

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université El Hadj Lakhdar – BATNA
Faculté Des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de :
Magister en informatique
Option : Ingénierie des Systèmes Informatique (ISI)

Gestion de la Qualité de Service des flux Streaming dans les Réseaux 802.11

Présenté le:...../...../2012

Par : **Saida SEDRAT**

Composition du jury:

Dr. Hamoudi KALLA	M.C.A	Président	Université de Batna
Dr. Ammar LAHLOUHI	M.C.A	Rapporteur	Université de Batna
Dr. Abdelkrim AMIRAT	M.C.A	Examineur	Université de Souk Ahrass
Dr. Farid MOKHATI	M.C.A	Examineur	Université de Oum El Bouaghi
Dr. Kamal Eddine MELKEMI	M.C.A	Examineur	Université de Biskra

واحدة من التحديات الكبيرة في تقارب الشبكات و الخدمات هي جودة الخدمة (QoS) لنقل حزمة من المعلومات من نوع صوت/ فيديو عبر الشبكات اللاسلكية للمستخدمين المتنقلين و المختلفين. في هذا المحيط, يجب على خدمات الوسائط المتعددة (multimédia) مواجهة العديد من النقائص الناتجة عن نقص فاعلية الناقل اللاسلكي و استخدامه من طرف الكثير من المستخدمين في نفس الوقت. يضاف إلى هذه النقائص اختلاف وسائل الاستقبال (سعة حل الشفرة, حيز التخزين, تباين الإظهار) التي يجب عليها استقبال, حل الشفرة و إظهار حزمة الوسائط المتعددة.

من أجل ضمان استعمال شامل للخدمات في أي مكان, في أي وقت و باستعمال أي طرفي إدخال, يجب على تطبيقات الوسائط المتعددة الجديدة التفاعل مع محيطها من أجل تكييف خدماتها أليا بالنسبة إلى أجهزة الاستقبال والتغييرات الغير متوقعة في شروط النقل.

في هذا المجال, نقترح نموذج ما بين الطبقات لنقل حزم من المعلومات من نوع صوت/ فيديو. تعتمد الفكرة الرئيسية لأسلوبنا على تكييف معدل النقل حسب حالة الناقل في شبكة 802.11. كذلك, يتعلق بتسيير القرارات التي يجب على العنصر المتنقل اتخاذها من أجل تحسين مستوى الخدمة المتوفرة في الشبكة.

كلمات البحث الرئيسية:

الشبكات اللاسلكية, جودة الخدمة, (QoS), ما بين الطبقات, Streaming.

RÉSUMÉ

Le maintien de la qualité de service (QoS) des flux audio/vidéo transmis sur des réseaux sans fil pour des utilisateurs mobiles et hétérogènes est l'un des défis majeurs dans la convergence des réseaux et des services. Dans cet environnement, les services multimédia doivent faire face à plusieurs inconvénients engendrés par le manque de fiabilité d'un canal sans fil et son partage par plusieurs utilisateurs. Ces inconvénients sont accentués par l'hétérogénéité des terminaux de réception (capacité de décodage, espace de stockage, résolution d'affichage, etc.) qui doivent recevoir, décoder et afficher les flux multimédia.

Pour assurer un accès universel aux services n'importe où, n'importe quand et en utilisant n'importe quel terminal d'accès, les applications multimédia des nouvelles générations doivent interagir avec leurs environnements pour, d'une part, informer les réseaux sous-jacents de leurs besoins en QoS, et d'autre part, adapter dynamiquement leurs services en fonction des terminaux de réception et des variations intempestives des conditions de transmission.

Dans ce contexte, nous proposons une approche inter-couches pour la transmission des flux audio/vidéo dans les réseaux 802.11. L'idée principale de notre approche se base l'adaptation dynamique du débit de transmission en fonction du débit physique disponible dans le réseau 802.11. Ainsi, Il s'agit de gérer les décisions qu'un nœud mobile doit prendre pour optimiser la QoS offerte sur le réseau.

Mot clés: les réseaux sans fil 802.11, La qualité de service, inter-couches, Streaming.

Je remercie tout puissant le bon DIEU de m'avoir doté de la santé, la volonté pour venir à bout de ce travail.

À mes chers et tendres parents, sans vous, rien n'aurait pu être possible, que dieu vous garde pour moi et vous prête une longue vie pleine de santé et de prospérité.

À mes sœurs et mes frères, merci de m'avoir soutenu tout au long de cette aventure, que dieu vous préserve.

Cette liste n'étant pas exhaustive, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, par leur aide, leur encouragement ou par leur simple présence.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à Madame *Dr Bouam Souheila* et à *Dr Lahlouhi Ammar* pour m'avoir proposés ce sujet et m'avoir accompagné tout au long de ces années. Leurs aides, leurs encouragements et leurs disponibilités ont été déterminants pour la réalisation de cette thèse.

J'adresse également mes remerciements aux docteurs : Hamoudi KALLA, Abdelkrim AMIRAT, Farid MOKHATI et Kamal Eddine MELKEMI qui m'ont fait l'honneur d'évaluer le travail de cette thèse et de participer au jury de soutenance.

TABLES DES MATIÈRES

Chapitre 1 Les réseaux WLAN IEEE 802.11	14
1.1. Introduction	14
1.2. Les différentes catégories de réseaux sans fil.....	14
1.3. Problèmes spécifiques des réseaux sans fil.....	16
1.4. La norme IEEE 802.11	17
1.5. La topologie du réseau 802.11 sans fil.....	18
1.6. Fonctionnement: comment une station rejoint-elle un BSS ?.....	20
1.6.1. Synchronisation	20
1.6.2. Authentification et association	21
1.8. Architecture des réseaux WLANs	24
1.8.1. La couche physique	25
1.8.1.1. Les techniques d'étalement de spectre	25
1.8.1.2. Lumière Infrarouge IR (InfraRed)	27
1.8.2. Couche MAC	27
1.8.2.1. Types de trame	27
1.8.2.2. Les mécanismes d'accès au médium sous- couche MAC	32
1.8.2.3. L'économie d'énergie.....	38
1.8.2.4. Fragmentation	39
1.8.2.5. Qualité de service.....	40
1.9. Conclusion	40
Chapitre 2 Le streaming.....	41
2.1. Introduction	41
2.2. Communications Unicast, Multicast, Broadcast et Anycast.....	41
2.3. Streaming.....	43
2.3.1. Réception.....	43
2.3.1.1. Real-Time Protocol (RTP).....	43
2.3.1.2. Real-Time Control Protocol (RTCP).....	45
2.3.1.3. Real-Time Streaming Protocol (RTSP)	46
2.3.2. Décodage	47

2.3.3.	Lecture.....	49
2.3.4.	Les domaines d'applications du média streaming	50
2.4.	Conclusion	52
Chapitre 3 État de l'art		53
3.1.	Introduction	53
3.2.	Le contrôle du débit.....	53
3.2.1.	Le contrôle automatique du débit basé sur des statistiques.....	54
3.2.2.	Le contrôle automatique du débit basé sur le SNR	56
3.2.3.	Le contrôle automatique du débit hybride	57
3.3.	La QoS au niveau des couches physique, MAC et application	57
3.3.1.	Au niveau de la couche Physique IEEE 802.11	57
3.3.1.1.	La disparition du signal	57
3.3.1.2.	La Diversité	58
3.3.1.3.	Le problème d'anomalie	58
3.3.2.	Au niveau de la couche MAC	61
3.3.2.1.	Les mécanismes de la QoS	61
3.3.2.2.	Le standard IEEE 802.11e.....	63
3.3.3.	Au niveau de la couche Application	65
3.3.3.1.	La transmission vidéo.....	65
3.4.	Les architectures Cross-layer	67
3.4.1.	Les approches du Cross-layer dans les réseaux sans fil.....	67
3.4.1.1.	L'approche ascendante	68
3.4.1.2.	L'approche descendante	68
3.4.1.3.	L'approche <i>application-centric</i>	69
3.4.1.4.	L'approche <i>MAC-centric</i>	69
3.4.1.5.	L'approche intégrée	70
3.5.	Conclusion	76
Chapitre 4 proposition d'une approche inter- couches pour la qos des flux streaming		77
4.1.	Introduction	77
4.2.	Le groupage de trames	77
4.2.1.	Le principe du <i>fragment burst</i>	77
4.2.2.	Le principe de bloc d'acquittement	78
4.2.3.	Le groupage de trames basé sur le principe de bloc d'acquittement.....	78

4.3.	Approche adaptative.....	83
4.4.	Conclusion	87
	Conclusion et perspectives	88
	Bibliographie.....	89
	Glossaire	95
	Annexe.....	97
5.1.	L'entête RTP	97
5.2.	Paquet RTCP	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1- Les catégories de réseaux sans fil.....	16
Figure 1.2- Independent Basic Service Set [41]	19
Figure 1.3- Basic Service Set	19
Figure 1.4- Extended Service Set (ESS) [41].....	20
Figure 1.5- Applications diverses des réseaux sans fils [41].....	24
Figure 1.6- 802.11 dans le modèle OSI	25
Figure 1.7- FHSS	26
Figure 1.8- Trame 802.11 [4].....	28
Figure 1.9- Trame RTS [4].....	31
Figure 1.10- Trame CTS [4].....	31
Figure 1.11- Trame ACK [4]	31
Figure 1.12- Les intervalles d'accès au medium	33
Figure 1.13- L'envoi et l'acquittement d'une trame	34
Figure 1.14- Problème de la station cachée [5].....	35
Figure 1.15- Le mécanisme RTS/CTS [6]	36
Figure 1.16- Polling coordination function (PCF) [4].....	38
Figure 2.1- Taxonomie des approches de transmission [8]	41
Figure 2.2- Exemples de transmission en Multicast et Unicast [8]	42
Figure 2.3- Média streaming [9].....	43
Figure 2.4- Les standards de codage vidéo	49
Figure 2.5- Domaines d'application du média streaming [11]	51
Figure 3. 1- Le contrôle automatique du débit.....	54
Figure 3.2- Le débit physique pour le standard IEEE 802.11b.....	56
Figure 3.3- Transmission d'une seule trame 802.11b [30].....	59
Figure 3.4- Les catégories d'accès EDCA [57].....	64
Figure 3.5- Les approches ascendante, descendante et mixte du Cross-layer [57]	68
Figure 3.6- L'architecture <i>Cross-layer</i> utilisée pour la transmission des flux H.264.....	70
Figure 3.7- L'architecture ViStA-XL [59].....	71
Figure 3.8- L'architecture Cross-layer [61].....	73
Figure 3.9- Le concept d'optimisation Cross-layer pour le streaming vidéo sans fil [62].....	74
Figure 3.10- Combinaison du RTRA et du L-PQ [63]	75
Figure 4. 1- Le mécanisme de fragmentation de trames	78
Figure 4. 2- Le groupage des trames utilisant principe du bloc d'acquittement	80
Figure 4. 3- Le train vidéo utilisé pour la simulation	81
Figure 4. 4- Les taux moyens de perte du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2	82
Figure 4. 5- Les débits moyens de réception du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2	83

Figure 4. 6- schéma de base de SNRCLAVIS	84
Figure 4. 7- Les taux moyens de perte du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2	86
Figure 4. 8 - Les débits moyens de réception du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2	87
Figure A.1- Format de l'entête d'un paquet RTP	97
Figure A.2- Format du paquet SR.....	99
Figure A.3- Format du paquet RR.....	101
Figure A.4- Format du paquet SDES	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1- Les caractéristiques de la vidéo de référence.....	81
Tableau 4.2- Correspondance SNR/débit dans 802.11b	84
Tableau 4.3- Paramètres adaptatifs.....	84

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Pour offrir une multitude de services (données, diffusion vidéo, vidéoconférence, etc.), Les réseaux de nouvelle génération sont devenus de plus en plus complexes, interconnectant différentes technologies et architectures (IP, WiFi, GSM/GPRS) à travers plusieurs plates-formes matérielles et logicielles. Ces nouvelles technologies réseaux ont permis une augmentation spectaculaire des capacités, notamment à l'accès. Ceci-ci a suscité un grand intérêt pour la grande distribution de services audiovisuels et multimédia temps réel. Cependant, la garantie de la qualité de service (QoS) de bout-en-bout sur ces réseaux hétérogènes pour ces types de service pose actuellement un défi majeur à l'ensemble des acteurs de ce domaine : industriels, universitaires, instituts de recherche et instituts de normalisation.

En parallèle, plusieurs avancées technologiques dans le domaine de la compression audio/vidéo à savoir MPEG-4 part 2, MPEG-4 part 10 ou H.264/AVC (*Advanced Video Coding*), et récemment son extension SVC (*Scalable Video Coding*).

Le marché audio-visuel et multimédia, de nos jours tend vers la convergence d'infrastructures de réseaux et l'intégration des technologies fixes, mobiles et de diffusion, afin de créer un nouvel environnement au sein duquel les utilisateurs pourront accéder à tout type de service audio-visuel et multimédia n'importe où et n'importe quand et en utilisant divers équipements. Ceci représente aujourd'hui un enjeu majeur et un levier de croissance. Le défi actuel est de proposer aux utilisateurs finaux une grande variété de services (programmes audio-visuels, Internet, applications multimédia, téléphonie, etc.) au travers d'infrastructures convergentes fiables et qui permettent la prise en charge de la QoS.

Donc il est clair que le problème de la qualité de service perçue par l'utilisateur final est au-delà de la QoS purement réseau, puisque elle inclut plusieurs dimensions telles que la sécurité, la disponibilité et principalement, la capacité du réseau à acheminer et à adapter le service pour satisfaire l'utilisateur final. Afin de répondre au besoin de l'utilisateur en terme de QoS et plus précisément de QoE (*Quality of Experience*), il est nécessaire de concevoir des architectures et des protocoles réseaux capables de tenir compte, à la fois, du contenu transporté (profil du contenu), des caractéristiques du terminal (profil du terminal), du profil des clients et des mécanismes de QoS offerts dans le réseau sous-jacent (profil réseau).

En effet, la QoS doit être négociée dynamiquement suivant les besoins du service demandé par l'utilisateur et le niveau de QoS contracté doit être maintenu durant la

transmission d'un service puisque les conditions de transmission dans les réseaux peuvent varier durant le temps. La QoS doit être assurée verticalement en coordonnant les différents mécanismes de QoS qui existent sur toutes les couches. Pour garantir la QoS dans cette dernière dimension, un nouveau paradigme a émergé récemment sous l'appellation *Cross-layer* ou communication inter-couches. Ce nouveau concept remet en question l'isolation des couches qui représente le principe de base des architectures réseaux. Bien que l'efficacité de l'architecture en couches ait été démontrée dans le passé pour les réseaux filaires, le large déploiement des réseaux sans fil commence à illustrer les limites de cette architecture. La communication inter-couches devient un impératif pour améliorer les performances globales des systèmes de transmission et assurer la QoS des services multimédia.

Cette thèse est organisée comme suit :

- Chapitre 1 « Les réseaux WLAN IEEE 802.11 » : nous présentons dans ce chapitre une généralité sur les réseaux WLAN IEEE 802.11 et nous détaillons le fonctionnement des réseaux 802.11;
- Chapitre 2 « Le streaming » : nous présentons dans ce chapitre les étapes supposées du processus de streaming multimédia, les différents protocoles qui ont été développés pour faciliter le streaming en temps réel du contenu multimédia ;
- Chapitre 3 « L'état de l'art » : Nous présentons dans ce chapitre un état de l'art sur les mécanismes de QoS qui ont été définis durant ces dernières années au niveau des couches physique, Mac et application du modèles TCP/IP. Au niveau physique et au niveau MAC, nous nous focalisons particulièrement sur les réseaux sans fil 802.11 et au niveau applicatif, nous nous limitons aux applications multimédia. Suite à cette présentation, nous introduisons le concept *Cross-layer* et nous détaillons les travaux récemment réalisés dans ce domaine ;
- Chapitre 4 « Proposition d'une Approche Inter- Couches pour QoS des flux streaming » : Ce chapitre constitue l'approche que nous proposons. Il détaille aussi les contributions réalisées.
- Conclusion : Enfin, nous présentons une conclusion générale pour le travail présenté et nous proposons quelques perspectives pour de futurs travaux de recherche qui s'inscrive dans la continuité de cette thèse.

CHAPITRE 1 LES RÉSEAUX WLAN IEEE 802.11

1.1. Introduction

Ces dernières années on assiste à une importante évolution des réseaux sans fil, conduite par l'émergence des appareils de communications (tels que les téléphones cellulaires, les ordinateurs portables,... etc.). L'utilisateur passe ainsi de l'âge de l'ordinateur personnel à l'âge de l'ubiquité du traitement à travers plusieurs infrastructures.

Il a accès à l'information n'importe où et n'importe quand. Un utilisateur mobile peut consulter son courrier électronique, naviguer sur Internet dans les aéroports, les gares ou dans d'autres lieux publics. Dans une conférence, les chercheurs peuvent transférer des fichiers et d'autres types d'information grâce à leurs appareils électroniques via des réseaux locaux sans fil. Dans sa maison, une personne peut synchroniser des données et échanger des fichiers entre différents terminaux.

1.2. Les différentes catégories de réseaux sans fil

Suivant le taux de transmission radio disponibles et la portée, on a différents types de réseaux sans fil [1]:

- **WPAN** : Les réseaux sans fil personnels (*Wireless Personal Area Network* _WPAN), sont des réseaux sans fil à très faible portée (de l'ordre d'une dizaine de mètres). Ce type de réseau sert généralement à relier des équipements informatiques entre eux : par exemple pour relier une imprimante ou un PDA (*Personal Digital Assistant* ou assistant personnel) à un ordinateur de bureau.

La principale technologie pour mettre en œuvre de tels réseaux est **Bluetooth** proposée par Ericsson en 1994. Pour une portée maximale d'une trentaine de mètres elle fournit un taux de transmission radio théorique de 1 Mbit/s.

La technologie **infrarouge** ou **IrDA** (*infrared data association*) est une association formée en 1995 qui regroupe plus de 150 membres. Cette technologie nécessite une vision directe entre les éléments souhaitant communiquer ce qui la limite bien souvent à un usage de type télécommande. Elle est beaucoup plus sensible que Bluetooth aux perturbations lumineuses.

- **WLAN** : Les réseaux locaux sans fil (*Wireless Local Area Network* -WLAN) sont principalement basés sur la technologie IEEE 802.11 ou sur la technologie HiperLan 1 et son remplaçant Hiperlan 2 (802.11g) qui offre des taux de transmission radio théoriques plus élevés que la technologie Bluetooth pouvant

atteindre 54 Mbit/s. Ces technologies ont une portée plus importante : 300 mètres en extérieur et 100 mètres à l'intérieur des bâtiments pour IEEE 802.11b et d'une centaine de mètres pour Hiperlan 2.

Les réseaux WLAN sont généralement utilisés à l'intérieur d'entreprises et d'universités.

- **WMAN** : Les réseaux métropolitains sans fil (*Wireless Metropolitan Area Network - WMAN*) est connu sous le nom de boucle locale radio (BLR), au début ils étaient prévus pour interconnecter des zones géographiques difficiles d'accès à l'aide d'un réseau sans fil.

Actuellement pour fournir un accès internet aux habitants, ces réseaux sont utilisés dans certaines villes par exemple, la ville américaine San Francisco. Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16.

La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le WiMAX, permettant d'obtenir un taux de transmission radio théorique de l'ordre de 74Mbit/s sur un rayon de dizaines de kilomètres (50km de portée théorique annoncée).

Les réseaux téléphoniques de troisième génération utilisant la norme UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) peuvent être classés dans cette catégorie de réseaux pour transmettre de la voix et des données. La norme UMTS propose des taux de transmission radio théoriques pouvant aller jusqu'à 2 Mbit/s sur des distances de plusieurs kilomètres.

- **WWAN** : Les réseaux sans fil étendus (*Wireless Wide Area Network -WWAN*) tirent profit de l'infrastructure réseau cellulaire pour fournir à l'utilisateur une connectivité sans fil avec une itinérance couvrant de larges zones. Grâce au WWAN, l'utilisateur peut maintenir une connectivité réseau même en déplacement.

Les WWANs regroupent notamment les différents réseaux téléphoniques de première et deuxième génération mais également les réseaux satellitaires. Parmi les technologies des réseaux cellulaires téléphoniques: GSM (*Global System for Mobile Communication*) et GPRS (*General Packet Radio Service*) qui servent à transmettre l'information. Les réseaux satellites s'appuient sur des normes comme DVB-S (*Digital Video Broadcasting-Satellite*) et proposent des débits élevés (de l'ordre de 40 Mbit/s).

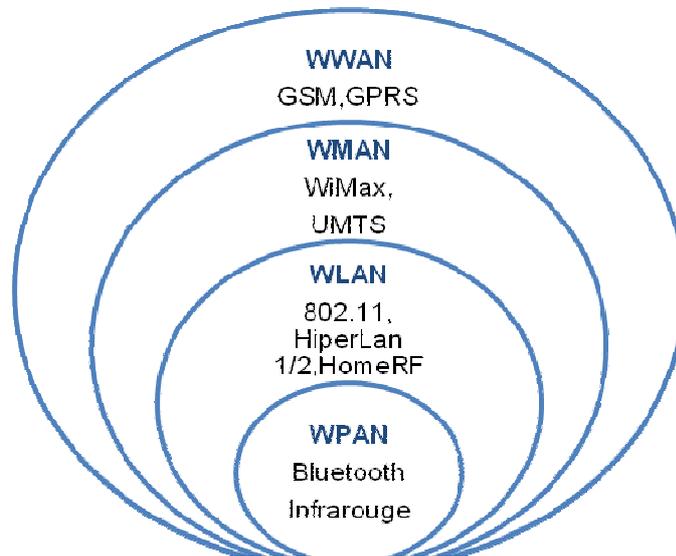


Figure 1.1- Les catégories de réseaux sans fil

1.3. Problèmes spécifiques des réseaux sans fil

Par nature, les communications sans fil entraînent un certain nombre de problèmes n'ayant pas d'équivalent dans le monde filaire [1] :

- **La qualité de transmission** : L'élément clé de la qualité d'une transmission est la propagation du signal radio mais le nombre de fréquences et de canaux disponibles pour communiquer est limité. La qualité de transmission peut être affectée, lorsque deux canaux sont proches ou deux nœuds émettent simultanément sur des bandes de fréquences. Ainsi, la perturbation du signal en fonction de la météo, la distance et l'environnement en général. Toutes ces perturbations vont déformer le signal et ceci jusqu'à le rendre inutilisable par le destinataire.
- **La contrainte d'énergie** : Les équipements mobiles disposent de batteries limitées, et dans certains cas très limitées tels que les PDA, ce qui peut poser des problèmes. Sachant qu'une partie de l'énergie est déjà consommée par la fonctionnalité du routage. Cela limite les services et les applications supportées par chaque nœud.
- **La mobilité des nœuds** : La mobilité continue des nœuds crée un changement dynamique de topologie et va augmenter les problèmes de propagation du signal. Ce déplacement a naturellement un impact sur la morphologie du réseau et peut modifier le comportement du canal de communication notamment dans le cas des réseaux Ad Hoc.

- **Sécurité** : Les réseaux sans fil posent un sérieux problème de sécurité. La transmission étant réalisée dans les airs, n'importe qui peut capter ces signaux et accéder ainsi à un réseau non protégé.

Ces dernières années, les réseaux locaux sans fil à grande vitesse (WLANs) sont devenus largement populaires dans divers secteurs, y compris des centres de soins de santé, de fabrication et d'universitaire. Ces secteurs ont tiré bénéfice des gains de productivité d'utiliser les bornes mobiles pour transmettre l'information en temps réel dans des environnements physiquement distribués. Pour ces raisons, on s'intéresse à ce type de réseau. Plusieurs technologies ont été proposées pour résoudre les différents problèmes posés dans ce réseau, la plus célèbre d'entre elle étant la norme IEEE 802.11 qui a connu ces dernières années un grand succès commercial.

1.4. La norme IEEE 802.11

802.11 est un standard établi par l'IEEE en 1997. Cette première version propose une technique de communication sans fil avec des débits de 1 ou 2 Mbit/s sur quelques centaines de mètre en extérieur et fonctionne sur la bande des 900 Mhz.

1.4.1. La norme IEEE 802.11a

La norme IEEE 802.11a a été approuvée en 1999, et de premiers produits commencent à apparaître. Cette norme, définissant la couche physique de 802.11, IEEE 802.11a est une extension d'IEEE 802.11 qui permet d'améliorer la vitesse de transmission en offrant des débits de 6 à 54 Mbit/s. 802.11a utilise la bande de fréquence des 5 GHz, donc elle n'interfère pas avec Bluetooth.

1.4.2. La norme IEEE 802.11b

La norme IEEE 802.11b, adoptée en septembre 1999, est plus connue sous le nom de Wi-Fi (*Wireless Fidelity*). 802.11b utilise la bande de fréquence des 2,4 GHz. permet d'atteindre un débit théorique de 11 Mbit/s.

1.4.3. La norme IEEE 802.11g

Le but du 802.11g est d'offrir des débits plus importants que ceux de 802.11b. Elle permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbit/s tout en restant dans la bande des 2,4GHz. Cette norme est compatible avec la norme IEEE 802.11b : les équipements répondant à la norme IEEE 802.11g peuvent fonctionner en environnement 802.11b, avec une dégradation des performances.

1.4.4. La norme IEEE 802.11e

802.11e permet d'améliorer la QoS (*Quality of Service*) afin d'obtenir des performances optimales des applications demandant une meilleure qualité des transmissions par exemple la transmission de la voix ou de la vidéo. Les modifications apportées aux protocoles existants portent essentiellement sur la couche MAC. Nous abordons avec plus de détails ce standard dans la section 3.2.2.2

1.4.5. La norme IEEE 802.11i

La norme IEEE 802.11i a été ratifiée en juin 2004 et met l'accent sur la sécurité en proposant des mécanismes de contrôle d'intégrité, d'authentification et de chiffrement.

1.4.6. La norme IEEE 802.11n

La norme 802.11n permet d'atteindre des débits de l'ordre de 100 Mbit/s et plus (pouvant atteindre 500 Mbit/s). Cette norme utilise la bande de fréquence des 2,4 GHz.

1.5. La topologie du réseau 802.11 sans fil

Un LAN sans fil peut être utilisé pour remplacer ou étendre un LAN filaire. Nous allons décrire quelles sont les différentes topologies de réseau possibles avec la norme 802.11.

1.5.1. Architecture ad hoc

Les réseaux Ad Hoc se composent uniquement de terminaux mobiles. Dans ce type de réseau, chaque nœud du réseau joue à la fois le rôle d'élément terminal et le rôle de routeur pour relayer les messages de ses voisins vers un nœud qui n'est pas situé dans le voisinage immédiat dans la cellule que l'on appelle cellule indépendante IBSS (*Independent Basic Service Set*).

La topologie d'un réseau Ad Hoc évolue beaucoup au cours du temps si bien que les routes permettant aux nœuds de communiquer ne sont pas statiques. Cette évolution va dépendre principalement de la vitesse de déplacement des nœuds mais également de l'énergie dont dispose chaque nœud. En effet, comme chaque nœud doit servir de routeur à ses voisins, la disparition d'un nœud par manque d'énergie va entraîner de nouveaux calculs de routes.

