



**HAL**  
open science

# Gestion Autonome de la Répartition de Charge 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 dans les Réseaux Sans Fil. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP), Mar 2008, Les Arcs, France. hal-00250214v1

**HAL Id: hal-00250214**

**<https://hal.science/hal-00250214v1>**

Submitted on 11 Feb 2008 (v1), last revised 13 Feb 2008 (v2)

**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\*, Ryad Ben-El-Kezadri\*\*\*, Issam Aib\*\*\*, Guy Pujolle\*

\* Laboratoire d'Informatique de Paris 6  
Université Pierre et Marie Curie  
104 Avenue du Président Kennedy  
75016, Paris, France  
{Gilbert.Sawma, Ryad.Bek, Guy.Pujolle}@lip6.fr

\*\* Laboratoire CRISTAL/ENSI  
Université de la Manouba  
Manouba, Tunisie

\*\*\* Laboratoire d'Informatique David R.C  
Université de Waterloo  
200 University Avenue west  
N2L 3G1, Waterloo, Canada  
iaib@uwaterloo.ca

---

*RÉSUMÉ.* La technologie IEEE 802.11 étant devenue un standard mondial pour les réseaux locaux sans fil, une gestion efficace des points d'accès et des stations 802.11 devient primordiale pour fournir aux utilisateurs d'applications multimédia la QoS attendue et contrôler les grands réseaux. 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. Nous appliquons dans cet article notre algorithme à une application VoIP. 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, de l'ordre de 20% tant au niveau des métriques de QoS que de la capacité d'accueil en stations du réseau.

*ABSTRACT.* As the IEEE 802.11 technology has become a universal standard for wireless LANs, the need for the efficient management of the access points and their associated stations 802.11 becomes paramount to provide users of multimedia applications the expected QoS. 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. We apply our algorithm to a VoIP application. The autonomic concept is involved in the system in order to enrich the knowledge of the network and to provide each access point with a situated view of its neighborhood and the traffic of clients. The evaluation of the solution reveals important performance gains, of the order of 20% both in terms of QoS metrics and in terms of network capacity.

## 1. Introduction

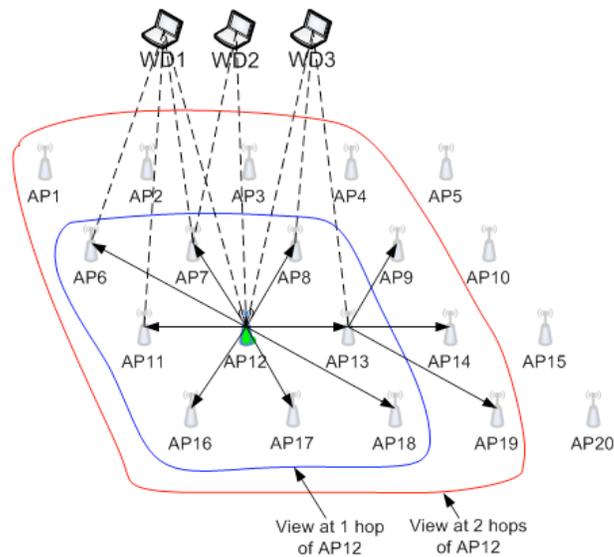
CET article présente un nouvel algorithme de distribution de charge (Load Balancing) pour les grands réseaux d'infrastructure 802.11. Ces réseaux, souvent très denses, sont ceux couvrant, les campus universitaires, les réseaux d'entreprise et de façon générale tous les hot spots. La spécificité de cet algorithme repose sur l'utilisation du *Plan de Connaissance* et de la *Vue Située*. A l'heure où les échanges multimédia se généralisent et la demande en débit s'accroît, le support de la 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 voix sur IP (VoIP) supporté par un réseau WLAN 802.11b (VoWLAN) est aujourd'hui limité entre 3 à 12 appels bidirectionnels simultanés [?] [?]. Le problème des environnements WLAN est que la capacité globale est réduite du fait de la fragmentation totale du réseau en multiples cellules [?]. 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 la saturation du réseau. Plusieurs études montrent à ce titre que la congestion est un phénomène localisé sur quelques APs, dans les réseaux d'infrastructure 802.11 [?] [?]. Contrairement aux algorithmes existants qui fonctionnent localement [?] [?] [?] [?], 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 [?], 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) [?]. 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. 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 réseaux locaux sans fil (Wireless Local Area Networks WLAN), le thème de la répartition de la charge fait l'objet de plusieurs études [?] [?] [?] [?]. 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 [?], 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 fondée sur la puissance du signal reçu RSSI (Received Signal Strength Indicator) est étudié dans [?]. 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 dans [?] et [?] est qu'ils prennent en compte un seul paramètre, et non pas les deux en même temps, i.e., les puissances des signaux reçues des APs et leurs charges ne sont pas considérés simultanément.

