

# Title: Co-scheduling and Virtualization on Elastic Optical Networks.

**Advisers:** Rosa Figueiredo <[rosa.figueiredo@univ-avignon.fr](mailto:rosa.figueiredo@univ-avignon.fr)>  
Fen Zhou <[fen.zhou@univ-avignon.fr](mailto:fen.zhou@univ-avignon.fr)>

**Context.** Applications such as cloud computing and data center applications involve the processing of complex jobs consisting of several sibling tasks executing on heterogeneous clusters of computing resources. Combining multiple physical networks into a single manageable entity is called Network Virtualization which appears as a promising technology in this context. By running multiple network services and experiments simultaneously on the same substrate network we can overcome the petrification of the computational system. Efficient network virtualization involves the solution of challenging optimization problems, such as, network embedding [1], resource allocation and co-scheduling [2]. Optimization methods such as integer programming and heuristic algorithms can be considered to address effectively these problems. Different technologies can be used to link computing resources (such as Virtual Machines and Spectrum resources). The solution of the optimization problems involved in Network Virtualization is highly sensible to the technology used. This internship position aims at tackling the co-scheduling problem in Elastic Optical Networks that connect data centers and clouds.

**Elastic Optical Networks.** Recent advances in optical orthogonal frequency division multiplexing (O-OFDM) technology have demonstrated efficient and elastic bandwidth allocation in the optical layer [3]. O-OFDM grooms the capacities of several contiguous narrow band sub-carrier frequency slots and achieves ultra-high-speed data transmission over them [3]. Since a bandwidth-variable O-OFDM transponder can adjust the number of sub-carrier slots and assign just-enough spectral resource to each connection request [3], people have tended to refer optical transport networks based on O-OFDM as spectrum-sliced Elastic Optical Networks (EONs) [4]. According to many foresights including Cisco Networking Index and Cisco Global Cloud Index, the most voluminous traffic in the future Internet will be video as well as cloud computing data traffic. The elastic and highly scalable bandwidth provisioning of EON architectures is considered one of technological pillars for building cost-efficient cloud and data center networks [5].

**Co-scheduling.** An important challenge in Network Virtualization is to efficiently schedule both the computing and networking resources. Co-scheduling is the principle for concurrent systems of scheduling sibling tasks defining related processes to run on different processors at the same time. In a static system (where a fixed set of jobs is previously defined) the basic strategy of co-scheduling is to assign jobs to virtual machines in a way that the *makespan* is minimized. *Makespan* refers to the time between the start of a job set and the finishing of the last job in this set. In a dynamic system (where the jobs arrive in a random manner) the basic strategy is to minimize the *job blocking*. This internship position aims at tackling both the static and dynamic versions of the co-scheduling problem in Elastic Optical Networks. The co-scheduling problem has been largely investigated on the literature. However, to the extend of our knowledge, only one work has considered this problem in EONs [6].

**Expected Work.** The starting point of this internship will be the study of the solution approaches proposed in [6]. The student will also investigate a number of formulations and heuristics proposed in the literature for classical scheduling problems [2]. This will inspire us to develop new ad-hoc solution approaches for the problems being treated.

## References.

- [1] A. Fischer, J. F. Botero, M. T. Beck, H. de Meer, X. Hesselbach. Virtual Network Embedding: A Survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials 15(4): 1888-1906 (2013).
- [2] C. N. Potts, V. A. Strusevich. Fifty years of scheduling: a survey of milestones. Journal of the Operational Research Society 60, S41-S68, (2009).
- [3] M. Jinno, B. Kozicki, H. Takara, A. Watanabe, Y. Sone, T. Tanaka, and A. Hirano, "Distance-adaptive spectrumresource allocation in spectrum-sliced elastic optical path network," IEEE Commun. Mag., vol. 48, no. 8, pp. 138-145, Aug. 2010.
- [4] J. Armstrong, "OFDM for optical communications," J. Lightwave Technol., vol. 27, pp. 189-204, Feb. 2009.
- [5] O. Gerstel et al., "Elastic optical networking: A new dawn for the optical layer?" IEEE Comm. Mag., vol. 50, no. 2, pp. 12-20, 2012
- [6] Jingxin Wu, Juzi Zhao, S. Subramaniam. Co-scheduling computational and networking resources in elastic optical networks. ICC 2014: 3307-3312, (2014).

