

Architecture de mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS

Baptiste Jacquemin, Thierry Gayraud, Pascal Berthou

► **To cite this version:**

Baptiste Jacquemin, Thierry Gayraud, Pascal Berthou. Architecture de mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS. Huitièmes Journées Doctorales en Informatique et Réseaux (JDIR'07), Jan 2007, Marne-la-Vallée, France. pp.143-151. hal-01116654

HAL Id: hal-01116654

<https://hal-upec-upem.archives-ouvertes.fr/hal-01116654>

Submitted on 16 Feb 2015

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.

Architecture de mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS

Baptiste Jacquemin¹, Thierry Gayraud^{1,2} et Pascal Berthou^{1,2}

jacquemin@laas.fr, gayraud@laas.fr, berthou@laas.fr

¹LAAS-CNRS - 7, avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse cedex 4, France

²Université Paul Sabatier - 118, Route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex 9, France

Résumé— Depuis quelques années, en Europe, la technologie DSL prédomine de part son faible coût en zone à forte densité de population. Cependant, pour les régions isolées, son déploiement se révèle peu rentable et seules les technologies sans fil semblent pouvoir résoudre le problème. Mais, peu d'entre elles sont en mesure, à l'heure actuelle, d'offrir un accès large bande avec un rayon de couverture assez grand mais sans toutefois nécessiter la mise en place d'infrastructures terrestres coûteuses. La technologie satellite semble alors la seule alternative compétitive à même de résoudre ce problème.

Cependant, afin d'offrir un support approprié à l'ensemble des applications multimédia actuelles et futures, il devient nécessaire pour les réseaux par satellite large bande d'offrir de nouveaux types de services aux utilisateurs, en particulier la mobilité. De nombreuses solutions de gestion de la mobilité ont ainsi été proposées pour permettre à un utilisateur de conserver ses communications en cours tout en se déplaçant d'un point d'accès à un autre (éventuellement d'une technologie à une autre). Toutefois, par rapport aux réseaux terrestres, la mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS soulève de nouvelles contraintes, tel que le long délai de transmission. Cet article examine alors différentes architectures de gestion de la mobilité dans le cadre de réseaux IPv6 qui pourraient s'appliquer dans ce contexte. Des évaluations et des expérimentations menées sur une plateforme d'émulation de réseau par satellite permettent de comparer les différentes propositions et ainsi de mettre en valeur les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

Mots Clés— DVB-RCS, IPv6, mobilité, Réseaux par satellite, SIP

I. INTRODUCTION

La démocratisation des terminaux satellites DVB-S et l'évolution des transmissions et techniques de codage ont permis aux satellites géostationnaires de prendre une place prépondérante dans les systèmes de télécommunications actuels. Après la mise en place de services de diffusion de contenu IP utilisant des solutions satellite avec voie de retour terrestre, une solution satellite bidirectionnelle est standardisée à travers la norme DVB-RCS. Complémentaire des réseaux terrestres, elle permet d'offrir ainsi les services IP multimédia large bande dans les zones non couvertes ou à couverture difficile.

Bénéficiant de la connectivité sans fil offerte par la

connexion satellite, de nombreuses applications mobiles basées sur ces systèmes émergent. Citons par exemple des applications ferroviaires qui s'appuient sur une infrastructure DVB-S/RCS pour assurer la connectivité des rames à l'Internet durant leur trajet, ou l'interconnexion de réseaux sans fil (Wifi ou Wimax) dans le cadre de déploiements ponctuels pour la couverture d'événements où une infrastructure terrestre n'est pas disponible.

Ces différents scénarios impliquent la mise en oeuvre d'une architecture de mobilité sur un système satellite. Cependant, si ces réseaux sont appropriés à la mobilité, ils souffrent de caractéristiques telles que des longs délais de propagation, d'une bande passante limitée ou d'erreurs de transmissions plus fréquentes, qui rendent cette adaptation plus délicate.

Cet article se propose de faire le point sur les différentes architectures de mobilité et leur adaptation aux réseaux par satellite dans le cadre de réseau IPv6, en se basant sur des implantations existantes de protocoles de mobilité et l'utilisation d'un émulateur réaliste de réseaux par satellite. Ainsi, la première section de l'article décrit l'architecture d'un système satellite DVB-S/RCS en définissant les principales entités ainsi que les caractéristiques de ce système. Ensuite, trois protocoles permettant la gestion de la mobilité sont présentés : Mobile IPv6 qui gère la mobilité au niveau réseau, HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6), une extension de Mobile IPv6 qui permet de gérer la micro-mobilité (mobilité à l'intérieur d'un domaine, on considérera dans cette étude qu'un seul domaine est associé à un terminal satellite) et enfin une adaptation de SIP qui permettrait la gestion de la mobilité au niveau application.

II. ARCHITECTURE D'UN SYSTEME SATELLITE DVB-S/RCS

Avant de présenter les évaluations, nous allons décrire l'architecture d'un système satellite basé sur DVB-S/RCS. La norme DVB-S (digital video broadcasting transmission via Satellite) [1], évolution de la version terrestre, est devenue le standard de diffusion de la télévision numérique par satellite et est utilisée pour la réception de données. C'est en 1999, que l'ETSI proposa un standard pour la voie de retour par satellite nommé DVB-RCS (DVB Return Channel via Satellite) [2], offrant ainsi une capacité d'émission aux terminaux satellites. Cette évolution a donné lieu à différents types de topologie de

réseau satellite:

- Les satellites classiques, dits « transparents » qui imposent que toute communication d'utilisateur à utilisateur, passe forcément par une passerelle au sol ce qui donne lieu à un « double bond » et une topologie communément appelée en « étoile ».

- Les satellites dits « régénératifs », qui en effectuant des traitements à bord, permettent des communications directes entre les utilisateurs en un seul bond. Ces topologies sont dites « maillées ».

- Les satellites à charge mixte qui permettent de combiner l'utilisation des deux charges précédentes (par exemple charge régénérative pour les applications temps réel et charge transparente pour l'accès Internet).

Sans décrire exhaustivement chaque élément de réseau, la Figure 1 présente un réseau d'accès satellite à topologie étoilée et son intégration au sein d'une infrastructure de type Internet.

