



Architecture Multi Domiciliée dans les Réseaux Mobiles : Diminution de l'Impact de la Mobilité sur les Protocoles de Transport

Lionel Bertaux, Pascal Berthou, Thierry Gayraud

► To cite this version:

Lionel Bertaux, Pascal Berthou, Thierry Gayraud. Architecture Multi Domiciliée dans les Réseaux Mobiles : Diminution de l'Impact de la Mobilité sur les Protocoles de Transport. *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, 2013, vol. RNTI-SM-2, pp.39-58. hal-01097189

HAL Id: hal-01097189

<https://hal.science/hal-01097189>

Submitted on 19 Dec 2014

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 Multi Domiciliée dans les Réseaux Mobiles : Diminution de l'Impact de la Mobilité sur les Protocoles de Transport

Lionel Bertaux*, Pascal Berthou**
Thierry Gayraud*,** Prénom-Auteur Nom-Auteur***

* Adresse postale complète
adresse@email,
<http://www.une-page.html>
** Autre adresse
autre-adresse@email
<http://www.une-autre-page.html>
*** Encore une autre adresse
encore-une-autre-adresse@email

Résumé. Les routeurs mobiles fournissent à leurs nœuds une connexion fiable avec une mobilité transparente. Les protocoles de Transport sont affectés par cette transparence car l'état du réseau d'accès change sans avertissement rendant l'évaluation du réseau difficile. Notre architecture propose d'informer les protocoles de Transport lorsqu'un changement de réseau est effectué afin de diminuer l'impact sur les communications. Cette solution est basée sur la définition de plusieurs interfaces réseaux au niveau des nœuds du réseau mobile et l'utilisation du protocole de Transport multi domicilié SCTP.

1 Introduction et Problématique

Les appareils mobiles se démocratisent depuis plusieurs années et font aujourd'hui partie de notre quotidien : téléphones intelligents, tablettes, ordinateurs portables... Les utilisations et fonctionnalités de ces appareils augmentent sans cesse mais restent limitées par leur autonomie et leur faible encombrement. Notamment les tablettes et téléphones qui sont conçus pour consulter du contenu en ligne et non stocker les informations. Il est donc nécessaire d'être connecté à Internet ou un autre réseau de grande envergure pour utiliser pleinement un appareil mobile. Dans un contexte nomade, des réseaux Wi-Fi sont disponibles dans la plupart des maisons et dans quasiment tous les bureaux. Dans un contexte mobile, une connexion au réseau 3G/UMTS est indispensable et peut engendrer une consommation excessive de la batterie et/ou des frais supplémentaires. Les transports en commun sont amenés à évoluer pour offrir de nouveaux services sur les appareils mobiles des usagers : de la consultation des horaires et des trajets à un accès complet à Internet (mails, blogs, streaming).

La grande autonomie des transports en commun ainsi que l'espace disponible à bord rend possible le déploiement de plusieurs interfaces réseaux de technologies différentes : Wi-Fi,

3G/UMTS, satellite... Ces véhicules peuvent alors agir comme des routeurs mobiles (MR) et fournir un accès aux nœuds mobiles qui sont connectés. Pour cela, ils doivent implémenter un gestionnaire de mobilité capable de garantir une connexion stable entre les différents points d'accès (AP) extérieurs et les nœuds finaux (appareils des utilisateurs). Les nœuds finaux ne sont pas informés de la mobilité et n'ont rien à gérer. Néanmoins réaliser un changement de réseau d'accès revient à changer le chemin utilisé par les communications c.-à-d. modifier l'état du réseau : congestion, délai, bande passante... Les paramètres utilisés par les protocoles de Transport pour évaluer et mémoriser l'état du réseau ne sont donc plus valides après le changement de réseau. Pour cette raison, la plupart des protocoles de Transport supportent mal le changement de réseau.

Pour éviter une telle situation, nous proposons de notifier le protocole de Transport dans les nœuds finaux quand un changement de réseau est effectué afin que celui-ci puisse évaluer les caractéristiques du nouveau réseau plus précisément et ainsi améliorer son rendement. Les protocoles de Transport multi domiciliés sont conçus pour gérer plusieurs interfaces réseaux et chemins simultanément. Le protocole de Transport SCTP (Stream Control Transport Protocol) utilise la multi domiciliation pour basculer sans pertes entre différents réseaux et s'adapter rapidement aux conditions du nouveau réseau. En définissant plusieurs interfaces réseaux au niveau des nœuds utilisateurs, nous étendons la connaissance des chemins du routeur vers les nœuds mobiles. Le protocole SCTP est alors capable de communiquer sur l'interface voulu suivant la situation.

La section suivante est un état de l'art sur la mobilité des IP réseaux et l'impact sur les protocoles de Transport. Deux protocoles de Transport multi domicilié y sont aussi présentés. La section 3 décrit la conception de l'architecture avec les composants nécessaires à sa mise en place et les échanges entre le routeur mobile et les noeuds du réseau. L'impact du changement de réseau et la contribution de l'architecture sont analysés dans la section 4. Le papier finit par une conclusion et les futurs travaux.

2 Etat de l'Art

L'architecture proposée repose sur plusieurs règles et mécanismes définis dans des RFC (Request For Comments) de l'IETF (Internet Engineering Task Force). La suite de cet article se base sur ces définitions pour la description des mécanismes existants et la définition des nouvelles actions. La gestion de la mobilité, la configuration du réseau et l'impact de la mobilité sur les protocoles de Transport sont introduits dans les sous sections suivantes.

2.1 Gestion de la mobilité dans les réseaux mobiles

Mobile IPv6 (mIPv6) Perkins et al. (2011) introduit les mécanismes de mobilité pour un hôte simple utilisant IPv6. Des règles et des échanges y sont définis pour le nœud mobile (« Mobile Node » MN), le nœud correspondant (« Corresponding Node » CN) et l'agent mère (« Home Agent » HA). Plusieurs améliorations ont été proposés pour réduire l'impact du changement de réseau et notamment diminuer la latence introduite par le changement de réseau : Hierarchical mIPv6, Fast Handover mIPv6, PmIPv6...

