



HAL
open science

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

Lionel Bertaux, Thierry Gayraud, Pascal Berthou

► **To cite this version:**

Lionel Bertaux, Thierry Gayraud, Pascal Berthou. Architecture Multi Domiciliée dans les Réseaux Mobiles : Diminution de l'Impact de la mobilité sur les Protocoles de Transport. NOTERE/CFIP 2012, Oct 2012, Anglet, France. hal-00741935

HAL Id: hal-00741935

<https://hal.science/hal-00741935>

Submitted on 15 Oct 2012

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^{1,2}, Thierry Gayraud^{1,2}, Pascal Berthou^{1,2}

¹ CNRS ; LAAS ; 7 avenue du Colonel Roche, F-31077 Toulouse, France

² Université de Toulouse ; UPS, INSA, INP, ISAE ; LAAS ; F-31077 Toulouse, France
{lbertaux, gayraud, berthou}@laas.fr

ABSTRACT

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 les capacités de multi domiciliation de SCTP et sur l'utilisation d'interfaces réseau virtuelles.

Mots clés: Mobilité, SCTP, Multi Domiciliation, Protocoles de Transport, Wi-Fi, 3G, Réseaux de Communication par Satellite...

I. INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

Depuis quelques années, les appareils mobiles font partie de notre vie de tous les jours. Néanmoins pour être pleinement utilisables, les téléphones intelligents, tablettes et portables ont une condition nécessaire : être connectés à Internet ou un autre réseau de grande envergure. 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...).

Les transports en commun sont autonomes en énergie et peuvent ainsi posséder plusieurs interfaces réseaux de différentes technologies : Wi-Fi, 3G/UMTS, satellite... Ils peuvent alors agir comme des routeurs mobiles (MR) et doivent pour cela implémenter un gestionnaire de mobilité capable de garantir un accès fiable aux 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 pour la communication c.-à-d. modifier l'état du

réseau : congestion, délai, bande passante... Les paramètres réseau utilisés par les protocoles de Transport pour évaluer et mémoriser ces conditions 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 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. Le protocole de Transport SCTP (Stream Control Transport Protocol) a été conçu pour basculer entre plusieurs réseaux et s'adapter lors de la connexion à un nouveau réseau. Notre proposition se base sur cette fonctionnalité de multi-domiciliation de SCTP. En utilisant des interfaces réseau virtuelles, nous étendons la connaissance des chemins du routeur vers les nœuds mobiles.

La section suivante est un état de l'art sur la mobilité des réseaux et sur les protocoles de Transport. La section III décrit la conception de l'architecture. L'impact du changement de réseau et la contribution de l'architecture sont analysés dans la section IV. Le papier finit avec une conclusion et les futurs travaux.

II. 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 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.

A. Gestion de la mobilité dans les réseaux mobiles

Mobile IPv6 (mIPv6) [1] introduit les mécanismes de mobilité pour un hôte simple utilisant IPv6. Des règles et des échanges y sont définis pour le nœud mobile, le nœud correspondant et l'home agent. Plusieurs améliorations ont été proposés pour réduire l'impact du changement de réseau et notamment le délai : Hierarchical mIPv6, Fast Handover mIPv6, PmIPv6...

Multiple Care-of-Addresses Registration [4] définit les règles et mécanismes nécessaires pour que toute

interface disponible puisse être utilisée pour communiquer avec mIPv6 et ses extensions. Flow Binding [5] va plus loin en proposant d'associer un flux à une interface réseau précise.

Grâce à ces règles et mécanismes, un nœud simple est capable de gérer la mobilité sans pertes de données ou en minimisant les pertes. Dans le but de simplifier la gestion de la mobilité pour les nœuds finaux, des fonctionnalités ont été rajoutées aux routeurs afin de rendre le réseau mobile et sont connus sous le nom de Network MObility (NEMO) [6]. La Figure 1 montre un réseau où les nœuds mobiles (MN) sont connectés à un routeur mobile (MR) et n'ont aucune connaissance des points d'accès (AP). Toute donnée échangée entre les nœuds mobiles et les nœuds correspondants (CN) passe par le routeur. En s'enregistrant auprès d'un agent home (HA), le routeur peut gérer sa mobilité et reste joignable à tout instant. Le support de la multi domiciliation dans NEMO est discuté dans [7] avec une étude de cas adaptée à notre situation : un routeur mobile, un agent home et plusieurs préfixes pour le réseau mobile.

