

# Le projet « IPv6 - ADIRE » – Infrastructure IPv6 et mobilité

Pierre David

Centre Réseau Communication, Université Louis Pasteur, Strasbourg  
Pierre.David@crc.u-strasbg.fr

Thomas Noël

Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télé-détection, Université Louis Pasteur, Strasbourg  
Thomas.Noel@dpt-info.u-strasbg.fr

Guillaume Schreiner

Centre Réseau Communication, Université Louis Pasteur, Strasbourg  
Guillaume.Schreiner@crc.u-strasbg.fr

Jean-Paul Le Guigner

Comité Réseau des Universités, Rennes  
Jean-Paul.Le-Guigner@cru.fr

## Résumé

*La Direction de la Recherche du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a initié un projet pilote rassemblant onze sites universitaires afin de promouvoir la mise en production d'infrastructures IPv6 de bout en bout sur les réseaux de collecte connectés à Renater, ainsi que la réalisation de maquettes de la mobilité IPv6.*

*Le premier objectif a permis d'insuffler une dynamique pour passer d'une démarche expérimentale à de vrais déploiements intégrant les contraintes opérationnelles de la gestion d'une dorsale universitaire.*

*Le deuxième objectif a permis d'avancer dans la mise en place de la mobilité, technologie qui représente une véritable avancée dans le domaine des réseaux. Les JRES seront l'occasion pour l'ensemble de la communauté, à travers des démonstrations réelles, de mesurer son état d'avancement opérationnel.*

## Mots clefs

IPv6, mobilité, infrastructure réseau.

## 1 Introduction

Le développement du protocole IPv6, en France comme dans les autres pays, a souvent été à l'initiative de laboratoires précurseurs et d'individualités motivées. C'est ainsi que sont nés le G6 en France et le 6Bone au niveau international.

Sur les plans national et européen, les réseaux Renater et Géant offrent une connectivité IPv6 à leurs réseaux de collecte. Renater, par exemple, fournit nativement (c'est-à-dire sans transiter par un tunnel) la connectivité IPv6 unicast depuis la version 3, soit depuis fin 2001.

Le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche, notamment en France, est donc bien avancé dans le déploiement d'IPv6, et les actions gouvernementales (tels que l'engagement de la Ministre de la Recherche en 2003 ou l'annonce du plan RE/SO 2007) renforcent cette dynamique.

Toutefois, derrière cet avant-plan idyllique, il reste des pans entiers de notre communauté dont la migration vers IPv6 n'est pas assez avancée : d'une part la grande majorité des réseaux métropolitains et dorsales universitaires, et d'autre part la quasi-totalité des sous-réseaux de laboratoires ou de services.

Ce constat a amené la Direction de la Recherche du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche à impulser une forte dynamique en direction des établissements, sous la forme d'un appel à projets visant le support d'IPv6 de bout en bout et de la mobilité IPv6, avec démonstrations à l'appui.

Onze sites ont été sélectionnés, et ont travaillé depuis janvier 2005 pour atteindre cet objectif. Même si, lors de la rédaction de cet article, il reste des points à affiner, on peut dès à présent mentionner le succès du projet car ces onze sites ont mis en place une infrastructure IPv6 de bout en bout.

Après une présentation des objectifs du projet et de l'état initial des sites participants, nous montrerons les principes et l'intérêt de la mobilité IPv6. Les démonstrations proposées aux participants des JRES seront ensuite détaillées, et nous dresserons enfin le bilan provisoire du projet avant de conclure.

## 2 Présentation du projet

### 2.1 Les objectifs

Les objectifs du projet « IPv6 - ADIRE » (pour « Appel à projet de la Direction de la Recherche ») sont :

- le support d'IPv6 de bout en bout ;
- le support de la mobilité IPv6, avec démonstration ;
- la publication de documentations.

Le premier objectif implique les gestionnaires des dorsales des réseaux universitaires, car il s'agit de mettre à niveau les infrastructures pour pouvoir offrir un véritable service IPv6. Ce point est particulièrement sensible, car ces dorsales, souvent complexes et hétérogènes, représentent un outil crucial pour l'ensemble de la communauté

universitaire et la pression des utilisateurs est très forte. Les gestionnaires, déjà souvent bien occupés par ailleurs, ne peuvent pas se permettre de plaquer de nouveaux dispositifs sans avoir la certitude d'un fonctionnement inaltéré. Or, ce support de bout en bout est un prérequis pour aborder la suite du projet.

Le deuxième objectif vise à promouvoir la mobilité, une des avancées majeures dans le domaine des réseaux, rendue possible par l'avènement d'IPv6. Cette technologie est toutefois encore regardée comme expérimentale, et le mérite de ce projet est de la faire sortir des laboratoires de recherche pour être appréhendée par les ingénieurs réseau. Les démonstrations présentées ici, et réalisées normalement lors de ces JRES, permettront au plus large public de percevoir tout l'intérêt de la mobilité.

Enfin, la publication de documentations a pour but d'inciter tout un chacun à expérimenter à son tour cette technologie.

