



Ecole Centrale de Lyon - INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1

Laboratoire Ampère

Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Electrique, Electromagnétisme, Automatique, Microbiologie environnementale
et Applications

Application du retournement temporel à la technologie d'identification par radiofréquences

Time Reversal applied in Radio Frequency Identification - T2RFID

Etablissement d'inscription : Ecole Centrale de Lyon

Ecole doctorale : ED 160 EEA de Lyon

Intitulé du doctorat : Électronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser

Laboratoire : Ampère, UMR CNRS 5005

Département(s) concerné(s) : MIS - EE

Priorité principale : équipe Focus

Domaine scientifique principal : Systèmes radiofréquences

Domaines scientifiques secondaires : Electronique, Traitement du signal, Transmission d'énergie sans fil

Mots clés : antenne, focalisation, rectenna, retournement temporel, rétro-modulation, radio par impulsions, RFID, signaux large bande, transmission d'énergie sans fil.

Directeurs de thèse et comité d'encadrement

Directeurs de thèse : Christian Voltaire (10%), PU ECL, et Yvan Duroc (30%), PU UCBL

Comité d'encadrement : Julien Huillery (30%), MCU ECL
Arnaud Bréard (30%), MCU ECL

Note : nous proposons un comité d'encadrement constitué de quatre enseignants-chercheurs dont l'expertise complémentaire est indispensable pour mener à bien le projet proposé et assurer un encadrement de qualité. Les spécialités respectives dans le cadre du projet sont les suivantes :

- Christian Voltaire : récupération d'énergie, électromagnétisme
- Yvan Duroc : RFID, micro-ondes, signal appliqué, récupération d'énergie
- Julien Huillery : Retournement temporel, traitement du signal,
- Arnaud Bréard : Retournement temporel, micro-ondes, plateforme d'essais et caractérisation RF

Contexte Scientifique :

La **RFID** (Radio Frequency Identification, identification par radiofréquence), aujourd'hui standardisée et largement déployée pour des applications comme la logistique, le contrôle d'accès et la traçabilité, connaît une (r)évolution avec notamment l'émergence de l'Internet des Objets. Forte de ses avantages inhérents, identification unitaire et télé-alimentation, la RFID est en train de se doter de nouvelles capacités avec des tags dits augmentés, tag-capteurs-actionneurs capables de communiquer entre eux et de s'adapter à leur environnement. L'intégration de ces nouvelles fonctionnalités (bien au-delà de la seule identification) nécessite de nouvelles approches que ce soit en termes de capture et traitement des informations, transfert des données, transfert d'énergie sans fil ou encore sécurité.

Le **retournement temporel** est une technique de focalisation des ondes initialement introduite et démontrée dans le domaine de l'acoustique ultrasonore. Elle trouve depuis peu des applications dans le domaine de l'électromagnétisme et notamment pour la transmission d'énergie sans fil dans des environnements intérieurs ou à travers des milieux complexes.

L'idée de coupler retournement temporel et RFID n'a jamais été explorée (à notre connaissance) et semble prometteuse pour envisager à la fois de meilleures performances et de nouvelles fonctionnalités.



Ecole Centrale de Lyon - INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1

Laboratoire Ampère

Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Electrique, Electromagnétisme, Automatique, Microbiologie environnementale
et Applications

Objectif de la thèse, verrous scientifiques et contribution originale attendue :

Objectifs de la thèse

L'objectif général de la thèse est d'appliquer le principe du retournement temporel en RFID UHF afin dans un premier temps d'améliorer les performances en termes de lien RF entre lecteur et tag (incluant transfert des données et transfert d'énergie) et dans un second temps de proposer de nouvelles fonctionnalités par exemple, en termes de capture de données et/ou d'authentification.

Verrous scientifiques

Le sujet de thèse proposé s'inscrit au niveau de l'état de l'art à la fois sur l'axe RFID et l'axe transmission d'énergie sans fil par retournement temporel. Il propose une association jamais encore explorée qui présenterait une avancée scientifique significative dans les deux domaines et ouvrirait aussi des perspectives nouvelles pour le déploiement de l'Internet des Objets et plus généralement les futurs réseaux intelligents de communications et de captures d'information.