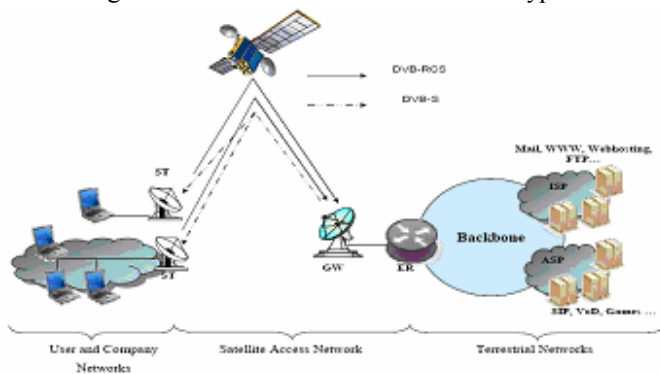


Fig. 1. Infrastructure d'accès satellite bidirectionnel

Dans le cas d'une topologie étoilée, la Gateway (GW) centralise l'ensemble du trafic dans le réseau satellite. Toutes les connexions issues des Terminaux Satellites (ST) sont à destination de la GW. Ainsi, la GW émet en DVB-S sur la voie aller (GW → ST) et reçoit en DVB-RCS sur la voie retour (ST → GW). De plus, la GW est dotée de deux modules : le NMC (Network Management Center) et le NCC (Network Control Center) qui sont responsables de l'administration et du contrôle de l'accès aux ressources satellites. L'émission régulière de certaines tables permet de plus la synchronisation des émissions des terminaux. La Gateway est aussi le point d'interconnexion du réseau satellite à une infrastructure terrestre. C'est donc dans la Gateway que sont localisés les mécanismes de contrôle d'accès au réseau.

Contrairement à la topologie étoilée, l'architecture maillée permet des communications directes entre utilisateurs connectés à des STs appartenant à un même réseau satellite. L'échange se fait ainsi de façon symétrique et permet un gain de temps considérable puisque le nombre de bonds satellites et donc la durée de propagation sont diminués de moitié.

Un système satellite bidirectionnel DVB-S/RCS est donc toujours constitué de ces trois segments :

- Le segment utilisateur qui comprend les terminaux satellites dotés d'une voie de retour (Return Channel Satellite Terminal : ST ou RCST) et assurant

l'interconnexion entre les équipements utilisateurs et le réseau satellite.

- Le segment spatial qui est composé d'un ou plusieurs satellites.
- Le segment opérateur qui comprend un ou plusieurs centres de contrôle (NCC) dans le cas d'une topologie maillée ou une ou plusieurs passerelles (GW) dans le cas d'une topologie étoilée.

Il est à noter que les réseaux DVB-S/RCS sont conçus dans l'optique de réseaux d'accès. De nombreux services (serveurs d'applications, services de convergence, ...) seront donc offerts dans les infrastructures terrestres, derrière la Gateway, pas forcément sous contrôle de l'opérateur satellite. Il est donc tout à fait essentiel que si des solutions de mobilités sont offertes aux utilisateurs, ces solutions devront être compatibles avec celles disponibles dans l'Internet. D'autre part, il est aussi important qu'elles tiennent compte des inconvénients liés au satellite :

- Le temps de latence (le délai de propagation aller-retour est de 500ms).
- La faible et coûteuse bande passante.

III. LES PROTOCOLES DE MOBILITÉ

L'Internet n'a pas été conçu avec un souci premier de mobilité. Ce n'est que plus tard, quand sont apparus des terminaux mobiles, que le protocole IP fut enrichi du support de la mobilité avec Mobile IP. L'objectif de ce protocole, distinct du protocole IP, est de masquer la mobilité d'un équipement à ses correspondants sur le reste de l'Internet et d'éviter les ruptures des communications pendant les déplacements. Ce dernier point est très important, car si le maintien des communications relève plus précisément de mécanismes propres à ce protocole, l'obtention d'une adresse IP et la gestion de la connectivité relève plutôt du protocole IP ou de protocoles associés tel que DHCP. Par le terme « mobilité » cet article adresse le premier cas, donc avec maintien des communications, plutôt que le second cas généralement appelé « nomadisme ».

Une version de ce protocole est en cours de normalisation pour l'utilisation des terminaux mobiles sur l'Internet future génération : IPv6. C'est notamment cette version du protocole qui devrait être utilisée avec les terminaux mobiles UMTS. Nous décrirons plus précisément cette version de mobile IP (MIPv6 [3]), car directement intégrée à IP, elle se révèle plus appropriée aux réseaux par satellite que sa version antérieure.

A. Mobile IPv6

1) Les acteurs

Le mécanisme de la mobilité IPv6 implique plusieurs acteurs: le terminal mobile ou nœud mobile (MN : Mobile Node), l'agent mère (HA : Home Agent) et le terminal correspondant ou nœud correspondant (CN : Correspondent Node). Le nœud mobile est le terminal IPv6 pouvant se déplacer d'un réseau à un autre, un nœud correspondant est un terminal IPv6 avec lequel le nœud mobile est en communication.

L'agent mère est un équipement réseau gérant la mobilité.

On distingue : le réseau mère qui est le réseau origine du MN, les réseaux visités qui sont les réseaux dans lesquels le mobile se déplace et le réseau correspondant qui est le réseau du CN.

2) *Déroulement d'une communication*

Avec MIPv6, le nœud mobile reste toujours adressable par son adresse mère (Home Address – HoA), ce qui le rend accessible depuis n'importe où grâce à cette HoA.

Dans le cas où le nœud mobile est dans son réseau mère, le routage s'effectue de manière standard en se basant sur les tables de routage, puisque, dans son réseau mère, il se comporte comme un terminal IPv6 « fixe ».