Les appareils mobiles possédant souvent plusieurs interfaces réseaux, l'extension « Multiple Care-of-Addresses Registration » définit dans Wakikawa et al. (2009) définit les règles et

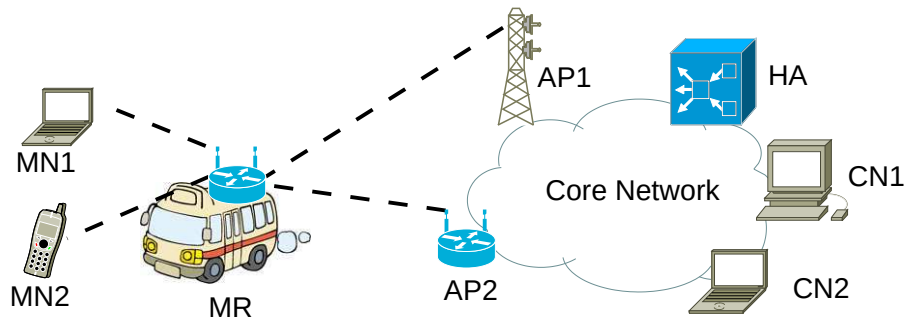


FIG. 1 – Composants présents dans un réseau mobile géré par NEMO.

mécanismes nécessaires pour que toute interface disponible puisse être utilisée pour communiquer avec mIPv6 et ses extensions. Cette extension ajoute donc la multi domiciliation à mIPv6. Tsirtsis et al. (2011) définit l'extension « Flow Binding » qui va plus loin en proposant d'associer un flux à une interface réseau précise. Cette fonctionnalité peut s'avérer utile pour limiter la concurrence entre flux ou par exemple assigner un flux critique à une connexion stable.

Les standards présentés ci-dessus permettent à un nœud mobile simple est capable de gérer la mobilité sans pertes de données ou en minimisant les pertes. Dans le cas où les nœuds mobiles sont connectés à un routeur lui-même mobile, il est possible de simplifier la gestion de la mobilité dans les nœuds finaux en ajoutant au routeur des fonctionnalités rendant le réseau mobile. Le standard Network Mobility (NEMO) définit dans Devarapalli et al. (2005) ajoute les différents mécanismes permettant au routeur de gérer la mobilité du réseau entier. La figure 1 montre un réseau où les nœuds mobiles sont connectés à un routeur mobile (MR) et n'ont aucune connaissance des points d'accès. Toute donnée échangée entre les nœuds mobiles et les nœuds correspondants passe par le routeur. En s'enregistrant auprès d'un agent home, le routeur peut gérer sa mobilité et reste joignable à tout instant. Le support de la multi domiciliation dans NEMO est discuté dans Ng et al. (2007) avec une étude de cas adaptée à notre situation : un routeur mobile, un agent home et plusieurs préfixes pour le réseau mobile.

L'utilisation d'un routeur mobile permet de proposer aux nœuds une connexion de meilleure qualité soit en utilisant des technologies différentes de celles présentes dans les appareils mobiles ou utilisant des antennes mieux adaptées. Les nœuds connectés au réseau mobile n'ayant aucune connaissance des changements de réseau ou des chemins utilisés, la mobilité leur est totalement transparente. Cette transparence peut avoir un impact au niveau des performances comme nous le verrons en 2.2.

2.2 Les Protocoles de Transport et la Mobilité

Lors d'un changement de réseau, plusieurs paramètres de la communication sont modifiés : l'identifiant réseau (adresse IP) change, une latence correspondant de configuration de l'interface réseau peut être introduite et les caractéristiques du réseau sont modifiées. Si les solutions décrites précédemment permettent de gérer la mobilité de manière transparente c.-à-d. ne pas

changer l'adresse IP du nœud et réduire la latence, certains événements liés au changement de réseau ne peuvent être « cachés » aux nœuds finaux :

- Réception non-ordonnée de paquets de données ;
- Modification du délai et/ou de la bande passante.

Ces événements ont un impact particulier sur les protocoles de Transport et sont difficilement évitables. Une solution serait l'utilisation d'un proxy au niveau du routeur qui rompt la connexion de bout-en-bout mais qui rend aussi plus difficile la mobilité et empêche la mise en place de sessions sécurisées entre hôtes finaux.

Afin d'améliorer les communications (adapter le débit de transmission, détecter la congestion et/ou les pertes), les protocoles de Transport évaluent l'état du réseau et gardent un historique dans plusieurs paramètres : SRTT, RTO, fenêtre de congestion. Quand un événement se produit, les protocoles se basent sur leurs évaluations pour prendre les décisions adaptées. Comme le changement de réseau modifie l'état du chemin, les paramètres ne sont plus valides et peuvent induire en erreur le protocole de Transport : les livraisons non-ordonnées de paquets sont interprétées comme des pertes, l'augmentation du délai est perçue comme de la congestion. Les actions effectuées par le protocole de Transport après le changement de réseau peuvent donc être inappropriées :

- Retransmissions inutiles (perte de temps et surdébit) ;
- Mauvaise adaptation du débit de transmission (sous-utilisation de la bande-passante).

Le protocole de Transport le plus utilisé de nos jours est Transmission Control Protocol (TCP), il a été développé pour les réseaux filaires et supporte difficilement les changements de réseau ainsi que les spécificités des réseaux sans fils. Une synthèse de l'impact du changement de réseau sur TCP est donnée dans Hansmann et Frank (2003). L'étude se focalise sur la réorganisation des paquets et l'augmentation ou la réduction du produit délai bande-passante (BDP). Il est démontré que ces phénomènes introduisent des rafales de paquets, un remplissage des mémoires au niveau du goulet d'étranglement ou une sous utilisation de la bande passante disponible. Plusieurs solutions sont discutées, la plupart consistant à modifier le protocole TCP. Néanmoins, l'utilisation de versions TCP spécifiques supportant le changement de réseau affecte les communications sur un lien stable et n'est donc pas la solution optimale.