Les réseaux Ad Hoc sont un des éléments moteurs de la recherche dans les réseaux sans fil car leurs domaines d'application sont très nombreux.

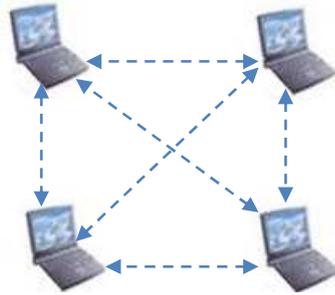


Figure 1.2- Independent Basic Service Set [41]

1.5.2. Architecture basée infrastructure

Un réseau sans fil avec infrastructure est un ensemble de cellules de base (BSS-*Basic Service Set*). Ce réseau est également appelé réseau cellulaire. Chaque cellule BSS se compose de deux types de terminaux : les stations de base ou points d'accès (*Access Point-AP*) et les terminaux mobiles ou nœuds mobiles.

Les points d'accès sont des terminaux fixes reliés en général à une source d'énergie illimitée et chargés de relayer les informations qui circulent dans leurs cellules. Toutes les communications se font systématiquement vers le point d'accès le plus proche qui se charge ensuite de les relayer à la destination. Donc les terminaux mobiles ne communiquent jamais directement les uns avec les autres.

On peut étendre la couverture globale du réseau et résoudre le problème d'affaiblissement du signal, en déployant plusieurs points d'accès.

Ce réseau est de plus en plus utilisé dans les entreprises et les universités et souvent retenu pour sa simplicité d'administration. En effet comme les points d'accès n'ont pas de problèmes d'énergie et sont fixes, la topologie du réseau demeure dans l'ensemble assez stable [1].

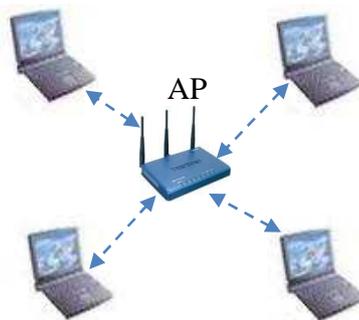


Figure 1.3- Basic Service Set

1.5.3. Extended Service Set ESS

Il est possible de grouper les BSS en un super groupe, qui se nomme (ESS : *Extended Service Set*). Les APs sont reliés entre eux par un Système de Distribution (DS). Ce DS est dans la majorité des cas un LAN Ethernet. Cette topologie est notamment utilisée à l'université de Genève.

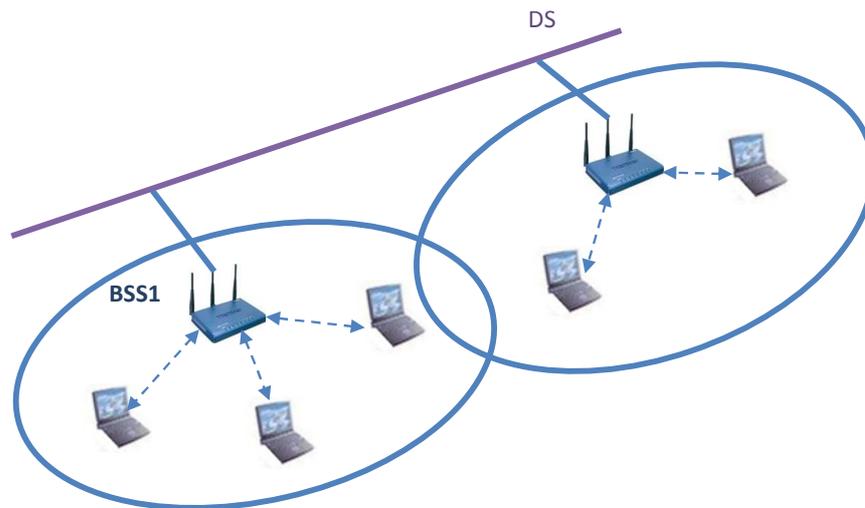


Figure 1.4- Extended Service Set (ESS) [41]

1.6. Fonctionnement: comment une station rejoint-elle un BSS ?

1.6.1. Synchronisation

Quand une station veut accéder à un BSS ou à un IBSS, soit après démarrage ou après un passage en mode de veille, la station a besoin d'informations de synchronisation de la part du point d'accès (ou des autres stations dans le cas d'un réseau ad-hoc). Les stations doivent obligatoirement rester synchronisées; ceci est nécessaire pour garder la synchronisation au cours des sauts (dans le cas de la méthode d'étalement de spectre à saut de fréquence) ou pour d'autres fonctions comme l'économie d'énergie.

La station peut obtenir ces informations par une des deux techniques suivantes :

- **Ecoute active** : cette technique est utilisée lorsque la station veut se connecter à un BSS pour la première fois (ou pour se reconnecter), la station essaie de trouver un point d'accès en transmettant une trame de demande de synchronisation

(*Probe Request Frame*) contient l'identifiant de l'ensemble de services (SSID¹ : *Service Set Identifier*) du réseau qu'il souhaite rejoindre et attend une trame "balise" (*Beacon Frame*) de la part du point d'accès. Si un point d'accès ayant le même SSID est trouvé, il émet cette balise.

La trame balise est une trame contenant les informations de synchronisation. Elles contiennent en fait la valeur de l'horloge du point d'accès au moment de la transmission (notons que c'est le moment où la transmission a réellement lieu, et non quand la transmission est mise à la suite des transmissions à faire. Puisque la trame balise est transmise selon les règles du CSMA, la transmission pourrait être différée significativement).

- **Ecoute passive** : cette technique est utilisée pour garder la synchronisation avec le point d'accès une fois que la station a déjà été associée au BSS.

Les nœuds écoutent les trames de gestion *Beacon* qui sont transmises par le point d'accès (mode infrastructure) ou les nœuds d'égal à égal (mode ad hoc). La station attend simplement de recevoir une trame "balise", celle-ci étant envoyée périodiquement par le point d'accès toutes les 100ms par exemple. Les stations réceptrices vérifient la valeur de leur horloge au moment de la réception, et la corrige pour rester synchronisées avec l'horloge du point d'accès. Ceci évite des dérives d'horloge qui pourraient causer la perte de la synchronisation au bout de quelques heures de fonctionnement.

1.6.2. Authentification et association

Une fois qu'une station a trouvé un point d'accès et une cellule (BSS) associée, le processus d'authentification s'enclenche.

L'authentification des LAN sans fil a lieu au niveau de la couche 2. Il s'agit du processus d'authentification d'un équipement et non de l'utilisateur. Ce processus est important dans le contexte de la sécurité, de la résolution des problèmes et de l'administration globale des LAN sans fil.

Dans le cas d'un nouveau point d'accès et d'une nouvelle carte réseau avec des configurations par défaut en place, l'authentification peut être un processus nul. Le client envoie au point d'accès une trame de demande d'authentification, et le point d'accès accepte ou refuse la trame. Le client est averti de la réponse via une trame de réponse d'authentification. La désauthentification consiste simplement à effacer de la mémoire une station authentifiée.

L'association effectuée après l'authentification, la station ne peut transmettre et recevoir des trames de données qu'après cette étape. Le processus d'association consiste

¹ Les périphériques sans fil possèdent un SSID (*Service Set Identifier*) par défaut. Il s'agit du nom du réseau sans fil. Ce nom peut comprendre 32 caractères maximum.

en un échange d'informations concernant les différentes stations, les capacités de la cellule et enfin l'enregistrement de la position actuelle de la station par le point d'accès.

- **Types d'authentification et d'association**
 - Non authentifié et non associé
 - Le nœud est déconnecté du réseau et non associé à un point d'accès.
 - Authentifié et non associé
 - Le nœud a été authentifié sur le réseau mais n'est pas encore associé au point d'accès.
 - Authentifié et associé
 - Le nœud est connecté au réseau et peut transmettre et recevoir des données via le point d'accès.
- **Méthodes d'authentification**

La norme IEEE 802.11 spécifie deux types de processus d'authentification :

Le premier est le système ouvert (*open*) : toute station sans fil peut demander l'authentification. La station qui a besoin de s'authentifier auprès d'une autre station sans fil envoie une demande de gestion de l'authentification contenant l'identité de la station émettrice. La station réceptrice ou le point d'accès accorde toute demande d'authentification. L'authentification ouverte autorise l'accès réseau à tout périphérique. Si aucun chiffrement n'est activé sur le réseau, tout périphérique connaissant l'identificateur SSID du point d'accès peut accéder au réseau.

Le second processus est la clé partagée (*shared key*) : ce processus requiert l'utilisation du cryptage WEP (*Wired Equivalent Privacy*), un algorithme simple utilisant des clés de 64 et 128 bits. Le point d'accès est configuré avec une clé cryptée, et les nœuds tentant d'accéder au réseau via le point d'accès doivent disposer d'une clé correspondante. Les clés WEP attribuées de façon statique fournissent un niveau de sécurité supérieur à celui du système ouvert, mais elles ne sont pas inviolables.

1.7. Domaines d'application des réseaux ad hoc

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

- Réseaux domestiques: L'idée est de mettre au point des dispositifs reliant les appareils électroniques du domicile entre eux et avec Internet, en tirant le meilleur

parti des technologies sans fils et du haut débit. C'est le plus souvent le réseau d'une maison, mais cela peut être le réseau d'une petite entreprise ou d'un cabinet médical ou d'avocats.

- Les services d'urgence : opération de recherche et de secours des personnes, tremblement de terre, feux, inondation, dans le but de remplacer l'infrastructure filaire,
- Le travail collaboratif et les communications dans des entreprises ou bâtiments : dans le cadre d'une réunion ou d'une conférence par exemple,
- Applications commerciales : pour un paiement électronique distant (taxi) ou pour l'accès mobile à l'Internet, où service de guide en fonction de la position de l'utilisateur,
- Réseaux de senseurs : pour des applications environnementales (climat, activité de la terre, suivi des mouvements des animaux, . . . etc.) ou domestiques (contrôle des équipements à distance),
- Réseaux en mouvement : informatique embarquée et véhicules communicants, plusieurs grands constructeurs automobiles travaillent actuellement à développer un standard de communication sans fil inter véhicules pour organiser leur mouvement.
- Réseaux Mesh : c'est une technologie émergente qui permet d'étendre la portée d'un réseau ou de le densifier.

En plus, dans un LAN, pour étendre une couverture sans fil avec un moindre coût, un réseau ad hoc fournit une solution. Dans un WAN (ex : UMTS), il permet d'accroître la capacité globale du réseau sans fil.

En fait, en réduisant la taille des cellules et en créant des pico-cellules on peut obtenir plus de bande passante agrégée .Afin de supporter une telle architecture, les opérateurs disposent de deux options : utiliser un réseau ad hoc pour atteindre la station de base, ou déployer plus de stations de base (une station de base par cellule). La première solution est clairement plus flexible et moins coûteuse [2].



Figure 1.5- Applications diverses des réseaux sans fils [41]

1.8. Architecture des réseaux WLANs

Comme tous les protocoles 802 de l'IEEE, le protocole 802.11 se situe dans les couches basses du modèle OSI. En l'occurrence, la norme 802.11 définit seulement les deux couches les plus basses du modèle OSI. Ainsi sont définies la couche physique PHY et la sous-couche MAC (*Medium Access Control*) de la couche liaison de données.

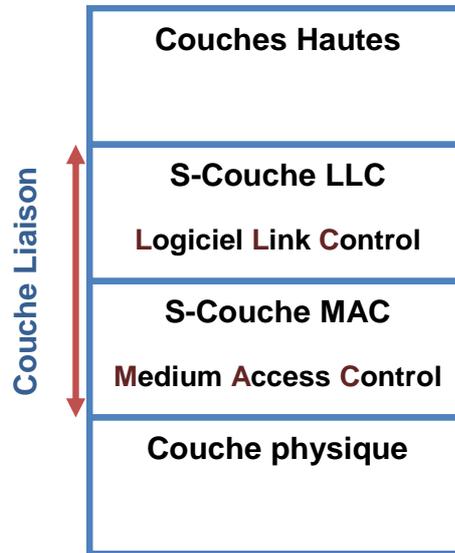


Figure 1.6- 802.11 dans le modèle OSI

1.8.1. La couche physique

La couche physique gère essentiellement la transmission des bits sur le support de communication, les niveaux électriques et les modulations. Pour assurer ces communications sans fil, trois couches physiques peuvent être utilisées :

- Les techniques d'étalement de spectre : DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), et FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
- IR (*Infra Red*)

1.8.1.1. Les techniques d'étalement de spectre

La norme IEEE 802.11 propose deux techniques de modulation de fréquence pour la transmission de données issues des technologies militaires. Ces techniques, appelées étalement de spectre (*spread spectrum*) consistent à utiliser une bande de fréquence large pour transmettre des données à faible puissance. On distingue deux techniques d'étalement de spectre:

- La technique de l'étalement de spectre à saut de fréquence,
- La technique de l'étalement de spectre à séquence directe

1.8.1.1.1. Le FHSS ou saut de fréquence

Le principe de FHSS est simple, il s'agit de modifier périodiquement la fréquence utilisée pour la transmission du signal en suivant pour cela une séquence prédéfinie. Le

passage d'une fréquence à une autre est appelé saut (*hop*). Une séquence est composée de hop, c'est pour cela qu'elle est couramment appelée *hopping sequence*.

La bande des 2.4 GHz est divisée en 79 canaux de 1 MHz chacun. Cette technique est basée sur le saut de fréquence périodique de l'émetteur (toutes les 20 à 400ms), suivant un ordre cyclique prédéterminé. Le fait de ne jamais rester sur le même canal accroît fortement l'immunité au bruit. Dans le cas de canaux encombrés, cela permet d'avoir au final un bon moyen de transfert et d'utiliser au mieux toute la bande passante allouée. Cette technique rend difficile l'interception de trames.

L'étalement de spectre par saut de fréquence a originalement été conçu dans un but militaire afin d'empêcher l'écoute des transmissions radio. En effet, une station ne connaissant pas la combinaison de fréquence à utiliser ne pouvait pas écouter la communication car il lui était impossible dans le temps imparti de localiser la fréquence sur laquelle le signal était émis puis de chercher la nouvelle fréquence.

L'avantage de cette technique est aussi que même en perdant quelques "sauts" (ou hop) suite à des interférences très localisées, on peut tout de même retrouver le signal. D'un autre côté, si le bruit de fond est plus puissant que le signal émis, il n'y a rien à faire. De plus, cette méthode de transmission est relativement simple mais elle est limitée par son débit maximum de 2 Mbits/s. Enfin, elle introduit une certaine complication au niveau MAC, ce qui se traduit en termes de multiplication d'en-têtes et donc de réduction de débit [3].

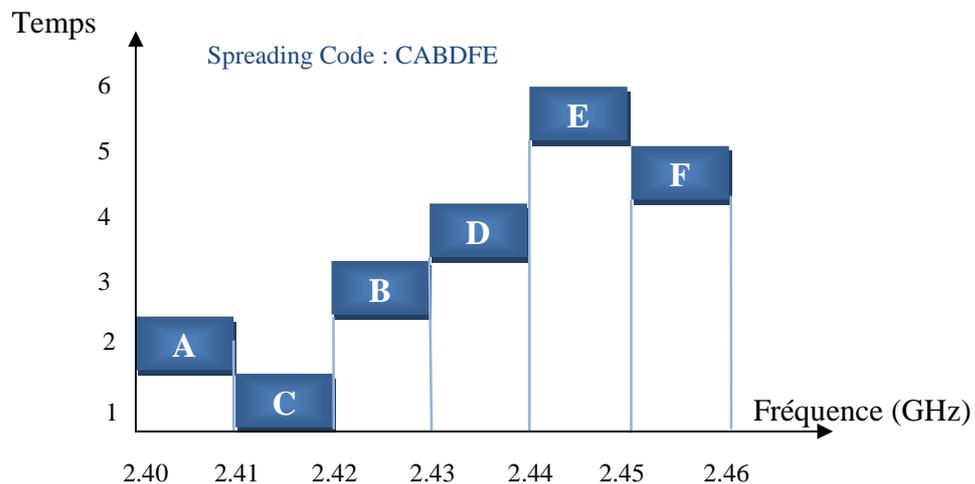


Figure 1.7- FHSS

1.8.1.1.2. Le DSSS ou séquence directe

La technique de la séquence directe divise la bande des 2.4 GHz en 14 canaux de 22 MHz chacun. Les données sont envoyées uniquement sur l'un des 14 canaux. Pour minimiser le bruit de fond et les interférences locales.

La couche physique de la norme 802.11 définit une séquence de 11 bits (10110111000) pour représenter un 1 et son complément (01001000111) pour coder un 0. On appelle *chip* ou *chipping code* (*puce*) chaque bit encodé à l'aide de la séquence. Cette technique (appelée *chipping*) revient donc à moduler chaque bit.

1.8.1.2. Lumière Infrarouge IR (InfraRed)

La couche IR s'appuie sur la lumière infrarouge dont la longueur d'onde est comprise entre 850 et 959 nm (nanomètre). La portée de l'infrarouge est faible, les stations ne doivent pas être distantes de plus de 10 m. Elle fonctionne dans un champ de 180° et utilise des ondes lumineuses qui ne peuvent traverser les surfaces opaques.

Deux débits sont proposés pour la connexion infrarouge :

- Le *Basic Access Rate* : 1 Mbit/s
- Le *Enhanced Access Rate* : 2 Mbit/s

1.8.2. Couche MAC

1.8.2.1. Types de trame

Il y a trois principaux types de trames [4]:

- Les trames de **données**, utilisées pour la transmission des données.
- Les trames de **contrôle**, utilisées pour contrôler l'accès au support (eg. RTS, CTS, ACK).
- Les trames de **gestion**, transmises de la même façon que les trames de données pour l'échange d'informations de gestion, mais qui ne sont pas transmises aux couches supérieures.

Chacun de ces trois types est subdivisé en différents sous-types, selon leurs fonctions spécifiques.

1.8.2.1.1. Format des trames

Voici la représentation graphique d'une trame 802.11

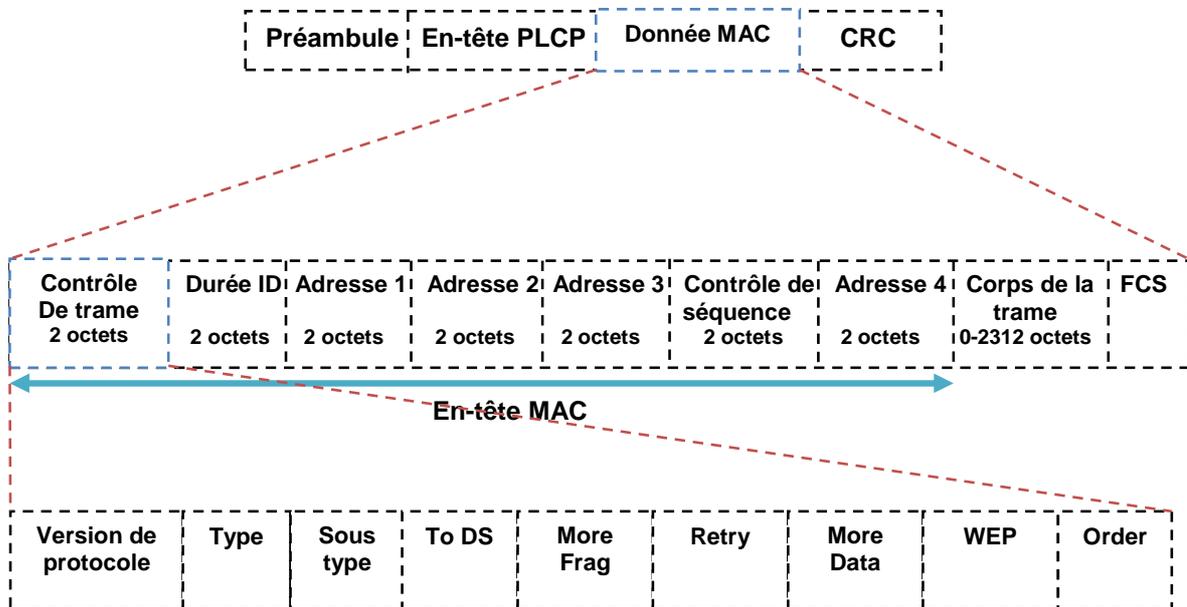


Figure 1.8- Trame 802.11 [4]

- **Préambule (Preamble) :** Le préambule est constitué des champs *Synchronization* (Synchronisation) et *Start Frame Delimiter* (SFD).
 - **La synchro :** le champ de synchronisation sert à indiquer la transmission d'une trame vers des stations sans fil, à mesurer la fréquence du signal radio et à apporter des rectificatifs au besoin.
 - **SFD :** Le *Start Frame Delimiter* à la fin du préambule consiste en la suite de 16 bits 0000 1100 1011 1101, utilisée pour indiquer le début de la trame.
- **En-tête PCLP :** L'en-tête PCLP contient des informations logiques utilisées par la couche physique pour décoder la trame :
 - Longueur de mot du PLCP_PDU : il représente le nombre d'octets que contient le paquet, ce qui est utile à la couche physique pour détecter correctement la fin du paquet
 - Fanion de signalisation PLCP : il contient seulement l'information de taux, encodé à 0,5 Mbps, incrémenté de 1 Mbps à 4,5 Mbps.
 - Champ d'en-tête du contrôle d'erreur : champ de détection d'erreur CRC 16 bits.

- **Données MAC**
 - **Champ *Frame Control-FC* (Contrôle de trame)** : ce champ de deux octets est constitué des informations suivantes :
 - **Protocol version (Version de protocole)** : ce champ de 2 bits permettra de prendre en compte les évolutions de version du standard 802.11. Pour la première version la valeur est égale à zéro.
 - **Type, Subtype (Type et Sous-type)** : ces champs, respectivement de 2 et 4 bits, définissent le type et le sous-type des trames. Le type *gestion* correspond aux demandes d'association ainsi qu'aux messages d'annonce du point d'accès. Le type *contrôle* est utilisé pour l'accès au média afin de demander des autorisations pour émettre. Enfin le type *donné* concerne les envois de données (la plus grande partie du trafic).
 - **To DS** : ce bit vaut 1 lorsque la trame est destinée au système de distribution (*DS*) ou lorsqu'une trame est envoyée par une station à destination d'un point d'accès, il vaut zéro dans les autres cas.
 - **From DS** : ce bit vaut 1 lorsque la trame provient du système de distribution (*DS*), il vaut zéro dans les autres cas. Ainsi, lorsque les deux champs *To* et *From* sont positionnés à zéro il s'agit d'une communication directe entre deux stations (mode *ad hoc*).
 - **More Fragments** (fragments supplémentaires) : ce bit permet d'indiquer (lorsqu'il vaut 1) qu'il reste des fragments d'une trame de donnée ou de gestion à transmettre, il vaut zéro dans les autres cas.
 - **Retry** : ce bit spécifie (lorsqu'il vaut 0) que la trame est transférée pour la première fois, sinon c'est une retransmission.
 - **Power Management** (gestion d'énergie) : ce bit sert à une station pour annoncer son état de gestion d'énergie : 0 indique que la station est en mode actif et 1 indique que la station entrera en mode de gestion d'énergie.
 - **More Data** (Données supplémentaires) : ce bit, utilisé pour le mode de gestion d'énergie, est utilisé par le point d'accès pour spécifier à une station qu'il y'a au moins une trame stockée en tampon en attente. La station peut alors décider d'utiliser cette information pour demander les autres trames ou pour passer en mode actif (1 bit).
 - **WEP** : ce bit indique que l'algorithme de chiffrement WEP a été utilisé pour chiffrer le corps de la trame.
 - **Order** (ordre) : ce bit indique que cette trame est envoyée en utilisant la classe de service strictement ordonné (*Strictly-Ordered service class*). Cette

classe est défini pour les utilisateurs qui ne peuvent pas accepter de changement d'ordre entre les trames unicast et multicast.

- **Durée / ID** (16 bits) : ce champ contient alternativement la valeur de durée utilisée pour le calcul du NAV ou une courte identification (*Association Identity - AID*) d'une station mobile utilisée pour obtenir ses trames protégées en AP. Seules les trames de polling en mode d'économie d'énergie contient AID.

Une trame peut contenir jusqu'à 4 adresses, selon le bit ToDS et FromDS défini dans le champ de contrôle, comme suit :

- **Adresse 1** : est toujours l'adresse du récepteur (ie. la station de la cellule qui est le récepteur du paquet). Si ToDS est à 1, c'est l'adresse du Point d'Accès, sinon, c'est l'adresse de la station.
- **Adresse 2** : est toujours l'adresse de l'émetteur (ie. celui qui, physiquement, transmet le paquet). Si FromDS est à 1, c'est l'adresse du Point d'Accès, sinon, c'est l'adresse de la station émettrice.
- **Adresse 3** : est l'adresse de l'émetteur original quand le champ FromDS est à 1. Sinon, et si ToDS est à 1, Adresse 3 est l'adresse destination.
- **Contrôle de séquence** : Le champ de contrôle de séquence est utilisé pour représenter l'ordre des différents fragments appartenant à la même trame, et pour reconnaître les paquets dupliqués. Il est composé de deux sous-champs permettant de réordonner les fragments :
 - Le numéro de fragment (4 bits) : numéro du fragment dans la trame,
 - Le numéro de séquence (12 bits) : numéro de la trame.
- **Adresse 4** : est utilisé dans un cas spécial, quand le système de distribution sans fil (*Wireless Distribution System*) est utilisé et qu'une trame est transmise d'un Point d'Accès à un autre. Dans ce cas, ToDS et FromDS sont tous les deux à 1 et il faut donc renseigner à la fois l'émetteur original et le destinataire.
- **Frame Body** : contient les données (la taille des données doit être comprise en 0 et 2312 octets).
- **FCS** : détecte et contrôle les erreurs au moyen d'un CRC de 32 bits.
- **CRC** (32 bits) : une somme de contrôle servant à vérifier l'intégrité de la trame.

1.8.2.1.2. Format des trames les plus courantes

- **Format des trames RTS (*Request to Send*):** (20 octets)

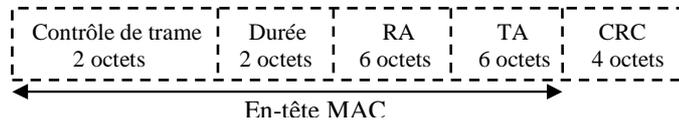


Figure 1.9- Trame RTS [4]

RA est l'adresse du récepteur de la prochaine trame de données ou de gestion. **TA** est l'adresse de la station qui transmet la trame RTS.

La valeur de la **durée** est le temps, en microsecondes, nécessaire à la transmission de la trame de gestion ou de données suivante, plus une trame CTS, plus une trame ACK, plus 2 intervalles SIFS.

- **Format de la trame CTS (*Clear to Send*):** (14 octets)



Figure 1.10- Trame CTS [4]

RA est l'adresse du récepteur de la trame CTS, directement copiée du champ **TA** de la trame RTS.