Les documents sont disponibles sur : [ipv6.u-strasbg.fr](http://ipv6.u-strasbg.fr)

## 2.2 Calendrier

L'appel à projets de la Direction de la Recherche du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a été communiqué aux présidents d'universités, les réponses devant parvenir avant le 25 octobre 2004. Les sites sélectionnés ont été avertis fin novembre 2004, et la réunion de démarrage du projet s'est tenue le 6 janvier 2005. Des formations ont été organisées pour les participants en février et mars 2005. L'objectif affiché était de saisir l'opportunité des JRES afin d'effectuer les démonstrations pour le public le plus large.

## 2.3 Sites

Les 11 sites retenus sont (par ordre alphabétique) :

Angers	Université d'Angers
Grenoble	DSI Grenoble universités, INRIA, IMAG
Lyon	Université Lyon 1 et INSA
Marseille	Les trois universités
Nancy	CIRIL et LORIA
Mulhouse/Colmar	Université de Haute Alsace
Paris	Université Paris I
Paris	Université Paris VII
Rennes	Université Rennes 1, Pôle régional Point6
Strasbourg	Université Strasbourg 1
Toulouse	CICT, ENSEEIHT, LAAS

La coordination du projet a été confiée à l'Université Louis Pasteur (Pierre David et Thomas Noël, aidés par Guillaume Schreiner), avec le soutien de Jean-Paul Le-Guigner.

## 2.4 Les étapes du projet

Pour permettre à chaque site de se situer, et pour donner une vision synthétique du projet, une « carte routière »<sup>1</sup>, inspirée de la démarche strasbourgeoise, a été dessinée

pour tracer les différentes étapes que chacun devait accomplir.

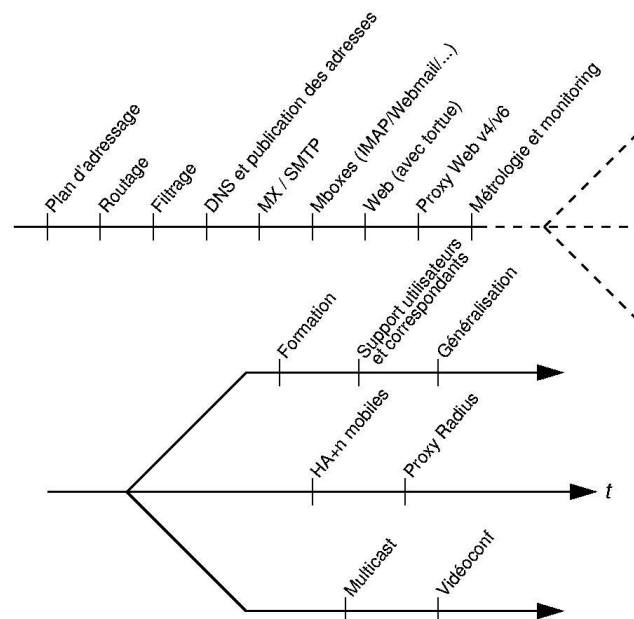


Figure 1 - Les étapes du projet

La figure ci-dessus résume cette carte routière (découpée en deux pour des raisons de mise en page dans cet article) ; les étapes qui y figurent sont :

- la conception d'un plan d'adressage pour le site ;
- la mise en place de l'architecture de routage, l'interface BGP avec Renater, le choix des protocoles intérieurs et l'activation du routage pour les premiers préfixes ;
- la mise en place d'un mécanisme permettant de filtrer les paquets (filtrage sans état ou avec état, au niveau de la dorsale et au niveau des serveurs eux-mêmes) : la sécurité ne devant pas être le parent pauvre d'IPv6, il faut prévoir dès le début le filtrage car sinon, au moment où on en a besoin, il est généralement trop tard...
- ensuite, le DNS doit être rendu compatible, à la fois au niveau des enregistrements (RR de type AAAA) et du transport IPv6 lui-même ; la concrétisation de cette étape est la déclaration dans la zone parente (en général « .fr » pour ce qui nous concerne) des serveurs de noms avec des adresses IPv6 ;
- l'étape suivante est la migration des relais de messagerie du domaine (les MX du domaine)...
- ... ce qui permet de continuer sur la lancée avec l'hébergement des boîtes aux lettres ainsi que la migration de tous les protocoles de lecture (POP(S) et IMAP(S) ainsi que le Webmail) ;
- la mise en place d'un site Web, avec un dispositif de type « tortue Kame »<sup>2</sup> peut paraître gadget, mais c'est un moyen simple, efficace et rapide de vérifier que toute l'infrastructure comprend IPv6 de bout en bout ;

<sup>1</sup>roadmap

<sup>2</sup>Sur [www.kame.net](http://www.kame.net), la tortue bouge quand on y accède grâce à IPv6. Si, si, essayez !

- la mise en place d'un proxy Web IPv4/IPv6 permet à des clients dans des réseaux IPv6 non compatibles IPv4 (réseaux « IPv6 only ») de dialoguer utilement avec le reste de l'Internet. Si ceci n'est pas en général très utile, les réseaux « IPv6 only » n'étant pas encore très fréquents, cela s'avère utile dans le cadre des démonstrations aux JRES ;
- enfin, pour qu'un déploiement soit considéré comme opérationnel, il faut que les outils de métrologie et de surveillance du réseau soient eux aussi convertis à IPv6.