Le nombre de réseaux d'accès augmentant et les cartes réseaux se miniaturisant, il est fréquent qu'un appareil possède plusieurs interfaces réseaux. Pour les protocoles de Transport fonctionnant en mode connecté, il est difficile de tirer partie de cette multi domiciliation. En effet, l'utilisation d'un identifiant basé sur l'adresse IP ne permet pas de basculer d'une interface à une autre facilement. À cette fin, des protocoles de Transport multi domiciliés ont été développés : Multipath Transmission Control Protocol (MPTCP) Ford et al. (2011) et Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Stewart (2007).

Au sein de l'Internet Engineering Task Force, le groupe de travail MPTCP vise à ajouter la capacité de multi domiciliation à TCP. Le principe utilisé pour la conception de MPTCP est similaire à celui présenté dans Ford et Iyengar (2008) pour les protocoles de Transport de nouvelle génération : une « division » de la couche Transport avec une couche supérieure servant d'interface à l'application et chargée de gérer les multiples connexions établies dans la couche inférieure. Les connexions de la couche inférieure sont alors de simples connexions TCP mono domiciliée. Afin d'obtenir des performances optimales, un contrôle de congestion permettant la gestion des différents sous-flux a aussi été proposé dans Raiciu et al. (2011). MPTCP dans sa version basique ne propose pas de gestion de la mobilité même si le groupe de

travail précise que le protocole doit être conçu pour la supporter. Des travaux proposent l'ajout de la mobilité : dans Sun et al. (2011) , les auteurs se basent sur l'utilisation d'une adresse permanente utilisée par l'application et d'adresses IP temporaires utilisées au niveau IP pour le routage. MPTCP est donc un protocole de Transport prometteur porté par l'omniprésence de TCP dans Internet. Néanmoins, il s'agit d'un protocole encore récent et dont la standardisation est toujours en cours.

SCTP est un protocole de Transport offrant des services similaires à TCP : fiabilité, livraison ordonnée, contrôle du flux et évitement de la congestion. En plus de cela, SCTP supporte la multi domiciliation : plusieurs interfaces réseaux peuvent être utilisées dans une même association et sont référencées comme des chemins. Un des chemins est considéré comme primaire et utilisé pour transférer les données dans des « chunks »(morceaux contenues dans un paquet SCTP). Dans la version originale de SCTP, les adresses IP disponibles étaient définies lors de l'initiation de l'association et le changement de chemin primaire se faisait uniquement en cas de rupture d'un lien. En ajoutant la modification dynamique des adresses IP de l'association, l'extension décrite dans Stewart et al. (2007) permet le support de la mobilité : en ajouter une adresse IP puis utiliser celle-ci comme chemin primaire permet de basculer vers un nouveau réseau. L'échange des informations au cours de la communication introduisant une faille de sécurité, l'extension de Tuexen et al. (2007) ajoute un mécanisme d'authentification des messages de contrôles. Ces deux extensions ajoutée à SCTP sont communément appelées mobile SCTP (mSCTP).

SCTP permettant de réaliser un changement de réseau au cours de la communication, il pourrait être impacté similairement à TCP comme décrit dans Hansmann et Frank (2003). Afin d'éviter les problèmes relatifs au changement de réseau, SCTP utilise un jeu de paramètres pour chaque chemin : le SRTT « Smoothed Round Trip Time », le RTO « Retransmission Time Out » et la fenêtre de congestion sont calculées pour un seul chemin. Les performances du protocole sur un nouveau réseau ne sont donc pas influencées par les caractéristiques de l'ancien réseau. Lors du transfert sur un chemin pour la première fois, les valeurs initiales sont utilisées, assurant ainsi un comportement au moins aussi performant que si une nouvelle association était initiée. En cas de retour sur un chemin précédemment utilisé, les dernières valeurs calculées sur ce chemin sont utilisées.

2.3 Configuration des réseaux IP

Neighbor discovery for IPv6 Narten et al. (2007) décrit les échanges permettant la configuration d'un réseau et le partage d'informations (préfixe, route) dans un réseau. Les messages échangés entre le routeur et les nœuds y sont définis. Les messages « Router Advertisement » (RA) permettent au routeur de diffuser ses différents préfixes IP et sont diffusés périodiquement. Les messages « Router Solicitation » (RS) sont des requêtes envoyées par les nœuds au routeur afin de solliciter l'émission d'un RA. Notre architecture va se baser sur ces messages diffuser les préfixes correspondants aux sous-réseaux et sur les mécanismes introduits par le standard pour la définition des différentes adresses

Afin de limiter le flux d'information, un routeur recevant un RS attend un certain délai avant de répondre avec un RA. Afin d'augmenter la réactivité du système, Daley et al. (2003) propose de répondre directement (FastRA) et montre que l'impact est insignifiant.

3 Définition de l'Architecture

Les changements transparents de réseau impactent les performances des protocoles de Transport dans les nœuds finaux. Nous proposons une architecture qui réduit cet impact en informant les nœuds mobiles d'un changement de réseau d'accès au niveau du routeur. Une fois informés, les protocoles de Transport des nœuds utilisateurs peuvent s'adapter plus facilement aux conditions du nouveau réseau et répondre plus précisément aux événements provoqués par un changement de réseau. Les sous-sections suivantes décrivent plus précisément l'architecture : son fonctionnement, les composants du réseau qui sont nécessaires à sa mise en place et une proposition d'implémentation suivie de la définition des messages.

3.1 Fonctionnement

Notre architecture se base sur deux principes : (i) la définition d'un sous-réseau par interface possédée par le routeur et donnant vers l'extérieur, (ii) l'obligation pour les nœuds mobiles de configurer une adresse par sous-réseau. Si le nœud ne possède pas assez d'interfaces, des interfaces réseau virtuelles doivent être créées. En utilisant la fonctionnalité multi domiciliation de SCTP, les nœuds sont capables de choisir l'interface envoyant les données et peuvent ainsi suivre les indications du routeur sur le sous-réseau à utiliser. Lors d'un changement de réseau, le routeur demande aux nœuds de changer de sous-réseau et les associations SCTP sélectionnent le chemin primaire correspondant.

