

## Anticipation des handovers des noeuds IPv6 à l'aide d'informations de géolocalisation

Julien Montavont, Thomas Noel, Karine Guillouard

► **To cite this version:**

Julien Montavont, Thomas Noel, Karine Guillouard. Anticipation des handovers des noeuds IPv6 à l'aide d'informations de géolocalisation. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP 2006, Oct 2006, Tozeur/Tunisia, Tunisie. Hermès, Session 2 : Mobilité, 12 p., 2006. <inria-00110275>

**HAL Id: inria-00110275**

**<https://hal.inria.fr/inria-00110275>**

Submitted on 20 Nov 2006

**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.

---

# Anticipation des handovers des noeuds IPv6 à l'aide d'informations de géolocalisation

Julien Montavont\* — Thomas Noël\* — Karine Guillouard\*\*

\* Laboratoire LSIT (UMR 7005) - Université Louis Pasteur  
Boulevard Sébastien Brant - BP 10413  
F-67412 Illkirch Cedex

{montavontj, Thomas.Noel}@dpt-info.u-strasbg.fr

\*\* France Télécom R&D  
4 rue du Clos Courtel - BP 59  
F-35512 Cesson Sévigné  
karine.guillouard@francetelecom.com

---

*RÉSUMÉ. Les performances ainsi que la popularité grandissante des réseaux sans fil IEEE 802.11 les destinent à véhiculer une grande diversité de trafic. Cependant, les communications temps réel, particulièrement sensibles aux temps de latence, peuvent être perturbées lors de la phase de handover. Ce phénomène est d'autant plus aggravé si le handover de niveau 2 est suivi par un handover de niveau 3. De nombreuses solutions visant à optimiser le temps de latence engendré par le handover ont été proposées, mais peu d'entre elles tirent parti d'informations de positionnement. Dans cet article, nous présentons un nouveau protocole s'appuyant sur des informations de géolocalisation afin d'anticiper les futurs points d'accès des noeuds mobiles. Notre protocole permet notamment de positionner un contexte afin d'éviter la phase de découverte de niveau 2 et de connaître a priori le prochain lien IPv6. Une évaluation complète du protocole a été réalisée par simulation à travers trois scénarios.*

*ABSTRACT. Due to their increasing performances and popularity, the IEEE 802.11 wireless networks are now used to propagate a large type of traffic. However, real-time communications, which are time-sensitive, may be disturbed by the handover process, especially if the layer 2 handover is followed by a layer 3 handover. Many proposals aim to reduce the handover latency but few of them take into account the position of the devices. In this article, we present a new method to anticipate the next access points of mobile nodes using a geolocation information. This protocol creates contexts which allow mobile nodes to avoid the layer 2 discovery phase and to know the new IPv6 link prior to the handover. Our solution has been evaluated by simulation throughout three scenarios.*

*MOTS-CLÉS : IEEE 802.11, Mobile IPv6, Handover Rapide, Handover assisté par géolocalisation*

*KEYWORDS: IEEE 802.11, Mobile IPv6, Fast Handover, Geolocation Assisted Handover*

---

## 1. Introduction

Ces dernières années, les réseaux sans fil IEEE 802.11 sont devenus très populaires et font désormais partie intégrante du réseau Internet. De ce fait, ils sont amenés à véhiculer une vaste diversité de trafic. Le principal avantage des réseaux sans fil est de permettre aux utilisateurs de communiquer tout en se déplaçant. Lorsqu'un noeud mobile (NM) sort de la zone de couverture de son point d'accès (PA), il doit effectuer un enchaînement de procédures lui permettant de s'associer à un nouveau PA afin de rétablir une connectivité réseau. Ce processus, référencé par le terme *handover*, peut survenir fréquemment en raison de la portée relativement limitée des équipements 802.11. Tel qu'il est décrit dans la norme IEEE 802.11 [802 99], le *handover* peut engendrer un temps de latence non négligeable (entre 59 et 397ms en référence aux mesures trouvées dans [MIS 03]) suivant le type de trafic en cours. Lors de communications temps réel, le *handover* provoque d'importantes coupures perceptibles par les utilisateurs. Ce problème peut encore être aggravé si le *handover* de niveau 2 (i.e. changement de PA situé dans le même sous-réseau IPv6) est suivi par un *handover* de niveau 3 (i.e. changement de PA dans des sous-réseaux IPv6 différents) géré par le protocole Mobile IPv6 [JOH 04]. Les nombreuses solutions proposées afin d'améliorer le temps de latence introduit par le *handover* de niveau 2 ou 3 utilisent majoritairement des informations sur la topologie des PAs et des sous-réseaux IPv6 associés [MON 05a, TSE 05]. De telles informations sont soit obtenues directement lors de phases de découverte effectuées par les NMs, soit configurées au préalable dans une entité réseau. De plus, de nouvelles approches utilisant les positions physiques des équipements commencent à émerger [TSE 05, PES 03]. Dans cet article, nous proposons un nouveau protocole, appelé Fast Location-based Handover (FLH), qui améliore le temps de latence engendré par le *handover* aussi bien au niveau 2 qu'au niveau 3, grâce à l'utilisation d'informations de géolocalisation. En se basant sur la trajectoire des NMs, un contrôleur de mobilité (CM) détermine leurs futurs PAs. Les paramètres relatifs aux PAs sélectionnés sont ensuite envoyés aux NMs afin de leur signifier leurs prochains points d'attachement. Dès lors, la phase de découverte de niveau 2 peut être évitée et la détection de nouveaux liens IPv6 est instantanée, permettant un *handover* rapide.