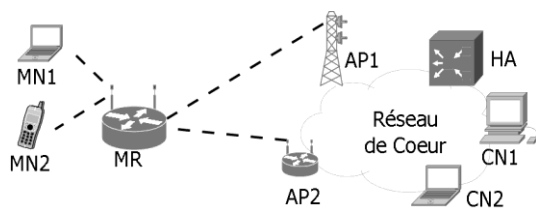


Figure 1 – Composants NEMO dans un réseau.

L'utilisation de NEMO permet à un routeur de gérer la mobilité de tout son réseau. Les nœuds mobiles (terminaux des utilisateurs) n'ont aucune connaissance des changements de réseaux ou des technologies utilisées entre le routeur mobile et les points d'accès. Dans ce contexte là, la mobilité est transparente pour les nœuds mobiles connectés au réseau du routeur mobile.

B. Configuration des réseaux IP

Neighbor discovery for IPv6 [2] 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. Router Solicitation (RS) et Router Advertisement (RA) sont des messages permettant la configuration des adresses IP. Les RA envoyés périodiquement par le routeur contiennent les préfixes des adresses IP utilisées par le routeur. Ces préfixes sont utilisés par les nœuds pour générer leurs adresses IP. Notre solution va utiliser ce message pour configurer les interfaces virtuelles et sélectionner le sous réseau de préférence.

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, [3] propose de répondre

directement (FastRA) et montre que l'impact est insignifiant.

C. Les Protocoles de Transport et la Mobilité

Les solutions décrites précédemment procurent une gestion transparente de la mobilité, néanmoins les nœuds finaux perçoivent la mobilité au travers d'événements qui y sont liés :

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

Ces événements ont un impact particulier sur les protocoles de Transport.

Afin d'améliorer les communications (adapter le débit d'émission, détecter la congestion et/ou les pertes,...), les protocoles de Transport évaluent l'état du réseau et gardent un historique dans plusieurs paramètres réseau : 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,
- Mauvaise adaptation du débit d'émission.

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 [8]. 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. L'utilisation de versions spécifiques supportant le changement de réseau a un impact sur les communications sur un lien stable et n'est donc pas la solution optimale.

Stream Control Transmission Protocol (SCTP) [9] 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. La modification dynamique de ces chemins est possible au travers d'extensions

[10], [11] qui sont regroupées sous le nom mobile SCTP (mSCTP). La mobilité est gérée en ajoutant/supprimant des chemins et en choisissant un chemin prioritaire (celui utilisé pour transmettre les données). Afin d'éviter les problèmes d'adaptation lors du changement de réseau, SCTP définit des paramètres indépendants pour chaque chemin : le SRTT, le RTO et la fenêtre de congestion sont calculés par chemin. Les performances du protocole sur un nouveau réseau ne sont donc pas influencées par les caractéristiques de l'ancien réseau. Lors de la première connexion, les valeurs initiales sont utilisées et si le chemin est déjà connu, les précédentes valeurs sur ce réseau sont utilisées.

III. DEFINITION 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 propageant l'état des liens sortants du routeur vers les nœuds mobiles. Une fois informés, les protocoles de Transport 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 l'architecture plus précisément avec les composants nécessaires dans le réseau et une proposition d'implémentation suivie de la définition des messages.

A. 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 créés. 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 : deux nœuds mobiles sont connectés à un routeur. Les nœuds sont connectés à deux sous-réseaux, SCTP est alors conscient que deux chemins sont disponibles.

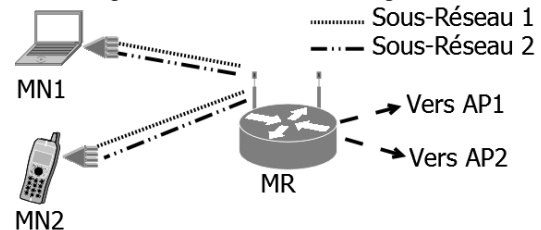


Figure 2 – Exemple de configuration.

