

La mobilité IP

■ Thomas NOËL, noel@dpt-info.u-strasbg.fr
Université Louis Pasteur, Illkirch

■ Sébastien WOIRGARD, woirgard@clarinet.u-strasbg.fr
Université Louis Pasteur, Illkirch

L'évolution des technologies a rendu possible l'apparition de nouveaux types de machines. Ces ordinateurs connus sous le nom de portables permettent à leurs utilisateurs de travailler sur différents sites. Il n'est plus nécessaire de se trouver dans son bureau, devant sa station de travail pour éditer un texte ou faire un schéma. Ces ordinateurs disposent de suffisamment d'autonomie et de puissance de calcul pour répondre aux besoins actuels. Les ordinateurs portables permettent de travailler sur des données stockées localement, mais leurs utilisateurs ont de plus en plus besoin de pouvoir communiquer pendant leurs déplacements avec leurs entreprises ou d'autres collaborateurs. Jusqu'à présent ces liaisons s'effectuaient lorsque le portable se trouvait dans un lieu équipé, par exemple d'une connexion réseau ou d'une prise téléphonique. On reliait le portable à cette prise (réseau ou téléphonique), ce qui lui permettait de pouvoir entrer en communication avec son ou ses destinataires. On parle alors d'ordinateurs nomades. Mais ce type de communication n'est possible que lorsque le portable se trouve dans un local équipé. Les communications sont stoppées dès que l'ordinateur nomade est débranché de la prise réseau.

L'arrivée de nouvelles technologies de transmission de données sur des réseaux sans fil, permet de ne plus voir les ordinateurs portables comme de simples machines nomades. A l'heure actuelle, il est possible pour un ordinateur portable de communiquer même pendant ses mouvements. On ne parle plus d'ordinateurs nomades mais d'ordinateurs mobiles.

L'engouement pour l'Internet a eu au moins un avantage : il a permis de reconnaître son protocole IP comme un standard de communication Réseau. La majorité des applications existantes est développée et conçue pour utiliser ce protocole. En effet, celui-ci offre à une machine la possibilité d'être à la fois reliée à son réseau local, mais également de pouvoir dialoguer avec n'importe quelle autre machine sur l'Internet. Dans ce contexte favorable à une informatique communicante, il a été naturellement envisagé d'utiliser les ordinateurs mobiles sur l'Internet. Le but recherché est d'offrir à ces ordinateurs mobiles la possibilité de se servir de l'Internet afin de communiquer avec d'autres machines, que celles-ci soient fixes ou mobiles. Comme le protocole IP a été conçu bien avant l'apparition de ces nouvelles technologies, ses fonctionnalités ne pouvaient tenir compte de ce nouveau type d'utilisation. Il a donc été nécessaire d'enrichir le protocole afin que celui-ci permette le support de la mobilité.

■ Les technologies sans fil

Il existe actuellement deux technologies en cours de normalisation, pour le support des transmissions sans fil dans un réseau local : la technologie WaveLAN [Wavelan 1999] et le protocole 802.11 [IEEE 1999]. Ce dernier est très récent, il vient d'être ratifié par l'IEEE. Nous commençons par faire un état des fonctionnalités des différents protocoles. Ces deux procédés permettent la mise en place d'un réseau local sans fil, appelé plus communément WLAN (Wireless LAN) ou RLAN (Radio LAN). Le débit d'un réseau WLAN varie de quelques kbits/s à quelques Mbit/s. Un réseau local sans fil est composé de deux types d'équipements :

- Les points d'accès qui font le lien entre le réseau filaire et les équipements terminaux sans fil.
- Les cartes d'accès sans fil qui équipent les stations et permettent à ces dernières de communiquer avec le reste des équipements du réseau en s'affranchissant du câblage.

La vitesse de déplacement des équipements munis des cartes d'accès sans fil se situe dans des limites fixées entre 5 et 10 km/h. Actuellement la normalisation française autorise ces équipements à fonctionner dans une bande de fréquence située entre 2,446 et 2,4835 Ghz.

