable à l'incident de la collision. Cependant, on note qu'une station peut être consciente d'un canal perturbé à long terme en mesurant la puissance du signal reçu en dessous d'un certain niveau. Dans notre modèle, pour améliorer la performance de la fonction EDCA dans un canal bruité. Nous proposons que, dans chaque catégorie d'accès, une AC ne double pas la taille de sa fenêtre de contention, mais attend la fin du blocage, puis tente de transmettre à nouveau, nous avons appelé cela amélioration de EDCA (E-EDCA). Si une collision se produit, la fenêtre de contention est doublée pour réduire la collision dans le réseau. Dans le cas d'une erreur de transmission, la fenêtre de contention n'a pas besoin d'être doublée pour la retransmission de paquets erronés.

### 3.3.3 Modélisation analytique du protocole IEEE 802.11e E-EDCA

Dans cette partie nous présentons le modèle analytique de E-EDCA en présence des erreurs de transmission. L'analyse s'est déroulée sous un canal bruité et avec des conditions de non-saturation. Les paramètres utilisés dans cette partie sont similaires à ceux qui sont définis dans la partie précédente.

3.3.3.1 Description de la chaîne de markov

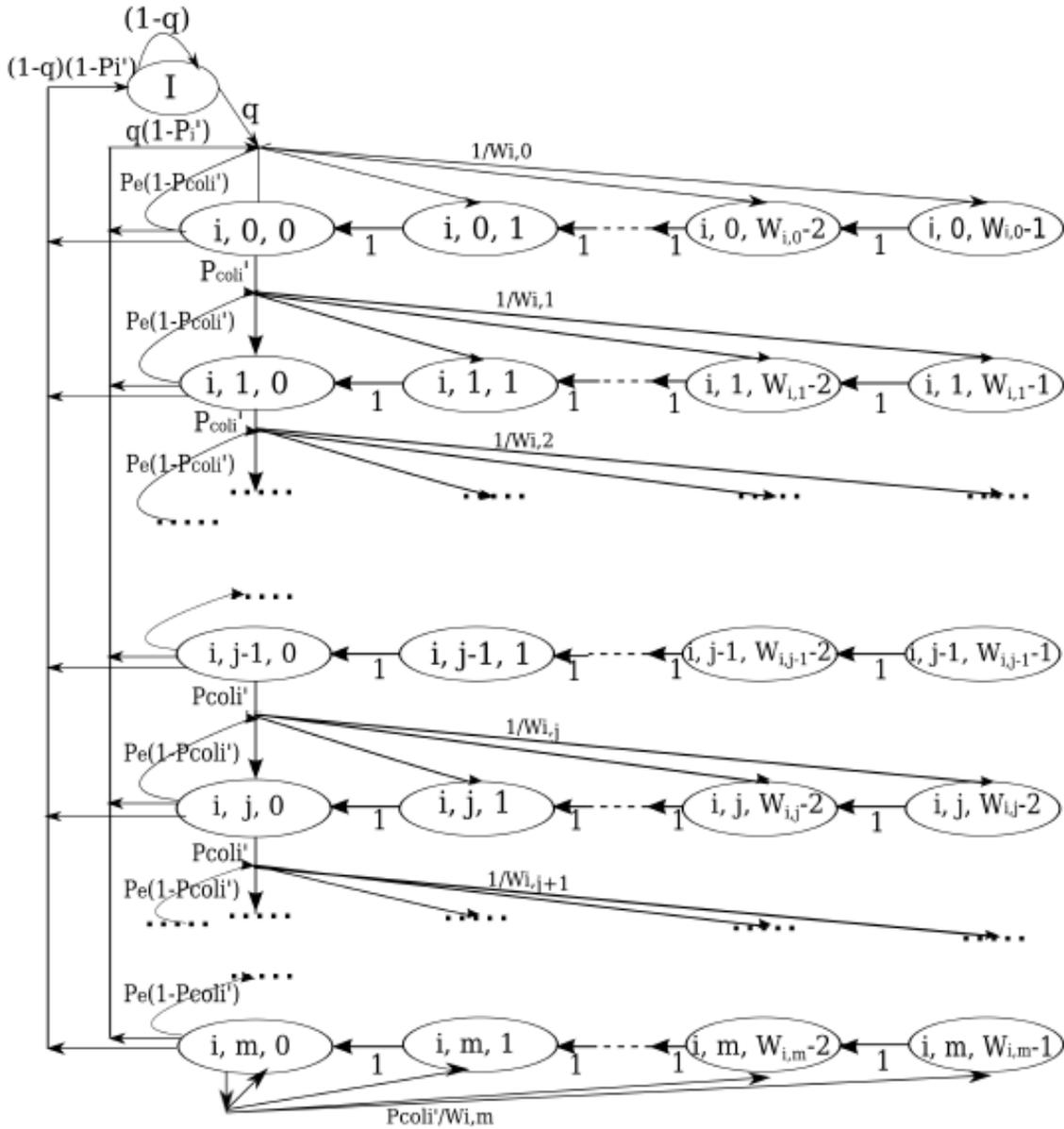


FIGURE 3.8 – La chaîne de markov pour IEEE 802.11e E-EDCA

A Probabilités de transition

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

$$W_{i,j} = \begin{cases} p\{i, j, k|i, j, (k+1)\} = 1, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, 0, k|i, j, 0\} = q(1 - P'_i)/w_{i,0}, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, j, k|i, j - 1, 0\} = P'_{col}/w_{i,j}, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, m, k|i, m, 0\} = P_e(1 - P'_{col})/w_{i,m}, & 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, m, k|i, m, 0\} = P_e(1 - P'_{col})/w_{i,m} + P'_{col}/w_{i,m}, & 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{i, 0, k|I\} = q/w_{i,0}, & 0 \leq k \leq (w_{i,j} - 1) \\ p\{I|i, j, 0\} = (1 - q)(1 - P'_i) \\ p\{I|I\} = 1 - q \end{cases} \quad (3.16)$$

Avec

$$P'_i = P'_{col} + P_e - P'_{col}P_e \quad (3.17)$$

Une collision se produit quand une station transmet et une autre parmi les  $(N - 1)$  stations essaye aussi de transmettre, donc  $P'_{coll}$  peut être obtenue comme suit :

$$P'_{col} = 1 - (1 - \tau_{E-EDCA})^{N-1} \prod_{i>i'} (1 - \tau_{iE-EDCA}) \quad (3.18)$$

Où  $i'$  signifie que  $AC_{i'}$  à la plus haute priorité.

