

Université de Montréal

**Le support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil
WiMAX en utilisant une approche de contrôle et
d'assistance au niveau MAC**

par

Fayçal Haddouche

Département d'informatique et de recherche opérationnelle
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences
en vue de l'obtention du grade de Maître
en sciences (M.Sc.) en informatique

Avril, 2012

© Fayçal Haddouche, 2012

Université de Montréal
Faculté des arts et des sciences

Ce mémoire intitulé :

**Le support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil WiMAX en
utilisant une approche de contrôle et d'assistance au niveau
MAC**

Présenté par :
Fayçal Haddouche

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

El Mostapha Aboulhamid, président-rapporteur
Abdelhakim Hafid, directeur de recherche
Steven Chamberland, membre du jury

Mémoire accepté le :

RÉSUMÉ

Les réseaux maillés sans fil (RMSF), grâce à leurs caractéristiques avantageuses, sont considérés comme une solution efficace pour le support des services de voix, vidéo et de données dans les réseaux de prochaine génération. Le standard IEEE 802.16-d a spécifié pour les RMSF, à travers son mode maillé, deux mécanismes de planifications de transmission de données; à savoir la planification centralisée et la planification distribuée. Dans ce travail, on a évalué le support de la qualité de service (QoS) du standard en se focalisant sur la planification distribuée. Les problèmes du système dans le support du trafic de voix ont été identifiés. Pour résoudre ces problèmes, on a proposé un protocole pour le support de VoIP (AVSP) en tant qu'extension au standard original pour permettre le support de QoS au VoIP. Nos résultats préliminaires de simulation montrent qu'AVSP offre une bonne amélioration au support de VoIP.

Mots-clés : Réseaux maillés sans fil- RMSF, Voix sur IP- VoIP, Qualité de service- QoS.

ABSTRACT

Wireless mesh networks (WMNs), because of their advantageous characteristics, are considered as an effective solution to support voice services, video and data in next generation networks. The IEEE 802.16-d specified for WMNs, through its mesh mode, two mechanisms of scheduling data transmissions; namely centralized scheduling and distributed scheduling. In this work, we evaluated the support of the quality of service (QoS) of the standard by focusing on distributed scheduling. System problems in the support of voice traffic have been identified. To solve these problems, we proposed a protocol for supporting VoIP, called Assisted VoIP Scheduling Protocol (AVSP), as an extension to the original standard to support high QoS to VoIP. Our preliminary simulation results show that AVSP provides a good improvement to support VoIP.

Keywords: Wireless Mesh Networks- WMNs, Voice over IP- VoIP, Quality of Service- QoS.

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Introduction	1
1.1. Présentation des réseaux maillés sans fil	2
1.2. Réseaux maillés sans fil et protocoles MAC.....	4
1.3. Motivation.....	5
1.4. Problème de la qualité de service pour VoIP dans les réseaux maillés WiMAX	5
1.5. Contribution	6
1.6. Organisation du mémoire.....	7
Chapitre 2 : État de l’art de la planification et du support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil WiMAX	8
2.1 La planification des ressources dans les réseaux maillés sans fil WiMAX	8
2.1.1 La planification centralisée	9
2.1.2 La planification distribuée	12
2.2 Le support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil WiMAX	14
2.2.1 La réservation des ressources du bout en bout (EBRP)	15
2.2.1.1 Présentation.....	15
2.2.1.2 Analyse	17
2.2.2 L’allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP (Application-aware scheduling for VoIP).....	18
2.2.2.1 Présentation.....	18
2.2.2.2 Analyse	21
2.2.3 Synthèse.....	21
Chapitre 3 : Protocole de planification assistée pour VoIP (Assisted VoIP Scheduling Protocol : AVSP)	24
3.1 Le fondement d’AVSP.....	24
3.2 Les mécanismes d’AVSP.....	25
3.3 Les détails d’AVSP.....	27
3.3.1 L’information élémentaire de VoIP	27
3.3.1.1 Les mécanismes d’AVSP et l’information élémentaire de VoIP	29
3.3.2 L’algorithme du traitement de VoIP	32
3.3.3 L’algorithme de gestion de VoIP	34
3.4 AVSP et le support d’autres types de trafic	37
Chapitre 4 : Évaluation des performances	40
4.1 Présentation de la simulation	40

4.2	Configuration de la simulation.....	41
4.3	Résultats.....	42
4.3.1	Résultats du scénario du trafic internet.....	42
4.3.2	Résultats du scénario du trafic libre.....	45
4.3.3	Résultats des deux scénarios selon différents schémas de modulation et codage.....	49
Chapitre 5 : Conclusion et perspectives futures.....		52
Bibliographie		53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Paramètres de simulation.	42
Tableau 2. Les schémas de modulations et codages.	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Réseau maillé sans fil WiMAX.....	2
Figure 2 : Structure des trames dans le mode maillé IEEE 802.16.....	9
Figure 3 : Exemple d'arbre de planification pour une topologie de 6 nœuds.....	10
Figure 4 : Les deux stages d'une période de planification.....	11
Figure 5 : L'échange du contrôle pour la planification distribuée.....	13
Figure 6 : Exemple de réservation de bout en bout pour un chemin de 4 sauts.....	16
Figure 7 : Allocation de ressources selon les 3 schémas de planification continue.....	20
Figure 8 : Négociation de ressources idéale et négociation de ressources étendue.....	22
Figure 9 : Les échanges de contrôle pour VoIP sous AVSP.....	26
Figure 10 : Le format du MSH-DSCH selon le standard IEEE 802.16.....	28
Figure 11 : Le format du MSH-DSCH supportant AVSP.....	29
Figure 12 : La structure du VS-REQ.....	30
Figure 13 : La structure du VM-GNT.....	30
Figure 14 : La structure du VR-REQ.....	31
Figure 15 : La structure du VR-GNT.....	31
Figure 16 : Le diagramme de l'algorithme du traitement de VoIP.....	33
Figure 17 : La table de gestion de VoIP et sa table des liens.....	34
Figure 18 : Le diagramme de l'algorithme de gestion de VoIP.....	35
Figure 19 : La portée de réservation pour la planification sur demande.....	38
Figure 20 : L'allocation des ressources selon le type de planification.....	39
Figure 21 : La topologie grille.....	41
Figure 22 : Résultats pour le scénario du trafic Internet de VoIP.....	43
Figure 23 : Résultats pour le scénario du trafic libre de VoIP.....	46
Figure 24 : Résultats des deux scénarios selon différents MCS.....	50

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AVSP	Assisted VoIP Scheduling Protocol
CNF	Confirmation message (EBRP)
CONF	Confirm
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DiffServ	Differentiated Services
EBRP	End-to-End Bandwidth Reservation Protocol
GNT	Grant
IE	Information Element
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
MAC	Medium Access Control
MCS	Modulation and Coding Scheme
MSH-CSCH	Mesh Centralized Scheduling
MSH-DSCH	Mesh Distributed Scheduling
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Qualité de Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
REQ	Request
RESV	Reservation
RMSF	Réseau Maillé Sans Fil
RSVP	Resource Reservation Protocol

TCP/IP	Transport Control Protocol with Internet Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
T_E	End-to-end setup timer
T_F	Flow tear-down timer
T_S	Single-hop setup timer
VMN	VoIP Manager Node
VoIP	Voice over IP
VoIPM	VoIP Manager
VRCS	VoIP-aware resource coordination scheme
VR-GNT	VoIP Reservation Grant
VR-REQ	VoIP Reservation Request
VS-GNT	VoIP Setup Grant
VSN	VoIP Source Node
VS-REQ	VoIP Setup Request
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Remerciements

C'est avec grand plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et de reconnaissance à tous ceux et celles qui m'ont aidé de près ou de loin à mener à bien ma recherche.

Je remercie tout d'abord mon directeur de recherche M. Abdelhakim Hafid qui m'a soutenu et prodigué par ses conseils enrichissants tout au long de ma maîtrise. Je lui exprime toute ma gratitude pour avoir réussi à stimuler continuellement mes capacités et mon potentiel.

Mes vifs remerciements à tous les membres de jury : M. El Mostapha Aboulhamid, professeur au département d'informatique et recherche opérationnel à l'Université de Montréal, M. Steven Chamberland, professeur à l'École Polytechnique de Montréal, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer mon projet de maîtrise.

J'exprime également ma gratitude envers les membres de l'unité de recherche LRC pour l'atmosphère amicale et l'ambiance chaleureuse qui règne au sein de l'équipe.

J'adresse une pensée toute particulière et je témoigne toute mon affection à ma mère et à tous les membres de ma famille qui ont su m'apporter tout leur soutien pour réussir.

Je tiens à remercier également tous mes enseignants, qui ont contribué chacun dans son domaine, à ma formation universitaire, sans laquelle je ne serais jamais arrivé à réaliser ce travail.

Je dis MERCI à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et la réussite de ce travail modeste.

Chapitre 1 : Introduction

Depuis le début des années 2000, le monde a connu la prospérité et une énorme popularisation du réseau Internet. Il s'en est suivi un développement et une grande propagation des terminaux mobiles intelligents, comme les assistants personnels, les téléphones intelligents et les tablettes. L'utilisateur est à la recherche de plus en plus d'un environnement sans fil à large bande, omniprésent, et particulièrement à faible coût, lui garantissant la connectivité et l'accès à Internet où qu'il se trouve et à tout moment. Les réseaux maillés sans fil (RMSF) se présentent comme une solution pratique et efficace pour satisfaire ces attentes, et cela grâce à leurs propriétés avantageuses comme la capacité d'auto-configuration et le faible coût de déploiement. Les RMSF ont également l'avantage de permettre la connectivité entre des stations se trouvant mutuellement hors de la zone de couverture radio l'une de l'autre, et cela grâce à la propriété de communication multi-sauts. Contrairement aux réseaux ad-hoc qui permettent également les communications en multi-sauts, les RMSF sont des réseaux à infrastructure avec des passerelles Internet. Cela donne l'avantage de pouvoir assurer la connectivité et l'accès à Internet.

Aujourd'hui, avec la popularité croissante des services de données et d'accès à Internet dans les réseaux d'opérateurs, l'intégration des services de la voix aux données, appelée convergence multimédia, devient une nécessité économique. Le service de la téléphonie à travers la technologie de voix par IP (Voice over IP) est un service en temps réel; il a des exigences strictes de qualité de service (QoS) en termes du délai, perte de paquets, gigue et bande passante. Les RMSF sont considérés comme un type de réseaux qui ne supporte pas les exigences élevées du trafic en temps réel; cela est dû au fait que ce type de réseaux augmente le délai de paquets avec les transmissions sans fil en multi-saut. Dans ce projet, nous proposons une approche qui vise une provision efficace de ressources dans les RMSF, basés sur la technologie WiMAX, et ayant pour objectif le support des exigences de VoIP.

La suite de ce chapitre est organisée comme suit. La section 1.1 introduit les RMSF en mettant la lumière sur les avantages et le potentiel de ce type de réseaux. La section 1.2 présente les deux types de protocoles qui sont utilisés pour accéder au canal de transmission dans RMSF. La section 1.3 présente la motivation de notre travail, alors que la section 1.4

décrit le problème considéré dans ce projet. Les contributions sont brièvement décrites dans la section 1.5. Enfin, la section 1.6 présente l'organisation du reste du mémoire.

1.1. Présentation des réseaux maillés sans fil

Un RMSF consiste en un ensemble de routeurs et de passerelles qui sont interconnectés. Une passerelle est un routeur qui, en plus de ses fonctionnalités de routage, fournit aussi les fonctionnalités permettant la connexion à Internet. Les passerelles et les routeurs maillés forment l'infrastructure, aussi appelée réseau fédérateur (Backbone), qui permet la communication entre les clients du RMSF. Dans le cas des RMSF WiMAX, l'infrastructure est déployée à travers la technologie WiMAX, où les fonctionnalités des routeurs sont assurées par les stations membres de l'infrastructure, et les fonctionnalités des passerelles par les stations de base (Figure 1).

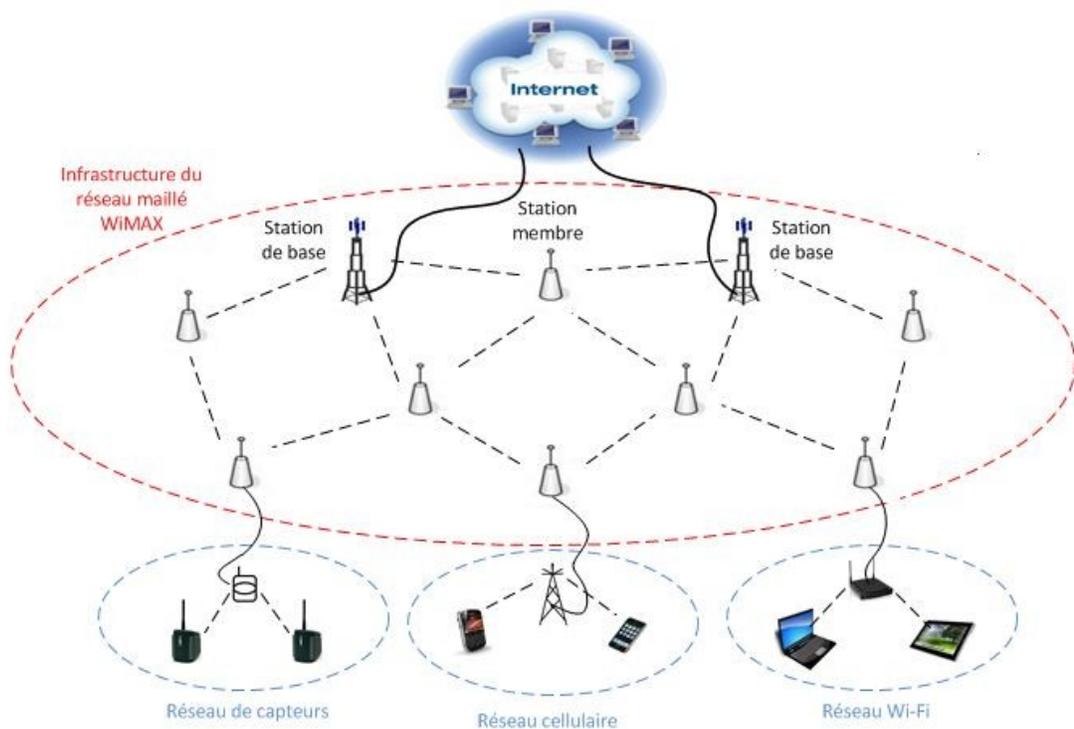


Figure 1 : Réseau maillé sans fil WiMAX.

L'architecture maillée est originaire de la recherche militaire. C'est une topologie où chaque hôte du réseau est connecté de proche en proche sans hiérarchie centrale. Cela permet d'éviter d'avoir des points sensibles. Si un hôte est hors service, ses voisins utiliseront un autre chemin pour faire passer le trafic. Comparé aux solutions centralisées classiques, un réseau maillé permet un déploiement rapide et simplifié vu qu'il est dynamiquement auto-organisé et auto-configuré. Les nœuds composant les RMSF établissent et maintiennent la connectivité maillée entre eux, et de par leur maillage, ils autorisent une grande évolutivité de couverture ainsi qu'une forte tolérance aux pannes. Ils réduisent ainsi significativement les coûts d'installation et d'exploitation du réseau [1]. Les RMSF, à travers leur potentiel, ont suscité l'intérêt de la communauté scientifique et industrielle, ainsi que les travaux de standardisation. L'Institut des Ingénieurs Électriciens et Électroniciens (IEEE) mène des travaux de standardisation pour les RMSF, notamment à travers les groupes 802.11 et 802.16 pour les technologies Wi-Fi et WiMAX respectivement. Les RMSF Wi-Fi sont une solution efficace pour des applications à petite envergure, comme les réseaux domestiques, communautaires et d'entreprises [1]. Les RMSF WiMAX, se présentent comme une solution efficace et économique pour promouvoir la connectivité dans des zones vastes (p.ex. zones éloignées ou mal desservies), surtout dans les pays pauvres où les moyens font défaut pour permettre la connectivité et l'accès à l'information pour la population [3], grâce à la longue portée de la technologie WiMAX. La recherche et le développement des RMSF WiMAX sont largement motivés par le potentiel de ce type de réseau ainsi qu'un grand marché prometteur. Les RMSF WiMAX permettent au trafic d'être acheminé par et entre les stations membres (Subscriber stations) sans devoir passer par un point central comme dans l'approche centralisée classique PMP (Point à Multi-Point). La station de base dans les RMSF WiMAX est le point de connexion du réseau à Internet [3]. Dans la suite de ce mémoire, l'appellation nœud va être utilisée pour désigner tout hôte composant l'infrastructure, que se soit une station de base ou une station membre.