La partie commune (le manche) de la fourche s'arrête ici. Selon les projets des participants, trois grandes voies s'ouvrent alors, qui peuvent bien entendu se cumuler. La première est la voie de la généralisation du déploiement :

- il faut pour cela former les utilisateurs ou les correspondants réseau ;
- il faut être prêt à assurer du support technique à ces deux populations ;
- la généralisation peut ensuite commencer.

Alors que jusqu'ici, il s'agissait de déployer une infrastructure sur un réseau de production, les deux voies restantes peuvent être teintées d'expérimentation. En particulier, la voie suivante est l'implémentation de la mobilité :

- celle-ci suppose l'installation d'un « Home Agent » (voir section 3), ainsi que de nœuds mobiles pour valider le fonctionnement ;

afin de rendre interopérables les authentications des connexions sur les infrastructures d'autres établissements, et permettre ainsi une mobilité jusque dans les moindres détails, l'interconnexion au projet « arredo » par l'intermédiaire d'un proxy Radius constitue l'étape finale de la mobilité.

La troisième voie est dirigée vers les applications de vidéoconférence. Pour cela, les deux étapes nécessaires sont :

- la mise en place du routage multicast IPv6 ;
- l'intégration d'applications de vidéoconférence dans l'environnement IPv6.

L'identification de ces différentes étapes a permis de structurer la démarche des acteurs des projets.

## 2.5 État initial

Pour préparer la réunion initiale du projet, un état des lieux a été dressé à partir de deux sources :

- un questionnaire avait été envoyé aux sites, les invitant à décrire l'état actuel de l'implémentation IPv6, énoncer les moyens et les compétences mis en œuvre, ainsi que les objectifs ;
- une enquête sur les services v6-ifiés a été effectuée.

À l'issue de cet état des lieux, 7 des 11 sites affirmaient avoir mis en place IPv6 sur leur dorsale, à des stades divers (allant de « déploiement généralisé » à « pré-opérationnel »).

Parallèlement, sur 11 domaines testés :

- 5 disposaient d'au moins un serveur de noms avec une adresse IPv6 ; toutefois, dans deux cas, le serveur en question était hébergé par un organisme extérieur ;
- 4 disposaient d'au moins un relais de messagerie avec une adresse IPv6 ; toutefois, au moment de l'enquête, pour deux d'entre eux, les relais n'étaient pas joignables en IPv6 ce qui pouvait poser des problèmes de communication ;

On le voit, l'état initial du déploiement IPv6 parmi les participants au projet était très divers, et parmi ceux qui avaient déjà franchi le pas, un certain nombre n'avaient pas encore sur IPv6 la qualité de service qu'ils offrent avec IPv4.

## 3 La mobilité IPv6

Il ne s'agit pas ici de décrire toutes les fonctionnalités de la mobilité IPv6 qui, faut-il le rappeler, prend tout son sens sur une infrastructure IPv6 de bout en bout, mais principalement de rappeler l'intérêt de cette norme et les mécanismes de bases qui la composent.

### 3.1 Objectif et intérêt

L'objectif principal de la mobilité IPv6 est de maintenir les communications pendant les déplacements d'un terminal. Cet équipement doit de ce fait disposer d'un moyen de communication généralement sans fil ce qui lui confère sa capacité à se déplacer tout en restant connecté au réseau local de son entité (campus, entreprise, etc.). Les spécifications de la mobilité IPv6 comme elles ont été définies à l'IETF (RFC 3775) sont orientées vers les nœuds mobiles, elle ne traite pas de ce fait des réseaux ad-hoc ou des réseaux complètement mobiles (i.e appelés généralement NEMO) ; nous ne traiterons donc pas ici ces autres cas de mobilité.

Nous connaissons jusqu'à présent le cas des équipements nomades, ces derniers sont des terminaux qui s'autoconfigurent après chacun de leur déplacement. Le protocole DHCP, dans le cadre d'IPv4 ou d'IPv6, répond parfaitement à ce cas de figure qui est encore dans bien des cas le principal exemple de mobilité qui se pratique aussi bien en milieu universitaire que dans le secteur privé. La mobilité comme nous l'entendons ici va un cran plus loin puisqu'elle assure la continuité de la communication tout au long des déplacements du terminal.