La valeur de la **durée** est la valeur obtenue dans la trame RTS, moins le temps de transmission (en microsecondes) de la trame CTS et d'un intervalle SIFS.

- **Format de la trame ACK (*Acknowledge*):** (14 octets)

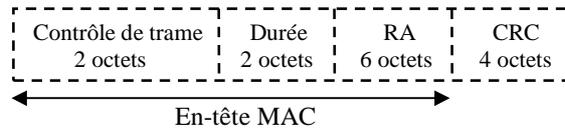


Figure 1.11- Trame ACK [4]

RA est le champ directement copié du champ Adresse 2 de la trame précédent cette trame ACK.

Si le bit **More Fragment** était à 0 dans le champ de contrôle de trame de la trame précédente, la valeur de la durée est mise à 0. Sinon, c'est la valeur du champ durée

précédent, moins le temps (en microsecondes) demandé pour transmettre la trame ACK et l'intervalle SIFS.

1.8.2.2. Les mécanismes d'accès au médium sous- couche MAC

La couche MAC définit deux méthodes différentes d'accès au canal, la fonction de coordination distribuée (DCF : *Distributed Coordination Function*) et la fonction de coordination par point (PCF : *Point Coordination Function*).

1.8.2.2.1. DCF (*Distributed Coordination Function*)

Le DCF est la méthode d'accès fondamentale employée pour soutenir le transfert de données asynchrone sur une meilleure base d'effort. Le DCF fonctionne seulement dans le réseau ad hoc, et fonctionne seulement ou coexiste avec le PCF dans un réseau d'infrastructure.

Le DCF est basé sur le mécanisme CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*).

- **CSMA/CA** : CSMA/CA est proche du CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*) d'*Ethernet* (IEEE 802.3), mais, on remplace la *Collision Detection* (détection de collision) par *Collision Avoidance*, qui signifie l'évitement de collision.

Le CSMA/CA est une technique d'accès aléatoire avec écoute de la porteuse, qui permet d'écouter le support de transmission avant d'émettre. Le CSMA évite ainsi qu'une transmission ne soit faite que lorsque le support est libre. Cela réduit le risque de collision, mais ne permet pas de l'éviter complètement.

Dans le protocole *Ethernet*, CSMA/CD permet de détecter les collisions et traite les collisions qui se produisent lorsque plusieurs stations accèdent au support. Cependant, avec le IEEE 802.11, la détection des collisions n'est pas possible. Pour détecter une collision, une station devrait pouvoir écouter et transmettre en même temps. Or avec la radio, la transmission empêche la station d'écouter la même fréquence en même temps.

Donc, pour aboutir au CSMA/CA, le CSMA/CD a été légèrement modifié, CSMA/CA a pour but de prévenir au maximum les collisions et essayer de réduire le nombre de collisions en évitant qu'elles ne se produisent, sachant que la plus grande probabilité d'avoir une collision est lors de l'accès au support.

Pour comprendre l'algorithme du CSMA/CA, il faut connaître ce qu'est l'*inter-Frame Spacing* (IFS). C'est un mécanisme d'espacement entre deux trames. Ce sont en fait des périodes d'inactivité sur le support de transmission qui permettent de gérer l'accès au support pour les stations ainsi que d'instaurer un système de priorités lors d'une transmission.

- **IFS** : Un intervalle de temps appelé IFS (*Inter-frame Space*) à été défini pour permettre la gestion de l'accès au canal. Cet intervalle de temps représente le temps écoulé entre deux trames. La norme propose quatre intervalles de temps différents :
 - **SIFS** (*Short ou Small IFS*): Est le plus court et a la plus grande priorité des IFS. Il est utilisé pour séparer les différentes trames transmises au sein d'un même dialogue comme par exemple, entre des données et leurs acquittements où entre différents fragments d'une même trame ou pour toute autre transmission relative à un même dialogue (question-réponse).
 - **DIFS** (*Distributed Coordination Function IFS*): Est le temps que doivent attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode DCF. La valeur du DIFS est égale à celle d'un SIFS augmentée de deux *slot times*².
 - **PIFS** (*Point Coordination Function IFS*): Est le temps que doivent attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode PCF. La valeur est inférieure au DIFS, pour permettre de favoriser ce mode. Le mode PCF est expliqué dans la partie suivante.
 - **EIFS** (*Extended IFS*) : Est le plus long des IFS. Lorsqu'une station reçoit une trame erronée, elle doit attendre pendant un EIFS l'acquittement de cette trame.

SIFS < PIFS < DIFS < EIFS [3].

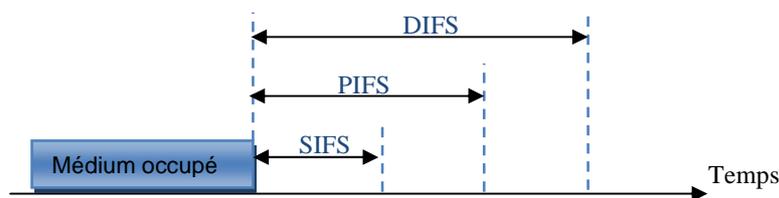


Figure 1.12- Les intervalles d'accès au médium

Le principe de la fonction DCF consiste à écouter le canal pour voir si un autre nœud est en train d'émettre. Le nœud doit s'assurer que le médium est libre pour une certaine durée (DIFS) avant d'émettre. Si le canal est occupé, la transmission est différée d'un temps de *Backoff*. Le temps de *Backoff* est obtenu par la multiplication d'un nombre

² Un slot time est intervalle de temps défini par la norme. La durée d'un slot est de 50 μ s lorsque la couche PMD travaille en FHSS et 20 μ s pour une modulation DSSS.

choisi aléatoirement dans une fenêtre appelée CW³ (*Contention Window*, fenêtre de contention) avec durée appelée *slot time*.

Lorsque le canal redevient libre, la station attend DIFS et décrémente le *Backoff*. Cependant, si au moins deux stations émettent simultanément, une collision peut se produire et sa détection par la station émettrice n'est malheureusement pas possible. Pour cela, un acquittement (ACK) est utilisé pour informer la station émettrice que la trame est reçue avec succès [2]

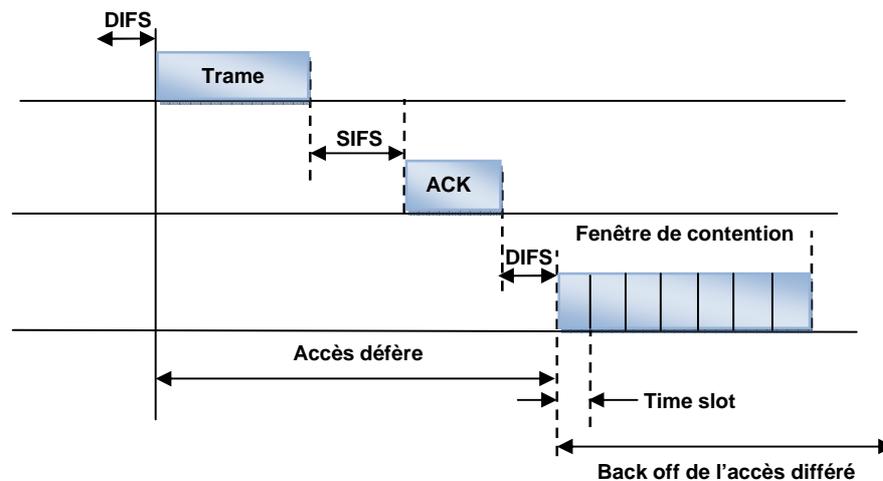


Figure 1.13- L'envoi et l'acquittement d'une trame

Plus la fenêtre de contention CW est grande, plus la probabilité que les temps d'attente de deux stations soient identiques est faible. Cependant une fenêtre de contention trop importante nuit aux performances car les temps d'attente sont plus longs. Donc la probabilité d'avoir des collisions sur le médium dépend de la dimension de la fenêtre de contention CW.

La solution consiste à contrôler dynamiquement la dimension de la fenêtre de contention. CW est donc recalculé en fonction du nombre de collisions détectées sur le canal. A chaque collision détectée, la formule est la suivante : $CW_i = 2CW_{i-1} + 1$ [3].

³ CW peut prendre des valeurs différentes en fonction de la modulation utilisée. Ainsi en FHSS, CW peut valoir entre 15 et 1023, alors qu'en DSSS, CW est compris entre 31 et 1023.

- **Problème des terminaux cachés (*Hidden Terminal*)**

Le cas dit des stations cachées, survient quand une ou plusieurs stations ne peuvent se détecter (M1 et M3 sur la figure 1.14), car elles se trouvent hors de leurs portées respectives.

Une collision peut se produire quand les stations M1 et M3 souhaitent communiquer avec le nœud M2. Elles commencent par écouter le canal radio. Étant hors de portée l'une de l'autre, elles ne détectent pas d'activité et peuvent donc émettre des informations à la station M2 simultanément [5].

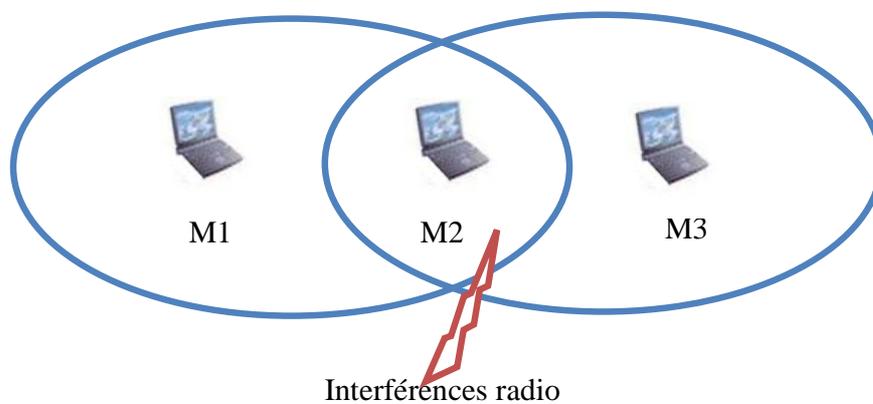


Figure 1.14- Problème de la station cachée [5]

- **RTS/CTS**

Pour limiter les occurrences du problème des stations cachées, 802.11 préconise l'utilisation d'un mécanisme de signalisation appelé RTS/CTS. Avant d'émettre, une station envoie un message RTS contenant un champ appelé *Network Allocation Vector* (NAV), informant la destination de la durée prévue pour la communication pour réserver le canal. La destination répond par un message CTS s'il est prêt à recevoir.

La destination décrémente le NAV et l'insère dans son message de réponse CTS. Ce dernier est envoyé au nœud ayant effectué la requête mais également à tous les nœuds voisins du nœud destination. Les messages RTS/CTS et ACK sont prioritaires à l'accès au médium, car ils disposent d'un temps d'attente IFS inférieur à celui des paquets de données [6].

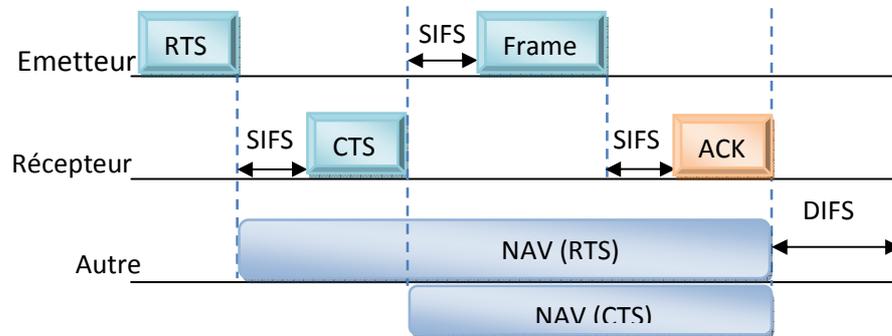


Figure 1.15- Le mécanisme RTS/CTS [6]

1.8.2.2.2. Accès sans contention avec PCF

Le PCF est basé sur l'interrogation (*Polling*) des terminaux sans fil avant l'accès au médium, Cette méthode est conçue pour les applications temps réel (vidéo, voix) nécessitant une gestion du délai lors des transmissions de données.

- **Fonctionnement de PCF**

Le service sans contention utilise une méthode de contrôle d'accès centralisé puisque l'accès au médium est contrôlé par le point de coordination, une fonction spécifique implémentée dans les points d'accès les stations associées ne peuvent transmettre des données que lorsqu'elles y sont autorisées par le coordonnateur de points.

La figure 1.16 montre un transfert avec la PCF. Lorsque la PCF est utilisée, le temps sur le médium est réparti entre la période sans contention (CPF – *Contention Free Period*) et la période avec contention (CP- *Contention Period*). Dans le premier cas l'accès au médium est contrôlé par la PCF, mais dans le deuxième, il est contrôlé par la DCF.

L'alternance des périodes avec et sans contention se répète à des intervalles réguliers, appelés intervalles de répétition sans contention.

Au début de la période sans contention, le point d'accès transmet une trame Balise (*Beacon Frame*) qui contient la durée maximale de la période sans contention, *CFP Max Duration*. Toutes les stations recevant la balise fixent le NAV à la durée maximale afin de bloquer les accès DCF au médium sans fil.

Lorsque le point d'accès a obtenu le contrôle du médium sans fil, il interroge les stations associées selon une liste d'interrogation afin de savoir si elles ont des données à transmettre.

Pendant la période sans contention, les stations ne peuvent émettre que si elles sont sollicitées par le point d'accès avec une trame d'interrogation. Les stations se placent sur cette liste lors de leurs associations au point d'accès.

Les types de trames qui peuvent être utilisées pendant la période sans contention sont :

- **Données :**

La trame de données est utilisée lorsque le point d'accès envoie une trame à une station sans devoir accuser réception de la transmission précédente. Cette trame n'interroge pas le destinataire et ne lui permet donc pas de transmettre des données en retour. La trame contenant uniquement des données :

- **CF-Ack** : Utilisée par les stations pour accuser réception d'une trame.
- **CF-Poll** : Les trames CF-Poll sont envoyées par les points d'accès à une station mobile afin qu'elle obtienne le droit de transmettre une seule trame. Si pas de données, elle envoie une trame Null Data au point d'accès.
- **Données + CF-Ack** : Cette trame combine la transmission de données vers la destination de trame et un accusé de réception de la trame précédemment transmise.
- **Données + CF-Poll** : Utilisée par le point d'accès pour transmettre des données et l'autorisation à émettre de suite à une station mobile.
- **Données + CF-Ack +CF-Poll** : Comporte la transmission de données, la fonction d'interrogation et l'accusé de réception.
- **CF-End** : Cette trame termine la période sans contention et redonne le contrôle du médium au mécanisme avec contention de DCF [7].

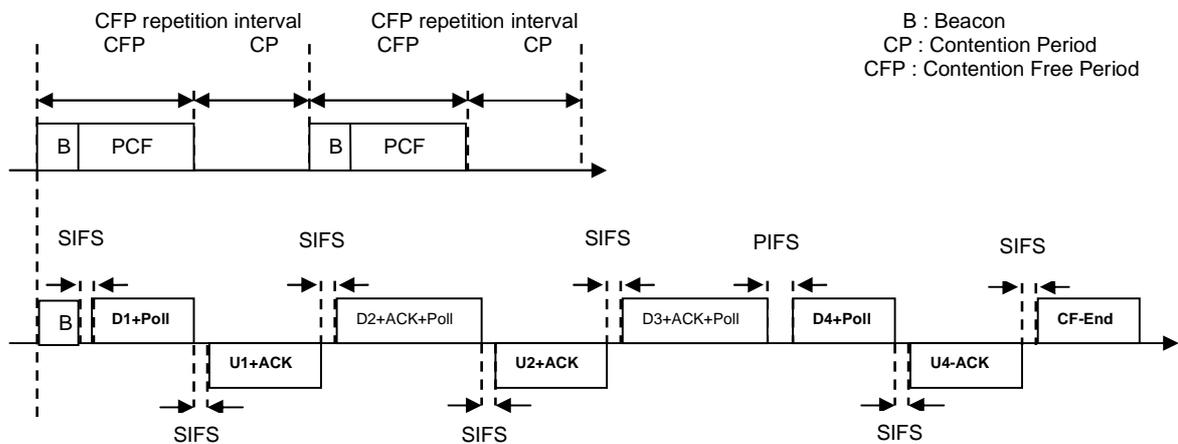


Figure 1.16- Polling coordination function (PCF) [4]

1.8.2.3. L'économie d'énergie

Les réseaux sans fil sont généralement en relation avec des applications mobiles, et dans ce genre d'application, l'énergie de la batterie est une ressource importante. La norme 802.11 définit un moyen d'économiser l'énergie. Cela permet à 802.11 d'être mieux adapté aux équipements fonctionnant avec des batteries et pour qui l'énergie est précieuse.

Le standard 802.11 définit tout un mécanisme pour permettre aux stations de se mettre en veille pendant de longues périodes sans perdre d'information. L'idée générale, derrière le mécanisme d'économie d'énergie, est que la station peut, lorsqu'elle n'a pas besoin de communiquer, se mettre à l'état *Doze* (mode d'économie d'énergie). A l'opposé, lorsqu'une station désirant communiquer doit se trouver dans l'état *Awake*. Les méthodes de sauvegarde d'énergie sont différentes pour un BSS basé sur infrastructure et un BSS ad hoc.

- **Sauvegarde d'énergie dans un réseau basé sur infrastructure**

Le point d'accès maintient une liste à jour des stations travaillant en mode d'économie d'énergie (mode *doze*), et garde les paquets adressés à ces stations en mémoire jusqu'à ce que les stations les demandent avec une requête de polling, ou jusqu'à ce qu'elles changent de mode de fonctionnement.

Le point d'accès diffuse périodiquement un *beacon* contenant la liste des adresses des stations qui ont des trames stockées en attente en mémoire, cette liste est appelée TIM (*Traffic Indication Map*). Les stations sont programmées pour se réveiller (mode *awake*) à chaque *beacon* et ainsi être en mesure de recevoir la liste TIM.

Si une station se reconnaît dans la liste fournie par l'AP, elle envoie alors une trame PS-Poll indiquant à l'AP de lui faire parvenir les trames qui lui sont destinées. L'AP

transmet les trames et la station concernée les acquitte. Les stations peuvent alors se remettre en mode *Doze*. Les stations n'appartenant pas à la liste retournent dans le mode *Doze*.

Le point d'accès utilise un *beacon* contenant le champ DTIM (*Delivery Traffic Indication Message*) à la place du champ TIM, lorsqu'il doit transmettre une trame multicast ou broadcast. Dans ce cas, toutes les stations doivent rester éveillées et recevoir la trame multicast ou broadcast.

- **Sauvegarde d'énergie dans un réseau ad hoc**

Comme un réseau ad hoc ne dispose pas d'AP, chaque station doit conserver en mémoire les trames qu'elle désire transmettre à des stations endormies (mode *Doze*). Les stations endormies se réveillent périodiquement pour recevoir le *beacon*, pendant une durée appelée fenêtre ATIM (*ATIM, Ad hoc Traffic Indication Map window*) ces stations restent alors éveillées et les stations ayant des trames à échanger à des stations qui étaient endormies envoient leur liste de stations (ATIM).

Au bout de cette fenêtre, les stations qui n'ont aucune trame à recevoir retournent en mode *Doze*, les autres acquittent la liste reçue, reçoivent les données qui leur sont destinées et les acquittent [3].

1.8.2.4. Fragmentation

Afin d'optimiser les performances, la couche MAC offre un service de fragmentation. En effet, à cause du taux d'erreur par bit qui est plus important sur une liaison radio, la probabilité d'une trame d'être erronée augmente avec sa taille.

Pour diminuer le risque de devoir retransmettre une trame suite à une erreur, il s'agit de diminuer la dimension des trames en les fractionnant en trames plus petites.

La fragmentation est différente pour CSMA/CA et RTS/CTS. Avec CSMA/CA, lorsqu'une station a accès au canal, elle le réserve jusqu'à ce que tous les fragments soient transmis. Chaque segment doit être acquitté séparément.

Le principe est un peu différent avec RTS/CTS. Lorsqu'une station a pris le contrôle du canal, les autres stations ont initialisé leur NAV. Le NAV des stations qui ne communiquent pas doit être réinitialisé par celles qui communiquent. Pour cela, les nouvelles durées de réservation pour la réinitialisation des NAV sont incluses dans les fragments et les acquittements échangés par les stations. A la fin de la transmission, le dernier fragment et le dernier acquittement ne contiennent aucune réservation (durée de la réservation égale à 0).

1.8.2.5. Qualité de service

Le développement actuel des réseaux sans fil a fait apparaître de nouvelles applications demandant une meilleure qualité des transmissions, la qualité de service dans ces réseaux est devenue un thème de recherche qui a suscité beaucoup d'intérêts. Nous abordons avec plus de détails la qualité de service dans le chapitre 3.

Les techniques suivantes ont été proposées, dans le but d'améliorer la méthode d'accès DCF du protocole 802.11:

- **Fonction de backoff différente:** consiste à attribuer des valeurs de fenêtres de contention (CW) supérieures pour les stations les moins prioritaires et inversement, une station prioritaire à plus de chance pour accéder au canal,
- **Distributed Fair Scheduling :** dans ce schéma d'accès la valeur du *backoff* à la longueur de la trame de donnée et inversement proportionnelle au poids du flux, elle est générée avant un envoi,
- **Différent longueur maximale de trame:** chaque station a une priorité qui lui permet d'envoyer des trames ayant une taille maximale différente, 802.11e propose une amélioration de la QoS afin d'obtenir des performances optimums des applications utilisant par exemple la transmission de la voix ou de la vidéo.

Cette amélioration concernent à la fois le mode d'accès décentralisé DCF avec une nouvelle fonction de contrôle EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), et le mode d'accès sans contention PCF [2].

1.9. Conclusion

Le succès des réseaux sans fil vidange l'intérêt sans précédent de recherches qui traduit en succès commercial énorme. Le réseau local sans fil (WLAN) est l'exemple le plus prééminent.

Dans le présent chapitre, nous avons passé en revue les composants de base du standard IEEE 802.11, les modèles de référence du modèle IEEE 802.11 et les méthodes d'accès au médium (DCF et PCF).

Avec la capacité croissante des réseaux locaux sans fil, des offres des services interactifs conduit par des modèles économique (tels que VOIP, vidéo streaming, etc) commencent à apparaître sur le marché. Il est maintenant possible de combiner la vidéo, l'audio, et les données dans le même signal et de les transmettre au-dessus des réseaux sans fil. Toutes ces avancées favoriseront l'apparition de nouvelles applications puissantes de multimédia avec des possibilités et des promesses sans limites d'affaires.

CHAPITRE 2

LE STREAMING

2.1. Introduction

De nos jours, les multimédias sont devenus des dispositifs indispensables sur les environnements réseau. Les films audio et vidéo deviennent de plus en plus populaires sur les WLAN. Beaucoup de systèmes sont conçus pour porter ces nouveaux médias tels que le streaming audio et vidéo, la communication visuelle, la vidéo à la demande, etc.

La gestion d'un réseau de multimédia est définie par un ensemble d'infrastructures de matériel et de logiciel qui supportent le transport de multimédia sur le réseau de sorte que les utilisateurs puissent communiquer dans les multimédias.

2.2. Communications Unicast, Multicast, Broadcast et Anycast

Il existe des différents modèles de services utilisés pour envoyer des données d'un émetteur au(x) récepteur(s). Quatre possibilités principales sont discutées ici (voir la figure 2.1) : *Unicast*, *Broadcast*, *Multicast* et *Anycast* [8].

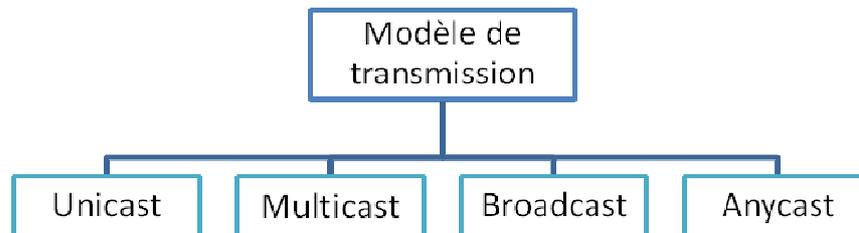


Figure 2.1- Taxonomie des approches de transmission [8].

- **Unicast:** Appelé aussi communication point à point, dont les données sont envoyées seulement à un destinataire spécifique. *Unicast* gaspille la bande passante en envoyant des copies multiples des données à plusieurs clients.
- **Broadcast:** Les données sont envoyées à chacun dans un WLAN même s'ils ne sont pas des récepteurs intéressés. Les données envoyées ne peuvent pas sortir du WLAN. *Broadcast* est très utilisé pour la télévision numérique. *Broadcast*

gaspille la bande passante en envoyant les données au réseau entier. Il peut également diminuer les performances des machines de client parce que chaque client doit traiter les données reçues qu'il soit intéressé ou non. Le défi principal pour le *Broadcast* est le problème d'évolutivité. Les récepteurs peuvent connaître les différentes caractéristiques de canal, et l'émetteur doit se débrouiller avec tous les récepteurs. Dans ce cas, le *feedback* du récepteur à l'émetteur est infaisable.

- **Multicast:** Il prend les forces de tous les deux approches (*unicast* et *broadcast*) et évite leurs faiblesses. Cette technique ressemble à *broadcast* mais les données sont envoyées seulement aux récepteurs identifiés, ce qui permet de réduire considérablement le trafic lors d'une diffusion pour de nombreux récepteurs. Il y a principalement deux approches différentes pour réaliser le multicast. Telle que l'application vidéo à la demande qu'exige à envoyer les mêmes données aux multiples récepteurs. Dans ce contexte, l'envoi des mêmes données, utilisant les communications point à point séparés d'*unicast* (figure 2.2 (b)), ont comme conséquence le gaspillage de plusieurs ressources. Le multicast d'IP (figure 2.2 (a)) est un exemple de multicast extensible fournissant la distribution de données pour la communication de groupe.
- **Anycast:** Le paradigme de communication *anycasting* est désigné à supporter les applications du serveur pour facilement choisir et communiquer avec le meilleur serveur, selon quelques performances dans un groupe contient des serveurs équivalents.

