

Sujet de thèse :

## Optimisation du lien radio par rétrodiffusion entre objets communicants passifs

---

**Établissement d'inscription :** Université Lyon 1 / Ecole Centrale Lyon / INSA LYON

**École doctorale :** ED 160 EEA de Lyon

**Unité de recherche :** Laboratoire Ampère, UMR CNRS 5500

**Financement :** Contrat doctoral établissement

**Directeur de thèse :** Yvan Duroc

---

### Domaine et contexte scientifiques :

Avec l'émergence de l'internet des objets (IoT), les objets connectés deviennent omniprésents. Outre les enjeux applicatifs, les défis techniques qui y sont associés sont multiples. Il s'agit non seulement de garantir les meilleures performances possibles en termes de fiabilité, de portée, et de durée de vie mais aussi de prendre en compte des impératifs écologiques comme la limitation des ondes électromagnétiques rayonnées et la consommation énergétique des dispositifs. Le concept de communication par rétrodiffusion ambiante s'appuie sur des sources RF déjà présentes pour établir des communications sans fil, et dans un même temps, exploite ces mêmes sources RF (voire d'autres) comme source d'énergie pour auto-alimenter les circuits actifs : l'énergie électromagnétique déjà présente dans l'environnement est recyclée et les dispositifs communicants déployés sont zéro-énergie. La technologie d'identification par radio fréquence (RFID), l'une des solutions de l'IoT, utilise déjà la technique de rétro-modulation. Le concept de communication tag à tag a récemment été proposé mais il n'existe pas encore d'applications commerciales du fait de ses limitations.

### Mots-clefs :

Communication tag-to-tag, optimisation énergie-information, RFID passive, internet des objets, communications zéro-énergie.

## **Objectifs de la thèse :**

L'objectif général de la thèse est d'étudier les paramètres d'optimisation du lien radio basé sur une rétrodiffusion entre objets communicants purement passifs ; en première approche, entre seulement deux objets, mais le « réseau » pourra être étendu à un nombre d'objets quelconques. Plus précisément, l'objectif est de quantifier les limites théoriques de performance, par exemple en termes de profondeur de modulation du signal d'information ou de taux d'erreur binaire, pour un scénario donné prenant en compte le contexte applicatif (nature et localisation de la source RF ambiante, distance et couplage entre les tags) et les performances de détection du récepteur passif. Un second objectif sera d'identifier une application « emblématique » pour le concept de communication tag à tag, et de réaliser un démonstrateur associé ; les pistes envisagées visent des aspects sécurité qui consisteraient à valider / vérifier / détromper un assemblage ou une association entre objets.

## **Verrous scientifiques :**

Les communications tag à tag sont principalement limitées par une distance de communication entre les objets qui reste limitée à quelques centimètres : le couplage entre les antennes des tags, les impédances de commutation formant le signal modulé, les circuits passifs de détection de l'information sont des aspects variés qu'il est nécessaire d'explorer pour identifier les solutions les plus optimales possibles. De plus, nos travaux récents ont aussi montré que la position de la source RF externe (par exemple un lecteur RFID ou une source ambiante), même supposée idéale c'est-à-dire émettant des signaux sinusoïdaux non modulés, avait un impact très important sur la performance et pouvait dégrader fortement le lien tag à tag. Un second facteur limitant est la flexibilité de la communication tag à tag lorsqu'elle s'appuie sur une source ambiante. En effet, les signaux RF émis ne sont plus « idéaux » et répondent aux schémas de modulation propre de la technologie de communication pour lesquels ils sont utilisés : outre les niveaux de puissance, la forme des signaux, leur occupation spectrale sont des paramètres variables qui auront un impact sur la communication tag à tag.

## **Contributions originales attendues :**

- Analyse théorique des performances de communication tag à tag avec identification et définition de métriques de performances.
- Développement d'un cadre de simulation hybride (intégrant aspects électromagnétique et circuit) permettant de tester les solutions envisagées et de définir des bornes théoriques de performance.
- Conception de récepteurs RF passifs et d'antennes couplées.
- Réalisation d'un démonstrateur.

## **Programme de recherche et démarche scientifique proposée :**

Etape 1. La thèse démarrera par un traditionnel état de l'art avec comme thème centraux : modulation par rétro-modulation, RFID passive, récepteurs radio (dont rectennas). En parallèle, le doctorant consolidera ses connaissances dans le domaine de la simulation et de la mesure en prenant en main les outils déjà développés et mis à sa disposition.

