



Sujet de Thèse

## Réseaux multi-chemins : étude de performances et améliorations de l'existant

**Encadrement :**

Cristel PELSSER ([pelsser@unistra.fr](mailto:pelsser@unistra.fr))

Stéphane CATELOIN ([cateloin@unistra.fr](mailto:cateloin@unistra.fr))

Pascal MERINDOL ([merindol@unistra.fr](mailto:merindol@unistra.fr))

Laboratoire ICube – UMR 7357, CNRS – Université de Strasbourg

Equipe Réseaux – <http://icube-reseaux.unistra.fr>

---

**Contexte**

Le routage multi-chemins s'appuie sur un certain nombre de mécanismes algorithmiques et techniques qui permettent, d'une part, de mettre en œuvre plusieurs routes potentielles entre une source et une destination, d'autre part de commuter les datagrammes IP sur ces différentes routes. Cela permet de répartir la charge de manière plus équilibrée sur le réseau pour prévenir les congestions voire optimiser la distribution du trafic, et/ou de réagir plus rapidement à des congestions ou des pannes.

Il existe aujourd'hui plusieurs moyens de déployer des solutions de commutation multi-chemins : Equal Cost Multi-Path [1], Link Aggregation Group (LAG), bundling de niveau 2, etc. Actuellement, la mise en œuvre du routage multichemins est souvent effectuée en ne considérant que les meilleurs chemins de coûts égaux. Le routage multi-chemins permet également de tirer parti d'agrégations de liens au niveau 3 (LAG). L'algorithme de routage associe alors dans les tables de commutation, plusieurs interfaces de sortie à un préfixe de destination.

Afin d'éviter d'introduire des déséquilibrages entre les paquets d'un flux donné (ce qui peut notamment être préjudiciable en termes de performances pour TCP, voir [2]), les réseaux opèrent généralement une répartition de trafic par flux : l'ensemble des paquets d'un même flux est dirigé sur un même chemin grâce à une fonction de hachage appliquée à un sous-ensemble des champs des entêtes des paquets caractérisant une notion plus ou moins fine de flux [3].

Les auteurs de *paris-traceroute* ont mis en évidence dans [4] un usage relativement limité du routage multi-chemins. Néanmoins, leur méthodologie ne capture que la diversité de niveau IP. De manière plus générale, l'article *tokyo-ping* [5] montre que certains effets du multi-chemins « se cachent » dans la distribution des RTTs. A l'heure actuelle, aucune étude ne quantifie finement le déploiement du multi-chemins afin d'en étudier les limites en termes de performances. Par ailleurs, les effets des changements du plan de contrôle (changements de chemin, de filtres...) sur le plan d'acheminement sont mal connus quand bien même de tels changements sont fréquents [6]. A fortiori, ces effets dans un environnement multi-chemins sont encore davantage méconnus et certainement différents.

## Objectifs

Dans un premier temps, il sera nécessaire de développer des techniques de mesures et des méthodes de détections permettant de quantifier et de caractériser le multi-chemins dans l'Internet d'aujourd'hui.

Mesurer la performance observée par des applications dans un tel environnement et comprendre les différentes formes de multi-chemins (au niveau routage avec ECMP ou au niveau transport avec MPTCP) seront également parmi les premiers enjeux d'un tel travail. Pour cela il faudra notamment élaborer des méthodes permettant de corréler un chemin avec la performance observée pour un flux.

Ensuite, il s'agira de tirer les conclusions qui découlent de nos mesures. En fonction des résultats observés, on se posera la question de savoir ce que l'on peut améliorer d'un point de vue routage pour contourner les segments de chemins sur lesquels on observe une performance dégradée. Cela peut par exemple impliquer des changements au niveau dissémination des informations de signalisation. Il peut aussi s'agir de modifier les calculs et l'utilisation effective des chemins multiples, de manière à mettre en œuvre une répartition de trafic dynamique, adaptée à la charge mais néanmoins suffisamment stable pour éviter les effets néfastes des oscillations de routes.

Le doctorant devra également élaborer des méthodes permettant la corrélation des changements sur le plan de contrôle à une dégradation de performance. Si l'on observe que certaines actions des opérateurs sur le plan de contrôle sont préjudiciables pour les performances, le doctorant proposera des techniques efficaces de maintenance de réseaux qui sont exemptes de ces problèmes dans un contexte multi-chemins.

Il est probable que les protocoles de routages multi-chemins soient plus robustes aux changements topologiques que les solutions mono-chemin. Que ce soit sur des graphes logiques et physiques, certaines propriétés caractéristiques du multi-chemins, au niveau du routage interne ou pour iBGP (comme par exemple la congruence entre la topologie iBGP et la topologie IP [7]), pourraient se révéler pertinentes. Un dernier objectif sera donc de déterminer un ensemble de telles propriétés.

## Références

- [1] C.Hopps, Analysis of an Equal-Cost Multi-Path Algorithm, RFC2992, 2000.
- [2] T.W.Chim, K.L.Yeung, and K.-S.Lui, "Traffic distribution over equal-cost-multi-paths", Computer Networks, vol. 49, no. 4, pp. 465–475, Nov. 2005
- [3] Z.Cao, Z.Wang & W.Zegura, "Performance of Hashing-Based Schemes for Internet Load Balancing", In IEEE INFOCOM, 2000
- [4] Timur Friedman, Brice Augustin and Renata Teixeira. Measuring multipath routing in the internet. In IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 19, issue 3, pp. 830-840, June 2011.
- [5] Cristel Pelsser, Luca Cittadini, Stefano Vissicchio and Randy Bush. "From Paris to Tokyo: On the Suitability of Ping to Measure Latency". In IMC'13: Proceedings of the 2013 Internet Measurement Conference, Barcelona, Spain, October 2013.
- [6] Stefano Vissicchio, Laurent Vanbever, Cristel Pelsser, Luca Cittadini, Pierre Francois and Olivier Bonaventure. "Improving Network Agility with Seamless BGP Reconfigurations." IEEE/ACM Transactions on Networking, June 2013.
- [7] T. Griffin and G. Wilfong, "On the correctness of iBGP configuration," in Proc. of ACM SIGCOMM, 2002.