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 d'étranglement en plusieurs chemins (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.

B. 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

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

Événement lié à la mobilité	Mécanismes de mobilité existants	Nouveaux mécanismes de mobilité et Réactions des associations SCTP
Connexion d'un nœud mobile au routeur	Connexion niveau Liaison. Transmission des préfixes IP.	Transmission du préfixe IP à utiliser. Création des interfaces réseau virtuelles.
Nouveau AP disponible	Connexion au point d'accès. Envoi d'un « Binding Update ».	Transmission du nouveau préfixe IP. Ajout d'une adresse IP à l'association SCTP.
Changement de réseau en cours	Envoi d'un « Binding Update » avec le chemin à utiliser.	Transmission du préfixe IP à utiliser. Modification du chemin primaire des associations SCTP.
Ancien AP indisponible	Envoi d'un « Binding Update » sans l'ancien AP.	Transmission du préfixe IP inutilisable. Suppression du chemin dans l'association SCTP.
Aucun AP disponible	Mise en attente des communications. Interruption des connexions...	Transmission de tous les préfixes comme inutilisables. Recherche d'un réseau sur les interfaces du nœud mobile et ajout à l'association.

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 des interfaces réseau virtuelles.

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.

C. Echanges entre Routeur Mobile et Nœuds

Divers événements peuvent se produire forçant le routeur mobile à prendre des décisions et à effectuer des actions (voir Tableau 1). Certaines de ces actions et décisions sont régies par le gestionnaire de mobilité et ne nous concernent pas ici. La colonne de droite rassemble les actions à définir ainsi que les réactions de SCTP. Deux informations primordiales sont échangées entre le routeur et les nœuds finaux : la liste des préfixes de sous-réseau et le préfixe à utiliser. Ces informations vont être communiquées via des RA et RS, introduits en II.B. 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, il signifie que plusieurs adresses peuvent être générées et qu'une est préférée aux autres.

Notre architecture va utiliser ce champ pour informer les nœuds sur le préfixe à utiliser. Lors de l'envoi d'un RA, le routeur mobile règle la durée de préférence du préfixe choisi à une valeur élevée et à 0 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 utiliser celui spécifié par le RA. Par défaut, les communications sont établies avec l'adresse IP générée à partir du préfixe ayant la durée de préférence la plus élevée.

D'autres mécanismes non obligatoires 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.

