



**HAL**  
open science

# Gestion Autonome de la Répartition de Charge pour le Contrôle de la Congestion dans les Réseaux Sans Fil

Gilbert Sawma, Ryad Ben-El-Kezadri, Issam Aib, Guy Pujolle

► **To cite this version:**

Gilbert Sawma, Ryad Ben-El-Kezadri, Issam Aib, Guy Pujolle. Gestion Autonome de la Répartition de Charge pour le Contrôle de la Congestion dans les Réseaux Sans Fil. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP 2008), Mar 2008, Les Arcs, France. hal-00250214v2

**HAL Id: hal-00250214**

**<https://hal.science/hal-00250214v2>**

Submitted on 13 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Gestion Autonome de la Répartition de Charge pour le Contrôle de la Congestion dans les Réseaux Sans Fil

**Gilbert Sawma<sup>\*</sup>, Ryad Ben-El-Kezadri<sup>\*\*</sup>, Issam Aib<sup>\*\*\*</sup>,  
Guy Pujolle<sup>\*</sup>**

*<sup>\*</sup> Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Paris Universitas  
104 Avenue du President Kennedy, 75016, Paris, France*

*<sup>\*\*</sup> Laboratoire CRISTAL/ENSI, Université de la Manouba  
2010, Manouba, Tunisie*

*{Gilbert.Sawma, Ryad.Bek, Guy.Pujolle}@lip6.fr*

*<sup>\*\*\*</sup> D.R. Cheriton School of Computer Science, University of Waterloo  
200 University Avenue West, Waterloo, Ontario  
iaib@uwaterloo.ca*

---

*RÉSUMÉ. Dans cet article, nous proposons un système de gestion autonome des réseaux 802.11 à l'aide d'un algorithme de répartition de charge baptisé ALBA. L'idée fondamentale et originale d'ALBA est sa capacité à réorganiser localement le réseau et répartir dynamiquement et au mieux sur une zone les stations sur les points d'accès, afin d'assurer l'efficacité du service et la satisfaction des clients. L'autonomie intervient dans le système afin d'enrichir la connaissance du réseau et de fournir à chaque point d'accès une vue située de son voisinage et du trafic des clients. L'évaluation de la solution révèle des gains importants de performance en terme de capacité d'accueil en stations du réseau.*

*ABSTRACT. In this article, we propose an autonomic management system for 802.11 networks through a load-balancing algorithm called ALBA. The original idea of ALBA is its ability to reorganize the network locally and to dynamically allocate the stations to the access points, in order to ensure the efficiency of services and customer satisfaction. The autonomic concept is involved in the system in order to enrich the knowledge of the network and to provide each access point a situated view of its neighborhood and clients' traffic. The evaluation of the solution reveals significant gains in terms of capacity in the network.*

*MOTS-CLÉS : IEEE 802.11, VoIP, Autonome, Contrôle d'Admission, Répartition de la charge.*

