

Les Réseaux Mobiles dans IPv6, support Nécessaire au Multimédia

Thierry Ernst

WIDE Project & Keio University, Japan
ernst@sfc.wide.ad.jp

Résumé Les applications multimédia dans un environnement mobile exigent souvent une connectivité permanente et ininterrompue à Internet. Les travaux traditionnels dans le domaine de la gestion de la mobilité se préoccupent de fournir cette connectivité pour les stations mobiles. En revanche, l'objet de cet article est de traiter le cas des réseaux mobiles, réseaux ayant pour particularité d'être connectés à l'Internet via un ou plusieurs routeurs qui changent leurs points d'ancrage dans la topologie. Quelques unes des applications potentielles sont les réseaux d'accès déployés dans les transports publics pour les passagers, les réseaux de capteurs embarqués dans les véhicules et les réseaux personnels. Leur émergence permet le développement de l'usage des applications multimédia en tout lieu, à tout instant et avec n'importe qui, ce qui nécessite d'une part d'étudier de nouveaux aspects de la mobilité dans IPv6, et d'autre part la prise en compte de la notion de mobilité par l'ensemble des applications multimédia. En ce qui nous concerne, nous nous préoccupons des mécanismes IPv6 permettant le déplacement en temps réel de pans entiers de l'Internet, tout en maintenant les sessions ouvertes. Le groupe NEMO au sein de l'organisation IETF a été créé à notre initiative afin d'apporter des solutions spécifiques à la problématique de la mobilité des réseaux.

1 Introduction

Par mobilité dans l'Internet on considère généralement la capacité de se déplacer tout en restant connecté au réseau par le biais d'un équipement de type téléphone ou ordinateur portable. Or, la mobilité peut s'étendre à tout type d'équipement dès lors que les réseaux dans lesquels sont déployés ces équipements deviennent eux-mêmes mobiles. En effet, que ce soient les réseaux de senseurs embarqués dans les véhicules, les réseaux d'accès déployés dans les transports, ou les réseaux personnels, tout équipement, qu'il soit fixe ou mobile par rapport au réseau dans lequel il s'attache, est en mesure de se déplacer géographiquement et topologiquement. Le déplacement géographique peut impliquer le changement de technologie d'accès, donc de qualité de service, de bande passante, de règles d'usages (contrôle d'accès), et une vulnérabilité accrue face aux trous de sécurité. Le déplacement géographique a en général pour conséquence un déplacement dans la topologie Internet ce qui implique un changement d'adresse.

Un mécanisme de translation d'adresse est alors indispensable pour ne pas rompre les communications en cours.

Les travaux dans le domaine de la mobilité dans IPv6 [1] se sont dans un premier temps exclusivement consacrés au support des *stations mobiles*, c'est-à-dire les terminaux changeant de point d'ancrage dans la topologie Internet. Le but principal est la fourniture d'une connectivité Internet permanente, sans que les communications en cours ne soient interrompues suite à ce changement. Malgré le besoin de fournir un accès Internet permanent à toutes les stations localisées dans un *réseau mobile*, suscité soit par les fabricants de véhicules, soit par les compagnies de transport, soit par les usagers eux-mêmes, des travaux se préoccupant des problèmes spécifiques liés au déplacement des réseaux n'ont réellement vu le jour que récemment.

Le but de cet article est de mettre le doigt sur la notion de réseau mobile qui, étant relativement récente, n'est pas forcément connue de tous. Les réseaux mobiles et la gestion de leur mobilité permettent en effet de réaliser tout un ensemble de scénarii permettant le déploiement d'applications multimédia en tout lieu et à tout instant, mais nécessitant la prise en compte de l'environnement mobile dans lequel sont situés les équipements. Dans un premier temps, nous présentons les applications envisagées et leurs besoins, puis la problématique de la mobilité liée au modèle d'adressage dans TCP/IP. Nous nous contenterons ensuite de dresser l'état d'avancement des travaux de l'IETF permettant le support de la mobilité des réseaux dans IPv6 (groupe de travail NEMO).