Le reste du document est organisé comme suit. La prochaine section décrit brièvement le standard IEEE 802.11 ainsi que le protocole Mobile IPv6. Elle tente notamment de relever les principaux points responsables du temps de latence engendré par le *handover* et présente quelques solutions visant à l'améliorer. La section 3 illustre notre protocole et détaille ses différentes étapes. Enfin, l'évaluation complète de notre protocole ainsi que les conclusions sont présentées dans les sections 4 et 5.

## 2. Etat de l'art

Cette section décrit les deux standards communément utilisés pour gérer les *handovers* de niveau 2 et 3 dans les réseaux sans fil 802.11 et IPv6. Puis nous présen-

terons quelques solutions visant à réduire le temps de latence engendré par ces deux standards.

### **2.1. La norme IEEE 802.11**

On appelle couramment handover de niveau 2 le fait qu'un NM change physiquement son point d'attachement au réseau. Décomposé en trois étapes par la norme IEEE 802.11 [802 99] (découverte, authentification et association), il introduit une coupure dans les communications courantes des NMs. Récemment, il a été observé que 90% du temps de latence engendré par le handover de niveau 2 est dû à la phase de découverte [MIS 03]. Cela s'explique principalement par l'algorithme de recherche des nouveaux PAs. Même si aucun PA ne se trouve sur un canal radio particulier, un NM doit tout de même scanner ce canal en vain pendant une durée appelée MinChannelTime. De plus, lorsqu'un NM reçoit au moins une réponse sur un certain canal, il doit attendre pendant une durée appelée MaxChannelTime avant de passer à l'étape suivante du handover. Suivant les canaux utilisés par les PAs environnants, cette attente supplémentaire peut s'avérer complètement inutile et peut augmenter significativement le temps de latence du handover de niveau 2. Il est également intéressant de relever que la norme ne fournit aucune valeur numérique pour les variables MinChannelTime et MaxChannelTime. Ces variables peuvent donc fortement varier suivant le constructeur de l'équipement sans fil.

### **2.2. Le protocole Mobile IPv6**

A la fin d'un handover de niveau 2, un NM peut être amené à changer son adresse IPv6 par rapport au nouveau réseau dans lequel il vient d'entrer. Sans support spécifique, ce changement d'adresse, aussi référencé par le terme handover de niveau 3, rompt toutes les communications courantes du NM. Le protocole Mobile IPv6 (MIPv6) [JOH 04] est le standard défini par l'Internet Engineering Task Force (IETF) pour gérer les handovers de niveau 3 dans les réseaux IPv6. Ce protocole introduit une nouvelle entité réseau appelée l'agent mère. Situé dans le réseau mère, il joue le rôle d'une station relais en redirigeant les paquets IPv6 aux positions courantes des NMs dont il a la charge. Lorsqu'un NM est situé dans son réseau mère, il communique tel un noeud fixe en utilisant son adresse mère. Dès qu'il se déplace dans un réseau visité, il obtient une nouvelle adresse temporaire et en informe l'agent mère afin que ce dernier lui redirige ses paquets à son actuelle localisation. Le temps de latence engendré par le protocole MIPv6 est principalement lié à deux facteurs. Le premier provient de la détection du nouveau réseau IPv6, réalisée grâce aux messages Router Advertisement (RA). A la réception d'un tel message, le NM détecte qu'il s'est déplacé et peut se configurer une nouvelle adresse temporaire grâce au mécanisme d'auto-configuration d'adresse IPv6 [THO 04]. Le temps nécessaire à la détection dépend donc de la fréquence à laquelle sont envoyés les RAs. Le deuxième point responsable du temps de latence provient du temps requis pour mettre à jour une adresse temporaire auprès de

l'agent mère. Plus un NM et son agent mère sont éloignés en terme de distance réseau, plus la mise à jour de l'adresse temporaire va être longue.