La technologie WaveLAN est une technologie propriétaire. Plusieurs constructeurs ont développé des solutions de réseaux locaux sans fil. Chacune de ces solutions est généralement incompatible avec les autres. Toute-



fois, plusieurs d'entre eux utilisent les mêmes composants de base. C'est notamment le cas de la société DIGITAL (produits commercialisés actuellement par la société CABLETRON) qui utilise la technologie issue des produits de la société LUCENT TECHNOLOGIES. Il existe également d'autres produits comme ceux fournis par la société BREEZECOM. L'ensemble de ces produits, même s'ils sont incompatibles entre eux, offre généralement les mêmes fonctionnalités. Parmi celles-ci je citerai, l'attachement de station à un point d'accès. Cette fonctionnalité de base permet à une station d'éviter le problème du câblage. En effet, il suffit d'un point d'accès relié au réseau filaire et d'une carte sans fil équipée d'une antenne. Celle-ci est branchée dans la station et lui permet de se comporter comme n'importe quel autre équipement de type ethernet. Cette fonctionnalité est généralement enrichie par le support du nomadisme (roaming). Ce procédé permet à une station équipée toujours de la même carte de se déplacer et de changer de base d'accès de manière transparente. Cette fonctionnalité n'est valable que dans le cas d'un réseau ponté (ou réseau plat). Si un routeur sépare les équipements d'interconnexion sans fil, les fonctionnalités de nomadisme ne permettent plus de transmettre du trafic IP. Ces deux fonctionnalités sont généralement celles que l'on retrouve sur la station. A cela s'ajoute un certain nombre de logiciels de visualisation de l'état de la connexion sans fil, de la qualité du signal, du bruit... Les équipements d'interconnexion sans fil possèdent également des mécanismes d'administration (via SNMP), avec des possibilités de filtrage de protocoles. Le protocole 802.11 offre les mêmes fonctionnalités que la technologie WaveLAN. Il a toutefois l'avantage d'être ratifié au sein de l'IEEE. Ce qui lui permet théoriquement d'offrir une compatibilité entre les équipements des différents constructeurs.

L'utilisation de ces technologies dans un réseau local équipé de routeurs, pose un certain nombre de problèmes. Le plus important et le plus incontournable est l'acheminement du trafic IP. En effet, le réseau est équipé de point d'accès sans fil, eux-mêmes séparés par des routeurs. Les technologies de type WaveLAN ou 802.11 (qui se situent au niveau 2 de la couche OSI) ne permettent pas de gérer la mobilité des équipements au niveau IP. Il est alors nécessaire d'utiliser conjointement à ces techniques de transmission sans fil, un protocole additionnel de niveau IP.

L'IETF (Internet Engineering Task Force) qui est l'organisme de normalisation des protocoles de l'Internet étudie actuellement un protocole nommé Mobile IP. Parmi les fonctionnalités offertes par ce protocole, je citerai le maintien des communications existantes entre le nœud mobile et ses correspondants, même pendant les déplacements du mobile. Le routage le plus direct possible entre le mobile et ses correspondants ainsi que le support de l'acheminement des paquets multipoint entre le(s) mobile(s) et le reste des participants à une communication de groupe. Pour remplir l'ensemble de ces fonctions l'IETF a identifié quatre acteurs :

- Le mobile lui-même.
- Les correspondants de ce dernier.
- Un routeur situé dans le réseau administratif du mobile appelé, Agent mère.
- Un routeur situé dans le réseau visité par le mobile appelé, Agent relais. Ce dernier est utilisé uniquement dans le cas de la mobilité IPv4.