La figure 2 illustre un réseau mobile utilisant notre architecture : deux nœuds mobiles sont connectés à un routeur et le routeur est connecté à deux points d'accès (AP). À chaque point d'accès correspond un sous-réseau à l'intérieur du réseau mobile. Les nœuds sont connectés aux deux sous-réseaux et un protocole de Transport multi domicilié est alors conscient de la présence de deux chemins. ***** modifier la figure et ajouter un nom pour chaque lien !!!

Une telle configuration où plusieurs chemins partagent le lien entre le MR et les MN pourrait être considérée comme allant à l'encontre des RFCs. En effet, la plupart des protocoles gérant la multi domiciliation interdisent de partager le goulet de démarrage en plusieurs che-

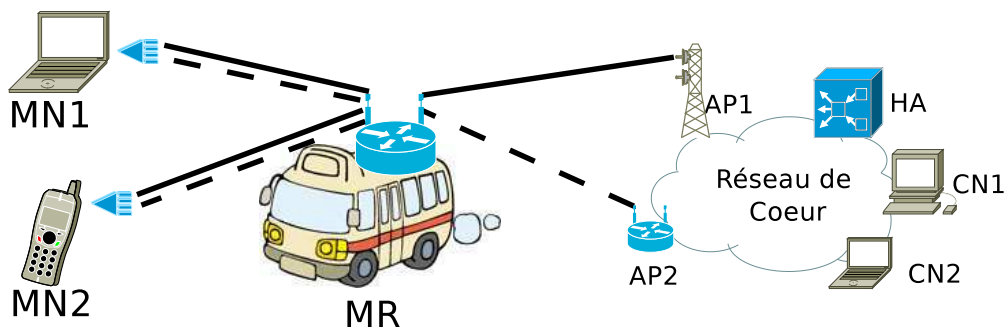


FIG. 2 – Exemple de notre architecture dans un réseau mobile : un sous-réseau par point d'accès.

mins (pour des raisons évidentes de congestion). Néanmoins cette règle ne s'applique pas ici car le goulet d'étranglement est situé entre le MR et le point d'accès extérieur, et non dans le réseau local.

3.2 Composants du réseau

L'implémentation d'une telle architecture nécessite la présence de plusieurs composants et services. Le routeur mobile doit implémenter ou supporter :

- NEMO ou un service équivalent permettant la mobilité du réseau ;
- La gestion de la mobilité avec plusieurs interfaces ;
- La définition de plusieurs préfixes IP permettant de définir les sous-réseaux ;
- "Flow Binding" pour améliorer les performances.

Le dernier service est optionnel mais peut améliorer l'efficacité en sélectionnant uniquement les flux devant changer de réseau d'accès. Le nœud mobile doit implémenter :

- Mobile SCTP avec ses extensions permettant la mobilité ;
- La capacité de définir plusieurs adresses IP pour une seule interface.

En plus de ces services, la mise en œuvre de FastRA permet de réduire le temps de réaction lors d'échanges de messages. Ces fonctionnalités étant déjà définies dans la littérature, la suite du papier suppose leur implémentation dans les nœuds du réseau.

3.3 Echanges entre Routeur Mobile et Nœuds

De nombreux événements liés à la mobilité induisent des prises de décisions de la part du routeur mobile et les communications peuvent être impactées. Le tableau 1 liste plusieurs de ces événements ainsi que les actions effectuées par le routeur en conséquence. La troisième colonne contient de nouvelles actions nécessaires à la mise en place de notre solution. Afin de simplifier la lecture, nous définissons ici des abbréviations présentes dans le tableau et qui seront utilisées par la suite :

- BU : Message « Binding Update » envoyé par le routeur mobile vers son agent mère pour la gestion de la mobilité ;
- Pref-IP : Préfixe IP communiqué par le routeur et utilisé par les nœuds pour configurer une adresse IP ;
- Pour la gestion de l'association SCTP :
 - SCTP-ChangePrim : Envoi d'un chunk ASCONF demandant le changement du chemin primaire de l'association SCTP ;
 - SCTP-AddIP : Envoi d'un chunk ASCONF ajoutant une adresse IP à l'association SCTP ;
 - SCTP-RemIP : Envoi d'un chunk ASCONF supprimant une adresse IP à l'association SCTP ;

Des mécanismes non-présents dans le tableau car mandataires peuvent être envisagés afin d'améliorer les performances du système :

- Le changement de réseau est imminent : génération d'un RA avec le futur préfixe à utiliser et préparation des associations ;
- Le chemin est stable : considérer l'utilisation de l'optimisation de route si possible.

Ces mécanismes sont intéressants mais leurs mises en place sont plus difficiles que les mécanismes présentés dans le tableau. Dans les deux cas il est nécessaire d'anticiper l'état des

connexions dans un futur proche et une mauvaise anticipation revient à une perte de performances inutile.

Pour la mise en place de notre architecture, nous avons choisi d'utiliser les messages RA et RS introduits en 2.3. Ce choix est justifié par le fait que ces messages sont déjà utilisés par le routeur lors de la connexion d'un nouveau nœud mobile pour la transmission des préfixes IP du réseau mobile. Ces messages comportant de nombreuses options, il est possible de mettre en place notre architecture en respectant le standard c.-à-d. sans rajouter de nouvelles options et en utilisant les champs existants correctement. Le champ d'option "Prefix Information" permet de transmettre les informations relatives aux sous-réseaux et contient :

- "Prefix Length", le nombre de bits valides dans le préfixe ;
- "Prefix", valeur de l'adresse IP ou du préfixe de l'adresse IP ;
- "Valid Lifetime", durée de validité du préfixe ;
- "Preferred Lifetime", durée pendant laquelle les adresses IP générées sont préférées.

Le dernier champ est intéressant pour notre architecture, il signifie que lors de la génération de plusieurs adresses IP, l'une d'entre elles est marquée comme adresse préférée et sera utilisée pour les communications. Dans notre architecture, cette option va être utilisée par le routeur pour forcer les nœuds à communiquer via l'adresse IP voulue. Lors de l'envoi d'un RA, le routeur mobile règle la durée de préférence du préfixe choisi à une valeur élevée et à une valeur plus faible pour les autres préfixes. Un changement de réseau entraîne alors la génération d'un RA avec de nouvelles durées de préférence.