A ce jour, seuls quelques travaux associant RFID et technologie Ultra Large Bande en couplant le principe de rétro-modulation et la radio par impulsions ont été réalisés à des fins de localisation [1, 2] ou dans le cas de la RFID dite « chipless » [3]. Néanmoins l'utilisation de signaux impulsionnels pour la RFID traditionnelle constitue un changement de paradigme qui nécessite de revisiter l'ensemble des éléments constitutifs d'un système RFID : protocole de communication, antenne et circuit redresseur du tag, puce du tag et forme des signaux transmis par le lecteur. La thèse proposée adresse ce premier verrou scientifique et vise à explorer de façon expérimentale et théorique la possibilité et le potentiel de l'utilisation de signaux impulsionnels en RFID. Le second verrou scientifique auquel s'adresse la thèse est la complexité du milieu séparant le lecteur et le tag qui, avec les technologies actuelles basées sur l'utilisation d'ondes continues, impose des distances de lecture réduites [4]. Cette thèse se propose d'apporter une preuve de concept de l'utilisation du retournement temporel pour une communication RFID en milieu de propagation complexe. Cette démonstration faite, de nombreuses applications nouvelles sont envisageables.

Contributions originales attendues

- Mise en place d'un protocole de communication s'appuyant sur les contraintes du standard (EPC Gen2, ISO 18000-6C) et intégrant l'usage de signaux impulsionnels.
- Preuve de concept et démonstration expérimentale d'une communication RFID par retournement temporel.
- Analyse théorique de la transmission d'énergie par retournement temporel dans le cadre de la RFID ; définitions de métriques de performances et détermination des bornes théoriques ; comparaison avec le lien RFID du standard.
- Design d'antennes de tags spécifiques avec éventuels circuits de rectification associés et/ou capteurs.

Valorisation en termes de publications visées

- 1 à 2 revues internationales
- 2 conférences internationales et 2 conférences nationales
- 1 chapitre de livre



Ecole Centrale de Lyon - INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1

Laboratoire Ampère

Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Electrique, Electromagnétisme, Automatique, Microbiologie environnementale
et Applications

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Etape 1

La thèse démarrera par un traditionnel état de l'art sur les deux dominantes : transmission d'énergie sans fil par retournement temporel et RFID. En parallèle, le doctorant prendra en main la plateforme d'expérimentation RF en réalisant des expériences liées aux deux dominantes de façon indépendante (expertise déjà présente au niveau du comité d'encadrement [5-11]).

Etape 2

La 2^{ème} étape consistera à définir les approches possibles permettant d'obtenir une information rétro-modulée par le tag lorsque des impulsions sont transmises au niveau du lecteur. Cette étape constitue un prérequis indispensable à l'utilisation du retournement temporel (étape 3). Il s'agira d'imaginer des scénarios expérimentaux et de les évaluer aussi bien en pratique que théoriquement.

Dans un premier temps, l'objectif sera d'activer le tag en passant par le schéma classique du protocole standard pour ensuite évaluer la capacité du tag à retourner par « backscattering » un signal impulsionnel transmis par le lecteur. Dans un second temps, l'interrogation du tag elle-même sera réalisée par un train d'impulsions.

Dans les deux cas, le principal risque à évaluer sera lié à la durée d'activation du tag qui peut s'avérer insuffisant pour déclencher sa réponse. Plusieurs solutions pourront alors être mises en place, étudiées et comparées : mise en forme et nature des signaux utilisés (par exemple émission simultanée d'une onde continue et d'un train d'impulsions et possibilité de jouer sur la période du train d'impulsions d'une part et sur la largeur des impulsions d'autre part), utilisation de différents tags RFID conventionnels (passif, semi-passif ou assisté par batterie), conception de tags spécifiques (antenne optimisée selon les signaux utilisés, ajout d'un circuit récupérateur d'énergie spécifique aux signaux impulsionnels ...). La capacité à détecter l'information rétro-modulée et la possibilité d'activer le tag seront aussi évaluées pour chacun des cas envisagés.

Etape 3

La 3^{ème} étape aura pour objet de réaliser une première expérience de retournement temporel en RFID. Deux scénarios seront envisagés selon le lien radio privilégié : interrogation (lecteur → tag) ou rétro-modulation (lecteur → tag → lecteur).

D'un point de vue pratique, les tags utilisés ou conçus dans l'étape précédente seront utilisés et le protocole sera étendu au cas du retournement temporel avec ses deux phases de fonctionnement (phase initiale d'apprentissage du milieu et phase de transmission d'énergie).