*KEYWORDS: IEEE 802.11, VoIP, Autonomic, Admission Control, Load balancing.*

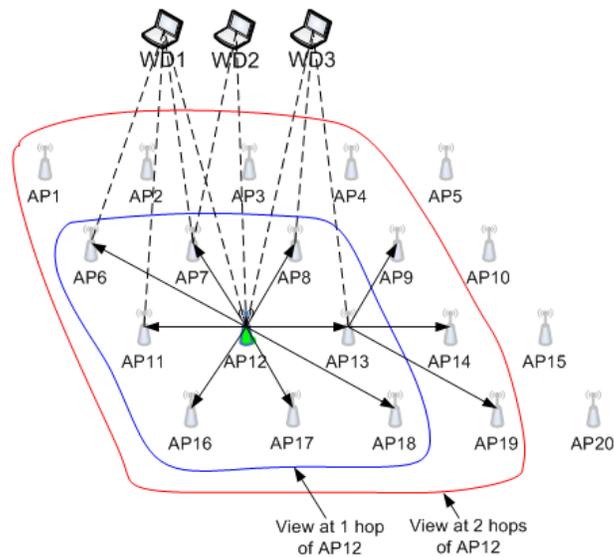
---

## 1. Introduction

Cet article présente un nouvel algorithme de distribution de charge (Load Balancing) pour les grands réseaux WLAN (Wireless Local Area Networks WLAN). Ces réseaux d'infrastructure, souvent très denses, sont ceux couvrant, les campus universitaires, les réseaux d'entreprise et de façon générale tous les hots spots. A l'heure où les échanges multimédia se généralisent et la demande en débit s'accroît, le support de la voix sur IP (VoIP) sur WLAN (VoWLAN) constitue un indicateur de choix sur la capacité d'un réseau 802.11 à satisfaire à la demande de ses usagers. Le nombre d'appels VoIP supporté par une cellule 802.11b est aujourd'hui limité entre 3 à 12 appels bidirectionnels simultanés [GAR 03b] [GAR 03a]. Le problème des WLAN est que la capacité globale du réseau est réduite du fait de la fragmentation du réseau en multiples cellules [IEE 97]. Sans politique efficace d'allocation des Stations (STA) aux Points d'Accès (AP), peuvent se former au milieu de zones réseau sous peuplées, des îlots d'APs surchargés de stations, conduisant ainsi à une saturation locale du réseau. Plusieurs études montrent à ce titre que la gestion dans les réseaux d'infrastructure 802.11 est un phénomène localisé sur quelques APs [BAL 03] [BAL 02b]. Contrairement aux algorithmes existants qui fonctionnent localement [BAL 02a] [CIS 04] [SHE 99] [VEL 04], la solution que nous proposons contrôle les connexions de tous les utilisateurs sur un voisinage étendu. La répartition intelligente de la charge aboutit à une augmentation certaine de l'utilisation du réseau et à la satisfaction d'un plus grand nombre d'utilisateurs. Pour ce faire, l'algorithme redistribue dynamiquement les stations sur les APs localement présents pour résoudre les congestions spontanées.

Les possibilités de réassociation étant limitées au voisinage proche des APs, nous exploitons dans notre solution les caractéristiques des systèmes autonomiques et plus particulièrement la notion de *Plan de Connaissance*. Le *Plan de Connaissance* des réseaux autonomiques vient s'ajouter aux plans de données, de contrôle et de management des architectures traditionnelles. Ce nouveau plan est conçu pour collecter et stocker des informations importantes. Il est alimenté par des composants de mesures incorporés dans les différentes machines. Le *Plan de Connaissance* fournit une vue située. Par définition, la vue située d'un noeud constitue l'ensemble des informations ou connaissances collectées, pour un ensemble d'algorithmes, des noeuds voisins positionnés à un nombre de sauts donné. Ces informations sont actualisées et mises à jour selon la fréquence souhaitée par les algorithmes.

Notre solution baptisée ALBA (Autonomic Load Balancing Algorithm) consiste à déplacer les clients des APs surchargés vers leurs voisins non saturés afin de permettre à de nouvelles stations de s'insérer dans le réseau. La réassociation à basse vitesse d'une station pouvant pénaliser les stations déjà présentes dans une cellule [HEU 03], la faisabilité de chaque réassociation doit être évaluée. Dans ce but, ALBA maintient une vue située de l'environnement d'AP afin de garantir que la rétrogradation en débit d'une station n'induit pas de dégradation de QoS pour les autres clients.



**Figure 1.** Topologie du système de distribution. Les flèches montrent la décharge centrifuge de AP12 et AP13 respectivement. WD1, WD2 et WD3 sont visibles par plus d'un AP comme l'indiquent les traits en pointillés.

La métrique principale entretenue par le plan de connaissance est l'estimation de l'utilisation du canal *CUE* (Channel Utilisation Estimate) [GAR 03c]. Cette métrique fournit aux APs une estimation précise de la charge des cellules environnantes.

Ce papier est structuré comme suit. La section 2 présente un état de l'art des différents mécanismes existants pour la distribution de charge. Dans la section 3, nous présentons les aspects de la vue située relatifs au plan de connaissance d'ALBA. La section 4, présente l'algorithme de la distribution de la charge et son utilisation du plan de connaissance. La section 5 présente les résultats de simulation. La section 6 offre un résumé des travaux et présente nos perspectives de recherches.

## 2. Travaux reliés à la distribution de la charge

La charge utilisateur étant souvent répartie de façon inégale entre les cellules dans les WLANs, le thème de la répartition de la charge fait l'objet de plusieurs études [CIS 04] [SHE 99] [VEL 04] [DAH 06] [BEJ 04]. Les algorithmes de répartition de charge se basant essentiellement sur la métrique d'indication de charge pour réaliser des projections et déclencher la redistribution des stations, le choix de l'estimateur de charge constitue un élément fondamental dans leur conception. La métrique de charge détermine également le seuil limite de congestion représentant l'alarme de déclenchement de l'algorithme d'équilibrage de charge.