Si une association SCTP est déjà établie lors de la réception d'un RA et que le nœud détecte un changement dans les durées de préférence, celui-ci doit demander à l'association en cours de changer de chemin prioritaire et d'utiliser le chemin correspondant à l'adresse avec la durée de préférence la plus élevée. Les nouvelles communications sont établies avec l'adresse IP ayant la durée de préférence la plus élevée.

Evènement	Mécanismes existants	Nouvelles Actions
Connexion MN-MR	Connexion niveau Liaison Transmission des préfixes IP	Signaler Pref-IP prioritaire Configuration des interfaces
Nouveau AP Dispo	Connexion au point d'accès Envoi d'un BU	Signaler Nouveau Pref-IP SCTP-AddIP
Changement de Réseau en cours	Envoi d'un BU avec le chemin à utiliser	Signaler Pref-IP prioritaire SCTP-ChangePrim
Ancien AP indisponible	Envoi d'un BU sans l'ancien AP	Signaler Pref-IP inutile SCTP-RemIP
Aucun AP disponible	Mise en attente des données Interruption des connexions	Signaler Pref-IP inutiles Recherche d'un réseau autre

TAB. 1 – Décisions et actions provoquées par la mobilité (Existantes et nouvelles).

L'utilisation des messages RA et de la durée de préférence présente un autre avantage en plus d'être compatible avec les standards. Un nœud mobile connecté au routeur mobile mais qui souhaiterait utiliser l'une de ces interfaces pour communiquer directement avec un point d'accès peut le faire en configurant une adresse IP avec une durée de préférence plus élevée. Le gestionnaire de mobilité du nœud mobile peut alors choisir librement quelle interface utiliser.

La figure 3 est une représentation temporelle du fonctionnement de notre architecture reprenant les données du tableau 1. Il est clairement visible que événement est suivi par une action et notamment le changement de réseau provoquant la modification du chemin primaire utilisé par SCTP. La section suivante détaille l'impact de notre architecture sur le comportement des protocoles de Transport.

4 Analyse

Comme expliqué en 2.2, la modification des conditions du réseau due aux changements de réseaux peut avoir un impact important sur les protocoles de la couche Transport. Notre analyse se focalise sur l'étude de cet impact et comment il peut être diminué avec notre solution.

Les technologies de communication ont des caractéristiques réseaux différentes. À titre informatif, voici un exemple de valeurs pour le débit et le délai :

- Wi-Fi : 20ms et plus de 10Mbps ;

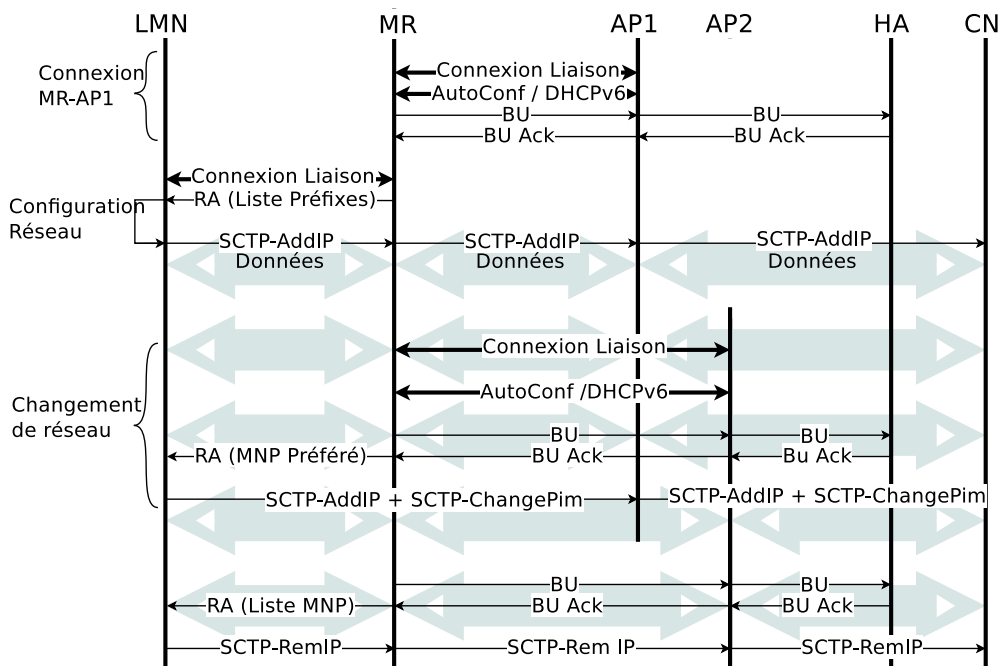


FIG. 3 – Messages échangés pendant plusieurs changements de réseau.

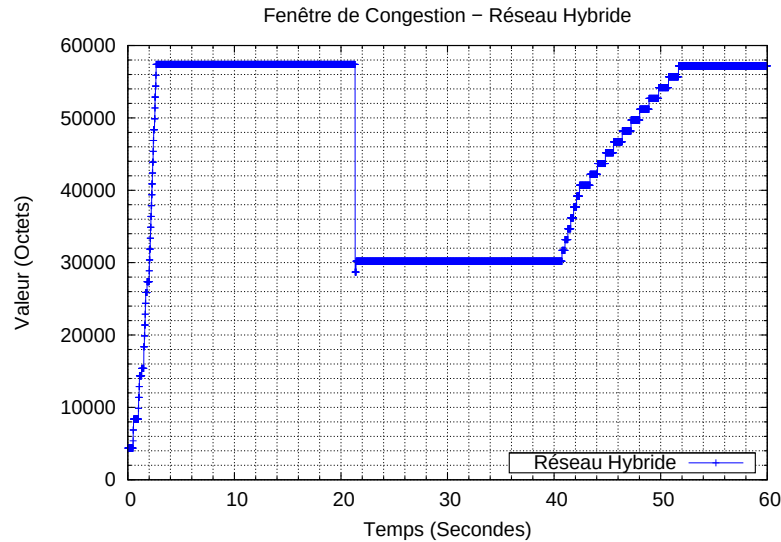


FIG. 4 – Comportement de la fenêtre de congestion lors de changements de réseau entre satellite et Wi-Fi.

