HAL
open science

Une approche de simulation des mouvements des terminaux mobiles dans les réseaux 4G

Mohamed Ben Hamed, Abdelfettah Belghith, Jean-Marie Bonnin

To cite this version:

Mohamed Ben Hamed, Abdelfettah Belghith, Jean-Marie Bonnin. Une approche de simulation des mouvements des terminaux mobiles dans les réseaux 4G. GEI'07 : Génie électrique et informatique, Mar 2007, Monastir, Tunisie. hal-02900629

HAL Id: hal-02900629

https://hal.science/hal-02900629v1

Submitted on 16 Jul 2020

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.

Une approche de simulation pour l'étude du comportement des terminaux multi-interfaces

Mohamed Zied Ben Hamouda[1], Abdelfattah Belghith[2] et Jean-Marie Bonnin[1]

[1] GET / Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne
{mouhamed.benhamouda, jm.bonnin}@enst-bretagne.fr
[2] Ecole Nationale de Sciences de l'Informatique,
abdelfattah.belghith@ensi.rnu.tn

Résumé Les futures générations de réseaux mobiles opérés (réseaux 4G) reposeront sur l'intégration de plusieurs technologies d'accès sans fils. Cela permet de réduire les coûts de déploiement en profitant de la complémentarité des technologies pour augmenter la couverture à moindre frais. Les terminaux devront donc être capables de sélectionner à chaque instant la meilleure solution pour accéder au réseau d'un opérateur mais aussi pour sélectionner le meilleur opérateur lorsqu'ils auront le choix. Plusieurs variétés de mécanismes de gestion de la mobilité dans les réseaux 4G et de sélection automatique des interfaces réseaux ont été récemment proposés dans la littérature. Néanmoins la simulation de ces mécanismes est une tâche complexe. Il s'agit d'utiliser des modèles de mobilité réalistes et de modéliser le comportement de plusieurs technologies d'accès radio complémentaires.

Dans ce papier, nous présentons une approche permettant de simuler les mouvements des terminaux mobiles dans les réseaux hétérogènes (4G). Pour démontrer l'efficacité de notre approche, nous l'avons appliquée à la simulation d'un mécanisme de sélection automatique des interfaces réseaux que nous avons développé : *Ubique*.

Mots Clés

Modélisation de la Mobilité, Réseaux 4G, Multi-interfaces.

1 Introduction

Ces dernières années ont connu un développement rapide de nombreuses technologies d'accès sans fil telles que : les WANs avec le WiFi (802.11 a/b/g/n), les PANs avec le Bluetooth (802.15), les MBWANs (802.20 et le 802.16) et les réseaux de 3eme génération. De part leur diversité en termes de coût de déploiement, de couverture et de capacité, ces différentes technologies s'associent pour offrir aux usagers un Internet ambiant disponible dans tous les environnements qu'ils soient urbain ou domestique, professionnel ou ludique. Un certain nombre de recherches se sont focalisées sur le développement d'une architecture unifiée permettant aux terminaux d'utiliser séquentiellement ou simultanément

ces réseaux d'accès hétérogènes pour accéder l'Internet qui devient de fait omniprésent. Dans les réseaux de 4eme génération (4G), la mobilité est un concept pivot qui attire de nombreuses recherches. L'hétérogénéité des réseaux d'accès et par conséquent des caractéristiques de l'accès (bande passante, délai, QoS) obtenue par le mobile rend le problème plus ardu à résoudre et nécessite de s'intéresser à l'impact des changements sur les applications. Cela est d'autant plus important qu'il est nécessaire pour faciliter le développement de nouveaux services, de rendre la mobilité transparente aux applications les plus contraignantes (VoIP) en termes de délai et de variation de délai. Les terminaux de 4eme génération devraient être capable de changer de réseau d'accès et d'utiliser plusieurs réseaux d'accès en fonction du contexte dans lequel ils se trouvent et de ses besoins de communications.