1.2. Réseaux maillés sans fil et protocoles MAC

L'accès au canal, qui est déterminé par le protocole d'accès au canal au niveau MAC (Multiple Access; la couche 2 dans le modèle TCP/IP), a une influence majeure sur les performances des RMSF. Actuellement, deux types de protocoles d'accès au canal sont considérés pour les RMSF, à savoir, le protocole d'accès aléatoire et le protocole d'accès coordonné. L'accès aléatoire au canal, comme le cas du CSMA/CA utilisé dans le standard IEEE 802.11, éprouve une insuffisance traduite par l'incapacité de maintenir le niveau de service exigé par les opérateurs réseau dans des réseaux hautement chargés. Avec CSMA/CA, le trafic de chaque nœud peut être perturbé par les autres nœuds qui peuvent prendre la main sur le canal d'une façon aléatoire, et cela pose des problèmes pour le trafic en temps réel, comme celui de VoIP. La déficience de ce type de protocoles avec la haute compétition sur les ressources, qui caractérise les RMSF, a fait en sorte que ce type d'accès au canal a été délaissé dans les RMSF en faveur des protocoles d'accès coordonné comme TDMA (Time Division Multiple Access). Une approche MAC pour intégrer TDMA avec CSMA/CA afin de pallier aux lacunes de ce dernier a été proposée dans [2]. C'est ce qui explique le fait que TDMA a été normalisé pour les RMSF WiMAX depuis l'amendement IEEE 802.16-2004 dans un mode dédié, appelé « mode maillé ». Pour le Wi-Fi, le groupe IEEE 802.11 est entrain de travailler sur des variantes améliorées du CSMA/CA pour l'amendement IEEE 802.11s qui sera dédié aux RMSF [4].

Le protocole TDMA adopté par le standard IEEE 802.16 pour les RMSF offre l'accès planifié au canal grâce au multiplexage temporel. Ce mode de multiplexage permet la transmission de plusieurs signaux sur un seul canal. Son principe est de découper le temps disponible entre les différentes connexions. Ce protocole présente l'avantage de permettre le partage d'une fréquence porteuse unique entre plusieurs utilisateurs [6]. Il présente également l'avantage de pouvoir attribuer les slots de temps¹ sur demande. TDMA est utilisé par la Liaison 16 (Link 16) [5], qui est un standard militaire de liaison de données tactiques utilisé par les États-Unis et ses alliés. Pour les RMSF WiMAX, le standard IEEE 802.16 a adopté TDMA et a formulé les spécifications du contrôle des slots de temps ainsi que les mécanismes de réservation de ces slots. Cependant, les détails pour la gestion et l'allocation de ces ressources, slots de temps, n'ont pas été définies et restent un sujet de

¹ Un slot de temps, c'est la plus petite unité utilisée dans l'allocation de la bande passante, également appelé minislot ou data-slot en anglais.

recherche ouvert à des fins d'amélioration. Notre approche proposée dans ce travail rentre dans ce cadre de recherche, avec la particularité de fournir une meilleure gestion et allocation de ressources pour le trafic de VoIP.

1.3. Motivation

Les RMSF WiMAX ont l'avantage d'offrir un accès à large bande omniprésent pour un grand nombre d'utilisateurs sur des zones vastes de couverture, à un coût très économique. Le support de VoIP dans les RMSF WiMAX constitue un axe de recherche très important pour développer ce type de réseaux très prometteur. Les hautes exigences de QoS de VoIP constituent un défi majeur dans ce type de réseaux. Afin de pouvoir fournir le support nécessaire au trafic de VoIP, on a besoin de reconcevoir le traitement de QoS au niveau MAC dans les RMSF WiMAX. Vu l'importance et la grande influence de la planification des ressources sur l'efficacité de la couche MAC, et afin de pouvoir fournir les ressources nécessaires au VoIP, on s'est penché sur la conception d'une nouvelle approche pour permettre une meilleure allocation des ressources privilégiant le trafic de VoIP dans le but de permettre son support dans les RMSF WiMAX.

1.4. Problème de la qualité de service pour VoIP dans les réseaux maillés WiMAX

Un des atouts du standard IEEE 802.16 est l'intégration d'une gestion de QoS au niveau de la couche MAC. Le standard a défini des classes de services pour la gestion de QoS. Quant au mode maillé, ces classes ne sont pas configurables en raison des caractéristiques des RMSF. Ainsi, le standard a introduit trois paramètres définissables, pour la gestion de QoS dans le mode maillé, encapsulés dans une sous-entête MAC de 16 bits : (a) Le paramètre *Reliability* indique si le paquet peut être retransmis ou non; (b) Le paramètre *Priority* permet de définir la priorité pour savoir si un paquet en particulier doit être transmis avant un autre; et (c) Le paramètre *Drop Precedence* spécifie la probabilité d'écart lors de la congestion; les paquets avec des valeurs élevées de *Drop Precedence* sont plus susceptibles d'être écartés [7]. À travers ces trois paramètres inclus dans chaque paquet, le standard offre une capacité de gestion de QoS à base de paquet pour les RMSF. Ainsi, un tel mécanisme est suffisant pour déployer une différenciation de service (DiffServ) par saut. Les spécifications de QoS pour le mode maillé dans le standard ont été

limitées dans ces trois paramètres, et l'algorithme pour l'allocation des ressources à travers ces paramètres a été laissé comme sujet de recherche ouvert pour des fins d'amélioration [13] [14]. Une approche d'allocation de ressources à travers ces paramètres, en mode de planification distribuée, a été proposée dans [14]. Ces mesures de QoS offertes par le standard peuvent être adéquates pour répondre aux besoins du trafic de données, par contre la problématique de QoS pour VoIP est particulière. La transmission de la voix attend de son moyen de transport autre chose que la transmission de données classiques comme les fichiers, messages, transactions, etc. Le trafic des données ne tolère aucune perte sous peine d'invalidité de ses données, alors qu'il est capable de tolérer une dérive importante en termes de durée d'acheminement ou latence, peu importe si un paquet arrive 100 ms en retard. Pour VoIP, c'est exactement l'inverse, 2% par exemple de perte de données de voix n'ont pas une grande influence sur la qualité de la voix, alors qu'en revanche, une variation fréquente de 100 ms sur le délai est catastrophique sur la qualité et rend le service inutilisable. Suite à cette grande sensibilité au délai de VoIP et son influence sur la qualité psycho-acoustique d'une conversation, l'Union International des Télécommunications ITU recommande un maximum de 150 ms de latence pour un seul sens de flux de voix [12].

1.5. Contribution

Le trafic de VoIP est un trafic distinct qui a besoin d'un traitement particulier pour satisfaire sa QoS et pouvoir lui fournir le support nécessaire pour être applicable dans les RMSF WiMAX. À travers cette particularité qui caractérise le trafic de VoIP, le traitement de QoS offert par le standard se trouve incapable de fournir le support nécessaire pour VoIP. Cela revient principalement au fait que le traitement de QoS offert se fait à base de paquet et correspond à tout type de trafic. Dans notre travail, nous proposons une nouvelle approche pour le support de VoIP, où le trafic de VoIP sera traité d'une manière continue plutôt qu'à base de paquet afin de pouvoir palier au problème de la sensibilité au délai, et cela dans un mode de planification distribuée muni d'une planification continue assistée pour servir le trafic VoIP. Cette assistance est assurée par un nœud gestionnaire de VoIP doté d'une vision de l'état du trafic VoIP sur l'ensemble du réseau. Toute requête d'établissement de flux VoIP est traitée par le nœud gestionnaire; la requête est acceptée s'il y a assez de ressources disponibles. Cette façon de faire permet d'atteindre la meilleure allocation possible de ressources pour VoIP avec un établissement efficace de flux VoIP.

Cette approche se résume dans un protocole d'assistance à la planification pour VoIP. Le protocole sépare le traitement des requêtes d'établissement de flux VoIP des autres types de trafic. L'objectif est de fournir un traitement préférentiel et prioritaire pour VoIP, avec une attribution de ressources optimale pour pouvoir satisfaire ses strictes exigences en termes de QoS.

1.6. Organisation du mémoire

Le corps du mémoire est organisé comme suit. Dans le chapitre 2 nous passons en revue les travaux présentant l'état de l'art. Le chapitre 3 décrit notre contribution; plus spécifiquement, il présente les détails du protocole proposé. Le chapitre 4 présente l'évaluation du protocole proposé et le compare à l'approche proposée dans [19]. Enfin, le chapitre 6 conclut ce travail et présente des perspectives futures.

Chapitre 2 : État de l'art de la planification et du support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil WiMAX

Les RMSF WiMAX sont considérés, d'un point de vue des opérateurs réseaux, comme une alternative économique pour l'extension des infrastructures sans fil existantes car ils vont permettre d'épargner les coûts exorbitants de déploiement. Pour que les RMSF WiMAX puissent satisfaire aux attentes des opérateurs réseaux, ils doivent supporter tous les services intégrés qui sont déjà offerts sur leurs plateformes sans fil traditionnelles. Ces applications, dont VoIP fait partie, doivent être fournis avec le niveau de service (carrier grade) approprié. Dans ce chapitre, on va présenter d'abord la planification des ressources présentée dans le mode maillé du standard IEEE 802.16 qui est considéré comme un prototype d'état de l'art fournissant des mécanismes de gestion de QoS pour ce type de réseaux. Cette planification de ressources est déterminante pour les performances des RMSF WiMAX. On va présenter ensuite les contributions qui révèlent l'état de l'art pour le support de VoIP dans les RMSF WiMAX.

2.1 La planification des ressources dans les réseaux maillés sans fil WiMAX

La gestion de QoS, dans les RMSF WiMAX, est basée essentiellement sur la gestion des ressources. Une bonne gestion de ressources permet de fournir une QoS adéquate pour les différents types de trafic présents dans le réseau. Le standard a spécifié les mécanismes de réservation des ressources, tandis que les règles et les détails pour cette réservation et la gestion de l'allocation de ces ressources n'ont pas été définies. Les ressources dans les RMSF WiMAX sont traduites par les slots de temps qui composent l'axe du temps sous TDMA. Le mode maillé du standard IEEE 802.16 a spécifié la structure de l'axe du temps. Il a été présenté comme un ensemble de trames. La structure d'une trame est montrée dans la figure 2. Tous les nœuds du réseau sont synchronisés à travers la structure de cette trame pour leurs transmissions de contrôle et de données dans des slots de temps d'une durée fixe. La technique de codage OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est utilisée pour la transmission [7]. Chaque trame est composée de deux sous-trames, la sous-trame de contrôle pour la transmission des messages de contrôle, et la sous-trame de données pour la transmission des messages de données (Figure 2). Les

slots de temps utilisés dans la sous-trame de contrôle sont des slots de contrôle et ceux utilisés dans la sous-trame de données sont des slots de données.

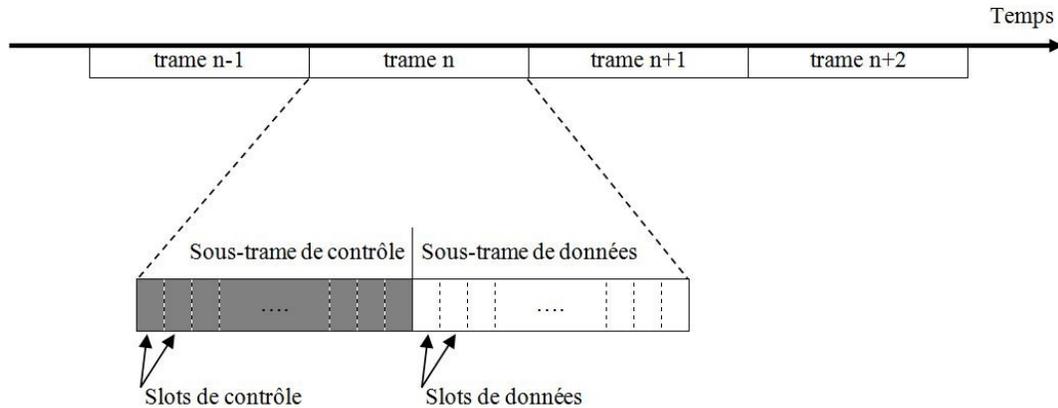


Figure 2 : Structure des trames dans le mode maillé IEEE 802.16.

Les sous-trames de contrôle sont utilisées principalement pour l'échange de contrôle destiné à la planification de l'allocation des ressources de la sous-trame de données. Une sous-trame de contrôle est attribuée périodiquement pour les échanges de contrôle destinés à la configuration et la maintenance du réseau. Les ressources de la sous-trame de données vont être utilisées par les nœuds selon ce qui a été planifié à travers les échanges des sous-trames de contrôle. Le standard a spécifié deux modes de planification de ressources pour les RMSF WiMAX : un mode de planification centralisé (Centralized scheduling) et un mode de planification distribué (Distributed scheduling).

2.1.1 La planification centralisée

Présentation de la planification centralisée

Dans ce mode de planification, l'attribution des slots de données est planifiée par la station de base. L'échange de contrôle pour ce mode de planification se fait entre nœuds et station de base à travers le message de contrôle de planification centralisée MSH-CSCH (Mesh Centralized Scheduling message). Cet échange se fait en deux poignées de main (two-way-handshake) : (1) le nœud envoie la requête (request) à la station de base; et (2) la station de base répond par un accord (grant). Pour ce mode centralisé, l'ensemble des

nœuds du réseau s'organise dans un arbre couvrant, dont la station de base fait la racine, appelé arbre de planification (voir Figure 3). La construction de l'arbre de planification ainsi que l'algorithme de planification exécuté dans sa racine sont deux facteurs déterminants pour la performance du réseau. Le standard IEEE 802.16 a laissé la conception de l'algorithme de planification un sujet de recherche/développement ouvert pour des fins d'améliorations. La construction de l'arbre couvrant se fait graduellement par les nouveaux nœuds intégrant le réseau. Le standard propose de se baser sur la force du signal perçu par le nouveau nœud afin de choisir son nœud parent parmi ceux qui l'entourent dans son voisinage [8].

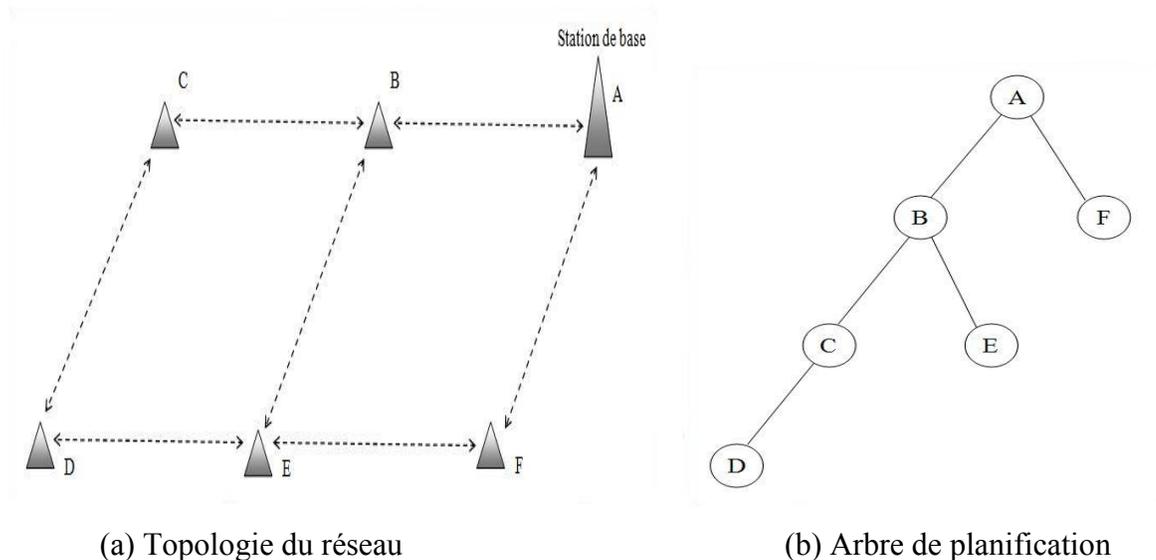


Figure 3 : Exemple d'arbre de planification pour une topologie de 6 nœuds.

La planification centralisée a été proposée par le standard pour le trafic internet (trafic entre les nœuds de RSMF et l'Internet) [9]. Elle planifie l'allocation des ressources seulement pour les liens qui composent l'arbre de planification, et les autres liens négocient l'utilisation des ressources par la planification distribuée [10].

Mécanisme de la planification centralisée

La planification centralisée se fait par périodes de planification. Ainsi, pour une période de planification donnée, il y a un mécanisme de planification qui s'exécute dans la sous-trame de contrôle durant sa période précédente pour planifier ses ressources.

Une période de planification entraîne deux stages (Figure 4):

- le stage du ramassage des requêtes à partir des nœuds vers la station de base; où chaque nœud de l'arbre de planification fait l'agrégation des requêtes de ses enfants jusqu'à la station de base.
- le stage de la distribution des accords à partir de la station de base vers les nœuds; où chaque nœud de l'arbre de planification fait la distribution des accords de planification à ses enfants.

Après avoir reçu les requêtes sous forme de messages de contrôle de planification centralisée (MSH-CSCH), la station de base exécute l'algorithme de planification pour décider la planification des ressources pour chaque nœud du réseau. Ensuite, elle retourne les décisions de planification, également sous forme de messages de contrôle de planification centralisée (MSH-CSCH).

