

Sujet thèse 2023 encadré par Michael DAVID – William DERIGENT

## « Reconfiguration dynamique par simulation d'un réseau évolutif d'objets communicants (sous contraintes de service et d'énergie) »

Mots clés : Jumeau Numérique, Internet of Things (IoT), Contrôle de réseau, Efficacité énergétique, Simulation en ligne, Multi-Agent System, Software Defined Network

### Contexte

Les progrès dans la miniaturisation des systèmes micro-électroniques, couplés à ceux dans le domaine des réseaux embarqués, permettent de concevoir à courte échéance des objets « intelligents » dont la matière intrinsèque forme elle-même un réseau d'éléments communicants. Un objet ou un ensemble d'objets de ce type permettent ainsi d'exploiter toutes les promesses de l'internet des objets (IoT). La reconfiguration dynamique (par fusion ou désagrégation) du réseau formé par de tels objets nécessite de **définir un système de contrôle adapté ayant comme objectif de minimiser la consommation énergétique de ces objets et de maximiser la durée de vie des objets tout en garantissant leurs services respectifs de collecte d'informations.**

### Problématique

Classiquement, un réseau d'éléments communicants se modélise par un graphe connexe  $G = (N, L)$  où  $N$  représente l'ensemble des sommets (nœuds) du graphe et  $L$  est l'ensemble des liens non orientés utilisables entre les nœuds. L'utilisation de techniques de récupération d'énergie ainsi que l'élaboration de protocoles de communication sobres ou efficaces en énergie permettent de limiter la consommation et de prolonger la durée de vie d'un réseau fixe d'objets communicants [Rault 2015 ; ...]. De même, diverses stratégies décentralisées d'organisation du réseau ont été proposées afin d'optimiser énergétiquement la collecte de données [Delgado 2014]. Généralement la remise en cause de la structure de communication est initiée localement par les nœuds du réseau. L'ambition est ici de « piloter la collecte d'informations » et donc sa structure par un contrôleur externe selon les principes de « l'edge-computing » et du paradigme « Software Defined Networking ». A travers ce travail, il s'agit de **prolonger l'optimisation en boucle ouverte de la partie physique, par une simulation en ligne dans l'espace digital permettant de décider de réorganiser ou non la partie physique.** La modélisation des processus de décision pourra se faire en appliquant des travaux concernant le pilotage des systèmes manufacturiers [Miradamadi 2009], qui utilisent très souvent la notion de **Systèmes Multi-Agents** [Hoang 2012].

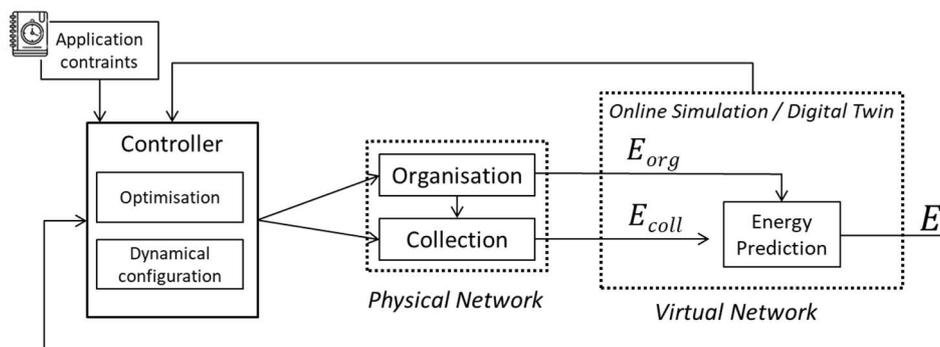


Figure 1 Thesis problematics overview

La simulation doit permettre de prédire le futur énergétique des objets selon la structure de communication actuelle et doit permettre d'envisager une remise en cause de cette structure en testant continuellement d'autres solutions candidates. Parce-que l'objet peut changer de contexte (changement de phase de cycle de vie et donc de service, rencontre d'un ou plusieurs autres objets, ou bien parce-que certains nœuds ont peu ou n'ont plus d'énergie), il sera nécessaire de mettre à jour la structure de communication et donc de procéder de nouveau à la phase d'organisation. Ainsi, 2 périodes distinctes sont à considérer pour la vie du réseau d'objets (voir fig. 1) :