De nombreux efforts de recherche s'attachent donc à réduire la charge de signalisation et le délai nécessaire à la gestion de la mobilité au sein du réseau, et à gérer de manière transparente de multiples interfaces hétérogènes au niveau du terminal. Les organismes de standardisation tels que le 3GPP, l'IETF et l'IEEE ont travaillé sur plusieurs aspects de la mobilité inter-technologie et plusieurs propositions sont aujourd'hui en cours de standardisation (voir, par exemple [13]). D'autres travaux récents proposent des solutions souvent partielles pour la mobilité dans les réseaux hétérogènes (voir par exemple [5]).

L'évaluation de ce type de solutions est assez complexe puisqu'il n'est pas toujours envisageable de déployer une plate forme expérimentale comportant différentes technologies d'accès radio dans un environnement réaliste et à une échelle significative. Et bien qu'il soit nécessaire d'évaluer les solutions protocolaires et architecturales proposées, les travaux existants proposent bien souvent des évaluations partielles basées sur des modèles de mobilité simplistes ; de fait ces travaux ne permettent pas de comparer rigoureusement les différents mécanismes. Les modèles de mobilité utilisés pour produire les déplacements des mobiles doivent être assez réalistes pour éviter de passer à coté de phénomènes de convergence et de dispersion liés aux environnements et aux usages. En effet, le choix du modèle de mobilité utilisé peut avoir un impact significatif sur les résultats de l'étude de performance.

Nous présentons ici une approche pour étudier le comportement d'un mécanisme de gestion de la mobilité orienté terminal (lorsque le terminal prend la décision). Cette approche consiste à produire des mouvements réalistes en utilisant un outil existant qui applique des modèles de mobilité classiques et permet de contraindre les mouvements en les projetant sur une carte. A chaque instant de la simulation la position de chaque mobile est combinée à celles des différents points d'accès des différentes technologies pour produire des indications de disponibilités ou des modifications des caractéristiques de l'accès. Celles-ci sont notifiées au mécanisme de gestion de la mobilité étudié à travers une interface standard. Pour chaque terminal un contexte de fonctionnement est reproduit et le mécanisme étudié réagi en prenant des décisions (routage d'un flux sur une interface particulière) qui vont impacter en retour les performances des réseaux d'accès pour les autres

terminaux. Différentes métriques nous permettent d'évaluer le comportement des mécanismes étudiés et de les comparer.

La suite de l'article est organisée de la façon suivante. Nous commençons par présenter les travaux existants puis les méthodes utilisées pour évaluer les propositions et modéliser la mobilité. Nous introduisons ensuite notre approche et la création de traces de mobilité réalistes dans un environnement hétérogène. Enfin, un scénario complet d'évaluation illustre le fonctionnement de l'approche et donne un aperçu des résultats qu'il est possible d'obtenir. Une conclusion permet de reprendre les points essentiels et donne un certain nombre de perspectives.

2 Etat de l'art

Un effort croissant de recherche vise à simuler le comportement d'un terminal mobile en environnement hétérogène. Une première catégorie de travaux simulent les mouvements à travers des modèles de mobilité probabilistes. Par exemple, dans [12], Salamah et al. étudient les contraintes pesants sur un système de stockage temporaire de paquets pour un handover inter-technologies sans perte. Ils utilisent un modèle de mobilité markovien, c'est-à-dire faisant l'hypothèse d'une loi d'inter-arrivée des handover exponentielle. Un modèle de mobilité plus détaillé est présent dans [4] où Vanem et al. considèrent les différents états dans lesquels un utilisateur peut se trouver. Après en avoir établit les probabilités de transitions entre les états, les auteurs en déduisent les comportements probables des utilisateurs et l'impact de ces comportements sur l'usage des différentes interfaces et sur différents aspects des réseaux hétérogènes. Un autre travail, [2] présente une méthode d'évaluation des handovers verticaux qui sont modélisés par des chaînes de Markov à deux états. Le modèle est ainsi appliqué au cas du handover entre deux technologies très répandues : les réseaux de 3eme génération (UMTS) et les WLAN.