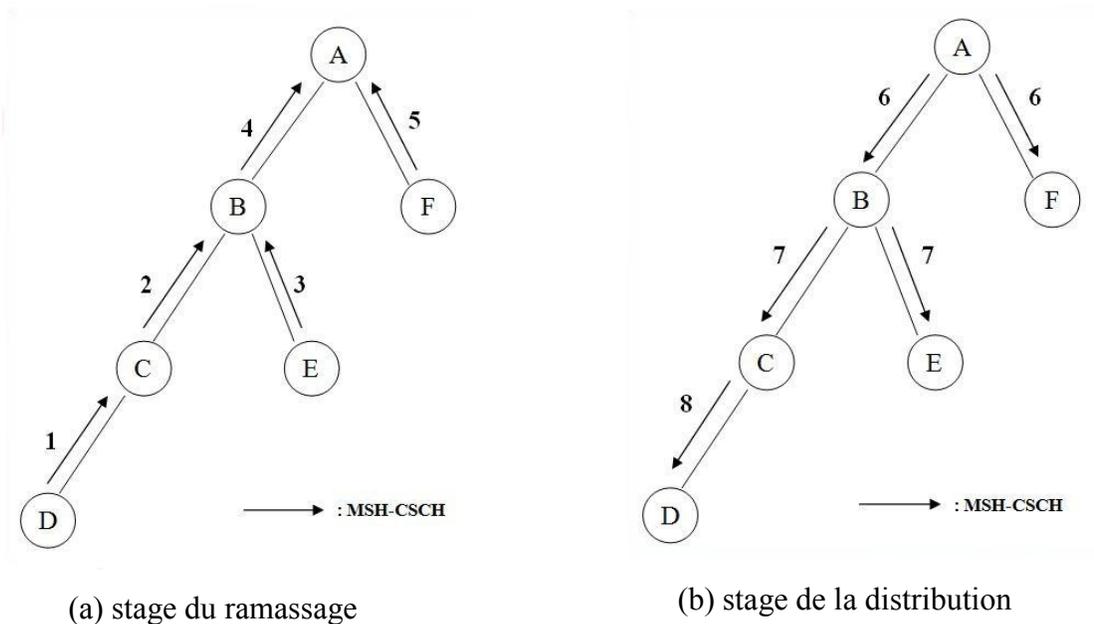


Figure 4 : Les deux stages d'une période de planification.

Ce mode de planification offre des bonnes performances avec cette gestion centralisée; cependant, la performance se dégrade considérablement avec l'augmentation du nombre de nœuds dans le réseau [10].

2.1.2 La planification distribuée

Présentation de la planification distribuée

Dans ce mode de planification, l'allocation des ressources n'est pas le rôle de la station de base. Les nœuds effectuent les négociations des ressources d'une façon distribuée, où chaque nœud négocie les ressources avec ses nœuds voisins directs y compris la station de base. Dans ce mode de planification, la station de base coordonne et négocie les ressources comme tout nœud du réseau; en plus, elle permet d'annoncer les paramètres de configuration du réseau et d'authentifier les nouveaux nœuds entrants dans le réseau [11].

Les négociations entre nœuds voisins se font à travers des échanges de message de contrôle de planification distribuée MSH-DSCH (Mesh Distributed Scheduling message). Cet échange de contrôle entre nœuds voisins se fait en trois poignées de main (three-way-handshake), requête-accord-confirmation, comme le montre la figure 5. Ces négociations de ressources permettent aux nœuds de planifier les ressources entre eux et d'écartier les interférences en évitant de transmettre simultanément dans un intervalle de voisinage de deux sauts.

Mécanisme de la planification distribuée

Quand un nœud a des paquets à transmettre (nœud demandeur : (Requester)), il envoie une requête REQ (Request), encapsulée dans un MSH-DSCH, vers son voisin destinataire (Grantter). Cette requête inclue les ressources demandées; elle formule la quantité de ressources (slots) et la position de début de ces ressources.

Après avoir attendu un temps prédéfini, si le nœud demandeur ne reçoit pas un accord GNT (Grant), il va reformuler sa requête, en changeant les positions des slots demandés, et l'envoyer à nouveau, en espérant trouver les ressources disponibles pour cette nouvelle formulation de demande.

Il faut noter que tous les nœuds voisins reçoivent la requête du nœud demandeur (nature du canal de transmission partagé). À la réception d'une requête, chaque voisin (autre que le nœud destinataire) marque les ressources demandées, dans la requête, comme des ressources non disponibles afin d'éviter une éventuelle utilisation des mêmes ressources (par le voisin) et produire des interférences.

Le nœud destinataire, après la réception d'une requête REQ, il consulte ses ressources. S'il trouve les ressources demandées disponibles, il répond au demandeur par

un accord GNT. Les nœuds voisins du nœud destinataire reçoivent également GNT et marquent les ressources accordées comme des ressources non disponibles afin d'éviter une éventuelle utilisation des mêmes ressources et produire des interférences.

Après la réception de GNT, le nœud demandeur, envoie une confirmation CONF au destinataire pour finir cet échange d'une négociation réussie. Les voisins du demandeur reçoivent la confirmation CONF et marquent les ressources comme non disponibles. La figure 5 montre le mécanisme de négociation pour la planification distribuée.

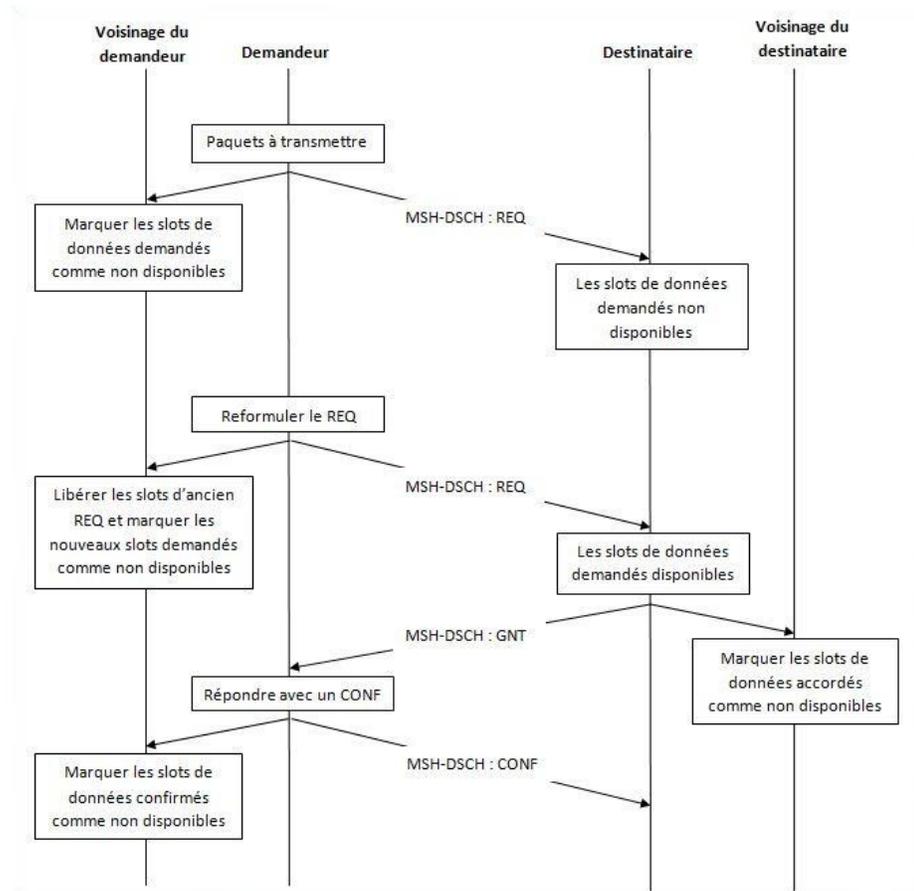


Figure 5 : L'échange du contrôle pour la planification distribuée.

Avec cet échange de contrôle distribué, il n'y a pas de périodes de planification qui organisent ces échanges. Les nœuds exécutent un algorithme de réservation/planification distribué pour un échange de contrôle sans interférence. Ce mode de planification est moins performant que le centralisé; cependant, il offre une meilleure extensibilité (passage à l'échelle) au réseau [10].

2.2 Le support de VoIP dans les réseaux maillés sans fil WiMAX

VoIP est demeuré un défi de recherche pour les réseaux sans fil classiques jusqu'à un passé récent. Des travaux [15, 16] sur le support de VoIP dans les réseaux sans fil WiMAX classique (Point à Multi-point) ont été menés récemment. Par exemple, le travail dans [15] a fourni une étude d'évaluation des performances de VoIP lorsque la différenciation de service est employée en présence de quantités significatives de trafic de fond; l'étude a été menée sur un banc d'essai de WiMAX fixe. Dans les RMSF WiMAX, le support de VoIP demeure toujours un défi majeur. Les travaux de support de VoIP dans les RMSF ont été menés principalement dans le contexte des RMSF Wi-Fi. Cependant, en raison des différences entre les mécanismes de la sous couche MAC, les contributions dans le contexte des RMSF Wi-Fi ne peuvent pas être directement appliquées dans les RMSF WiMAX. Malgré la multitude des travaux [13, 14] qui ont été réalisés dans le contexte de QoS dans les RMSF WiMAX, peu d'entre eux ont considérés spécifiquement le support de VoIP. Les auteurs dans [17] ont présenté une étude d'analyse de performances dans les RMSF WiMAX; plus particulièrement, ils ont étudié/évalué le support de service en temps réel dans le contexte du mode maillé du standard IEEE 802.16 (WiMAX). Ce travail a démontré que la performance et l'extensibilité sont des objectifs discordants dans les RMSF WiMAX. En effet, les auteurs ont conclu que la haute performance et l'extension du réseau ne peuvent pas être optimisées en même temps puisque l'amélioration d'une des deux, ne peut se réaliser sans compromettre l'autre. Cette étude a été accomplie dans un contexte de planification centralisée qui offre des meilleures performances par rapport au contexte de planification distribuée. Deux travaux plus récents [18, 19] ont abordé directement le trafic de VoIP; ils ont formulé des propositions dans le contexte de planification distribuée pour servir le trafic de VoIP. Le travail dans [18] a introduit un protocole, appelé EBRP (End-to-End Bandwidth Reservation Protocol), pour la réservation de la bande passante de bout en bout sur tout le chemin pour un flux de trafic donné. La proposition, appelé Application-aware scheduling for VoIP [19], consiste en une planification astucieuse et sur mesure pour VoIP; qui prend en considération la nature et les caractéristiques de l'application

génératrice du trafic de VoIP afin de pouvoir fournir une réservation de ressources adéquate.

2.2.1 La réservation des ressources du bout en bout (EBRP)

2.2.1.1 Présentation

Le travail dans [18] a abordé le support de VoIP dans le contexte de planification distribuée qui permet une bonne extensibilité du réseau. Afin d'affronter le problème des performances pour pouvoir satisfaire les hautes exigences en termes de QoS, il a introduit la notion de la réservation des ressources de bout en bout. Ce schéma de réservation des ressources puise ses concepts de base des protocoles standards pour la réservation des ressources dans les réseaux IP, tel que RSVP [20] à la différence que EBRP agit au niveau de la sous couche MAC du réseau maillé WiMAX; par conséquent, la réservation des ressources à travers EBRP sera naturellement plus efficace et va permettre d'écartier la surcharge (Overhead) induite par les réservations basées IP au niveau de la couche supérieure. L'idée de base d'EBRP est de se servir de l'accès aux slots de contrôle pour placer une réservation de ressources de bout en bout (de la source à la destination de flux en question) pour toute la durée du flux. Une phase d'établissement doit être menée par EBRP avant de commencer la transmission des paquets de ce flux, comme montré dans la figure 6 (extraite de [18]). La phase d'établissement de flux se divise à son tour en deux étapes : (1) Une première étape d'établissement de flux utilise un message de contrôle appelé message de chemin (PATH message); et (2) une seconde étape d'établissement de flux utilise un message de contrôle appelé message de réservation (RESV message). Tout d'abord, le nœud générateur d'un nouveau flux transmet un message de chemin (PATH) vers le nœud destinataire de ce flux ; le PATH passe par tous les nœuds intermédiaires tout au long du chemin à la destination. Il recueille l'identificateur de chaque nœud traversé sur son chemin ; cette information est nécessaire à l'étape suivante d'établissement de flux. Une fois que le nœud destinataire final de flux aura reçu le PATH, il entame la seconde étape en retournant un message de réservation (RESV) vers le nœud générateur du flux. Le RESV est routé à travers le même chemin qui a été traversé par le PATH grâce aux identificateurs des nœuds qui ont été encapsulés dans le PATH pendant la première étape. A la réception de RESV, chaque nœud composant le chemin de flux exécute un processus du contrôle

d'admission pour vérifier s'il a les ressources nécessaires pour effectuer les réservations correspondantes à ce nouveau flux.

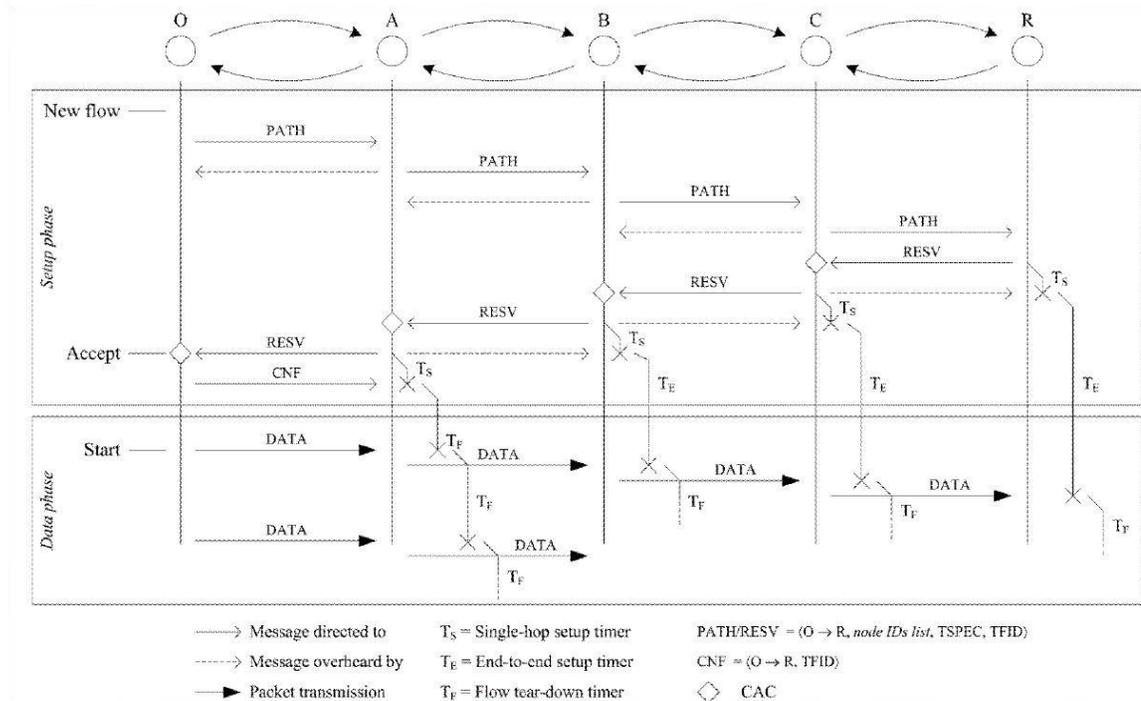


Figure 6 : Exemple de réservation de bout en bout pour un chemin de 4 sauts.

Chaque nœud utilise deux compteurs du temps (Timer), T_S et T_E , pour pouvoir détecter un éventuel avortement d'établissement de flux. Un échec d'établissement de flux est dû à un échec de réservation déclenché par le processus du control d'admission d'appel au niveau d'un nœud composant le chemin désigné pour ce flux. Le compteur du temps T_S (Single-hop setup timer) est utilisé par un nœud pour détecter un échec d'admission de flux engendré par un voisin d'un seul saut. Il est déclenché quand le nœud envoie un RESV, et arrêté quand le nœud reçoit le RESV envoyé par son voisin au voisin suivant. Le nœud générateur ne renvoie pas le RESV vu qu'il est le destinataire final du message; cependant, il retourne un message de confirmation CNF. Le compteur du temps T_E (End-to-end setup timer) est utilisé, par un nœud, pour détecter un échec d'admission de flux au-delà du voisin d'un seul saut. Il est déclenché quand le voisin d'un seul saut renvoie le RESV, et arrêté quand le nœud reçoit le premier paquet du flux de données. Si un des deux compteurs

de temps arrive à expiration, le nœud va déduire que l'établissement du flux a échoué, et il libère immédiatement les ressources qui ont été réservées pour ce flux. Après que la phase d'établissement de flux de données soit couronnée de succès, le nœud générateur du trafic commence la transmission. Dans cette phase de transmission de données, un compteur de temps T_F (Flow tear-down timer) est utilisé au niveau de chaque nœud afin de détecter la fin de flux. Il est réinitialisé à chaque réception de paquet de flux. Si le T_F arrive à expiration, le nœud déduit que le flux de trafic est terminé, et libère immédiatement les ressources qui ont été réservées pour ce flux.