Dans [CIS 04], les auteurs prennent en considération la bande passante courante des APs et associent les utilisateurs aux APs les moins chargés. Un algorithme prédictif d'association fondé sur la puissance du signal reçu RSSI (Received Signal Strength Indicator) est étudié dans [SHE 99]. Selon cet algorithme, les APs renvoient la valeur RSSI moyenne des stations qui leur sont connectées et les stations utilisent cette valeur pour choisir l'AP pour lequel la dégradation de RSSI est la moins grande. L'inconvénient de [CIS 04] et [SHE 99] est de prendre en compte un seul paramètre, et non pas l'ensemble en même temps, i.e., la puissance du signal reçu des APs et leurs charges ne sont pas considérés simultanément.

[VEL 04] utilise le débit comme métrique pour déterminer la charge des APs. Le problème de la métrique de débit pour déterminer la charge restante est de ne pas prendre en compte les conditions particulières de fonctionnement du réseau telles que le débit physique des transmissions et le type des applications utilisées. [GAR 03b] [GAR 03a] démontre à ce titre que le débit ne peut pas être utilisé pour définir la capacité du réseau. Les expérimentations et les calculs montrent en effet que la charge maximale utile d'une cellule est d'environ 6.2 Mbps pour le trafic de données, mais seulement de 800 Kbps pour un réseau VoWLAN utilisant le codec G711 avec 10 ms de données audio par paquet. [GAR 03c] propose de fait l'utilisation de la métrique d'estimation d'utilisation du canal CUE à la place du débit.

[DAH 06] propose un algorithme d'équilibrage à portée locale, utilisant une architecture centralisée. Les expérimentations sont réalisées sur un réseau de 4 APs. Les problèmes de ce travail sur le plan de la validation sont de restreindre l'évaluation à de petits réseaux et sur le plan conceptuel de se baser sur une architecture centralisée limitant son passage à l'échelle.

Au niveau des organismes de normalisation, le groupe de travail dédié 802.11v a été créé pour proposer un amendement à la norme 802.11 relatif à la gestion de réseaux sans fil (Wireless Network Management WNM). Les discussions du groupe de travail 802.11v sont toutefois limitées à la normalisation des exigences des algorithmes, et non aux algorithmes d'équilibrage de charge eux-mêmes. L'approbation définitive de cet amendement n'est pas prévue avant 2008.

Notre solution se distingue des travaux précédemment cités par i) l'utilisation de la métrique de charge CUE pour garantir la QoS des flots, ii) l'approche autonome basée sur le Plan de Connaissance, l'architecture distribuée et la vue située, iii) le traitement atomique des opérations de redistribution des stations dans la vue située.

### **3. Le Plan de Connaissance dans les WLANs**

La gestion autonome des réseaux est un domaine d'étude actif faisant l'objet de nombreuses recherches. La gestion des réseaux sans fil est d'autant plus importante que ces systèmes supposent un nombre important d'équipements, doivent être simple à installer et être capable de s'adapter à des conditions environnementales variables. Un système autonome est généralement défini en termes de fonctions auto-

nomes qualifiées de " self-\* " comme par exemple les fonctions d'auto management (self-management) qui limitent le nombre d'intervention humaine dans la configuration. Au niveau architectural, l'innovation fondamentale des systèmes autonomiques est l'introduction d'un quatrième plan réseau venant s'ajouter aux trois plans traditionnels (plan de données, plan de contrôle, plan de gestion). Selon les études, ce plan est appelé plan d'information, plan de gouvernance ou plan de connaissance.

Dans le domaine des réseaux sans fil, le standard IEEE 802.21, en cours d'élaboration, utilise ce 4<sup>ème</sup> plan, appelé "Plan d'Information", pour collecter les différentes informations des réseaux sans fils disponibles et permettre les décisions de transfert (handover) entre les différentes technologies du marché. Dans les réseaux coopératifs, le "Plan de Coopération" assure le service de coopération entre les différents éléments du réseau. Dans les réseaux autonomiques ce plan est parfois appelé "Plan de Gouvernance ou Inférence" [STR 06].

Le concept de *Plan de Connaissance* dans les réseaux a été introduit en 2003 [CLA 03]. [CLA 03] suggère un nouveau concept réseau permettant à un réseau de se configurer lui-même en se basant sur des instructions de haut niveau, de détecter les anomalies, de les réparer, et de rendre un rapport de mise à jour à chaque fois que des changements interviennent dans les besoins. Pour atteindre cet objectif, les auteurs font valoir qu'il ne suffit pas d'améliorer progressivement les techniques et algorithmes connus. Au lieu de cela, ils proposent une nouvelle architecture avec un Plan de Connaissance (Knowledge Plane), omniprésent dans le réseau, capable de fournir l'état de l'environnement opérationnel des différents éléments du réseau. Le plan de connaissance que nous proposons dans ALBA se base sur la "Vue Située", voir figure 1. La vue située d'un noeud  $x$  est l'ensemble des informations ou connaissances rassemblées, par chaque algorithme, des noeuds voisins situés à  $n$  sauts au plus. Le plan de connaissance sonde l'état du réseau d'accès, c'est-à-dire, l'état actuel des ressources, les points d'accès sans fil, les stations associées, leurs vitesses physiques, les caractéristiques du trafic de chaque application, etc. Cette connaissance est utilisée par ALBA lors d'une redistribution de charge pour choisir vers quels APs réassocier quelles stations.