Si celui-ci se rend dans un réseau visité (1) (voir Figure 2), il va obtenir une adresse temporaire dans ce réseau: une Care-of Address (CoA), dont le préfixe sera celui du réseau visité. Cette adresse est obtenue grâce aux messages envoyés par le routeur (réception du message Router Advertisement) liés aux mécanismes d'autoconfiguration d'IPv6 (concaténation du préfixe envoyé par le routeur et de l'adresse MAC). Ensuite, le nœud mobile enregistre son adresse temporaire auprès de son agent mère (2) grâce à un message de Binding Update (BU) comprenant à la fois son adresse mère et son adresse temporaire. Le nœud mobile attend ensuite une confirmation de son agent mère (3) : un message de Binding Acknowledgment (BA). L'agent mère joue ensuite le rôle de proxy : si un nœud correspondant envoie un message à destination du mobile (de son adresse mère), l'agent mère intercepte les paquets (4) et les lui transmet dans un tunnel (5) (jusqu'à son adresse temporaire).

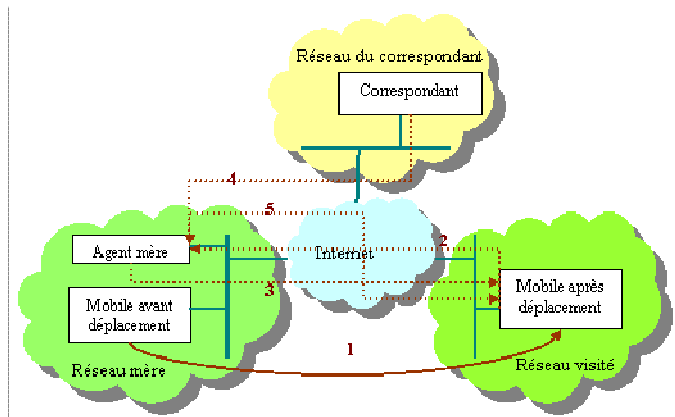


Fig. 2. Communication sans optimisation de route

3) *Optimisation de route*

Dans cette version de Mobile IP, le mobile a la possibilité d'avertir son correspondant de son adresse temporaire grâce à un échange de BU et BA. En effet, le routage systématique par l'agent mère du mobile reste particulièrement inefficace au niveau du routage et cela particulièrement dans un système satellite où cela entraîne des bonds satellites supplémentaires ce qui peut être très contraignant pour les applications temps réel. De plus, cela permet d'économiser des ressources dans l'Internet et au niveau du réseau mère qui pourrait avoir des

difficultés à monter en charge si les communications de tous les mobiles passent par lui.

Après que le correspondant ait envoyé son premier paquet à l'adresse mère, l'agent mère jouant le rôle de proxy, le mobile qui voit arriver ce paquet par le tunnel peut choisir de signaler au correspondant sa position actuelle, par l'échange de messages BU et BA, de la même façon que pour le HA. Cela permet au correspondant de communiquer directement avec le nœud mobile si ce dernier supporte l'optimisation de routage.

B. *Hiérarchisation de Mobile IPv6*

Le mécanisme de mobilité IPv6 se révèle inefficace lorsque le mobile change souvent de point d'encrage à l'Internet, en effet, à chaque changement de réseau, il y a au moins un échange BU/BA entre le mobile et l'agent mère. Lorsque la distance de déplacement est très faible en comparaison avec la distance mobile/agent mère, ce problème est assez important (par exemple si la communication entre le mobile et l'agent mère passe par un satellite, le délai d'échange de ces messages est très long).

Pour éviter ce problème, HMIPv6 [4], qui permet de gérer les déplacements du mobile dans un même domaine, a été proposé.

La principale nouveauté ici est le MAP (Mobility Anchor Point), un routeur localisé sur un réseau visité par le mobile. Il est utilisé par le mobile comme un agent mère local. Lorsque le mobile arrive dans le réseau visité, il obtient, comme dans le cas précédent, une adresse temporaire donnée par un routeur situé sur le lien : dans ce cas, on l'appellera : on Link Care-of Address (LCoA). Le mobile aura une autre adresse temporaire appelée : Regional Care-of Address (RCoA) qui lui sera attribuée par le MAP. Le mobile communique à son agent mère son adresse temporaire régionale. Ainsi lorsque le mobile se déplace dans un même domaine, son adresse régionale ne change pas (Figure 3) puisqu'il est rattaché au même MAP. Le nœud correspondant envoie donc toujours les paquets à l'adresse régionale. Quand le mobile en se déplaçant va obtenir une autre LCoA, il l'enregistrera grâce à un BU local auprès du MAP (le MAP faisant l'association entre la RCoA et la LCoA du mobile). Le MAP intercepte donc les paquets qu'il reçoit à destination de la RCoA, et les transmet en les encapsulant jusqu'à la LCoA. Le MAP agit comme un agent mère local en transmettant les paquets au mobile. Du point de vue de l'agent mère ou du correspondant, le mobile n'a pas bougé.

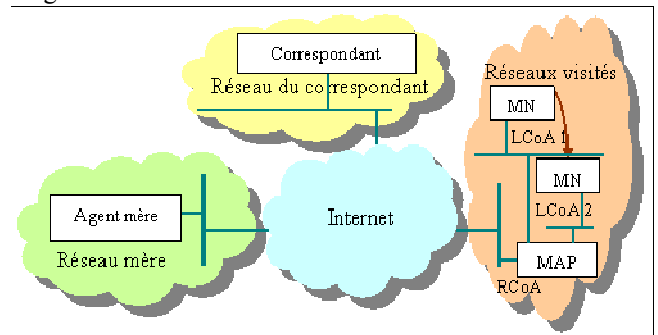


Fig. 3. Principe de HMIPv6

C. SIP

Depuis quelques années, le protocole SIP (Session Initiation Protocol) [5], un protocole de signalisation appartenant à la couche application du modèle OSI, a fait l'objet de nombreuses études. Il a ainsi pu devenir le standard ouvert de VoIP (Voice Over IP, voix sur IP) interopérable le plus étendu et vise actuellement à devenir le standard des télécommunications multimédia (son, image, etc...) [6]. De plus, SIP présente l'avantage de posséder un certain nombre de fonctionnalités, qui après quelques modifications, peuvent se révéler très intéressantes dans la gestion de la mobilité pour des applications temps réel. En effet, bien que Mobile IPv6 soit mieux adapté pour les connexions TCP de longue durée (ex: ftp) ou pour la plupart des applications standards d'Internet (web browsing: http, chat ...) puisqu'elles ne supportent pas de changement d'adresse en cours de communication, l'utilisation de SIP peut s'avérer très avantageuse dans le cas d'applications temps réel qui ont de fortes exigences temporelles que MIP ne peut prendre en compte au niveau réseau. L'intervention de ces applications dans les mécanismes de mobilité permettrait effectivement une optimisation de la gestion de la mobilité (Ex: Un utilisateur en cours de session audio/vidéo qui passe d'un WLAN au GPRS se verra supprimer la vidéo ou utilisera un codec moins gourmand).