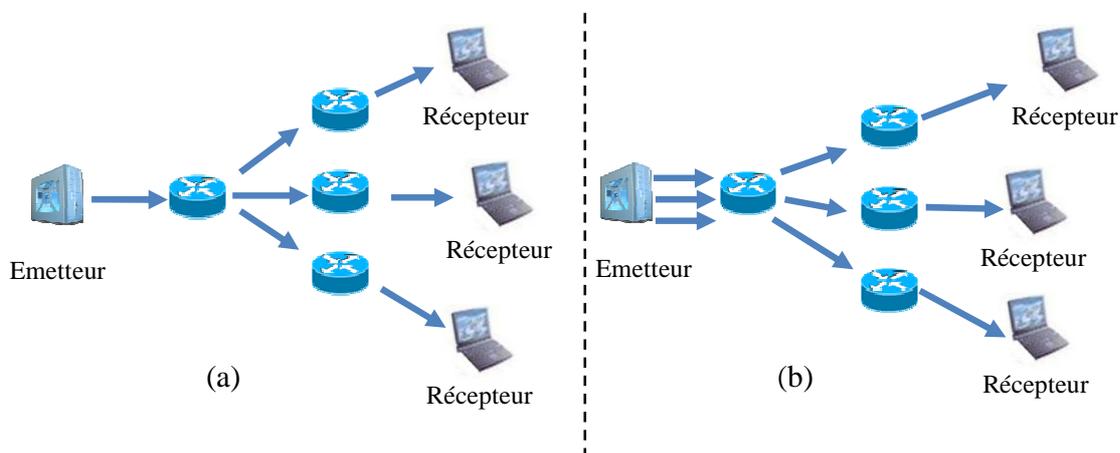


Figure 2.2- Exemples de transmission en Multicast et Unicast [8]

2.3. Streaming

Le Streaming consiste à découper les données en paquets dont la taille est adaptée à la bande passante disponible entre le client et le serveur. Quand le client a reçu suffisamment de paquets (*buffering*), l'application cliente commence à jouer un paquet, décompresse un autre et reçoit un troisième. Ainsi la technologie du streaming permet de commencer à visualiser un contenu multimédia sans être obligé de télécharger la totalité des données (on fonctionne en flux continu) [9].

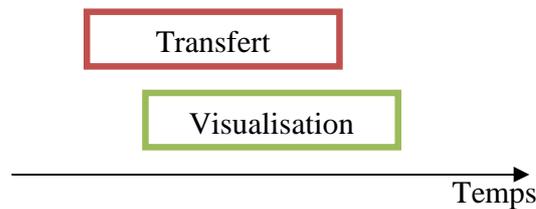


Figure 2.3- Média streaming [9]

Dans [10] le processus de streaming multimédia est supposé en trois étapes :

- Réception
- Décodage
- Lecture (*Playing*)

2.3.1. Réception

C'est toute l'activité liée au réseau, en particulier le transfert des données à partir du serveur au dispositif de client.

La transmission IP de données n'est pas un processus synchrone et la livraison est par le *Best Effort*. Pour réaliser le synchronisme, des références de synchronisation doivent être incluses dans le stream [11].

Un certain nombre de différents protocoles ont été développés pour faciliter le streaming en temps réel du contenu multimédia. Ces protocoles sont décrits ci-dessous :

2.3.1.1. Real-Time Protocol (RTP)

RTP (RFC 1889) Standardisés en 1996 par le groupe de travail AVT-WG (*Audio Video Transport*) de l'IETF et actuellement (RFC3550 depuis Juillet 2003), RTP est un protocole de transport des données en temps réel, il est basé sur IP. RTP est un protocole de communication. Il s'affranchit de la qualité qu'offre TCP (gestion des paquets perdus) afin de fournir des applications temps-réel grâce au protocole UDP (plus rapide).

Pour pallier au manque du protocole UDP, il fournit l'horodatage (*timestamp*) des paquets afin de reconstituer le flux (audio et/ou vidéo) par le récepteur. De plus, il fournit numéro de séquence des paquets afin d'observer les paquets perdus.

2.3.1.1.1. Les services de RTP

RTP fournit des services de bout en bout pour des applications qui nécessitent un temps réel comme l'audio et la vidéo interactive. Cependant, RTP ne fournit aucun mécanisme pour assurer la délivrance à temps. Il nécessite le support des couches plus basses qui ont le contrôle sur les ressources dans les switches et les routeurs. RTP dépend de RSVP (*Resource Reservations Protocol* - RFC 2205) pour la réservation des ressources et pour fournir la QoS demandée.

RTP définit les rôles pour deux dispositifs de niveau d'application active qui peuvent résider sur le réseau : mixeurs et traducteurs (*translators*), la différence entre traducteur et mixeur est: les mixeurs changent les identificateurs de la source de synchronisation, tandis que les traducteurs ne font pas.

Les mixeurs ont beaucoup de caractéristiques semblables avec les routeurs, par exemple ils relient deux réseaux ou plus. Mixeurs traitent les paquets RTCP et peuvent effectuer des traductions de format de données. Ils effectuent aussi le re-mixage des flux de RTP. Le but des mixeurs est de permettre aux utilisateurs qui utilisent des liens à vitesse réduite de recevoir des transmissions à grande vitesse en recevant tous les flux, les mixant à un ou plusieurs flux à vitesse réduite et émettre ces flux aux récepteurs. L'inverse sera naturellement fait pour les paquets de retour possible. Les mixeurs doivent régénérer l'information de synchronisation et changer SSRC, en tant qu'ils créent essentiellement des nouveaux flux basés sur un ou plusieurs flux existants. Les mixeurs ne sont pas des dispositifs transparents. Car les mixeurs peuvent combiner plusieurs flux chiffrés, ils sont capables de chiffrer et déchiffrer les flux de RTP.

Les traducteurs sont transparents au niveau de RTP, ils laissent des identificateurs de SSRC intacts. Le but des traducteurs est de traiter les conversions de format de données, permettre la traverse transparente des paquets dans des Pare-feux (*firewalls*), ajouter ou enlever le chiffage et de permettre la coexistence des différentes technologies de réseau. Considérant que des mixeurs pourraient être décrits comme routeurs de RTP, l'équivalent le plus ressemblant aux traducteurs de RTP est le proxy de niveau d'application.

Ils existent quelques limitations pour placer multiples traducteurs ou mixeurs sur le même nœud, leur adresse réseau doit être unique et ils ne peuvent pas effectuer la même tâche d'émission à moins qu'ils n'aient pas été partagés pour empêcher d'émettre les mêmes paquets aux mêmes récepteurs [12].

2.3.1.2. Real-Time Control Protocol (RTCP)

RTCP (RFC 1889 et 1890) est un protocole de contrôle conçu pour travailler en conjonction avec le protocole RTP. Il est basé sur la transmission périodique des paquets de contrôle à tous les participants à la session, utilisant le même mécanisme de distribution que les paquets de données. Les fonctions assurées par ce protocole sont :

- Fournir un feedback (des informations sur la qualité du service délivré) à chaque participant dans la session RTP qui peut être utilisé pour contrôler la session.
- Fournir une identification persistante de niveau de transport: car l'identifiant SSRC peut changer si un conflit est découvert ou un programme est remis en marche, RTCP transporte donc un champ "CNAME" (Canonical NAME) ou nom permanent qui permet d'identifier les provenances des flux.
- Les deux premières fonctions exigent que tous les participants envoient des paquets de RTCP. En ayant chaque participant envoyer ses paquets de contrôle à tous les autres, chacun peut indépendamment observer le nombre de participants. Ce nombre est utilisé pour calculer le taux auquel les paquets sont envoyés, pour permettre le calibrage de la fréquence d'émission en fonction de ces paquets RTCP reçus.
- Fonction optionnelle permettant le contrôle des participants : les paquets RTCP sont envoyés périodiquement parmi les participants. Quand le nombre de participants augmente (ce qui peut être le cas dans une session multicast), il est nécessaire de limiter les informations de contrôle pour éviter que le trafic de contrôle ne vienne saturer les ressources du réseau.

2.3.1.2.1. Emission des paquets RTCP:

Comme les paquets SR, RR et SDES contiennent des informations susceptibles de changer continuellement, il faut en réémettre de nouveaux périodiquement. Si les participants d'une session RTP envoient des paquets RTCP avec la même fréquence, la bande passante utilisée pour une communication multicast va croître linéairement avec le même nombre d'utilisateur. Pour éviter ce problème, chaque membre d'une session compte le nombre de participants à cette session à l'aide des paquets RTCP. La période d'émission des paquets RTCP va alors être calculée de façon à croître avec le nombre de participant à une session pour contrer ce problème et assuré des besoins en bande passante indépendant du nombre de participant pour les paquets RTCP.

Le trafic de données pour chaque session est assujéti à une limite moyenne appelée « bande passante de session » qui sera divisée entre les participants. Cette bande passante devra être réservée et la limite assurée par le réseau, ou doit être une division raisonnable. Cette bande passante peu être choisie sur la base de la connaissance de la bande passante disponible du réseau. Ceci est indépendant du codage du média, mais le choix du codage est limité par la bande passante de la session. Les paramètres

seront établis par une application de gestion de la session quand il y a invocation d'une application multimédia.

Le trafic de contrôle doit être limité à une petite fraction de la bande passante de la session. IL est suggéré que la bande passante allouée au trafic RTCP soit de 5% de la bande passante allouée à la session [13].

2.3.1.2.2. Mécanisme de contrôle de flux :

La base des contrôles de flux et de congestion sont les paquets RR et SR. On distingue la congestion éphémère et la congestion persistante. En analysant les champs de gigue du SR, on peut mesurer la gigue sur un certain laps de temps et indiquer un problème de congestion avant qu'il ne devienne persistant et conduise à la perte de paquet.

Les chaînes d'actions de contrôle peuvent être les suivantes : un nouvel arrivant veut se joindre à la conférence alors qu'il est connecté à l'aide d'un modem de faible débit. Les autres participants vont devoir modifier leur format pour abaisser les besoins en bande passante de la session. En utilisant un programme de surveillance qui reçoit et évalue seulement les paquets RTCP, un fournisseur de service peut détecter les congestions locales ou générales du réseau et réagir à temps pour empêcher des pertes importantes de paquet, ceci via le protocole RSVP. Le récepteur d'un flux média détecte une baisse du taux de paquet reçu et en informe l'émetteur par un SR. L'émetteur va pouvoir changer son format de compression ou le média (audio devient texte) [13].

2.3.1.3. Real-Time Streaming Protocol (RTSP)

Le protocole de streaming en temps réel est défini depuis avril 1998 (RFC 2326). RTSP est un protocole de niveau applicatif qui sert à contrôler les données multimédia ayant des contraintes temps réel.

RTSP propose de fournir un protocole solide pour délivrer, en unicast ou multicast, le contenu multimédia. Par l'intermédiaire du protocole RTSP, le client est libre d'arrêter le flux provenant du serveur (mode pause) ou de manière plus intéressante, d'accéder directement à une partie avancée du média sans avoir à télécharger la partie passée (mode avance rapide). De la même manière le serveur peut être amené à envoyer des requêtes au client comme la demande d'émission de compte-rendu sur la qualité de la connexion pour adapter, s'il est nécessaire, la nature du flux.

Un serveur de streaming peut également réagir à la congestion de réseau, changeant la bande passante du média pour s'adapter à la capacité disponible. RTSP est similaire, au niveau de la syntaxe et des fonctionnalités, à HTTP version 1.1.

Il diffère dans plusieurs aspects importants, cependant. Avec RTSP le client et le serveur peuvent émettre des requêtes pendant l'interaction alors qu'avec HTTP le client émet toujours les requêtes (pour des documents). RTSP doit maintenir l'état d'une session, tandis que le HTTP est apatride.

2.3.2. Décodage

Implique principalement le décodage des médias reçus pour qu'ils puissent être joués sur le dispositif. La méthode de codage utilisée dans le serveur exercera un effet direct sur cette étape.

En se rapportant à l'étape de décodage, il est important de comprendre que la méthode de codage utilisée affectera la puissance exigée pour la décoder.

Au niveau international, les deux organismes les plus actifs pour la normalisation des systèmes de compression vidéo sont VCEG (*Video Compression Expert Group*) de l'ITU-T (*International Telecommunication Union-Telecommunication*) et MPEG (*Moving Pictures Expert Group*) de l'ISO/IEC (*International Organization of Standardization /International Electro-Technical Commission*) comme il est expliqué dans la Figure 2.4. Les codecs les plus importants pour le streaming vidéo, définis par ces deux organismes sont : H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 et H.264. Nous présentons en cette sous-section une liste non exhaustive de ces standards :

- **H.261**: Défini par le groupe VCEG, en 1990 [14], H.261 est appelé le codec vidéo pour les services audiovisuel dans $p * 64$ Kbit/s. Le H261 a été conçu pour fournir les services de visioconférence sur les réseaux ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Ce standard vise essentiellement l'utilisation de débits vidéo allant approximativement de 40 kbit/s à 2 Mbit/s. La spécification de H.261 est déjà implémentée dans plusieurs supports de télécommunication.
- **H.263 et H.263+**: H.263 [15] est défini par le groupe VCEG, en 1996. H.263 est une recommandation développée pour la transmission de la vidéo sur des lignes à bas débits. Il se base sur l'architecture H.261 avec de nouveaux algorithmes pour améliorer les performances du codage. La version 2, appelée H.263+, a été ratifiée en 1998. Elle a permis d'élargir le domaine d'application en offrant plus de flexibilité et en améliorant l'efficacité du codage.
- **MPEG-1**: c'est le premier standard développé par le groupe MPEG en 1991, il a été développé principalement pour le stockage de vidéos à un débit de 0.9 à 1.5Mbps dans une qualité proche des cassettes VHS sur un support CD appelé VCD (Vidéo CD) [16].
- **MPEG-2 / H.262**: a été développé conjointement par le groupe MPEG et le groupe VCEG en 1994. MPEG-2 reprend les principes de MPEG-1 en incluant un support de résolution plus élevée d'une vidéo et d'autres capacités. Il a été défini pour les applications liées à la TV numérique, à la fois au niveau professionnel (production audiovisuelle, etc.) et au niveau du grand public (diffusion vers les postes TV). Il a été adopté par plusieurs standards TV, à savoir l'ATSC (*Advanced Television Systems Committee*) en Amérique et le DVB (*Digital Video Broadcast*) en Europe.

Il est aussi utilisé pour stocker des vidéos sur le support DVD (*Digital Video Disc*). Le débit pour ce codec est 4-5Mbps [17].

- **MPEG-4 Part-2:** Publié par le groupe MPEG, en 2000. Il représente le premier codec vidéo orienté objet développé principalement pour les applications multimédia interactives. Le standard MPEG-4 présente une nouvelle technique pour le codage des scènes de multimédia appelée « le codage vidéo orienté objet ». Cette technique permet un codage indépendant des différents objets audiovisuels dans la scène. Il a été développé principalement pour les applications multimédia interactives [18].
- **H.264 AVC / MPEG-4 part-10:** Publié par la JVT (*Joint Video Team*) de MPEG et de VCEG, en 2003 [19], il offre une plus grande performance de codage, comparé au MPEG-2 et MPEG-4 et il vise diverses applications : la diffusion TV, le HD-DVD, le stockage numérique, et la TV mobile.

Afin de répondre aux besoins des nouvelles applications multimédia qui doivent transmettre des flux vidéo sur des réseaux différents et pour des terminaux hétérogènes, les efforts de la JVT sont orientés vers le codage vidéo hiérarchique SVC (*Scalable Video Coding*) [20]. Contrairement aux codecs précédents, qui génèrent un seul flux vidéo avec une seule couche, le SVC génèrent plusieurs flux correspondant à plusieurs couches hiérarchiques, une couche de base (BL : *Base Layer*) et une ou plusieurs couches d'amélioration (EL : *Enhancement Layer*). La couche de base se suffit à elle-même pour le décodage, mais le décodage des couches supérieures nécessite le décodage de la couche de base. La définition du nouveau standard SVC se base sur l'architecture H.264/AVC. Les couches hiérarchiques peuvent être construites sur trois dimensions :

- La hiérarchie temporelle : Correspond à différents nombres d'images par seconde La couche de base est constituée des images I (*Intra-coded frame*) et P (*Predictively coded frame*) et les couches d'amélioration sont constituées d'images B (*Bi-directionally predicted frame*) insérées entre les images I et P.
- La hiérarchie spatiale : Correspond à différentes dimensions d'image. Les couches supérieures fournissent une plus grande taille d'image.
- La hiérarchie en qualité (SNR) : Correspond à différentes qualités d'images. Les couches supérieures permettent d'obtenir une qualité plus fine de l'image, avec plus de précision. En tronquant les couches supérieures, les applications multimédia peuvent mieux s'adapter à différents paramètres. Par exemple, le débit disponible dans le réseau en utilisant la hiérarchie en qualité ou encore la capacité d'affichage d'un terminal en utilisant la hiérarchie spatiale.

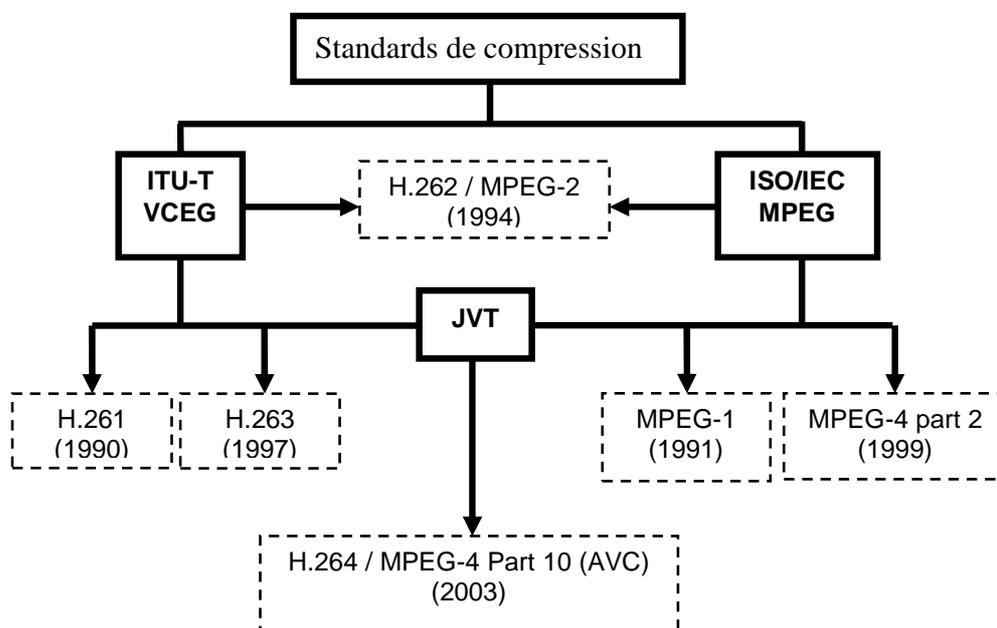


Figure 2.4- Les standards de codage vidéo

2.3.3. Lecture

Implique que les médias reçus et décodés peuvent être joués sur le dispositif mobile de sorte que l'utilisateur puisse les observer et/ ou les écouter.

Pour cette étape, il y a un certain nombre de lecteurs multimédias qui pourraient être utilisés. Certains des principaux lecteurs sont décrits ci-dessous :

2.3.3.1. Le lecteur multimédia VLC

Le projet de VideoLAN ⁴ a développé le libre, *open source* et le logiciel de lecteur multimédia connu sous le nom de lecteur multimédia VLC ⁵. L'avantage principal de ce lecteur multimédia est qu'il supporte beaucoup de codecs et de formats de fichier, comme MPEG-1, MPEG-2 and MPEG-4. C'est un lecteur, codeur et *streamer*.

⁴ www.videolan.org

⁵ www.videolan.org/vlc

2.3.3.2. Windows Media Player

Windows Media Player ⁶ de Microsoft peut être employé pour lire l'audio, la vidéo ou l'image dans un certain nombre de formats incluant mais ne pas être limité à MPEG-1, MPEG-2 et MPEG-4.

2.3.3.3. RealPlayer

RealPlayer ⁷ est un lecteur multimédia conçu par RealNetworks ⁸ qui permet la lecture d'un certain nombre de différents formats de médias tels que certaines des normes de MPEG, sur un certain nombre de différentes plates-formes comme Microsoft Windows, Apple Mac et d'autres.

2.3.3.4. QuickTime Media Player

Le lecteur multimédia d'Apple s'appelle QuickTime⁹. QuickTime est capable de manipuler un certain nombre de formats pour la vidéo numérique, les clips multimédias, son, texte, animation et musique. Il est utilisé en conjonction avec *Apple iTunes music player*¹⁰. Il peut fonctionner sur les systèmes d'exploitation Apple Mac et Windows Microsoft.

2.3.4. Les domaines d'applications du média streaming

Partout où la communication électronique est employée, les demandes de streaming sont sans fin. Streaming peut être délivré comme paquet complet de vidéo de la programmation linéaire, comme service d'abonnement, ou comme *pay-per-view* (PPV). Il peut faire partie d'un site Web interactif. Quelques domaines d'application du média streaming présentés dans [11] sont :

⁶ www.microsoft.com/windows/windowsmedia

⁷ europe.real.com

⁸ www.realnetworks.com

⁹ www.quicktime.com

¹⁰ www.apple.com/itunes/

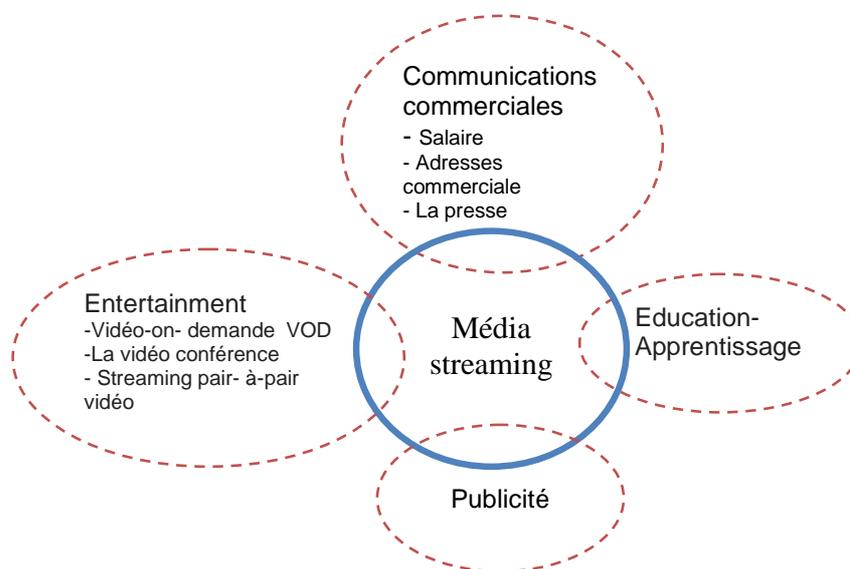


Figure 2.5- Domaines d'application du média streaming [11]

Parmi ces applications on peut détailler :

2.3.4.1. Streaming vidéo à la demande

Le streaming vidéo à la demande (VoD- *Video on Demand*) permet la distribution des streams audio et vidéo a travers LANs, intranet et internet après une demande de client. Le client entre en contact avec le serveur vidéo et demande le stream approprié. Beaucoup d'applications de VoD sont disponibles comme Microsoft Netshow, RealVideo pour les réseaux de transmission en temps réel.

2.3.4.2. La vidéoconférence

La vidéoconférence est une application qui utilise la vidéo pour joindre des personnes dans une interaction en direct, La vidéoconférence fait possible des réunions interactives avec des individus qui peuvent être dans l'autre pays. La vidéo est fournie à tous les participants au temps réel.

La vidéoconférence exige des installations chères et des coûts de transmission élevés en termes de la consommation de la bande passante.

2.3.4.3. Streaming pair-à-pair vidéo

Le concept principal du calcul pair-à-pair est que chaque pair est un client et serveur en même temps. Dans ce contexte, le contenu multimédia jouant par l'utilisateur est mis en commun entre des pairs. Le partage pair-à-pair emploie le mode ouvrir après le téléchargement, bien que streaming pair-à-pair vidéo utilise le mode jeu tandis que téléchargé. Un des avantages de streaming pair-à-pair de vidéo est que les pairs ont la liaison directe à d'autres pairs évitant la communication par l'intermédiaire des serveurs de médiation.

2.4. Conclusion

Streaming signifie que le taux moyen de trame de la vidéo vue au lecteur multimédia est dicté par le taux de trame transmis. Un certain nombre de différents protocoles ont été développés pour faciliter le streaming en temps réel du contenu multimédia comme RTP, RTCP et RTSP.

Le grand avantage du streaming vidéo réside dans le fait qu'il permet de gagner beaucoup de temps, Cet avantage a conduit beaucoup d'applications de baser sur cette technique telles que : La Vidéo à la demande, la vidéo conférence, streaming pair à-pair vidéo, etc

CHAPITRE 3

ÉTAT DE L'ART

3.1. Introduction

Avec l'évolution des réseaux d'accès (WiFi, WiMax, ...), l'augmentation des flux multimédia (audio, vidéo, jeux interactifs) a dévoilé rapidement les limites de l'architecture TCP/IP. Afin de permettre à cette architecture d'intégrer d'une manière transparente ces évolutions, des mécanismes d'adaptation, de correction d'erreur et de retransmission ont été ajoutés, toujours en respectant l'isolation des couches. Cette isolation stipule qu'un mécanisme mis en œuvre sur une couche particulière est destiné uniquement à améliorer les performances sur cette couche sans aucune considération pour les autres.

Pour éviter ces effets négatifs, nous avons assisté récemment à l'apparition du concept *Cross-layer* qui autorise une communication et une collaboration inter-couches pour améliorer les performances de transmission. Le *Cross-layer* permet d'outre passer l'isolation des couches qui représente un inconvénient pour la transmission de flux multimédia et les transmissions sans fil.

Nous commençons dans ce chapitre par une présentation des algorithmes de contrôle du débit physique, par la suite nous parcourons trois des couches du modèle TCP/IP : la couche physique, la couche MAC et la couche application en détaillant, pour chaque couche, son principe de fonctionnement, les mécanismes et les techniques de QoS qui ont été ajoutés, les limites de ces mécanismes et enfin l'avantage d'autoriser une communication inter-couches. Par la suite, nous présentons le nouveau paradigme *Cross-layer* en détaillant son principe de fonctionnement, ses modèles de communication et ses approches. Nous terminerons ce chapitre en présentant les différents travaux ainsi que les différents projets qui traitent du *Cross-layer*.

3.2. Le contrôle du débit

Les algorithmes de contrôle du débit physique, ont été développés pour déterminer le débit adéquat pour transmettre un signal entre deux stations communicantes.

Dans les réseaux 802.11, chaque trame peut être transmise avec un débit physique renseigné dans le champ « *SIGNAL* » de l'en-tête PLCP (Chapitre 1). Ceci permet à l'algorithme de contrôle du débit de l'émetteur de changer le débit physique pour la transmission de chaque trame sans aucune signalisation supplémentaire. Puisque le standard IEEE 802.11 n'a pas spécifié un algorithme de contrôle du débit précis, les

premiers algorithmes développés ont été élaborés par les constructeurs des cartes WiFi afin de permettre aux dispositifs 802.11 d'adapter dynamiquement le débit physique sans intervention de l'utilisateur. Cependant, l'utilisateur peut fixer ce débit suivant sa volonté. Certains constructeurs ont implémenté l'algorithme de contrôle du débit directement au niveau du chipset des cartes et d'autres l'ont intégré comme un module aux pilotes des cartes. D'autres algorithmes ont été proposés dans le cadre de différents travaux de recherche. La majorité de ces travaux se sont limités aux simulations pour valider le fonctionnement des algorithmes proposés.

Les informations utilisées pour juger de l'état du canal et aussi dans la politique adoptée pour faire varier le débit, définissent la différence entre les algorithmes. Une taxonomie des algorithmes qui ont été définis jusqu'à présent [21] est présentée dans la figure 3.1. Nous présentons, ci-dessous, une description de chaque classe.