Pour mieux comprendre l'intérêt de la mobilité IP, il est préférable de bien en délimiter les principaux contours. La mobilité IPv6 ne se limite pas à gérer le maintien de la communication des terminaux pourvus de connexion au réseau sans-fil, son objectif est plus ambitieux puisqu'elle se place au niveau de la couche « réseau » du modèle OSI ; elle s'abstrait donc des moyens de communication sous-jacents. Il est tout à fait envisageable de ne plus voir le simple cas d'un terminal pourvu d'une carte sans fil, mais bien au contraire d'un terminal disposant de multiples moyens de communication filaire et sans fil. Un exemple simple qui permet d'illustrer l'intérêt de la mobilité IPv6 est un terminal disposant de 2 ou 3 interfaces : une interface IEEE 802.11, une interface GPRS/UMTS, et une interface

Ethernet. Si nous prenons l'exemple d'une visioconférence ou d'un appel de type VoIP qui a débuté alors que l'utilisateur se trouve dans son bureau, on peut très facilement envisager que cet appel a débuté sur une connexion filaire (au travers de la station d'accueil du combiné mobile). Pendant la communication, l'utilisateur peut, pour une raison ou pour une autre, être amené à se déplacer ; si les mécanismes de mobilité IP ne sont pas mis en œuvre, la communication sera rompue et devra être re-initialisée une fois la configuration IP rétablie sur l'une ou l'autre des interfaces. L'utilisation de la mobilité IPv6 pallie ce genre de problème et masque le changement d'interface aux applications et à la couche transport. De ce fait l'utilisateur peut basculer de manière transparente de son interface filaire à son interface sans-fil si le bâtiment dans lequel il se trouve en est pourvu. S'il est amené à sortir de la couverture 802.11, il pourra même utiliser sa connexion GPRS ou UMTS pour maintenir la conversation en cours.

La mobilité IPv6 peut apporter de nombreux avantages aux utilisateurs, notamment si on souhaite s'affranchir de toutes dépendances vis-à-vis d'un opérateur. Elle permet également d'éviter la reconfiguration des applications lors des changements de la configuration IP tout en maintenant les communications pendant le déplacement d'un terminal.

Cet objectif n'est pas nouveau, il était déjà présent dans les spécifications de la mobilité IPv4. Il convient toutefois de se rappeler que « Mobile IPv4 » fut défini de nombreuses années après la standardisation du protocole IP, et qu'il fut donc particulièrement épineux d'introduire le support de la mobilité dans une version du protocole qui n'avait pas envisagée que nous disposerions un jour de terminaux mobiles aussi performants. De ce fait, la mobilité IPv4 souffre d'une complexité qui empêche son utilisation à grande échelle.

À contrario, la mobilité IPv6 fut prise en compte dès la conception de la nouvelle version du protocole IP. Cet état de fait a permis de diminuer le nombre d'acteurs nécessaires pour la prise en charge de la mobilité IPv6.

Dans le cas le plus simple, qui est aussi le scénario actuellement considéré comme le cas le plus probable à court ou moyen terme, seuls deux acteurs sont nécessaires pour la gestion de la mobilité : le terminal mobile lui-même et un routeur IPv6 situé dans le réseau dit « administratif » du mobile. Ce routeur dispose d'une interface réseau dans le réseau administratif du mobile. Il porte le nom de « Home Agent » dans la spécification de l'IETF. Le rôle du Home Agent (HA) est d'intercepter les paquets à destination du mobile et de les réacheminer vers la position courante du mobile (c'est-à-dire l'adresse IPv6 qui localise à un instant donné le terminal mobile sur l'Internet).

Dans un scénario plus élaboré, un troisième acteur est à considérer : le (ou les) correspondant(s) du mobile. Dans ce cas de figure, la position courante du mobile est connue non seulement du HA, mais également de ses correspondants. De cette manière ces derniers n'ont plus besoin de faire transiter leurs paquets par le réseau administratif du mobile, ils peuvent envoyer directement les paquets vers la position courante de ce dernier.

La figure 2 illustre les différents acteurs de la mobilité IPv6.

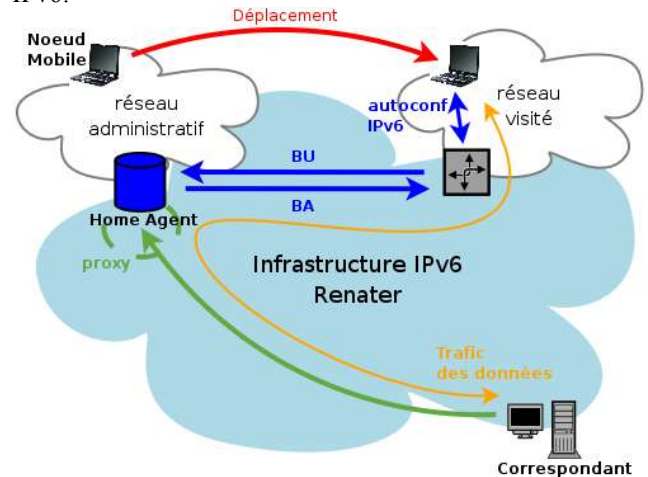


Figure 2 - Les acteurs de la mobilité

Le reste de cette section décrit les mécanismes de la mobilité mis en œuvre entre ces acteurs.

### 3.2 Le mécanisme de base

Un mobile IPv6 est toujours identifié par une adresse unique appelée « adresse principale ». Il s'agit de l'adresse affectée à l'équipement mobile quand il est dans son réseau habituel (par exemple l'adresse configurée sur le mobile lorsque l'utilisateur de ce dernier se trouve à son bureau). Cette adresse est généralement déclarée dans le DNS : elle fait la liaison entre le nom du mobile et son adresse IPv6. Cette notion d'adresse principale est importante, car c'est cette dernière qui servira d'adresse IPv6 invariante pour les couches transport et les applications.