## B Les probabilités stationnaires

Soit  $b_{i,j,k}$  la probabilité de l'état  $(i, j, k)$ .

$$1 = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{w_{i,j}-1} b_{i,j,k} + bI$$

$$b_{i,0,0} = \frac{2(1 - 2P_l)(1 - P'_i)(1 - P_l)q}{qw_{i,0}(1 - P'_i - P'_{col}(2P_l)^m) + (q + 2(1 - q)(1 - P'_i))(1 - P'_i)(1 - 2P_l)} \quad (3.19)$$

$$\text{Avec } P_l = \frac{P'_{col}}{1 - P_e}$$

La probabilité  $\tau_{iE-EDCA}$  qu'un  $AC_i$ , accède au médium dans un temps choisi au hasard dans un slot du temps est exprimée en :

$$\begin{aligned} \tau_{i-EDCA} &= \sum_{j=0}^m b_{i,j,0} = \frac{b_{i,j,0}}{1 - p_i} \\ &= \frac{2(1 - 2P_l)(1 - P_l)qP'_{col}}{P_l[qw_{i,0}(1 - P'_i - P'_{col}(2P_l)^m) + (q + 2(1 - q)(1 - P'_i))(1 - P'_i)(1 - 2P_l)]} \end{aligned} \quad (3.20)$$

La probabilité que la station accède au canal est :

$$\tau_{E-EDCA} = 1 - \prod_{i=0}^3 (1 - \tau_{iE-EDCA}) \quad (3.21)$$

Les équations (3.17),(3.4),(3.18),(3.20) et (3.21) forment un système non linéaire. Une fois ce système résolu numériquement, toutes les probabilités de transition et les probabilités stationnaires peuvent être obtenues.

### 3.3.3.2 Calcul du débit normalisé atteignable par AC

Le débit normalisé pour  $AC_i$ ,  $S_{iE-EDCA}$  est défini comme suit :

$$S_{iE-EDCA} = \frac{P'_{tr} P'_{si} (1 - P_e) E[P]}{(1 - P'_{tr})\sigma + P'_{tr} \sum_{i=0}^3 P_{si'} (1 - P_e) T_s + P'_{tr} (1 - \sum_{i=0}^3 P_{si'}) T_c + P'_{tr} \sum_{i=0}^3 P_{si'} P_e T_e} \quad (3.22)$$

$P'_{tr}$  est la probabilité que dans un slot du temps une seule station émet une trame et elle peut être obtenue comme suit :

$$P'_{tr} = 1 - (1 - \tau_{E-EDCA})^N \quad (3.23)$$

Une trame d'une  $AC_i$  peut être transmise avec succès si et seulement si aucune autre  $AC$  plus prioritaire ou aucune station du reste des stations ( $N - 1$ ) ne transmettent. La probabilité conditionnelle d'une transmission avec succès  $P_{si'}$ , peut être obtenue comme suit :

$$P_{si'} = \frac{N \cdot \tau_{iE-EDCA} \cdot (1 - \tau_{E-EDCA})^{N-1} \cdot \prod_{i'>i} (1 - \tau_{i'E-EDCA})}{P'_{tr}} \quad (3.24)$$

## 3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé une synthèse sur quelques travaux d'évaluation de la norme IEEE 802.11. Cette synthèse nous a permis de constater l'absence de travaux qui modélisent EDCA dans un environnement bruité, au regard de ces perturbations que subit un canal dans la réalité, nous avons été orientées à faire une modélisation de la fonction EDCA qui vise à aboutir à des résultats satisfaisants et d'améliorer le mécanisme d'accès dans IEEE 802.11e.

# Application numérique, simulation et résultat

## 4.1 Introduction

Pour valider notre modèle, nous avons implémenté les deux modèles présentés dans le chapitre précédent sous Matlab [2]. Nous avons choisi le premier modèle proposé EDCA afin d'effectuer les comparaisons nécessaires par rapport à E-EDCA.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats analytiques et de simulation en utilisant le simulateur NS2 [1] des deux modèles proposés dans le chapitre 3, pour les comparer.

Les résultats numériques et de simulation de notre modèle sont obtenus en utilisant les valeurs des paramètres du tableau 4.1.

| Paramètres           | Valeur numérique              |
|----------------------|-------------------------------|
| Délai de propagation | $64\mu s$                     |
| Taille de la charge  | $1000bits$                    |
| L'entête physique    | $192bits$                     |
| L'entête Mac         | $272bits$                     |
| Trame RTS            | L'entête physique + $160bits$ |
| Trame CTS            | L'entête physique + $112bits$ |
| Trame ACK            | L'entête physique + $112bits$ |
| CTS-timeout          | DIFS+CTS                      |
| ACK-timeout          | DIFS+ACK                      |
| Taux de données      | $11Mbps$                      |
| Taux de base         | $11Mbps$                      |
| Slot de temps        | $20\mu s$                     |
| SIFS                 | 1 slot de temps               |
| AIFS[AC3]            | 7 slot de temps               |
| AIFS[AC2]            | 3 slot de temps               |
| AIFS[AC1]            | 2 slot de temps               |
| AIFS[AC0]            | 2 slot de temps               |
| CW[AC3]              | {7, 15, 31, 63}               |
| CW[AC2]              | {15, 31, 63, 127}             |
| CW[AC1]              | {31, 63, 127, 255}            |
| CW[AC0]              | {31, 63, 127, 255}            |

TABLE 4.1 – Paramètres PHY et MAC de IEEE 802.11e

## 4.2 Validation du modèle proposé

La figure 4.1 représente une comparaison entre le débit normalisé de la norme IEEE 802.11e EDCA et l'amélioration de la norme IEEE 802.11e EDCA appelé E-ECCA avec  $BER = 0$ . Cette figure montre que les deux modèles donnent les mêmes résultats lorsque  $BER = 0$ .