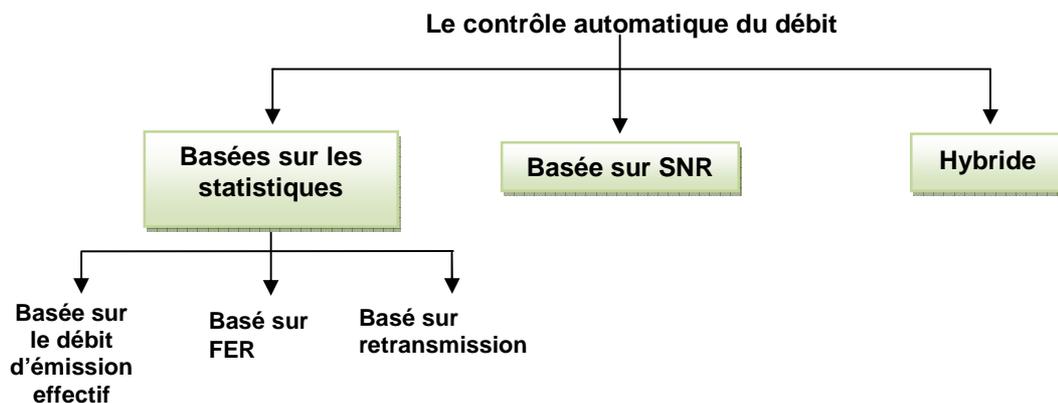


Figure 3. 1- Le contrôle automatique du débit

3.2.1. Le contrôle automatique du débit basé sur des statistiques

Des statistiques sur le déroulement des transmissions passées peuvent être calculées au niveau MAC de l'émetteur, pour déterminer la qualité du canal de transmission. C'est une opération très simple, l'émetteur, peut savoir si une transmission a réussi ou a échoué puisque chaque trame transmise au niveau MAC est acquittée par le récepteur.

Les algorithmes de contrôle du débit basés sur des statistiques sont classés en trois types. On peut distinguer entre les types suivant le paramètre de performance considéré : Le débit d'émission effectif (*throughput-based*), le taux de perte des trames (*FER-based* : *Frame Error Rate*) et le nombre de retransmission (*retry-based*). Le débit effectif reçu par une station est en relation avec ces trois paramètres. Ces paramètres peuvent être

optimisés par la variation du débit d'émission, ce qui améliore indirectement le débit de réception. On a détaillé le fonctionnement de chaque type d'algorithme ci-dessous :

- **Contrôle du débit basé sur le débit d'émission effectif** : Dans cette approche une petite fraction des données (10%) est transmise avec deux débits physiques adjacents au débit courant, (le débit supérieur adjacent et le débit inférieur adjacent), durant un intervalle de temps précis. L'intervalle de temps doit être relativement long pour avoir des statistiques fiables.

Ensuite, les débits effectifs réalisés par chaque débit physique (nombre de trames/intervalle de temps) sont comparés. L'algorithme de contrôle du débit bascule vers le débit physique qui réalise la meilleure performance. Cet algorithme est utilisé par la carte Atheros 802.11a basé sur le chipset AR5000.

Pour recueillir des statistiques significatives, la fenêtre de décision doit être tout à fait grande (c-à-d., environ une seconde). D'une part ceci rend l'algorithme résilient aux changements de courte durée de la qualité de lien. D'autre part, il empêche des réactions rapides aux changements à vie longue des états de lien, qui affecte sensiblement la représentation en temps réel des applications streaming.

- **Contrôle du débit basé sur le FER** : Le taux de perte des trames (*Frame Error Rate* - FER) au niveau MAC est considéré comme métrique pour cette approche. Le FER est facilement déterminé puisque sous 802.11 toutes les données reçues avec succès sont explicitement accusées par l'envoi d'une trame ACK à l'émetteur, d'où, l'absence du ACK est une indication que la trame de données est perdue. En calculant le nombre de trame ACK et le nombre de trames de données durant une petite fenêtre du temps, le FER peut alors être calculé par rapport à ces deux nombres.

Le mode de fonctionnement de cette approche repose sur une adaptation basique qui consiste à basculer vers :

- Un débit bas lorsque le taux de perte dépasse un certain seuil et le débit actuel n'est pas le débit minimal, puis passer au prochain plus bas débit.
- Un débit élevé lorsque le taux de perte reste nul pendant un intervalle de temps prédéfini.

Cet intervalle de temps ainsi que le seuil des taux de perte possèdent un impact sur les performances de ce type d'algorithme. La configuration optimale de ces deux paramètres doit être déterminée en fonction de l'état du canal et du type du flux transmis. Toutefois, dans la majorité des cas, ils sont initialisés avec des valeurs fixes.

- **Contrôle du débit basé sur la retransmission** : Le nombre de retransmissions des trames MAC est le critère de cette approche. La trame est transmise avec un débit

faible, lorsque ce nombre dépasse un seuil. L'inconvénient majeur est qu'il est plutôt pessimiste à cause de l'oscillation continue du débit physique. Par contre, la prise en charge des variations rapides de l'état du canal est l'avantage de cette approche.

L'algorithme ARF (*Auto Rate Fallback*) [22] est le premier algorithme d'adaptation au débit publié. Il a été conçu pour optimiser le débit d'application dans des dispositifs de WaveLan II. Dans ARF chaque émetteur essaye d'utiliser un débit de transmission élevé après un certain nombre de transmissions avec succès et de passer à un débit faible après un ou deux échecs consécutifs.

Afin d'améliorer la réactivité d'ARF, plusieurs solutions ont été proposées. AARF (Adaptive ARF) [23] proposent de modifier dynamiquement les seuils de réactivité d'ARF. L'effet immédiat est que l'algorithme AARF stabilise la connexion en créant moins d'échec de transmission, puisque les paquets de sonde sont plus espacés. Les auteurs ont étudié les possibilités d'implémentations, et ont identifié des cartes 802.11 à basse et haute latence ; AARF fait l'objet d'une implémentation nommée AMRR sur des cartes à haute latence, au prix d'une moins bonne réactivité.

3.2.2. Le contrôle automatique du débit basé sur le SNR

Les algorithmes basés sur SNR exploitent cette relation pour déterminer le meilleur débit physique en fonction du SNR perçu par le récepteur. La figure 3.2 présente le graphe qui donne le débit physique théorique en fonction du SNR pour différentes modulations du standard IEEE 802.11b. Ce graphe a été publié dans les travaux [24].

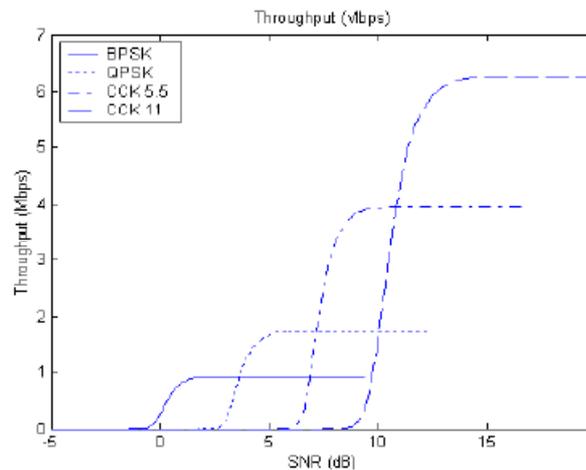


Figure 3.2- Le débit physique pour le standard IEEE 802.11b en fonction du SNR [24]

Les auteurs dans [25] ont proposé RBAR (*Received –based Auto Rate*). Le choix du débit physique dans RBAR se fait côté récepteur en se basant sur différents paramètres. Ils n'ont pas proposé une nouvelle technique pour le choix du débit physique mais ils se sont focalisés sur la définition d'un protocole basé sur les trames RTS/CTS pour transmettre à l'émetteur le débit choisi par le récepteur. Ils ont fait des simulations pour évaluer RBAR en utilisant le SNR comme métrique pour le changement de débit physique.

3.2.3. Le contrôle automatique du débit hybride

L'algorithme hybride proposé dans [21] exploite à la fois les statistiques de transmission et le SNR. L'utilisation d'un algorithme statistique qui calcule le débit d'émission effectif est la base de cet algorithme et ajuste le débit physique en conséquence. Cependant, un deuxième algorithme qui se base sur le SNR peut changer le débit physique afin de réagir au changement rapide de l'état du canal.

3.3. La QoS au niveau des couches physique, MAC et application

3.3.1. Au niveau de la couche Physique IEEE 802.11

La famille des normes IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g et bientôt 802.11n permet de définir la couche physique des réseaux sans fil. Une description de ces normes, suivant la chronologie de leur publication, est donnée dans la section 1.4. Le niveau physique regroupe les règles et procédures qui permettent d'acheminer des éléments binaires sur un support physique entre l'émetteur et le récepteur.

3.3.1.1. La disparition du signal

Le SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), mesure le ratio entre la puissance du signal de données et l'énergie radio environnante. Cette dernière correspond à tout signal qui ne provient pas de l'émetteur et qui représente du bruit pour le récepteur.

Durant sa transmission, le signal de données est sujet à des dégradations causées par des caractéristiques intrinsèques à la propagation des ondes radios dans l'espace. Les principales dégradations sont citées ci-dessous :

- **L'affaiblissement** : la dispersion du signal avec la distance et de son absorption par les obstacles cause l'atténuation de ce dernier. Cette dispersion dépend de l'environnement de propagation du signal.
- **Le bruit** : le signal transmis est altéré par des signaux aléatoires perturbateurs, cela cause le bruit.

L'évanouissement du signal dans le canal sans fil est provoqué par la combinaison de tous ces effets. Il existe deux types d'évanouissement [26] :

- **Fast fading** : c'est l'évanouissement rapide du signal, où la puissance du signal subit une baisse importante pendant un laps de temps très court durant lequel le décodage du signal est impossible. Ceci engendre une altération des symboles et par conséquent une altération des bits de données.
- **Slow fading** : c'est l'évanouissement lent, où la puissance du signal subit une baisse moyenne durant un intervalle de temps assez long. L'atténuation du signal lorsque le récepteur s'éloigne de l'émetteur ou bien par l'absorption du signal causée par des changements physiques de l'environnement (espace clos/ouvert, soleil/pluie/neige) se sont les facteurs qui causent cette baisse.

3.3.1.2. La Diversité

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour palier au problème de l'évanouissement du signal. Parmi ces techniques Nous présentons ci-dessous la diversité :

- **La Diversité**: cette technique consiste à envoyer plusieurs copies du signal. Le récepteur combine tous les signaux reçus pour un décodage des symboles. Dans les communications, plusieurs types de diversité sont exploités dans [27][28][29]:
 - La diversité fréquentielle : dans ce type, le signal est modulé sur plusieurs porteuses en utilisant des fréquences différentes. Cette diversité nécessite une bande passante additionnelle.
 - La diversité temporelle : consiste à envoyer chaque symbole plusieurs fois sur la même porteuse. Le temps qui sépare l'envoi du même symbole doit être cohérent afin que les deux symboles expérimentent un évanouissement différent. Cette diversité nécessite un délai de transmission additionnel.
 - La diversité spatiale : plusieurs antennes sont utilisées pour transmettre ou recevoir le même signal. Ces antennes sont dispersées d'une distance assez importante pour que les évanouissements du signal perçus par les antennes soient indépendants. Cette diversité est plus intéressante mais, il est pratiquement impossible de déployer ce type de diversité sur des terminaux de petite taille et elle est couteuse.

3.3.1.3. Le problème d'anomalie

Comme nous avons vu dans le chapitre 1, la norme IEEE 802.11b définit deux méthodes d'accès : la fonction de coordination de point (PCF), fournissant un accès contrôlé par un coordinateur centralisé se trouvant dans le point d'accès et la fonction distribuée de coordination (DCF) basée sur le CSMA/CA. La méthode DCF fournit un

service de type best-effort tandis que le PCF offre un service de type temps-réel. Notre analyse se focalise seulement sur la méthode DCF d'accès au média sans-fil.

Dans la méthode d'accès DCF, un hôte souhaitant transmettre, écoute d'abord le canal. S'il est libre, l'hôte attend un certain temps DIFS et transmet si le média est encore libre lors de l'expiration du temporisateur. Si le paquet est correctement reçu, le récepteur envoie un acquittement après une autre période fixe SIFS. Si cet acquittement n'est pas reçu par l'émetteur, on suppose qu'une collision s'est produite. L'émetteur essaie encore d'envoyer le paquet quand le canal est libre pendant une période de DIFS augmentée d'un certain temps aléatoire (back-off).

Afin d'analyser l'anomalie, les auteurs dans [30] ont dérivés d'abord le débit utile maximal qu'un seul hôte présent dans le WLAN peut atteindre. Ensuite, ils ont montrés brièvement comment l'anomalie se présente alors que plusieurs hôtes dans la même cellule transmettent avec des débits de transmission différents.

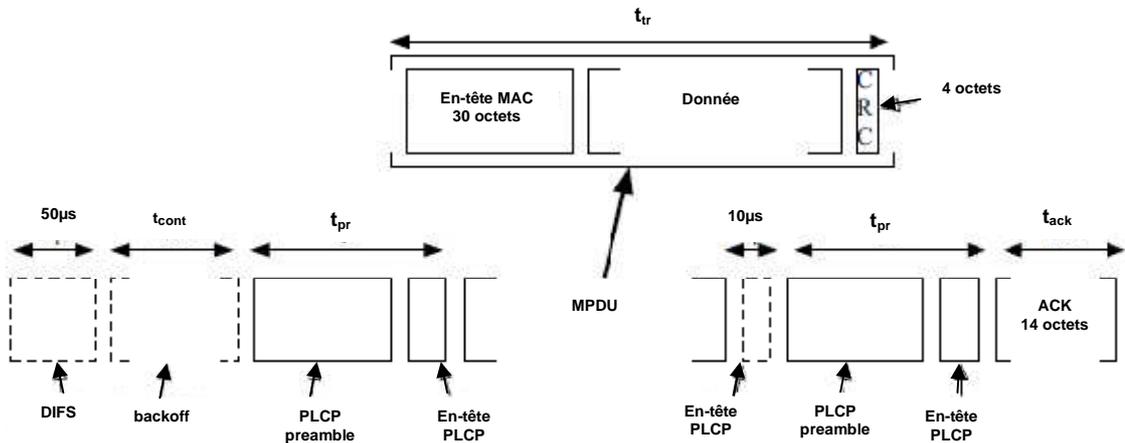


Figure 3.3- Transmission d'une seule trame 802.11b [30]

Le temps total $T(P)$ nécessaire pour transmettre un MPDU (*MAC Protocol Data Unit*), dans le cas d'un seul hôte qui transmet, en négligeant le temps de propagation, est composé du t_{tr} temps de transmission du MPDU et $t_{ov}(P)$ le temps supplémentaire de la surcharge de trafic introduit par la couche physique. Il est donné par :

$$T = t_{tr} + t_{ov} + t_{cont} \quad \text{Eq. 4-1} \quad \text{où}$$

$$t_{ov}(P) = \text{DIFS} + t_{pr} + \text{SIFS} + t_{pr} + t_{ack}(P)$$

$$t_{ov}(P) = \text{DIFS} + 2 \cdot (t_{PLCPpreamble} + t_{PLCPheader}(P)) + \text{SIFS} + t_{ack}(P) \quad \text{Eq. 4-2}$$

t_{cont} est le temps dépensé pour accéder au canal afin d'éviter les collisions. Chaque fois qu'un hôte veut transmettre, il écoute le média libre et programme un temps de back-off en

utilisant un algorithme exponentiel. Le temps de back-off est un nombre aléatoire de tranches de temps. Selon le nombre des hôtes présents dans le WLAN, la dimension moyenne de la fenêtre de controverse et le back-off changent. Pour évaluer t_{cont} , nous pouvons observer que si seulement un hôte est présent et s'il produit seulement du trafic UDP, ne recevant de ce fait pas de paquet de données de retour, la fenêtre de controverse restera à sa valeur minimale CW_{min} . Ainsi, le débit utile réalisable par un seul hôte transmettant du trafic UDP est le suivant :

$$X_{max}(P) = \frac{S_{cu}}{t_{tr}(P) + t_{ov}(P) + t_{cont}} \quad \text{Eq. 4-3} \quad [30]$$

Où S_{cu} est la taille maximum de la charge utile de MPDU (le paquet de la couche supérieure), que la norme fixe à 1500 octets.

On peut maintenant présenter le scénario le plus général où l'anomalie apparaît. Ce scénario est identique à celui présenté dans [30]. Supposons qu'il y ait N hôtes concurrents pour accéder au média, avec $N - 1$ hôtes capable de transmettre en utilisant le débit P_{11} de 11 Mbit/s et un hôte qui, en raison de l'état défavorable du canal radio autour de lui, transmet avec un débit inférieur P_x (5.5, 2 ou 1 Mbit/s). À long terme, nous pouvons supposer que tous les N hôtes se succèdent en accédant au canal radio. Le rapport d'utilisation du canal pour chaque hôte est donné par la division entre le temps de transmission $T(P)$ d'un hôte et le temps total où tous les hôtes accèdent au média une fois :

$$U(P) = \frac{T(P)}{(N - 1) \cdot T(P_{11}) + T(P_x) + T_{coll}} \quad \text{Eq. 4-4} \quad [30]$$

Le temps total où tous les hôtes accèdent une fois au canal radio est indiqué par la somme des temps de transmission des $(N - 1)$ hôtes qui transmettent à un débit élevé, le temps de transmission de l'hôte lent et le temps moyen T_{coll} dépensé pour résoudre les collisions. Les différents temps dépendent, en général, du nombre N des hôtes qui se partagent le média, mais, étant donné que ce nombre est fixe, on a simplifié l'équation Eq. 4-4 en négligeant d'écrire N pour chaque temps. Pour tous les hôtes, on peut calculer grâce à Eq. 4-4 le rapport d'utilisation du média dans une fenêtre de temps où chaque hôte transmet une fois.

La proportion utile de temps de transmission est obtenue en divisant le temps de transmission de la charge utile et le temps de transmission de toute la trame. Le temps de transmission de la charge utile est le résultat de la division entre la taille S_{cu} de charge utile et le débit de transmission P . On obtient de ce fait :

$$P(P) = \frac{S_{cu}}{P \cdot T(P)} \quad \text{Eq. 4-5} \quad [30]$$

Il devient plus facile maintenant de calculer le débit utile réalisable au-dessus de la couche MAC par chaque hôte, selon son débit de transmission. En effet, ce débit utile est la proportion utile de temps de transmission multiplié par le rapport d'utilisation du canal multiplié par le débit de transmission :

$$X(P) = U(P) \cdot P(P) \cdot P \quad \text{Eq. 4-6} \quad [30]$$

Ceci mène à montrer formellement l'anomalie. En insérant les équations Eq. 4- 4 et Eq. 4- 5 dans Eq. 4- 6, on obtient le débit utile suivant :

$$X(P) = \frac{S_{cu}}{(N - 1) \cdot T (P_{11}) + T (P_x) + T_{coll}} \quad \text{Eq. 4-7} \quad [30]$$

L'équation Eq. 4- 7 montre que tous les hôtes ont le même débit utile. Ce qui signifie que tous les nœuds du réseau s'aligneront sur le même débit utile. Ce débit est dégradé et il est aligné au débit du nœud lent.

Cette anomalie peut, donc, se révéler très pénalisante avec l'utilisation accrue des applications audio, vidéo, ... exigeantes en QoS.

Plusieurs solutions ont été proposées pour améliorer la gestion efficace de QoS dans les réseaux 802.11, mais aucune n'a été adopté ou implémenté même celle proposées par les groupes de travail IEEE. Elles restent des spécifications ou même des standards théoriques à cause de leur complexité.

3.3.2. Au niveau de la couche MAC

3.3.2.1. Les mécanismes de la QoS

Le service *best-effort* fournit par le DCF n'offre aucune garantie aux stations pour l'accès au canal. Il s'agit d'un principe de non-garantie de la qualité du service. Ceci pose le problème de la qualité de service exigée par les flux multimédia qui sont très sensibles au délai de transmission et à la variation du débit. Pour cela, plusieurs travaux ont été menés pour introduire des mécanismes de QoS au niveau de la couche MAC 802.11 en préservant son principe de fonctionnement. Deux catégories sont définies pour classer ces mécanismes: la différenciation de services et la garantie de service. Nous détaillons ces mécanismes ci-dessous.

3.3.2.1.1. La différenciation de service

Au niveau de la couche MAC, la définition de plusieurs classes de trafic offrant un accès différencié au canal de transmission est le principe de base de la différenciation de service. Plusieurs paramètres peuvent être utilisés pour construire ces classes de trafic. Parmi ces paramètres, nous présentons:

- **Arbitrary IFS (AIFS)** : ce mécanisme définit des catégories d'accès au canal. Ces catégories utilisent des IFS différents. La catégorie d'accès avec le petit AIFS a une priorité plus élevée que les autres catégories [31].
- **L'opportunité de transmission** : Une fois le canal de transmission détenu, les classes de trafics sont autorisées à émettre une quantité de données différentes. La quantité de données peut être différenciée en envoyant plusieurs trames à la fois, ou bien, en changeant la taille de la trame durant une opportunité de transmission TXOP [32]. Le débit de transmission peut être augmenté lorsque les classes prioritaires pourront transmettre plus de données.
- **Le temps de reprise (*Backoff Time BT*)** : Cette approche consiste à choisir des CW_{min} et CW_{max} différents pour chaque classe [33]. Donc, c'est l'approche la plus simple. Ainsi, les classes ont de petites valeurs CW_{min} et CW_{max} sont les plus prioritaires et par conséquent un BT moins important, comparé aux classes moins prioritaires.

Une modification de la manière dont le BT évolue est proposée par d'autres approches [34]. En utilisant un mécanisme d'adaptation rapide de backoff pour améliorer tous le débit avec un mécanisme de doublement de fenêtre aux périodes d'activité pour protéger d'autres flux de haute priorité et améliorent l'équité entre ceux de la même priorité particulièrement dans les cas où le canal est fortement encombré.

Dans [35], un autre algorithme de backoff nommé SBA (*sensing backoff algorithm*), a été proposé. Dans le plan de SBA, chaque nœud change dynamiquement son intervalle backoff selon les résultats du statut du canal.

3.3.2.1.2. La garantie de service

Pour mieux partager et contrôler les ressources disponibles c'est mieux d'utiliser le mécanisme de garantie de service. Les deux mécanismes: le contrôle d'admission et la réservation de la bande passante forment la base de la garantie de service. Le contrôle d'admission nécessite des moyens pour déterminer l'état du réseau et estimer les ressources disponibles.

Dans [36], ils ont proposés deux algorithmes : algorithme MAC virtuel (VMAC) et algorithme source virtuelle (VS). L'algorithme MAC virtuel surveille passivement le canal radio et estime localement les taux de disponibilité réalisables. Le MAC virtuel estime les statistiques principales de niveau de MAC liées à la qualité de service telle que le débit, le délai, la collision de paquet et la perte de paquet.

L'algorithme de source virtuelle utilise le MAC virtuel pour estimer le niveau de qualité de service de l'application. La source virtuelle permet à des paramètres d'application d'être accordés en réponse aux états dynamiques du canal.

Dans [37], un mécanisme de contrôle d'admission est proposé pour déterminer la fraction du temps de canal pour recevoir chaque flux dans un réseau sans fil ad hoc d'un seul-saut. Donc, pour mesurer la charge du réseau, l'estimation se base sur les paquets de données.

Dans [38], c'est une solution heuristique qui a été proposée, en utilisant le débit acceptable (*permissible throughput*) pour décider de nouvelles admissions. Ils ont utilisé le protocole de routage (AODV *Ad Hoc On Demand Distance Vector*) dans l'implémentation de cette solution.

Les auteurs dans [39] présentent le principe de la région d'admissibilité AR (*Admissibility Region*) qui se base sur la technique du saut à jeton pour réserver la bande passante. Lorsqu'un nouveau nœud rejoint le réseau, pour la réservation de bande passante, l'AR réajuste les fenêtres de contention utilisées par tous les nœuds dans le réseau afin d'améliorer les performances.

3.3.2.2. Le standard IEEE 802.11e

Une modification au standard IEEE 802.11 définit un ensemble d'améliorations de la couche MAC pour le support de la QoS tout en gardant une compatibilité avec les anciennes normes IEEE 802.11 a/b/g. QAP (*QoS-enhanced Access Point*) et QSTA (*QoS-enabled station*) sont respectivement : les points d'accès et les stations qui implémentent cette nouvelle norme [40]. Une nouvelle fonction de coordination appelée (HFC : *Hybrid Coordination Function*) est définie par le 802.11e. Le HFC utilise deux méthodes d'accès concurrentes : EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*) et HCCA (*HFC-Controlled Channel Access*). Nous détaillons ces deux méthodes dans les sous-sections suivantes.

3.3.2.2.1. EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*)

C'est une amélioration de la méthode d'accès appelé EDCF (*Enhanced Distributed Coordination Function*) de la première version du standard IEEE 802.11e. EDCF est lui-même une extension de DCF présentée dans la section 1.8.2.2.1. Il est conçu pour supporter plus de huit files d'attente dans chaque station. Ces files d'attente sont en concurrence pour obtenir le TXOP (*Transmission Opportunity*), une durée de temps pendant laquelle la station peut envoyer une rafale de trames, qui leur permet d'avoir le droit d'envoyer leurs paquets en priorité. Dans EDCA, il existe quatre classes (ACs : *Access Categories*) de trafic qui se disputent l'accès au canal au niveau de chaque station : voix (AC_VO), vidéo (AC_VI), Best Effort (AC_BE) et arrière plan (*background*, AC_BK). Chaque catégorie possède ses propres paramètres pour accéder au canal de transmission. Trois techniques ont été retenues pour la construction de ces catégories : différents intervalles $AIFS[i]$, différentes tailles pour la fenêtre de contention ($CWmin[i]$ et $CWmax[i]$) et enfin différentes opportunités de transmission TXOP, une durée de temps pendant laquelle la station peut envoyer une rafale de trames, qui leur permet d'avoir le droit

d'envoyer leurs paquets en priorité, ($TXOP[i]$), $i = \{AC_BK, AC_BE, AC_VI, AC_VO\}$. Ceci est illustré par la Figure 3.4. EDCA est l'un des deux modes sur lesquels se base la fonction HCF (*Hybrid Coordination Function*) de 802.11e [41].