Lorsqu'un mobile se déplace, il change de point d'attachement de niveau 2 (par exemple changement de point d'accès sans-fil). Si ce changement de niveau d'attachement (i.e. changement au niveau de la couche « liaison ») n'entraîne pas de changement de configuration IPv6 (i.e. changement de routeur d'accès et donc de plan d'adressage), la mobilité n'entre pas en action. Si par contre, le changement de point d'attache entraîne une re-configuration IPv6, il est alors nécessaire d'avoir recours à Mobile IPv6 pour masquer le changement d'adresse IPv6. Si un mobile acquiert au travers des mécanismes d'autoconfiguration d'IPv6, une nouvelle adresse lors de l'un de ses déplacements, on parle d'adresse IPv6 temporaire (ou d'adresse dans le réseau visité).

Cette adresse localise l'équipement sur l'Internet. Mais il est primordial de masquer cette adresse aux applications. Par exemple, une connexion TCP est identifiée par un quadruplet <adresse IPv6 source, adresse IPv6 destination, port source, port destination> initialisé au moment de la création de la communication : si un des champs de ce quadruplet venait à être changé, la communication serait interrompue. De ce fait, il faut trouver un moyen qui permette à la fois de masquer ce changement tout en

assurant l'acheminement des paquets vers la nouvelle adresse IPv6 courante du mobile.

Cet acheminement est réalisé par le Home Agent du mobile. Ce dernier est en fait mis à jour par les mobiles à chacune des fois qu'ils acquièrent une nouvelle adresse IPv6. Les HA maintiennent donc une table de correspondance (« Binding Cache ») entre l'adresse principale d'un mobile et son adresse temporaire courante. Cette entrée est présente sur le Home Agent uniquement si le mobile est en déplacement.

À l'opposé, dans les mécanismes de base, les correspondants du mobile pensent que le mobile se trouve toujours dans son réseau principal. Ils envoient donc l'ensemble de leurs paquets à l'adresse de destination correspondant à l'adresse principale du mobile.

À l'arrivée dans le réseau principal, si le Home Agent dispose d'une entrée dans son cache entre l'adresse principale du mobile et une adresse temporaire, il en déduit que le mobile est en déplacement. Il encapsule donc les paquets IPv6 dans un nouvel en-tête qui a comme adresse source l'adresse du HA et comme adresse destination l'adresse temporaire du mobile.

Lorsque ces paquets encapsulés arrivent à destination du mobile, ce dernier enlève l'en-tête d'encapsulation et fait remonter le paquet original aux couches supérieures.

Dans le cas des paquets émis par le mobile à destination de ses correspondants, les paquets transitent là encore du mobile vers le HA qui ne fait que ré-acheminer les paquets comme s'ils avaient été émis depuis le lieu où se trouve le mobile lorsqu'il n'est pas en déplacement. Un mobile utilise des messages de contrôle (« Binding Update ») pour maintenir à jour le cache des associations présent sur le HA.

### 3.3 L'optimisation de la route

Le mécanisme vu précédemment n'offre pas de route directe entre un mobile et son correspondant, tout le trafic à destination du mobile en déplacement passe par le HA. La mobilité IPv6 propose une optimisation de ce mécanisme de base. Ce mécanisme est appelé « optimisation de la route ».

Dans cette configuration, le mobile se charge d'informer lui-même ses correspondants de sa position courante. Cette solution suppose que les correspondants disposent d'une implémentation de la mobilité IPv6 (appelée coté correspondant, ou CN).

Le mécanisme est initialement le même : lorsque le mobile reçoit les premiers paquets de l'un de ses correspondants, ces paquets arrivent encapsulés par le HA puisque les correspondants n'ont pas de moyen de découvrir par eux-même la position courante d'un mobile. Le mobile en déduit que son interlocuteur ne dispose pas de la correspondance entre son adresse principale et son adresse temporaire, il envoie donc un message de contrôle (« Binding update ») à son correspondant pour que ce dernier crée ou mette à jour son cache des associations, qui sera alors utilisé par la couche réseau du correspondant

pour intercepter tous les paquets à destination du mobile et les acheminer vers sa position courante.

Dans ce contexte, le correspondant d'un mobile n'a pas recours à une encapsulation standard, qui entraîne une surcharge importante du paquet, mais il utilise des mécanismes additionnels d'IPv6 au travers d'un en-tête de routage explicite.

Dans le sens « mobile vers correspondant », là encore pour des questions de performances, ce n'est pas une encapsulation d'en-tête qui est utilisée mais une extension d'en-tête « Destination » qui réduit la surcharge d'information nécessaire pour acheminer les paquets à destination d'un correspondant tout en assurant aux couches supérieures du correspondant une invariance des paramètres initiaux de la communication.