2 Les Applications des Réseaux Mobiles

Les applications possibles des réseaux mobiles sont très variées. Elles incluent entre autres les réseaux de capteurs déployés dans les véhicules (avions, trains, bateaux, voitures) qui ont besoin d'interagir avec des serveurs dans Internet, par exemple pour assurer la transmission de données nécessaires à la navigation ; les réseaux d'accès déployés dans les transports publics (bus, trains et taxis) offrant une borne d'accès Internet aux passagers ; ou encore les réseaux personnels (Personal Area Networks, ou PANs) constitués d'un ensemble d'appareils électroniques de petite taille (montre, téléphone cellulaire, assistant personnel, appareil photo digital, etc).

Cas de l'Automobile : L'exemple le plus typique est un véhicule qui dispose d'un accès Internet par le biais de plusieurs technologies sans fil (cellulaire, IEEE 802.11b, Bluetooth et satellite). Celui-ci change fréquemment de point d'ancrage dans la topologie Internet, non seulement à cause de sa vitesse de déplacement, mais aussi à cause de la variété des technologies d'accès qui lui seront probablement offertes, en fonction de la densité de la circulation et de la densité d'urbanisation, du pays, etc. Ce scénario est mis en oeuvre sur la plate-forme de démonstration du projet InternetCAR [2,3,4] conduit au sein de notre organisation WIDE (Widely Interconnected Distributed Environment), à Keio University près de Tokyo. Le réseau mobile déployé dans le véhicule est

constitué de trois sous-réseaux isolés l'un de l'autre. L'un est utilisé pour transmettre les données de contrôle des organes primaires du véhicule (moteur, freins, pression des pneumatiques, et divers capteurs); l'autre pour contrôler les organes moins importants (l'ouverture des portes, des fenêtres), et le troisième pour la transmission des données multimédia. Les travaux de ce projet sont à présent repris par les projets InternetITS et Nautilus plus ambitieux, toujours au sein de WIDE. InternetITS [5] (ITS : Intelligent Transportation Systems) est un projet de grande envergure visant à réaliser les applications recherchées par l'industrie automobile et traitant notamment de la question des communications entre le véhicule et Internet. Nautilus [6] est un autre projet, plus récemment créé, ayant pour but la réalisation de la mobilité dans IPv6, qui passe par le déploiement de la mobilité des stations et des réseaux.

Cas des Transports Publics : Un autre exemple tout aussi démonstratif est celui d'une compagnie de transport ferroviaire ou aérienne offrant un accès Internet permanent et ininterrompu à ses passagers. Cet accès pourra non seulement permettre aux passagers de se connecter sur un site distant, télécharger de la musique et de la vidéo depuis n'importe quel fournisseur de service, ou de surfer sur la toile sans interruption de service en utilisant les appareils proposés par la compagnie, mais aussi de s'y connecter en utilisant leur propre ordinateur portable ou téléphone¹. Deux expériences de ce type ont déjà été conduites en 2002 par deux compagnies ferroviaires distinctes de la banlieue de Tokyo. La compagnie JR permettait, à bon escient pendant la durée de la réunion de l'IETF, aux passagers du premier wagon de connecter leur ordinateur portable à Internet via une connexion IEEE 802.11b sur un routeur embarqué. Dans l'expérience, ce routeur était connecté à l'Internet (link layer) via une connexion IEEE 802.11b lors des arrêts en gare, et via le réseau cellulaire pendant les déplacements. La deuxième expérience, conduite avec la compagnie Odakyu en utilisant les technologies développées à Keio University (Jun Murai Lab) était plus modeste, et avait pour but de connecter un routeur à Internet (network layer), et de tester les changements d'interface entre IEEE 802.11b (lors des arrêts en terminus), et le réseau cellulaire (pendant les déplacements). Dans le cas spécifique de l'aviation, outre son utilisation par les passagers, l'Internet peut aussi servir à échanger les données destinées à la navigation entre l'avion et les tours de contrôle aérien. Ce scénario a justement fait l'objet de recherches de la part d'Eurocontrol (une organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne) [11]. Le cas de l'avion est particulier, car celui-ci change probablement rarement de point d'ancrage. Au cours d'un vol international, l'avion est certainement connecté via un satellite géostationnaire au-dessus des océans, et via un lien radio au-dessus des terres.