- 3G/UMTS : 100ms et environ 4Mbps ;
- Satellite : 250ms et moins de 1mbps.

Le projet SAT-PERF Berthou et al. (2012b), Berthou et al. (2012a) étudie l'impact du changement de réseau. Il a été réalisé par le LAAS-CNRS et ASTRIUM, à la demande du CNES. Un émulateur de lien satellite (SATEM) fourni par ASTRIUM est utilisé pour l'émulation du réseau et des changements entre technologies. En plus de l'émulateur, deux pc portables sont les nœuds utilisateurs, ils fonctionnent sous Ubuntu 10.10 et utilisent la librairie lk-sctp. Les exemples et expériences de cette section font partie de projet et ont été réalisées avec un scénario unique. Les communications sont initiées sur le lien satellite puis deux changements de réseaux sont réalisés : à 20s du satellite vers le Wi-Fi et à 40s du Wi-Fi vers le satellite.

Ces expériences sont illustrés par les figures 4 et 5. La figure 4 présente l'évolution de la fenêtre de congestion pour un réseau hybride avec une changement de réseau transparent pour les nœuds finaux. La figure 5 présente l'évolution de la fenêtre de congestion sur le réseau multi domicilié avec SCTP comme solution de mobilité. L'utilisation d'un jeu de valeurs différent est clairement visible suivant que le chemin primaire soit le satellite ou le Wi-Fi.

En observant l'évolution de la fenêtre de congestion, deux différences sont visibles entre ces deux figures : les valeurs optimales sur le lien Wi-Fi et les comportements après le second changement de réseau. Les origines et les impacts de ces différences vont être discutés dans les sous-sections suivantes.

4.1 Causes du comportement de la fenêtre

En premier lieu, il est important de noter que le comportement des deux fenêtres est similaire avant le premier changement de réseau, c.-à-d. avant 20s. Pour effectuer le changement de réseau, l'association SCTP en multi domiciliation change de chemin primaire et utilise donc une nouvelle fenêtre de congestion qui se stabilise autour de 26000 octets. L'ancienne fenêtre est réutilisée lors du retour sur le lien satellite.

Sur le réseau hybride, le premier changement de réseau est suivi immédiatement par une diminution de moitié de la fenêtre de congestion puis une légère augmentation jusqu'à 30000 octets.

Cette chute est due à la réception de données non-ordonnées lors du changement entre satellite et Wi-Fi. Le délai sur le lien satellite étant élevé, les données envoyées sur le lien Wi-Fi arrivent plus vite à destination et les acquittements rapportent des données encore en vol comme des trous dans la communication. L'algorithme Fast Retransmit est alors utilisé par l'émetteur : la fenêtre de congestion est diminuée de moitié et les données signalées sont retransmises. En quittant l'état Fast Retransmit, la fenêtre de congestion en "congestion avoidance" et se stabilise quand elle est suffisamment grande pour envoyer toute la quantité de données générées par l'application.

Après le changement de réseau entre satellite et Wi-Fi, le délai grandit et la fenêtre de congestion doit s'adapter. L'utilisation de l'algorithme "congestion avoidance" sur un lien satellite conduit à une période d'adaptation de plusieurs secondes.

L'adaptation sur un réseau hybride est conduite en erreur par des mécanismes internes aux protocoles de Transport comme les algorithmes "Fast Retransmit/Fast Recovery" ou "conges-

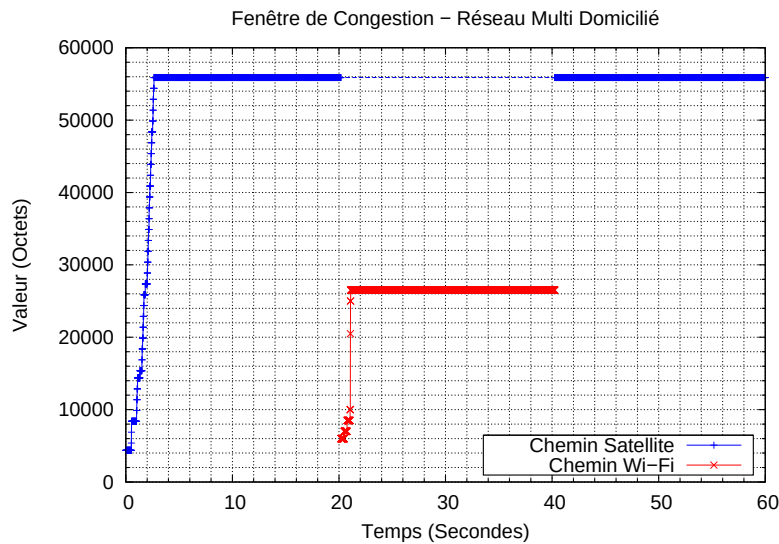


FIG. 5 – Comportement de la fenêtre de congestion lors de changements de réseau entre satellite et Wi-Fi.

tion avoidance z. Dans le contexte multi domicilié, l'adaptation se fait naturellement, des paramètres indépendants étant utilisés. L'impact sur les communications est détaillé dans la section suivante.

4.2 Impact sur les Communications

L'algorithme Fast Retransmit est utilisé par la fenêtre de congestion si des données sont reçues dans le désordre. Dans un environnement sans pertes, il fonctionne correctement et permet dans notre cas de s'adapter rapidement aux caractéristiques du nouveau réseau. Néanmoins, si un paquet retransmis est perdu, la fenêtre de congestion est forcée à sa plus faible valeur, conduisant à un ralentissement des communications.