Etape 2. La 2ème étape consistera à développer le cadre théorique et le cadre de simulation associé pour proposer et évaluer les solutions mises en place. Les outils développés devront être suffisamment généraux et flexibles de sorte à permettre d'intégrer des paramètres différents sous forme de briques modulables sous forme fonctionnelle (idéale) ou sous forme réaliste : antennes couplées, récepteurs non cohérents, nature des impédances de charge, signaux mis en jeu ... pourront ainsi être étudiés de façon indépendante pour permettre dans un premier temps de valider les résultats obtenus, évaluer les solutions proposées (nouveaux schémas de fonctionnement et circuits associés). Dans un second temps, il sera alors possible de mixer les solutions envisagées. Par exemple, un récepteur avec une partie active offrira probablement de meilleures performances de détection mais il faudra garantir qu'elle puisse être auto-alimentée et cela dépendra de l'ensemble de la configuration envisagée (circuits et signaux).

Etape 3. En parallèle à l'étape 2, il s'agira de valider expérimentalement les résultats théoriques et de simulation obtenus de chacune des briques conçues. Des prototypes spécifiques simplifiés seront donc réalisés et fabriqués au fur et à mesure de l'avancement pour valider par étape les solutions envisagées.

Etape 4. Enfin un démonstrateur complet sera réalisé, avec pour objectif de développer le concept démontré en contexte applicatif industriel et ainsi de donner suite à la thèse. Les perspectives envisagées dans cette 4ème étape seront donc orientées en fonction des discussions avec les contacts industriels qui auront été démarchés et qui se montreraient intéressés par les premières preuves de concept.

## **Références bibliographiques sur le sujet de thèse :**

S. Kim, C. Mariotti, F. Alimenti, P. Mezzanote, A. Georgiadis, A. Collado, L. Roselli, M.M. Tentzeris, "No battery required: perpetual RFID-enabled wireless sensors for cognitive intelligence applications," IEEE Microwave Magazine, vol. 14, no. 5, pp. 66-77, July-August 2013.

B.S. Cook, R. Vyas, S. Kim, T. Thai, T. Le, A. Traill, H. Aubert, M.M. Tentzeris, "RFID-based sensors for zero-power autonomous wireless sensor networks," IEEE Sensors Journal, vol. 14, no. 8, pp. 2431-2419, August 2014.

C. Occhiuzzi, G. Marrocco, "Constrained-design of passive RFID sensor antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, no. 6, pp. 2972-2980, June 2013.

R. Colella, L. Tarricone, L. Catarinucci, "SPARTACUS: self-powered augmented RFID tag for autonomous computing and ubiquitous sensing," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 5, pp. 2272-2281, May 2015.

P.V. Nikitin, S. Ramamurthy, R. Martinez, K.V.S. Rao, "Passive tag-to-tag communication," in Proc. IEEE International Conference on RFID, Orlando, US, April 2012.

V. Liu, A. Parks, V. Talla, S. Gollakota, D. Wetherall, J.R. Smith, "Ambient backscatter: wireless communication out of thin air," In Proc. ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM, August 2013.

L. Zhou, F. Hutu, G. Villemaud, Y. Duroc, "Simulation framework for performance evaluation of passive RFID tag-to-tag communication," European Conference on Antennas and Propagation, France, April 19-24, 2017.

T. Lassouaoui, F. Hutu, Y. Duroc, G. Villemaud, "Performance evaluation of passive tag to tag communications," IEEE Access, early access, 2022.

**Profil du candidat recherché (prérequis) :**

Ingénieur ou titulaire d'un master à dominante électronique avec des compétences en micro-ondes, radiocommunications et traitement du signal et une bonne maîtrise de l'anglais.

**Compétences qui seront développées au cours du doctorat :**

Expert de haut niveau dans le domaine des micro-ondes et du traitement du signal

Modélisation, simulation et conception de circuits / composants et systèmes RF

Maîtrise de logiciels professionnels et spécialisés tels que ADS, CST, HFSS, Matlab

Expérience en instrumentation et mesures dans le domaine RF.

**Candidature :**

Envoyer un CV, une lettre de motivation et les relevés de notes (licence, master 1, 1<sup>er</sup> semestre master 2 ou équivalent (école d'ingénieurs). Une à deux lettres de recommandation dans le dossier seront appréciées.

courriel : [yvan.duroc@univ-lyon1.fr](mailto:yvan.duroc@univ-lyon1.fr)