L'ensemble des informations disponibles dans le plan de connaissance de chaque AP pour réaliser les prévisions de CUE lors d'une redistribution de charge dans le voisinage, sont les suivantes :

- Chaque  $AP_i$  maintient la liste de ses voisins. Les voisins sont classés selon leur distance à  $AP_i$ . La liste  $AP_i.neighborList(n)$  désigne les APs placés à  $n$  sauts de  $AP_i$ . Cette connaissance peut être obtenue à l'aide d'un protocole de découverte des voisins dans le Système de Distribution du réseau. Nous avons ainsi, en se référant à la figure 1.

$AP_{12}.neighborList(3)=\{AP_1, \dots, AP_{20}\}$ ,  $AP_{16}.neighborList(1)=\{AP_{11}, AP_{12}, AP_{17}\}$ .

- Chaque  $AP_i$  maintient la liste des  $STA_s$  visibles, c'est-à-dire l'ensemble des stations générant une activité sur le canal. Ces informations sont obtenues en analysant

le trafic sur le canal. La liste de ces stations est notée  $AP.visibleSTAs$ . Par exemple, en référence à la figure 1,

$$AP_{12}.visibleSTAs = \{STA_1, STA_2, STA_3\}.$$

– Chaque  $AP_i$  maintient la liste des  $STAs$  qui lui sont associées. Ces informations sont extraites du système des APs. La liste de ces stations est un sous ensemble de  $AP.visibleSTAs$  et est notée  $AP.associatedSTAs$ . En référence à la figure 1,

$$AP_{12}.associatedSTAs = \{STA_1, STA_3\}.$$

– Chaque  $AP_i$  maintient enfin pour chaque  $STA$  le débit physique et les applications utilisées. Les informations de débit sont extraites du système des APs et le type des applications de l'analyse du trafic sur le canal.

Le tableau 1 montre à titre d'exemple la connaissance maintenue dans l'AP12.

**Tableau 1.** Exemple de la vue située de l'AP<sub>12</sub> dans le cas classique / avec ALBA

visibleSTAs	Application	Débit physique	CUE estimé	associatedSTAs classique	associatedSTAs ALBA
STA <sub>1</sub>	VoIP	11	0.0815	Oui	Non
STA <sub>2</sub>	VoIP	5.5	0.1	Non	Oui
STA <sub>3</sub>	VoIP	1	0.268	Oui	Oui
<b>neighborList (n)</b>					
n=1 saut ; APs : 6, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18					
n=2 sauts ; APs : 1...4, 6...9, 11, 13, 14, 16...19					
n=3 sauts ; APs : 1...20					

#### 4. Algorithme de distribution de charge ALBA (Autonomic Load Balancing Algorithm)

Dans les WLAN, la portée des points d'accès dépend de la robustesse du codage choisi. Un codage robuste permet la couverture d'une zone plus grande mais avec un débit plus faible. Afin d'offrir le meilleur service à leurs clients, les opérateurs de hot-spots réalisent des déploiements denses dans lesquels chaque parcelle du territoire est couverte à haut débit à l'aide d'au moins un AP. En théorie des graphes, ce type de déploiement correspond à une 1-couverture du territoire à haut débit. Dans les réseaux d'infrastructure IEEE 802.11, sous des hypothèses de fonctionnement ordinaires, une 1-couverture à 11Mbit/s de l'espace induit au minimum une 9-couverture à 1Mbits/s. Un réseau ordinaire offre donc la possibilité à chaque client de choisir à chaque endroit de l'espace et à chaque instant un AP parmi au minimum 9 disponibles. Il existe donc potentiellement  $9^N$  combinaisons de connecter N clients dans le coeur d'un réseau IEEE 802.11 en mode infrastructure. L'objectif d'ALBA est de désengorger un voisinage d'AP dans une vue située en choisissant une combinaison de connexions garantissant les exigences de QoS des clients exprimées en terme de CUE. Une valeur de CUE est associée à chaque flot applicatif. Celle-ci peut être obtenue à partir de mesures de trafic ou déduite directement du type de l'application. La dernière méthode

est utilisée par défaut. L'avantage de cette méthode est de rendre des valeurs à partir desquelles des prédictions fiables peuvent être réalisées. Dans ce papier, nous testons la capacité de notre algorithme à traiter des flux VoIP à exigences connues. L'algorithme ALBA réagit de façon réactive et se déclenche lorsque le seuil d'utilisation  $Th_{alba}$  de l'AP est atteint. Dans le cas où l'algorithme ne parvient pas à trouver une combinaison de connexions satisfaisantes, la demande d'appel est rejetée.