Une seconde catégorie de travaux s'attache à modéliser les mouvements des terminaux dans l'espace, ils utilisent des modèles de mobilité très simples. Par exemple, dans [5], F. Zhu et J. McNair étudient le comportement de leur algorithme de décision des handovers verticaux (MUSE-VDA) dans un environnement hétérogène en utilisant le modèle Random Way-Point ([3]) pour calculer les trajectoires des mobiles dans le réseau. C'est d'ailleurs le modèle de mobilité qui est utilisé dans les simulateurs les plus courants (NS-2, Glomosim) qui n'intègrent pas, à notre connaissance, des modèles plus réalistes prenant par exemple en compte l'environnement (carte) dans lequel le mobile se trouve. Et cela, bien que certains travaux mentionnent que les modèles basés sur le Random Way Point implantés dans les simulateurs courants sont peu représentatifs de la réalité. Ils donnent une distribution non uniforme des noeuds dans l'environnement simulé [9], ce qui n'aide pas la modélisation, et ne permettent pas de prendre en compte les contraintes inhérentes à l'environnement simulé telles que les limites des routes ou des bâtiments.Cela est d'autant plus problématique que le modèle de mobilité utilisé à une influence non négligeable sur les résultats des simulations.

2.1 Modélisation de la mobilité

Pourtant des méthodes de modélisation de la mobilité plus efficaces existent dans la littérature. Celles-ci peuvent être classées en trois grandes catégories :

Méthodes analytiques basées sur une formulation mathématique des déplacements des utilisateurs Dans cette approche les déplacements sont obtenus par l'application de modèles analytiques plus ou moins complexes, ceux-ci pouvant être contraints par les caractéristiques de l'environnement simulé. Un grand nombre de modèles existent dans la littérature, nous n'en donnons ici qu'un bref aperçu. On se reportera utilement [14] pour un état de l'art plus complet.

- Random Way-Point (RWP) : Chaque terminal se déplace indépendamment des autres vers une destination aléatoire une vitesse constante tirée aléatoirement. Une fois arrivé à sa destination, le mobile, après un temps d'attente variable, sélectionne une autre destination et recommence le processus.
- Brownian Walk (BW) : Ce modèle est similaire au précédent mais le temps de pause entre deux déplacements est nul et la vitesse de déplacement peut changer à chaque intervalle de temps.
- Smooth Random (SR) : Dans ce modèle les vitesses et la direction de déplacement sont dépendantes du déplacement précédent en ce sens que la variation est contrainte pour ne pas produire des mouvements trop irréalistes. Il y a donc des restrictions temporelles sur la variation de la vitesse et de la direction.
- City Section (CS) : Ce modèle tente de se rapprocher de la réalité en modélisant un quartier ou une ville en utilisant un graphe représentant les rues et leurs vitesses limites. Il est ainsi possible de faire la différence entre un quartier de centre ville et des autoroutes. Chaque noeuds commence la simulation à un point donné du graphe (projetté dans le plan), c'est-à-dire sur une route donnée. Les noeuds choisissent ensuite leurs destinations qui doivent se trouver sur une route elles aussi. Le modèle calcule le chemin le plus court en empruntant les routes existantes. Arrivé à sa destination, le nœud mobile attend un temps aléatoire avant de choisir une nouvelle destination dans le graphe.

Mesures des positions géographiques Cette approche consiste à mesurer les positions d'une flotte de mobiles en utilisant des systèmes GPS ou Galileo (voir par exemple [8]). Les traces permettent ensuite de reproduire les déplacements. De manière implicite, cette approche prend en considération les contraintes liées à l'environnement (route, immeubles, ...).

Analyse de traces réelles fournies par les opérateurs mobiles La dernière approche identifiée consiste à utiliser les fichiers de traces décrivant les déplacements des mobiles dans le réseau d'un opérateur et de transposer ces traces (souvent acquises en environnement homogène) dans un environnement hétérogène. La

mobilité et l'activité des utilisateurs simulés dans l'environnement de simulation seront donc calquées sur celle des clients d'un opérateur réel.