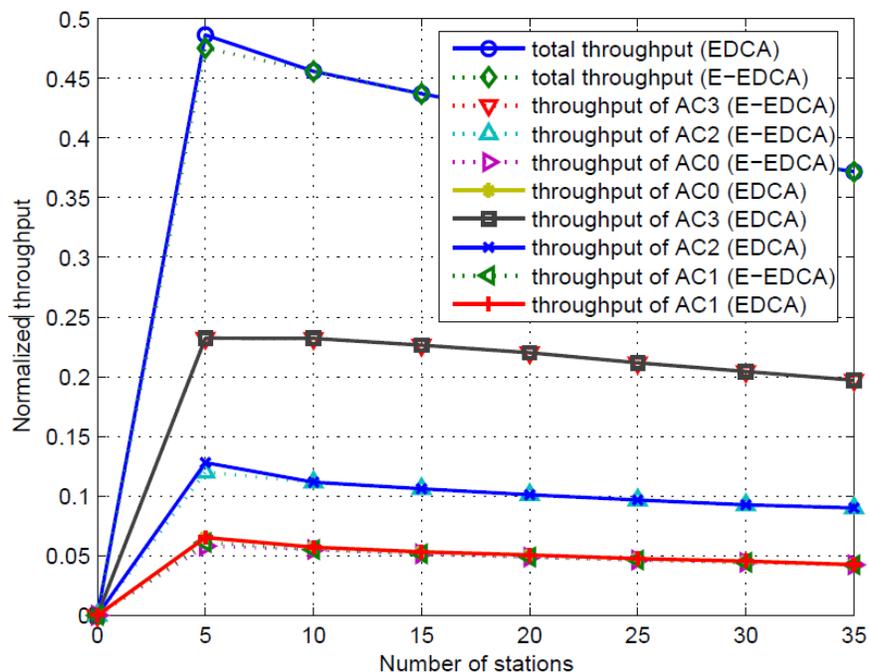


FIGURE 4.1 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA (BER=0,  $\lambda = 5$ ).

La figure 4.2 montre les résultats numérique et de la simulation pour le débit normalisé pour EDCA en fonction du nombre de stations pour chaque AC $_i$  ( $i=0,1,2,3$ ). On peut constater que le modèle donne des résultats qui correspondent bien avec les résultats de simulation. Cette figure montre que, lorsque le nombre de stations est compris entre 0 et 5, le débit disponible pour chaque AC augmente légèrement, Aussi le débit normalisé total disponible dans le réseau augmente, mais lorsque le nombre de stations est supérieur à 5, le débit normalisé disponible pour chaque AC diminue légèrement, Aussi le débit normalisé total disponible dans le réseau diminue légèrement.

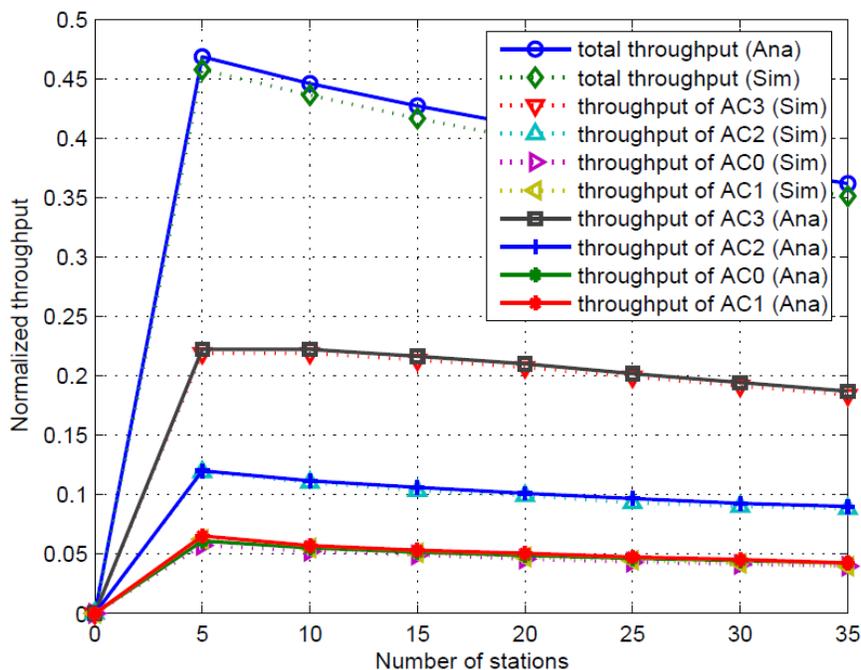


FIGURE 4.2 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA ( $BER = 10^{-6}$ ,  $\lambda = 5$ ).

La figure 4.3 montre les résultats numérique et de la simulation pour le débit normalisé pour E-EDCA en fonction du nombre de stations pour chaque AC $_i$  ( $i=0,1,2,3$ ). On peut constater que le modèle donne des résultats qui correspondent bien avec les résultats de simulation. Cette figure montre que, lorsque le nombre de stations est compris entre 0 et 5, le débit disponible pour chaque AC augmente légèrement, Aussi le débit normalisé total disponible dans le réseau augmente, mais lorsque le nombre de stations est supérieur à 5, le débit normalisé disponible pour chaque AC diminue légèrement, Aussi le débit normalisé total disponible dans le réseau diminue légèrement.