Quand un mobile se déplace, à l'aide des techniques de transmission sans fil, il est amené à s'attacher à des points d'accès divers situés généralement dans des (sous-) réseaux distincts. Cette contrainte entraîne pour le mobile un changement d'adresse IP. En effet, un équipement IP est généralement identifié par une adresse appartenant au réseau sur lequel il se trouve. Ce changement d'adresse entraîne généralement la rupture des communications de niveau transport. A travers le protocole Mobile IP, l'IETF permet de masquer ce changement aux applications utilisées entre le mobile et ses correspondants. Les fonctionnalités définies par l'IETF pour le mobile sont les suivantes :

- Etre capable de prévenir ses correspondants de son changement de position, afin que ces derniers acheminent leurs paquets vers la nouvelle position du mobile.
- Etre capable de prévenir son agent mère, afin que celui-ci achemine les demandes de communications des futurs correspondants du mobile. En effet, les futurs correspondants du mobile ne peuvent pas connaître la position courante du mobile. Ces derniers font initialement l'hypothèse que le mobile se situe dans son réseau administratif.
- Les mécanismes de mise à jour des correspondants et de l'agent mère doivent être sécurisés afin d'éviter des tentatives d'usurpation d'identité.

Les fonctionnalités définies par l'IETF pour les correspondants du (des) mobile(s) sont les suivantes :

- Etre capable d'apprendre les changements de positions des mobiles avec lesquels le correspondant est en communication.
- Etre capable d'acheminer les paquets vers la position courante d'un mobile.
- Etre capable d'authentifier les mises à jour d'un mobile.

Les fonctionnalités définies par l'IETF pour les agents mères sont les suivantes :

- Etre un routeur situé dans le réseau administratif du mobile.
- Etre capable d'apprendre les changements de positions des mobiles qu'il gère.

- Être capable d'authentifier les mises à jour d'un mobile.
- Être capable d'intercepter les paquets destinés à un mobile lorsque celui-ci n'est pas dans son réseau mère.
- Être capable d'acheminer les paquets destinés à un mobile vers sa position courante.

■ La Mobilité IPv4

L'IETF est composé de groupes de travail qui s'occupent chacun d'un domaine bien précis. L'un d'entre eux (Mobile IP) est chargé de proposer un protocole pour le support des mobiles sur l'Internet.

Ce modèle est à l'heure actuelle reconnu comme le standard et de nombreux additifs de plusieurs groupes de recherche existent. C'est un protocole de niveau Réseau qui offre la caractéristique de garder une adresse IP unique quelle que soit la position géographique du mobile. Cette dernière caractéristique (adresse IP unique quelle que soit la position du mobile dans le monde), n'est pas reconnue par l'ensemble des chercheurs travaillant sur les mobiles, car elle dénature le sens même de l'adresse IP (qui est de permettre de localiser une machine dans le monde grâce à son adresse Réseau).

Un hôte mobile, que nous notons MH, se déplace de réseau en réseau et s'accroche à un point d'attachement appelée base. La base implémente des fonctionnalités de niveau 2 du modèle OSI. Elle assure une connectivité de niveau liaison de données. Elle permet l'échange d'informations avec un mobile par un canal radio ou bien infrarouge.

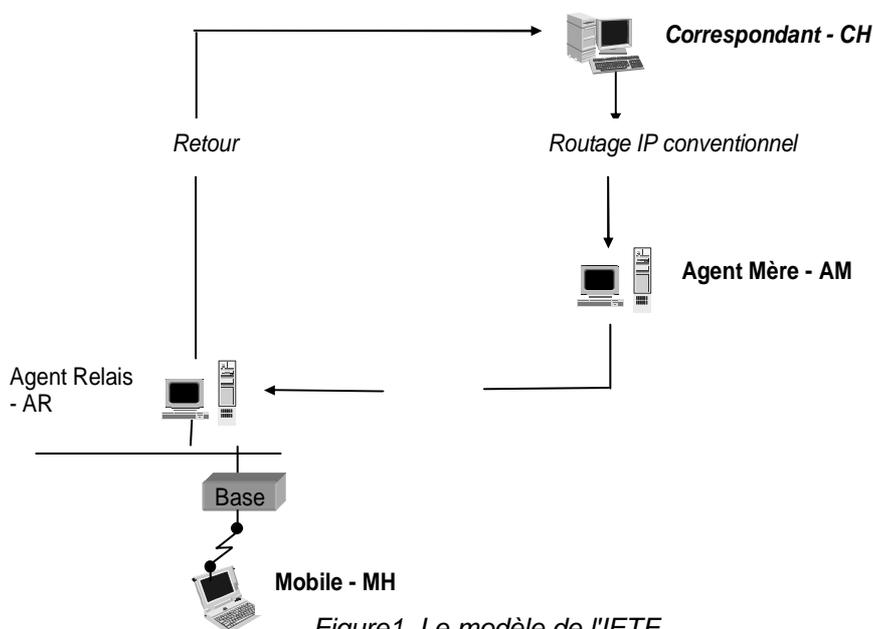


Figure1. Le modèle de l'IETF.