2.2 Discussion

Les différents modèles de mobilité présentent chacun des avantages et des inconvénients. Les modèles analytiques sont faciles à mettre en pratique mais ils produisent des déplacements peu réalistes qui ne correspondent pas à l'activité des terminaux mobiles réels. De fait, la majorité d'entres eux sont basés sur des hypothèses extrêmement simplificatrices et ne prennent pas en compte les contraintes géographiques qui pourtant s'imposent naturellement aux déplacements aussi bien qu'aux transmissions. La méthode "City Section" permet toutefois de contraindre les déplacements en fonction d'une carte routière. Les approches consistant à prendre en compte des mesures effectuées à différentes positions géographiques imposent un certain réalisme aux simulations. Les simulations effectuées dépendent alors d'une campagne de mesure souvent difficile à mener, d'autant plus qu'il faut collecter une grande quantité d'information. Elles ne sont de plus réalistes que pour un environnement donné et ne produisent pas les déplacements qu'il est toujours nécessaire de simuler. L'objectif du dernier type d'approche est de fournir des déplacements, et éventuellement des indications sur l'activité, réalistes. Malheureusement, il est virtuellement impossible d'obtenir d'un opérateur qu'il mette à disposition les traces concernant le comportement de ses utilisateurs.

	Facile à mettre en pratique	**Proche de la réalité**
Modèle analytique	+++	-
Mesures géo-localisées	-	+
Analyse de traces	–	++

Tab.1. Approches d'évaluation de mécanisme de gestion de la mobilité

Le tableau 1 compare rapidement les approches décrites en fonction de deux critères : le réalisme et la facilité de mise en oeuvre.

3 Approche proposée pour modéliser les mouvements des terminaux 4G

Nous avons choisi de combiner les deux premières approches pour disposer de modèles relativement réalistes qui soient possible à mettre en oeuvre. Il fallait, en effet, que l'approche soit suffisamment souple pour être aisément applicable à des projets de recherche pour vérifier des hypothèses. La prise en compte de contraintes géographiques nous permet de restreindre les déplacements obtenus à partir de modèles de mobilité analytiques à des chemins apparaissant sur une

carte géographique représentant des routes et bâtiments. Cette dernière nous est aussi pour calculer en utilisant des modèles de propagation simples les portées des différents points d'accès et des stations de bases que nous avons placés sur la carte. Il est ainsi possible en calculant pour chaque position d'un mobile les réseaux d'accès auxquels il peut s'attacher. Nous proposons donc au mécanisme de gestion de la mobilité en environnement hétérogène que nous évaluons des indications de disponibilités des différents réseaux d'accès et de la qualité du signal ou de la bande passante disponible à chaque instant et pour chaque technologie d'accès.

Pour expliquer le fonctionnement de notre approche, nous présentons un scénario que nous avons simulé. Il s'agit d'un scénario permettant d'évaluer le comportement d'un mécanisme de sélection des interfaces réseau conçu au sein de notre laboratoire. Nous en donnons un très bref aperçu ci-dessous.

3.1 Description succinte d'Ubique

Pour permettre aux utilisateurs de tirer profit de la disponibilité simultanée de plusieurs réseaux d'accès, un middleware de gestion avancée des interfaces réseau nommé *Ubique* a été conçu et implémenté. Ce mécanisme permet à un terminal mobile, possédant plusieurs interfaces réseau de technologies différentes, de sélectionner un sous-ensemble d'entres-elles et de les configurer pour accéder aux différents réseaux d'accès. Les flux générés par les applications sont ensuite aiguillés vers les différentes interfaces en fonction de leurs contraintes. Les interfaces et les réseaux d'accès sont sélectionnés en prenant en compte leurs caractéristiques (parmi lesquelles le coût d'accès et la consommation d'énergie), les besoins exprimés par les applications et les préférences indiqués par les utilisateurs et l'administrateur. Ces éléments sont indiqués dans un ensemble cohérents de profiles [10] [11].