Dans cette partie, nous allons tout d'abord présenter le fonctionnement de SIP, puis nous verrons comment il est possible de l'adapter à la mobilité de terminal.

1) Principe de fonctionnement et architecture de SIP

Le rôle du protocole SIP est d'ouvrir, modifier et libérer les sessions. L'ouverture de ces sessions permet de réaliser de l'audio ou vidéoconférence, de l'enseignement à distance, de la voix (téléphonie) et de la diffusion multimédia sur IP essentiellement.

Dissociant une adresse de niveau session, qui est un identifiant de ressource universel (URI) du type (sip:baptiste@laas.fr), de l'adresse de niveau réseau (adresse IP), le protocole SIP permet, outre la gestion de la session, la localisation d'un utilisateur mobile (ou plus précisément « nomade »).

Pour cela, l'architecture SIP se base sur les fonctions logiques suivantes :

- Des agents utilisateur (UA : user agents) qui sont les applications de l'utilisateur final (ex : terminal de visioconférence sur IP). Un UA est composé d'une partie cliente (UAC) et d'une partie serveur (UAS).
- Des serveurs de localisation (LS : Localization Servers) qui aident à localiser un agent utilisateur (UA) en réalisant une association d'adresse SIP publique (sip:baptiste@laas.fr) vers une ou plusieurs adresses SIP locales (sip:baptiste@mypda.laas.fr) associées à un terminal donné.
- Des serveurs d'enregistrement (RS : Register Servers) par l'intermédiaire desquels un utilisateur signale sa nouvelle localisation quand il change de terminal ou de réseau.

- Des serveurs proxy (PS : Proxy Servers) qui sont les serveurs auxquels doivent s'adresser les UA pour relayer leurs requêtes. Ils s'appuient sur les serveurs de localisations pour rediriger correctement les requêtes vers l'adresse SIP locale la plus adéquate.

Typiquement, un « serveur SIP » implémente un serveur proxy et un serveur de localisation, en s'appuyant sur des informations fournies par un serveur d'enregistrement intégré.

2) Déroulement d'une communication SIP

Pour mieux comprendre le fonctionnement de SIP, nous allons présenter un exemple d'établissement d'une session entre deux agents utilisateurs (voire Figure 4) :

1. L'agent utilisateur du demandeur envoie un message INVITE au serveur proxy. Ce message comporte également une structure SDP [7] décrivant le type de support voulu (ports RTP, information de codec audio, etc.).

2. Le serveur proxy analyse le message INVITE. Il découvre que la structure du message est correcte et accepte le traitement du message. Il émet alors un message « 100 Trying » (tentative d'accès) à l'UAC demandeur pour le lui indiquer.

3. Le serveur proxy doit obtenir l'information exacte pour localiser l'utilisateur. Dans cet exemple, le proxy interroge un serveur de localisation (en accédant à un serveur DNS ou à une base de données accessible à l'aide du protocole LDAP).

4. Le serveur de localisation retourne l'adresse réelle du demandé.

5. Le serveur proxy envoie ensuite son propre message INVITE à cet utilisateur. Notez qu'il est normal que le proxy modifie et adapte une partie du contenu du message INVITE.

6. Le demandé répond à l'aide d'un message « 100 Trying » (tentative d'accès) afin d'indiquer qu'il traite le message. À noter que le message « 100 Trying » n'est pas transmis au demandé.

7. Le téléphone sonne. Un message est acheminé au proxy pour le lui indiquer.

8. La sonnerie est acheminée à l'UA du demandeur.

9. L'utilisateur répond au téléphone et l'appel se déroule normalement. L'UA du demandé achemine ensuite cette information.

10. L'indication de la prise d'appel est acheminée au demandeur.

11. Le demandeur envoie un message ACK au demandé. À ce moment-là, la voie téléphonique (RTP) est normalement ouverte et la communication peut débuter.

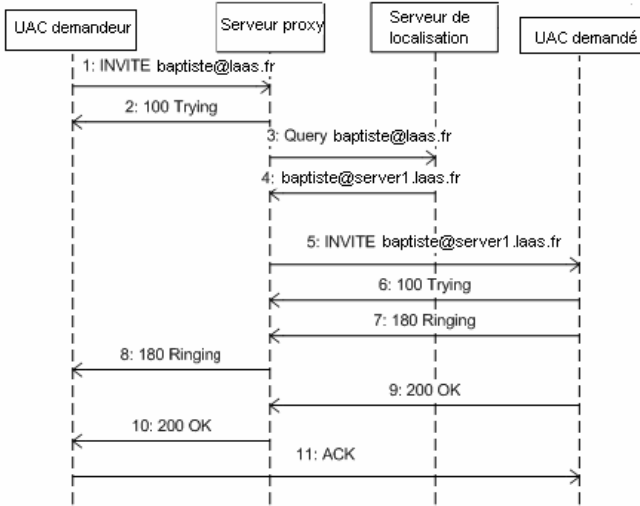


Fig. 4. Etablissement d'un appel

3) La mobilité SIP

[8], [9] montrent comment SIP pourrait être utilisé pour supporter la mobilité de terminal. SIP permet une gestion inhérente de la localisation d'un utilisateur mobile grâce aux entités mises en place ce qui fait qu'il est très adapté à la gestion du nomadisme. Mais le principal objectif de cette étude est de prouver que SIP permet aussi à un utilisateur mobile de conserver ses communications lors d'un handover (voir Figure 5). Quand un changement de réseau est détecté (1), le mobile qui s'est auto-configuré une nouvelle adresse (mypda.tlse.fr), envoie un message reINVITE (2) contenant sa nouvelle adresse à son (ou ses) correspondant(s) (sip:baptiste@mypda.tlse.fr). Une fois la confirmation du correspondant reçue (OK) (3), la communication peut reprendre normalement (4), directement avec la nouvelle adresse. Contrairement à MIPv6, l'application est consciente du changement d'adresse et peut y faire face, comme par exemple dans le cas d'une communication audio utilisant UDP.