Besoins au Niveau de l'Architecture IPv6 : Tous les scénarii présentés auparavant, notamment celui du train, justifient qu'un réseau mobile soit de taille relativement grande (de l'ordre de plusieurs centaines de machines inter-connectées

¹ Ce scénario est d'ailleurs mentionné depuis longtemps dans [7], section 5.15; [8], sections 1.2.4 et 5.5.8; [9], section 5.12; [10], section 11.2

par plusieurs routeurs et sous-réseaux) et communiquant avec un nombre important de correspondants. Au vu de celui de l'automobile, le véhicule peut être amené à se déplacer sur de longues distances et donc à prendre ancrage à l'Internet via des points très éloignés dans la topologie. Il est ainsi raisonnable de considérer le cas où les réseaux mobiles non seulement changent de sous-réseau d'attache, mais certainement aussi de fournisseurs de service ou de domaine administratif (mobilité globale). Dans un tel cas, en plus des problèmes de contrôle d'accès et de sécurité, nous observons que les réseaux mobiles peuvent être amenés à se connecter à Internet par le biais de technologies hétérogènes, ce qui nécessite de considérer les aspects de changement d'interface et aussi de multi-domiciliation. D'autre part, ces scénarii montrent que nous devons faire face à deux niveaux de mobilité, celle des réseaux eux-mêmes, et celle des stations, puisque les ordinateurs, téléphones portables et autres moyens techniques portés par les passagers sont des stations mobiles, voire des réseaux personnels, qui peuvent prendre un ancrage temporaire dans le réseau mobile visité (mobilité enchaînée).

3 La Problématique de la Mobilité des Réseaux

Dans cette section, nous expliquons brièvement la problématique de la mobilité liée au modèle d'adressage de TCP/IP. Les termes utilisés dans cet article sont essentiellement extraits de [12] qui offre une terminologie appliquée à la mobilité relativement complète, et de [13] qui définit un ensemble de termes spécifiques à la problématique de la mobilité des réseaux. Les termes se rapportant à la mobilité des réseaux des deux documents ont été initialement définis dans [14] avant d'être soumis à l'IETF.

Modèle d'Adressage : L'ensemble des noeuds se trouvant sur le même lien logique constitue un *sous-réseau*. Les *noeuds* sont de deux types. Ceux qui relient un sous-réseau à un autre sont des *routeurs*, les autres de simples *stations*. A chaque sous-réseau, correspond un préfixe qui permet d'identifier la position du sous-réseau dans la hiérarchie de l'Internet. Un *réseau* est donc un ensemble de sous-réseaux partageant le même préfixe IP et connectés à l'Internet par le biais d'un ou plusieurs routeurs externes. Tous les noeuds ayant une interface sur un sous-réseau donné ont donc une adresse IP correspondant au préfixe de ce sous-réseau. Cette adresse identifie à la fois la position topologique du noeud, et le noeud lui-même². L'adresse IP est donc intrinsèquement liée à la position du noeud dans la topologie Internet.

Problématique de la Mobilité : Un noeud mobile (MN) est un noeud qui change son point d'attachement dans la topologie Internet, c'est-à-dire qui se déplace d'un sous-réseau à un autre. Dans le cas des stations, nous parlons de *station mobile*, dans le cas de routeur, de *routeur mobile* (MRs). Les routeurs d'accès (ARs)