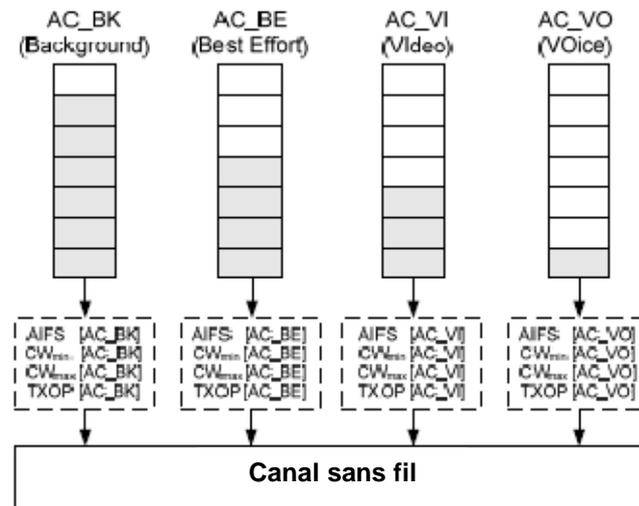


Figure 3.4- Les catégories d'accès EDCA [57]

3.3.2.2.2. HCCA (HFC-Controlled Channel Access)

HCCA a comme objectif principal de fournir des mécanismes de garantie de service au niveau de la couche MAC. HCCA résout les problèmes rencontrés dans PCF. Le HCCA définit le HC (*Hybrid Coordinator*) qui peut être associé au QAP dans une architecture WLAN. D'une manière similaire au PC, pour détenir le canal de transmission et alloue des périodes HCCA-TXOPs aux QSTAs pour les autoriser à transmettre, le HC utilise le PIFS. Les TXOPs alloués sont de différentes durées suivant la QoS demandée par les QSTAs.

Une QAP est autorisée à entamer plusieurs rafales sans contentions appelés (*Controlled Access Periods - CAPs*) en utilisant HCCA, pendant la même période de contention. Ces émissions peuvent être entamées à n'importe quel moment après détection du canal libre au bout d'un temps d'attente PIFS. Une QSTA a une plus grande opportunité à lancer HCCA que EDCA car un PIFS est plus court que DIFS et AIFS. HCCA est plus flexible que PCF car PCF n'est autorisé que dans les périodes CFP, alors qu'un QAP peut lancer HCCA à n'importe quel moment de la période de contention. Cependant PCF fait toujours partie du standard, mais l'utilisation de HCCA en fait une partie optionnelle. Un algorithme d'ordonnancement est cité dans le standard 802.11e par exemple : Avant toute transmission de données, un TS (*Traffic Stream*) est établi et chaque QSTA est autorisée à avoir jusqu'à huit TSs de différentes priorités [41].

3.3.3. Au niveau de la couche Application

La dernière couche du modèle TCP/IP est la couche application. Elle englobe un ensemble de protocoles de haut niveau développés pour de nombreuses applications : (*Simple Mail Transport protocol* - SMTP) pour la messagerie électronique, (*File Transfert Protocol* - FTP) ce protocole permettant d'échanger des fichiers et (RTSP, RTP/RTCP) pour le streaming.

3.3.3.1. La transmission vidéo

Dans ce qui suit, nous détaillons les différents mécanismes de QoS déployés au niveau applicatif qui permettent de s'adapter à certaines caractéristiques réseaux, comme le débit disponible, mais aussi de faire face à d'autres caractéristiques, comme la perte de paquets, la gigue et le délai de transmission.

Les paramètres principaux qui caractérisent les réseaux IP, comme le débit, les pertes de paquets, le délai de bout-en-bout et la gigue sont considérés pour la transmission des paquets vidéo. Afin de palier aux variations de ces facteurs et de minimiser leurs effets sur la qualité de la vidéo perçue par le récepteur, plusieurs techniques ont été utilisées par les applications multimédia.

3.3.3.1.1. L'adaptation au débit réseau

En fonction du débit disponible dans le réseau, ces mécanismes permettent principalement d'adapter le débit de la vidéo. Nous présentons quelques mécanismes ci-dessous:

- **SimulStore** (*Simultaneous Store and Stream*): cette technique permet de stocker au niveau de la source multimédia (serveur) plusieurs flux audiovisuels. Chaque flux ayant une qualité donnée et fournissant un débit donné. Le client se connecte au serveur et au moment de sa connexion il négocie avec celui-ci les paramètres de qualité de service en termes de débit [42].

Les avantages de cette technique sont l'efficacité du codage optimale pour chaque stream individuel, un choix facile du stream approprié au niveau de serveur.

L'inconvénient majeur de cette technique est qu'elle ne permet pas au flux de s'adapter de manière dynamique au changement des conditions réseau, donc c'est une technique statique.

- **Commutation de flux** (*Stream Switching*) : cette technique est développée pour surmonter l'inconvénient de la technique SimulStore en adaptant aux conditions réseau. Donc cette technique est développée spécialement pour contrôler le streaming simultané. Elle fonctionne comme suit, si la condition de transmission est changée (moins ou plus de capacité de réseau), un autre stream est choisi. Ceci peut mener à un problème de synchronisation. Pour surmonter ce problème,

des streams sont synchronisés utilisant une commutation au niveau des images intra I ou des images SP. Une évaluation de cette technique est présentée dans [43] [44] [45]. Le besoin d'un espace de stockage important est l'inconvénient principal de cette technique.

- **Transcodage** une méthode qui permet de transformer une vidéo d'un format vers un autre format est le transcodage. Cette transformation consiste à changer le débit, la taille de l'image ou le nombre d'images par seconde. Elle peut être effectuée en gardant le même codage vidéo (de H.264 vers H.264) ou bien en changeant vers un autre format de codage (de MPEG-2 vers H.264), ceci permet la réduction de débit binaire, la réduction de débit d'images [46]. L'avantage de cette technique est qu'elle n'a pas besoin à un grand espace de stockage mais elle est très gourmande en termes de puissance de calcul et de délai de traitement. Elle n'est pas adaptée pour les services directs et interactifs (live) vu les délais supplémentaire imposés par les algorithmes de transcodage [47] [48].

3.3.3.1.2. La gestion des paquets perdus

La qualité de la vidéo décodée à la réception est dégradée par les pertes de paquets. L'effet de propagation d'erreurs due à la dépendance du décodage des images I, P et B accentue cette dégradation [49]. Où, la perte d'un paquet de l'image I provoque une erreur sur cette image et aussi des erreurs sur les images P et B qui appartiennent au même GOP (*Group of Pictures*). Pour faire face aux pertes des paquets et de minimiser leur impact sur la qualité de la vidéo, plusieurs mécanismes ont été développés. Nous présentons ci-dessous les principaux de ces mécanismes :

- **Data Interleaving**: c'est une technique utilisée pour réduire les effets de perte [50]. L'émetteur réorganise les paquets avant de les envoyer au récepteur, de sorte que des paquets à l'origine adjacents soient séparés. Les paquets reçus sont retournés à leur ordre original au niveau de récepteur. Dans le cas d'une perte séquentielle de plusieurs paquets durant la transmission, cette perte sera répartie sur l'ordre original et minimisera la dégradation de la qualité de la vidéo. Ceci permet d'éviter l'effet des pertes de *burst*.

L'inconvénient de l'interleaving est qu'elle augmente la latence, dû à la réorganisation des paquets vidéo du côté émetteur et du côté récepteur. Ceci limite l'utilisation de cette technique pour des applications interactives. L'avantage principal de cette technique est qu'elle n'augmente pas la consommation de la bande passante d'un stream.

- **ARQ (*Automatic Repeat reQuest*)**: Le mécanisme de ARQ est le mécanisme le plus répandu de retransmission de paquet pour la communication fiable. ARQ peut fonctionner en deux modes, ARQ coté de l'émetteur (basé sur ACK) et ARQ coté du récepteur (basé sur NAK) [51][52].

Dans l'approche basée sur l'émetteur, les récepteurs transmettent un acquittement systématique pour chacun paquet correctement reçu ; autrement, une retransmission est programmée à l'émetteur. Dans ARQs basé sur ACK, la retransmission peut être entièrement ou partiellement persistante [53], dans lequel, le paquet non reconnu est retransmis jusqu'à ce que correctement reçu ou jusqu'aux tentatives maximum fixes d'une retransmission soit atteint, respectivement.

Dans l'approche basée sur le récepteur, il est de la responsabilité de récepteur de demander la retransmission d'un paquet perdu. ARQ peut être employé dans le mode basé sur de NAK où tous les paquets contiennent un membre d'ordre, permettant de ce fait à des récepteurs de détecter et puis demander la retransmission des paquets perdus.

L'inconvénient de ce mécanisme est la latence supplémentaire dû au temps de retransmission additionné et au temps de réordonnancement des paquets.

3.4. Les architectures Cross-layer

Plusieurs problématiques causées principalement par l'isolation des couches. Ces problèmes sont engendrés par la multiplication des mécanismes de QoS et des techniques d'adaptation sur les différentes couches du modèle TCP/IP. Afin d'adopter une solution à ces problèmes, nous avons assisté ces dernières années à l'émergence d'un nouveau concept sous l'appellation de *Cross-layer*.

3.4.1. Les approches du Cross-layer dans les réseaux sans fil

Pour améliorer les performances des transmissions sans fil, plusieurs techniques *Cross-layer* ont été proposées. Au début, l'interaction entre la couche physique et la couche liaison de données est la seule interaction qui existe dans ces mécanismes. Par la suite, plusieurs travaux sont apparés proposant des interactions avec les couches supérieures et aussi à l'apparition d'architectures *Cross-layer*.

En effet, les auteurs dans [54] ont classés les architecture inter-couche en cinq catégories. La figure 3.5 présente les trois catégories ascendante, descendante et mixte :

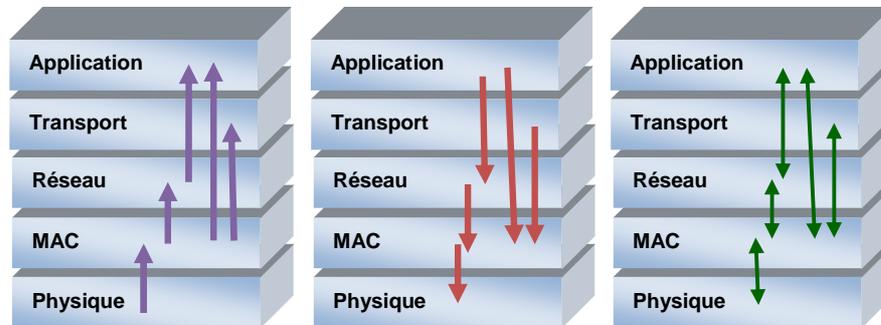


Figure 3.5- Les approches ascendante, descendante et mixte du Cross-layer [57]

3.4.1.1. L'approche ascendante

Dans cette approche, les couches inférieures essayent d'isoler les couches les plus élevées des pertes et des variations de la bande passante.

Un système ARQ adaptatif qui permet de fournir un ARQ personnalisé en fonction des besoins des applications a été proposé par les auteurs [55]. Au niveau de la couche liaison de données les besoins en QoS des applications sont signalés. Cette couche se charge de configurer les paramètres de l'ARQ en conséquence (le nombre de retransmission, le temps d'attente avant une retransmission, etc.). Le problème de la retransmission (ARQ) qui peut être présent au niveau liaison de données pour les retransmissions point-à-point et au niveau transport pour des retransmissions de bout-en-bout, est soulevé par ce système. Les performances du protocole TCP sont dégradées par la présence de ce mécanisme au niveau liaison de données [56]. Ce mécanisme introduit aussi un délai de transmission désagréable pour les flux temps réel.

3.4.1.2. L'approche descendante

Les protocoles des couches supérieures optimisent leurs paramètres et les stratégies à la prochaine couche inférieure.

Dans [57], les auteurs proposent un mécanisme de groupement d'image vidéo au niveau MAC 802.11 en utilisant l'architecture Cross-Layer. Le principe de groupement de trame MAC est de partager l'entête de contention entre les trames MAC du groupe, les trames MAC appartenant à la même image sont envoyées en une fois (*burst*) sans nouvelle contention du canal. Les trames MAC dans la même image ont des entêtes indépendantes et le récepteur l'accuse la réception pour chaque trame reçue correctement.

3.4.1.3. L'approche *application-centric*

Suivant les besoins de la couche application, cette dernière optimise les paramètres des couches inférieures en commençant par la couche physique.

3.4.1.4. L'approche *MAC-centric*

Les besoins en QoS des flux de la couche application sont passés à la couche MAC. Ensuite cette dernière décide quel flux doit être envoyé et avec quel niveau de priorité.

Les auteurs dans [58] ont proposé une architecture cross layer qui se base sur cette approche où c'est la couche application qui spécifie les contraintes en QoS de chacun de ses flux, ensuite c'est la couche MAC 802.11e qui associe les classes de trafic afin de protéger les données les plus sensibles.

La figure 3.6 représente l'architecture inter-couche. Cette architecture a été proposée pour améliorer le transport des flux vidéo H.264 repose sur trois couches : La couche de codage vidéo VCL (*Video Coding Layer*) et la couche d'adaptation au réseau NAL (*Network Abstraction Layer*) au niveau applicatif et la couche MAC 802.11e au niveau réseau. La couche VCL divisera le flux initial pour obtenir plusieurs flux ou partitions. Selon les spécifications H.264, trois flux seront obtenus représentant chacun une partition (A, B et C), ces partitions seront transportées sous forme de slice. En effet, la couche NAL encapsule les slices provenant de la couche VCL dans des paquets nommés NAL *unit* (NALU), l'entête de NALU contient un champ *Nal_Ref_Idx* (NRI) indiquant les quatre niveaux de priorité des informations contenus dans ce NALU.

Avec NRI il est facile de définir une politique de marquage de flux au niveau de la couche NAL. Il est plus évident que les flux représentant le *Parameter Set Concept* (contient des informations concernant : la taille des images constituant le flux vidéo ; la dimension de la fenêtre où le flux vidéo sera affiché ; et d'autres paramètres) obtiennent la plus grande priorité, car la perte d'un seul paquet de ce flux provoquera une perte de synchronisation entre le codeur et le décodeur. Les flux transportant les partitions B et C obtiendront la plus faible priorité. Les NALU vont arriver au niveau MAC 802.11e avec le champ NRI indiquant la priorité de chaque paquet. Dans cette optique, l'algorithme de marquage des flux proposé a comme but d'associer les flux provenant de la couche NAL avec les classes de service (le nouveau draft 802.11e définit l'utilisation de quatre classes de service (AC), AC3 représente la classe la plus prioritaire et la classe AC0 étant la moins prioritaire) au niveau de la couche MAC.

provision QoS aux applications de streaming vidéo *Layered* codées, en protégeant les paquets visuels les plus importants de l'information. Pour montrer les avantages de cette approche, ils ont développé un algorithme basé sur ViStA-XL (*Cross-Layer design for Video Streaming over Ad hoc networks*). Dans ViStA-XL, toutes les couches d'architecture de réseau (physique, MAC, réseau, transport et application) coopèrent les uns avec les autres à accomplir la tâche de la disposition de QoS aux applications du streaming vidéo par différenciation de service.

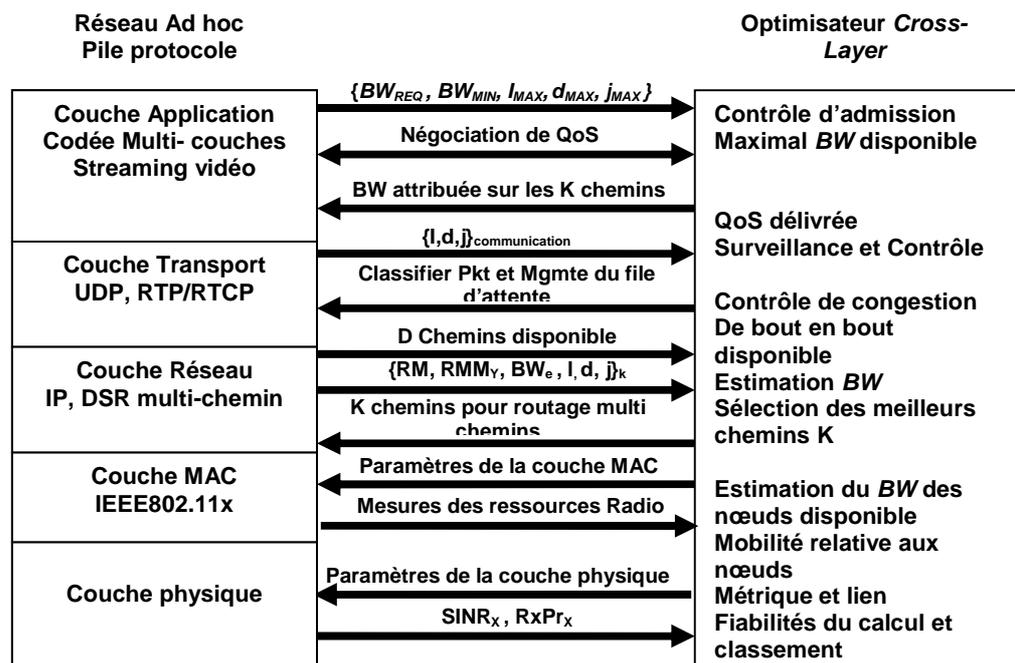


Figure 3.7- L'architecture ViStA-XL [59]

L'élément principal de la conception ViStA-XL est XLO. En exploitant périodiquement l'information obtenue, le module de XLO est chargé de faire les fonctions nécessaires pour optimiser la pile de protocole d'une manière globale. Pour faire ceci, XLO ajuste dynamiquement plusieurs paramètres à différentes couches de protocole. Ces ajustements sont faits en temps réel, ainsi la pile de protocole peut s'adapter rapidement aux changements du réseau, dans l'environnement (présence des obstacles, interférence) et dans les nœuds (mobilité, ressources disponibles).

Toutes les couches de l'architecture du réseau envoient l'information au module XLO. Ainsi, dans cette conception, la couche physique informe sur la puissance reçue de signal de chacun des nœuds voisins ($RxPr_x$), aussi bien que le rapport $SINR_x$ (*signal to interference-plus-noise ratio*). La couche MAC envoie une information relative à l'utilisation de canal radio (la qualité des liens à ses voisins, niveau d'interférence dans le canal, nombre de trames envoyées et reçues de MAC, nœuds cachés, etc). La couche réseau

informe le module de XLO à propos des chemins disponibles D entre la source et les nœuds de destination, qu'ils maintiennent dans la mémoire cache. Ainsi périodiquement, elle informe également au sujet de la qualité de chacun de ces chemins de D en envoyant des messages d'enquête qui retournent avec l'information suivante relativement à chaque chemin : fiabilité (RM, *Reliability Metric*), index de mobilité des nœuds (MM, *Mobility Metric*), bande passante disponible de bout à bout (BWe), pourcentage de perte de paquets, retard moyen de paquet et gigue moyen. Avec cette information, le module de XLO décide dynamiquement quels sont les K chemins qui seront utilisés pour transmettre les paquets de données de la source à la destination jusqu'à la prochaine arrivée d'informations sur la qualité des chemins disponibles de D. La couche transport informe au sujet de la métrique de qualité pour chaque communication de bout à bout, par le moyen des rapports produits par RTCP. Cette information aide le module de XLO à demander à l'application d'ajuster si possible son besoin de QoS sur des états de réseau et de nœud.

Un concept d'optimisation cross-layer est proposé dans [60]. Le fonctionnement des couches application, liaison de données et physique est optimisé conjointement par ce concept (Figure 3.8). L'objectif principal de ce concept est de maximiser la satisfaction de l'utilisateur en relation directe avec l'application, pour cela la couche applicative pilote l'optimisation Cross-layer. L'architecture cross-layer (*Cross Layer Architecture*) est définie d'une manière générique. Elle comprend N couches et un module d'optimisation Cross-layer (*Cross Layer Optimizer*). Plusieurs couches sont optimisées conjointement par le module d'optimisation cross-layer en élaborant des prédictions sur leurs états et en sélectionnant les paramètres de configuration optimaux.

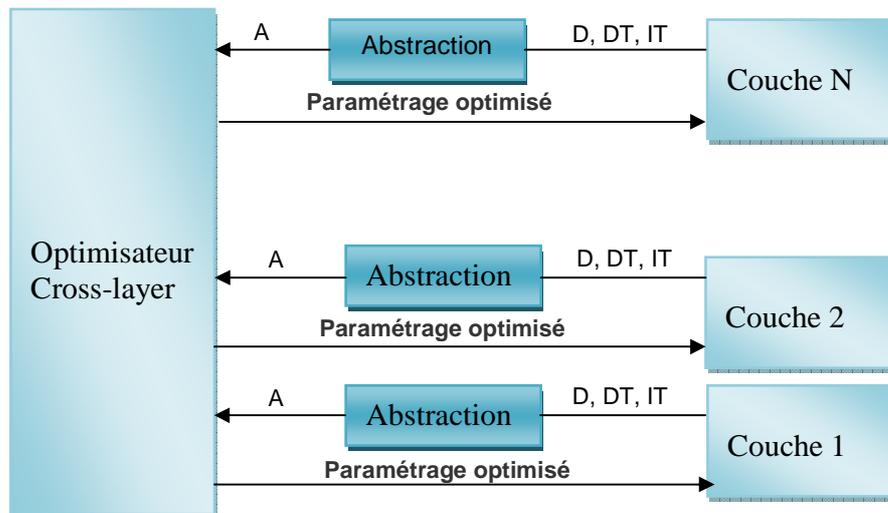


Figure 3.8- L'architecture Cross-layer [61]

Ces étapes sont répétées périodiquement suivant les exigences de l'application et la variation du canal média utilisé. Le nombre de paramètres gérés par l'architecture Cross-layer étant important, les auteurs ont proposé une classification de ces paramètres [61]:

- Les paramètres directement configurables DT (*Directly Tunable*) représentent les paramètres qui peuvent être reconfigurés par le module d'optimisation Cross-layer. Par exemple, la réservation des time-slots dans le TDMA (*time-division multiple access*). Setting
- Les paramètres indirectement configurables IT (*Indirectly Tunable*) représentent les paramètres de monitoring qui peuvent varier en changeant un paramètre directement configurable. Par exemple, BER (*Bit Error Rate*) qui dépend de la modulation et du codage utilisés.
- Les paramètres de description D (*Descriptive*). Ces paramètres statiques peuvent être lus par le module d'optimisation Cross-layer mais ne peuvent pas être reconfigurés. Par exemple, le nombre d'images par seconde, la taille d'une image vidéo.
- Les paramètres abstraits A (*Abstracted*) représentent les abstractions des paramètres DT, IT et D qui sont utilisés dans le module d'optimisation Cross-layer. Par exemple, la probabilité de transmission, modèle de perte de paquets à deux états.

Par la suite, les auteurs détaillent les éléments de cette architecture pour une optimisation Cross-layer pour le streaming vidéo sans fil. Dans cette optimisation, les couches application, liaison de données et physique sont optimisées conjointement pour une allocation de ressources optimale entre plusieurs utilisateurs.

Enfin, l'overhead introduit par le Cross-layer en termes de puissance de calcul et de communication est soulevé afin de trouver le meilleur compromis entre optimisation et *overhead*. Paramètre

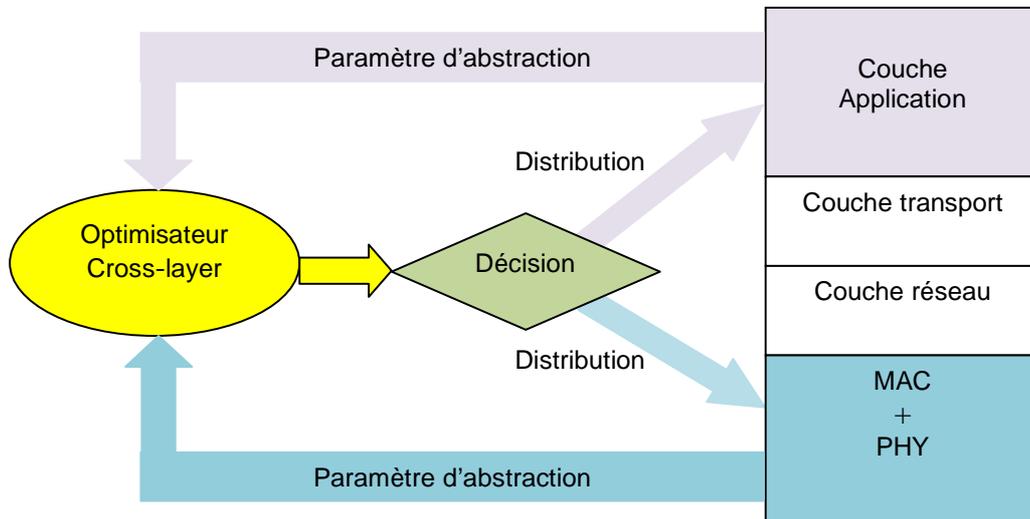


Figure 3.9- Le concept d'optimisation Cross-layer pour le streaming vidéo sans fil [62]

Figure 3.9 montre des circulations de l'information et les tâches exigées pour l'optimisation commune. Ces tâches peuvent être coupées en trois tâches principales [62] :

1. La couche d'abstraction : des informations nécessaires d'état sont collectées de la couche application, la couche liaison de données et de la couche physique par le processus d'abstraction de paramètre. Le processus de l'abstraction de paramètre a comme conséquence la transformation des paramètres d'une couche spécifique dans des paramètres qui sont compréhensibles pour l'optimiseur de cross-layer, soi-disant paramètres de cross-layer.
2. L'optimisation : l'optimisation est effectuée par l'optimiseur de cross-layer en ce qui concerne une fonction objective particulière. Elle consiste à trouver les valeurs des paramètres de configuration des couches suivant cette fonction d'optimisation. Au niveau récepteur, la qualité de la vidéo décodée est maximisée par cette dernière.
3. Distribution de décision : après que la décision sur un ensemble particulier de paramètres de cross-layer soit prise, l'optimiseur distribue l'information de décision de nouveau aux couches correspondantes.

En exploitant conjointement le codage en couches des vidéos, les files d'attente prioritaires au niveau de la couche réseau et l'adaptation de la retransmission au niveau liaison de données des réseaux sans fil, les auteurs dans [63], proposent un nouveau mécanisme de protection *Cross-layer* qui fournit une QoS adaptative. Le but de ce mécanisme *Cross-layer* proposé est de trouver un compromis entre le nombre de retransmission (ARQ) utilisé au niveau liaison de données et la taille des files d'attente au niveau de la couche réseau. Pour offrir une protection optimale contre les erreurs de transmission, le nombre de retransmissions doit être le plus grand possible. Mais, le délai de transmission d'une trame est augmenté par cette augmentation du nombre de retransmission, cela augmente la taille de la file d'attente de la couche réseau. Une surcharge de la file d'attente et une suppression de paquets peuvent être engendrées par l'augmentation de la taille de la file d'attente. La file d'attente à priorité (PQ) déterminée est mentionnée le type de discipline de service dans lequel des files d'attente multiples sont maintenues et associées à différents niveaux de priorité. Les paquets dans ces files d'attente recevront les services différenciés qui sont déterminés par ces niveaux de priorité. La figure 3.10 montre le diagramme architectural de l'utilisation des files d'attente prioritaires L-PQ (*Layered Priority queueing*) afin de mapper chaque couche sur une file au niveau réseau.

Un algorithme adaptatif temps réel du nombre de retransmissions RTRA (*real-time retry-limit adaptation*) est utilisé afin de protéger chaque file suivant sa taille et l'état du canal de transmission pour chaque file d'attente, au niveau de la couche liaison de données.