### 2.3. Optimisations

Différentes solutions proposent de réduire le temps de latence introduit par les handovers de niveau 2 et 3. Dans [MON 05a], les auteurs évaluent trois nouvelles solutions visant à réduire la phase de découverte du handover de niveau 2. Dans la première solution, les NMs construisent dynamiquement une carte des PAs par lesquels ils sont déjà passés. La deuxième oblige les NMs à effectuer de petites phases de découverte afin d'identifier les PAs environnants alors qu'ils sont toujours associés à leurs PAs courants. Dans la dernière solution, chaque PA détient la liste de ses voisins et l'envoie aux NMs. Nous pouvons observer que toutes ces solutions impliquent l'utilisation d'informations sur la topologie des différents PAs. Pour compléter ces paramètres, il est possible d'ajouter des informations de niveau 3 [TSE 05]. Bien qu'orientée IPv4, cette solution présente non seulement l'utilisation d'informations de topologie, mais suggère également d'utiliser des informations de géolocalisation afin d'affiner le choix du prochain PA. Un serveur dédié possède toutes les informations sur la topologie du réseau qu'il gère et envoie ces informations aux NMs qui déterminent seuls leurs prochains PAs. Néanmoins, les auteurs ne détaillent pas la sélection du prochain PA et bien que la phase de découverte soit fortement optimisée, elle est toujours nécessaire. De plus, il est peu probable que de telles informations, notamment les positions physiques, soient transmises de la sorte par les différents FAI. Une solution serait de déléguer le choix du prochain PA au réseau. Dans [BER 04], un gestionnaire de mobilité envoie aux NMs une liste de PAs voisins. Lorsque la qualité du signal entre un NM et son PA atteint un seuil critique, le NM mesure la qualité de transmission avec les PAs de la liste et envoie au gestionnaire de mobilité une demande de changement de PA incluant les mesures effectuées. A partir de ces mesures, le gestionnaire de mobilité détermine le prochain PA et en informe le NM. Mais en se basant uniquement sur la qualité du signal, on ne choisit pas forcément le meilleur PA en terme de zone de couverture. Comme le montre [PRE 03], l'utilisation d'informations de géolocalisation peut permettre de limiter le nombre de handovers en choisissant les PAs offrant une vaste zone de couverture. Bien que l'algorithme proposé dans [PRE 03] permette de définir un ordre de préférence parmi les PAs environnant, le NM doit tout de même réaliser une phase de découverte avec le PA pré-sélectionné. Dans le même ordre d'idée, [PES 03] propose un algorithme basé sur les trajectoires des NMs afin de gérer les handovers entre des réseaux GPRS et WLAN. Une entité réseau enregistre les déplacements des NMs afin de déterminer s'ils sont proches d'une zone couverte par un réseau WLAN. En se basant sur la trajectoire, le type de trafic, la cartographie des PAs, cette entité détermine si un handover du réseau GPRS vers le réseau WLAN est judicieux. Mais aucun mécanisme n'est mis en place pour optimiser l'association au réseau WLAN.

### 3. Description du protocole FLH

L'idée principale de notre protocole est d'utiliser des informations de géolocalisation afin de déterminer par avance le futur PA d'un NM. En se basant sur sa trajectoire et sur la position des PAs environnants, il est possible de sélectionner le PA offrant la plus vaste zone de couverture au NM afin de limiter le nombre de handovers requis. Cette pré-sélection donne lieu au positionnement d'un contexte sur les NMs leur permettant notamment d'éviter la phase de découverte relative au handover de niveau 2 et de connaître a priori les paramètres du prochain sous-réseau IPv6. Le temps de latence introduit par la mise à jour de l'adresse temporaire peut être réduit en utilisant une architecture de réseau hiérarchique. Dans la suite du document, nous simulerons une telle architecture en réduisant le délai nécessaire pour joindre l'agent mère. Notre protocole n'est lié à aucun système de géolocalisation particulier. De tels systèmes sont généralement classés dans deux catégories. Dans l'une, ce sont les NMs eux-mêmes qui calculent leurs positions alors que dans l'autre ils délèguent cette opération à une entité du réseau. Dans la suite du document, nous considérerons que les positions sont directement calculées par les NMs (e.g. utilisation du système GPS).

#### 3.1. *Le contrôleur de mobilité*

Le protocole FLH introduit une nouvelle entité réseau, appelée contrôleur de mobilité (CM). Ce nouveau noeud se situe à l'intérieur d'un domaine et intègre différentes informations de topologie relatives aux réseaux IPv6 dans lesquels il opère. Il est destiné à gérer les déplacements des NMs se situant dans le domaine. Pour chaque sous-réseau du domaine, il enregistre le préfixe IPv6 associé ainsi que l'adresse du routeur par défaut du lien. Diverses informations relatives aux PAs sont aussi stockées, comme l'adresse MAC, le Service Set Identifier (SSID), le canal radio utilisé et la position physique. Tous ces paramètres sont configurés statiquement sur le CM et sont gérés par l'entité administrative en charge du réseau. Concernant les NMs du domaine, le CM maintient leurs paramètres actuels dans un cache, appelé cache de mobilité. Chaque entrée contient trois champs : l'adresse MAC du NM, l'adresse MAC de son PA courant, et l'adresse MAC de son prochain PA. La découverte du CM est réalisée grâce à une nouvelle option présente dans les RAs. Outre l'adresse du CM, d'autres informations peuvent être incluses dans cette option telles que le système de géolocalisation utilisé dans le domaine.