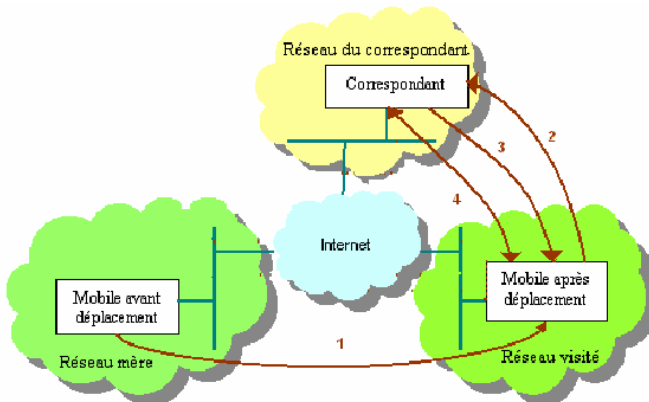


Fig. 5. Principe de la mobilité SIP

4) Support de la mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS

La Figure 6 présente un ensemble de « cas d'utilisation » liés à la mobilité dans un système satellite DVB-S/RCS. L'architecture présentée est basée sur une topologie maillée.

Ce n'est pas une représentation exhaustive du problème lié à la mobilité dans un système satellite, car la combinaison des localisations par entités (CN, MN, HA) avec les topologies de réseau et les déplacements possibles augmentent considérablement le nombre de cas. Toutefois, cette figure synthétise les catégories de mobilité et met en exergue les faiblesses des protocoles étudiés.

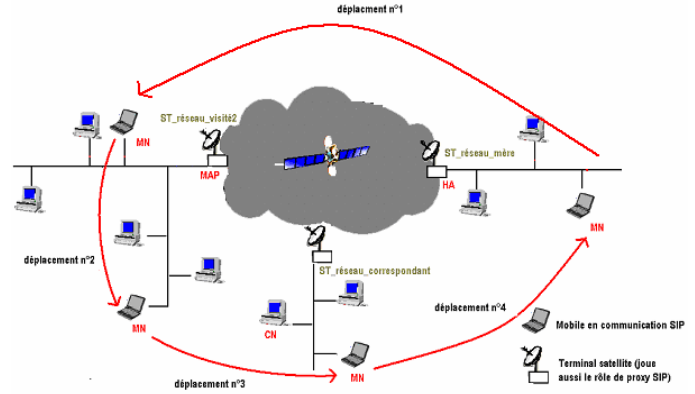


Fig. 6. Les différents types de déplacements considérés

Lors du premier déplacement le nœud mobile quitte son réseau mère (où se trouve son agent mère), pour accéder à un réseau situé derrière un autre ST. Le deuxième cas présente un exemple de « micro mobilité », le MN se déplace dans un des sous réseaux gérés par un même ST en considérant que ce même ST joue le rôle de MAP pour HMIPv6. Le troisième déplacement représente le mobile rejoignant le réseau d'appartenance de son correspondant. Enfin, dans le dernier cas, le mobile rejoint son réseau mère.

Il est aussi important de préciser qu'un proxy SIP est implémenté au niveau de chaque ST.

IV. PERFORMANCES DES PROTOCOLES DE MOBILITE

A. Plateforme d'émulation de réseau satellite DVB-S/RCS

Les différentes architectures de mobilité présentées dans les paragraphes précédents ont été mises en œuvre et testées sur une plateforme [10] qui émule précisément le comportement d'un réseau satellite de type DVB-RCS. Basée sur un réseau de 10 machines indépendantes, elle reproduit les mécanismes d'encapsulation, les techniques d'accès au canal satellite (allocation de bande passante à la demande), l'émulation des canaux montant et descendant et les caractéristiques de transmission spécifiques au satellite (délai, gigue, profil d'erreur).

La liste suivante donne une description rapide de chacune des entités de base permettant la simulation d'un système satellite en architecture maillée (figure. 7) :

- L'émulateur satellite (SE): Cet émulateur a été développé dans le cadre du projet européen BRAHMS [11] précédant Satsix et SatIP6. Il permet l'émulation de la liaison physique par des délais, des taux d'erreur binaire et l'émulation de spots (zones de couvertures), tout ceci de manière hautement configurable. Les délais et les modèles d'erreurs peuvent être

basés sur des modèles statistiques classiques ou sur des distributions pré-calculées, ces dernières étant obtenues à partir de mesures réelles. Le canal satellite est, quant à lui, implanté au dessus d'Ethernet fournissant un médium à diffusion avec une bande passante suffisante.

- Le NCC (Network Control Center, « NCC Gateway » sur la figure 7) est au centre de la gestion du réseau satellite. Il est en charge de l'allocation des ressources radios aux terminaux satellites et gère la synchronisation globale du système.

- Les Terminaux Satellites (ST) jouent le rôle de routeurs d'accès pour le réseau satellite et possèdent deux interfaces DVB-S et DVB-RCS et une interface réseau local (Ethernet). Sont implantés les mécanismes d'émission et de réception des paquets sur le réseau satellite ainsi que des mécanismes de gestion de la qualité de service.

- Les Terminaux Utilisateurs (UT) sont des systèmes classiques (Linux ou Windows) car toutes les fonctionnalités spécifiques au satellite sont déléguées aux terminaux satellites (ST).