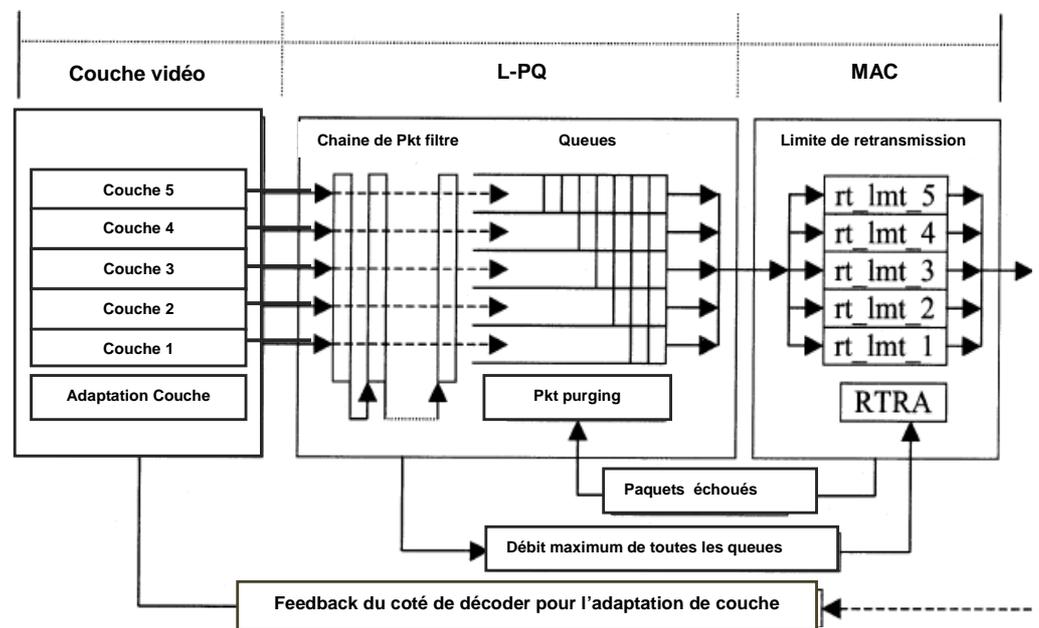


Figure 3.10- Combinaison du RTRA et du L-PQ [63]

Dans [64], les auteurs proposent une nouvelle architecture de *Cross-layer* pour le streaming vidéo au niveau des réseaux sans fil. Elle combine correctement l'adaptation de débit avec l'adaptation de la qualité pour fournir un service amélioré du streaming vidéo sans fil.

Dans la conception proposée de *Cross-layer*, le nouveau mécanisme SARA (*Sender oriented Automatic Rate Adaptation*) informe les limites de débit, au lieu du mode de transmission de données, au module d'adaptation de qualité. Ils annoncent cette limite du débit au module d'adaptation de qualité avec des intervalles d'une seconde parce que les changements fréquents de qualité du flux vidéo dégradent la QoS perçue dans les applications du streaming vidéo. Après réception des limites de débit du mécanisme SARA, le mécanisme d'adaptation de qualité commande la qualité du flux vidéo en ajustant le nombre des trames actives. Cette adaptation de qualité est effectuée avec des intervalles d'une seconde comme l'intervalle de reportage des limites de débit.

Au niveau de la couche MAC, le mécanisme d'adaptation de qualité contrôle convenablement le nombre des trames actives dans les limites de débit. Le mécanisme SARA a des limites de débit plus élevées que les mécanismes ARF et de RBAR parce qu'il choisit convenablement le mode de transmission de données. Basé sur les limites de débit, le mécanisme d'adaptation de qualité active ou désactive les trames de données. Le type de trame activée ou désactivée est choisi par l'importance des trames ($I > P > B$). Comparé au mécanisme basé sur ARF, ce mécanisme basé sur SARA est le mécanisme d'adaptation de qualité qui améliore la qualité du service du streaming vidéo plus avec les trames P et B.

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art des différents mécanismes et techniques de QoS qui existent actuellement au niveau des couches physique, MAC et application du modèle TCP/IP. En effet, l'introduction des réseaux sans fil et la multiplication des flux multimédia ont conduit à la définition de plusieurs mécanismes au niveau des différentes couches afin d'améliorer les performances de transmission. Ceci nous a amené à présenter le nouveau concept *Cross-layer* qui permet de faire face à ces inconvénients en autorisant un échange d'information entre les couches. Ce nouveau paradigme suscite un grand intérêt pour améliorer les performances des réseaux sans fil dont l'état du canal varie considérablement. Le *Cross-layer* permet aussi une collaboration entre les différents mécanismes de QoS qui existent sur les différentes couches TCP/IP afin d'assurer une continuité verticale de la QoS pour les flux multimédia.

CHAPITRE 4

PROPOSITION D'UNE APPROCHE INTER- COUCHES POUR LA QOS DES FLUX STREAMING

4.1. Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent l'avantage d'autoriser une communication inter-couches ; ainsi, le principe de fonctionnement d'un nouveau paradigme Cross-layer. Dans ce chapitre, en se basant sur un des algorithmes de contrôle du débit physique qu'on a expliqué dans la partie 3.2 (basé sur le SNR), nous proposons une approche Inter-couche. Nous nous intéressons aux adaptations exécutées au cours d'une session, c'est-à-dire, durant la transmission des flux. Cependant avant de détailler cette solution, nous présentons dans la section suivante le principe des deux mécanismes du standard 802.11e : rafale de fragment (*fragment burst*) et bloc d'acquiescement qui a été la base de la solution proposée.

4.2. Le groupage de trames

4.2.1. Le principe du *fragment burst*

Dans les environnements radio, plus la taille d'une trame est importante, plus elle a de chance d'être corrompue. La fragmentation d'une trame en plusieurs trames de taille inférieure accroît la fiabilité de la transmission. Le standard 802.11e [40] définit un seuil appelé *fragmentation Threshold*, pour savoir si une trame doit être fragmentée, c.à.d. si la taille de la trame est plus grande que ce seuil, alors la trame est fragmentée. La Figure 4-1 illustre ce principe appelé « *fragment burst* ».

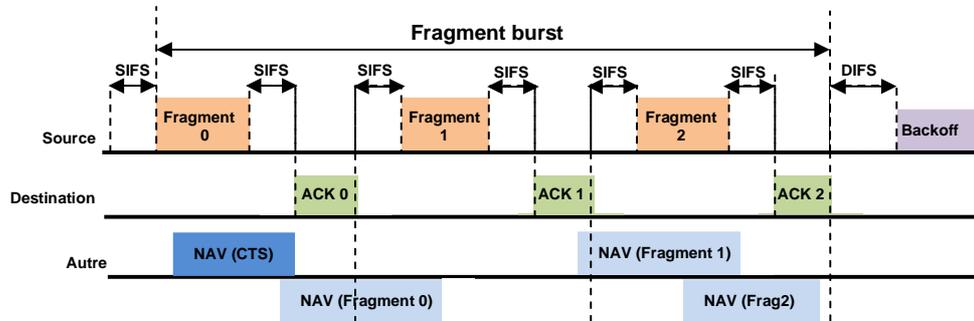


Figure 4. 1- Le mécanisme de fragmentation de trames

Tous les fragments de la même trame sont transmis d'une manière séquentielle. Une fois tous les fragments transmis avec succès ou lorsque la station source ne réussit pas à recevoir l'acquiescement d'un fragment transmis, le support est libéré. Chaque fragment reçu avec succès est acquitté par la station destination en envoyant un ACK à la station source. La station source garde le contrôle du support pendant toute la durée de la transmission d'une trame en attendant un temps SIFS après la réception d'un ACK ou après la transmission d'un fragment.

4.2.2. Le principe de bloc d'acquiescement

Le standard IEEE 802.11e [40] définit un mécanisme qui permet d'améliorer l'exploitation d'un canal. Ce mécanisme est appelé Blocs d'acquiescement (Block Ack). Lorsque ce mécanisme est utilisé, une station peut envoyer plusieurs trames séparées par un SIFS vers un récepteur sans attendre de recevoir d'acquiescement immédiat pour chaque trame. À la fin des transmissions, le récepteur envoie un bloc d'acquiescement pour informer sur l'état de réception du bloc de trames. Ceci permet de partager le temps nécessaire pour accéder au canal sur plusieurs trames.

4.2.3. Le groupage de trames basé sur le principe de bloc d'acquiescement

Notre solution appelée BLOCLAVIS (*Block acknowledgement based Cross layer adaptive video streaming*), représente un modèle inter-couches entre la couche MAC et la couche application. En se basant sur l'idée principale du mécanisme de bloc d'acquiescement qui consiste à envoyer un groupe de trames sans attendre l'acquiescement immédiat de chaque trame, on a inspiré un nouveau mécanisme. Ce mécanisme (Figure 4.2) consiste à envoyer un groupe de trames constituant une image vidéo en burst et sans recevoir l'ACK de trame immédiatement. Ce groupe de trame est défini en utilisant l'information de la

couche application. Ce mécanisme permet de reconnaître une trame (image) vidéo au niveau MAC. A cette fin, la couche MAC prend l'avantage de l'information de l'entête RTP disponible dans le payload de la trame MAC. L'entête RTP fournit l'information timestamp qui est utilisée pour distinguer les différentes trames vidéo. Le timestamp reflète l'instant de prélèvement (échantillonné) du premier octet dans le paquet de donnée de RTP.

Puisque la trame vidéo est prélevée au même temps, donc tous les paquets RTP appartiennent à la même image vidéo ont le même timestamp. Quand le timestamp est différent pour deux trames MAC successives, alors avant qu'une nouvelle image vidéo va être envoyée.

Le nombre de paquets RTP est relatif au type d'image, la taille d'une image I est plus grande que la taille d'une image P qui est, à son tour, plus grande que la taille d'une image B.

Nous assurons, en définissant le groupe de trames comme étant une image vidéo, une priorité d'occupation du lien d'accès en relation avec la hiérarchie temporelle basée sur le type d'image I, P, B.

Avec ce mécanisme, on n'a pas le risque de monopoliser le canal, puisque le canal est relâché après la transmission d'une image complète. Pour transmettre l'image suivante, il faut reprendre l'accès au canal suivant son état.

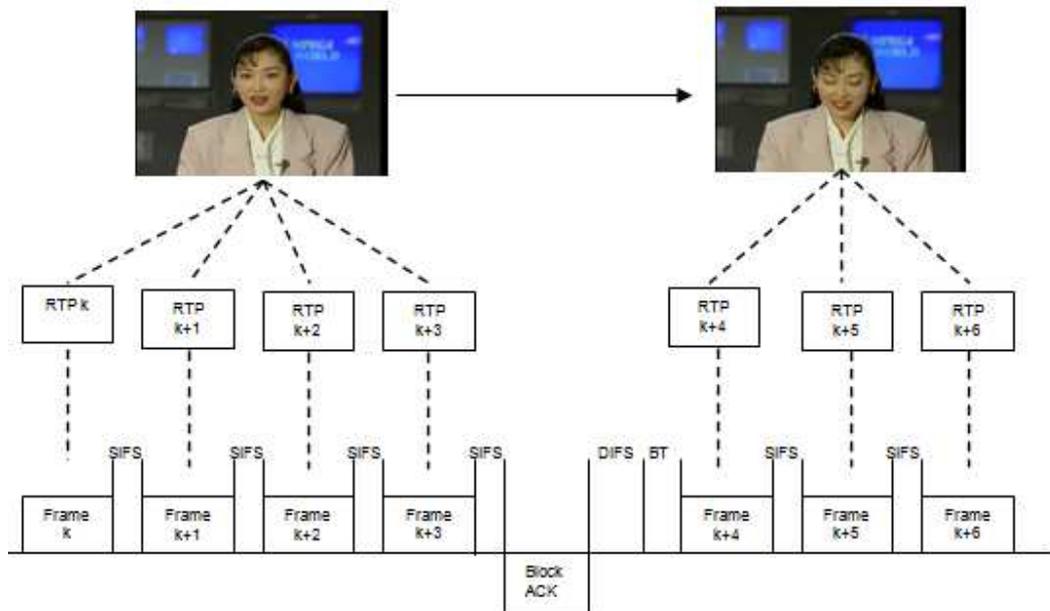


Figure 4. 2- Le groupage des trames utilisant principe du bloc d'acquittement

- **La simulation**
- **Le simulateur NS-2**

Plusieurs simulateurs de réseaux ont été développés afin de répondre à des besoins divers. NS-2 [65] est, désormais, l'outil de simulation de réseaux le plus puissant et le plus utilisé par la communauté scientifique en raison de sa simplicité et de son implémentation modulaire. C'est les raisons pour lesquelles notre choix s'est porté sur ce simulateur.

NS-2 est un logiciel de simulation de tout type de réseaux informatique développé dans le cadre du projet VINT au Laboratoire National de Lawrence Berkeley. Les premières versions de ce simulateur ne supportaient que les architectures des réseaux filaires. Cependant avec l'avènement de la technologie sans fil, d'autres versions ont été développées et étendues pour supporter les réseaux sans fil.

Le Simulateur NS-2 se compose d'une interface de programmation en Tcl/OTcl et d'un noyau écrit en C++ dans lequel la plupart des couches et protocoles réseaux ont été implémentés :

- Couche MAC : CSMA, CDMA, 802.X, Token ring, MPLS, liens satellite

- Couche Réseaux IP : routage dans les réseaux ad-hoc (AODV, DSR, DSDV, TORA, AMODV), routage dans les réseaux filaire (*Link state*, *Distance vector*), les réseaux multicast, IntServ, DiffServ.
- Couche Transport : TCP, UDP
- Traffic : ON/OFF, CBR, FTP, telnet

NS-2 offre un environnement graphique afin de mieux observer ce qui se passe durant la simulation. En particulier, l'interface graphique de NS-2, appelée NAM (*Network Animator*), est très riche et permet de visualiser la topologie réseau, les liens entre les nœuds, l'état des files d'attente ainsi que les différents paquets échangés entre les nœuds.

• **Paramètres et résultats de simulation**

Nous allons évaluer la puissance de notre approche à gérer la bande passante pour un flux vidéo concurrencé par des flux UDP, en utilisant un simulateur NS2. Nous avons créé un réseau composé des stations sans fil. Les caractéristiques d'un flux vidéo transmis par les stations sont présentées dans le Tableau 4.1 et la figure 4.3. Sachant que le débit est limité à 5.5 Mbits/s et la taille d'un paquet RTP est de 1450 octets.

Tableau 4.1- Les caractéristiques de la vidéo de référence

Format de Codage	MPEG-4
Résolution	CIF : 352x288 pixels
Nombre d'images par seconde	25 fps
Durée de la séquence	180 secondes
Taille de trame	1512 octets

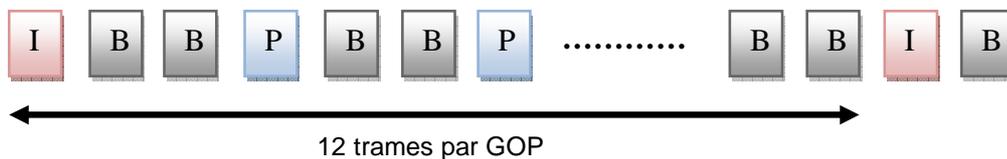


Figure 4. 3- Le train vidéo utilisé pour la simulation

Les Figures 4.4 et 4.5 présentent respectivement les taux moyens de perte pour le flux vidéo et les débits moyens de réception. Les résultats sont obtenus après la simulation des deux scénarios:

- **Scénario 1:** Les stations utilisent le mécanisme de transmission standard
- **Scénario 2 :** Les stations utilisent le mécanisme de groupage.

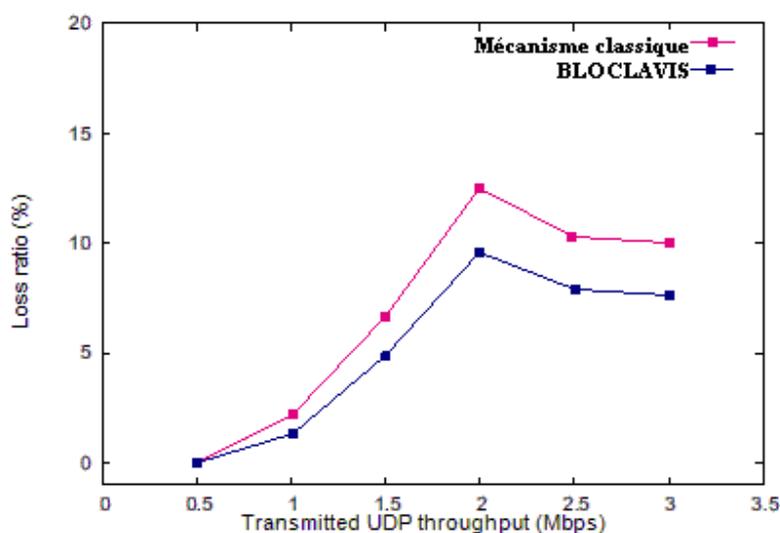


Figure 4. 4- Les taux moyens de perte du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2

D'après la figure 4.4, qui représente les taux moyens de perte du flux vidéo pour les deux mécanismes, pour le débit 0.5 les deux flux n'enregistrent aucune perte dans les deux scénarios puisque le débit du lien d'accès est supérieur au débit d'émission des deux flux. Cependant, après, bien que le débit du lien d'accès absorbe théoriquement le débit d'émission moyen des deux flux, le flux vidéo enregistre des pertes de paquets dans le scénario 1 plus que dans le scénario 2. Ceci s'explique par la variation importante du débit d'émission du flux vidéo. Lorsque le débit vidéo est élevé, le débit du lien d'accès n'arrive pas à satisfaire ce besoin. Ceci se traduit par une suppression des trames vidéo au niveau de la couche MAC. Cette situation ne se produit pas beaucoup avec le scénario 2 puisque le flux vidéo est plus agressif dans l'occupation du canal.

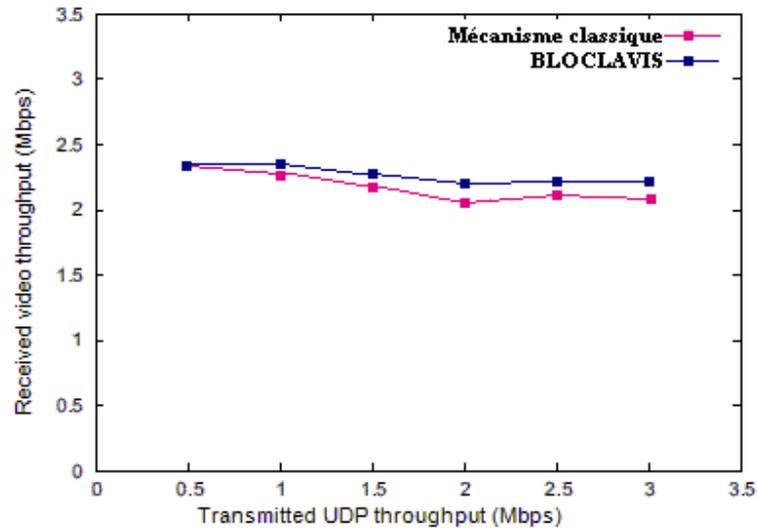


Figure 4. 5- Les débits moyens de réception du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2

4.3. Approche adaptative

Pour améliorer notre travail, on a proposé cette approche basée sur deux idées principales : traiter le problème de l'anomalie 802.11 en utilisant une approche adaptative en Inter-couches et assurer aux nœuds du réseau une meilleur QoS avec équité. Pour obtenir une solution efficace et adaptative, nous nous basons sur l'état du canal. Notre étude est basée sur les paramètres utilisés dans un réseau 802.11b. Pour différencier le groupe de trames constituant la même trame vidéo, on a utilisé l'information du timestamp fournie par l'entête RTP défini au niveau de la couche application. On a appelé cette approche: SNRCLAVIS (*SNR based Cross layer adaptive video streaming*).

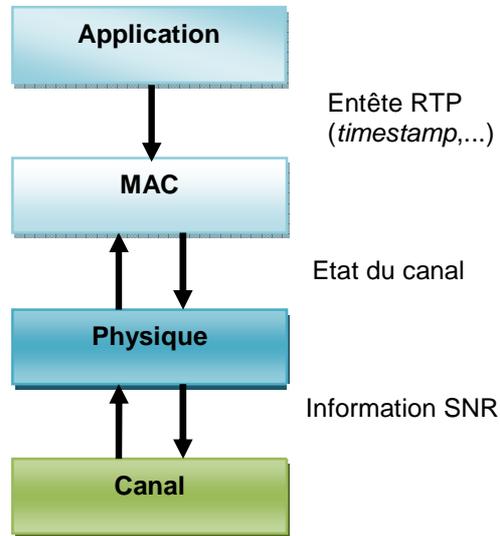


Figure 4. 6- schéma de base de SNRCLAVIS

Quand la couche MAC reçoit la valeur du SNR, elle est en mesure d'estimer la bande passante disponible. Comme nous nous basons dans notre étude sur les réseaux 802.11b, nous présentons les correspondances dans le tableau 4.1, dans 802.11b, entre les valeurs du SNR et celles des débits à atteindre.

Tableau 4.2- Correspondance SNR/débit dans 802.11b

Débits	1Mbps	2Mbps	5.5Mbps
SNR	< 4db	4-7.5dB	7.5- 11 dB

Tableau 4.3- Paramètres adaptatifs

SNR	< 4Db	4-7Db	7- 10 dB	> 10 dB
Nbre de trames	2 trames	4 trames	11 trames	22 trames

L'algorithme utilisé est comme suit :

Seuil SNR temps réel : $RT_SNR_TSH = 10dB$

Seuil SNR non temps réel : $NRT_SNR_TSH = 4Db$

App : type d'application

Obtenir la valeur du SNR (SNR comp) au niveau de la couche physique

Si (SNR < 4 et App = NRT) **alors**

Dissociation du nœud et rester à l'écouter (jusqu'à ce que

SNR \geq NRT_SNR_TSH)

Si (4 \leq SNR < 7) **alors**

Envoyer (4 trames en rafale)

Si ACK_i non reçu **alors** retransmettre trame_i

Fin si

Si (7 \leq SNR < 10) **alors**

Envoyer (11 trames en rafale)

Si ACK_i non reçu **alors** retransmettre trame_i

Fin si

Si (SNR > 10) **alors**

Envoyer (22 trames en rafale)

Si ACK_i non reçu **alors** retransmettre trame_i

Fin si

- **Evaluation de performances de l'approche adaptative**

Pour évaluer notre approche, nous avons réalisé des simulations de notre celle-ci sous NS-2. Nous comparons au début les performances de l'approche adaptative à la transmission standard. Les caractéristiques de la vidéo sont les mêmes présentées dans le tableau 4.1 et la figure 4.3.

Les résultats sont obtenus après la simulation des deux scénarios:

- **Scénario 1**: Les stations utilisent le mécanisme de transmission standard
- **Scénario 2**: Les stations utilisent le principe de l'approche adaptative.

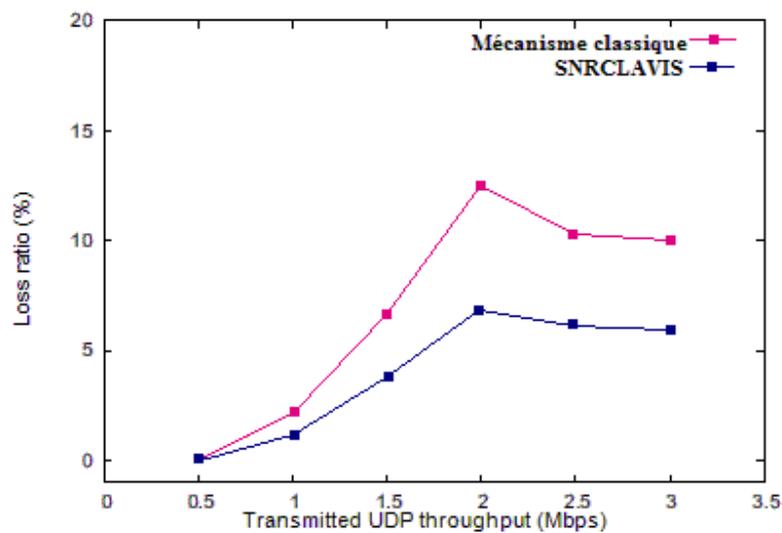


Figure 4. 7- Les taux moyens de perte du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2

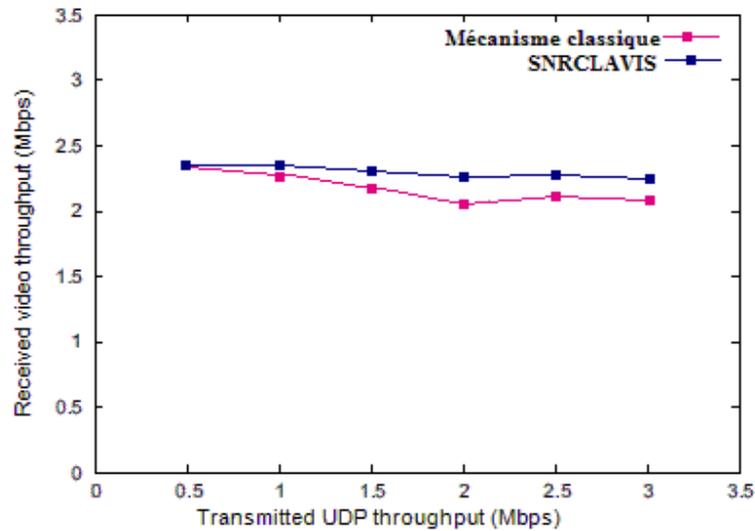


Figure 4. 8 - Les débits moyens de réception du flux vidéo pour les scénarios 1 et 2

D'après les deux courbes présentées respectivement dans les figures 4.7 et 4.8, on a une amélioration importante de la qualité de la vidéo reçue. Dans le scénario 1, le débit du lien d'accès n'arrive pas à satisfaire le besoin de la vidéo. Ceci se traduit par une suppression des trames vidéo au niveau de la couche MAC. Ceci ne risque pas de se reproduire avec le scénario 2 puisque la transmission est faite selon l'état du canal.

4.4. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une approche d'adaptation dynamique de transmission en se basant sur le mécanisme du bloc d'acquiescement pour groupage des images vidéo au niveau MAC. L'objectif de cette approche est d'assurer au flux vidéo une occupation du canal proportionnel à son débit. La couche MAC se base sur des informations différentes pour déterminer les trames appartenant à la même session et à la même image vidéo. Les évaluations de ce mécanisme ont montré, tout d'abord, l'avantage d'avoir un mécanisme de groupage adaptatif en relation avec le débit de la vidéo. Ensuite on a amélioré ce mécanisme par une approche adaptative multi-couches. Les résultats montrent, clairement, que cette approche favorise les flux vidéo en minimisant les taux de perte et en garantissant le débit au niveau du lien d'accès et améliorer efficacement la bande passante globale du réseau.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les réseaux 802.11 sont considérés comme une alternative sérieuse aux réseaux filaires comme étant des réseaux d'accès. En effet, les nombreux avantages qu'offre cette technologie (rapidité de déploiement, réduction des coûts d'installation, mobilité, etc.) lui ont permis de s'imposer rapidement sur le marché des réseaux. Ce monopole est conforté par l'augmentation du débit avec les standards récents et l'intégration d'une interface de communication 802.11 dans un large panel d'équipements (webcam, disque dure externe, casque audio, etc.) et de terminaux (téléphone mobile, pda, laptop, etc.). Dans le contexte de la convergence des réseaux et des services vers la technologie IP, les réseaux d'accès 802.11 n'échappent pas à cette mouvance et sont de plus en plus sollicités pour la transmission de services multimédia très exigeant en QoS.

