

**Titre : : Conception et Expérimentations pour une Interopérabilité Réseau dans l'Internet des Objets**

Directeur(s) de Thèse : Thomas Noel (PR 27), co-encadrement Fabrice Theoleyre (CR CNRS 7), Julien Montavont (MCF 27)

Unité(s) d'Accueil(s) : LSIIT – UMR 7005 : Equipe Réseaux et Protocoles.

Établissement de rattachement : Université de Strasbourg

Collaboration(s) (s'il y a lieu) :

Rattachement à un programme (s'il y a lieu) :

Résumé (1500 caractères au maximum) :

Les réseaux de capteurs-actionneurs représentent selon nous la clé de voûte du développement durable : rendre l'environnement intelligent constitue une condition sine qua non pour que le système prenne une bonne décision de façon autonome.

Nous proposons dans cette thèse d'étudier comment utiliser le protocole standard d'Internet IPv6 jusque dans le capteur-actionneur. Cette interopérabilité constitue selon nous un pré requis au déploiement à large échelle des réseaux de capteurs. Pourtant cette approche est encore peu traitée alors que les enjeux financiers sont majeurs.

Cette thèse s'articulera autour de 2 grands axes de recherche. Le premier étudiera comment IPv6 peut être adapté aux réseaux de capteurs actionneurs, et faire que plusieurs *bulles* de capteurs puissent communiquer de façon transparente. Par ailleurs, nous souhaitons proposer une solution s'affranchissant de la couche MAC pour tirer pleinement parti des avancées technologiques dans l'économie d'énergie. Nous souhaitons également réduire les problèmes de perte de richesse dans la sémantique des protocoles actuels.

Dans un deuxième temps, nous étudierons comment rendre ces réseaux mobiles. En effet, un individu se déplaçant avec des capteurs-actionneurs doit pouvoir s'intégrer dans un bâtiment ou un environnement intelligent. Cette problématique a rarement été abordée et pose de nombreux défis tant protocolaires qu'algorithmiques.

Nous nous appuyerons sur la plate-forme Senslab, permettant d'expérimenter à large échelle les solutions, confrontées au réel. La mobilité de certains capteurs représentent un axe important dans notre étude et sera intégré à la plate-forme. Nous pensons que les solutions développées durant cette thèse fourniront le standard dans l'Internet des objets mobiles.

Descriptif du sujet (en complément, au format WORD impérativement)

## **Sujet de thèse : Conception et Expérimentations pour une Interopérabilité Réseau dans l'Internet des Objets**

**Le nom et le numéro de l'école doctorale** : Mathématiques, Sciences de l'Information et de l'Ingénieur  
– MS2I – ED n° 269

**Le nom et label de l'unité de recherche** : LSIT – UMR 7005 : Equipe Réseaux et Protocoles.

**La localisation** : Illkirch (Sud de Strasbourg)

**Le nom du directeur de thèse et du co-directeur s'il y a lieu** : Thomas Noel (PR 27<sup>ème</sup> section) , co-encadrement Fabrice Theoleyre (CR CNRS), Julien Montavont (MCF 27)

**L'adresse courriel du contact scientifique** : [noel@lsiit.u-strasbg.fr](mailto:noel@lsiit.u-strasbg.fr) , [Theoleyre@unistra.fr](mailto:Theoleyre@unistra.fr), [montavont@unistra.fr](mailto:montavont@unistra.fr)

**Le titre de la thèse** : Conception et Expérimentations pour une Interopérabilité Réseau dans l'Internet des Objets

**Le titre de la thèse en anglais** : Conception & Experimentations for Interoperable Networks in Internet of Things

### **La description du projet :**

Les réseaux radio de capteurs connaissent actuellement un engouement et sont promis à une grande variété d'applications, allant de l'habitat intelligent au contrôle-commande industriel. Ils permettent de déployer un grand nombre de capteurs ou d'actionneurs, peu coûteux unitairement, mais distribuant l'intelligence dans l'environnement.

Nous pensons que ce type de réseau est une des clés de voûte du **développement durable**. En effet, obtenir un environnement intelligent constitue une condition sine qua non pour prendre de bonnes décisions. Ainsi, un **appartement intelligent** ajustera son système de chauffage en fonction de la présence de ses occupants et de la température de chaque pièce. De même, une **collectivité territoriale** permettra d'optimiser le ramassage des conteneurs à recyclage selon leur taux de remplissage connu en temps réel, ajustera son système d'éclairage publique, surveillera en continu la qualité de l'air avec un réseau de mesure dense. Par ailleurs, les réseaux de capteurs-actionneurs permettront de rendre aussi des immeubles entiers intelligent : les pompiers sauront localiser les départs de feu et où se trouvent les personnes encore présentes dans le bâtiment.

De nombreux travaux ont déjà été menés afin de proposer de nouveaux protocoles adaptés aux contraintes de l'embarqué (e.g. faibles réserves d'énergie, faible capacité de calcul et de mémoire). Nous avons déjà proposé dans [rousseau09] les paradigmes de communication dans les réseaux de capteurs, étendant le principe de l'abonné / souscripteur. Cependant, il reste maintenant à concevoir des réseaux de capteurs-actionneurs **inter-opérables** et fonctionnant en symbiose les uns avec les autres.