2.2.1.2 Analyse

L'approche de réservation des ressources, continuellement sur tout le chemin du flux, formulée dans EBRP permet de prioriser le trafic de VoIP. Cette conception de réservation a l'avantage de pouvoir abrégé toutes les négociations nécessaires en une phase préalable à la transmission appelée phase d'établissement de flux. Ainsi, le délai introduit par les négociations répétées des ressources va être écarté. Ceci est très important pour le support de VoIP dans ce type de réseaux.

Il n'en demeure pas moins que le travail a négligé deux problèmes de MAC face au traitement de VoIP. Le problème du délai supplémentaire causé par les échecs potentiels des trois poignées de main (Three-way-handshake) pendant les négociations des ressources, et le problème de la sous-utilisation des ressources, qui est lié à la nature du trafic de VoIP. La réservation continue offerte par le mode maillé du standard IEEE 802.16 se définit par la réservation des mêmes slots de données sur toutes les futures trames de données dans l'axe du temps; dans ce cas, la transmission du trafic de VoIP n'utilise qu'une partie de ces ressources réservées. Cela est dû à la nature du trafic de VoIP, qui génère des petites quantités de données d'une façon périodique.

L'admission d'un nouveau flux est gérée par une procédure de contrôle d'admission d'appel qui doit être exécutée, au niveau de chaque nœud composant le chemin, pendant la phase d'établissement de flux pour décider son admission. Cette procédure d'admission d'appel a été conçue en exigeant la connaissance complète de la topologie du réseau par tous les nœuds du réseau. Alors que réellement, dans ce type de réseaux offrant l'avantage d'auto-configuration et d'auto-organisation dynamique des nœuds et qui permet une grande flexibilité d'extension, la connaissance complète de la topologie du réseau reste une exclusivité de la station de base. Outre la topologie du réseau, pour qu'une procédure du

contrôle d'admission d'appel soit efficace et reflète réellement la capacité d'admission, elle a besoin également de connaître l'état du trafic dans le réseau pour pouvoir assurer une prise de décision ajustée et efficace. Le travail a évalué que les performances du système dépendent du choix de la séquence des nœuds entre la source du trafic et sa destination, autrement dit, le chemin de flux de VoIP. Il a proposé cette question comme une problématique pour des futures recherches.

2.2.2 L'allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP (Application-aware scheduling for VoIP)

2.2.2.1 Présentation

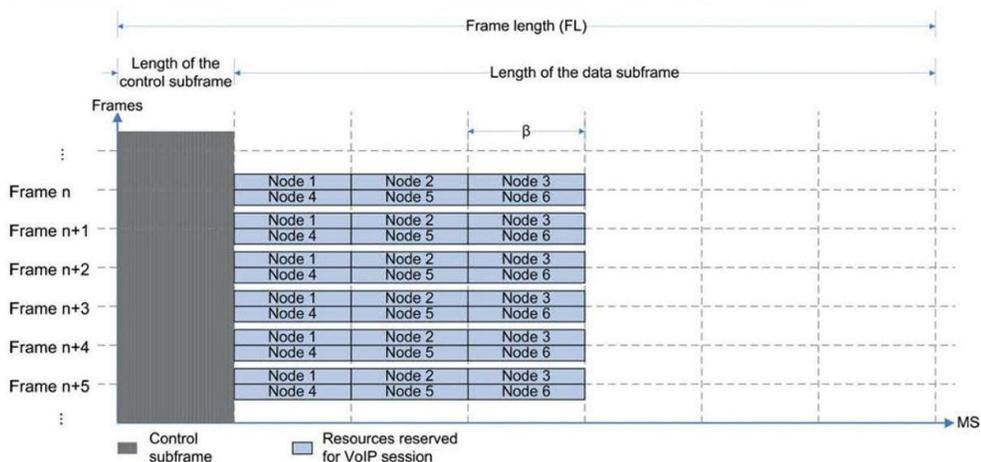
Le travail dans [19] a introduit un schéma d'allocation de ressources pour le trafic de VoIP dans le contexte de la planification distribuée. Ce schéma d'allocation de ressources permet une planification continue plus efficace. Il est fondé sur la considération de deux éléments dans l'allocation de ressources ; (1) les caractéristiques de VoIP et (2) la position des nœuds composant le chemin du trafic de VoIP.

Ce travail classe la planification de ressources en deux catégories : planification sur demande et planification continue. Il a conclu que la planification sur demande n'est pas adaptée pour le support du trafic de VoIP. Cela revient principalement aux négociations répétées des ressources impliquées par ce type de planification au cours des transmissions du trafic, ce qui cause une augmentation énorme du délai. Le travail a subdivisé la planification continue, à son tour, en deux schémas de planification : planification continue non coordonnée et planification continue coordonnée. La planification continue non coordonnée a pour objectif d'attribuer toujours les premiers slots disponibles dans une trame de donnée. Elle consiste à choisir les premiers slots libres dans la trame de données sans considérer la position des slots déjà attribués au nœud voisin précédent sur le chemin du trafic de VoIP. Ce schéma d'allocation de ressources qui se désintéresse de la position du nœud en question dans la séquence composant le chemin du trafic, est permis grâce à l'exploitation de la distance de réutilisation de ressources². Contrairement à la planification non coordonnée, la planification continue coordonnée

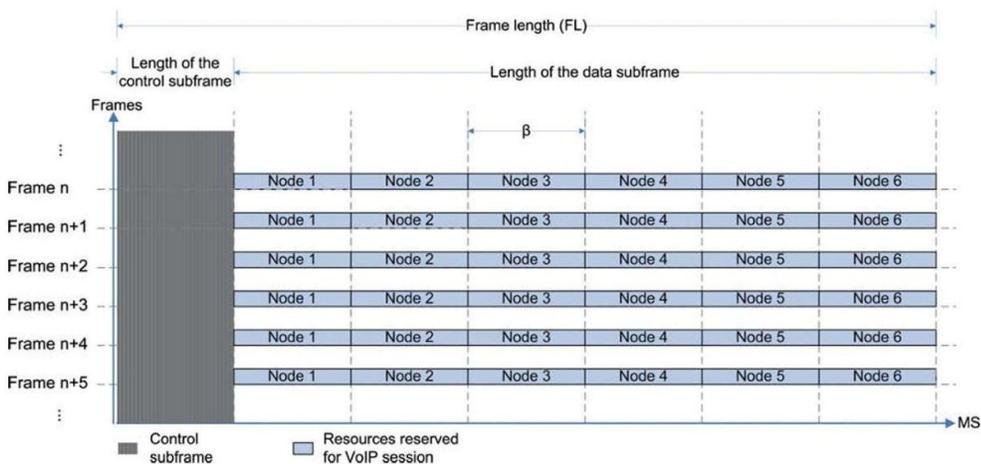
² La distance de réutilisation de ressources est définie comme la distance au-delà de deux sauts de voisinage, où deux nœuds séparés par une telle distance peuvent transmettre simultanément sans causer des interférences. En anglais appelée *reuse-distance*.

visé à attribuer les slots d'une façon ordonnée selon la position du nœud sur le chemin du trafic de VoIP. La règle dans ce schéma c'est de toujours attribuer les premiers slots libres aux premiers nœuds du chemin. La figure 7, extraite du [19], montre une attribution de slots de données, pour une topologie linéaire chaîne de sept nœuds selon ces deux schémas d'allocation de ressources; cette figure montre clairement le gain de ressources fourni par ce nouveau schéma de planification où le nœud 1 génère un trafic de VoIP destiné au nœud 7.

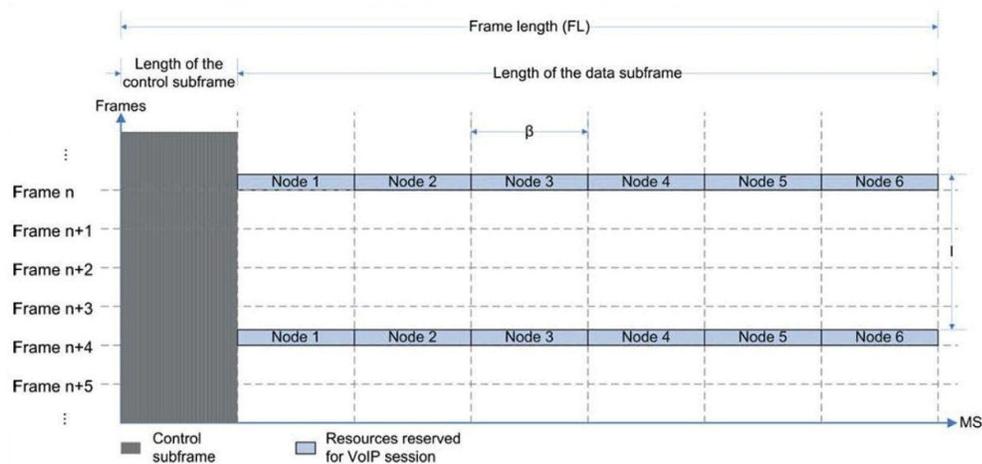
L'allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP [19], est un schéma de planification continue coordonnée avec l'avantage d'une planification ajustée aux besoins du trafic de VoIP. Cela permet de contourner la dilapidation de la bande passante provoquée par la planification continue. Ce gaspillage de ressources est causé par une sur-allocation des ressources au trafic de VoIP. En effet, la planification continue fait la réservation des mêmes slots sur toutes les trames et ceci indépendamment de la longueur des trames. Le trafic de VoIP est un trafic à taux d'échantillonnage fixe (Constant Bit Rate); il se génère périodiquement, en petits paquets, où la période présente le cycle du codec utilisé. Le schéma d'allocation proposé dans [19] introduit une planification continue ajustée à la spécificité du trafic de VoIP. Donc, au lieu de réserver les ressources continuellement sur toutes les trames, il effectue les réservations seulement sur les trames qui correspondent à la génération du trafic de VoIP. Autrement dit, la réservation va être faite à base de cycle du codec utilisé. Si on applique l'approche de ce schéma sur le codec G.711 [21], qui a été adopté comme une norme de compression audio par l'Union International des Télécommunications ITU, on va avoir un paquet de VoIP généré chaque 20ms. Donc, si on choisit une trame de durée de 4ms (le cas lors d'une configuration de taille du canal à (3.5, 7, ou 10) Mhz [11]), nous allons effectuer une réservation de ressources dans une trame sur cinq. De cette façon, nous allons pouvoir épargner environ 80% des slots de données requis pour servir VoIP.



Possible resource allocation for the uncoordinated resource coordination scheme based on a simple chain topology with 7 nodes



Possible resource allocation for the coordinated resource coordination scheme based on a simple chain topology with 7 nodes



Possible resource allocation for the VoIP-aware resource coordination scheme based on a simple chain topology with 7 nodes

Figure 7 : Allocation de ressources selon les 3 schémas de planification continue.

Le travail [19] a évalué les performances de son approche à travers des simulations comparatives, qui ont montré que l'allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP surpasse largement les deux autres schémas de planification continue en termes de nombre de sessions de VoIP supportables ainsi que la tolérance de coexistence à d'autres types de trafic dans le réseau. Les résultats de simulations montrent que l'allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP offre des performances inférieures en termes de délai, de gigue et de taux d'erreur par rapport aux planifications continues coordonnées et non coordonnées. Cela revient à la faible acceptation de sessions par ces deux schémas de planification continues, engendrant moins de compétition sur les ressources dans le réseau. L'ampleur de l'amélioration apportée par ce travail, qui s'est dirigé vers l'allocation optimale des ressources, nous a convaincu de l'intérêt de continuer sur le même chemin afin de pouvoir surmonter les défis de QoS pour VoIP dans RMSF.

2.2.2.2 Analyse

Le schéma d'allocation coordonnée des ressources suivant les caractéristiques du trafic de VoIP offre une utilisation efficace des ressources qui permet d'accepter beaucoup plus du trafic de VoIP. Cette amélioration est très importante pour promouvoir VoIP et permettre son support dans les RMSF WiMAX. Cependant, le choix de chemin de la source à la destination, et le problème du délai introduit par les échecs potentiels des négociations des ressources (trois poignées de main) n'ont pas été considérés; l'influence de ces deux éléments (chemin et échec de négociation) n'a pas été évaluée/abordée [19].

2.2.3 Synthèse

Les travaux présentés dans [18] et [19] représentent l'état de l'art pour le support de VoIP dans les RMSF WiMAX dans le contexte de planification distribuée. Les auteurs [18] ont présenté un travail qui s'est intéressé à l'évaluation de la phase d'établissement de flux. Les résultats de simulations ont été abrégés dans deux métriques, qui sont la probabilité de blocage d'établissement de flux par la procédure de contrôle d'admission d'appel, et le délai d'établissement de flux. L'approche présentée dans [19] s'est intéressée à l'évaluation de QoS des sessions établies. Ces deux travaux ont approché le support de VoIP à partir de deux angles différents; ils se complètent et se rejoignent sur l'idée de l'indispensabilité d'adoption de la planification continue pour pouvoir servir VoIP. Aucun de ces travaux

n'a couvert la question du choix de chemin du trafic de VoIP pour des fins d'amélioration de l'utilisation des ressources et d'évaluer ainsi son influence sur les performances du réseau. Le problème des échecs des trois poignées de main pendant les négociations de ressources n'a pas été abordé également dans ces travaux, alors qu'il a une grande influence sur le délai d'établissement de sessions de VoIP, notamment lorsque les ressources deviennent rares; ce problème se manifeste intensément lorsque le réseau devient relativement chargé. Une telle baisse de disponibilité de ressources dans le réseau, est naturelle notamment pour les RMSF WiMAX; ceci implique de plus en plus d'échanges de contrôle inefficaces (échecs de négociations) pour l'établissement d'un flux. En outre, cela peut se produire sur tous les nœuds de chemin sans aucune garantie d'établissement du flux. Ces échanges de contrôle inefficaces, comme le montre la figure 8, augmentent avec la dégradation de disponibilité des ressources dans les sous-trames de données, et gaspillent énormément les ressources dans les sous-trames de contrôle, à cause de ces échanges de contrôle excessifs. Tout cela diminue considérablement les performances du réseau, et inflige une latence déraisonnable sur le délai d'établissement de sessions.

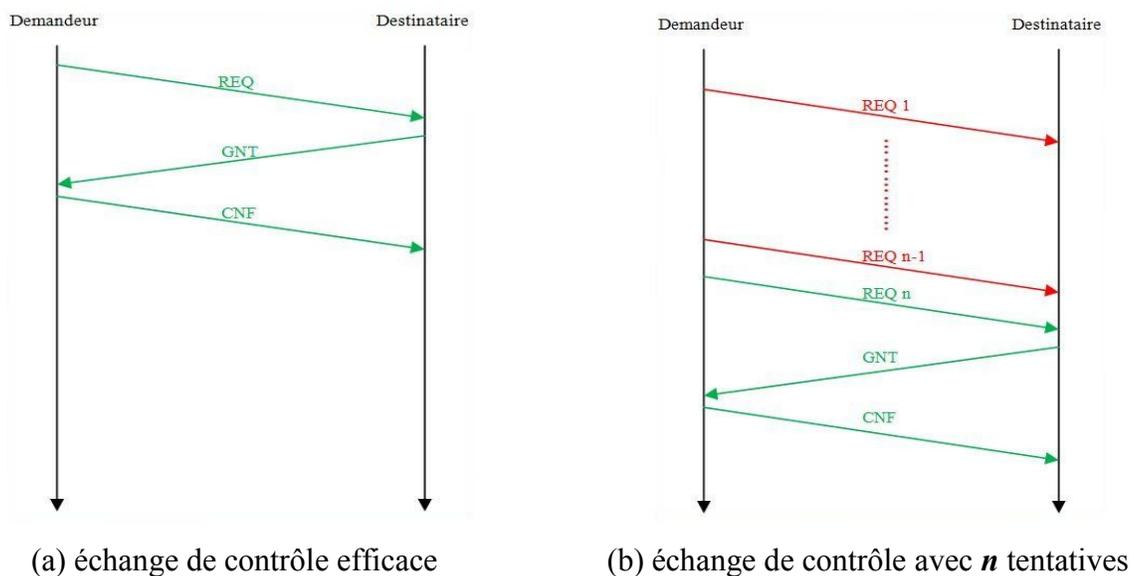


Figure 8 : Négociation de ressources idéale et négociation de ressources étendue.

Notre solution présentée dans le chapitre suivant entre dans le cadre des mécanismes d'allocation de ressources. C'est une approche conçue pour résoudre les limites des approches existantes. Plus précisément, notre approche propose une solution pour choisir les chemins des flux de VoIP et éliminer les échanges inefficaces de contrôle (échecs de négociations) avec l'objectif d'une utilisation efficace des ressources (accepter plus de flux de VoIP).