### 3.4 État des implémentations

Plusieurs implémentations de la mobilité IPv6 sont disponibles en fonction des systèmes d'exploitation :

- les systèmes \*BSD disposent du projet WIDE/KAME<sup>3</sup> ;
- les systèmes Linux disposent de l'implémentation de l'université d'Helsinki, appelée MIPL<sup>4</sup> ;
- il existe également une implémentation des fonctionnalités « correspondant » et « mobile » sous les environnements Microsoft, mais cette dernière n'est à ce jour pas livrée en standard ou même téléchargeable sur le site de l'éditeur.

Il existe enfin du côté des constructeurs de routeurs des implémentations des fonctionnalités de Home Agent. La société Cisco System dispose notamment d'une implémentation répondant aux spécifications du RFC 3775 pour le support du Home Agent.

## 4 Les démonstrations de la mobilité

L'aspect visible du projet est bien sûr le volet « démonstrations de la mobilité IPv6 ». Même si ce volet ne représente qu'une infime portion de la quantité de travail nécessaire pour déployer une infrastructure IPv6 de bout en bout sur un campus, les démonstrations détaillées ici représentent l'aboutissement de tous les efforts des participants.

Un point important de ces démonstrations est l'interopérabilité, ces démonstrations impliquant des sites distincts parmi les onze participants, chacun ayant fait ses propres choix en terme d'architectures matérielles. L'attention du lecteur est attirée sur l'ampleur de ces démonstrations, qui mettent en situation des sites répartis sur tout Renater.

Cette section décrit succinctement les quatre démonstrations mises au point par les participants et exposées aux JRES. Le lecteur intéressé pour plus de détails est invité à se rendre sur le site [ip6.u-strasbg.fr](http://ip6.u-strasbg.fr) pour une description plus détaillée. Afin d'alléger la rédaction, les abréviations HA, pour « Home Agent », et MN, pour nœud mobile, seront utilisées.

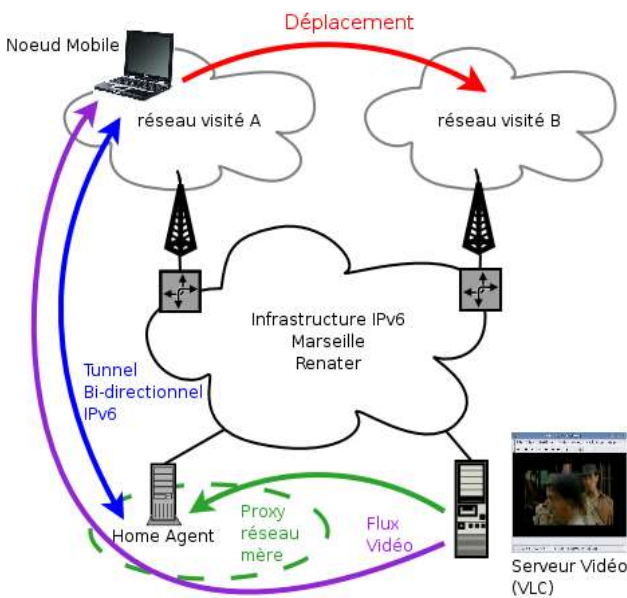
<sup>3</sup><http://www.kame.net>

<sup>4</sup><http://www.mobile-ipv6.org>

Certaines de ces démonstrations sont basées sur des logiciels en cours de développement (Jukebox au LORIA, SIP Communicator au LSIIT), ou plus classiques comme GnomeMeeting (sans adaptation spécifique pour le support de la mobilité).

### 4.1 Flux vidéo entre deux nœuds

La première démonstration, illustrée sur la figure 3, met en évidence la mobilité par la réception d'un flux vidéo, entre un serveur fixe et un client mobile. L'utilisateur mobile se déplace donc entre deux sous-réseaux différents tout en visionnant un film. Le MN est un ordinateur portable sous GNU/Linux équipé d'un noyau avec la rustine MIPL2, l'implémentation de la mobilité IPv6 sous Linux. Le HA est également sous GNU/Linux avec la même pile MIPL2.



Le MN s'enregistre sur le HA de manière sécurisée grâce à IPSec en utilisant une clé partagée. Toutes les mises à jour de localisation entre le MN et le HA sont sécurisées par ce mécanisme. Dans l'implémentation de MIPL2 actuelle, le trafic n'est pas encore chiffré.

Le MN se connecte avec le logiciel Mplayer à un serveur de flux vidéo utilisant le logiciel VidéoLAN. Le MN utilise son adresse IPv6 principale, c'est-à-dire son adresse dans le réseau administratif (et non son adresse réelle dans le réseau visité) ; le serveur de flux vidéo quant à lui, utilise une adresse IPv6 fixe. Le serveur envoie la vidéo au MN à son adresse principale, adresse « captée » par le HA qui retransmet alors le flux au MN. Les transferts sont en HTTP.