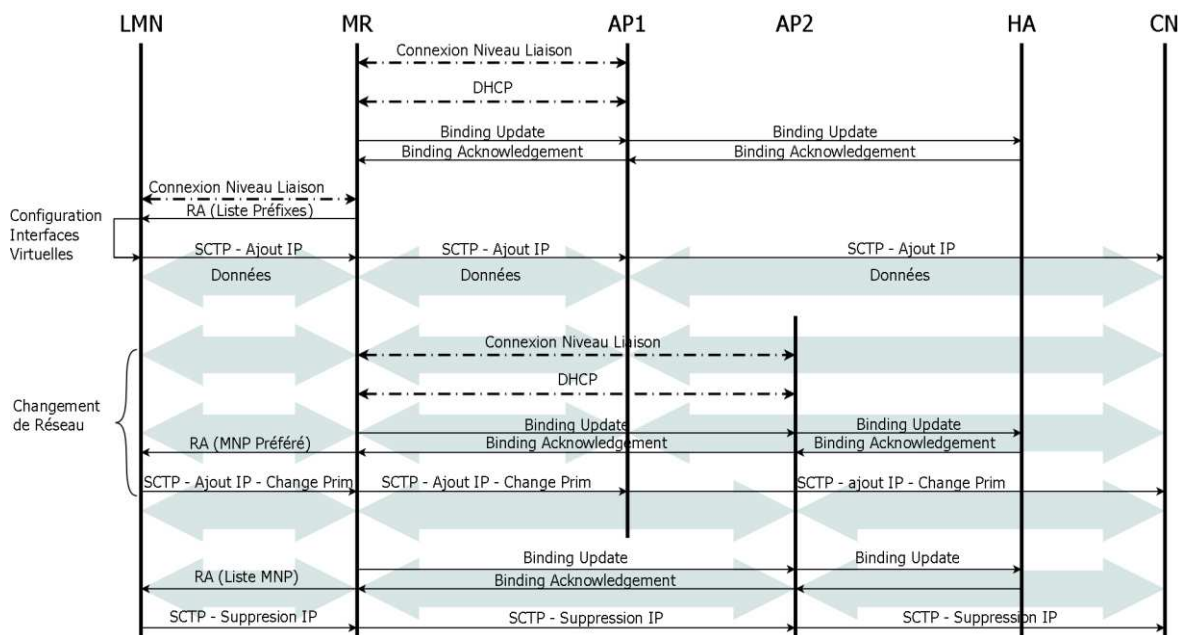


Figure 3 – Message échangés pendant plusieurs changements de réseau

Ces nouvelles informations pourraient être envoyées dans un RA via une nouvelle option ou dans un nouveau message ICMP. Notre architecture étant basée sur mIPv6, les échanges décrits ici sont faits simultanément avec les décisions de mobilité ou d'autres mécanismes du réseau.

La Figure 3 est une représentation temporelle du fonctionnement de notre architecture reprenant les données du Tableau 1. Il est clairement visible que l'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.

IV. ANALYSE

Comme expliqué en I.C, 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 ; le délai et la bande-passante sont autour de :

- Wi-Fi: 20ms et plus de 10Mbps
- 3G/UMTS: 100ms et environ 4Mbps,
- Satellite: 250ms et moins de 1mbps.

Le projet SAT-PERF [12], [13] 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) fournit 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 initiés sur le lien satellite and deux changements de réseaux sont réalisés : à 20s du satellite vers le Wi-Fi et à 40s du Wi-Fi vers le

satellite.

La Figure 4 illustre le comportement de la fenêtre de congestion dans deux configurations différentes : un réseau hybride avec changement de réseau transparent et un réseau en multi domiciliation avec SCTP comme solution de mobilité. Deux différences sont visibles entre ces deux fenêtres de congestion : la valeur optimale sur le lien Wi-Fi et le comportement après le second changement de réseau. Les origines et les impacts de ces différences vont être discutés dans les sous-sections suivantes.

A. 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

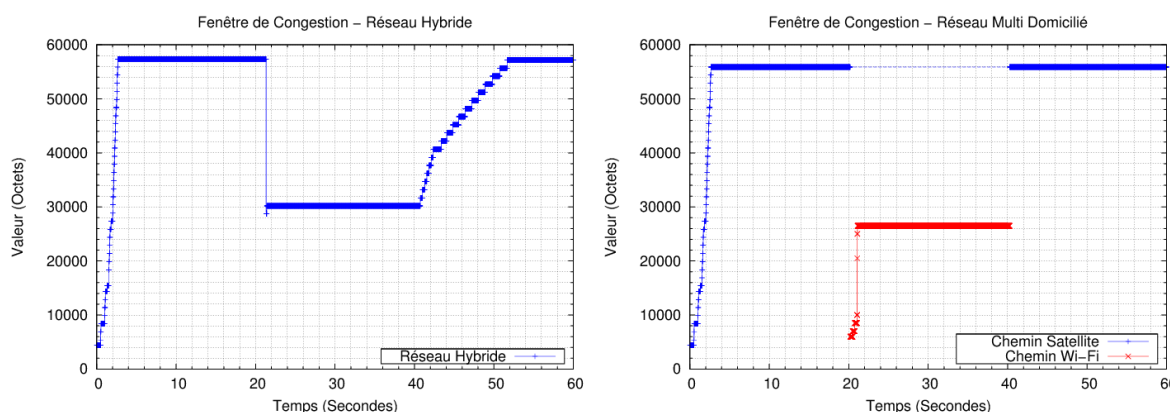


Figure 4 – Comportement de la fenêtre de congestion lors de changements de réseau entre satellite et Wi-Fi.