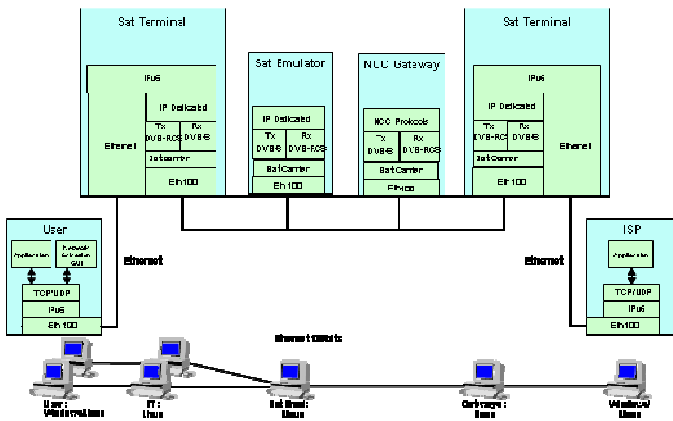


Fig. 7. Simulation d'un système satellite

Le réseau satellite est alors émulé à l'aide d'un réseau local Ethernet interconnectant la GW, les STs, le NCC, et le SE. De même, les terminaux utilisateurs sont reliés aux terminaux satellites (ST) par un réseau local et trois réseaux locaux utilisateurs sont mis en place pour permettre un large choix d'expérimentation.

On considérera dans la suite de ce rapport que la plateforme est en configuration maillée, que le satellite est régénératif. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire qu'il y ait une GW et seul le NCC est nécessaire.

Les paragraphes suivants présentent les évaluations et expérimentations réalisées sur cette plate forme. Pour les expérimentations sur Mobile IPv6, l'installation et la configuration s'est faite à l'aide des souches disponibles au moment des mesures, à savoir la version 2.0.1 de MIPL (Mobile IP for Linux). Pour mettre en place des communications SIP, une version de Décembre 2005 du SIP Communicator 1.0, un client SIP java, a été utilisée. De plus, la version 1.1 du JAIN SIP Proxy est implémentée au niveau des STs. En ce qui concerne HMIPv6, seules des évaluations ont été réalisées puisque, à l'heure actuelle, aucune implémentation n'est compatible avec la version 2.0.1 de

Mobile IPv6.

B. Outils de test

Pour évaluer quantitativement le fonctionnement de cette plateforme d'évaluation, il est important d'obtenir des mesures de niveau applicatif. Confrontés à ce besoin, trois outils d'évaluation ont été développés au LAAS dans le cadre de cette étude:

- Un outil de capture de flux (Floc)
- Un outil de rejeu de flux capturés (Flore)
- Un outil d'analyse et de présentation des résultats obtenus (Flan).

Le premier outil, Floc (Flow Capturer), est un logiciel permettant de capturer « à la volée » pendant une durée donnée l'ensemble des données véhiculées par toutes les connexions provenant d'une application.

Floc fait automatiquement le lien entre le nom de l'application et les connexions qui lui sont associés et crée un filtre tcpdump constitué de quadruplets (adresse IP source, adresse IP destination, port source, port destination) à partir duquel la capture du trafic s'effectuera.

L'étape suivante est la régénération de flux à partir des traces capturées ou agrégées. Pour se faire, l'outil Flore (Flow Regeneration) est composé d'un client qui transmet le trafic correspondant au fichier de trace en entrée et d'un serveur qui joue le rôle de récepteur. Les deux entités sont synchronisées par NTP sur la plate-forme de test. A la réception, le serveur crée au fur et à mesure de l'arrivée des paquets un fichier de trace par connexion, contenant des statistiques telles que le temps d'émission du paquet, le numéro de séquence, la taille, le délai.

Enfin, à partir des fichiers de trace récupérés, l'outil Flan (Flow Analyser) permet de mettre sous forme de courbe les résultats obtenus. Dans l'étude présente, nous nous sommes focalisés sur les délais, pour évaluer ainsi l'impact de la mobilité sur les flux applicatifs, sur UDP ou TCP.

C. Evaluation des différents protocoles étudiés

Pour l'évaluation du temps d'interruption, nous considérons que ce dernier peut être divisé en différents temps : $T(\text{interruption}) = T(\text{Niveau 2}) + T(\text{Niveau 3}) + T(\text{messages mobilité})$ où :

- $T(\text{Niveau 2})$ représente le temps nécessaire pour la synchronisation, l'authentification et l'association. Ce temps étant faible, il peut être négligé.

- $T(\text{Niveau 3})$ représente le temps nécessaire pour obtenir une nouvelle adresse, c'est-à-dire le temps de recevoir un Router Advertisement (RA) ainsi que le temps nécessaire pour les mécanismes du DAD (Duplicate Address Detection). Or, dans notre configuration, la période entre deux RA est de 50ms. De plus, selon [12], $T(\text{DAD}) = 1500 \text{ ms}$. On a donc $T(\text{Niveau 3}) = 1550 \text{ ms}$.

- $T(\text{messages mobilité})$ représente le temps nécessaire à l'envoi et à la réception des messages permettant le rétablissement de la session à la nouvelle position du MN. Ce temps est celui sur lequel nous allons insister puisque les deux

autres sont semblables que l'on utilise Mobile IPv6 ou SIP puisqu'ils ne dépendent pas de ces protocoles.

Pour le délai entre l'envoi d'un message SIP et sa réception, sans tenir compte du délai de propagation dû au satellite (≈ 250 ms), environ 50 ms [13] sont nécessaires ; donc au total, la transmission d'un message SIP d'un réseau relié à un terminal satellite vers un réseau relié à un autre terminal satellite prend 300 ms. On considérera aussi, étant donné la différence de taille entre les messages SIP et Mobile IPv6 [14], que pour un message MobileIPv6, ce temps sera de 275 ms, soit un peu moins que pour un message SIP.

On peut maintenant déterminer théoriquement les temps d'interruption correspondants aux déplacements de la figure 6 et ainsi comparer les performances théoriques des protocoles.

Le Tableau 1 récapitule les différents temps d'interruption en tenant compte du fait que pour Mobile IPv6, le temps calculé correspond au temps nécessaire pour que la communication reprenne directement entre le CN et le HA, c'est-à-dire après que l'optimisation de route ait été réalisée.

Tableau 1. Calcul du temps d'interruption pour différents cas de mobilité (RO=Route Optimisation, RRT=Return Routability Test)

	Gestion par SIP	Gestion par Mobile IPv6 avec RO et RRT	Gestion par HMIPv6
déplacement n°1	2.15 s	3.20 s	-
déplacement n°2	2.15 s	3.20 s	1.60 s
déplacement n°3	1.65 s	2.15 s	-
déplacement n°4	0.65 s	0.65 s	-

SIP permet donc théoriquement un gain de temps par rapport à Mobile IPv6 pour les déplacements considérés.