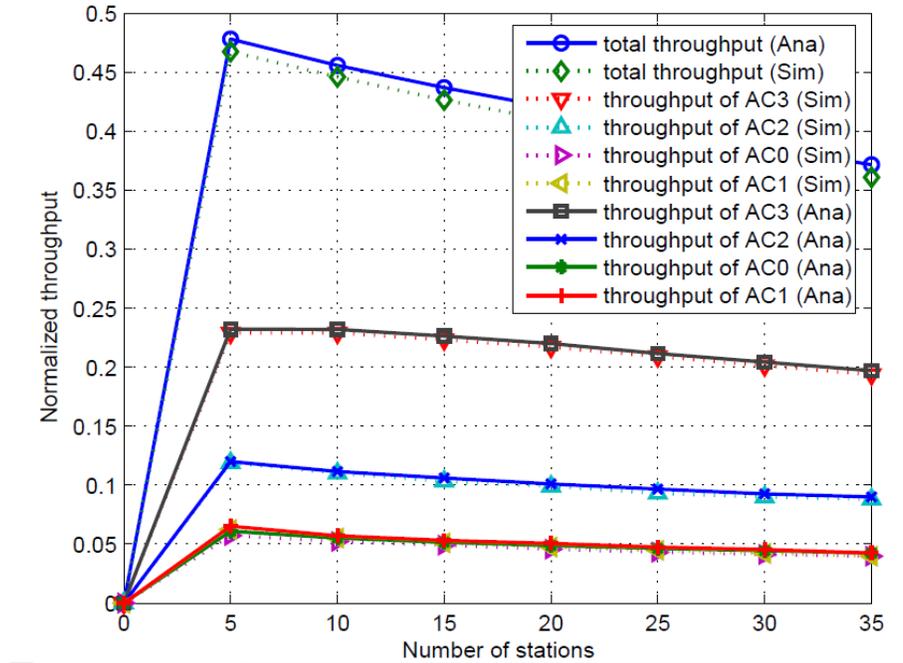


FIGURE 4.3 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour E-EDCA ( $BER = 10^{-6}$ ,  $\lambda = 5$ ).

La figure 4.4 pour  $BER = 10^{-5}$  montre que notre proposition E-EDCA augmente le débit et améliore l'utilisation du canal.

La figure 4.5 pour  $BER = 10^{-3}$  montre que notre proposition E-EDCA augmente le débit et améliore l'utilisation du canal.

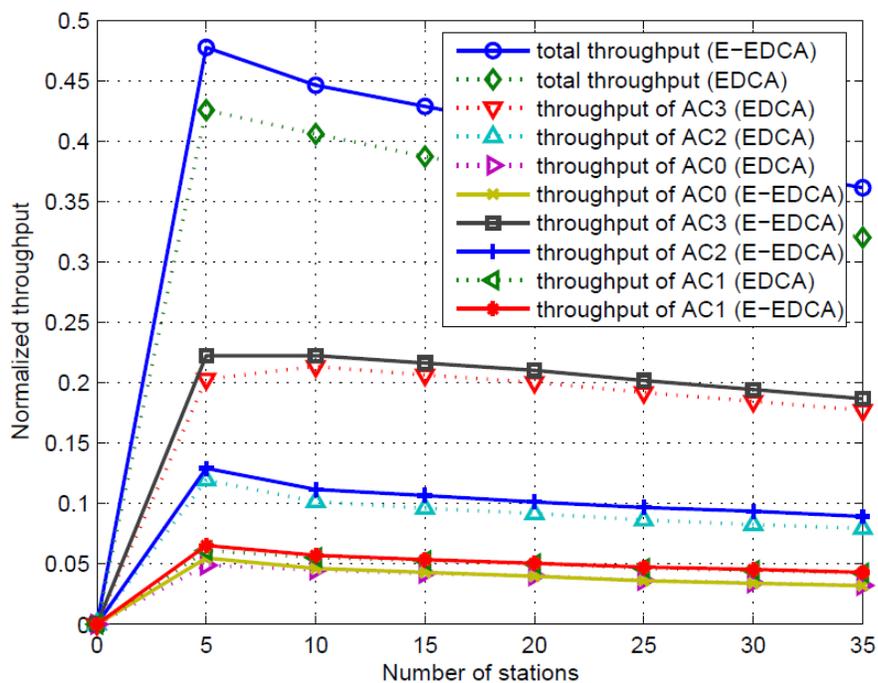


FIGURE 4.4 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA ( $BER = 10^{-5}$ ,  $\lambda = 5$ ).

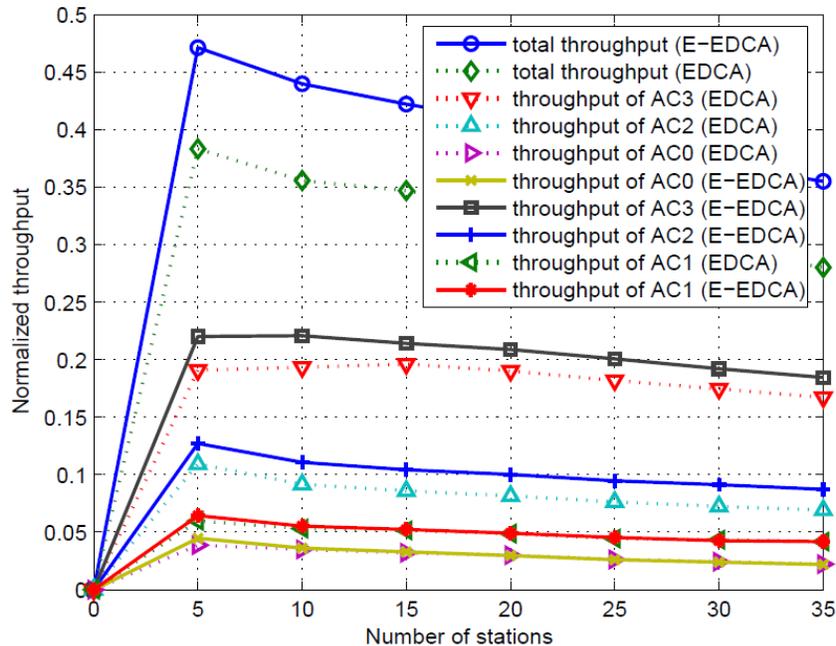


FIGURE 4.5 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA ( $BER = 10^{-3}$ ,  $\lambda = 5$ ).

La figure 4.6 représente une comparaison entre le débit total d'EDCA et E-EDCA. Cette figure montre qu'E-EDCA donne de meilleures performances comparé au modèle d'EDCA.