Légende :

MH ou Mobile : Machine ou routeur changeant de point d'attachement sur l'Internet. Comme toute machine fixe, un mobile appartient initialement à un réseau sur l'Internet. C'est ce réseau, appelé réseau mère, qui a affecté son adresse IP au mobile.

AM ou Agent Mère : Routeur, situé dans le sous réseau mère d'un mobile, qui maintient un registre des fixations courantes des mobiles dont il a la charge. Il peut encapsuler les paquets de données pour les délivrer au MH tant que celui-ci est éloigné de son réseau mère.

CH ou Correspondant : Ordinateur (mobile ou non) désirant dialoguer avec un mobile.

AR ou Agent Relais : Routeur situé sur le réseau auquel est attaché un mobile, lors de l'un de ses déplacements. Il permet notamment de relayer les paquets vers le mobile.



Le partenaire d'une communication avec un mobile est appelé le correspondant (CH cf. Figure 1), il peut s'agir soit d'une machine fixe, soit d'un autre mobile. Quand un correspondant veut envoyer des données à un mobile, il se contente de formater un paquet IP ordinaire. L'adresse IP source sera celle du correspondant, l'adresse IP destination sera celle du mobile. Ces paquets arriveront, en utilisant le routage IP conventionnel sur le Réseau mère du mobile. A ce stade, un routeur appelé l'Agent Mère (AM) intercepte les dits paquets et les transmet vers la position courante du mobile.

Du point de vue des protocoles Réseau, l'Agent Mère garde trace de la position courante des mobiles qu'il sert. Le mobilité IPv4 définit deux moyens pour délivrer des paquets depuis l'Agent Mère vers un mobile. Le premier consiste à passer par un nœud intermédiaire appelé *Agent Relais* (AR). Ce nœud, se trouve sur le réseau visité par un ordinateur nomade, il sert de nœud relais entre l'Agent Mère et le mobile. C'est lui qui réceptionne les paquets envoyés par l'Agent Mère et les délivre au mobile. Cette solution a l'avantage d'éviter d'allouer une nouvelle adresse IP au mobile. En effet, celui-ci utilise toujours l'Agent Relais situé dans le réseau visité comme nœud intermédiaire. Ce mécanisme peut être comparé à un système de translation d'adresses, connu également sous le nom de NAT (Network Address Translation). La deuxième alternative proposée par l'IETF est d'utiliser un mécanisme d'autoconfiguration d'adresses. Cette solution permet à un mobile d'acquérir une adresse temporaire dans le nouveau réseau d'attachement. Dans ce cas, l'Agent Mère ne relaie plus les paquets vers un Agent Relais, mais envoie directement les paquets vers l'adresse temporaire du mobile. Cette alternative requière toutefois la réservation d'un pool d'adresses pour la gestion des mobiles dans un réseau.

Quelle que soit la solution utilisée, l'Agent Mère doit encapsuler les paquets interceptés pour les rediriger vers le nouveau réseau visité. En effet, il est inconcevable que l'Agent Mère modifie les paquets interceptés, cela poserait plusieurs problèmes. L'un d'entre eux, et non le moindre, obligerait l'Agent Mère à recalculer pour chaque paquet, le « *checksum* » qui se trouve dans les couches supérieures. L'encapsulation des paquets consiste à insérer un nouvel en-tête IP devant l'en-tête existant. Ce procédé permet de continuer à utiliser les mécanismes de routage IP conventionnels tout en permettant une redirection des paquets. Le nouvel en-tête (cf. Figure 2), appelé en-tête IP d'encapsulation, contient comme adresse source l'adresse de l'Agent Mère et comme adresse destination, l'adresse du nœud relais (ou l'adresse temporaire du mobile) :

