

# Construction de tranches de Réseau pour l'IoT en utilisant le SDN pour adapter de façon autonome et dynamique le protocole de routage RPL

Gladys Diaz, Khaled Boussetta

Equipe Réseaux – L2TI – Intitut Galilée - USPN

Emails: {gladys.diaz, khaled.boussetta}@univ-paris13.fr

## Contexte

L'internet des objets (IoT) se développe et évolue rapidement, avec des milliards d'appareils connectés à l'internet et générant des quantités massives de données. L'IoT est ainsi un catalyseur pour de nombreux domaines d'application dans la 5G, tels que les villes intelligentes, l'automobile, la santé, les transports et l'automatisation industrielle, chacun ayant des exigences diverses en matière de performances et de services. L'infrastructure réseau sous-jacente doit ainsi répondre à une variété d'exigences différentes en matière de fonctionnalités et de performances.

Ainsi pour satisfaire les exigences hétérogènes en matière de qualité de service pour les différents scénarios d'application de l'IoT, l'architecture de la 5G s'appuie sur un écosystème de technologie novatrices. Nommément, Le SDN (Software Defined Network), la virtualisation des fonctions du réseau (NFV – Network Function virtualization), le MEC (Multi-access Edge Computing) et le découpage du réseau en tranches (network slicing) sont quelques-unes des technologies prédominantes.

Le *Network Slicing* (Tranches de Réseau) permet de découper le réseau physique en plusieurs réseaux virtuels. Chaque réseau virtuel est défini de façon logicielle afin de satisfaire les critères de performance (énergie, mobilité, vitesse, sécurité, zone de couverture, etc.) associés à chaque application IoT [1]. Les tranches de réseau peuvent être créées et déployées à la demande grâce à l'orchestration et le chaînage des fonctions (NFVs-Virtualized Network Fonctions). Cette orchestration doit tenir compte des ressources de l'infrastructure réseau sous-jacente. Celles-ci sont fortement limitées sur les nœuds bas niveau de l'IoT, notamment sur les terminaux mobiles ou les capteurs sans fil.

Dans ce contexte la mise en réseau définie par logiciel (SDN) offre une nouvelle approche permettant une gestion et un contrôle centralisés (et donc optimisés) des ressources du réseau. L'intégration de l'IoT avec le SDN pourrait potentiellement améliorer les performances, l'évolutivité et la sécurité du réseau.

## Problématique scientifique

Nous considérons une architecture IoT multi-niveaux. Le niveau le plus bas est composé d'un réseau de capteurs sans fil. Ce dernier utilise le protocole de routage multi-sauts RPL (*Routing Protocol for Lossy Low-power Networks* (RPL) [2]) pour acheminer le trafic de données vers une passerelle. Celle-ci assure la connexion Internet du réseau de capteurs vers un serveur de traitement local, appelé Edge. Ce dernier est en charge d'un certain nombre d'opérations permettant de réduire et de sécuriser le trafic qui est relayé vers le cloud. Le dernier niveau étant celui des terminaux des utilisateurs du trafic IoT généré.

Nous considérons un environnement hétérogène constitué de divers types de capteurs. Certains peuvent collecter des données de façon périodique. C'est par exemple le cas de capteurs météorologiques (température, humidité). D'autres capteurs peuvent générer des données de façon asynchrone. Ces données sont produites suite au déclenchement de certains événements (e.g. alerte, détection d'un mouvement) ou lorsqu'un capteur est requêté.

Lorsque l'architecture IoT intègre au niveau le plus bas, un réseau de capteurs sans fil, l'acheminement des données entre capteurs en mode multi-sauts vers la passerelle Internet peut s'appuyer sur des routes construites grâce au protocole RPL. Ce dernier est standardisé par l'IETF pour tenir compte des capacités limitées des nœuds IoT en réduisant la fréquence d'envoi des messages de signalisation dès lors que la topologie est stabilisée. Toutefois ce protocole, n'a pas été conçu pour optimiser la signalisation en tenant compte des spécificités du trafic supporté. Notamment lorsque celui-ci est hautement variable dans le temps et dans l'espace.

Cette adaptation pourrait être apportée grâce au Software-Defined Networking (SDN) [3]. Avec ce paradigme la fonctionnalité de contrôle est virtualisée. Cela permet une reconfiguration rapide du réseau en réponse aux exigences dynamiques des applications. Cependant, l'application du modèle SDN dans l'IoT soulève d'importants verrous en raison des ressources (traitement et communication) limitées des nœuds IoT. L'adéquation du SDN avec l'IoT pose encore de nombreuses questions, surtout au niveau du déploiement du contrôleur et quant au protocole d'échange entre les dispositifs IoT et le contrôleur SDN. Le Protocol Openflow, standard pour ce niveau d'échanges, n'a pas été initialement conçu pour certains usages de l'IoT (connectivité sans fil, mobilité). Toutefois, depuis peu, des extensions de développement comment à être proposées [4].

Concernant le protocole de routage RPL, la temporalité des messages de signalisation reste sensible au changement de topologie (e.g. mobilité des nœuds ou variation de la qualité des liens radio) mais n'est pas dépendante au trafic de données. Dès lors, lorsque le trafic de données est sporadique et asynchrone, les messages de signalisation RPL induisent une surcharge énergétique qui devrait être minimisée.