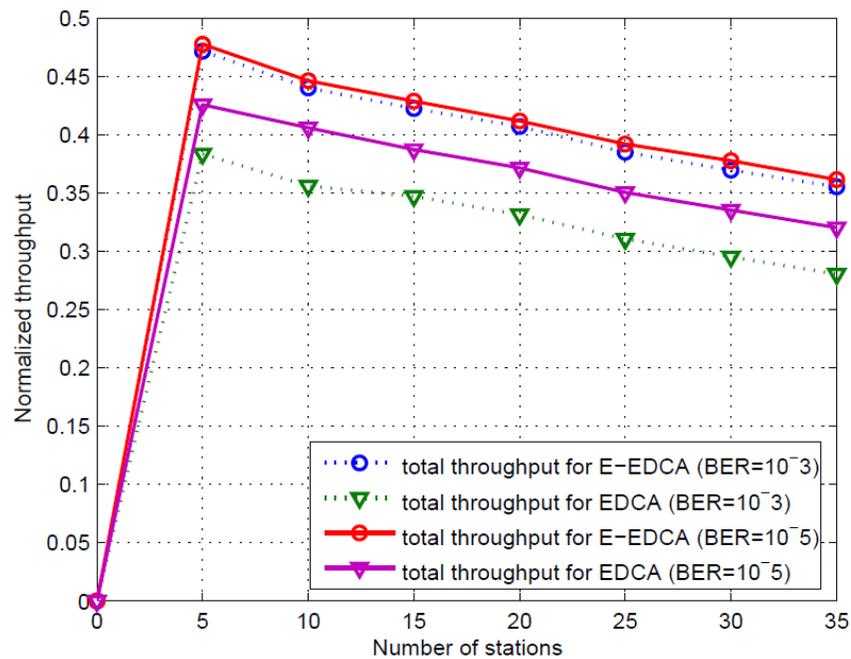


FIGURE 4.6 – Débit normalisé en fonction du nombre de station pour EDCA et E-EDCA( $\lambda = 5$ ).

La figure 4.7 montre que la probabilité d'échec de transmission augmente en fonction du nombre de stations. Cette figure montre également la probabilité d'échec de transmission dans EDCA est supérieure la probabilité d'échec de transmission dans E-EDCA. Ces résultats montrent donc que notre modèle proposé réduire la probabilité d'échec de transmission.

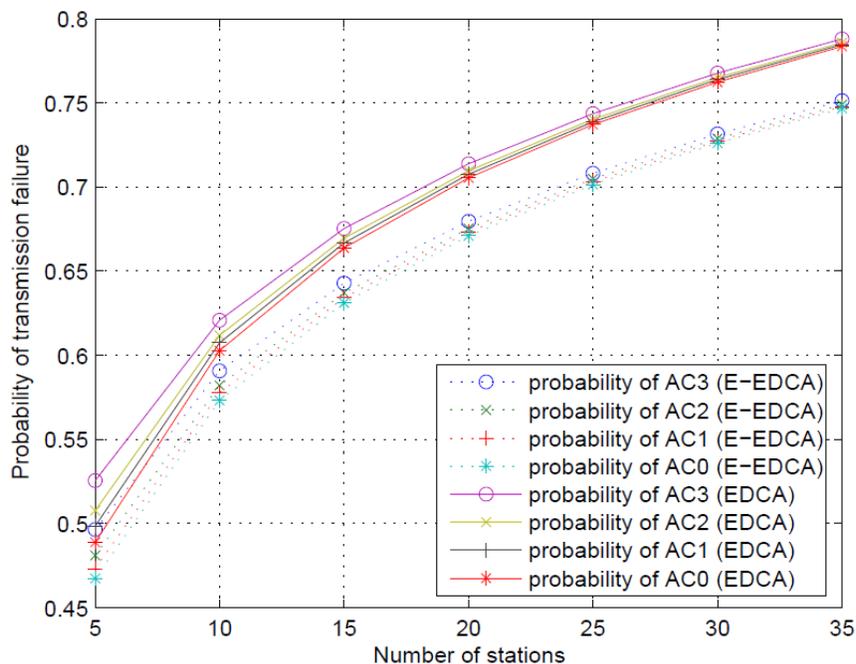


FIGURE 4.7 – Probabilité d’échec de transmission .

La figure 4.8 montre que le débit normalisé en fonction du taux d’arrivée des paquets avec  $P_e = 0,0001$  pour deux nombres différents de stations. Cette figure montre que le débit d’E-EDCA est plus grand que celui d’EDCA dans les deux cas du nombre de stations ( $N=5$  et  $N = 15$ ).

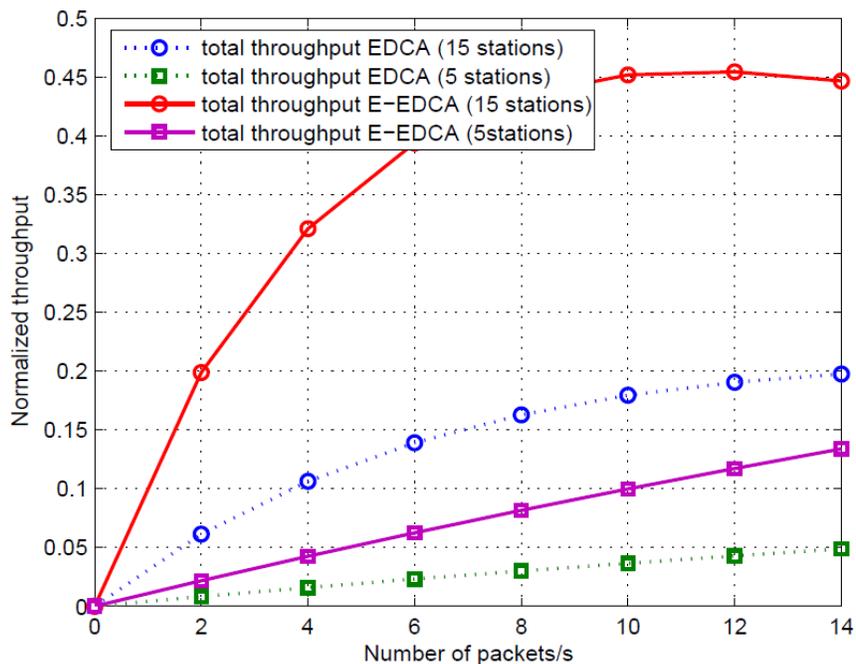


FIGURE 4.8 – Débit normalisé en fonction du taux d’arrivée des paquets pour  $P_e = 0.0001$ .