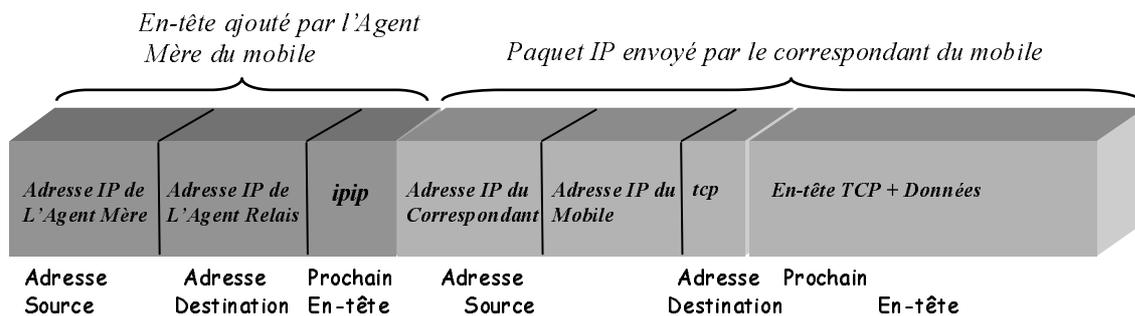


Figure 2. Encapsulation IP dans IP.

■ La Mobilité IPv6

IPv6 [Deering, 1995], le nouvel « Internet Protocol » définit un certain nombre de nouvelles fonctionnalités. Ces dernières offrent la possibilité d'ajouter de nouveaux comportements aux machines de l'Internet. Nous montrons dans la section suivante comment l'utilisation des extensions d'en-tête d'IPv6 permet le support de la mobilité pour le modèle de l'IETF [Johnson, 1999].

Le modèle de l'IETF

Comme dans le cas de la mobilité IPv4, un mobile est toujours joignable par son adresse principale (appelée également *adresse mère*), qu'il soit attaché à son réseau d'origine (ou réseau mère) ou qu'il soit éloigné de celui-ci. Tant que le mobile est dans son sous-réseau mère, les paquets à destination de l'adresse principale du mobile sont routés en utilisant les mécanismes de routage IPv6 [Cizault 1998] conventionnels (i.e. en fonction du préfixe de réseau) (cf. Figure 3).

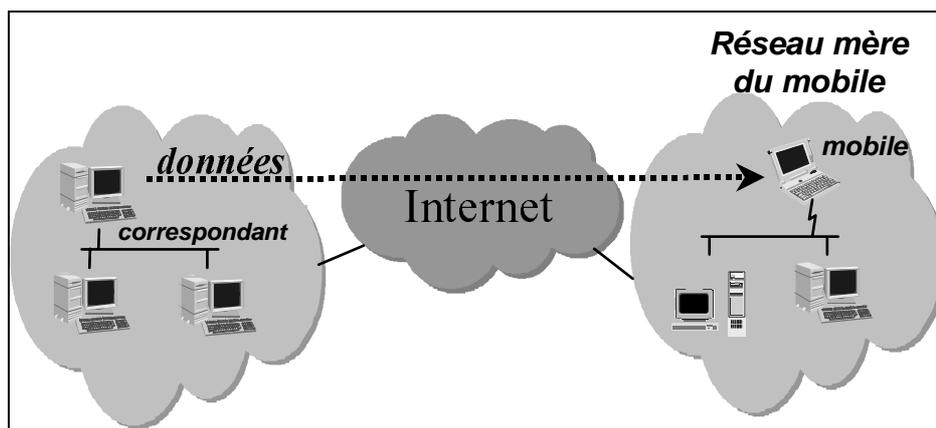


Figure 3. Envoi de paquet à un mobile situé dans son réseau mère.