Dans l'expérience illustrée par la Figure 4, 50kilo-octets de données sont en vol lorsque le premier changement de réseau est effectué. Retransmettre ces données prend 110ms sur un lien Wi-Fi émulé ayant une bande passante raisonnable (supérieure à 4mega-bits). Sur un réseau Wi-Fi réel, des paquets peuvent être perdus pendant cette période, particulièrement lors de la connexion à un nouveau réseau puisque le nœud va être à la limite de la zone de couverture du point d'accès.

Le Tableau 2 est un calcul théorique de la fenêtre de congestion après la perte d'un paquet dans l'état Fast Retransmit. Ce tableau comporte aussi les données acquittées et les données envoyées à chaque RTT ainsi que la quantité totale de données envoyées. La fenêtre de congestion commence à 1500 octets (1 MTU) et 240ms sont nécessaires pour envoyer 44kilo-octets de données. Comparé au 110ms nécessaires à l'envoi de ces données avec une fenêtre de congestion optimale, le temps de transmission est doublé.

Après le deuxième changement de réseau, l'algorithme "congestion avoidance" est utilisé pour agrandir la fenêtre de congestion. Pendant cet agrandissement, la quantité de données envoyées sur le réseau est inférieure à sa capacité maximale; le débit peut donc être sous sa valeur optimale. Le temps passé dans cette situation dépend du délai du réseau et de la différence entre fenêtre initiale et fenêtre optimale; respectivement 30kilo-octets et 57kilo-octets dans la Figure . En théorie, la fenêtre peut augmenter de 1 MTU à chaque RTT, la durée de cette phase peut donc être exprimée ainsi :

$$T = \Delta_{Donnees} * \frac{RTT}{MTU} \quad (1)$$

En prenant un RTT de 500ms pour le lien satellite et un MTU de 1500octets, au moins 9 secondes sont nécessaires pour atteindre la valeur optimale. Sur le réseau satellite émulé dans notre expérience, l'impact sur les communications est amoindri par la faible bande passante disponible (64kilo-octets), en augmentant la fenêtre de congestion remplit uniquement les mémoires. L'impact est plus conséquent si des pertes apparaissent car une diminution de moitié de la fenêtre de congestion ne permettra plus d'atteindre le débit optimal. Néanmoins, un des effets de l'adaptation à ce nouveau débit est perceptible en observant l'évolution de la quantité de données reçues autour de ce changement de réseau. Sur la figure 6, la réception de paquets en rafales (« bursts » de données) est clairement visible.

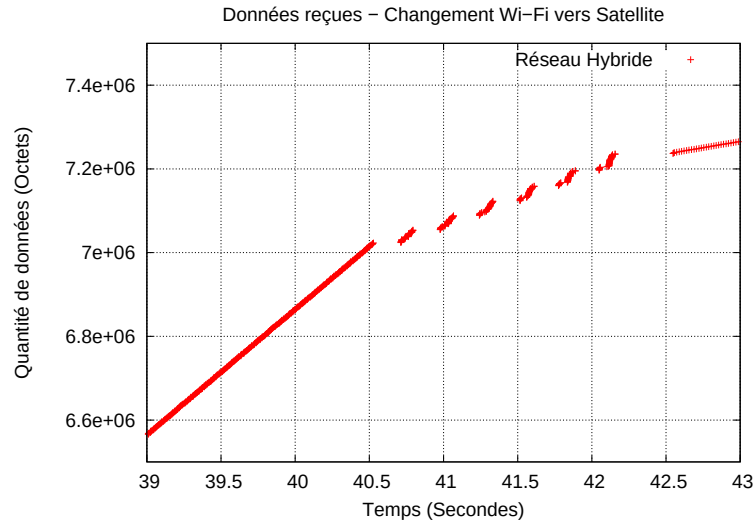


FIG. 6 – Evolution de la quantité de données reçues lors du changement de Wi-Fi à satellite sur un réseau hybride.

4.3 Impact sur l'évaluation de l'état du réseau

Le "Smoothed Round Trip Time" (SRTT) ou temps aller-retour lissé est une des variables utilisée par la fenêtre de congestion pour évaluer l'état du réseau. Sur un réseau satellite, la stabilisation de cette variable nécessite plusieurs dizaines de secondes. La comparaison de valeurs entre réseau hybride et réseau multi domicilié va nous permettre de comparer le temps de réaction des deux systèmes. La figure 7 présente le SRTT pour les mêmes expériences que précédemment. Entre 0 et 20s, les valeurs sont similaires pour le réseau hybride et le réseau multi domicilié. Après le premier changement de réseau sur le réseau multi domicilié, SCTP utilise une nouvelle variable réglée à la valeur initiale. Sur le réseau hybride, le faible délai sur Wi-Fi permet une adaptation rapide du SRTT et seulement quelques secondes sont nécessaires pour avoir des valeurs proches entre réseau hybride et réseau multi domicilié.

La différence entre les valeurs du SRTT après le second changement de réseau est plus importante. Le délai sur le lien satellite est plus grand que sur le Wi-Fi et la stabilisation du SRTT prend plus de temps. Sur le réseau hybride, l'accroissement est même plus lent qu'à la suite de l'initiation de la connexion alors l'état du réseau et ses caractéristiques sont égales. Ce phénomène s'explique par une valeur de départ plus faible : 20ms au second changement de réseau contre 130ms à l'initiation (réglée lors du premier échange). Dans le réseau hybride, il est clair que l'évaluation du SRTT sur le lien satellite est faite deux fois contrairement au réseau multi domicilié où la valeur précédente est reprise lors du retour sur satellite. Dans cette expérience, il est donc possible de dire que l'évaluation du lien satellite prend deux fois plus de temps avec un réseau hybride.