Chapitre 3 : Protocole de planification assistée pour VoIP (Assisted VoIP Scheduling Protocol : AVSP)

Dans ce chapitre, on va introduire un nouveau protocole, baptisé AVSP, conçu pour le support de VoIP dans les RMSF WiMAX. Ce protocole est un enchaînement sur les travaux décrits dans le chapitre précédent. Donc, il est destiné pour agir dans le cadre de la planification distribuée, afin de permettre une meilleure extensibilité du réseau, et en adoptant également la planification continue pour servir VoIP. Il repose sur l'idée d'avantager le trafic de VoIP parmi les autres types de trafic, en fournissant une assistance à la planification de VoIP afin de parvenir à atteindre une exploitation maximale de ressources pour le support du trafic de VoIP. En outre, cette approche d'assistance va apporter des améliorations majeures à la planification continue. Elle va pouvoir contourner le problème de surcharge d'échanges pendant les négociations de ressources, notamment dans un état de réseau relativement chargé. Elle va permettre également de désigner le chemin de session de VoIP (i.e. décider la séquence de nœuds composants le chemin) d'une façon à procurer un équilibre de charge équitable dans l'ensemble du réseau et à pouvoir établir le plus possible de sessions de VoIP. L'autre amélioration qui n'est pas moins importante, est l'exclusion de la rivalité sur les ressources entre VoIP et les autres types de trafic ou trafic du fond. Cela est grâce à la conception de séparation des ressources allouables au VoIP de celles allouables au trafic du fond. Le reste du chapitre va exposer ces points avec plus de détails à travers la présentation d'AVSP.

3.1 Le fondement d'AVSP

Une planification continue, de par sa continuité de réservation, est onéreuse en termes d'occupation de ressources. Elle occupe continuellement les ressources sans prédétermination de limite temporelle; et la libération de ces ressources est entraînée une fois le flux ou la session de VoIP prend fin. Ceci influence négativement la flexibilité et la capacité d'allocation de ressources pour les besoins ultérieurs de ressources, et ca aggrave vivement le problème de surcharge d'échanges de contrôle pour les négociations de ressources. C'est pourquoi on doit manipuler soigneusement la planification continue afin de pouvoir espérer une exploitation maximale des ressources du réseau. Pour bien gérer tout cela, on distingue deux types de planification dans notre approche : (1) la

planification continue qui va être exploitée uniquement pour servir le trafic de VoIP; et (2) la planification sur demande pour servir les autres types de trafic. AVSP offre une meilleure gestion de ressources, où chaque nœud source du trafic de VoIP doit se munir des bons paramètres de planification continue avant de procéder à l'ouverture d'une session de VoIP. Pour ce faire, le nœud source du trafic de VoIP va être assisté par un nœud gestionnaire de VoIP (VMN) qui peut être, idéalement, la station de base qui jouit de la faculté de connaître le réseau au-delà de son proche voisinage. VMN assure le contrôle sur la planification continue et fournit une bonne gestion d'établissement de sessions de VoIP à travers des décisions éclairées de paramètres d'établissement de session (p.ex., le chemin de la source à la destination et les slots à réserver dans les nœuds qui composent le chemin). La fonction de contrôle d'admission d'appel est également incluse dans les tâches du VMN à travers sa mission de gestion de VoIP. Pour réaliser cette mission, VMN doit se munir, pour son algorithme, d'une structure de données représentant l'état d'appropriation des ressources du réseau par la planification continue. Cette structure, appelée table de gestion de VoIP, doit être maintenue continuellement à jour par VMN, à chaque accord d'établissement de session de VoIP. Afin que cette table de gestion de VoIP puisse exposer l'image de la planification continue dans le réseau, on a besoin de synchroniser davantage l'ensemble des nœuds du réseau, non simplement à base de trame, mais encore à base de cycle du codec générateur du trafic de VoIP.

3.2 Les mécanismes d'AVSP

La planification de ressources par AVSP se divise en deux phases : (a) phase de gestion des ressources pour VoIP : qui est un échange de contrôle entre le nœud source de VoIP et VMN pour se procurer les paramètres d'établissement de session; et (b) phase de réservation des ressources pour VoIP : qui est un échange de contrôle tout au long du chemin de VoIP pour la réservation des ressources nécessaires pour l'établissement de session. Cette conception de planification est particulière pour VoIP, car elle exclut complètement les négociations de ressources pour le trafic de VoIP. AVSP exécute les étapes suivantes pour la planification continue:

1. Le nœud source du trafic de VoIP (utilisateur) transmet une requête d'établissement de VoIP (VoIP Setup Request) VS-REQ au VMN.

2. A la réception de VS-REQ, VMN exécute un algorithme (voir Section 3.3.3) pour vérifier s'il y a assez de ressources pour supporter la demande. Si la réponse est oui, VMN envoie une confirmation, VS-GNT (VoIP Setup Grant), qui contient les paramètres qui régissent l'établissement de cette nouvelle session de VoIP.
3. A la réception de VS-GNT, l'utilisateur entreprend la phase de réservation de VoIP. Il extrait les paramètres de VS-GNT pour construire une requête de réservation de VoIP, VR-REQ (VoIP Reservation Request) et la transmet au nœud suivant identifié dans VS-GNT. En effet, VS-GNT inclut les nœuds du chemin, déterminé par VMN, de l'utilisateur à la destination.
4. Chaque nœud, qui reçoit un VR-REQ, performe la réservation de ressources requise (paramètres de réservation sont dans VR-REQ), et envoie VR-REQ au nœud suivant. Chaque nœud composant le chemin (utilisateur-destination) exécute cette étape.

La réservation de ressources pour VoIP sous AVSP se fait sans négociation de ressources et à travers des échanges de deux poignées de main au lieu de trois (Figure 9).

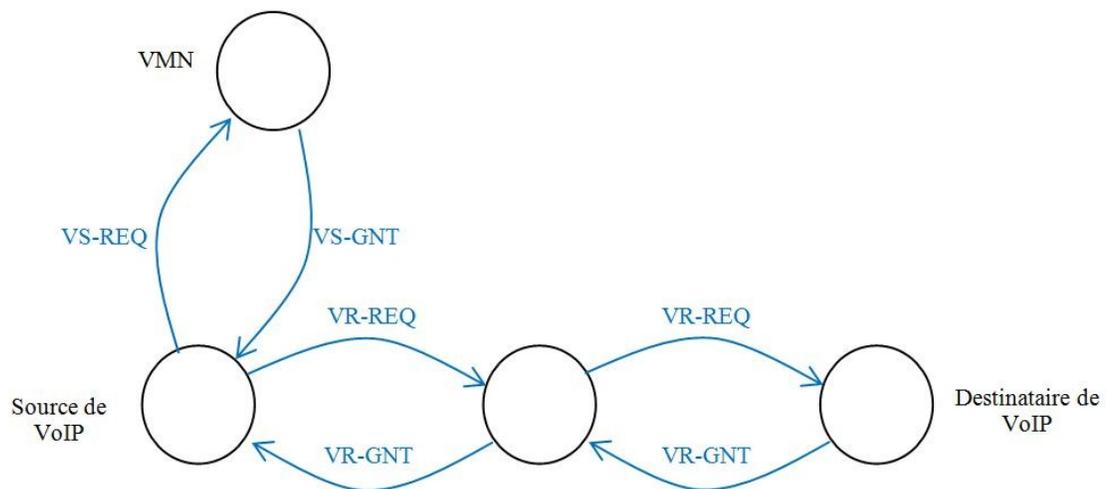


Figure 9 : Les échanges de contrôle pour VoIP sous AVSP.

3.3 Les détails d'AVSP

La mise en œuvre de ce nouveau protocole nécessite quelques adaptations, au niveau MAC, qui se résument dans l'introduction d'une nouvelle information élémentaire dédiée au VoIP, ainsi que deux algorithmes, à savoir l'algorithme de traitement de VoIP qui s'exécute au niveau de tous les nœuds du réseau sans exception, et l'algorithme de gestion de VoIP (VoIP Manager) VoIPM qui s'exécute au niveau de VMN exclusivement. Ce sont les trois composantes d'AVSP.

3.3.1 L'information élémentaire de VoIP

En mode de planification distribuée, les transmissions de données sont coordonnées d'une manière distribuée à travers la communication des informations élémentaires par le biais des échanges du MSH-DSCH (Figure 10) entre nœuds voisins. Du fait que le MSH-DSCH est transmis en diffusion (broadcast) et que le canal utilisé par la sous-trame de contrôle est unique, tous les nœuds voisins le reçoivent; ainsi les informations élémentaires contenues dans un MSH-DSCH peuvent être communiquées à plusieurs nœuds en même temps. Ceci permet la mise en place des mécanismes d'échanges pour la planification de ressources. Selon le standard IEEE 802.16, le MSH-DSCH (implémenté dans le module WiMsh³) encapsule quatre types d'informations élémentaires (Figure 10); notons que trois de ces informations élémentaires sont destinées à la négociation de ressources, à savoir le reqIE et l'avIE pour les requêtes, et le gntIE pour les accords et les confirmations. Le nghIE contient l'information qui s'échange entre nœuds voisins pour des fins de coordination et d'exécution de l'algorithme d'élection.

³ WiMsh est un module de simulation à intégrer au simulateur NS2 pour permettre la simulation des réseaux maillés sans fil WiMax. Il a été conçu par un groupe de chercheurs, dont C.Ciconetti et I. F. Akyildiz font partie. WiMsh a été conçu pour le mode de planification distribuée, et comprend toutes les contributions de ses concepteurs, dont FEBA [14] fait partie. Notre approche présentée dans ce travail a été conçue pour ce module de simulation.

<i>les champs du MSH-DSCH :</i>							
src	nseq	nnggh	nreq	navl	ngnt	myself	allocationType
<i>les informations élémentaires encapsulées dans le MSH-DSCH :</i>							
avl : list<AvlIE>							
req : list<ReqIE>							
gnt : list<GntIE>							
ngh : list<NghIE>							

src : transmitter Nodeld, **nseq** : Sequence counter; **nnggh** : Number of advertised neighbors not including itself; **nreq** : Number of requests IEs; **navl** : Number of availabilities IEs; **ngnt** : Number of grants IEs; **myself** : Information on myself, about the distributed election mechanism (NghIE); **allocationType** : Allocation type. BASIC or CONTIGUOUS. Default = BASIC; **avl** : list of availabilities IEs; **req** : list of requests IEs; **gnt** : list of grants IEs; **ngh** : list of Neighbor coordination IEs.

Figure 10 : Le format du MSH-DSCH selon le standard IEEE 802.16.

Pour l'intégration d'AVSP, on a besoin d'utiliser cinq types d'informations élémentaires au lieu de quatre. On va avoir besoin également d'introduire un type d'information élémentaire propre à VoIP dans le MSH-DSCH, comme le montre la figure 11 où les champs additionnels sont en gras souligné. Le champ *voip* présente une structure liste contenant les informations élémentaires de VoIP, alors que le champ *nvoip* représente la taille de cette liste (le nombre d'informations élémentaires contenues dans cette liste) à l'image de tout autre type d'information élémentaire présent dans le MSH-DSCH. Cette information élémentaire est requise pour assurer tous les échanges de contrôle pour VoIP, que ce soit pour la phase d'établissement ou pour la phase de réservation des ressources. Les détails concernant la structure de l'information élémentaire de VoIP et son utilisation pendant les échanges de contrôle d'AVSP sont décrits dans la section suivante.

<i>les champs du MSH-DSCH :</i>								
src	nseq	nnggh	nreq	navl	nvoip	ngnt	myself	allocationType
<i>les informations élémentaires encapsulées dans le MSH-DSCH :</i>								
avl : list<AvlIE>								
req : list<ReqIE>								
gnt : list<GntIE>								
voip : list<VoipIE>								
ngh : list<NghIE>								

nvoip: Number of VoIP IEs ; **voip**: list of VoIP IEs introduced by AVSP protocol.

Figure 11 : Le format du MSH-DSCH supportant AVSP.

3.3.1.1 Les mécanismes d'AVSP et l'information élémentaire de VoIP

L'information élémentaire VoipIE introduite pour servir AVSP a été conçue pour servir tous les échanges de contrôle de VoIP. C'est une information binaire qui décide sa structure à travers son champ *vflag* de deux bits qui peut prendre quatre valeurs possibles pour présenter VS-REQ, VS-GNT, VR-REQ ou VR-GNT.

Comme mentionné précédemment, le protocole AVSP s'exécute en deux phases : phase d'établissement et phase de réservation. Chaque phase est accomplie en deux poignées de main; il y a deux types de messages de contrôle pour chacune des phases : VS-REQ et VS-GNT pour la phase d'établissement et VR-REQ et VR-GNT pour la phase de réservation; l'information élémentaire VoipIE est capable de définir ces 4 messages.

L'opération d'AVSP est exécutée comme suit :

- Le nœud source du trafic de VoIP crée un VS-REQ, montré dans la figure 12, avec des champs initialisés comme suit :

vflag : 00.

src : identificateur du nœud source de VoIP.

dst : identificateur du nœud destinataire de VoIP.

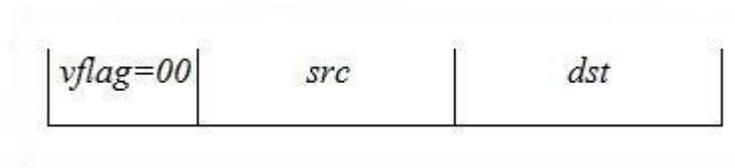


Figure 12 : La structure du VS-REQ.

- À partir de VS-REQ, le nœud gestionnaire de VoIP (VMN) traite la demande en exécutant VoIPM.

Si l'état de ressources dans le réseau permet l'établissement de cette nouvelle session de VoIP, VMN génère un VS-GNT, montré dans la figure 13, en utilisant les résultats de retournés par VoIPM :

vflag :11.

secId : l'identificateur de la session de VoIP, composé de 3 éléments concaténés (*src*, *dst*, un nombre séquentiel).

path : une structure Pile contenant les paramètres d'ouverture de session. Un élément de la pile *path* représente un nœud du chemin de la source à la destination; il est composé de deux champs : (1) *nodeId* : identificateur du nœud; et (2) *start* : la position, dans le cycle, du premier slot de la série de slots à réserver; ces champs représentent les paramètres d'établissement de la session pour un saut dans le chemin désigné.

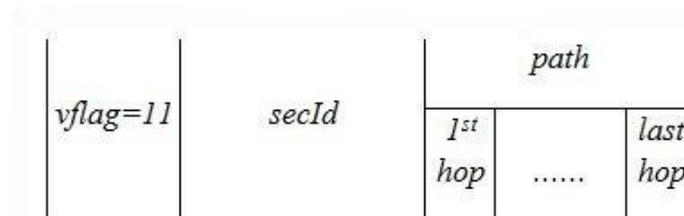


Figure 13 : La structure du VS-GNT.

- À partir du VS-GNT, le nœud source de VoIP crée un VR-REQ, montré dans la figure 14, comme suit :

- Il dépile la pile *path* pour extraire le *nodeId* de son prochain saut qui va recevoir le VR-REQ, ainsi que le *start* pour connaître les slots de données à demander auprès de ce nœud.
- Il établit ensuite le VR-REQ à partir du VS-GNT. Il définit le champ *vflag* et détermine les valeurs des champs du VR-REQ à partir de l'élément dépilé de la pile *path* comme suit :

Vflag : 01.

NodeId : le prochain nœud.

Start : la position du premier slot de la série des ressources à réserver.

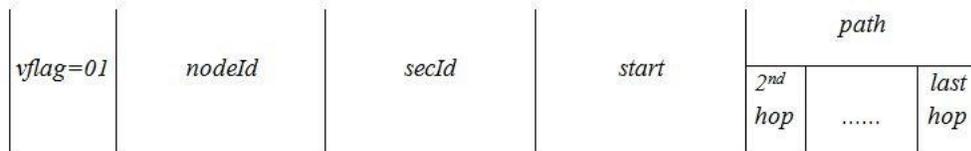


Figure 14 : La structure du VR-REQ.

Dès lors, le VR-REQ encapsule toutes les informations requises pour établir une réservation continue de ressources sur tout le chemin.

- Dès la réception de VR-REQ, un nœud composant le chemin de VoIP, répond instantanément par un VR-GNT, montré dans la figure 15. Il réserve ensuite, continuellement, la série de ressources depuis la position *start* de chaque cycle et met à jour le VR-REQ, pour le transférer au nœud prochain vers la destination; plus spécifiquement, il exécute les tâches suivantes :

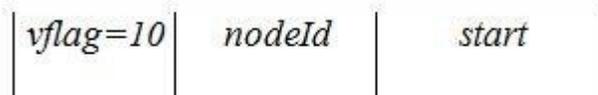


Figure 15 : La structure du VR-GNT.

- Il dépile le *Path* à son tour, pour extraire son prochain *nodeId* et son *start*.

- Il met à jour le *NodeId* et le *start* du VR-REQ à partir de l'élément dépilé de la pile *path*.
- Il renvoie le VR-REQ à son tour vers son prochain dans le chemin de VoIP, et ainsi de suite jusqu'à la destination.

3.3.2 L'algorithme du traitement de VoIP

L'algorithme du traitement de VoIP est la seconde composante MAC à intégrer pour supporter le protocole AVSP. Il est destiné à agir au niveau de tous les nœuds du réseau sans exception; il est conçu pour traiter VoipIE. Pour supporter AVSP, chaque nœud qui reçoit un MSH-DSCH doit consulter le champ *nvoip* pour vérifier la présence de VoipIE dans ce message de contrôle. Si le champ *nvoip* (nombre de VoipIE) est différent de zéro, le récepteur consulte la liste de VoipIE pour vérifier s'il est destinataire. Le cas échéant, il consulte le champ *vflag* pour déterminer le traitement approprié au VoipIE reçu (voir section 3.3.1.1). Le diagramme suivant (Figure 16) présente le fonctionnement de l'algorithme du traitement de VoIP avec plus de détails.