On peut aussi constater qu'une grande partie du temps d'interruption est consacrée aux mécanismes liés au DAD, sauf dans le cas du retour dans le réseau mère (déplacement n°4) où ces mécanismes ne sont pas réalisés. Il serait alors intéressant d'utiliser une alternative moins coûteuse en temps.

Enfin, dans le cas d'un déplacement considéré comme une micro-mobilité (déplacement entre 2 sous-réseaux IP situés derrière un même ST), le protocole HMIPv6 reste le plus efficace et serait quasi instantané sans les mécanismes du DAD.

D. Limitations de Mobile IPv6

1) Mesure du délai

Mobile IPv6 permet la transmission directe de données entre le correspondant et le mobile grâce à son mécanisme d'optimisation de route. La Figure 8 présente des mesures du délai de bout en bout obtenues pour le déplacement 3, où le mobile rejoint le réseau du correspondant puis pour le déplacement 4 où il retourne dans son réseau mère. Ces

mesures sont obtenues par l'utilitaire ping6 entre le MN et le CN.

Ce cas de figure est celui pour lequel la procédure liée à l'optimisation de route apporte le plus grand bénéfice en réduisant considérablement le délai entre le MN et le CN que l'on obtient dans le cas d'un « routage triangulaire ». On voit ainsi apparaître un certain nombre d'étapes successives présentées dans la liste suivante :

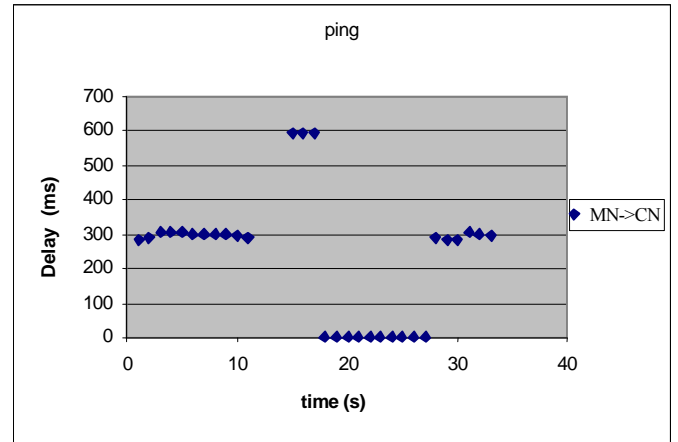


Fig. 8. Mesures du délai (déplacement n°3 puis n°4)

$T \leq 11$ s : le temps de transit entre le mobile et le correspondant est d'environ 300 ms, ce qui correspond à une communication directe en un seul bond.

$11 \text{ s} < T \leq 14 \text{ s}$: les paquets sont perdus, le MN est en train de changer de réseau.

$14 \text{ s} < T \leq 17 \text{ s}$: 3 paquets observent un délai de 600 ms, ce qui correspond à un double bond. La procédure de return routability n'a pas encore eu lieu, les paquets passent par le tunnel (du MN au HA, puis du HA au CN).

$17 \text{ s} < T \leq 27 \text{ s}$: le MN et le CN communiquent directement, le temps d'aller-retour est donc très faible (environ 1,25 ms). La période suivante, non référencée correspond au retour du mobile dans son réseau.

$27 \text{ s} < T \leq 33 \text{ s}$: le MN est retourné dans son réseau mère et le délai repasse à 300 ms comme dans la première phase.

L'analyse de ce graphe permet alors de tirer différentes conclusions :

- Tout d'abord, l'utilité de la phase d'optimisation de route est prouvée puisqu'elle permet une réduction importante du délai.
- Ensuite, on observe que le temps d'interruption est largement supérieur à sa valeur théorique dans le cas où le MN quitte son réseau pour aller dans celui de son correspondant.
- Par contre, en ce qui concerne le retour du MN dans le réseau mère, on remarque qu'il n'y a aucune perte de paquets ce qui signifie que le temps d'interruption est inférieur à une seconde (puisque dans le cas d'un ping, l'envoi de paquet ICMP se fait toutes les secondes) ce qui est en accord avec la valeur théorique (0.65 s).

Les échanges de ping basés sur le protocole ICMP n'ayant

pas tout à fait le comportement des échanges de données ou de flux classiques, la Figure 9 présente les résultats de l'expérimentation pour des flux multimédia UDP (visioconférence gnomemeeting) réalisés à l'aide des outils Floc, Flore et Flan présentés précédemment.

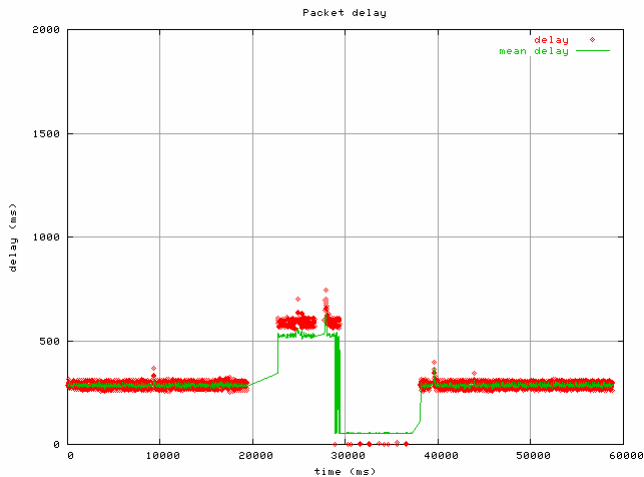


Fig. 9. Délai de bout en bout pour vidéoconférence sur UDP

Les délais entre le MN et le CN et les temps d'interruption correspondent bien aux valeurs observées pour un ping.