« congestion avoidance » sur un lien satellite conduit à un période d'adaptation de plusieurs secondes.

L'adaptation sur un réseau hybride est conduit en erreur par des mécanismes internes aux protocoles de Transport comme les algorithmes « Fast Retransmit/Fast Recovery » ou « congestion avoidance ». 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.

B. 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 3, 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 4. En théorie, la fenêtre peut augmenter de 1 MTU à chaque RTT, la durée de cette phase peut donc être exprimée ainsi :

$$T = \Delta_{données} * \frac{RTT}{MTU}$$

En prenant un RTT de 500ms pour le lien satellite et un MTU de 1500octets, au moins 9 secondes sont nécessaire 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.

C. 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 5 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

Tableau 2 – Fenêtre de congestion théorique après des pertes en Fast Retransmit.

Temps (s)	Fenêtre de Congestion (octets)	Donnée acquittées (octets)	Données envoyées (octets)	Données globales (octets)
0	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
0.2	19000	11000	19000	25000
0.24	32500	19000	32000	44000

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.

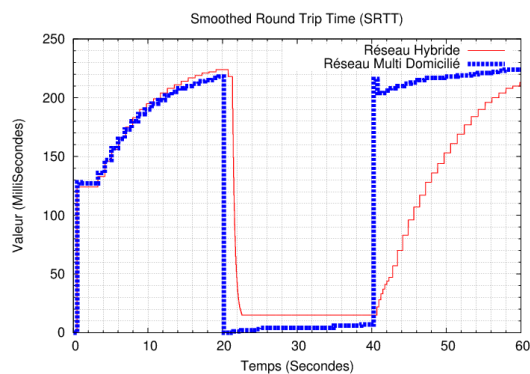


Figure 5 – Variation du SRTT.

L'utilisation de la multi domicilié permet aux associations SCTP d'utiliser des fenêtres 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 changés : 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 domicilié permet d'améliorer la précision des évaluations faites par les protocoles de Transport après un changement de réseau.

V. CONCLUSION

L'architecture introduite dans ce papier est basé 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. A l'opposé, l'utilisation de protocole de Transport permettant la multi domicilié 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.

REFERENCES

- [1] RFC 6275 C. Perkins, Tellabs and D. Johnson, *Mobility Support in IPv6*, July 2011.
- [2] RFC 4861 T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson and H. Soliman, *Neighbor Discovery for IPv6*, September 2007.
- [3] G. Daley, B. Pentland and R. Nelson, *Effects of Fast Router Advertisement on MIPv6 Handovers*, July 2003, ISCC 2003.
- [4] RFC 5648 R. Wakikawa, V. Devarapalli, G. Tsirtsis, T. Ernst and K. Nagami, *Multiple Care-of Addresses Registration*, October 2009.
- [5] RFC 6089, G. Tsirtsis, H. Soliman, N. Montavont, G. Giaretta and K. Kuladinithi, *Flow Binding in Mobile IPv6 and NEMO Basic Support*, January 2011.
- [6] RFC 3963, V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert, *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*, January 2005.
- [7] RFC 4980, C. Ng, T. Ernst, E. Paik and M. Bagnulo, *Analysis of Multihoming in Network Mobility Support*, October 2007.
- [8] W. Hansmann, M. Frank, *On Things to Happen During a TCP Handover*, October 2003, LCN'03.
- [9] RFC 4960, R. Stewart, *Stream Control Transmission Protocol*, September 2007.
- [10] RFC 5061, R. Stewart, Q. Xie, M. Tuexen, S. Maruyama and M. Kozuka, *SCTP Dynamic Address Reconfiguration*, September 2007.
- [11] RFC 4895, M. Tuexen, R. Stewart, P. Lei and E. Rescorla, *Authenticated Chunks for the SCTP*, August 2007.
- [12] SAT-PERF project, *Analysis of solutions for mobile and efficient transport layer in the context of terrestrial/satellite hybrid networks*. March 2012.
- [13] SAT-PERF project, *Development and validation documentation: Test-bed integration, Test results and analysis*. March 2012.