[?] 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. [?] [?] démontre à ce titre que le débit ne peut pas être utilisé pour définir la capacité du réseau. Les expérimentations et les calculs montrent à ce titre 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 le trafic VoIP utilisant le codec G711 avec 10 ms de données audio par paquet. [?] propose de fait l'utilisation de la métrique d'estimation d'utilisation du canal CUE (Channel Utilisation Estimate) à la place du débit.

[?] propose une stratégie de répartition équitable de la charge sur l'ensemble du réseau garantissant aux utilisateurs, dont les demandes ne sont pas totalement satisfaites, l'obtention d'une même part  $p$ , autant grande que possible, des ressources.

[?] 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 Connaissances, 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 autonomes 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 autonomes 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>me</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 Cooperation " assure le service de coopération entre les différents éléments du réseau. Dans les réseaux autonomes ce plan est parfois appelé " Plan de Gouvernance ou Inférence" [?] [?].

Le concept de *Plan de Connaissance* dans les réseaux a été introduit en 2003 [?]. [?] 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. Une architecture orientée-autonome est également proposée dans [?] pour sélectionner les mécanismes de contrôle à appliquer dans les équipements de l'Internet des objets (Internet of Things) . Le rôle du plan de connaissance est de mettre à la disposition des algorithmes les informations importantes nécessaires au bon fonctionnement du réseau.

Le plan de connaissance que nous proposons dans ALBA se base sur la "Vue Située", voir figure ?? . 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  $AP.neighborList(n)$  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 ??.

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

– 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 ??,

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

– Chaque  $AP_i$  maintient la liste des  $STA_s$  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 ??,

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

– 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 ?? montre à titre d'exemple la connaissance maintenue dans l'AP12.

$neighborList(n)$	$visibleSTAs$	$Application$ $Type$	$Bit\ rate$	$CUEstimated$	$associatedSTAs$ $Classique$	$associatedSTAs$ $ALBA$
$r=1: \{6, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18\}$	STA1	VolP	11	0,168	Oui	Non
$r=2: \{1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19\}$	STA2	VolP	5,5	0,168	Non	Oui
$r=3: \{1, \dots, 20\}$	STA3	VolP	1	0,268	Oui	Oui

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

La section suivante présente en détail l'algorithme ALBA et son utilisation du plan de connaissance.

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

Dans les réseaux locaux sans fil (Wireless Local Area Networks 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 environ  $9^N$  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 [?]

[?] [?] 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 capacité d'un flot à s'insérer dépend également du nombre d'applications présentes et de leur type. La métrique CUE prenant en compte ses paramètres, nous l'utilisons dans la suite.

La méthode d'accès au canal sous 802.11 est basée sur le principe CSMA/CA. Sous 802.11, la transmission d'une trame introduit un overhead important due à l'encapsulation des données dans les différentes couches. En plus de cet overhead, un overhead additionnel est imposé du fait de l'utilisation d'intertrames, d'acquitements et d'un intervalle de backoff entre les paquets transmis par une même station. La perte totale due aux overheads est obtenue en additionnant le temps d'occupation du canal relatif aux overheads des couches applicatives, MAC et physique. Dans une configuration VoWLAN (VoIP over WLAN), le nombre maximum de clients supportés par l'AP dépend essentiellement de l'overhead et de la taille des paquets de données utilisés. Le tableau ?? montre les pertes en overheads dues aux différentes couches.

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 [?] :

**Tableau 2.** Overheads pour chaque transmission de paquet VoIP utilisant le codec G711 de 20 ms paquet audio

Overhead	Size (Bytes)	Time ( $\mu s$ )
Charge Audio	160	$160 \times 8 / R_{avg}$
RTP+UDP+IP	$12+8+20=40$	$40 \times 8 / R_{avg}$
En-tête MAC pour données	34	$34 \times 8 / R_{avg}$
En-tête MAC pour ACK	14	$14 \times 8 / R_{avg}$
PLCP préambule et en-tête pour DATA et ACK	24	$24 \times 8 / R_{avg}$
SIFS	N/A	10
DIFS	N/A	50
Slot	N/A	20

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

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

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

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.

Plus précisément, le temps de transmission  $T_P$  (ms) d'un payload (bit), dépend de la vitesse moyenne de transmission (entre 1 et 11 Mbps dans 802.11b)  $R_{avg}$  (average data transmission rate) :

$$T_P = \frac{\text{payload(bits)}}{R_{avg}(Mbps)} \quad [4]$$

Le temps total  $T_O$  occupé par les overheads s'exprime comme la somme des overheads des couches hautes et basses :

$$T_O = T_{AppLayers} + T_{802.11} \quad [5]$$

Soit en développant :

$$T_O = T_{RTP} + T_{UDP} + T_{IP} + T_{DIFS} + T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{DCF} \quad [6]$$

Où  $T_{DCF}$  est la durée moyenne de l'intervalle de backoff précédant les transmissions.