X: le nœud exécutant l'algorithme.
VMN: le nœud gestionnaire de VoIP.
VSN: le nœud source de VoIP.

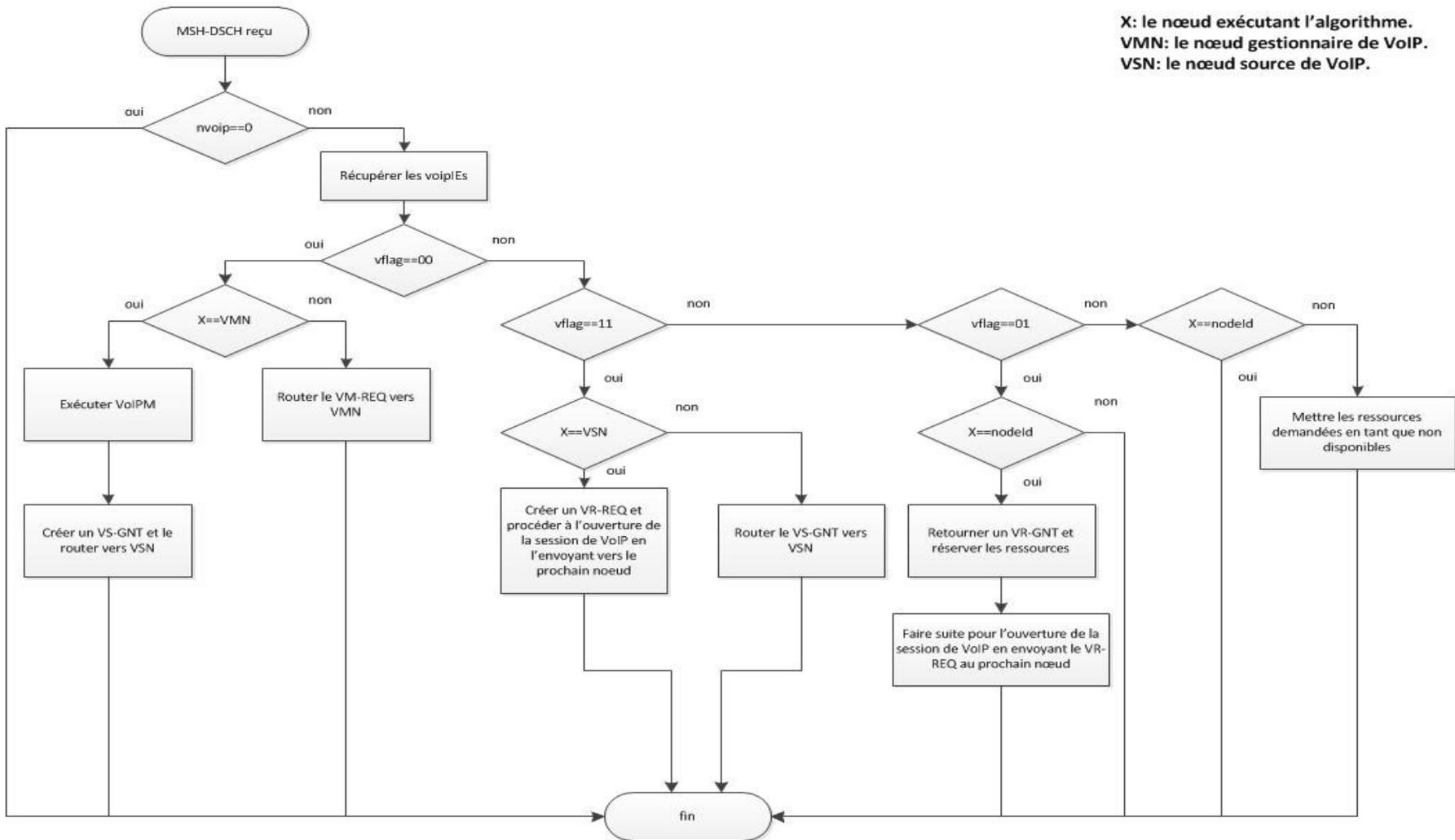


Figure 16 : Le diagramme de l'algorithme du traitement de VoIP.

3.3.3 L'algorithme de gestion de VoIP

L'algorithme de gestion de VoIP (VoIPM) est la troisième composante MAC à intégrer pour supporter le protocole AVSP. Il est destiné à agir au niveau de VMN exclusivement. Cet algorithme est conçu pour générer les meilleurs choix de paramètres d'établissement de sessions de VoIP, et cela dépendamment de l'état d'occupation de ressources par la planification continue dans l'ensemble du réseau. Pour ce faire, VoIPM doit tabler l'état de ressources du réseau sous forme de deux structures, à savoir la table de gestion de VoIP et la table des liens; la figure 17 présente ces deux structures à l'initialisation.

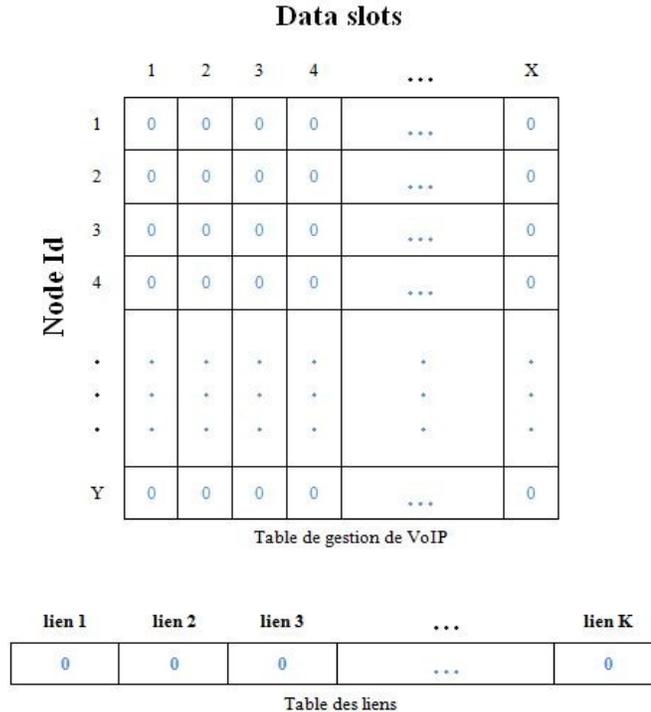


Figure 17 : La table de gestion de VoIP et sa table des liens.

La table de gestion de VoIP est une matrice qui expose l'état de ressources du réseau; les lignes représentent les nœuds du réseau et les colonnes représentent l'ensemble de slots composant un cycle. Donc, la taille horizontale de la matrice est le nombre de slots du cycle, tandis que sa taille verticale est le nombre de nœuds composant le réseau. Les valeurs des cases de la matrice sont des booléens; ainsi, la table de gestion de VoIP permet

de connaître la disponibilité d'un slot de données pour un nœud donné. Si la valeur du slot est un, le slot est occupé; sinon, le slot est libre pour utilisation. La table des liens est un vecteur qui représente tous les liens composant le réseau; où chaque élément du vecteur contient une valeur qui révèle le degré d'utilisation de ce lien. VoIPM détermine ses décisions en se basant sur l'information fournie par ces deux structures qui sont actualisées et maintenues à jour après chaque délivrance de VS-GNT. La figure 18 présente le diagramme qui détaille le fonctionnement de VoIPM.

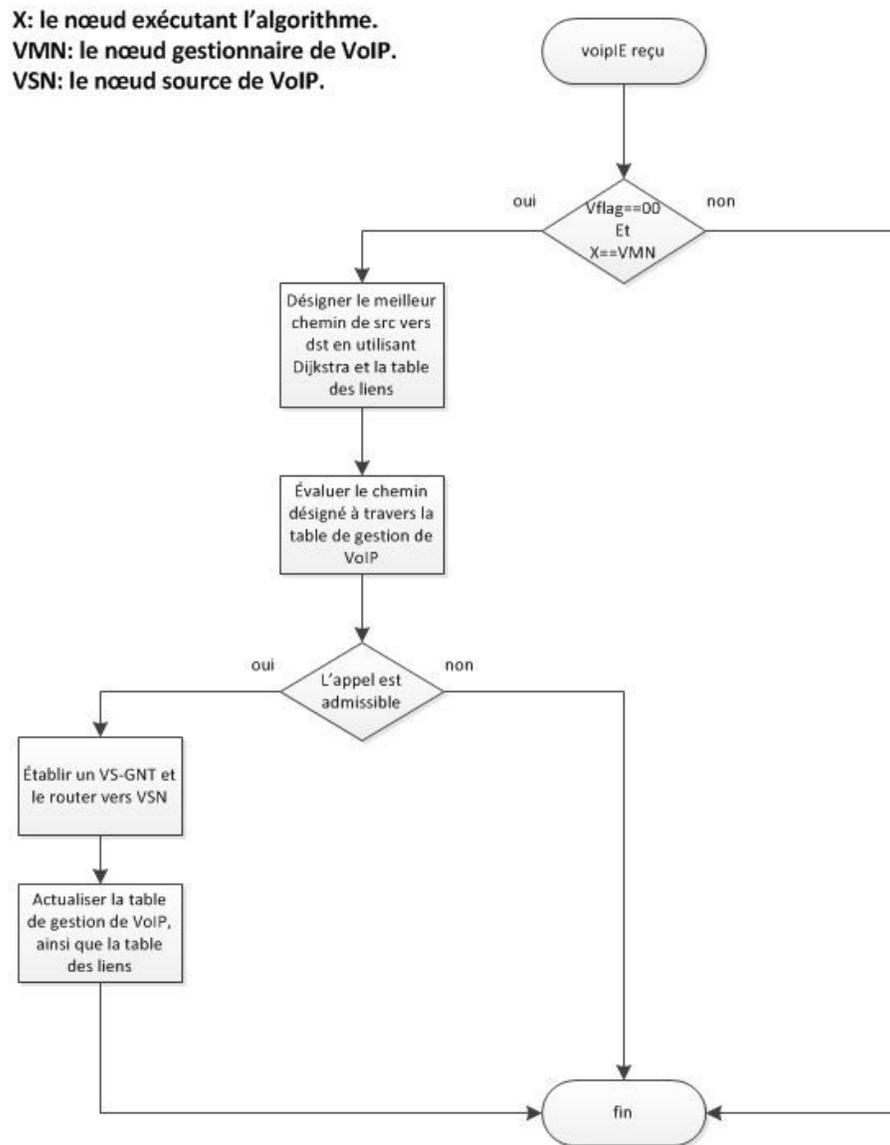


Figure 18 : Le diagramme de l'algorithme de gestion de VoIP.

Dans le cas où l'information élémentaire de VoIP est un VS-REQ ($vflag == 00$), c'est VoIPM qui s'en charge. Il utilise Dijkstra pour calculer le meilleur chemin pour la nouvelle session; la métrique de routage utilisée correspond au poids de lien (voir table des liens). Une fois le chemin calculé, VoIPM entame l'étape d'évaluation du chemin (contrôle d'admission) en se servant de la table de gestion de VoIP. VoIPM accepte la demande de l'établissement d'une nouvelle session de VoIP si tous les nœuds composant le chemin disposent des ressources nécessaires pour la supporter. Pour vérifier cette condition, VoIPM consulte la table de gestion de VoIP en parcourant successivement les ressources des nœuds composant le chemin à partir de la source jusqu'à la destination, et à partir du début de cycle jusqu'à sa fin; toutes les lignes de la table de VoIP présentant les nœuds de chemin sont consultées une par une et de gauche vers la droite pour repérer les meilleurs choix de ressources permettant un meilleur délai possible. Et afin de garantir un meilleur temps d'accès à la structure, on a implémenté la table de gestion de VoIP en un vecteur de pointeurs sur une série de bits (Bitset). La taille du vecteur est le nombre de nœuds du réseau et la taille de la série de bits est le nombre de slots de données contenus dans un cycle. VoIPM est décrit dans le pseudo-code suivant :

1- recevoir la requête	Reception VS-REQ déclencher <code>clac_timer()</code> // un compteur pour calculer le temps d'exécution
2- calculer le meilleur chemin	<i>/* en utilisant la topologie et la table des liens */</i> Dijkstra(Src, Dst) créer un tableau de chemin et remplir ses champs <code>nodeId</code> // le tableau de chemin est un tableau de structure de 2 champs (<code>nodeId</code> , <code>start</code>)
3- évaluer le chemin	<i>/* en utilisant la table de gestion de VoIP et le tableau de chemin */</i> Pour (<code>i=0</code>; <code>i < taille(tableau de chemin)</code>; <code>i++</code>) tirer la valeur du <code>nodeId</code> trouver les premières ressources disponibles après celles de son précédent élément // dans la table de gestion de VoIP remplir le champ <code>start</code> de l'élément en cours du traitement // dans le tableau de chemin Fin Pour <i>// <code>sessDelay</code> c'est le délai maximal toléré pour VoIP</i> <i>// <code>calcDelay</code> c'est le temps d'exécution maximal toléré</i> <i>// <code>path_delay()</code> c'est une méthode qui calcule le délai de chemin</i> Si (<code>(path_delay() > sessDelay)</code> ou (<code>calc_timer() >= calcDelay</code>)) Quitter le programme sans accorder le VS-REQ Sinon

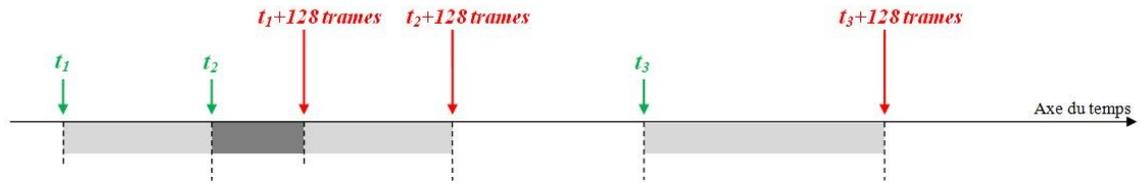
4- accorder la requête	<p> convertir le tableau de chemin en pile de chemin générer un identificateur de session secId créer et transmettre un VS-GNT vers la source de VoIP mettre à jour les coûts des liens dans la table des liens mettre à jour les slots utilisés dans la table de gestion de VoIP Fin Si </p>
-------------------------------	--

3.4 AVSP et le support d'autres types de trafic

En utilisant une planification continue pour VoIP et une planification sur demande pour les autres types de trafic, nous proposons d'utiliser un partitionnement de ressources pour supporter VoIP et les autres types de trafic. Dans ce qui suit, nous présentons les détails de ce partitionnement et comment il est utilisé pour supporter les différents types de trafic.

Le mode de planification distribuée implique des négociations directes entre nœuds voisins pour l'allocation des ressources du réseau par le biais des échanges de MSH-DSCH (voir section 2.1.2). Pour y arriver, chaque nœud doit se souvenir des résultats de ces négociations qui déterminent l'état d'allocation des ressources. Pour cette fin, une structure de données présentant l'état de ressources est tenue au niveau de chaque nœud. Cette table de ressources a la capacité de représenter 128 trames. En fait, le standard IEEE 802.16 a spécifié sept choix de persistance de planification, dont six choix quantitatifs et un choix illimité. Les six choix quantitatifs sont pour la planification sur demande et le choix illimité pour la planification continue. Donc, le septième choix de persistance, ou le choix extrême, présente la valeur illimitée (Forever)⁴, qui est la planification continue du standard. Conséquemment, toutes les négociations entre nœuds voisins se tiennent avec des demandes d'allocation maximale de 128 trames à l'exception du cas de planification continue. Autrement dit, un MSH-DSCH, sans planification continue, ne peut jamais demander des ressources qui s'étalent au-delà de 128 trames. Cela implique que pour un moment donné t , aucune ressource ne puisse être réservée au-delà de la table de ressources sans qu'elle soit pour VoIP et contrôlée par AVSP. La figure 19 présente la portée de réservation de la planification sur demande.

⁴ La valeur FOREVER de persistance fait l'allocation des mêmes positions de slots sur tous les futurs frames



t_i : position de début de réservation pour le $i^{\text{ème}}$ MSH-DSCH.

$t_i+128 \text{ trames}$: fin de portée de réservation pour le $i^{\text{ème}}$ MSH-DSCH.

: la portée maximale de réservation pour un MSH-DSCH.

Figure 19 : La portée de réservation pour la planification sur demande.

Cette portée de réservation de 128 trames présente l'horizon de la planification sur demande. À travers cet horizon de planification on peut scinder l'utilisation des ressources pour ces deux types de planification, et éliminer ainsi la rivalité sur les ressources entre VoIP et le trafic du fond. Pour cela, la réservation des ressources doit se faire dépendamment du type de la requête. Si la requête est un REQ, les ressources à consulter pour la réservation sont dans la limite de l'horizon de la planification sur demande présentées par la table de ressources. Sinon la requête est un VR-REQ, et donc la réservation se fait au-delà de la 128ème trame et périodiquement à base de cycle. La figure 20 montre le partitionnement d'attribution de ressources sous AVSP. Avec ce sectionnement de ressources, nous allons permettre à la planification sur demande de réserver à volonté dans la table de ressources parmi les ressources qui n'ont pas été déjà alloués au VoIP. Cette façon de faire, ne permet pas juste d'éliminer la compétition sur les ressources pour VoIP, mais présente également l'avantage d'offrir la priorité absolue pour VoIP sans qu'elle soit pour autant une priorité vandale qui se fait au détriment de la coexistence d'autres types de trafic dans le réseau.