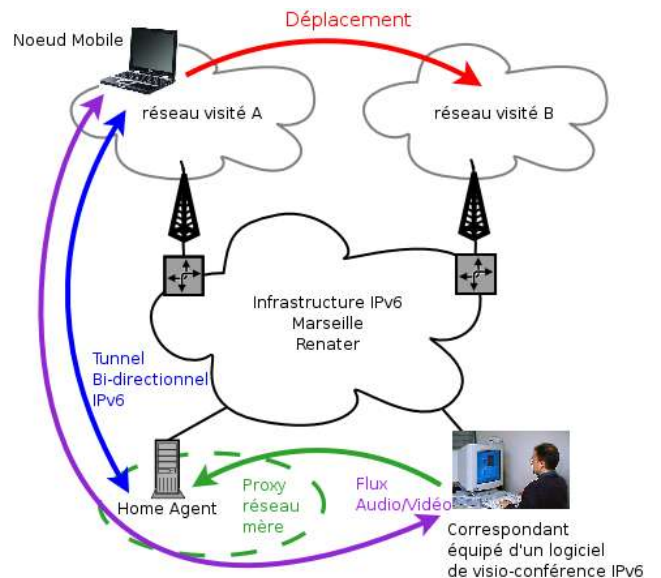
Les changements de réseaux sont totalement transparents grâce à l'utilisation d'un tampon par le lecteur vidéo.

### 4.2 Visioconférence entre deux nœuds

Un exemple concret de la mobilité est l'utilisation d'applications en temps réel telles que la téléphonie ou la visioconférence. De la même manière qu'en téléphonie GSM, un nœud mobile peut changer de relais, ici un réseau IPv6, tout en gardant ouverte la communication en cours.

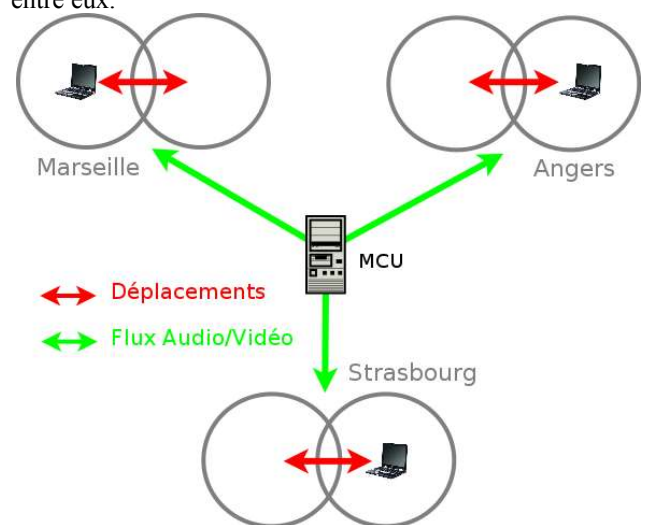
Cette démonstration, illustrée sur la figure 4, implique deux correspondants, un fixe et un mobile, montrant ainsi l'interopérabilité avec des nœuds qui ne disposent pas de la mobilité IPv6.

De la même manière que précédemment, le MN s'enregistre sur le HA. Un correspondant ouvre une session de visioconférence IPv6 vers le MN en utilisant l'adresse principale du MN. Les logiciels clients utilisés sont SIP Communicator ou GnomeMeeting. Lors des changements de réseau du MN, on observe de légers décrochages (de l'ordre de la seconde) de la communication dus à la mise à jour du MN auprès du HA. La communication est toutefois conservée et les flux ne sont pas rompus. Ces décrochages seront quasiment inexistantes avec les futures versions de Fast MIP6.



### 4.3 Visioconférence entre nœuds mobiles

Cette démonstration met en avant des communications où chacun des interlocuteurs est mobile. En utilisant l'exemple précédent de la visioconférence, le correspondant fixe se transforme en nœud mobile. Les différents nœuds mobiles évoluent entre plusieurs réseaux tout en gardant le contact entre eux.



Une difficulté de cette démonstration est la communication entre 3 sites, avec un logiciel (GnomeMeeting) ne supportant qu'une communication unicast à la fois. Ceci implique l'utilisation d'un multiplexeur comme OpenMCU. Cette utilisation ne sera plus nécessaire lorsque le support de multiples connexions simultanées dans SIP Communicator sera développé par l'équipe du LSIT.

#### 4.4 Application multicast sur la mobilité

L'application JukeBox, développée par le LORIA, permet de tester les réseaux ad-hoc et peer-to-peer. Il s'agit d'une bibliothèque multimédia distribuée entre plusieurs utilisateurs. Les fichiers sont diffusés en multicast IPv6 vers tous les utilisateurs d'un groupe. Cette démonstration montre la possibilité de faire passer du multicast IPv6 sur la mobilité IPv6.