2) Analyse de l'Overhead dû à Mobile IPv6

Une autre limitation de Mobile IPv6 réside dans l'overhead que ce protocole ajoute aux paquets échangés par l'utilisateur mobile. Nous avons donc réalisé une simulation de changement de réseau dans différents cas de déplacements et analysé les paquets échangés à l'aide de l'outil de capture Ethereal. Lorsque le MN débute la communication avec le CN depuis son réseau mère, la taille des paquets UDP utilisés pour l'expérience est de 78 octets. On remarque alors que lorsque le MN a changé de réseau et se trouve dans un réseau visité, ces mêmes paquets ont alors une taille augmentée de 24 octets dû à l'ajout de l'adresse mère du MN à chaque paquet dans un champ supplémentaire intitulé « Destination Option Header » dans le sens du MN vers le CN et « Routing Header » dans le sens opposé.

De plus, lorsque le MN est en cours de changement de réseau et qu'il y a instauration d'un tunnel entre le HA et le MN, on remarque un overhead de 40 octets qui est dû à l'encapsulation IP/IP.

Mobile IPv6 introduit donc un overhead non négligeable puisque dans le cas de petits paquets UDP de 78 octets, l'augmentation de 24 octets représente une augmentation de 33% de la taille de chaque paquet, sans parler de la phase de tunneling qui représente une augmentation de 50%.

On comprend pourquoi notre étude a pour but de déterminer des solutions concurrentes telles que SIP et cela plus particulièrement dans le cas d'applications temps réel qui génèrent un grand nombre de petits paquets, car dans un contexte satellite où la bande passante est limitée, cet overhead peut devenir problématique.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Si nous résumons les expérimentations menées, on peut conclure que Mobile IPv6 bien qu'amélioré par le routage optimisé par rapport à sa version précédente, produit une latence importante au changement de réseau. De plus, il entraîne un overhead important dès que le mobile n'est pas dans son réseau mère ce qui peut s'avérer très pénalisant dans le cas de réseaux par satellite. Certaines solutions permettent alors de pallier en partie à ses problèmes. En effet, dans le cas de micro-mobilité gérée par HMIPv6, les messages de signalisation sont uniquement échangés localement et le long délai de propagation du satellite est alors évité, réduisant ainsi le temps d'interruption. D'autre part, SIP se pose aussi en alternative dans le cadre d'applications à forte exigence temporelle en permettant de renégocier les paramètres de la session après chaque handover tandis que Mobile IPv6 qui gère la mobilité au niveau réseau ne peut prendre en compte ces contraintes. Par exemple, un flux audio en G711 à 64 kbit/s, acceptable sur un réseau terrestre, peut être renégocié en GSM à 6 kbit/s lors de l'attachement à un réseau sans fil et donc de l'envoi du reInvite. SIP présente aussi l'avantage d'éviter la surcharge protocolaire induite par les entêtes spécifiques MIPv6 ou par le tunneling IPv6. Les paquets ont donc une taille minimale, ce qui est important pour les applications émettant de nombreux petits paquets, typiquement les applications générant des flux audio. Enfin, SIP peut aussi bien être utilisé pour des réseaux IPv4 ou IPv6 ce qui peut s'avérer très intéressant quant à l'hétérogénéité des réseaux futurs.

Ces travaux laissent entrevoir un certain nombre de perspectives. En effet, si SIP est couramment utilisé par les applications multimédias, nous pouvons raisonnablement penser qu'elles seront à terme capables de gérer la mobilité au travers de ce protocole. Toutefois, ceci n'est pas vrai pour les applications classiques, généralement basées sur le protocole TCP, qui aujourd'hui ne supporte pas un changement d'adresse en cours de communication. La solution de mobile IP ou une de ses variantes (HMIPv6) reste alors dans ce cas nécessaire. Une combinaison de ces mécanismes semble donc être une bonne option pour une gestion efficace de la mobilité. Enfin, pour optimiser l'architecture de mobilité, il est aussi nécessaire de mettre en place des mécanismes de QoS qui permettront à un utilisateur mobile de conserver ses communications avec des garanties de qualité de service adaptées au support utilisé.

REFERENCES

- [1] ETSI: EN 300 421 V1.1.2 (1997-08) Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for the 11/12 GHz satellite services. G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, Apr. 1955.
- [2] ETSI: ETSI EN 301 790 V1.4.1 (2005-04) Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems.

- [3] D. Johnson, C. Perkins & al., "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- [4] H. Soliman, C. Castelluccia, K. El Malki and L. Bellier. "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management (HMIPv6)", RFC 4140, August 2005.
- [5] J. Rosenberg, H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley and E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol", RFC 3261, June 2002.
- [6] G. Camarillo and M. a. Garcia-Martin. "The 3G IP Multimedia Subsystem, Merging the Internet and the cellular worlds", 2004.
- [7] M. Handley, V. Jacobson, "SDP: Session Description Protocol", RFC 2327, April 1998.
- [8] H. Schulzrinne and E. Wedland. "Application-layer mobility using SIP", ACM SIGMOBILE, Vol. 4, Number 3, July 2000, pp.47-57.
- [9] N. Nakajima, A. Dutta, S. Das and H. Schulzrinne. "Handoff Delay Analysis and measurement for SIP based mobility in IPv6", Personal Communication Systems and Wireless LANs (ICC 2003), May 2003.
- [10] O. Alphand, P. Berthou, T. Gayraud, S. Josset, E. Fromentin. "SATIP6: satellite testbed for next generation protocols" , 2nd International Working Conference on Performance Modelling and Evaluation of Heterogeneous Networks (HET-NETs'04), Ilkley (GB), 26-28 Juillet 2004, pp.P45/1-P45/11.
- [11] L. Duquerroy, C. Baudoin, T. Gayraud et A. Deleplace, "IPv6 et satellite - Lot 2 : Analyse des fonctionnalités IPv6 à valeur ajoutée pour les systèmes satellites", Mai 2005.
- [12] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbour Discovery for IP version 6 (IPv6)", RFC 2461, Decembre 1998.
- [13] E. Ifov and T. Noel, "Optimizing SIP Application Layer Mobility over IPv6 Using Layer 2 Triggers", IEEE Vehicular Technology Conference (VTC'04), Septembre 2004
- [14] Qi Wang and Mosa Ali Abu-Rgheff, "Signalling analysis of cost-efficient mobility support by integrating mobile IP and SIP in all IP wireless networks", International Journal of Communication Systems, 2006.