#### 3.2. *Mise à jour du cache de mobilité*

Le cache de mobilité est maintenu à jour par les NMs. A chaque déplacement, un NM envoie un message au CM contenant sa position, l'adresse MAC de son PA courant et sa puissance de réception du signal. Nous avons défini deux seuils d'intensité du signal  $S_1$  et  $S_2$  correspondant respectivement à un signal moyen et à un signal faible. Le seuil  $S_1$  est positionné entre  $[-75\text{dBm}; -78\text{dBm}]$  et le seuil  $S_2$  est positionné

entre [-78dBm ; -80dBm] comme suggéré par [MON 05b]. De plus, nous avons défini la distance  $R$  comme étant la distance pendant laquelle un NM est considéré comme bien couvert par son PA. En se basant toujours sur [MON 05b], elle a été fixée à 50% de la portée maximale d'un PA.

A la réception d'un message, le CM met à jour le cache de mobilité en fonction des informations contenues dans le message. Il vérifie ensuite si les seuils  $S_1$  et  $R$  ont été franchis, signifiant que le NM est à proximité du bord de la zone de couverture de son PA courant. L'utilisation conjointe de la qualité du signal et de la position permet de pallier les problèmes de perturbation du canal radio ou d'erreurs de géolocalisation. Lorsque les deux seuils ont été franchis, le CM doit s'assurer qu'un contexte valide est actuellement positionné sur le NM. Un contexte est une compilation de différentes informations nécessaires pour améliorer le temps requis par un handover (de niveau 2 ou 3). Il se compose d'informations sur le prochain PA telles que son adresse MAC, son SSID et son canal radio. Par rapport au sous-réseau IPv6 dans lequel se trouve ce PA, le contexte peut aussi inclure des informations de niveau 3 telles qu'une nouvelle adresse temporaire (construite suivant le mécanisme d'auto-configuration d'adresse [THO 04]), l'adresse du routeur par défaut, etc. Si un tel contexte est déjà positionné, le CM doit s'assurer qu'il est toujours valide, c'est-à-dire que le PA spécifié dans le contexte est toujours une cible potentielle pour le prochain handover. Dans le cas où il est toujours valide, le cache de mobilité est à jour. Par contre, si le contexte n'est plus valide ou si aucun contexte n'est présent, le CM doit en créer un nouveau en tenant compte des nouvelles informations du cache. Pour ce faire, la première étape consiste à déterminer le prochain PA.

### 3.3. Détermination du prochain point d'accès

Le choix du prochain PA d'un NM est basé sur l'anticipation de ses mouvements. A partir des coordonnées contenues dans les messages provenant des NMs, le CM calcule leurs trajectoires afin d'anticiper leurs futures positions. A ce stade de nos travaux, nous supposons que les NMs ont des mouvements rectilignes. Une interpolation linéaire peut alors être utilisée pour déterminer leurs trajectoires. Notons les deux dernières positions d'un NM par  $(x_0, y_0)$  et  $(x_1, y_1)$ . L'équation de la trajectoire peut alors s'écrire sous forme paramétrique de la manière suivante :

$$x(t) = x_1 + t \times (x_1 - x_0) \quad [1]$$

$$y(t) = y_1 + t \times (y_1 - y_0) \quad [2]$$

Parmi les PAs adjacents au PA courant, le CM sélectionne ceux qui couvrent ou vont couvrir (en fonction de la trajectoire) le NM. Dans le cas où plusieurs PAs ont été sélectionnés, le CM choisit celui qui offrira au NM la plus vaste zone de couverture. Notons le rayon de la zone de couverture d'un PA par  $G$  et ses coordonnées par  $(a, b)$ . Pour tous les PAs candidats, le CM va résoudre le système d'équation suivant :

$$G^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2 \quad [3]$$

$$y = \alpha x + \beta \quad [4]$$

La résolution de ce système produit les coordonnées des points d'intersection entre la trajectoire d'un NM (donnée par l'équation 4) et la portée maximale du PA (donnée par l'équation 3 qui correspond à l'équation du cercle de rayon  $G$  et de centre  $(a, b)$ ). Le PA choisi sera celui offrant la plus grande distance entre les deux points d'intersection calculés par le système précédent. Suivant les scénarios, cette méthode devrait permettre de réduire le nombre de handovers nécessaire. D'autres paramètres peuvent être pris en compte pour finaliser la décision, par exemple le nombre de NMs associés à chaque PA.