La figure 1 représente l'architecture d'un terminal implémentant *Ubique* et montre les relations entre *Ubique* et les autres composants de l'architecture.

3.2 Un exemple de scénario de simulation

Le scénario utilisé est le suivant : Un ingénieur disposant d'un terminal multi-interfaces (IEEE 802.11b, GPRS et Bluetooth) implémentant *Ubique* quitte son domicile qui comporte un réseau bluetooth en matinée. Sur le chemin de son travail, deux hotspots WiFi (802.11b) sont disponibles, le premier dépendant d'un ISP et l'autre d'un grand magasin. Enfin, un point d'accès WiFi est disponible dans son entreprise. Nous considérons que l'opérateur de téléphonie mobile couvre toute la zone avec du GPRS. Alors qu'il est encore à la maison, notre ingénieur se rend compte qu'il est déjà très en retard pour assister à une réunion qu'il ne doit pas manquer. Il commence donc à y assister à travers un logiciel de vidéo-conférence depuis son domicile. Puis, il quitte sa maison, emprunte le métro et arrive au bureau.

L'objectif de ce scénario est de montrer la capacité de notre architecture à implémenter la politique ABC (Always Best Connected) qui permet au terminal

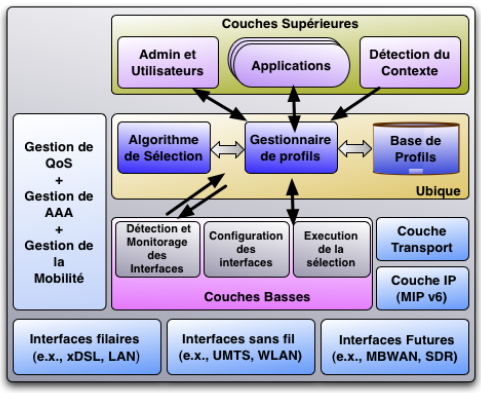


Fig.1. Architecture *Ubique*

de toujours sélectionner dynamiquement les meilleures interfaces de communication en fonction des besoins.

3.3 Obtention des traces des mouvements des utilisateurs

Pour générer des mouvements réalistes, notre approche utilise un émulateur de mobilité bien connu : CanuMobiSim [6]. Cet outil combine les mouvements obtenus à travers des modèles analytiques avec des informations géographiques obtenues à partir d'une carte réelle. Les mouvements des utilisateurs sont décrits dans des fichiers XML. L'outil utilise aussi une carte géographique pour contraindre le mouvement des mobiles. Les cartes utilisées par CanuMobiSim sont au format GDF (Geographic Data Files) qui est un standard européen pour décrire les routes et les informations associées couramment utilisées par les systèmes de navigation GPS.

Plusieurs autres générateurs de mobilités aurait pu être utilisés à ce stage, comme par exemple, VanetMobiSim [7] et AMADEOS [1].

```
node(0) at 0.0s     (3438.843296369319   3589.653297763427   0.0)
node(0) at 12.0s    (3466.653975648664   3588.764321900864   0.0)
node(0) at 59.0s    (3493.443678321198   3599.548876345698   0.0)
node(0) at 87.0s    (3588.664998654434   3469.676495567855   0.0)
node(0) at 89.0s    (3567.438964284564   3585.687842312994   0.0)
node(0) at 126.0s   (3556.334662864328   3591.456679821339   0.0)
```

Fig.2. Extrait de fichier de traces

Le fichier en sortie de CanuMobiSim contient la position de chaque utilisateur mobile à chaque instant comme cela est illustré par la figure 2. La première ligne indique, par exemple, que la position à l'instant *0* sec du noeud mobile *0*

est *(x=3438.843 m, y=3589.653 m)*. Parmi les modèles de mobilité supportés dans CanuMobiSim, plusieurs sont des variantes du Pathway Mobility Model permettant de prendre en compte des contraintes liées à la géographie et à la circulation routière :