Nous proposons donc à travers cette thèse d'adopter une démarche radicalement différente, résolvant le problème en menant une approche à la fois expérimentale (utilisation de la plate-

forme à large échelle Senslab) et plus théorique (en proposant de nouveaux algorithmes distribués auto-stabilisants). Nous proposons d'étudier comment unifier tous ces réseaux de capteurs-actionneurs qui sont encore **segmentés et isolés**.

Nous proposons dans cette thèse de s'intéresser au cœur de l'Internet des objets :

1. Étendre le protocole IPv6 pour qu'il soit opérationnel et efficace jusque dans le capteur;
2. Prendre en compte efficacement des réseaux de capteurs mobiles;

### **Concevoir un IPv6 jusque dans le capteur**

Nous sommes convaincus que les capteurs actionneurs doivent parler le même langage qu'Internet afin d'offrir un accès standardisé aux données. Ainsi, le groupe de travail IETF [6lowpan] travaille sur l'adaptation d'IPv6 afin qu'il fonctionne sur des réseaux de type IEEE 802.15.4. De même, le groupe [roll] propose d'adopter un protocole de routage commun pour les réseaux de capteurs avec pertes de paquets importantes.

Nous proposons de lever les verrous encore présents dans les approches proposées par ces groupes de travail.

Nous souhaitons notamment étudier comment IPv6 peut être adapté pour fonctionner sur **toute** couche MAC. En effet, se restreindre à IEEE 802.15.4 nous paraît inopportun : il fonctionne actuellement mal en multisaut et d'autres protocoles permettent de mieux optimiser la consommation d'énergie.

Par ailleurs, [6lowpan] propose une compression des en-têtes qui rend de facto obligatoire une **conversion des en-têtes par une passerelle**. Cette conversion nuit à la richesse des données puisqu'elle détruit une partie des informations. Cette approche est-elle vraiment judicieuse ? Un protocole de bout-en-bout ne serait-il pas plus opportun ? Quelle est la meilleure manière de traduire ces données ? Et où placer cette traduction dans le réseau ?

Nous souhaitons également étendre les travaux existants afin de rendre plusieurs bulles de capteurs-actionneurs interopérables. En effet, la compression des en-têtes dans [6lowpan] ne permet pas à deux bulles radio multisaut de communiquer l'une avec l'autre directement. Les approches actuelles **segmentent les réseaux**, contrairement à la philosophie **fédératrice du tout IP**. Comment introduire une sémantique dans le protocole pour autoriser de telles communications tout en limitant l'overhead ? Les approches de compression, à la croisée entre [nemo] et les zones d'OLSR pourraient représenter une piste de recherche intéressante.

### **Rendre les réseaux de capteurs mobiles**

La communauté s'est intéressée à étendre IP afin qu'il fonctionne dans un contexte de mobilité. Ainsi, Mobile IP a été standardisé afin de rendre IP compatible avec le nomadisme. D'autres propositions comme Cellular IP ou Hawaii permettent de gérer la micro mobilité, lorsqu'une station se déplace d'un point d'accès à un autre.

Nous souhaitons étendre ce concept aux réseaux de capteurs-actionneurs : comment intégrer des capteurs-actionneurs mobiles dans cet Internet des objets ? Ainsi, il est évident que nous devons par exemple intégrer des nœuds mobiles, portés par les individus se déplaçant dans un bâtiment intelligent. Comment de tels réseaux (BANET) peuvent-ils être intégrés dans un réseau qui par définition présente des contraintes fortes ? Mobile IPv6, trop lourd en terme protocolaire, n'est pas un candidat opportun.

Nous pensons qu'il est nécessaire de scinder cette mobilité en deux fonctions gérées conjointement : la macro mobilité gérant les déplacements inter-bulles de capteurs tandis que la micro-mobilité se focaliserait sur la mobilité intra-bulle. Ainsi, la micro mobilité doit être gérée au sein du réseau de capteurs en adaptant le protocole de routage (pour la stabilité) mais

également MAC (e.g. un PAN coordinateur mobile n'est actuellement pas possible dans un réseau IEEE 802.15.4).

Les protocoles proposés devront donc être distribués (pour la robustesse aux fautes) et auto-stabilisant (pour converger vers un état stable même en situation de mobilité).

## Références

[6lowpan] 6lowpan working group, (IPv6 over Low Power WPAN), IETF, <http://www.ietf.org/dyn/wg/charter/6lowpan-charter.html>

[nemo] nemo working group, (Network Mobility), IETF, <http://www.ietf.org/wg/concluded/nemo>

[roll] ROLL working group (Routing over Low Power Lossy Networks), IETF, <http://www.ietf.org/dyn/wg/charter/roll-charter.html>

[rousseau09] O.Alphand, A.Duda, M.Heusse, B.Ponsard, F.Rousseau, F.Theoleyre, « Towards the Future Internet of Sensors », Tyrrhenian (International Workshop on Digital Communications), Pula, Sardinia (Italy), September 2009

## Les connaissances et compétences requises :

Le candidat devra avoir de solides compétences en réseaux. La connaissance des technologies de communications sans fil, ainsi que des environnements embarqués de type capteurs ou autres, sera particulièrement appréciée