### 3.4. Déroulement du handover

Lorsque le CM a déterminé le prochain PA d'un NM, il crée un contexte lié à ce PA et l'envoie au NM. A sa réception, le NM l'enregistre jusqu'à la réception d'un nouveau contexte ou jusqu'à la nécessité d'effectuer un handover.

Lorsque la qualité du signal reçu par un NM franchit le seuil  $S_2$  (indiquant un signal faible), il débute la procédure de handover. Grâce au contexte précédemment enregistré, il connaît par avance son futur PA, rendant la phase de découverte inutile. Dès lors, il peut directement passer à la phase d'authentification en envoyant une requête d'authentification sur le canal et vers le SSID indiqués par le contexte. A la réception d'une réponse positive de la part du PA cible, le NM effectue la phase d'association et termine le handover de niveau 2. En raison de la suppression de la phase de découverte, le temps de latence engendré par le handover de niveau 2 devrait être fortement minimisé. Si le PA sélectionné se trouve dans un sous-réseau IPv6 différent du précédent, le contexte contient des informations de niveau 3 telles qu'une nouvelle adresse IPv6 temporaire et l'adresse du routeur par défaut. Ces informations permettent de se passer des RAs utilisés par le protocole MIPv6 pour détecter le changement de sous-réseau et permettre la configuration d'adresses IPv6 valides (lors de l'utilisation de l'auto-configuration d'adresse). Dès lors, le handover de niveau 3 consiste uniquement en la mise à jour de l'adresse temporaire auprès de l'agent mère.

## 4. Evaluation des performances

Nous avons effectué une première évaluation de notre protocole en le comparant par simulation à la norme IEEE 802.11 et au protocole MIPv6. Pour cela, notre solution a été intégrée dans le simulateur de réseau sans fil SimuX [SIM]. SimuX a été développé par l'université Louis Pasteur de Strasbourg et propose une implémentation complète de la norme IEEE 802.11 et du protocole MIPv6.



#### 4.1. Scénario de simulations

Cette section décrit les 3 scénarios de simulation mis en place pour évaluer le protocole FLH. Afin de simuler une architecture où la mobilité est gérée localement, l'agent mère ainsi que le CM sont toujours situés à 10ms de délai des NMs (temps moyen estimé au sein d'un réseau géré par la même entité administrative). Lors de l'utilisation du protocole MIPv6, les RAs sont envoyés à une fréquence comprise entre 0,03 et 0,07 secondes (comme suggéré par [JOH 04]), excepté dans le premier scénario où les NMs n'effectuent que des handovers de niveau 2. Dans les autres cas, ils sont envoyés à une fréquence beaucoup plus lente (entre 200 et 600 secondes). La figure 1 illustre la topologie des différents scénarios.