#### 4.1. Métrique d'utilisation du canal CUE [GAR 03c]

[GAR 03a] [GAR 03c] montrent que la mesure de la capacité restante du réseau en terme de bande passante n'est pas suffisante pour déterminer si un flot de charge donnée peut s'insérer sans provoquer de congestion. La possibilité d'insérer un flot dépend également du nombre d'applications présentes, de leur type et de l'overhead. La métrique CUE prenant en compte ses paramètres, nous l'utilisons dans la suite.

Nous illustrons par la suite les facteurs principaux dont le calcul de CUE dépend directement.

CUEtotal désigne la somme de tous les CUE des flux d'une cellule. Le CUEtotal s'écrit [GAR 03c] :

$$CUE_{total} = \sum_{i \in \text{flots}} CUE(i) \quad [1]$$

Un trafic VoIP est composé d'un flux montant (upstream) et d'un flux descendant (downstream). Nous obtenons donc :

$$CUE(i) = 2 \times \frac{T_b}{T} \quad [2]$$

Où  $T$  est l'intervalle de temps périodique sur lequel se base la mesure du CUE (supposé 1 seconde dans notre travail) et  $T_b$  est le temps nécessaire à la transmission des données VoIP.  $T_b$  est fonction du temps de transmission et des overheads.  $T_b$  s'écrit :

$$T_b = n \times (T_P + T_O) \quad [3]$$

Où  $n$  est le nombre des trames transmises pendant le temps  $T$  (ici  $T=1$  sec, donc  $n=50$  trames avec le codec G711 à 20ms),  $T_P$  le temps total de transmission du payload et  $T_O$  celui des overheads dûs aux différentes entêtes, aux backoff et aux inter-trames 802.11 ainsi qu'aux collisions.

Le tableau 2 montre les différentes valeurs de CUE induites par un flot VoIP pour les différentes vitesses physiques de 802.11b.

La capacité d'un AP vaut 1 (100%) et représente la valeur maximale de CUEtotal. Les collisions consommant au pire des cas 15% du temps d'occupation du canal [GAR 03c], nous fixons à 85% le seuil de déclenchement  $Th_{alba}$  de l'algorithme.

**Tableau 2.** Exemple de CUE à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps

Vitesse (bps)	Codec (bps)	Payload (ms)	Payload (Bits)	$T_P(\mu s)$	$T_O(\mu s)$	$T_b(ms)$	CUE
$11 \cdot 10^6$	64000	20	1280	116	698	40	0.0815
$5.5 \cdot 10^6$	64000	20	1280	233	768	50	0.1
$2 \cdot 10^6$	64000	20	1280	640	1012	82	0.165
$1 \cdot 10^6$	64000	20	1280	128	1396	13	0.268

Sous ALBA, un flot VoIP est admis directement, si la valeur CUEtotal des flots déjà présents dans la cellule plus celle du nouveau flot est inférieure à 85%. Dans le cas contraire ALBA redistribue les connexions sur le voisinage de l'AP selon une heuristique donnée. Cette redistribution est réalisée en veillant à ce que le CUEtotal des cellules affectées par la redistribution soit inférieur à 85%.

Le tableau 3 montre pour 5 scénarios VoIP le pourcentage d'utilisation du canal CUEtotal obtenu en sommant les différents flots résultant de différentes distributions de clients à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps sous 802.11b. Un codec G711 avec 20 ms comme temps de paquetsation est utilisé pour le codage de la VoIP. Le seuil de saturation  $Th_{alba}$  vaut 0,85. Le premier scenario considère 1 client fonctionnant à 2 Mbps et 2 clients à 1 Mbps. La charge nécessaire est  $0,7 < 0,85$ . La ressource non utilisée vaut donc  $0,85 - 0,7 = 0,15$ . Comme le montre les scénarios 2 et 3 suivants, seul un nouveau client à 5.5 ou 11 Mbps peut être ajouté à la configuration initiale sans déclencher ALBA. En revanche si 2 nouveaux clients se connectent à 11 Mbps ou si 1 client se connecte à 11 Mbps et 1 autre à 5.5 Mbps, la cellule devient surchargée, comme illustré dans les scenarios 4 et 5. Par conséquent, le seuil  $Th_{alba}$  étant franchit une alarme est déclenchée pour lancer l'exécution d'ALBA.