## 4.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats numériques des deux modèles proposés dans le chapitre précédent. Les résultats obtenus montrent que E-EDCA donne de meilleurs résultats que EDCA. Nous avons aussi montré à travers les résultats obtenus, l'influence des erreurs de transmission sur la dégradation des performances du réseau IEEE 802.11e mode EDCA.

# Conclusion et perspectives

Les réseaux 802.11 constituent une concurrence sérieuse aux réseaux filaires pour l'accès à l'Internet. Effectivement les maintes qualités qu'offre cette technologie (rapidité de déploiement, réduction des coûts d'installation, mobilité, etc.) leur ont permis de s'imposer rapidement sur le marché. L'une des raisons principale qui ont fait de ces réseaux une des meilleures technologies est le mécanisme DCF qui est l'accès de base disponible sur les cartes IEEE802.11, vu sa simplicité et sa facilité de déploiement. Néanmoins, l'IEEE802.11 fait face à plusieurs limites qui se manifestent essentiellement en termes de QoS due à l'inaptitude du mécanisme DCF à supporter des trafics avec qualité de service. Face à cela et devant la nécessité d'inclure la QoS au niveau de la couche Mac du standard 802.11, une nouvelle version a eu naissance en 2005 sous le nom 802.11e.

Le sujet de ce mémoire est l'amélioration et la modélisation de la norme IEEE 802.11e mode EDCA dans un canal bruité.

En fait, les travaux réalisés à ce jour modélisent le mécanisme EDCA sous un canal idéal, une condition loin de la réalité. Nous avons proposé une amélioration d'EDCA dans un canal bruité, qu'on a nommé E-EDCA, puis nous l'avons évalué en modélisant par une Chaîne de Markov. Nous concluons que la méthode modifiée proposée conduira à une meilleure utilisation du canal et donnera une meilleure performance, en terme de débit que le 802.11e EDCA IEEE existant actuellement.

Les perspectives qui découlent de ce travail sont les suivantes :

1. utilisation du modèle proposé pour calculer d'autres métriques de performance comme par exemple les délais de transmission ;
2. Comparaison des résultats analytiques avec des résultats de simulation dans différent cas.

# Annexe

## .1 Chaîne de Markov

### .1.1 Le fondateur de la discipline

Né en 1856 à Riazan, il étudia à l'université d'État de Saint-Pétersbourg en 1874 sous la tutelle de Tchebychev et en 1886, il devint membre de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg. Ses travaux sur la théorie des probabilités l'ont amené à mettre au point les chaînes de Markov qui l'ont rendu célèbre. Ceux-ci peuvent représenter les prémices de la théorie du calcul stochastique.

### .1.2 Les processus stochastiques

**Définition .1.1.** [24] Les processus stochastiques  $\{X_t, t \in \mathbf{T}\}$  est une collection de variable aléatoires indexées par un paramètre  $t$  et défini sur même espace de probabilités  $(\omega, \mathbf{F}, S)$ . La variable  $\mathbf{X}_t$  représente l'état du processus au temps  $t$  et l'ensemble de toutes les valeurs possibles pour cette variable et appelée l'espace des états du processus et sera noté  $\mathbf{S}$ .

**Classification .1.1.** [24] Un processus stochastique dont l'ensemble des états  $\mathbf{S}$  est fini ou dénombrable est appelée une chaîne. Un processus est à temps discret lorsque l'ensemble  $\mathbf{T}$  est fini ou dénombrable.

### .1.3 Les chaînes de Markov finies et homogènes à temps discret

**Définition .1.2.** Une chaîne de Markov à temps discret est un processus stochastique  $\{X_n, n = 0, 1, \dots\}$  à temps discret, défini sur un espace d'états  $\mathbf{S}$  fini ou dénombrable est vérifiant la propriété de Markov.

$$P[X_n = i | X_0, \dots, X_{n-1}] = P[X_n = i | X_{n-1}]$$

pour tout  $\mathbf{i} \in \mathbf{S}$  quel que soit  $n \geq 1$ . L'état courant résume, à lui seul, tout l'historique du système susceptible d'influencer son évolution future. Une Chaîne de Markov à temps discret est homogène (dans le temps) si, pour toute paire d'états  $(i, j)$  et tout instant  $n$ ,

$$P[X_n = j | X_{n-1} = i] = P[X_{n+k} = j | X_{n+k-1} = i],$$

quel que soit  $k \geq 0$

### .1.3.1 Probabilité de transition et matrice de transition[28]

Pour une Chaîne de Markov homogène  $\{X_n, n = 0, 1, \dots\}$ , on a

$$P[X_n = j | X_{n-1} = i] = P[X_1 = j | X_0 = i] \forall n \geq 1.$$

On peut donc définir la probabilité de transition (en 1 étape) de  $\mathbf{i}$  à  $\mathbf{j}$  comme

$$P_{ij} = P[X_1 = j | X_0 = i] \forall (i, j) \in s^2$$

La probabilité  $P_{ij}$  est égale à la probabilité conditionnelle que le système se retrouve dans l'état  $j$  à l'étape suivante sachant qu'il se trouve actuellement dans l'état  $i$ . si la chaîne possède  $s = |S|$  états, les probabilités précédentes peuvent être rangées dans une matrice de transition  $P = (P_{ij})$  de taille  $s * s$  dont les lignes et les colonnes sont indexées par les éléments de  $\mathbf{S}$ . **Matrice stochastique**

Une matrice carrée  $\mathbf{P} = (p_{ij})$  est stochastique si :

- a) Ses éléments sont non négatifs :  $P_{ij} \geq 0$  pour tout  $\mathbf{i} \in \mathbf{j}$ ;
- b) La somme des éléments de chacune de ses lignes est égale à 1 :  $\sum_j P_{ij} = 1$  pour tout  $\mathbf{i}$

### .1.3.2 Graphes représentatifs et classification des états[28]

**Graphes représentatifs** : La matrice de transition  $\mathbf{P}$  d'une Chaîne de Markov peut être représentée par un graphe orienté  $\mathbf{G}$  dont

- ✓ **Les sommets** : états de la Chaîne ;
- ✓ **Arc** relie les sommets associés aux états  $\mathbf{i}$  et  $\mathbf{j}$  si la probabilité de transition de  $\mathbf{i}$  à  $\mathbf{j}$  est positive, c'est-à-dire si  $P_{ij} > 0$ . Le graphe ainsi défini est appelé le graphe représentatif, ou graphe de transition, de la Chaîne de Markov.