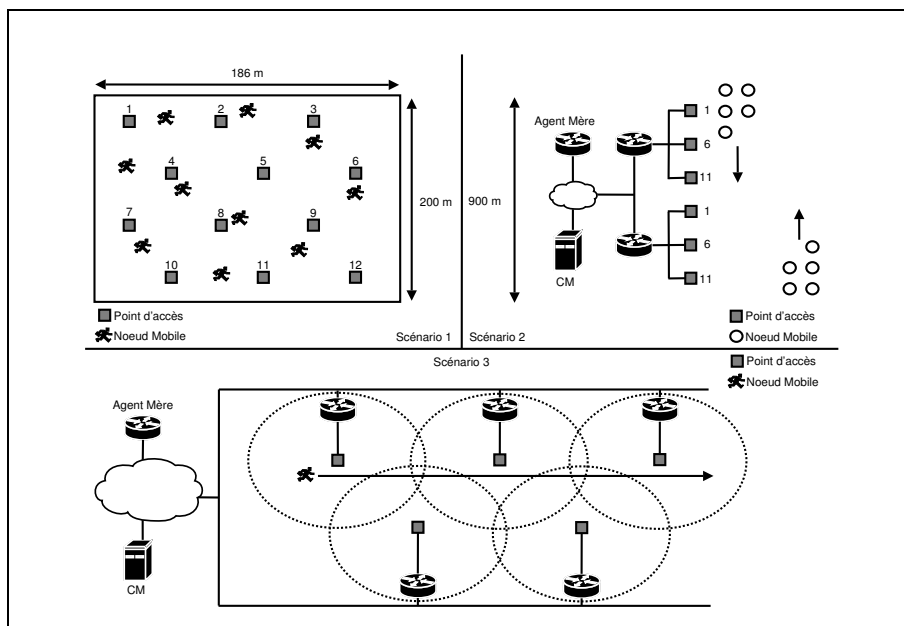


Figure 1. Scénarios de simulation

Dans le premier scénario, 10 NMs se déplacent à 1m/s (vitesse de marche) à l'intérieur d'un bâtiment couvert par 12 PAs. La portée des équipements est de 40 mètres. Les PAs sont placés de manière à couvrir une zone de 200 mètres sur 186 mètres et se situent tous dans le même sous-réseau IPv6. L'allocation des différents canaux radio est illustrée sur la figure 1. Les NMs effectuent chacun 10 déplacements rectilignes successifs, dont les positions de départ et d'arrivée sont choisies de manière aléatoire. Dans ce scénario, les NMs n'effectueront que des handovers de niveau 2. Le scénario 2 fait référence à des PAs déployés à proximité d'une autoroute. Il se compose de 6 PAs et de 10 NMs. Les canaux radio alloués aux différents PAs sont illustrés sur la figure 1. La portée de chaque équipement est de 100 mètres. Les NMs

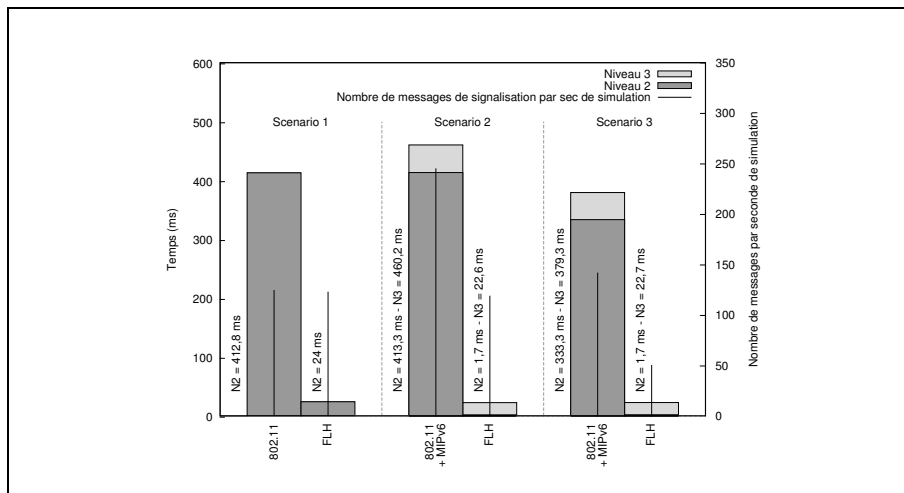
parcourent une distance de 900 mètres de manière rectiligne à 130 km/h. Les PAs étant desservis par deux sous-réseaux IPv6 différents, les NMs effectueront des handovers de niveau 2 et 3.

Le scénario 3 a été spécialement conçu afin d'évaluer la fréquence des handovers. Il se compose de 5 PAs et de 1 NM. Chaque PA se situe dans un sous-réseau IPv6 différent et se voit attribuer un canal radio de manière aléatoire. La portée des équipements est de 40 mètres. Le NM se déplace à 1m/s de manière rectiligne de telle façon qu'il effectuera entre 2 à 4 handovers de niveau 2 et 3.

#### 4.2. Résultats de simulation

Les résultats présentés dans cette section ont été obtenus en effectuant 100 simulations de chaque scénario pour chacune des solutions testées. La figure 2 résume les temps moyens des handovers de niveau 2 et 3 (axe de gauche) ainsi que le nombre de messages de signalisation générés par seconde de simulation (axe de droite). Excepté dans le scénario 1, le temps du handover de niveau 2 dans le cas de FLH est très faible ( $1,7ms$ ) par rapport aux temps obtenus pour 802.11 classique ( $413,3ms$  et  $333,3ms$ ). Cela s'explique notamment par la suppression de la phase de découverte, très coûteuse en temps. Les temps élevés observés lors de l'utilisation de 802.11 classique s'expliquent par le nombre important de canaux radio qu'un NM doit scanner avant de trouver un PA. Dans le scénario 1, notre solution présente un temps moyen de handover de niveau 2 nettement plus élevé ( $24ms$ ) que dans les scénarios 2 et 3. La figure 3, qui illustre les temps de handovers du scénario 1 lors de l'utilisation de FLH, permet d'expliquer ce phénomène. A première vue, les temps de handovers se concentrent autour de 4 valeurs, mais en regardant la partie zoomée, on s'aperçoit que 95,4% des handovers sont inférieurs à  $2ms$ . Les 4,6% restants correspondent aux cas où les NMs ont changé de trajectoire juste avant de passer sous le seuil  $S_2$ . Dès lors, le PA pré-sélectionné par le CM n'était pas à portée radio lors du handover, obligeant le NM à effectuer un handover normal. Cela explique les temps de handovers supérieurs à  $200ms$  observés sur la figure 3.