Si la QoS dans le cœur du réseau sans fil a été largement explorée durant ces dernières années, principalement par l'IETF, la QoS dans les réseaux d'accès reste un chantier ouvert qui commence à peine à être investi par la communauté de la recherche. La QoS dans ce dernier segment doit être assurée non seulement au niveau IP, mais à travers toutes les couches de l'architecture réseau. Pour cela, les interactions inter-couches, dites Cross-layer, sont nécessaires pour permettre aux couches d'échanger des métriques de performance afin d'adapter leur fonctionnement en conséquence. Ainsi, l'adaptation est le mot clé dans la conception et l'implémentation des nouveaux protocoles et des nouvelles applications. Ces derniers doivent être de plus en plus flexibles et ils doivent interagir avec leur environnement, caractérisé par une hétérogénéité grandissante.

Notre travail représente un exemple d'une exploitation des informations des couches application et physique au niveau de la couche MAC pour améliorer les performances de transmission. L'objectif de cette contribution est d'assurer au flux vidéo une occupation du canal proportionnel à son débit, préserver la QoS et d'améliorer efficacement la bande passante globale du réseau.

Préserver la qualité de la vidéo perçue par l'utilisateur, côté récepteur est l'objectif ultime des adaptations Cross-layer. Le taux de perte applicatif est la métrique de performance considérée dans la majorité de ces adaptations. La dégradation de la qualité vidéo par les pertes de paquets dépend principalement du type d'images auxquelles appartiennent les paquets perdus. En effet, si la transmission provoque un taux de perte, la qualité vidéo ne sera pas identique si les paquets perdus appartiennent aux images I, aux images P ou aux images B. Pour cela, il devient nécessaire d'avoir des métriques qui puissent informer sur la qualité vidéo perçue par le récepteur en temps réel et sans utiliser la vidéo de référence.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. CONCHON, "Définition et mise en œuvre d'une solution d'émulation de réseaux sans fil", thèse Présentée en vue de l'obtention du grade de docteur de l'institut nationale polytechnique de Toulouse, École doctorale : Informatique et Télécommunications, Spécialité : Réseaux, Télécommunications, Système et Architecture, 27 Octobre 2006.
- [2] R. MERAIHI, "Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux mobiles ad hoc" Thèse de doctorat, l'école nationale supérieure des télécommunications, Spécialité : Informatique et Réseaux, 2005.
- [3] K. Baumgartner et J. Racloz, "Coexistence entre WLAN 802.11 et Bluetooth" Une étude réalisée par des étudiants à l'EIVD, 2002.
- [4] IEEE 802.11, IEEE Standards for Information Technology -- Specific Requirements -- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Edition (ISO/IEC 8802-11: 1999), 1999.
- [5] V. Meerschen Jérôme, "Hybridation entre les modes ad-hoc et infrastructure dans les réseaux de type Wi-Fi" Thèse d'ingénieur, l'université libre de Bruxelles, Faculté des sciences appliqués, Spécialité : Sciences appliquées, 2006.
- [6] I. Aad and C. Castelluccia, "Introducing Service Differentiation into IEEE 802.11", 2000.
- [7] M. Gast, "802.11 et les réseaux sans fils", O'REILLY, Décembre 2005.
- [8] T. Ahmed, " Diffusion Adaptative des Paquets Vidéo sur IP: Une Approche Cognitive", thèse de doctorat en informatique de l'Université de Versailles Saint -Quentin-En-Yvelines. France, 2003.
- [9] V.M. Scuturici, "Utilisation efficace des serveurs Web en tant que serveurs vidéo pour des applications de vidéo a la demande", thèse de doctorat en informatique de l'Université Lumière Lyon 2,2001.
- [10] J. Adams, "Adaptive Buffer Power Save Mechanism for Mobile Multimedia Streaming", Thesis presented for the degree of Masters in Engineering to the School of Electronic Engineering Faculty of computing and Engineering, Dublin City University, Ireland, July 2007.
- [11] D. Austerberry, "The Technology of Video and Audio Streaming", 2nd edition, 2005.

- [12] V. Hallivuori, "Real-time Transport Protocol (RTP) Security," Seminar on Network Security, Helsinki University of Technology (FI), 2000.
- [13] C. Bassil, "Multimédia : Transmission et Signalisation", thèse Présentée en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Réseaux de Télécommunications de l'Institut national de la communication et de l'information INCI et l'Université Saint Joseph USJ, 1998.
- [14] ITU-T Recommendation H.261: "Video codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s", March 1993.
- [15] ITU-T Recommendation H.263, "Video coding for low bitrate communication", March 1996.
- [16] ISO/IEC JTC1 IS 11172 (MPEG-1), "Coding of moving picture and coding of continuous audio for digital storage media up to 1.5 Mbps", 1992.
- [17] ISO/IEC JTC1 IS 13818 (MPEG-2), "Generic coding of moving pictures and associated audio", 1994.
- [18] ISO/IEC JTC1 IS 14386 (MPEG-4), "Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio", 2000.
- [19] ISO/IEC 14496-10 AVC or ITU-T Rec. H.264, September 2003.
- [20] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, "Joint Draft 5: Scalable Video Coding", Bangkok, Jan. 2006.
- [21] I. Haratcherev, J. Taal, K. Langendoen, R. Lagendijk and H. Sips, "Automatic IEEE 802.11 rate control for streaming applications", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol 5, pp.412-437, 2005.
- [22] A. Kamerman and L. Monteban, WaveLAN-II: "A high-performance wireless LAN for the unlicensed band", *AT&T Bell Laboratories Technical Journal*, pages 118-133, 1997.
- [23] M. Lacage, M. H. Manshaei, and T. Turletti, "IEEE 802.11 rate adaptation: a practical approach," in *Proceedings of the 7th Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM '04)*, pp. 126–134, Venice, Italy, October 2004.
- [24] J.P. Pavon and S. Choi, "Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via received signal strength measurement", *IEEE International Conference on Communications (ICC '03)*, Volume: 2, on page(s): 1108-1113, Anchorage, AK, USA, 2003.
- [25] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, "A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks", in *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking (ACM MOBICOM'07)*, Pages: 236 - 251, Rome, July 2001.

-
- [26] D. Tse and P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communication", ISBN-13: 978-0521845274, Cambridge University Press, may 2005.
- [27] Q. Yan, "A Study of Transmit and Receive Antenna Diversity Techniques for Communication Systems", Thesis of doctor presented to the Graduate and Research Committee of Lehigh University in candidacy for degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Lehigh University, April 2001.
- [28] J.N. Laneman, and 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.
- [29] J.N. Laneman, and al., "Source-channel diversity approaches for multimedia communication", in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 51, no. 10, pp. 3518-3539, October 2005.
- [30] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b", Proceedings of IEEE INFOCOM'03, 2003.
- [31] J. Deng and R.S. Chang, "A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method", in IEICE Transactions on Communication, vol. E82-B, no. 1, pp. 96-102, January 1999.
- [32] I. Aad and C. Castelluccia, "Differentiation mechanisms for IEEE 802.11", in Proc. of IEEE INFOCOM'01, vol. 1, pp.209–218, Anchorage, Alaska, April 2001.
- [33] L. Romdhani, and al., "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks", in Proc. of IEEE WCNC'03, vol. 2, pp. 1373-1378, New Orleans, Louisiana, March 2003.
- [34] M. Malli and al., "Adaptive fair channel allocation for QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless LAN", in Proc. of IEEE ICC'04, vol. 6, pp. 347 –3475, Paris, France, July 2004.
- [35] Z.J. Haas and J. Deng, "On optimizing the backoff interval for random access schemes", in IEEE Transactions on Communications, vol. 51, no. 12, pp. 2081-2090, December 2003.
- [36] M. Barry, A.T. Campell and A. Veres, "Distributed Control Algorithms for Service Differentiation in Wireless Packet Networks" Proc. IEEE INFOCOM, 2001.
- [37] S. H. Shah, K. Chen, and K. Nahrstedt, "Dynamic Bandwidth Management for Single-Hop Ad Hoc Wireless Networks" Proc. IEEE Int'l. Conf. Perv. Comp. and Commun. 2003.
- [38] M. Kazantzidis, M. Gerla, and S.J. Lee, "Permissible Throughput Network Feedback for Adaptive Multimedia in AODV MANETs," IEEE ICC '01, vol. 5, pp. 1352–56, June 2001.

-
- [39] A. Banchs and X. Pérez, "Providing Throughput Guarantees in IEEE 802.11 Wireless LAN" IEEE WCNC '02, vol.1, pp. 130–38, 2002.
- [40] IEEE 802.11e, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of service (QoS), 802.11e Draft 8.1, May 2005.
- [41] S. Bouam, "Gestion de la Qualité de Service et de la Confidentialité des Flux dans les Réseaux IEEE 802.11", thèse Présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur de l'université de Versailles St Quentin, March 2006.
- [42] P. Amon and J.Pandel, "Evaluation of adaptive and reliable video transmission technologies", In Proc. of the 13th Packet Video Workshop, Nantes France, 2003.
- [43] X. Sun, S. Li, F. Wu, G. Shen, and W. Gao, "Efficient and flexible drift-free video bitstream switching at predictive frames", ICME 2002.
- [44] X. Sun, F. Wu, S. Li, W. Gao, and Y. Q. Zhang, "Seamless Switching of Scalable Video Bitstreams for Efficient Streaming", IEEE International Symposium on Circuits and Systems, ISCAS 2002, Scottsdale, Arizona, USA, 26-29 May, 2002.
- [45] N. Färber and B. Girod, "Robust H.263 compatible video transmission for mobile access to video servers," in Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 1997), vol. 2, pp. 73–76, Oct. 1997.
- [46] K.H. Goh, D.J. Wu, J.Y. Tham, T.K. Chiew and W.S. Lee, "real-time software MPEG-2 to H.264 video transcoding", ICASS P2008.
- [47] A. Vetro, C. Christopoulos and H. Sun, "Video transcoding architectures and techniques: an overview", IEEE Signal Processing Magazine, Volume 20, Issue 2, Page(s):18 - 29, March 2003.
- [48] B. Shen, W.T. Tan and F. Huve, "Dynamic Video Transcoding in Mobile Environments", IEEE Computer Society Press Los Alamitos, CA, USA, Volume 15, Issue 1 (January 2008), Pages: 42-51, 2008.
- [49] J.T. Wang and P.C. Chang, "Error-propagation prevention technique for real-time video transmission over ATM networks", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume 9, Issue 3, Pages: 513 - 523, Apr. 1999.
- [50] M. Claypool and Y. Zhu, "Using interleaving to ameliorate the effects of packet loss in a video stream", in Proc. of the International Workshop on Multimedia Network Systems and Applications, Providence, Rhode Island, May 2003.
- [51] C. Papadopoulos and G.M. Parulkar, "Retransmission-based Error Control for Continuous Media Applications", Proc. 6th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV), April 1996.
- [52] D. Loguinov and H. Radha, "On retransmission schemes for real-time streaming in the Internet", Proceedings In IEEE INFOCOM 2001, Twentieth Annual Joint Conference
-

-
- of the IEEE Computer and Communications Societies, Volume 3, Page(s):1310 - 1319, 2001.
- [53] S. Choi and K. G. Shin, "A Class of Adaptive Hybrid ARQ Scheme for Wireless Links", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 50, no. 3, pp. 777-790, May 2001.
- [54] M. Van Der Schaar, and al., "Cross-layer wireless multimedia transmission : challenges, principles, and new paradigms", IEEE Wireless Communications Magazine, vol. 12, no. 4, pp. 50-58, August 2005.
- [55] Q. Zhang, F. Yang and W. Zhu, "Cross-Layer QoS Support for Multimedia Delivery over Wireless Internet", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol: 2005:2, pp. 207-219, 2005.
- [56] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, and R. Katz, "A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links", IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 5, no. 6, pp. 756-769, 1997.
- [57] I. Djama, "Adaptations inter-couches pour la diffusion des services vidéo sans fil", thèse Présentée en vue de l'obtention du grade de docteur de l'université bordeaux I, école doctorale de mathématiques et d'informatique, Spécialité : Informatique, 10 Novembre 2008.
- [58] A. Ksentini, M. Naimi and A. Gueroui, "Toward an improvement of H.264 video transmission over IEEE 802.11e through a cross-layer architecture", in IEEE Communications Magazine, ISSN: 0163-6804, pages 107- 114, Volume: 44, Issue: 1, Jan 2006.
- [59] G.D. Delgado, V.C. Frias and M.A. Igartua, "Video-streaming Transmission with QoS over Cross-Layered Ad hoc Networks", softcom, 2006 International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks, pp.102-106, 2006.
- [60] L.U Choi, W. Kellerer and E. Steinbach, "Cross layer optimization for wireless multi-user video streaming", International Conference on Image Processing 2004 (ICIP'04), Volume: 3, pages: 2047- 2050, October 2004.
- [61] S. Khan, Y. Peng, E. Steinbach, M. Sgroi and W. Kellerer, "Application-driven cross-layer optimization for video streaming over wireless networks", In IEEE Communications Magazine, ISSN: 0163-6804, pages 122- 130, Volume: 44, Issue: 1, Jan 2006.
- [62] L.U. Choi, W. Kellerer and E. Steinbach, "on Cross-Layer Design for Streaming Video Delivery in Multiuser Wireless Environments", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2006, Article ID 60349, pages 1-10, May 2006.
-

- [63] Q. Li and M.V.D Schaar, "Providing adaptive QoS to layered video over wireless local area networks through real-time retry limit adaptation", IEEE Transactions on Multimedia, Volume 6, Issue 2, Page(s): 278 - 290, Digital Object Identifier 10.1109/TMM.2003.822792, April 2004.
- [64] S. Lee and K. Chung, "Joint Quality and Rate Adaptation Scheme for Wireless Video Streaming", 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, pp.311 – 318, March 2008.
- [65] Network Simulator, NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [66] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick and V. Jacobson, "RTP: A Real-time Transport Protocol. RFC3550", Juillet 2003.
- [67] H. Schulzrinne, "RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control", IETF RFC 1890. January 1996.

GLOSSAIRE

ATSC	: Advanced Television Systems Committee
BSS	: Basic Service Set
CLA	: Cross Layer Architecture
CPF	: Contention Free Period
CSMA/CA	: Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CTS	: Clear to Send
CW	: Contention Window
DCF	: Distributed Coordination Function
DIFS	: Distributed Coordination Function IFS
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum
DVB	: Digital Video Broadcast
DVB-S	: Digital Video Broadcasting-Satellite
DVD	: Digital Video Disc
EDCA	: Enhanced Distributed Channel Access
EDCF	: Enhanced Distributed Coordination Function
EIFS	: Extended Inter-frame Space
ESS	: Extended Service Set
FHSS	: Frequency Hopping Spread Spectrum
GOP	: Group of Pictures
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global System for Mobile Communication
HCCA	: HFC-Controlled Channel Access
IBSS	: Independent Basic Service Set
IFS	: Inter-frame Space
IR	: Infra Red
IrDA	: Infrared data association
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ISO/IEC	: International Organization of Standardization /International Electro-Technical Commission

ITU-T	: International Telecommunication Union-Telecommunication
JVT	: Joint Video Team
MAC	: Medium Access Control
MPDU	: MAC Protocol Data Unit
MPEG	: Moving Pictures Expert Group
NAL	: Network Abstraction Layer
NS-2	: Network Simulator version 2
PCF	: Point Coordination Function
PDA	: Personal Digital Assistant ou assistant personnel
PIFS	: Point Coordination Function IFS
QoS	: Quality of Service
RSVP	: Resource Reservations Protocol
RTCP	: Real-Time Control Protocol
RTP	: Real-Time Protocol
RTS	: Request to Send
RTSP	: Real-Time Streaming Protocol
SIFS	: Short ou Small Inter-frame Space
SNR	: Signal-to-Noise Ratio
SSID	: Service Set Identifier
SVC	: Scalable Video Coding
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
VCEG	: Video Compression Expert Group
VCL	: Video Coding Layer
VoD	: Video on Demand
WEP	: Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	: Wireless Fidelity
WLAN	: Wireless Local Area Network
WMAN	: Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	: Wireless Personal Area Network
WWAN	: Wireless Wide Area Network

ANNEXE

5.1. L'entête RTP

La figure A.1 montre l'entête des paquets RTP, selon RFC 3550 [66],

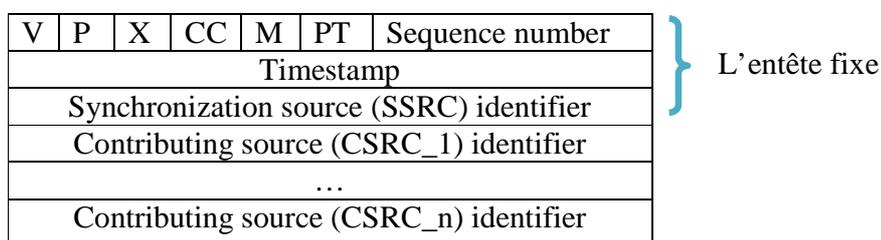


Figure A.1- Format de l'entête d'un paquet RTP

Les premiers 32 bits de l'entête se compose de plusieurs bits de contrôle :

- **Version V:** 2 bits, ce champ identifie la version de RTP utilisé.
- **Padding P:** Si le bit de *padding* est mis à 1, le paquet contient un ou plusieurs octets de bourrage à la fin qui ne font pas partie des données (*payload*). Le dernier octet de padding contient un compte de combien d'octets de *padding* devraient être ignorés.

Le *padding* peut être nécessaire pour quelques protocoles ou algorithmes de codage, qui exigent des tailles fixe de bloc.

- **Extension X:** Si le bit d'extension est mis à 1, l'entête fixe est suivi par un seul entête d'extension.
- **CSRC count CC:** 4bits

Le compteur des CSRC contient le nombre des identificateurs CSRC qui suivent l'entête fixe, c'est à dire qui suit les trois premiers mots de 32 bits de l'entête RTP.

- **Marker M:**

L'interprétation du bit M est définie par l'application à travers un profile spécifique à cette application et permet de garder la trace d'évènements particuliers, comme par exemple le dernier paquet d'une séquence. Il existe un profile pour l'audio et un autre pour la vidéo.

- **Payload type PT:** 7 bits

Ce champ identifie le format des données RTP et détermine son interprétation par l'application. Une correspondance entre le code du payload et son format devrais être définis dans des spécifications de profile.

Le REC 1890 [67] définis un ensemble de standards de codages et leurs noms une fois utilisé avec RTP. Ces types de données incluent par exemple G.721, GSM Full Rate, G.722, les codecs audio G.728, JPEG et les codecs vidéo H.261.

- **Sequence number:** 16 bits

Le numéro de séquence est augmenté par un à chaque envoi d'un paquet. Il sera utilisé par le récepteur pour détecter les paquets perdus et pour reconstituer la séquence originale des paquets. La valeur initiale du numéro de séquence doit être aléatoire.

- **Timestamp:** 32 bits,

Le timestamp reflète l'instant où le premier octet du paquet RTP à été échantillonné. Timestamp: Indicatif sur l'instant de lecture du paquet RTP. Cet instant doit être obtenu d'une horloge qui s'incrémente de façon monotone et linéaire dans le temps pour permettre la synchronisation et le calcul de la gigue. La fréquence de l'horloge dépend du format des données transportées dans le payload et elle est spécifiée statiquement dans le profile qui défini les formats, il peut être aussi spécifié dynamiquement. La valeur initiale de timestamp est aussi aléatoire.

- **SSRC:** 32 bits

Le champ SSRC identifie les sources de synchronisations. Chaque flux d'une session RTP est en effet généralement doté d'un SSRC particulier. Ceci n'est pas l'adresse IP de l'émetteur, mais un numéro attribué au hasard au moment de la génération du flux avec la contrainte qu'il soit unique parmi toutes les sources d'une même session RTP. La probabilité que 2 se voient attribuer de même SSRC est très réduite, et quand c'est le cas les 2 sources choisissent une nouvelle valeur.

- **CSRC:** 0 à 15 éléments, 32 bits pour chacun

La liste des CSRC identifie les sources qui ont contribué à l'obtention des données contenues dans ce paquet. Le nombre d'identificateurs est donné dans le champ CC. S'il y a plus de 15 sources contribuées, seulement 15 soient identifiées. Les identificateurs de CSRC sont insérés par des mixeurs.

5.2. Paquet RTCP

Chaque paquet RTCP commence par un entête ressemble à celui des paquets de données RTP. Le RFC 1889 défini 5 types de paquet pour transporter cette information de contrôle:

- SR : *Sender Report*, transmission de statistiques des participants actifs en émission
- RR : *Receiver Report*, transmission de statistiques des participants passifs
- SDES : *Source Description items* (CNAME, NAME, EMAIL, PHONE,...)
- BYE : *Goodbye*, Fin de participation
- APP : *Application- defined packet*, fonctions spécifiques à l'application

Le contenu de ces paquets est en détail décrit dans le suivant :

- **Sender Report**

Un rapport d'émission SR est généré par les utilisateurs qui envoient un média. Il contient la quantité de données transmises, et donne des informations sur la corrélation entre l'étiquette de temps RTP et le temps réel pour permettre la synchronisation des différents média.

– Format du paquet SR

V	P	RC	PT=200	Length
SSRC of the sender				
NTP timestamp (MSB)				
NTP timestamp (LSP)				
RTP timestamp				
Sender's packet count				
Sender's octet count				
First reception report block (SSRC_1)				
...				
Last reception report block (SSRC_n)				

Figure A.2- Format du paquet SR

Les premiers 32 bits de l'entête du rapport de l'émetteur se compose du plusieurs bits de contrôle.

-
- La version (**V**) et le champ *padding* (**P**) sont les mêmes qu'en paquet RTP.
 - Le compte de rapport de réception **RC** (5 bits) : indique le nombre de rapports de récepteur attachés à ce paquet. Le nombre maximum des rapports de récepteur est 32.
 - Le type de paquet **PT** (8 bits): Contient le constant 200 pour identifier ce paquet comme paquet SR.
 - Le champ *length* (16 bits) : indique la longueur du paquet en mots de 32 bits.
 - **SSRC** (32 bits) : L'identificateur de la source de synchronisation de ce paquet SR.
 - horodatage NTP_ *Network Time Protocol* (64 bits): c'est un protocole de bas niveau assurant la synchronisation d'horloge entre machines reliées aux réseaux. Il indique le moment où ce rapport a été envoyé de sorte qu'il peut être employé en combinaison avec des horodateurs retournés dans les rapports de réception du d'autres récepteurs pour mesurer la propagation du trafic de ces récepteurs. Il est composé de deux mots de 32 bits, cette séparation en deux mots permet à l'application de repérer l'ordre des octets de l'horodatage dans la mémoire et de savoir où sont les données les plus importantes.
 - horodatage RTP (32 bits): indique la période relative d'envoi de ce paquet.
 - *Sender's packet count* (32 bits): nombre total de paquets RTP transmis par émetteur depuis le début de la transmission jusqu'à la génération de ce paquet SR.
 - *Sender's octet count* (32 bits): nombre total d'octets du contenu RTP (à l'exclusion de l'en-tête et des octets de bourrage).
 - **SSRC** (32 bits): identificateur SSRC de la source concernée par ce rapport.
 - **Receiver Report**

Les rapports de réception RR sont envoyés par ceux qui reçoivent les médias. Chacun de ces rapports contient un bloc pour chaque émetteur du groupe. Chaque bloc décrit la gigue et les taux de perte instantanés et cumulés pour chaque émetteur. Le bloc indique aussi la dernière étiquette de temps et le délai depuis le dernier SR reçu; ceci permet aux émetteurs d'estimer leur distance aux récepteurs.

– **Format du paquet RR**

V	P	RC	PT=201	Length
SSRC of the sender				
SSRC of the first source				
Fract. lost		Cum. No of packets lost		
EXT. highest sequence number received				
Interarrival jitter estimate				
Last sender report timestamp (LSR)				
Delay since last sender report (DLSR)				
...				
Last reception report block				

Figure A.3- Format du paquet RR

La partie en bleu dans la figure A.3 est considérée en tant qu'un bloc de rapport de réception. Le premier mot de 32bits dans ce bloque est SSRC de la source pour viser ce rapport de réception.

- Le champ Fraction lost (fraction de perte): indique le nombre de paquets perdus divisé par le nombre de paquets attendus (selon le numéro de séquence le plus élevé reçu) depuis le dernier rapport de récepteur.
 - Nombre cumulé de paquets perdus: depuis le début de la réception, nombre de paquets attendus moins le nombre de paquets reçus (incluant les paquets en retard ou dupliqués).
 - Numéro de séquence le plus élevé: indication du numéro de paquet le plus élevé dans le flux émis par la source SSRC_n (complété par le nombre de correspondant de cycles)
 - *Interarrival jitter estimate*: permettant d'évaluer la stabilité du réseau.
 - LSR dernier SR : horodatage du dernier rapport SR.
 - DLSR : délai écoulé depuis la réception du dernier paquet SR de la source.
 - SSRC_n : à qui s'adresse ce rapport.
- **Source Description items**

Les paquets de description de source SDES dont le format est montrés dans la figure A.4, ont utilisés pour le contrôle de session. Ils permettent de donner une description précise de la source qui envoie ce paquet. Ces informations de type: le nom canonique de l'utilisateur, son nom, son adresse e-mail, etc. Il est ainsi plus facile

de contacter un utilisateur s'il a par exemple laissé sa camera en marche à la fin de la diffusion.

– **Format du paquet SDES**

V	P	SC	PT=202	Length	} chunk
SSRC/CSRC of the sender					
Type		Length		Text	
Text continued					
...					
Last chunk					

Figure A.4- Format du paquet SDES

Le paquet de la description de la source (SDES) est une structure à trois niveaux composée d'entête et zéro sessions ou plus (la partie bleu dans la figure A.4).

- les champs V (version), P (bourrage) et longueur sont les mêmes que pour SR
- PT contient 202 pour identifier ce paquet comme paquet SDES de RTCP
- *Length* (taille paquets) : nombre de sections (chunks) SSRC/CSRC contenues dans ce paquet SDES.
- *Text* : contient les informations de type : le nom canonique CNAME (Canonical Name) de l'utilisateur, son nom, son adresse e-mail, etc

Le CNAME est un identificateur unique global au format similaire à celui d'une adresse e-mail. Le CNAME est utilisé pour résoudre les conflits sur les valeurs du SSRC et pour regrouper les flux de média différent générés par un même utilisateur.

- **Goodbye**

Ce paquet, qui est envoyé par l'application quand elle quitte une session, contient un champ (*Reason for leaving*) qui décrit la raison pour laquelle elle quitte la session.

- **Application-defined packet**

Réservé aux expérimentations de nouvelles fonctions et aux applications qui n'ont pas encore fait enregistrer le numéro de type de paquet PT auprès de l'IANA.