L'utilisation de la multi domiciliation permet aux associations SCTP d'utiliser des fenêtres

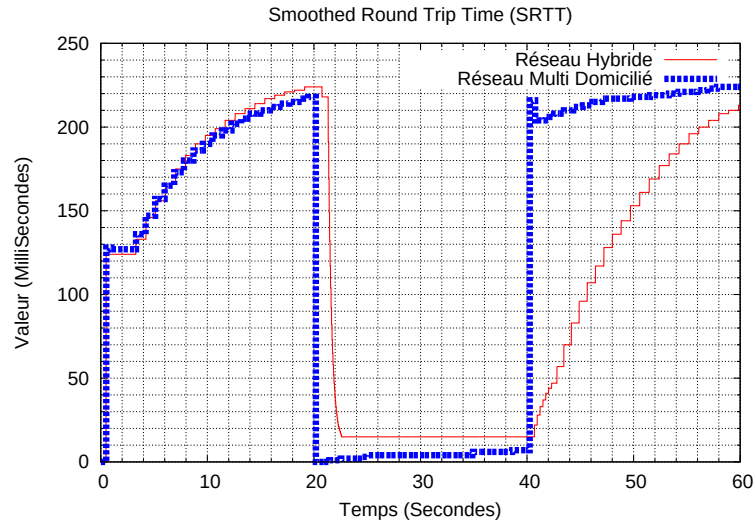


FIG. 7 – Variation du SRTT lors de changements de réseau entre satellite et Wi-Fi.

de congestion indépendantes pour chaque chemin. En arrivant sur un nouveau réseau, l'utilisation de valeurs initiales permet de s'adapter correctement. En revenant sur un réseau connu, l'utilisation des anciennes valeurs permet d'atteindre immédiatement les performances optimales. Néanmoins, des dégradations peuvent intervenir si les conditions du réseau ont changé : apparition de congestion ou diminution de la bande passante causée par une allocation dynamique. L'analyse de cette expérience montre que l'utilisation de la multi domiciliation permet d'améliorer la précision des évaluations faites par les protocoles de Transport après un changement de réseau.

Temps écoulé (s)	Fenêtre de Congestion	Données acquittées	Données envoyées	Données totales
0.00	1500	0	1000	0
0.04	2500	1000	2000	1000
0.08	4000	2000	4000	3000
0.12	7000	4000	7000	7000
0.16	11500	7000	11000	14000
0.20	19000	11000	19000	25000
0.24	32500	19000	32000	44000

TAB. 2 – Evolution de la fenêtre de congestion théorique après des pertes en Fast Retransmit (fenêtre et quantité de données mesurée en octets).

5 Conclusion

L'architecture introduite dans ce papier est basée sur la fonctionnalité de multi-domiciliation de SCTP et sur des mécanismes mIPv6. Les protocoles de Transport n'étant pas adaptés aux réseaux mobiles avec changement de réseau transparent, cette architecture vise à améliorer leurs performances en augmentant le partage d'informations entre le routeur mobile et les nœuds qui y sont connectés. En effet, nous avons démontré que les erreurs des protocoles de Transport après un changement de réseau sont dues à une mauvaise interprétation des caractéristiques du réseau. À l'opposé, l'utilisation de protocole de Transport permettant la multi domiciliation avec notre solution résulte dans une meilleure interprétation des événements liés au changement de réseau et dans des prises de décisions plus adaptées à la situation.

Références

- Berthou, P., F. Planchou, I. Tou, L. Bertaux, V. Kretzschmar, P. D. Amer, P. Gelard, et E. Dubois (2012a). Analysis of solutions for mobile and efficient transport layer in the context of terrestrial/satellite hybrid networks. Technical report, SAT-PERF Project.
- Berthou, P., F. Planchou, I. Tou, L. Bertaux, V. Kretzschmar, P. D. Amer, P. Gelard, et E. Dubois (2012b). Development and validation documentation : Test-bed integration, Test results and analysis. Technical report, SAT-PERF Project.
- Daley, G., B. Pentland, et R. Nelson (2003). Effects of Fast Router Advertisement on Mobile IPv6 Handovers. In *Proceedings. Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communication, 2003. (ISCC 2003)*.
- Devarapalli, V., R. Wakikawa, A. Petrescu, et P. Thubert (2005). RFC3963 : Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Ford, A., C. Raiciu, M. Handley, S. Barre, et J. Iyengar (2011). RFC6182 : Architectural Guidelines for Multipath TCP Development. Rfc.
- Ford, B. et J. Iyengar (2008). Breaking Up the Transport Logjam. In *In HOTNETS*.
- Hansmann, W. et M. Frank (2003). On things to happen during a TCP handover. In *28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2003. LCN '03. Proceedings.*, pp. 109–118. Ieee.
- Narten, T., E. Nordmark, W. Simpson, et H. Soliman (2007). RFC4861 : Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6). Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Ng, C., T. Ernst, E. Paik, et M. Bagnulo (2007). RFC4980 - Analysis Of Multihoming in Network Mobility Support. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Perkins, C., D. Johnson, et J. Arkko (2011). RFC6275 : Mobility Support in IPv6. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Raiciu, C., M. Handley, et D. Wischik (2011). RFC6356 : Coupled Congestion Control for Multipath Transport Protocols. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Stewart, R. (2007). RFC4960 : Stream Control Transmission Protocol. Rfc, Internet Engineering Task Force.

- Stewart, R., Q. Xie, M. Tuexen, S. Maruyama, et M. Kozuka (2007). RFC5061 : Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Dynamic Address Reconfiguration. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Sun, Y., Y. Cui, W. Wang, T. Ma, Y. Ismailov, et X. Zheng (2011). Mobility support in Multi-Path TCP. In *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, pp. 195–199. Ieee.
- Tsirsis, G., H. Soliman, N. Montavont, G. Giaretta, et K. Kuladinithi (2011). RFC6089 : Flow Bindings in Mobile IPv6 and Network Mobility Basic Support. Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Tuexen, M., R. Stewart, P. Lei, et E. Rescorla (2007). RFC4895 : Authenticated Chunks for the Stream Control Transmission Protocol (SCTP). Rfc, Internet Engineering Task Force.
- Wakikawa, R., V. Devarapalli, G. Tsirsis, T. Ernst, et K. Nagami (2009). RFC5648 : Multiple Care-of Addresses Registration. Rfc, Internet Engineering Task Force.

Summary

These instructions for preparing RNTI articles with $\text{\LaTeX}$ should be strictly respected to ensure a homogenous presentation of all articles. Thank you for not modifying the formatting rules. This abstract should not exceed 150 words.

AJOUTER LE RESUME !!!!!