- **Constant Speed Motion :** un utilisateur se déplace aléatoirement à une vitesse constante mais toujours en suivant les routes indiquées sur une carte.
- **Fluid Traffic :** les utilisateurs se déplacent en groupe. La vitesse d'un véhicule dépend du nombre total de véhicules sur le même segment de route. La vitesse est inversement proportionnelle à la densité de véhicules.
- **Intelligent Driver Motion :** la vitesse de chaque véhicule est ici régulée en fonction des mouvements des véhicules se trouvant dans le voisinage. Un véhicule va par exemple conserver une certaine distance par rapport aux véhicules qui le précèdent, si une voiture freine les voitures suivantes sur le segment de route vont ralentir aussi.

Exemple de résultats Nous avons simulé le fonctionnement de l'architecture *Ubique* en lui appliquant le scénario que nous venons de décrire et en utilisant le modèle de mobilité : "Constant Speed Model". Les résultats donnés dans la figure 3 montrent les réseaux d'accès sélectionnés par le composant logiciel *Ubique* durant le scénario de simulation. En étudiant ce diagramme d'échange de message nous remarquons que *Ubique* permet bien de choisir dynamiquement la meilleure interface et le meilleur réseau d'accès lorsque plusieurs possibilités existent.

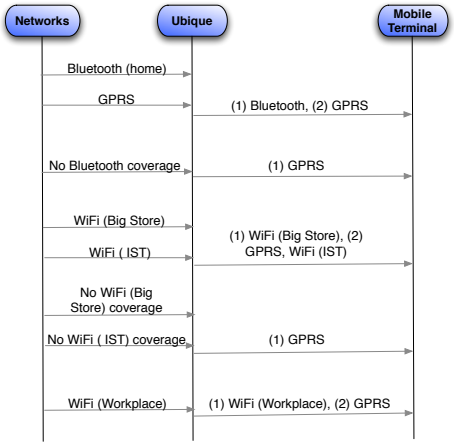
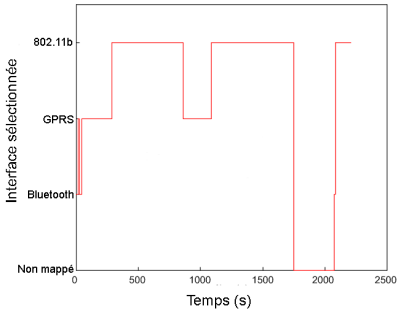
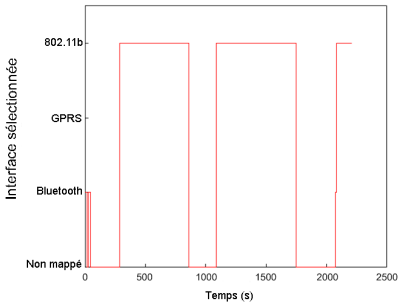


Fig.3. Comportement d'Ubique

Ainsi, lorsque l'ingénieur se trouve encore chez lui, *Ubique* informe le terminal mobile de la présence de deux réseaux d'accès : le réseau commercial GPRS et



(a) Routage du flux audio dans le temps



(b) Routage du flux vidéo dans le temps

Fig.4. Flows availability

le réseau domestique bluetooth. Le réseau sélectionné est tout naturellement le réseau bluetooth qui a le double avantage d'être rapide et gratuit.

Lorsque l'ingénieur quitte son domicile, le processus de sélection est lancé suite à la perte du réseau bluetooth et le terminal commence à utiliser le GPRS mais sans la vidéo qui est trop gourmande pour ce genre d'interface 4(a).

Alors qu'il marche pour atteindre son bureau, l'utilisateur traverse une zone où deux réseaux WiFis sont détectés, l'un d'entre eux appartient à un grand magasin et l'autre à un fournisseur d'accès. Le processus de sélection propose dans l'ordre de préférence décroissante en fonction des préférences de l'utilisateur : le WiFi de l'ISP, le GPRS et le WiFi du grand magasin. Ce dernier est en effet considéré comme moins sûr que le réseau de l'ISP.