**Classes et graphes réduits** : Soit  $\mathbf{P}$  la matrice de transition d'une Chaîne de Markov et  $\mathbf{G}$  le graphe représentatif de  $\mathbf{P}$ . l'état  $\mathbf{j}$  est accessible depuis l'état  $\mathbf{i}$  s'il existe, dans  $\mathbf{G}$ , au moins un chemin de  $\mathbf{i}$  à  $\mathbf{j}$ .

**Classification des états** : Une classe est persistante si elle correspond à un sommet sans successeur de  $\mathbf{G}$ . Si tel n'est pas le cas, La classe n'est pas transitoire. Les états d'une classe persistante sont persistants ou récurrents et ceux d'une classe transitoire sont transitoires. Une classe persistante composée d'un seul état est absorbante et un état absorbant s'il forme, à lui seul, une classe persistante.

**Période** : La période  $d$  de l'état  $i$  d'une chaîne de Markov est égale au plus grand diviseur commun de tous les  $n$  pour lesquels  $p_{ii}^n > 0$ . L'état  $i$  est périodique lorsque  $d > 1$  est aperiodique lorsque  $d = 1$  ;

**Etude d'une Chaîne réductible** : L'étude d'une chaîne de Markov réductible se décompose en deux étapes :

- **Etude des classes persistantes** : On applique les résultats obtenus pour les Chaîne irréductibles afin de déterminer la période et la distribution stationnaire de chacune des sous- Chaîne associées aux classes persistantes ;
- **Etude des classes transitoires** : On rend la chaîne absorbante soit en contractant les classes persistantes en un seul état, soit en rendant absorbant tous les états persistants. On calcule ensuite les temps moyens avant absorption (données par la matrice fondamentale  $\mathbf{N}$ ) et les probabilités d'absorption (données par la matrice  $\mathbf{B} = \mathbf{NR}$ ).

### .1.3.3 Chaîne de Markov en temps continu[24]

**Définition .1.3.** Un processus stochastique en temps continu  $X_t; t \geq 0$  à la propriété de Markov si

$$P[X_{s+t} = j | X_s = i \text{ and } X_r = 1] = P[X_{s+t} = j | X_s = i]$$

Le processus stochastique est alors une chaîne de Markov en temps continu

$$P[X_{s+t} = j | X_s = i]$$

Sont des probabilités de transition similaires à celle que nous avons en temps discret.

Les probabilités de transition sont stationnaires puisqu'elles sont indépendantes de  $s$  :

$$P[X_{s+t} = j | X_s = i] = P[X_t = j | X_0 = i] \forall 0$$

Par symétrie avec le cas discret

$$P_{ij} = P[X_t = j | X_0 = i]$$

Où  $P_{ij}(t)$  dénote la fonction de probabilité de transition en temps continu L'hypothèse suivante est faite :

$$\lim_{t \rightarrow 0} p_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } i = j \\ 0 & \text{si } i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

## A Matrices de transition [24]

**Définition .1.4.** Soit  $X_n$  un processus à espace d'état fini ou dénombrable. Pour tous  $0 \leq S \leq t$  pour tout  $\mathbf{i}, \mathbf{j}$  dans  $\mathbf{I}$ , et pour chaque processus stochastique, on définit les probabilités de transition par :

$$P_{ij}(s, t) = P[X_t = j | X_s = i].$$

Les matrices  $P_{s,t} q P(s, t)_{ij} = p_{ij}(s, t)$  sont appelées matrices de transition.

# Bibliographie

- [1] NetworkSimulator-NS2. [Online]. Available from: <http://www.isi.edu/nanam/ns/>, (consulté le 07/06/16).
- [2] MATLABTheLanguageofTechnicalhttp://<http://www.mathworks.com/products/matlab/>, (consulté le 07/06/16).
- [3] <http://cric.grenoble.cnrs.fr/Administrateurs/Documentations/SiteWebAuthentification/ReseauWifi.php>, (consulté le 25/02/16).
- [4] [http://maxime.charpenne.free.fr/Docs/Synthese\\_voc\\_802.11/resume\\_802.11.html](http://maxime.charpenne.free.fr/Docs/Synthese_voc_802.11/resume_802.11.html), (consulté le 25/02/16).
- [5] <http://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/communication-networks/wireless-lan>, (consulté le 25/02/16).
- [6] Z. Babai. *Modélisation et évaluation des performances de centres d'appelstéléphoniques*. PhD thesis, Mémoire de D.E.A, l'Ecole Centrale Paris, 2002.
- [7] G. Bianchi. Performance analysis of the iee 802.11 distributed coordination function. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.18(no. 3) :pp. 535–547, Mar 2000.
- [8] N. Prasad et A. Prasad. *WLAN Systems and Wireless IP for Next Generation Communication*. Edition, Artech, House, 2002.
- [9] M. Malli et al. Adaptive fair channel allocation for qos enhancement in iee 802.11 wireless lan. *in Proc. Of IEEE ICC'04*, vol 6 :pp.347–3475, July 2004.
- [10] N. Laneman et al. Comparing application- and physical-layer approaches to diversity on wireless channels. *in Proc of IEEE ICC'03*, vol 4 :pp.2678–2682, May (2003).