² En fait, l'adresse IP identifie l'interface d'un noeud, mais pour simplifier nous nous contentons souvent de dire que l'adresse identifie le noeud

sont les routeurs qui desservissent les liens où il est permis aux noeuds mobiles de prendre ancrage. Le point d'attachement initial dans le réseau mère est appelé le *sous-réseau mère* tandis que chaque point d'attachement subséquent est appelé *sous-réseau visité*. Le problème posé par la mobilité vient essentiellement du modèle d'adressage de TCP/IP qui confond le rôle d'identifiant d'interface de l'adresse IP, et son rôle d'identifiant de la localisation dans la topologie Internet qui est hiérarchisée. Si un noeud change d'emplacement dans la topologie Internet l'adresse IP qui identifie l'interface qui change d'emplacement doit changer. Le changement d'adresse a pour conséquence de couper les sessions ouvertes qui se servent de l'adresse IP comme identificateur tandis que le changement d'emplacement nécessite un re-routage. Le support de la mobilité a donc pour but, d'une part de définir un mécanisme permettant de *maintenir les sessions ouvertes* lors des déplacements, et d'autre part de *déterminer la nouvelle position du noeud dans la topologie* (localisation et routage). Ceci se fait généralement au prix de messages de signalisation. Pour de plus amples détails, nous recommandons au lecteur la large littérature qui existe dans ce sujet, ou de se référer à nos travaux ([14], chapitre 2).

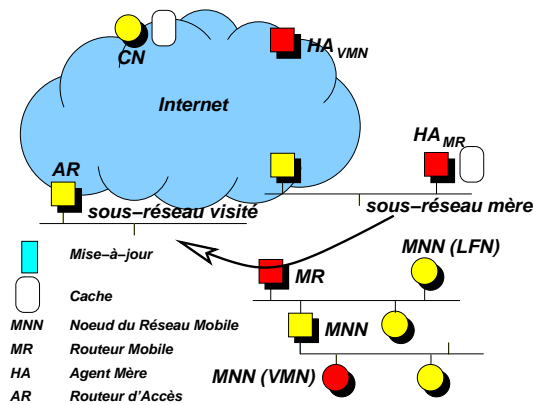


Fig. 1. Terminologie pour les Réseaux Mobiles

Problématique de la Mobilité des Réseaux Mobiles : Un réseau mobile est défini comme un ensemble de sous-réseaux connectés à l'Internet par l'intermédiaire d'un ou plusieurs routeurs (MRs) qui changent leurs points d'ancrage (AR) à l'Internet. Ils sont connectés à l'Internet par le biais d'un ou plusieurs *routeurs mobiles*³. Les interfaces d'un MR connectées sur un sous-réseau mère ou un sous-réseau visité sont nommées *interfaces externes* tandis que toutes les autres interfaces sont nommées *interfaces internes*. Les Noeuds du réseau mobile (MNN,

³ Les réseaux mobiles ne doivent pas être confondus avec les réseaux *ad-hoc* qui sont des réseaux sans infrastructure et dont l'ensemble des noeuds sont des routeurs mobiles, avec ou sans sous-réseau attaché à leur interface interne

terme générique) localisés à l'intérieur du réseau mobile sont de plusieurs types. Il convient de différencier une station fixe résidant de manière permanente dans le réseau mobile (*station fixe locale* ou LFN), d'une station mobile appartenant au réseau mobile (*station mobile locale* ou LMN), et d'une station mobile n'appartenant pas au réseau mobile mais s'y attachant (*station mobile étrangère* ou VMN). Ceci est illustré sur la Fig. 1 qui montre un réseau mobile se déplaçant de son sous-réseau mère vers un autre. Que ce soit un noeud qui se déplace ou tout un réseau, le problème est relativement similaire. Cependant, à la problématique habituelle de la mobilité s'en ajoute d'autres propres aux réseaux mobiles.

Tout d'abord, comme tous les paquets transmis entre MNNs et leurs correspondants (CNs) transitent nécessairement par un MR, le changement de point d'ancrage du seul MR a un impact sur le routage vers l'ensemble des MNNs. Ceux-ci peuvent donc sembler mobiles du point de vue des CNs. En revanche, la structure interne d'un réseau mobile est préservée lors des déplacements du MR. Son déplacement ne causant pas de changement du point d'ancrage physique des MNNs, seul le (ou les) MR est tenu de changer l'adresse de son interface externe. Les MNNs peuvent conserver leur adresse. Le changement de point d'ancrage doit donc si possible être géré de manière transparente pour les MNNs afin de ne pas nécessiter de fonctionnalités nouvelles dans l'ensemble des implémentations IPv6.