L'objectif de ce cas d'usage typique est de valider le fonctionnellement de l'architecture *Ubique* et de montrer comment elle peut être utilisée dans des situations réalistes lorsque plusieurs interfaces de communications sont utilisées parfois simultanément.

4 Conclusions et perspectives

Dans cet article, nous avons montré qu'il était nécessaire de disposer d'outils d'évaluation performants pour étudier le comportement des terminaux en environnement héthérogène. Une méthodologie permettant la génération de mouvements réalistes basés sur des modèles analytiques contraints par une carte géographique permet d'obtenir de bons résultats. Elle associe les mouvements des mobiles avec un calcul de disponibilité des points d'accès en fonction de leurs positions et de celle du mobile pour déclencher les réactions des mécanismes de gestion de la mobilité.

Dans le futur, nous nous proposons de développer une plate-forme générique d'évaluation des mécanismes de gestion de la mobilité inter-modale. Celle-ci pourra par exemple prendre en compte les applications lancées et leurs besoins

en termes de qualités de service. Il sera aussi intéressant de modéliser les changements de contexte du terminal (état de la batterie, localisation GPS, etc.) puisque *Ubique* est capable de prendre ceux-ci en compte dans ses décisions.

Enfin, nous nous intéressons à la mise en oeuvre de cette méthodologie pour générer les mouvements de terminaux dans le cadre de simulateurs classiquement utilisés dans le domaine réseaux (NS-2 (Network Simulator), OmNet, J-SIM, etc).

Références

1. A. H. Souley and S. Cherkaoui, "Advanced Mobility Models for Ad Hoc Network Simulations", Proceedings of the 2005 Systems Communications - Volume 00, Pages : 50 - 55, 2005.
2. A. H. Zahran and B. Liang, "Performance evaluation framework for vertical handoff algorithms in heterogeneous networks", IEEE International Conference on Communications (ICC), Seoul, Korea, 16-20 May 2005.
3. D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks", Kluwer Academic,Norwell,Mass, USA, 1996.
4. E. Vanem, S. Svaet and F. Paint, "Effects of Multiple Access Alternatives in Heterogeneous Wireless Environments", IEEE Wireless Communications and Networking, Volume 3, pp 1696-1700, March 2003.
5. F. Zhu and J. McNair, "Multiservice Vertical Handoff Decision Algorithms", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking.
6. I. Stepanov et al., "A Meta-Model and Framework for User Mobility in Mobile Networks", ICON2003. The 11th IEEE International Conference, 2003, pp. 231-238.
7. J. Haerri et al., "VanetMobiSim : generating realistic mobility patterns for VANETs", Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks, Los Angeles, CA, USA, 2006.
8. J. Pesola et al., "Location-Aided Handover in Heterogeneous Wireless Networks", Wireless Personal Communications, Special Issue on Cellular and Wireless Location Based Technologies and Services, Volume 30, 2004.
9. J. Yoon, M. Liuet and B. Noble, "Random waypoint considered harmful", Infocom, San Francisco 2003.
10. L Suciu et al., "Achieving Always Best Connected Through Extensive Profile Management", 9th International PWC Conference, September 2004.
11. L Suciu et al., "Towards a Highly Adaptable User-Centric Terminal Architecture", 7th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'04), Abano Terme, Italy, September 2004.
12. M. Salamah, F. Tansu and N. Khalil, "Buffering Requirements for Lossless Vertical Handoffs in Wireless Overlay Networks", IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, Volume 3, pp. 1984-1987, April 2003.
13. M. Williams, "Directions in Media Independent Handover", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences - Special Section on Multi-dimensional Mobile Information Networks, July 2005.

14. T. Camp, J. Boleng and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", WCMC : Special Issue on Mobile Ad Hoc Networking, 2002.