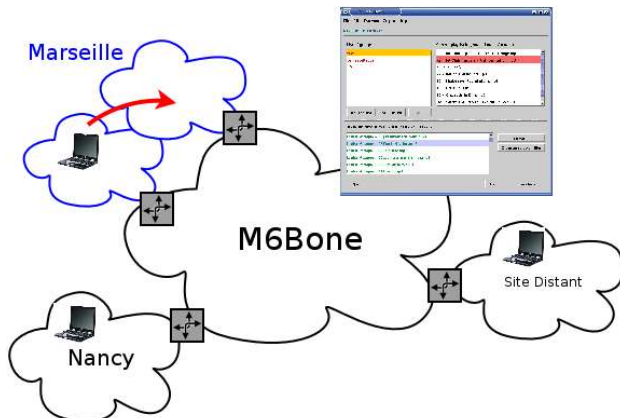


Figure 6 - Application JukeBox multicast

Un nœud mobile équipé du logiciel JukeBox se déplace et peut écouter et diffuser des morceaux, tout en basculant d'un réseau à un autre.

## 5 Bilan

Bien que le projet ne soit pas terminé au moment de la rédaction de cette contribution, nous pouvons déjà dresser un bilan intermédiaire.

### 5.1 Difficulté de la v6-ification d'un campus

Hormis les difficultés déjà évoquées, inhérentes à la complexité et à la taille des campus, couplées à la pression opérationnelle, la migration vers IPv6 n'a pas rencontré d'écueil majeur.

L'ajout du support IPv6 dans les équipements réseau ou les serveurs a souvent été réalisé par une mise à jour logicielle, complétée par une activation de la pile IPv6. L'utilisation majoritaire de logiciels libres dans notre communauté facilite la migration des serveurs vers IPv6.

Le problème récurrent reste toutefois le manque de ressources humaines pour aborder sereinement la migration IPv6. Au delà de la formation organisée dans le cadre de ce projet, les participants ont souvent mobilisé des personnes (stagiaires) spécialement pour l'occasion (mise en place de la métrologie, de la mobilité, etc.), mais l'ajout du nouveau

protocole sur le réseau de production est abordée avec beaucoup de précautions.

L'opportunité pour des centres opérationnels de travailler de concert avec des laboratoires de recherche sur la mise en œuvre de la mobilité est jugé enrichissante, comme à Strasbourg ou à Nancy.

Si les dorsales sont migrées en IPv6, le problème majeur reste la généralisation du déploiement. Cette étape ne sera franchie que par une formation des correspondants réseau et des personnels des CRI.

Il faut bien reconnaître que la démarche de conversion à IPv6 relève aujourd'hui du prosélytisme, car la demande ne vient pas encore des utilisateurs. Toutefois, beaucoup de participants reconnaissent qu'il faudra être prêt lorsque les implémentations des postes clients supporteront IPv6 par défaut.

### 5.2 Difficulté de mise en place de MIP6

La principale difficulté constatée pour la mise en place de la mobilité IPv6 est le manque de conviction de son intérêt. Ceci vient généralement d'un manque de vision (ou de besoin) d'une solution de mobilité globale. Si l'on prend l'exemple d'un campus universitaire, il est encore trop tôt pour voir ce genre de besoins demandés par les utilisateurs eux-mêmes. Les terminaux mobiles IPv6 multi-technologies d'accès évoqués dans la section 3 ne sont encore pas très répandus.

À ceci s'ajoute les difficultés inhérentes à une technologie émergente : spécifications des protocoles non encore parfaitement stabilisées, et faiblesse des implémentations dont la stabilité n'est pas toujours au rendez-vous et ne supportant pas toutes les fonctionnalités. Le cas de Windows XP est révélateur, puisque seule une version bêta est disponible, et seulement pour le « service pack 1 » pour le moment.

Les problèmes de déploiement sont également pénalisants : nécessité d'une clef partagée entre le nœud mobile et le « Home Agent » et absence de chiffrement des flux tunnelisés entre ces deux acteurs sont les deux principaux problèmes.

Ces faiblesses, connues et sur lesquelles travaillent activement les implémenteurs, poussent les exploitants de réseaux à adopter des stratégies de contournement pour répondre au besoin de mobilité exprimé par les utilisateurs. Les deux stratégies les plus courantes sont la mise en place de VPN et la constitution de réseaux sans-fil transversaux, qui évitent tous deux de changer de réseau IP. Il faut toutefois être conscient qu'il ne s'agit que de pis-aller pour répondre au besoin naissant, mais croissant de mobilité, et que ces dispositifs ne sont pas extensibles si le nombre d'utilisateurs augmente fortement.

## 6 Conclusion

Dans notre communauté « Enseignement Supérieur et Recherche », les dorsales universitaires représentent les réseaux parmi les plus difficiles à convertir à IPv6, car leur complexité et la pression des utilisateurs amènent souvent des équipes d'effectif réduit à se focaliser sur des fonctionnalités bien maîtrisées. À ce titre, l'impulsion de la Direction de la Recherche du Ministère de l'Éducation

Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche est significative, et elle a permis, grâce aux efforts combinés de onze sites universitaires, d'avancer dans la migration vers IPv6.

L'impulsion a également permis aux onze sites d'appréhender l'état réel des implémentations de la mobilité IPv6 par des mises en place expérimentales. Les comptes rendus seront placés d'ici les JRES sur le site Web du projet : [ipv6.u-strasbg.fr](http://ipv6.u-strasbg.fr). Enfin, les démonstrations permettront, pendant la conférence, de voir cette technologie passionnante en action.