En revanche, lorsqu'un mobile se déplace, il acquiert dans le réseau visité une nouvelle adresse en utilisant les mécanismes d'autoconfiguration d'IPv6. Une fois cette adresse temporaire obtenue, le mobile l'enregistre auprès d'un routeur situé dans son sous-réseau mère. Comme dans la mobilité IPv4 ce routeur est appelé Agent Mère, il stocke dans une table la correspondance entre l'adresse principale du mobile et son adresse temporaire. Cette table est appelée la table des associations. Par la suite, l'Agent Mère interceptera tous les paquets IPv6 destinés à l'adresse mère du mobile. Ces paquets seront redirigés vers la position courante du mobile. Pour rediriger les paquets, l'Agent Mère utilise les mécanismes IPv6 d'encapsulation (cf. Figure 4) et adresse les paquets encapsulés à l'adresse temporaire du mobile.

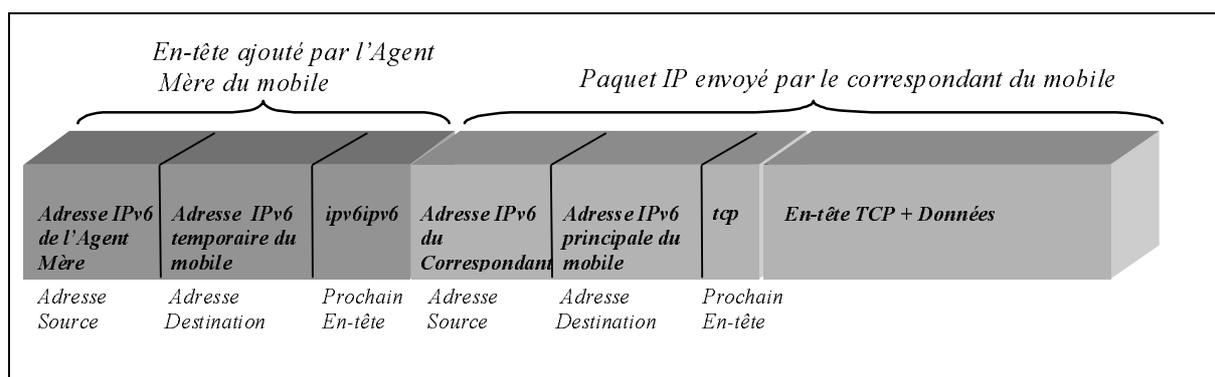


Figure 4. Encapsulation IPv6 dans IPv6.

L'Agent Mère et les correspondants d'un mobile apprennent et conservent son adresse temporaire en utilisant un ensemble d'options IPv6. Ces options, contenues dans une extension d'en-tête Destination, sont spécialement définies pour le support de la mobilité dans IPv6. Une option IPv6 de mobilité peut être envoyée de deux manières différentes :

- Elle peut être incluse à l'intérieur de n'importe quel paquet véhiculant n'importe quelle charge utile comme TCP ou UDP.
- Elle peut être envoyée dans un paquet IPv6 séparé ne contenant aucune autre donnée.

La mobilité IPv6 définit quatre nouvelles options Destination :

- *Mise à jour de l'association* : cette option est utilisée par un mobile pour avertir soit un correspondant soit l'Agent Mère du mobile, de son adresse temporaire courante. Le message « Mise à jour de l'association » envoyé par un mobile à son Agent Mère est appelé « Enregistrement principal ». Tout paquet incluant un acquittement de l'association doit également inclure un en-tête d'authentification.
- *Acquittement de l'association* : cette option est utilisée pour acquitter la réception d'un message « Mise à jour de l'association ». Tout paquet incluant cette option doit également inclure un en-tête d'authentification.



- *Demande de mise à jour de l'association* : cette option est utilisée pour demander à un mobile d'envoyer un message « Mise à jour de l'association » contenant son adresse temporaire courante. Cette option est notamment utilisée par un correspondant pour rafraîchir une entrée dans sa table des associations.
- *Adresse principale ou mère*: cette option est utilisée dans tout paquet envoyé par un mobile. Les paquets envoyés par un mobile lorsqu'il est hors de son sous-réseau mère disposent généralement dans l'en-tête IPv6 de l'une des adresses temporaires du mobile. En insérant dans ces paquets l'option destination « *Adresse principale* » les correspondants sont capables de substituer l'adresse temporaire par l'adresse mère du mobile ce qui leur permet ainsi de référencer toujours le mobile par son adresse principale.