Concernant les handovers de niveau 3, nous constatons que notre solution reste toujours plus performante que le protocole MIPv6. Même en utilisant la fréquence maximale autorisée d'envoi des RAs, un NM peut attendre jusqu'à  $70ms$  avant de détecter le nouveau lien IPv6 lui permettant de déclencher les opérations de niveau 3. Dans FLH, les NMs connaissent à l'avance les différentes informations de niveau 3. Ils peuvent donc mettre à jour leurs nouvelles adresses temporaires auprès de l'agent mère dès la fin du handover de niveau 2, ce qui permet de réduire le temps de latence du handover de niveau 3 et de baisser considérablement la fréquence des RAs. Nous pouvons d'ailleurs observer sur la figure 2 que dans les scénarios 2 et 3, notre protocole nécessite moins de messages de signalisation. La suppression de la phase de découverte ainsi que la réduction de la fréquence des RAs permettent largement de compenser les messages introduits par le protocole FLH. Même sans tenir compte de la fréquence des RAs et avec un taux d'erreurs de 4,6% (scénario 1), notre protocole ne génère pas plus de trafic de signalisation que lors de l'utilisation de 802.11 clas-



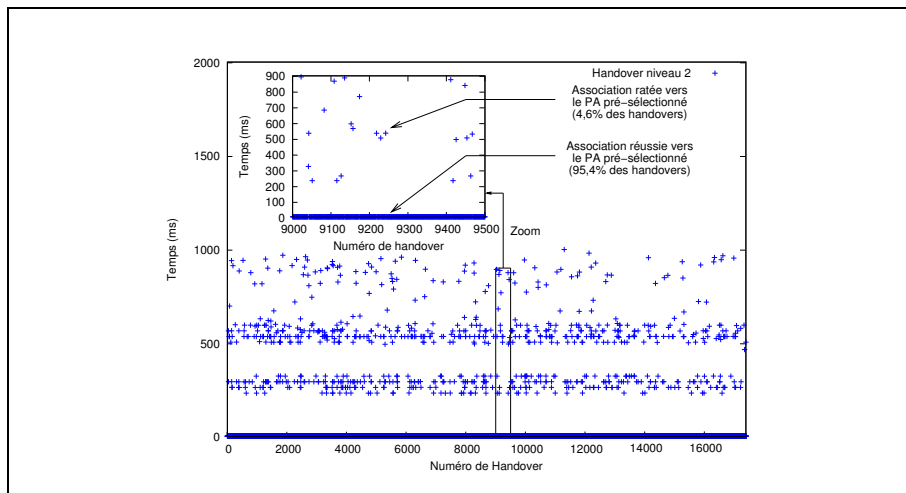
**Figure 2.** Temps de latence moyen des handovers - Nombre de messages par seconde

sique.

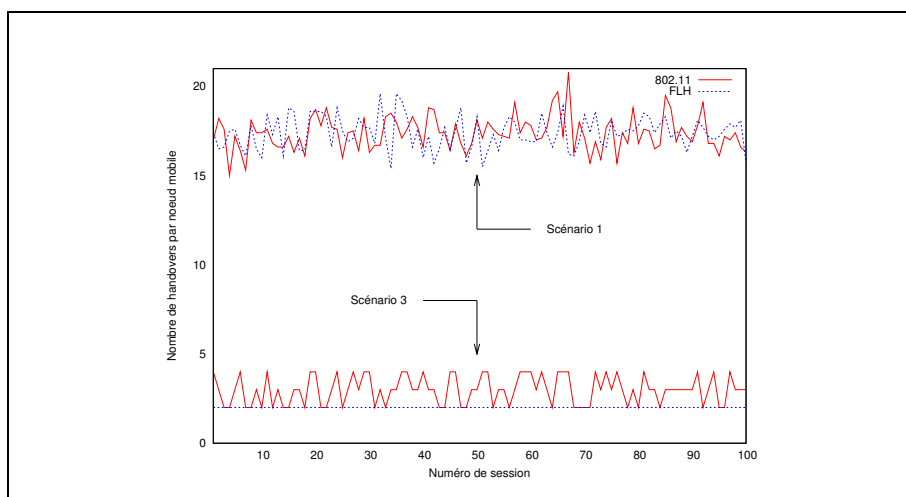
Enfin, la figure 4 représente le nombre de handovers de niveau 2 par NM réalisés pour chacune des 100 simulations des scénarios 1 et 3 (le nombre de handovers étant constant dans le scénario 2). Nous pouvons observer que lors du scénario 1, un NM effectue quasiment le même nombre de handovers avec FLH qu’avec 802.11 classique. Cela s’explique particulièrement par le caractère aléatoire des déplacements. Cependant, nous pouvons constater dans le scénario 3, qu’indépendamment du canal radio utilisé, notre solution permet de limiter le nombre de handovers à 2. Cela correspond au nombre de handover minimal pour ce scénario. Par contre, la variation observée pour la solution 802.11 classique provient des canaux radio alloués aléatoirement : lors du handover, le mobile s’accroche au premier PA qu’il détecte, sans tenir compte de la topologie des PAs.