- [11] V.Vishnevsky et A.Lyakhov. Lans : Saturation throughput in the presence of noise. *Proceedings of the Second International IFIP-TC6 Networking Conference (Networking)*, vol.2345 of LNCS :pp. 1008–1019, May 2002.
- [12] J.Li et C.Blake et D.S.J. De Couto et H.Lee et R.Morris. Capacity of ad hoc wireless networks. *Dans Proceedings of the Seventh annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 2001)*, page pp. 61–69, Juillet 2001.
- [13] W. Stallings et J. Hernandez et R. Joly. *Réseaux et communication sans fil*. 2ème Edition, ISBN-13 :978-2744070853, Pearson Education, 2005.
- [14] S.W. Pan et J.S. Wu. Throughput analysis of ieee 802.11e edca under heterogeneous traffic. *Computer Communications*, vol.32(no.5) :pp.935–942, March 2009.
- [15] Y. C. Tay et K. C. Chua. A capacity analysis for the ieee 802.11 mac protocol. *Wireless Networks*, vol.7(no. 2) :pp. 159–171, Mar 2001.
- [16] D.Malone et K.Duffy et D.Leith. Modeling the 802.11 distributed coordination function in non-saturated heterogeneous conditions. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.15(no.1) :pp. 159–172, February 2007.
- [17] J.Jun et M.L. Sichitiu. Ieee wireless communications. *Dans Proceedings of the Seventh annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom 2001)*, vol.10(no.5) :pp. 8–14, Octobre 2003.
- [18] K.Katarzyna et M.Natkaniec et A.R. Pach. A simple but accurate throughput model for ieee 802.11 edca in saturation and non-saturation conditions. *Computer Networks*, vol.10(no.55) :pp. 622–635, February 2011.
- [19] E.Paal. Engelstad et N. Olav.Østerbø. Non-saturation and saturation analysis of ieee 802.11e edca with starvation prediction. *Proceedings of the 8th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages pp. 224–233, October 2005.
- [20] W. Pattara-Atikom et P. Krishnamurthy et S. Banerjee. *Modèles aléatoires et physique probabiliste*. Springer Paris, 2009.
- [21] A. De Simone et S. Nanda. Wireless data :systems, standards, services. *J. Wireless Networks*, vol 3(1) :pp.241–254, Feb 1996.
- [22] S. Shakkotai et T. Rappaport et P. Karlsson. Cross-layer design for wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, vol 41 :pp.74–80, October 2003.

- [23] Ch.T.Nada et Y. Doudaneb et B.El Hassana et N.Agoulminec. Towards voice/video application support in 802.11e wlans : A model-based admission control algorithm. *Computer Communications*, vol.39 :pp.41–53, February 2014.
- [24] F.edrzejewski. *Initiation aux Probabilités*. Edition IEEE Wireless Communications, 2003.
- [25] J.Dieguez. *Contributions à la modélisation et à la simulation accélérée de réseaux de communication*. PhD thesis, Thèse de doctorat, Université de Rennes I, 2001.
- [26] DRIDI Khaled. *Spécification du Protocole MAC pour les Réseaux IEEE 802.11e à Différentiation de Services sous Contrainte de Mobilité : Spécification Physiques des Réseaux Locaux IEEE 802.11*. PhD thesis, L'Université Paris Est Par, 2011.
- [27] Z. n. Kong et D. H. K. Tsang et B. Bensaou et D. Gao. Performance analysis of iee 802.11e contention-based channel access. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.22(no.10) :pp.2095–2106, Dec 2004.
- [28] P.Brémaud. *Distributed mechanisms for Quality of Service in Wireless LANs*. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [29] G. Pujolle. *Les réseaux*. 5ème Edition, ISBN : 2-212-11437-0, Edition Eyrolles, 2004.
- [30] Y. Xiao. Performance analysis of priority schemes for iee 802.11 and iee 802.11e wireless lans. *IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS*, vol.4(no.4) :pp.1506–1515, JULY 2005.

## RÉSUMÉ

La norme IEEE 802.11 legacy ne peut pas fournir la qualité de service (QoS) requise pour les applications multimédia, car le 802.11 a été initialement développé pour les services best efforts. Par conséquent, l'amendement 802.11e a été publié afin de fournir le support de QoS pour les réseaux WLAN. Une des fonctions les plus importantes de la norme 802.11e est le mécanisme d'accès Enhanced Distributed Channel Access (EDCA), qui fournit un ordre de priorité en différenciant l'espace d'arbitrage Inter Frame (AIFS), les valeurs de la taille minimale et maximale de la fenêtre de contention et la limite d'opportunité de transmission (TXOPlimit). Dans ce mémoire, nous proposons un nouveau modèle analytique pour l'analyse des performances du réseau IEEE 802.11e EDCA avec la transmission en rafales sous un canal bruité et des conditions de non-saturation de trafic. Ensuite, nous proposons que, dans chaque catégorie d'accès, une AC ne double pas la taille de sa fenêtre de contention, mais attend la fin du blocage, puis tente de transmettre à nouveau. Nous avons nommé cette solution d'amélioration de EDCA, E-EDCA (Enhanced-EDCA). Nous comparons les performances d'EDCA avec les performances d'E-EDCA. Les résultats analytiques du débit normalisé sont comparés avec ceux de la simulation sous NS-2.

**Mots clés :** IEEE 802.11e, EDCA, Chaîne de markov, Trafic non saturé, Débit de transmission, Canal bruité.

---

## ABSTRACT

The 802.11 WLAN legacy standard cannot provide Quality of Service (QoS) support for multimedia applications because the 802.11 was initially developed for Best Effort services. Hence, the 802.11e amendment was published in order to provide the QoS support to WLANs. One of the most important functions in 802.11e is the contention based channel access mechanism called Enhanced Distributed Channel Access (EDCA), which provides a priority scheme by differentiating the Arbitration Inter Frame Space (AIFS), minimum and maximum Contention Window size values (CWmin, CWmax) and Transmission Opportunity limit (TXOPlimit). In this work, we propose a novel analytical model for the performance analysis of the IEEE 802.11e EDCA network under fading channel and non saturated traffic conditions. Then, we propose a modification to the media access scheme, called Enhancement EDCA (E-EDCA) to reduce unnecessary retransmissions in the case of transmission failure. We compare the performance of EDCA with the performance of E-EDCA. The analysis result is validated by using the network simulator NS-2.

**Key words :** IEEE 802.11e, EDCA, Markov chain, Non saturated traffic, Throughput analysis, Fading channel.