**Tableau 3.** Exemple de CUEtotal selon la distribution de clients à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps

Vitesse (bps)	# clients (cas 1)	# clients (cas 2)	# clients (cas 3)	# clients (cas 4)	# clients (cas 5)
$11 \cdot 10^6$	0	1	0	2	1
$5.5 \cdot 10^6$	0	0	1	0	1
$2 \cdot 10^6$	1	1	1	1	1
$1 \cdot 10^6$	2	2	2	2	2
CUEtotal	$0,7 < 0,85$	$0,782 < 0,85$	$0,801 < 0,85$	$0,863 > 0,85$	$0,882 > 0,85$

#### 4.2. Description générique d'ALBA

On désigne par AP(i) les APs situés au *i*ème saut de l'AP surchargé. AP(0) désigne donc l'AP surchargé, AP(1) les APs voisins distants de 1 saut d'AP(0), etc. On appelle périmètre(i) la surface occupée par les AP(i) et zone(i) la surface groupant tous les périmètres (k),  $k \leq i$ . La description générale du fonctionnement d'ALBA est

représentée par les figures 2 et 3. Les noeuds rouges indiquent les APs à décharger du périmètre (i) et ceux en verts les APs à charger dans le périmètre (i+1).

### Etapes principales

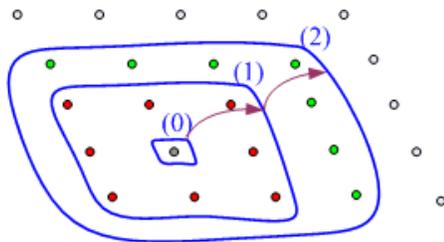
Le but d'ALBA est de garantir dans une zone de taille (i) que la charge de chaque AP ne dépasse pas le seuil  $Th_{alba}$  pour ne pas affecter la QoS des sessions actives.

Les principales étapes opérationnelles d'ALBA sont les suivantes :

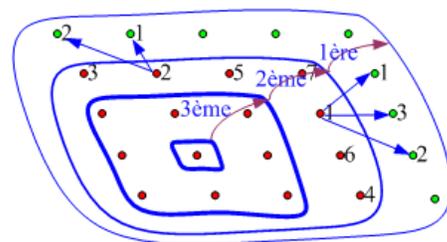
1- ALBA se déclenche au niveau de la zone (0) quand le seuil  $Th_{alba}$  est franchit.

2- Si l'algorithme n'arrive pas à décharger la zone (i), la taille de la zone est augmentée de 1 (cf figure 2). La taille maximale de la zone de décharge est fixé à  $n_{max}$ . La décharge réussie si elle permet d'insérer la nouvelle station.

3- La décharge d'une zone i commence par la décharge des stations du périmètre (i) au périmètre (i+1), est exécutée de proche en proche, et se termine par la décharge du périmètre (0) au périmètre (1) (voir figure 3). Selon cette procédure, la réassociation se fait progressivement par une propagation centrifuge des stations.



**Figure 2.** Etape 2 : Agrandissement de la zone de décharge



**Figure 3.** Etape 3 : Déplacement centrifuge des stations

### Stratégie de décharge

La politique de sélection des stations à réassocier, des AP(i) à décharger et des AP(i+1) à charger représente l'aspect majeur de l'opération de décharge (étape 3).

- a. Les AP(i) à décharger sont choisis dans l'ordre décroissant de charge.
- b. Les AP(i+1) à charger sont choisis dans l'ordre croissant de charge.
- c. Les stations les plus lentes (1Mbps) sont choisies en premier, les plus rapides en dernier (11Mbps). Cet ordre s'explique par le fait que les stations les plus éloignées sont celles dont le CUE peut être le mieux réduit. Ces stations sont aussi celles contribuant le plus au CUE. La réassociation d'une station est possible au niveau d'un AP du périmètre (i+1) si l'estimation du CUE de la station ajoutée au CUE des flots déjà connectés à l'AP est inférieure à  $Th_{alba}$ .

Une fois le plan de décharge validé et établi dans l'AP(0) celui-ci est mis en oeuvre dans le réseau sous la forme d'une transaction atomique. Pour ce faire, l'AP désigné pour chaque WD est communiqué aux stations qui se réassocient immédiatement, en même temps.