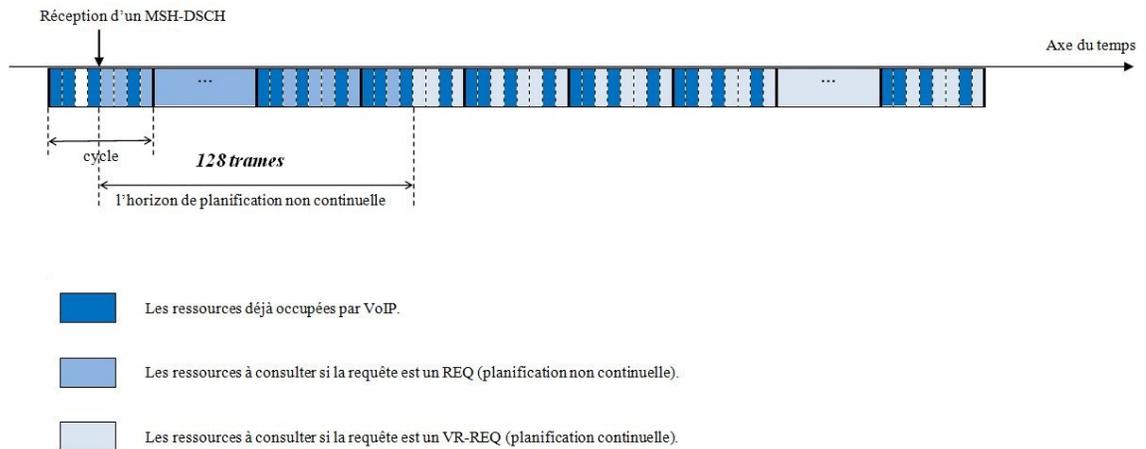


Figure 20 : L'allocation des ressources selon le type de planification.

AVSP offre une planification de ressources complètement différente et beaucoup plus efficace. Les nœuds composant le chemin de VoIP n'ont pas à consulter leurs tables de ressources et effectuer des calculs pour produire des décisions garantissant la réussite d'ouverture des sessions de VoIP. La tâche d'un nœud dans l'établissement de sessions de VoIP se résume dans l'accord du VR-REQ et sa retransmission immédiate vers le nœud suivant et d'appliquer ensuite les directives de réservation dictées dans ce dernier. Cela va permettre un gain important en termes d'efficacité d'exploitation de ressources et du délai d'établissement de sessions, notamment pour les réseaux chargés.

Chapitre 4 : Évaluation des performances

4.1 Présentation de la simulation

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'évaluation d'AVSP à travers des tests de simulation. Ces tests sont menés afin d'évaluer la performance de notre approche en comparaison avec le schéma de coordination de ressources pour VoIP (VoIP-aware resource coordination scheme) VRCS présenté dans [19]. Les tests consistent à envoyer des requêtes, VS-REQs, à VoIPM; l'évaluation des performances se fait à travers les résultats du traitement de ces requêtes. Ces tests ont été menés sur une topologie grille de 5x5 comme montré dans la figure 21; on a choisi cette topologie puisqu'elle est très adaptée au déploiement réel des RMSF [22]. Ils sont définis pour deux scénarios : (a) un scénario pour un trafic internet de VoIP (dirigé vers internet); et (b) un scénario pour un trafic libre de VoIP. Le scénario du trafic internet de VoIP consiste en un nœud unique destinataire du trafic de VoIP représenté par le nœud 12, et les sources du trafic de VoIP sont uniformément réparties sur tous les nœuds du réseau. Tandis que le scénario du trafic libre de VoIP, consiste en un trafic de VoIP qui ne se concentre pas en destination d'un seul nœud dans le réseau; c'est un trafic de VoIP qui s'échange uniformément entre tous les nœuds du réseau, en sorte que, pour un nœud donné, la probabilité d'établissement du trafic vers tout autre nœud du réseau est la même. Afin de produire des résultats de simulations fiables, les simulations, pour les deux scénarios, ont été exécutées 100 fois et les moyennes ont été prises. Les métriques d'évaluation recueillies de ces tests de simulation sont (a) Le nombre de sessions supportées : c'est le nombre de sessions admises par VoIPM; cette métrique révèle la capacité d'acceptation du trafic de VoIP dans le RSFM; (b) Le délai : c'est le temps qui s'écoule pour qu'un paquet de VoIP atteigne, depuis la source, sa destination à travers le chemin multipoint déterminé par VoIPM. Cette métrique n'inclut pas le temps de garde⁵; et (c) Le temps d'exécution : c'est le temps requis par VoIPM pour traiter un VS-REQ.

⁵ Dans un système réel, normalement chaque transmission est élargie par un temps de garde. Ce temps de garde est utilisé pour définir les distances géographiques entre les stations et pour leur permettre également de basculer entre la réception et le mode de transmission et vice versa.

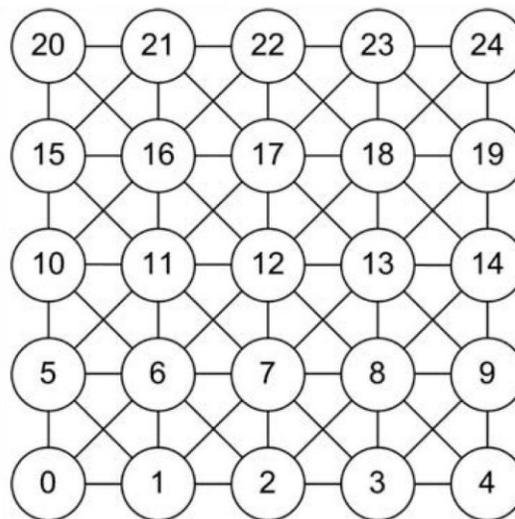


Figure 21 : La topologie grille.

4.2 Configuration de la simulation

La simulation a été menée en considérant les paramètres de simulation définis dans la table 4.1. Concernant la configuration du trafic, le codec choisi pour VoIP est le G.711; ce choix est fait pour pouvoir comparer notre approche avec l'approche, qui utilise G.711, présentée dans [19]. Ce codec échantillonne le signal 8000 fois par seconde avec un octet par échantillon; ceci correspond à 64 Kbits. Pour chaque seconde, le codec génère 50 paquets de VoIP, soit un paquet toutes les 20 ms. De ce fait, chaque paquet est constitué de 160 octets (8000/50) de données utiles (Payload) [23]. À travers ces spécificités du codec, l'ensemble des nœuds du réseau ont été synchronisés à base d'un cycle de 20 ms. Pour la configuration MAC, la durée de la trame est de 4 ms avec un nombre de 110 slots de donnée par trame. Pour la configuration physique, la taille du canal choisie est de 10 Mhz alors que le schéma de modulation et de codage utilisé est le QPSK avec un taux de codage de 1/2.

Paramètre	Valeur
Codec de VoIP	G.711
Taille du paquet de VoIP	160 Octets
(Δ)	20 ms
Protocole MAC	TDMA
Durée de trame	4 ms
Nombre du slots de données par trame	110
Taille du canal	10 Mhz
Schéma de modulation et de codage MCS	QPSK
Taux de codage	1/2
Données transmissibles par slot de donnée	24 Octets

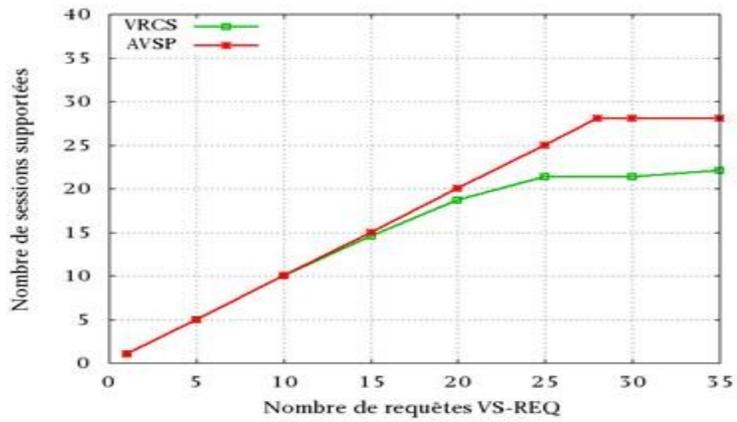
Tableau 1. Paramètres de simulation.

4.3 Résultats

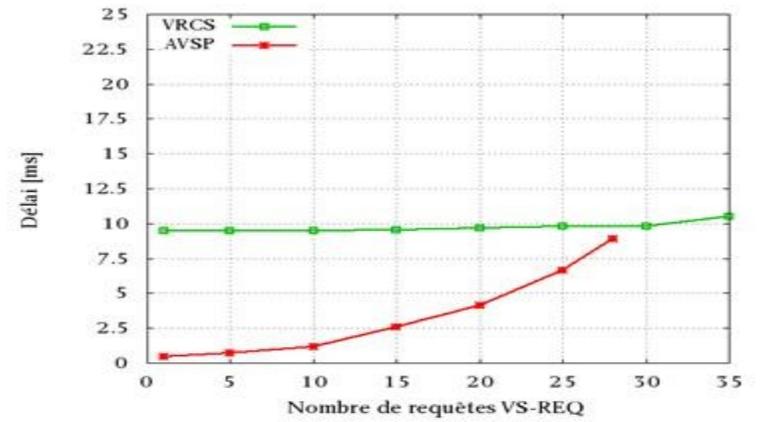
Dans cette section nous présentons les résultats recueillis, pour les deux scénarios, reflétant la performance de VoIPM. Ces résultats présentent la capacité d'acceptation des sessions parallèles de VoIP et son influence sur le délai de VoIP, ainsi que le temps d'exécution de VoIPM.

Le premier scénario est pour le trafic internet; c'est le scénario qui a été considéré dans le travail présenté dans [19]. Donc les résultats de ce scénario sont comparés avec les résultats du [19]. Le second scénario est pour le trafic libre; c'est un scénario qui offre plus de liberté d'échange de trafic pour l'application de VoIP à l'interne des RMSF WiMAX.

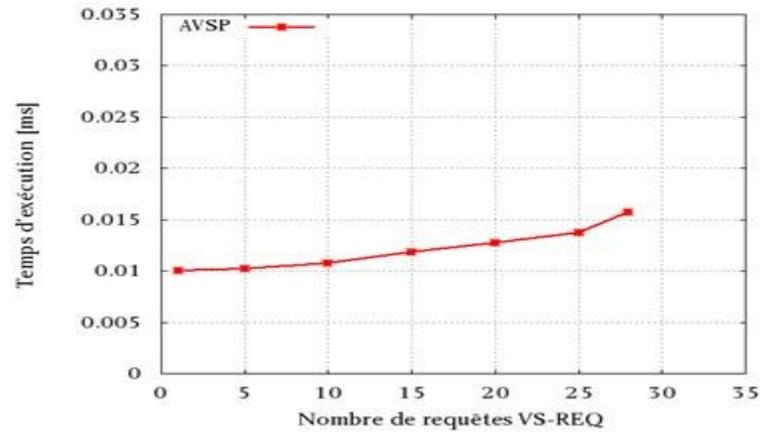
4.3.1 Résultats du scénario du trafic internet



(a) Nombre moyen de sessions de VoIP acceptées



(b) Délai moyen de VoIP dans le réseau



(c) Temps d'exécution moyen de VoIPM

Figure 22 : Résultats pour le scénario du trafic Internet de VoIP.

À travers la forme des courbes de capacité d'acceptation de trafic, on distingue deux phases : (1) la première phase peut se définir comme la phase où les ressources sont suffisamment disponibles; donc toutes les requêtes sont acceptées, et (2) la deuxième phase qui peut se définir comme une phase de saturation où les requêtes commencent à être rejetées. Le rejet augmente avec l'augmentation du nombre de sessions établies dans le réseau jusqu'à l'atteinte du point de saturation où presque aucune nouvelle session ne puisse s'établir dans le réseau; c'est au niveau de ce point qu'on détermine le nombre maximal de sessions acceptées dans le réseau.

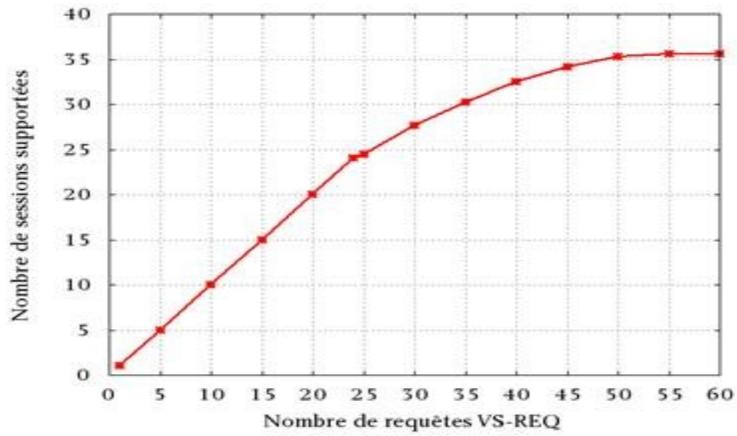
La figure 22a affiche le nombre moyen de sessions VoIP supportées en fonction du nombre de requêtes VS-REQ. Elle présente une comparaison de support de VoIP en termes de capacité d'acceptation du trafic entre AVSP et l'allocation coordonnée des ressources VRCS présentée dans [19]. La figure montre une ressemblance de forme des courbes entre les deux planifications. Tandis que pour AVSP, la première phase est largement supérieure avec l'absence de deuxième phase. Le point de saturation se présente adjacent à la fin de la première phase avec un nombre maximal de sessions acceptées de 28 sessions. Pour VRCS [19], la première phase prend fin avant l'atteinte des 15 premières sessions, et le nombre maximal de sessions acceptées est 22,1. Cette amélioration de support de VoIP produite par AVSP revient à l'allocation efficace des ressources réalisée par l'algorithme VoIPM exécuté par AVSP.

La figure 22b affiche le délai moyen de VoIP dans le réseau en fonction du nombre de requêtes VS-REQ. Elle présente une comparaison de support de VoIP en termes de délai entre AVSP et VRCS [19]. La courbe démontre une augmentation considérable du délai pour AVSP avec le nombre de requêtes VS-REQ; le délai moyen est de 3,508 ms. VRCS [19] offre un plus grand délai de VoIP qui est presque le même pour toutes les sessions de VoIP acceptées dans le réseau. De façon générale, AVSP fournit un meilleur délai grâce à une meilleure allocation de ressources implémentée par VoIPM.

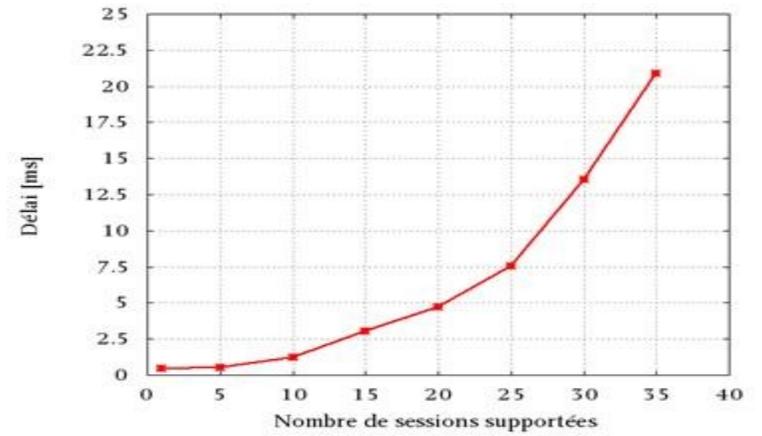
La figure 22c affiche le temps d'exécution moyen de VoIPM en fonction du nombre de requêtes VS-REQ. Le temps d'exécution augmente avec l'augmentation du nombre de sessions supportées dans le réseau. Cela s'explique par la réduction du nombre de ressources libres dans la table de gestion de VoIP avec l'établissement de plus de

sessions dans le réseau; ceci augmente le temps du recherche et traitement des ressources et donc d'exécution de VoIPM.

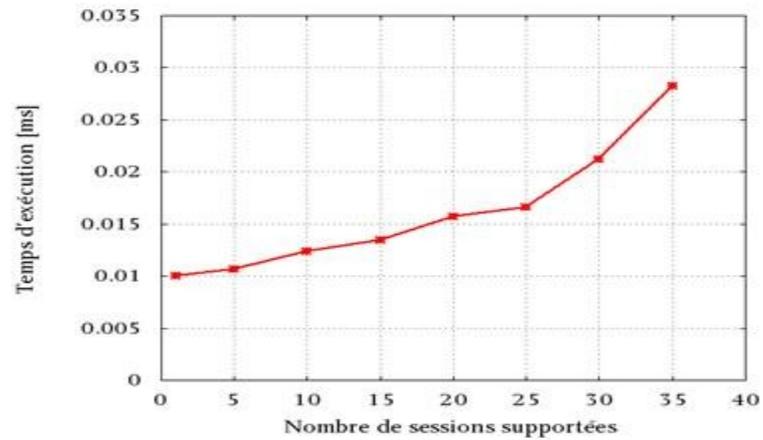
4.3.2 Résultats du scénario du trafic libre



(a) Nombre moyen de sessions de VoIP acceptées



(b) Délai moyen de VoIP dans le réseau



(c) Temps d'exécution moyen de VoIPM

Figure 23 : Résultats pour le scénario du trafic libre de VoIP.