## Objectifs

Nous analysons dans cette thèse les besoins des applications IoT et ses modèles de trafic pour définir une caractérisation des contextes applicatifs et des systèmes de communication les supportant. Nous allons nous intéresser en particulier à l'adaptation de la fonction de routage.

L'idée est de pouvoir caractériser (au niveau service) les Network slices (tranches de réseaux) à déployer selon les besoins des applications et services (besoins en QoS) et basés sur des scénarios d'applications réseau significatifs dans l'IoT, ainsi que leurs interactions avec la technologie 5G, les communications M2M, Fog et le Cloud. Les technologies SDN, NFV seront à étudier pour proposer une solution architecturale, des protocoles et des mécanismes de déploiement des network slices.

Concernant la fonction de routage, la mise en place d'une dynamique dans le calcul de routes en tenant en compte la gestion des ressources et de l'énergie, de la mobilité des objets connectés et la garantie d'une connectivité transparente et omniprésente, sont d'autres verrous scientifiques à lever dans cette thèse.

En outre, l'introduction du SDN pour l'IoT est à ce jour vu à travers des deux implémentations SDN open-source pour les réseaux maillés IoT de faible puissance. A savoir,  $\mu$ SDN[5] et SDN-WISE [6][7]. Ces implémentations adoptent chacune une approche différente par rapport au déploiement du contrôleur SDN. L'évaluation des performances de ces deux implémentations et la comparaison avec du RPL natif seront considérés dans notre étude.

Ainsi un des objectifs majeurs de la thèse sera d'étudier via une recherche guidée par l'expérimentation l'apport du paradigme SDN pour adapter la signalisation du protocole RPL à la dynamique du trafic généré par les capteurs. La finalité étant de réduire la consommation énergétique des capteurs et de prolonger la durée de vie du réseau. La mobilité des capteurs sera introduite dans un deuxième temps. La caractérisation du trafic pourrait ainsi être exprimée à travers des contraintes différentes : connectivité, mobilité, énergie, etc. chaque contrainte venant à caractériser un network slice spécifique.

## Méthodologie

Une architecture Fog IoT visant à fédérer des capteurs hétérogènes est actuellement en cours de définition au sein de l'équipe réseau L2TI. L'objectif de cette thèse est d'étendre cette architecture en y ajoutant des fonctions de control (SDN) pour la mise en place d'un routage dynamique (NFV).

Cette thèse débutera par l'étude de l'existant en se concentrant principalement sur les mécanismes à intégrer : SDN, NFV, 5G et Network Slicing appliqués au contexte IoT. L'objectif de cette première phase est d'étudier l'intégration de ces mécanismes dans les plateformes IoT afin de proposer un modèle d'architecture répondant aux normes et schémas les plus développés dans la littérature.

Ensuite nous allons nous intéresser plus spécifiquement à la fonction de routage RPL, et sa caractérisation en fonction des besoins des trafics réellement générés par les applications IoT. La proposition des mécanismes de configuration autonome et dynamique des paramètres du protocole de routage RPL s'attaquera à la fois aux questions de signalisation protocolaires (pour la mise en pratique) mais aussi à la problématique du choix optimal et dynamique des paramètres qui impactent de façon significative les performances de RPL. Ce dimensionnement optimal, autonome et dynamique des paramètres pourrait être traité grâce à des heuristiques, tel que les méthodes bio-inspirées.

Enfin, l'évaluation de performance du mécanisme résultant pourraient être évaluées à l'aide d'un simulateur de réseau, tel que Cooja ou OMNET++. Aussi, un prototype de l'architecture IoT Fog pourrait être développé comme preuve de concept.

## Références

- [1] S. Wijethilaka and M. Liyanage, "Realizing Internet of Things with Network Slicing: Opportunities and Challenges," *2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCNC49032.2021.9369637.
- [2] Kharrufa, H. A. A. Al-Kashoash and A. H. Kemp, *RPL-Based Routing Protocols in IoT Applications: A Review*, in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 15, pp. 5952-5967, 1 Aug.1, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2910881.
- [3] Singh, S., Jha, R.K. *A Survey on Software Defined Networking: Architecture for Next Generation Network*. *J Netw Syst Manage* 25, 321-374 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10922-016-9393-9>
- [4] N. Xue, J. Zhang, Z. Li, X. Hong, H. Tang and X. Huang, "SFIOT: Software-Defined Function for the IoT," *2022 IEEE 23rd International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, Belfast, United Kingdom, 2022, pp. 20-30, doi: 10.1109/WoWMoM54355.2022.00018.
- [5] L. F. da Silva Santos, F. F. de Mendonça Júnior and K. L. Dias,  *$\mu$ SDN: An SDN-Based Routing Architecture for Wireless Sensor Networks*, 2017 VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC), Curitiba, PR, Brazil, 2017, pp. 63-70, doi: 10.1109/SBESC.2017.15.
- [6] L. Galluccio, S. Milardo, G. Morabito and S. Palazzo, *SDN-WISE: Design, prototyping and experimentation of a stateful SDN solution for Wireless Sensor networks*, 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), Hong Kong, China, 2015, pp. 513-521, doi: 10.1109/INFOCOM.2015.7218418.
- [7] M. Kulkarni, M. Baddeley and I. Haque, *Embedded vs. External Controllers in Software-Defined IoT Networks*, 2021 IEEE 7th International Conference on Network Softwarization (NetSoft), Tokyo, Japan, 2021, pp. 298-302, doi: 10.1109/NetSoft51509.2021.9492688.