## 5. Simulations

Les simulations sont réalisées sur un simulateur intégrant le modèle de CUE présenté à la section 4.1 et tel que décrit dans [GAR 03b]. Les résultats obtenus étendent ceux des expériences préliminaires réalisées sous le simulateur de paquets Opnet [SAW 08].

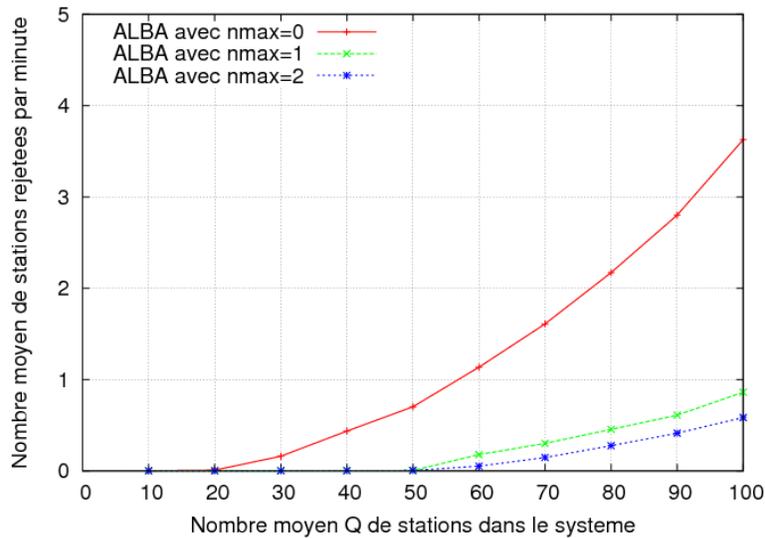


Figure 4. Nombre moyen de stations rejetées par minute

### 5.1. Description du système

La surface du terrain est de  $1500 \times 1500 \text{ m}^2$ . Le coeur du terrain est 1-couvert à 11 Mbps par 6 x 6 APs 802.11b disposés en grille. Les portées à 1, 2, 5.5 et 11 Mbps sont celles d'une carte Cisco 340 et valent respectivement 121, 243, 365 et 457 m. Dans ces conditions de déploiement des APs, le terrain est 9-couvert à 1 Mbps. Les stations arrivent dans la zone de couverture selon une loi de Poisson de paramètres  $\lambda$ . La durée de chaque session suit une loi exponentielle de moyenne  $\mu^{-1}$  (5 min/appel). Les positions des stations en x et y sont générées selon une loi normale ayant respectivement comme espérance et écart type le centre et la moitié du terrain. En régime stationnaire, le nombre moyen de client Q vaut  $\lambda * \mu^{-1}$ . La valeur de  $\lambda$  fixe donc le nombre de stations Q présentes simultanément sur le terrain. Les stations sont supposées immobiles. Chaque station génère à son arrivée un appel VoIP. Le codec G711 est utilisé pour le codage de la voix. Les trames de données audio sont envoyées chaque 20 ms et contiennent 160 octets de charge utile, sans compression.

Le trafic VoIP circule entre les stations et les APs. Le système de distribution est connecté à l'internet via un lien très haut débit. Seule la période du régime station-

naire est conservée dans les résultats. La figure 4 montre le nombre moyen de stations rejetées par minute durant la simulation. Les résultats sont les moyennes de 10 simulations. Les simulations diffèrent par les coordonnées  $x$  et  $y$  des stations.

### 5.2. Résultats des simulations sans algorithme de répartition de charge

Dans ce cas, aucun algorithme de répartition de charge n'est appliqué et  $n_{max}$  vaut 0. Les stations se connectent toujours à l'AP le plus proche. Le problème se ramène à un algorithme de contrôle d'admission classique où les stations sont rejetées si le seuil de CUE est dépassé. Aucune gestion n'étant réalisée, les performances sont moins bonnes que lorsqu'ALBA est activé. Le nombre de stations rejetées croît quasi linéairement pour atteindre un rythme de 4 stations par minute lorsque 100 stations sont présentes simultanément sur le terrain. En d'autre terme, lorsque les stations arrivent selon un rythme  $\lambda$  de 20 stations par minute, 4 stations seront rejetées, soit un taux de rejet de 20% environ.