La mobilité enchaînée (ou imbriquée) est un type de configuration rendue possible par la mobilité des réseaux. Dans le cas d'une VMN, nous faisons face à une double mobilité, celle du réseau mobile, et celle du VMN qui prend ancrage dans le réseau mobile. Dans le cas d'un routeur mobile faisant lui-même office de passerelle à un réseau mobile qui à son tour permet l'ancrage d'un VMN (station ou routeur), nous avons trois niveaux de mobilité. La mobilité des réseaux rend en principe possible un nombre illimité de niveaux de mobilité. Deux niveaux de mobilité sont illustrés sur la Fig.1 1. Le réseau mobile y accueille une station mobile (VMN) issue d'un autre sous-réseau (identifié par HA_{VMN}). La mobilité imbriquée permet donc d'imaginer tout un ensemble de configurations. Pour chacune se pose la question d'un routage dit *triangulaire* qu'il faut optimiser.

Enfin, nous avons parlé de mobilité globale, qui est exacerbée par les applications et configurations possibles des réseaux mobiles. Dans un tel cas, la sécurisation des données de contrôle, le contrôle d'accès aux ressources du réseau visité, et la possibilité de se connecter par l'intermédiaire de plusieurs routeurs mobiles disposant au total de plusieurs interfaces externes (réseau multi-domicilié) posent des questions cruciales.

4 Le Support de la Mobilité des Réseaux

Le problème d'adressage peut être résolu de plusieurs manières. Le moyen le plus répandu, qui est aussi celui préconisé par l'IETF, fait usage de deux adresses. L'une est permanente et utilisée en tant qu'identifiant d'interface; l'autre est temporaire et est utilisée en tant qu'identifiant de la position dans la topologie (routage). C'est l'approche la plus évidente et la plus simple car elle ne remet pas en cause la pérennité des différents protocoles de la couche réseau et ne nécessite

l'ajout de fonctionnalités aux entités mobiles (au sens IP du terme) ainsi que dans un routeur situé sur le sous-réseau mère (*home agent* ou HA). Là encore, le lecteur se référera à nos travaux ([14], chapitre 4 et section 5.5) pour de plus amples détails sur les approches existantes ou potentielles.

Le support de la mobilité des réseaux est prise en compte par le groupe NEMO [15]⁴ de l'IETF. Le groupe est sur le point de finaliser une solution simple (*NEMO Basic Support*) afin de pouvoir déployer rapidement des réseaux mobiles. Cette solution est établie sur le modèle Mobile IPv6 (protocole de gestion de la mobilité des stations) selon des règles préalablement édictées par le groupe de travail [16]. L'une des règles fondamentale est de ne pas imposer de modifications sur les noeuds localisés derrière le routeur mobile (LFNs) et de maintenir les sessions, sans optimisation de routage. NEMO Basic Support [17] permet d'établir un tunnel bi-directionnel entre le HA et le MR. Le principe de base est que tous les noeuds du réseau mobile partagent le (ou les) même préfixe. Le protocole établit ainsi une relation entre le préfixe commun à toutes les stations résidant dans le *réseau mobile* et l'adresse temporaire (careof address) MR_{coa} obtenue par le *routeur mobile* à chacun de ses points d'ancrage. Cette relation est enregistrée auprès du HA au moyen de nouvelles options contenues dans le message de mise-à-jour (BU). Ce message instruit le HA de re-diriger les paquets destinés aux stations résidants dans le *réseau mobile* en les encapsulant du HA jusqu'au MR.

Cette solution représente le consensus des auteurs des propositions initiales à l'initiative de la création du groupe de travail (dont la notre décrite dans [14,4]). Le groupe traite également des problèmes de sécurité et de multi-domiciliation. La question de l'optimisation de routage n'est pour l'instant pas abordée. En revanche, le groupe ne traite pour l'instant pas des problèmes d'optimisation de routage pour lequel il existe déjà un grand nombre de propositions.