D'un point de vue théorique l'analyse de la transmission d'énergie, très spécifiques en RFID comparés aux liens radio traditionnels, sera menée afin de quantifier l'apport énergétique du retournement temporel en RFID.

Etape 4

Les trois premières étapes réalisées constitueraient en soi une avancée très significative dans le domaine. En fonction de l'avancement, plusieurs perspectives pourront être envisagées. En premier lieu, il pourra s'agir de démontrer le gain obtenu en termes de distance de lecture notamment en environnement de type chaotique ou intérieur. La conception d'un tag augmenté intégrant un ou plusieurs capteurs sans amoindrir ses performances initiales pourra aussi être envisagée. De nouveaux paradigmes en RFID pourront aussi être envisagés tels qu'un protocole d'activation basée sur une zone de lecture liée à la focalisation d'énergie, une authentification géographique du tag, de nouvelles approches pour la localisation en RFID... 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 4^{ème} étape seront orientées en fonction des discussions avec les contacts industriels qui auront été démarchés et qui se montreraient intéressés par les premières preuves de concept.



Ecole Centrale de Lyon - INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1

Laboratoire Ampère

Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005

Génie Electrique, Electromagnétisme, Automatique, Microbiologie environnementale
et Applications

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 développées au cours de la thèse et perspective professionnelle :

Compétences acquises pendant la thèse :

Expertise de haut niveau dans le domaine des micro-ondes et du traitement du signal
Modélisation et conception de circuits / composants / systèmes radiofréquences (RF)
Maîtrise de logiciels tels que : ADS, CST, HFSS, Matlab
Mise en place de banc de mesures en RF

Débouchés :

Chercheur ; enseignant / chercheur ; ingénieur R&D en RF et/ou traitement du signal

Bibliographie sur le sujet de thèse :

- [1] D. Dardari, R. D'Errico, C. Roblin, A. Sibille and M. Z. Win, "Ultrawide Bandwidth RFID: The Next Generation?," *Proceedings of the IEEE*, 98(9), 1570-1582, September. 2010.
- [2] D. Dardari, N. Decarli, A. Guerra and F. Guidi, "The future of ultra-wideband localization in RFID," *IEEE International Conference on RFID*, Orlando, FL, 2016, pp. 1-7.
- [3] S. Tedjini, N. Karmakar, E. Perret, A. Vena, R. Koswatta, R. E-Azim, "Hold the chips : chipless technology, an alternative technique for RFID," *IEEE Microwave Magazine*, 14(5), 56-65, July-August 2013.
- [4] A. J. S. Boaventura and N. Carvalho, "Extending reading range of commercial RFID readers," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61(1), 633-640, January 2013.
- [5] Y. Duroc, "Ultra-wideband antenna arrays: systems with transfer function and impulse response," *Progress In Electromagnetics Research M Journal*, 34, 117-123, January 2014.
- [6] G. Andia Vera, Y. Duroc, S. Tedjini, "Third harmonic exploitation in passive UHF RFID," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 63(9), 2991-3004, September 2015.
- [7] D. Allane, Y. Duroc, G. Andia Vera, R. Touhami, S. Tedjini, "On energy harvesting for augmented tags," *Comptes Rendus Physique, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 18(2), 86-97, February, 2017.
- [8] H. El Matbouly, K. Zannas, Y. Duroc, S. Tedjini, "Analysis and assessments of time delay constrains for RFID tag-sensor communication link," *IEEE Sensors Journal* (accepted), 2017.
- [9] R. Ibrahim, B. Allard, A. Breard, J. Huillery, C. Voltaire, D. Voyer, Y. Zaatari, "Wireless transmission of electromagnetic energy based on a time reversal approach for indoor applications", *The 36th PIERS*, Prague, Czech Republic, 6-9 July, 2015.
- [10] R. Ibrahim, D. Voyer, A. Bréard, M. El Zoghbi, J. Huillery, C. Voltaire, B. Allard, Y. Zaatari, "Time reversed pulse waves study for wireless energy transmission in a low Q cavity," *Third International Conference on Electrical, Electronics, Computer Engineering and their Applications (EECEA)*, 2016.
- [11] R. Ibrahim, D. Voyer, A. Bréard, J. Huillery, C. Voltaire, B. Allard, Y. Zaatari, "Experiments of Time-Reversed Pulse Waves for Wireless Power Transmission in an Indoor Environment," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 64(7), 2159-2170, 2016.