# Titre: Ordonnancement et Virtualisation dans les réseaux optiques étendus.

**Advisers:** Rosa Figueiredo <[rosa.figueiredo@univ-avignon.fr](mailto:rosa.figueiredo@univ-avignon.fr)>  
Fen Zhou <[fen.zhou@univ-avignon.fr](mailto:fen.zhou@univ-avignon.fr)>

**Contexte.** La virtualisation des réseaux est l'un des sujets chaud du moment. Des applications telles que les applications de *cloud computing* impliquent le traitement des *jobs* complexes constitués de plusieurs tâches inter dépendants qui exécutent sur des *clusters* hétérogènes de ressources informatiques. La combinaison de plusieurs réseaux physiques en une seule entité gérable est appelé la Virtualisation des Réseaux. Cette technique apparaît comme une technologie prometteuse : en exécutant plusieurs services de réseau et/ou plusieurs expériences simultanément sur le même *substrate network* nous pouvons surmonter la pétrification d'un système de calcul. La virtualisation efficace d'un réseau implique la solution efficace de certains problèmes d'optimisation difficiles, comme, *network embedding* [1], *resource allocation* et le co-ordonnancement [2]. Des méthodes d'optimisation tels que la programmation linéaire en nombre entiers et les heuristiques peuvent être considérées pour traiter efficacement ces problèmes. Différentes technologies sont disponibles pour connecter les ressources informatiques (tels que les machines virtuelles et les ressources spectrales). La solution des problèmes d'optimisation impliqués dans la virtualisation d'un réseaux est fortement dépendant de la technologie utilisée. Cette proposition de stage vise à étudier le problème de co-ordonnancement dans les réseaux optiques élastiques qui relient les centres de données et les *clouds*.

**Réseaux Optiques Etendus.** Les progrès récents de la technologie en *optical orthogonal frequency division multiplexing* (O-OFDM) ont démontré allocation de bande passante efficace et élastique dans la couche optique [3]. L'O-OFDM agrège les capacités de plusieurs sous-porteuses contiguës afin de réaliser la transmission de données ultra-haute vitesse sur eux [3]. Nous appelons les réseaux de transport optiques basés sur l'O-OFDM comme les réseaux optiques élastiques (EONs) [4], car le transpondeur O-OFDM avec bande passante variable permet d'ajuster le nombre de sous-porteuses et allouer juste assez ressource spectrale à chaque communication [3]. Selon les prévisions de trafic d'Internet de CISCO (*Cisco Networking Index* et *Cisco Global Cloud Index*), le trafic le plus volumineux dans l'Internet du futur sera la vidéo ainsi que le trafic de données de nuages (*cloud computing*). Grâce au approvisionnement flexible de la bande passante, le réseau optique élastique est considéré comme l'un des piliers technologiques peu coûteux pour construire des réseaux de *clouds* et des réseaux de centres de données [5].

**Co-ordonnocement.** Un défi important dans la virtualisation des réseaux est l'ordonnancement efficace de ses ressources physiques et logiques. Co-ordonnancement est le principe, pour les systèmes concurrents, d'affecter les tâches définissant l'ensemble de processus qui seront exécutés en parallèle à un ensemble des machines virtuelles disponibles. Dans un système statique (dans lequel un ensemble fixe de *jobs* est définie précédemment) la stratégie par défaut de co-ordonnancement est d'attribuer les *jobs* aux machines de façon que le *makespan* soit minimisé. Le *makespan* se réfère au temps entre le début d'exécution d'un ensemble de *jobs* et la finition du dernier *job* de cet ensemble. Dans un système dynamique (dans lequel les *jobs* sont inconnues et arrivent de manière aléatoire) la stratégie par défaut est de minimiser le blocage d'un *job*. Cette position de stage vise à étudier les versions statiques et dynamiques du problème de co-ordonnancement dans les réseaux optiques élastiques étendus. Le problème de co-ordonnancement a été largement étudié dans la littérature. Cependant, à notre connaissance, un seul travail a examiné ce problème dans les EONs [6].

**Travail Demané.** Le point de départ de ce stage sera l'étude des méthodes approchées proposées dans [6]. L'étudiant devra également étudier un certain nombre de formulations et heuristiques proposées dans la littérature pour les problèmes d'ordonnancement classiques [2]. Cela va nous guider dans le développement des nouvelles méthodes de solutions pour les problèmes traités.

## References.

- [1] A. Fischer, J. F. Botero, M. T. Beck, H. de Meer, X. Hesselbach. Virtual Network Embedding: A Survey. IEEE Communications Surveys and Tutorials 15(4): 1888-1906 (2013).
- [2] C. N. Potts, V. A. Strusevich. Fifty years of scheduling: a survey of milestones. Journal of the Operational Research Society 60, S41-S68, (2009).

- [3] M. Jinno, B. Kozicki, H. Takara, A. Watanabe, Y. Sone, T. Tanaka, and A. Hirano, "Distance-adaptive spectrumresource allocation in spectrum-sliced elastic optical path network," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 8, pp. 138-145, Aug. 2010.
- [4] J. Armstrong, "OFDM for optical communications," *J. Lightwave Technol.*, vol. 27, pp. 189-204, Feb. 2009.
- [5] O. Gerstel et al., "Elastic optical networking: A new dawn for the optical layer?" *IEEE Comm. Mag.*, vol. 50, no. 2, pp. 12-20, 2012
- [6] Jingxin Wu, Juzi Zhao, S. Subramaniam. Co-scheduling computational and networking resources in elastic optical networks. *ICC 2014: 3307-3312*, (2014).