### 5.3. Résultats des simulations avec ALBA

Lorsqu'ALBA est appliqué ( $n_{max}=1$  et 2), les APs au voisinage de l'AP surchargé peuvent être reconfigurés pour résoudre le problème de la congestion. La figure 4 montre que les premières pertes apparaissent à 50 stations avec  $n_{max}=1$  et à 60 stations avec  $n_{max}=2$ . ALBA avec  $n_{max}=2$  fournit en moyenne des performances 50% supérieures en terme de pourcentage de stations rejetées comparé à ALBA avec  $n_{max} = 1$ . Ce gain s'explique par le fait que la capacité d'ALBA à évacuer la congestion en bordure des zones surchargées de stations croît avec  $n_{max}$ .

## 6. Conclusion

Nous avons proposé dans cet article un système de répartition de charge autonome afin d'optimiser l'utilisation de la capacité dans les réseaux WLAN. Une architecture de système basée sur le Plan de Connaissance et le concept de la vue située est proposée à ce titre.

L'étude de performance montre des gains substantiels en terme de capacité d'accueil en stations du réseau avec ALBA à 1 saut. Ces gains augmentent encore de près de 50% à 2 sauts. Ceci confirme l'intérêt de dégrader la vitesse physique des équipements pour désengorger le coeur du réseau si les conditions de CUE le permettent.

Comme travaux futurs, nous envisageons d'étendre ALBA avec une gestion proactive du réseau destinée à l'optimisation de l'équilibrage de la charge. La deuxième perspective consiste à intégrer d'autres paramètres de décision de répartition de charge tels que les profils d'utilisateurs.

## 7. Bibliographie

- [BAL 02a] BALACHANDRAN A., BAHL P., VOELKER G., « Hot-spot congestion relief in public-area wireless networks », *4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications 2002*, Callicoon, USA, 2002.
- [BAL 02b] BALACHANDRAN A., VOELKER G., BAHL P., RANGAN V., « Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN », *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review 2002*, Marina Del Rey, Californie, USA, 2002.
- [BAL 03] BALAZINSKA M., CASTRO P., « Characterizing Mobility and Network Usage in a Corporate Wireless Local-Area Network », *Proceedings of MobiSys 2003*, San Francisco, CA, USA, 2003.
- [BEJ 04] BEJERANO Y., HAN S.-J., LI L., « Fairness and Load Balancing in Wireless LANs Using Association Control », *MobiCom 2004*, Philadelphia, PA, September 2004.
- [CIS 04] CISCO, « Data sheet for cisco aironet 1200 series », Technical report, 2004, Cisco Systems Inc, INRIA.
- [CLA 03] CLARK D. D., PARTRIDGE C., RAMMING J. C., WROCLAWSKI J. T., « A Knowledge Plane for the Internet », *SIGCOMM 2003*, Karlsruhe, Germany, 2003.
- [DAH 06] DAHER R., TAVANGARIAN D., « QoS-Oriented Load Balancing for WLANs », *First IEEE workshop OpCommin, 2006*, Berlin, Germany, 2006.
- [GAR 03a] GARG S., KAPPES M., « Admission Control for VoIP Traffic in IEEE 802.11 Networks », *GLOBECOM 2003*, San Francisco, USA, 2003.
- [GAR 03b] GARG S., KAPPES M., « Can I add a VoIP call ? », *IEEE ICC 2003*, Anchorage, Alaska, 2003.
- [GAR 03c] GARG S., KAPPES M., « An Experimental Study of Throughput for UDP and VoIP Traffic in IEEE 802.11b Networks », *IEEE WCNC 2003*, New Orleans, LA, 2003.
- [HEU 03] HEUSSE M., ROUSSEAU F., SABBATEL G. B., DUDA A., « Performance Anomaly of 802.11b », *IEEE INFOCOM 2003*, San Francisco, USA, 2003.
- [IEE 97] IEEE802.11, « IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications », Ieee std 802.11, 1997.
- [SAW 08] SAWMA G., AIB I., BEN-EL-KEZADRI R., PUJOLLE G., « ALBA : An Autonomic Load Balancing Algorithm for IEEE 802.11 Wireless Networks », *à paraître, papier court, NOMS 2008*, Salvador, Bahia, Brésil, Avril 2008.
- [SHE 99] SHEU S.-T., WU C.-C., « Dynamic Load Balance algorithm (DLBA) for IEEE 802.11 Wireless LAN », *Tamkang Journal of Science and Engineering*, , 1999.
- [STR 06] STRASSNER J., « Autonomic Networks and systems - Theory and Practice », *Tutorial NOMS 2006*, Vancouver, Canada, 2006.
- [VEL 04] VELAYOS H., ALEO V., KARLSSON G., « Load balancing in overlapping wireless LAN cells », *IEEE ICC 2004*, Paris, France, 2004.