- une période de collecte pendant laquelle le réseau remonte cycliquement les données jusqu'à un nœud collecteur en vue d'un traitement externe (soit  $E_{col}$ , l'énergie consommée lors d'une phase de collecte). Cette phase sera réitérée jusqu'à ce que le contrôleur décide de réorganiser le WSN.
- une période d'organisation pendant laquelle on établit une nouvelle structure définie par la simulation en ligne (soit  $E_{org}$ , l'énergie consommée lors de la phase d'application de la nouvelle organisation)

Ainsi, **concevoir le « middleware » générique permettant le monitoring d'un réseau évolutif d'objets communicants est le principal défi de cette thèse.** Les sous-problématiques suivantes devront être étudiées (liste non exhaustive) :

- a. représenter le jumeau digital et simuler un réseau d'objets communicants,**
- b. définir et modéliser le contrôle d'un réseau fixe basé sur la simulation en ligne,**
- c. piloter la collecte de données d'un réseau évolutif de façon optimale.**

Le principal champ d'application de ces travaux sera les systèmes de production et logistiques dans le domaine soit manufacturier soit de la construction. Ce travail pourra être appliqué au concept de « matière communicante » (MC) développé depuis plusieurs années au CRAN [Kubler 2012, Mekki 2016, Wan&al. 2020]. Au travers du projet ANR McBIM (Matière Communicante pour le BIM), piloté par le CRAN, l'optimisation de la collecte physique de données a été étudiée dans les travaux du LAAS [Loubet&al. 2018] et du CRAN [Wan&al. 2019 ; Wan&al. 2020], en ne prenant pas en compte l'aspect "services".

## Références

- Delgado C. (2014), « Organisation-based co-ordination of wireless sensor networks », University of Barcelone, 2014.
- Hoang T. (2012), « Un modèle multi-agent récursif générique pour simplifier la supervision de systèmes complexes artificiels décentralisés », Université de Grenoble, Grenoble, France, 2012.
- Kubler, S. (2012) " Premiers travaux relatifs au concept de matière communicante : Processus de dissémination des informations relatives au produit ", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine
- Loubet G., Takacs A. and Dragomirescu D. (2018) "Wirelessly Powered Networks: Algorithms, Applications and Technologies, Towards the Design of Wireless Communicating Reinforced Concrete," IEEE Access, vol. 6, pp. 75002-75014. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8546738>
- McBIM ANR project, site web : [mcbim.cran.univ-lorraine.fr](http://mcbim.cran.univ-lorraine.fr)
- Mekki, K. (2016) " Gestion de l'information embarquée dans des matériaux communicants à l'aide de protocoles de réseaux de capteurs ", Thèse de Doctorat, Université de Lorraine
- Mirdamadi, S. (2009) *Modélisation du processus de pilotage d'un atelier en temps réel à l'aide de la simulation en ligne couplée à l'exécution.* PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2009
- Rault, T. (2015) *Energy-efficiency in wireless sensor networks.* Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01470489>.
- Wan H., David M., & Derigent W. (2019). "A Holonic Manufacturing Approach Applied to Communicate Concrete: Concept and First Development" Int. Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing (pp. 414-425).
- Hang Wan, Michaël David, William Derigent. Energy-efficient chain-based data gathering applied to communicating concrete. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2020, 16 (8), pp.1-25. [10.1177/1550147720939028](https://doi.org/10.1177/1550147720939028). [hal-02949492](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02949492)
- Hang Wan (2021). Communicating materials : modeling and management of energy consumption. PhD Thesis of Université de Lorraine [NNT : 2021LORR0131](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-2021LORR0131). [tel-03395856](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03395856)