Selon [?], le temps séparant la transmission de deux trames est donné par :

$$T_{DCF} = \text{backoff} \times 20 + (T_P + T_{AppLayers} + T_{DIFS} + T_{SIFS} + T_{ACK}) \times p_{col}. \quad [7]$$

Où *backoff* est la durée moyenne du backoff et  $p$  la probabilité de collision. *backoff* vaut respectivement 8.5, 6.215 et 5.061 pour les cas à 2, 3 et 4 émetteurs VoIP.  $p$  vaut respectivement 0.03, 0.056 et 0.0774 pour ces mêmes cas [?]. Dans ce papier, les valeurs de *backoff* et  $p$  sont supposées 8.5 et 0.03 respectivement.

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

**Tableau 3.** Exemple de CUE à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps.

Vitesse (Mbps)	Codec	Payload (ms)	Payload (Bits)	$T_P(\mu s)$	$T_O(\mu s)$	$T_b(ms)$	CUE
$11 * 10^6$	64000	20	1280	116	698	40	0,0815
$5.5 * 10^6$	64000	20	1280	233	768	50	0,1
$2 * 10^6$	64000	20	1280	640	1012	82	0,165
$1 * 10^6$	64000	20	1280	128	1396	13	0,268

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 [?], nous fixons à 85% le seuil de déclenchement  $Th_{alba}$  de l'algorithme. 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 ?? montre pour 5 scénarios VoIP le pourcentage d'utilisation du canal CUEtotal obtenu en sommant les différents flots résultant de différentes distribution

de clients à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps sous 802.11b. Un codec G711 avec 20 ms comme de temps de paquets est utilisé pour le codage de la VoIP. Le seuil de saturation  $Th_{alba}$  vaut 0,85. Le premier scénario 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 scénarios 4 et 5. Par conséquent, le seuil  $Th_{alba}$  étant franchi une alarme est déclenchée pour lancer l'exécution d'ALBA.

**Tableau 4.** Exemple de  $CUE_{total}$  selon la distribution de clients à 11, 5.5, 2 et 1 Mbps

Vitesse (Mbps)	# 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
$CUE_{total}$	$0,7 < 0,85$	$0,782 < 0,85$	$0,801 < 0,85$	$0,863 > 0,85$	$0,882 > 0,85$

#### 4.2. Description générique d'ALBA

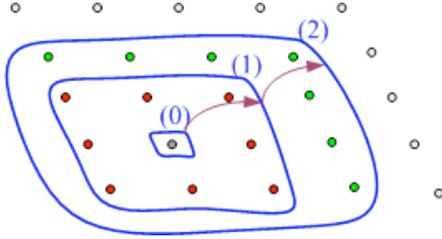
La description générale du fonctionnement d'ALBA est représentée par les figures ?? et ?. Les noeuds rouges indiquent les APs à décharger du périmètre (i) et ceux en verts les APs à charger dans le périmètre (i+1).

##### Etapes principales

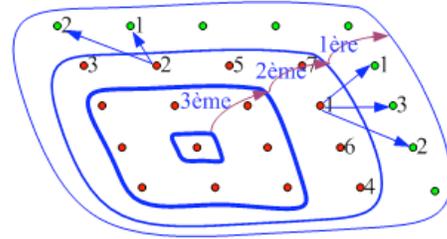
Le but d'ALBA est de garantir dans une zone de taille (i) que la charge de chaque AP ne dépasse pas le seuil  $Th_{alba}$  pour ne pas affecter la QoS des sessions actives. On désigne par AP(i) les APs situés au *i*ème saut de l'AP surchargé. AP(0) désigne donc l'AP surchargé, AP(1) les APs voisins distants de 1 saut d'AP(0), etc. On désigne par  $n_{max}$  la taille maximale en nombre de saut de la zone à décharger.

Les principales étapes opérationnelles d'ALBA sont les suivantes :

- 1- ALBA se déclenche au niveau d'AP(0) quand le seuil  $Th_{alba}$  est franchi.
- 2- Si l'algorithme n'arrive pas à décharger la zone (i), la taille de la zone est augmentée de 1 jusqu'à  $n_{max}$  au maximum (voir figure ?). 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 ?). 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 statistiquement celles possédant le meilleur degré de connectivité. Ces stations sont aussi celles contribuant le plus au CUE. La réassociation d'une station est possible si l'AP(i+1) peut supporter la réassociation, c'est à dire si  $CUE(sta, i+1) + CUEtotal(i+1) \leq Th_{alba}$ .

