



Mars 2013

Equipe Réseaux

Sujet de Thèse  
**Répartition de trafic collaborative  
pour le routage multichemins**

**Encadrement :**

Thomas NOËL ([noel@unistra.fr](mailto:noel@unistra.fr)),  
Jean-Jacques PANSIOT ([pansiot@unistra.fr](mailto:pansiot@unistra.fr)),  
Stéphane CATELOIN ([cateloin@unistra.fr](mailto:cateloin@unistra.fr)).

Laboratoire ICube – UMR 7357, CNRS – Université de Strasbourg  
Equipe Réseaux – <http://icube-reseaux.unistra.fr>

---

Le routage est l'une des clés qui permettent de maîtriser les ressources d'un réseau. Dans les réseaux IP actuels, le routage repose sur des algorithmes dont l'objectif est soit de trouver un unique meilleur chemin entre chaque paire de routeurs, soit sur plusieurs chemins de coûts identiques (ECMP, [1]). Plus généralement, on appelle algorithme de routage multichemins, un algorithme qui permet ainsi de trouver plusieurs routes entre deux points du réseau, quelles que soient les contraintes sur les coûts de ces chemins. De tels protocoles ont déjà été proposés dans la littérature ([2, 3, 4]). A l'échelle du routeur, le but est de proposer pour une destination donnée, non plus une interface de sortie mais plusieurs. La composition au saut par saut de ces alternatives permet d'obtenir une grande diversité de routes, distinctes ou non.

Les avantages du routage multichemins sont nombreux. D'une part, le fait de calculer plusieurs chemins de routage par anticipation permet de remédier rapidement aux pannes qui peuvent subvenir dans le réseau. Dans un contexte distribué, les routeurs peuvent prendre localement une décision de routage qui est de facto plus rapide qu'un nouveau calcul global des routes. D'autre part, les différents chemins peuvent être utilisés simultanément afin par exemple de profiter cumulativement de la bande passante disponible sur chacun d'entre eux. Il s'agit alors de décider de la répartition idéale du trafic sur les différentes routes disponibles. Pour cela, deux approches peuvent être envisagées. La première prend l'hypothèse qu'un élément central dispose de la totalité des informations de trafic : la répartition de trafic revient alors à optimiser une fonction objective (utilisation globale des ressources, bande passante totale, etc.). Cette vision a déjà fait l'objet de nombreux travaux. La seconde approche consiste à confier les décisions de routage à différents acteurs du réseau, ceux-ci étant amenés à collaborer afin de parvenir à une solution satisfaisante. C'est l'étude de solutions dans le cadre de cette dernière approche qui motive cette thèse.

Une fois que les routeurs ont sélectionné un ensemble d'interfaces utilisables pour commuter les paquets IP, la répartition de charge est un processus de décision qui peut reposer sur des indicateurs locaux, ou émanant d'autres routeurs.

La nature de ces indicateurs doit être adaptée selon le contexte où ils sont employés. En particulier, en ce qui concerne les réseaux sans-fil, la politique de partage peut privilégier la gestion d'énergie ou la connectivité de bout-en-bout. Les réseaux de capteurs peuvent également bénéficier de ces mécanismes. Dans le cadre des équipements mobiles multi-domiciliés, les performances et le coût d'utilisation des connexions disponibles imposent des contraintes supplémentaires. Par ailleurs, dans le cœur de réseau, on



pourra choisir de privilégier les ressources ou d'éviter les congestions. Des grandeurs relatives à la qualité de service peuvent également entrer en compte, par exemple en assignant des flux sensibles à des chemins respectant une ou plusieurs contraintes.

L'objectif principal de cette thèse est donc de s'intéresser à la collaboration entre routeurs, qui s'appuie sur un échange de messages. Ces messages peuvent être des avertissements en amont demandant par exemple une réduction du débit (« backpressure »), comme l'introduit Gojmerac dans [5]. On peut également imaginer qu'il s'agisse de messages autorisant l'admission de nouveaux flux (des pistes intéressantes sont développées dans la thèse d'Ammar, [6]), ou diffusant des informations liées à la condition du routeur (par exemple la qualité des liens radio, la position ou la vitesse d'un nœud mobile voire le niveau de sa batterie).

La nature qualitative ou quantitative des données échangées et leur présentation, les déclencheurs et le rythme de leur envoi, la conduite à tenir lors de leur réception sont autant de comportements à définir et à étudier. Le candidat s'efforcera d'évaluer les solutions qu'il propose, notamment à l'aide d'outils de simulation. Outre la qualité de la répartition, la convergence du protocole est un point crucial. Les analyses de performances devront déterminer si les solutions proposées évoluent constamment dans un état instable ou si au contraire elles tendent vers une solution idéale. Dans ce cas, la durée de convergence sera un indicateur important.

## Références

- [1] C.Hopps, *Analysis of an Equal-Cost Multi-Path Algorithm*, RFC 2992, 2000.
- [2] S.Vutukury, *Multipath routing mechanisms for traffic engineering and quality of service in the internet*, PhD thesis, University of California, Santa Cruz, 2001.
- [3] X.Yang and D.Wetherall, *Source selectable path diversity via routing deflections*, SIGCOMM'06, volume 36, pages 159-170, October 2006.
- [4] Pascal Mérindol, *Routage multichemins par interface d'entrée*. PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 2008.
- [5] I.Gojmerac, P.Reichl, L.Jansen, *Towards Low-complexity Internet Traffic Engineering: The Adaptive Multi-Path Algorithm*, Journal of Computer Networks, Vol. 52, No. 15, pp. 2894–2907, December 2008.
- [6] Doreid Ammar, *Plan de connaissance pour les réseaux sémantiques : application au contrôle d'admission*, PhD thesis, Université de Lyon, December 2012.