## 5. Conclusions et travaux futurs

Dans les réseaux sans-fil IEEE 802.11, les communications d’un noeud mobile peuvent être fortement perturbées lorsque ce dernier change de point d’accès (handover de niveau 2). Ce phénomène est d’autant plus aggravé lorsque le noeud mobile doit en plus mettre à jour son adresse IPv6 à l’aide du protocole Mobile IPv6 (handover de niveau 3). Dans cet article, nous avons présenté un nouveau protocole permettant d’améliorer les temps de latence des handovers de niveau 2 et 3 grâce à des informations de géolocalisation. En fonction de la position physique des points d’accès et de la trajectoire des noeuds mobiles, un contrôleur de mobilité pré-sélectionne les prochains points d’accès et positionne un contexte sur les noeuds mobiles avant le handover effectif. A l’aide de ce contexte, les NMs peuvent supprimer la phase de découverte du



**Figure 3.** Handovers de niveau 2 pour le scénario 1 utilisant FLH



**Figure 4.** Nombre de handovers de niveau 2 par NM (scénario 1 et 3)

handover de niveau 2 et connaître par avance leurs prochains liens IPv6. Les résultats de simulation présentés dans la section 4.2 montrent que notre protocole permet d’obtenir des temps moyens de latence de niveau 2 et de niveau 3 très faibles sans surcharge du lien sans fil. Il permet notamment de réduire très fortement la fréquence d’émission des messages Router Advertisement sans conséquence sur les performances des handovers de niveau 3. Enfin, il permet également de limiter le nombre de handovers nécessaires indépendamment des canaux radio utilisés. Cependant, nous

avons observé que lors de mouvements non uniformes, les noeuds mobiles peuvent ne pas être à portée radio du point d'accès pré-sélectionné en raison d'un brusque changement de direction juste avant le handover effectif. Pour y remédier, nous pourrions inclure dans le contexte une liste triée de points d'accès cibles, qui permettrait de pallier ce genre de problème.

Suite aux premiers résultats obtenus, nous envisageons de poursuivre nos travaux dans ce domaine en analysant plus particulièrement la pré-sélection des prochains PAs, notamment avec d'autres méthodes d'interpolation. Nous aimerions également évaluer l'influence des erreurs de géolocalisation sur le déroulement du protocole. Actuellement, nous travaillons sur les aspects liés à la sécurité de notre solution, en l'intégrant notamment dans les nouveaux réseaux sans fil de type IEEE 802.11i.

## 6. Bibliographie

- [802 99] 802.11 I. S., « Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) specifications : High Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band », 1999.
- [BER 04] BERTIN P., GUILLOUARD K., RAULT J.-C., « IP based network controlled handover management in WLAN access networks », *in proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'04)*, Paris, France, juin2004.
- [JOH 04] JOHNSON D., PERKINS C., ARKO J., « Mobility Support in IPv6, Internet Engineering Task Force Request for Comments (RFC) 3775 », juin2004.
- [MIS 03] MISHRA A., SHIN M., ARBAUGH W., « An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process », *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 33, n° 6, 2003, p. 93-102, ACM Press.
- [MON 05a] MONTAVONT J., MONTAVONT N., NOËL T., « Enhanced schemes for Layer 2 handover in IEEE 802.11 networks and their evaluations », *in proceedings of the 16th annual IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'05)*, Berlin, Allemagne, septembre2005.
- [MON 05b] MONTAVONT N., NOËL T., « Anticipated Handover over IEEE 802.11 Networks », *in proceedings of the IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob'05)*, Montréal, Canada, août2005.
- [PES 03] PESOLA J., POKANEN S., « Location-aided Handover in Heterogeneous Wireless Networks », *Proceedings of Mobile Location Workshop*, mai2003.
- [PRE 03] PREHOFER C., NAFISI N., WEI Q., « A framework for context-aware handover decisions », *in proceedings of the 14th annual IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'03)*, Beijing, Chine, septembre2003.
- [SIM] « The Network Simulator SimulX, <http://clarinet.u-strasbg.fr/~montavonj/simulx/> ».
- [THO 04] THOMSON S., NARTEN T., JINMEI T., « IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, Work in Progress, Internet Engineering Task Force draft-ietf-rfc2462bis-07.txt », décembre2004.
- [TSE 05] TSENG C.-C., YEN L.-H., CHAND H.-H., HSU K.-C., « Topology-Aided Cross-Layer Fast Handoff Designs for IEEE 802.11/Mobile IP Environments », *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, 2005.