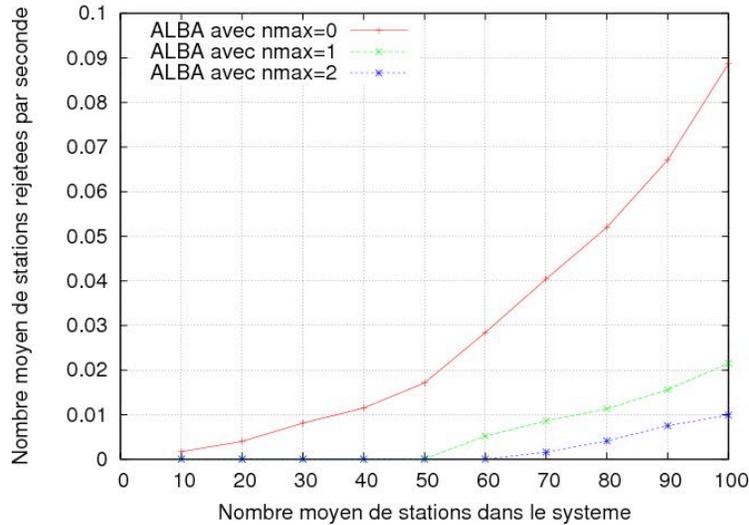
Une fois le plan de décharge validé et établi dans l'AP(0) celui-ci est mis en oeuvre dans le réseau. Pour ce faire, l'AP désigné pour chaque WD est communiqué aux stations. Cette opération garantit l'instantanéité des transactions et la préservation du CUE total dans le réseau.

## 5. Simulations

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

### 5.1. Description du système

Le surface du terrain est de  $1500 \times 1500 m^2$ . Le coeur du terrain est 1-couvert à 11 Mbps par 6 x 6 AP 802.11b disposé en grille. Les portées à 1, 2, 5.5 et 11 Mbps sont celles d'une carte Cisco 350 et valant respectivement 121, 243, 365 et 457 m. Dans ces conditions, le terrain est plus que 9-couvert à 1 Mbps. Les stations arrivent dans la zone de couverture selon une loi de Poisson de paramètres  $\lambda$ . La valeur de  $\lambda$  détermine le nombre de stations présentées simultanément sur le terrain. La durée



**Figure 4.** Nombre moyen de stations rejetées par seconde

de chaque session suit une loi exponentielle de moyenne  $\mu^{-1}$  (5 min/appel). Les positions des stations en coordonnées de  $x$  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  $\lambda * \mu^{-1}$ . 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 20ms et contiennent 160 octets de charge utile, sans compression. L'application VoIP fonctionne au dessus du protocole de transport temps réel RTP et de la pile UDP/IP.

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 stationnaire est conservée dans les résultats de la figure ?? La figure ?? montre le nombre moyen de stations rejetées par seconde durant la simulation. Les résultats de simulations sont les moyennes de 12 simulations durant 20 min chacune. Les simulations diffèrent en variant les graines des coordonnées  $x$  et  $y$  de stations.

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

Dans ce cas classique où aucun algorithme de répartition de charge n'est appliqué  $n_{max}$  vaut 0. Le problème se ramène à un algorithme de contrôle d'admission classique où les stations sont rejetées si le seuil de CUE est dépassé. Les stations se connectent toujours à l'AP le plus proche. Aucune gestion n'étant réalisée, les performances sont moins bonnes que lorsqu'ALBA est activé. Le nombre de stations moyen

considéré durant la simulation est entre 10 et 100 stations. Les premières pertes apparaissent à partir de 10 stations dont le nombre moyen de stations rejetées par seconde est près entre 0.05 et 0.9.

### 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 ?? montre que les premières pertes apparaissent à 50 stations avec  $n_{max}=1$  et à 60 stations avec  $n_{max}=2$ . Les performances fournies en moyenne par ALBA avec  $n_{max}=2$  des performances deux fois meilleures en terme de pourcentage de stations rejetées par rapport à ALBA avec  $n_{max} = 1$ . Ce gain de performance s'explique par le fait qu'ALBA est capable d'évacuer la congestion au périphériques de zones surchargées en stations.

## 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 un plan de connaissance et le concept de la vue située est proposée à ce titre.

L'étude de performance montre des gains de l'ordre de 20% en termes de métriques de QoS et en termes de capacité d'accueil en stations du réseau. Ceux-ci confirment l'intérêt de dégrader la vitesse physique des équipements pour désengorger le coeur du réseaux si les conditions de CUE le permettent.

Comme travaux futurs, nous envisageons à 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 la localisation et les profils d'utilisateurs. La troisième perspective est la prise en compte d'un ensemble plus grand d'applications comme le streaming vidéo, la navigation Web, le mail et les applications pair à pair. De nouvelles technologies pourraient également guider l'heuristique de réassociation d'ALBA avec des gains de performances importants en perspective. L'impact sur ALBA des technologies 802.11e et des antennes directives sera étudié à ce titre.