Pour supporter la mobilité dans IPv6 il est nécessaire de disposer de certaines structures de données. Celles-ci servent à maintenir les adresses temporaires des mobiles.

Cache ou table des associations : un cache des associations est maintenu par chaque nœud IPv6. Il existe une entrée dans le cache des associations appelée entrée « Enregistrement Principal ». Cette entrée existe lorsqu'un nœud sert d'Agent Mère pour un mobile. Elle ne devrait pas être détruite par l'Agent Mère avant l'expiration de la durée de vie de l'association, alors que d'autres entrées de la table des associations peuvent être modifiées suivant la politique de remplacement de la table des associations.

Liste des mises à jour des associations : cette liste est maintenue par les mobiles IPv6 qui enregistrent les informations pour chaque message « Mise à jour de l'association » envoyé à leurs correspondants. Chaque entrée de la liste reste valide tant que la durée de validité de l'association n'a pas expiré.

■ Implémentation

Nous avons à ce jour testé dans l'équipe de recherche Réseau du LSIIT trois implémentations de la mobilité IPv6. Une sous Linux, une sous FreeBSD et une sous Windows NT. Pour résumer rapidement la situation, la souche mobile IPv6 sous Linux est inexploitable et cela est dû en grande partie à l'arrêt du projet pour manque de moyens humains et financiers. La souche mobile IPv6 sous Windows NT n'est que partielle et souffre de problèmes de jeunesse. Seule la souche mobile IPv6 de l'INRIA sous FreeBSD a fonctionné dans des conditions de tests réels. Nous avons à ce jour validé une cinquantaine de scénarios de tests sur cette souche. Nous pouvons en conclure qu'elle répond dans sa grande majorité aux spécifications de l'IETF.

■ Conclusion

Le protocole proposé par l'IETF pour IPv4 permet de faire fonctionner les mobiles sur l'Internet tel qu'il existe actuellement. Il ne nécessite aucune modification en dehors des routeurs en charge des mobiles dans leur sous-réseau mère. IPv6 permet au modèle de l'IETF de résoudre plusieurs problèmes [Kyntäjä, 1998]. En effet, la mobilité IPv4 définit un certain nombre d'extensions comme l'optimisation des routes pour éviter le routage en jambe de chien. Mais cette solution repose sur la modification des piles TCP/IP des machines dialoguant avec un mobile. Comme IPv6 est en cours d'élaboration, il est astucieux d'ajouter dès la création du protocole de nouvelles fonctionnalités lui permettant de supporter nativement, sur l'ensemble des nœuds sur l'Internet, le dialogue « optimisé » avec un mobile. De plus, ce modèle permet d'éviter l'utilisation d'un Agent Relais sur chacun des réseaux visités par un mobile. Les protocoles d'autoconfiguration présents dans les spécifications d'IPv6 permettent une gestion simplifiée de l'attribution d'adresses temporaires.

En conclusion, nous pouvons dire que l'utilisation du protocole Mobile IP devrait se répandre de plus en plus avec l'arrivée d'IPv6. Toutefois, l'ampleur de son utilisation dépendra également des équipements et des débits offerts par les fabricants d'équipements sans fil.

■ Bibliographie

[Cizault 1998], **Cizault G.**, IPv6, *Editions O'Reilly, Avril 1998.*

[Deering 1995] **Deering S., Hinden R.**, *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*, RFC 1883, Décembre 1995.

[IEEE 1999] Organisme de standardisation des technologies de transmission,
www.ieee.org

[IETF 1999] Organisme de standardisation des protocoles Internet,
www.ietf.org

[Johnson 1998], **Johnson D., Perkins C.**, *Mobility Support in IPv6*, Internet Draft, draft-ietf-mobileip-ipv6-08.txt, Mars 1998.

[Kyntäjä 1998], **Kyntäjä T.**, *Mobility Support in IPv6*, Rapport de Recherche, <http://www.cs-ipv6.lancs.ac.uk/ipv6/documents/papers.html>, Janvier 1998.

[Wavelan 1999] Technologie de transmission sans fil, www.wavelan.com