5 Conclusion

Nous avons présenté le principe de la mobilité des réseaux, leurs applications, leur problématique et leur prise en charge dans IPv6. Le support de la mobilité des réseaux permet de développer l'idée d'une Internet omniprésent, à tout instant, à tout endroit, avec n'importe qui. Les applications multimédia seront les premières à bénéficier de ce type d'environnement. En effet, la mobilité des réseaux rend en pratique possible la mobilité de tout équipement, ce qui implique aussi que toute application multimédia devra pouvoir tourner dans un environnement mobile, et prendre en considération un certain nombre de paramètres, en particulier le changement de qualité de service, de bande passante, de règles d'usage (pare-feu) en fonction des technologies accessibles à un instant donné et du réseau d'accès. La solution NEMO Basic Support de l'IETF vient d'être implémenté (NetBSD 1.6.1) dans notre projet Nautilus qui a pour but de démontrer et déployer la mobilité IPv6. Nous procédons donc actuellement à

⁴ Non pas en mémoire du capitaine Némé qui pilote le Nautilus mais en référence à la transcription anglaise de "la mobilité des réseaux" : NETWORK MOBILITY

la validation de l'implémentation ; les résultats de l'évaluation apparaîtront sur notre site web. Nous nous attelons aussi à démontrer l'avantage de la mobilité et la nécessité d'adapter le flux de données émis par les applications.

Références

1. Deering, S., Hinden, R. : Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification. Request For Comments 2460, IETF (1998)
2. InternetCAR : WIDE InternetCAR Working Group Web Page (2002) <http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR>.
3. Ernst, T., Uehara, K. : Connecting Automobiles to the Internet. In : ITST : 3rd International Workshop on ITS Telecommunications, Seoul, South Korea (2002)
4. Ernst, T., Mitsuya, K., Uehara, K. : Network Mobility from the InternetCAR Perspective. JOIN : Journal on Interconnection Networks (2003)
5. InternetITS : InternetITS Consortium Web Page (2002) <http://www.InternetITS.org>.
6. Nautilus : WIDE Nautilus Working Group Web Page (2003) <http://www.nautilus6.org>.
7. Tanenbaum, A.S. : Computer Networks - Third Edition. Prentice-Hall International, Inc (1996)
8. Partridge, C. : Technical Criteria for Choosing IP the Next Generation (IPng). Request For Comments 1726, IETF (1994)
9. Perkins, C.E. : Mobile IP, Design Principles and Practices. Wireless Communications Series. Addison-Wesley (1998) ISBN 0-201-63469-4.
10. Solomon, J.D. : Mobile IP, The Internet Unplugged. Prentice Hall Series in Computer Networking and Distributed Systems. Prentice Hall PTR (1998) ISBN 0-13-856246-6.
11. Quinot, T. : An IPv6 architecture for Aeronautical Telecommunication Network. Master's thesis, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications Paris, EUROCONTROL - European Organization for the Safety of Air Navigation - ISA project (IPv6, Satellite communication and ATMode for ATN) (1998) <http://www.eurocontrol.fr/>.
12. Manner, J., Kojo, M. : Mobility Related Terminology. Internet Draft draft-ietf-seamoby-mobility-terminology-04.txt, IETF (2003) Work in progress.
13. Ernst, T., Lach, H.Y. : Network Mobility Support Terminology. Internet Draft draft-ietf-nemo-terminology-00.txt, IETF (2003) Work in progress.
14. Ernst, T. : Le Support des Réseaux Mobiles dans IPv6. PhD thesis, Université Joseph Fourier (2001) <http://www.inria.fr/rrrt/tu-0714.html>.
15. NEMO : IETF Network Mobility Working Group Web Page (2002) <http://www.ietf.org/html.charters/nemo-charter.html>.
16. Ernst, T. : Network Mobility Support Requirements. Internet Draft draft-ietf-nemo-requirements-01.txt, IETF (2003) Work in progress.
17. Devarapalli, V., Wakikawa, R., Petrescu, A., Thubert, P. : NEMO Basic Support Protocol. Internet Draft draft-ietf-nemo-basic-support-00.txt, IETF (2003) Work in progress.