La figure 23a affiche le nombre moyen de sessions supportées de VoIP en fonction du nombre de requêtes VS-REQ. Le nombre moyen de sessions acceptées maximal par AVSP est de 35,7 sessions. Ce scénario offre une capacité d'acceptation meilleure que le scénario du trafic internet. Ceci peut être expliqué par la caractéristique du trafic internet qui exerce constamment une charge et une sollicitation continue sur les mêmes liens du réseau; ainsi, il crée une limite sur le nombre de sessions simultanées qui puissent être établies dans le réseau. Par contre, la première phase finit à l'acceptation de 24.4 sessions (en moyen), cela présente environ 70% du nombre moyen de sessions acceptées maximal. Alors que la phase de chargement pour le scénario du trafic internet prend fin presque à l'atteinte du point de saturation⁶. Cela revient à l'harmonie de l'orientation du trafic internet qui tend vers un point unique dans le réseau. Cette harmonie du trafic permet une meilleure gestion de VoIP manifestée par une très bonne application de la propriété d'occupation des premiers slots disponibles dans la table de gestion de VoIP, et cela en permanence, donc une meilleure distribution de ressources occupées dans la table. Cette propriété est difficilement applicable dans ce scénario (trafic libre), où les chemins de VoIP sont complètement différents. Ainsi, VoIPM laisse plus de fragments libres entre ressources allouées dans la table de gestion de VoIP. Ces fragments peuvent probablement être exploités pour servir des requêtes ultérieures; -ce qui allonge la deuxième phase d'acceptation du trafic-. C'est une question d'efficacité d'allocation de ressources, qui est plus difficile à réaliser dans ce scénario.

La figure 23b affiche le délai moyen en fonction du nombre de sessions supportées. La courbe démontre une augmentation considérable du délai avec le nombre de sessions de VoIP établies dans le réseau. L'augmentation du délai est plus importante pour les grandes valeurs de nombre de sessions supportées. Le délai moyen est de 6,486 ms; il est plus élevé par rapport au trafic internet, cela revient à l'efficacité manifeste d'allocation des ressources par VoIPM pour le trafic internet. L'efficacité d'allocation de ressources peut être améliorée pour ce scénario (trafic libre) par l'inclusion d'une latence ou intervalle avant la retransmission d'un paquet de VoIP au niveau de tous les nœuds composant le chemin de VoIP. Cet intervalle doit exclure la propriété d'occupation des premiers slots disponibles dans la table, afin de permettre une certaine bonne distribution de ressources occupées dans la table. Cela va créer une équité du délai entre les sessions acceptées

⁶ La deuxième phase apparaissait très rarement dans les simulations de ce scénario, avec un seul rejet situé toujours avant la dernière requête accordée par VoIPM.

dans le réseau. Tandis que la propriété d'occupation des premiers slots disponibles dans la table offre l'avantage d'un meilleur délai possible, ce qui est avantageux notamment quand le réseau n'est pas chargé, et c'est le choix qu'on a adopté.

La figure 23c affiche le temps d'exécution moyen de VoIPM en fonction du nombre de sessions supportées. Le temps d'exécution augmente avec l'augmentation du nombre de sessions supportées dans le réseau. Cela s'explique par la réduction du nombre de ressources libres dans la table de gestion de VoIP avec l'établissement de plus de sessions dans le réseau; ceci augmente le temps du recherche et traitement des ressources, et donc d'exécution de VoIPM. Le temps d'exécution en moyen est plus élevé en comparaison avec le trafic internet. La croissance du temps d'exécution est plus importante également avec les grandes valeurs du nombre de sessions supportées pour ce scénario par rapport au trafic internet. Cela revient à la nature du trafic libre qui emprunte des chemins totalement différents dans le réseau, impliquant plus de dédale et ainsi plus du temps pour la gestion des ressources (exécution de VoIPM), notamment quand le réseau supporte un bon nombre de sessions de VoIP.

Les résultats de simulations démontrent que VoIPM est plus efficace avec le trafic internet que le trafic libre; il permet une première phase d'acceptation de trafic plus importante et un meilleur délai ainsi qu'un temps d'exécution plus avantageux.

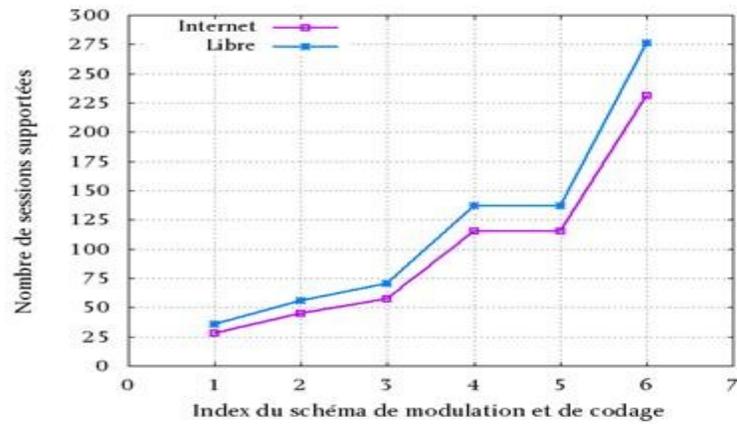
4.3.3 Résultats des deux scénarios selon différents schémas de modulation et codage

L'évaluation de l'approche dans la partie précédente a été réalisée en considérant le schéma de modulation et codage le plus robuste⁷, à savoir le QPSK avec le taux de codage de 1/2. Dans cette partie, on va mener une évaluation à travers différents schémas de modulation et codage MCS, afin de connaître les performances de VoIPM selon différents schémas. On a donc tiré les résultats moyens pour les trois métriques d'évaluation dépendamment des six schémas de modulation et codage mentionnés dans le tableau 4.2.

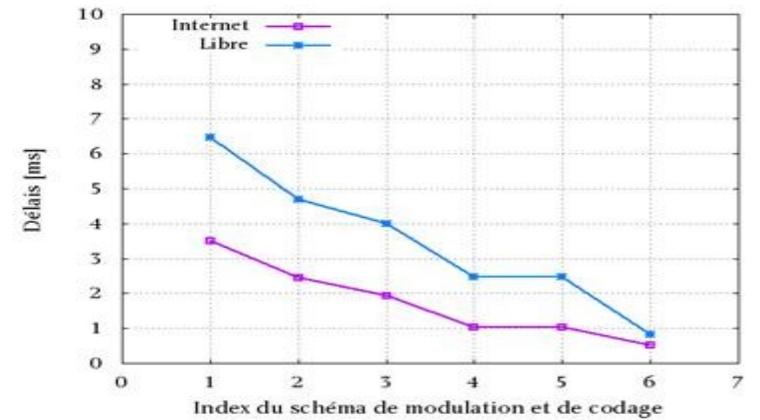
Index	Modulation	Taux de codage
1	QPSK	1/2
2	QPSK	3/4
3	16-QAM	1/2
4	16-QAM	3/4
5	64-QAM	2/3
6	64-QAM	3/4

Tableau 2. Les schémas de modulations et codages.

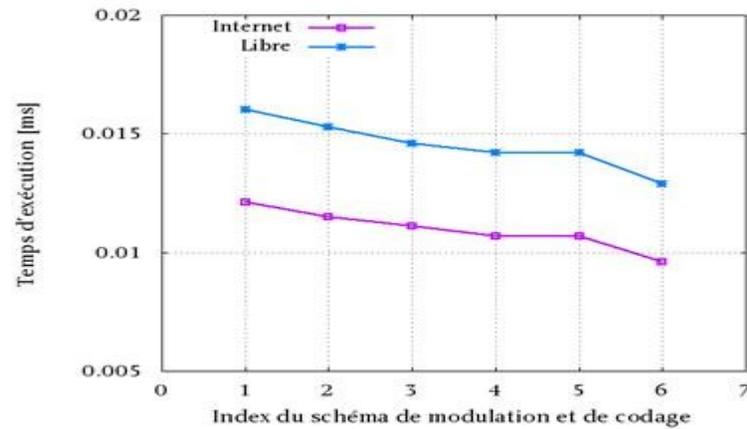
⁷ C'est le MCS utilisé pour les transmissions de la sous-trame du control afin de limiter les risques de perte des messages de control causée par les erreurs du canal.



(a) Nombre moyen de sessions de VoIP acceptées



(b) Délai moyen de VoIP dans réseau



(c) Temps d'exécution moyen de l'algorithme

Figure 24 : Résultats des deux scénarios selon différents MCS.

Les valeurs d'index pour les MCS ont été attribuées dans le tableau 4.2 dépendamment du nombre d'octets transmissibles par slot de données à travers le MCS en question. Cette attribution d'index est établie de sorte qu'une plus grande valeur d'index indique un plus grand nombre d'octets transmissibles par slot de données à travers le MCS indexé.

La figure 24 présente les performances de VoIPM selon six schémas de modulation et codage. La figure 24a présente la capacité d'acceptation de VoIPM en fonction des schémas de modulation et codage. Elle montre que VoIPM offre une acceptation croissante avec la croissance de l'index de MCS. Les schémas de plus grandes valeurs d'index utilisent moins de ressources pour leurs transmissions, ce qui permet l'établissement de plus de sessions dans le réseau, donc une meilleure capacité d'acceptation du trafic. La figure 24b présente le délai moyen résultant de la gestion de VoIP en fonction de différents schémas de codage. Elle montre que VoIPM permet un délai décroissant avec la croissance de l'index du MCS. L'utilisation moindre de ressources pour les transmissions implique l'usage d'un nombre de slots de données inférieur au niveau de chaque saut composant le chemin de VoIP; ceci permet de diminuer le délai pour les sessions de VoIP établies. La figure 24c présente le temps d'exécution de VoIPM en fonction de différents schémas de codage. Elle montre que le temps d'exécution de VoIPM est décroissant avec la croissance de l'index du MCS. L'utilisation moindre de ressources offre l'avantage de gestion de moins de ressources; ceci permet de diminuer le temps d'exécution de VoIPM. Les MCS (16-QAM, 3/4) et (64-QAM, 2/3) fournissent les mêmes résultats, alors que le second permet une utilisation moindre de ressources pour ses transmissions. Cela s'explique par un usage équivalent de slots de données par ces deux MCS pour transmettre un paquet de VoIP⁸.

⁸ Le nombre de slots pour transmettre un paquet = [taille du paquet / nombre d'octets transmissibles par slot].

Chapitre 5 : Conclusion et perspectives futures

Ce travail expose une nouvelle approche, présentée sous forme de protocole, œuvrant au niveau MAC baptisé AVSP, qui a pour mission d'assurer le support de VoIP dans les RMSF WiMAX, en mode de planification distribuée. L'apport du protocole proposé a été perçu à travers les résultats de simulations démontrant l'amélioration de la capacité d'acceptation du trafic de VoIP et son influence sur le délai d'un paquet de VoIP.

Cette approche s'appuie sur l'amélioration d'allocation de ressources pour fournir le support au VoIP, et se distingue des travaux précédents du même penchant par plusieurs aspects : (1) La conception d'assistance pour le trafic de VoIP, assurée par une entité consciente de l'état du trafic de VoIP, afin d'atteindre une allocation de ressources optimale pour un meilleur support possible au trafic de VoIP; (2) La suppression efficace de la sous-utilisation et gaspillage des ressources causés par la nature de VoIP. Cela a été réalisé grâce à la synchronisation de l'ensemble des nœuds du réseau à base du codec générateur du trafic de VoIP en plus de l'adaptation de la planification continue avec le codec en question; et (3) L'intégration d'AVSP dans le MAC sans despotisme dans la sous-trame du contrôle avec une utilisation négligeable de ressources de contrôle. Ceci a été rendu possible grâce à la conception d'utilisation d'une information élémentaire dans les messages du contrôle pour tous les échanges d'AVSP.

À l'horizon de cette contribution, certains travaux et développements futurs sont envisageables. Une éventuelle pensée de développement, peut relever le défi de généralisation de l'approche, qui est réalisable à travers l'adaptation du protocole afin de servir divers applications en temps réel qui génèrent de trafic à taux d'échantillonnage fixe CBR comme le cas de VoIP. Une évaluation approfondie, dans le but de mener une estimation de l'approche à travers divers métriques d'évaluation serait également très intéressante. Cela permettra de révéler tous les apports de la contribution. Une telle évaluation sur un banc d'essai maillé va donner lieu à une investigation des performances dans un environnement réaliste.

Bibliographie

- [1] I.F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, “Wireless mesh networks: a survey”, *Computer Networks*, 47, 445-487, 2005.
- [2] X. Wang, W. Wang and M. Nova, “Distributed TDMA for wireless mesh networks”, *US Patent*, s/n: 11/076738, 2005
- [3] E. Sedoyeka, Z. Hunaiti, M. Al Nabhan and W. Balachandran “WiMAX Mesh Networks for Underserved Areas”, *IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*, 1070–1075, 2008.
- [4] X. Wang and A.O. Lim, “IEEE 802.11s wireless mesh networks: Framework and challenges”, *Ad Hoc Networks*, 6, 970-984, 2008.
- [5] W.J. Wilson, “Applying Layering Principles to Legacy Systems: Link 16 as a Case Study”, *Military Communications Conference. MILCOM. Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force. IEEE*, 1, 526–531, 2002
- [6] H. Nassar and H. Al-Mahdi, “Design and analysis of a TDMA call assignment scheme for cellular networks”, *Computer Communications*, 32, 1200-1206, 2009.
- [7] IEEE Standard 802.16-2004, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, (2004) Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”, 2004.
- [8] P. Sheu, C. Hu, C. Liou, F. Chuang and Y. Chen, “An Efficient and Interference-Aware Centralized Routing Tree Algorithm for the Routing and Packet Scheduling Problem in IEEE 802.16 Mesh Networks”, *International Conference on Communications and Mobile Computing*, 496–503, 2010.
- [9] S. Cheng, D. Huang, P. Lin and S. Yang, “A Study on Distributed/Centralized Scheduling for Wireless Mesh Network”, *international conference on Wireless communications and mobile computing*, 2006.
- [10] P. S. Mogre, M. Hollick and R. Steinmetz, “QoS in Wireless Mesh Networks: Challenges, Pitfalls, and Roadmap to its Realization”, *ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, 2007.
- [11] C. Cicconetti, I.F. Akyildiz and L. Lenzini, “WiMsh: A Simple and Efficient Tool for Simulating IEEE 802.16 Wireless Mesh Networks in ns-2”, *International Conference on Simulation Tools and Techniques*, 2009.
- [12] ITU-T Recommendation G.114, “One way transmission time”, 2000.

- [13] F. Liu, Z. Zeng, J. Tao, Q. Li, and Z. Lin, "Achieving QoS for IEEE 802.16 in Mesh Mode", *International Conference on Computer Science and Informatics*, 2005.
- [14] C. Cicconetti, I. F. Akyildiz, and L. Lenzini, "FEBA: A bandwidth allocation algorithm for service differentiation in IEEE 802.16 mesh networks", *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 17, no. 3, 884–897, 2009.
- [15] N. Scalabrino, F. D. Pellegrini, R. Riggio, A. Maestrini, C. Costa, and I. Chlamtac, "Measuring the quality of VoIP traffic on a WiMAX testbed", *International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities (TRIDENTCOM)*, 1–10, 2007.
- [16] S. Sengupta, M. Chatterjee, and S. Ganguly, "Improving quality of VoIP streams over WiMAX", *IEEE Trans. Computers*, 57, 145-156, 2008.
- [17] C. Schwingenschlögl, P. Mogre, M. Hollick, V. Dastis, and R. Steinmetz, "Performance analysis of the real-time capabilities of coordinated centralized scheduling in 802.16 mesh mode", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2006.
- [18] C. Cicconetti, V. Gardellin, L. Lenzini, E. Mingozzi, and A. Erta, "End to end bandwidth reservation in IEEE 802.16 mesh networks", *IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, 2007.
- [19] N. Bayer, B. Xu, V. Rakocevic, and J. Habermann, "Application-aware scheduling for VoIP in wireless mesh networks", *Computer Networks*, 54, 257–277, 2010.
- [20] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, and S. Jamin, *RFC 2205*, "Resource Reservation Protocol (RSVP)", 1997.
- [21] ITU-T G.711 Amendment 2, "Performance of ITU-T G.711 Appendix III (Audio quality enhancement toolbox)", 2011.
- [22] J. Robinson, E.W. Knightly, "A performance study of deployment factors in wireless mesh networks", *INFOCOM*, 2007.
- [23] John Downey, "Understanding VoIP Packet Sizing and Traffic Engineering," *SCRE Cable-Tec Expo White Paper*, 2005.