

# Sujet de thèse CIFRE

## Caractérisation, modélisation et fiabilisation du lien multi-fréquentiels appliqué à un système de contrôle d'accès « mains libres »

### *Durée*

Octobre 2011 – Octobre 2014

### *Encadrants*

#### Industriels

- Karim Ben Dhia, Adveez, [k.bendhia@adveez.com](mailto:k.bendhia@adveez.com).
- Guillaume Lavergne, [g.lavergne@adveez.com](mailto:g.lavergne@adveez.com).

#### Académiques

- Alexandre Boyer, LAAS-CNRS, [alexandre.boyer@laas.fr](mailto:alexandre.boyer@laas.fr)
- Sonia Ben Dhia, LAAS-CNRS, [sonia.ben.dhia@laas.fr](mailto:sonia.ben.dhia@laas.fr)

### *Domaines de compétences concernés par le sujet*

Electronique, radiofréquences, électromagnétisme, antennes, compatibilité électromagnétique, modèles de propagation des ondes électromagnétiques, simulation électromagnétique, mesures de champ, cryptage.

### *Contexte*

La société ADVEEZ est une « startup » toulousaine qui développe des systèmes innovants « mains libres » de contrôle d'accès passif pour des bâtiments (résidentiels et non résidentiels), utilisant des liaisons sécurisées sans fil radiofréquences (RF) sur les bandes ISM (315, 433 et 866 MHz) et basse fréquence (LF) (125 KHz). Les fondateurs de ADVEEZ sont issus du monde de l'automobile (CONTINENTAL automotive). La société ADVEEZ est actuellement accompagnée dans son développement par l'incubateur de Midi Pyrénées et a obtenu un prix au concours national d'entreprises de technologies innovantes 2011.

Les systèmes d'accès « mains libres » ont été développés pour le secteur automobile [1] [2], leur application dans d'autres domaines tels que les bureaux, les résidences, laboratoires, ... reste cependant marginale. La société ADVEEZ s'est donc fixée comme objectif de développer une offre compétitive répondant à une demande réelle des marchés du contrôle d'accès actuellement en pleine croissance, cette compétitivité repose sur des systèmes vendus au bon prix, faciles à installer et surtout **d'une grande fiabilité**.

La fiabilité de l'application (le taux de réussite de la localisation et de l'identification des badges dans une zone déterminée) est liée à la qualité des liens LF et RF, directement influencée par les propriétés du canal radioélectrique, des caractéristiques de l'émetteur et du récepteur, des interférences électromagnétiques et des configurations architecturales de chaque bâtiment.

L'installation des produits ADVEEZ sera réalisée par des électriciens. Afin de garantir un niveau de fiabilité proche du 100% et anticiper les configurations matérielles et logicielles nécessaires, il est crucial de pouvoir prédire les performances du système pour un environnement, une configuration et un niveau d'interférences donné (concrètement arriver à dimensionner les antennes, les emplacements des modules de détection pour une configuration de bâtiment donnée, implémenter la couche logicielle permettant de lutter efficacement contre les collisions et garantir un niveau de consommation électrique faible). Afin de répondre à cette problématique, ADVEEZ s'est associé au LAAS-CNRS, avec une équipe dont les travaux portent sur l'étude de la compatibilité électromagnétique des systèmes électroniques et la prédiction de leur tolérance aux interférences électromagnétiques.

## **Objectifs**

L'objectif de la thèse est de proposer des méthodes de modélisation et de simulation des liaisons LF et RF afin de les dimensionner, déterminer leurs portées et configurer les solutions matérielles et logicielles permettant de les fiabiliser (optimiser le taux de réussite de l'identification du badge). Les méthodes proposées doivent prendre en compte les effets parasites de l'environnement d'installation sur la propagation des ondes électromagnétiques [3], les risques posés par les interférences électromagnétiques créées par les autres lecteurs et badges [4], le bruit ambiant [5] et la coexistence avec d'autres systèmes de communication sans fil [6]. En outre, l'optimisation du taux de réussite doit se faire en respectant les autres contraintes de l'application (telles que la consommation énergétique faible « éventuellement sur pile », l'industrialisation, le coût de développement et d'installation).

Le but de cette thèse est donc double :

1. Proposition d'une méthode de modélisation et de simulation électromagnétique de la liaison LF. Deux enjeux sont associés à la liaison LF. D'abord, le couplage entre l'antenne émettrice et réceptrice doit être optimisé pour assurer une détection du badge à au moins 4 m. Ensuite, l'application de contrôle d'accès requiert la localisation du badge dans le bâtiment. Une des retombées de la thèse sera de proposer une solution innovante de localisation du badge à partir d'une seule antenne et qui se concrétisera par un dépôt de brevet (actuellement la société a déposé une enveloppe SOLO). Ce premier objectif est principalement lié à la modélisation électrique et électromagnétique des antennes de la liaison LF afin de déterminer les performances en terme de portée et de sélectionner le meilleur dimensionnement des antennes (choix d'antennes, polarisation, adaptation, placement d'antennes) pour assurer une localisation précise.
2. Proposition d'une méthode de modélisation et de simulation électromagnétique de la liaison RF. La propagation des ondes

électromagnétiques de la bande UHF est très fortement influencée par son environnement (obstacles, objets diffractants, nature des matériaux, ...), qui peut entraîner des variations rapides et aléatoires (fading) de la puissance reçue [7] [8]. Sans prise en compte de ces effets, la couverture et le taux de réussite d'identification des badges ne peuvent pas être correctement prédits. En outre, la liaison RF peut être perturbée par la présence d'autres badges ou d'interférences électromagnétiques, qui vont aussi réduire la portée d'identification du badge et augmenter le taux d'échec d'identification du badge. Une méthode de prédiction et de simulation des conditions de propagation des ondes électromagnétiques en environnement « indoor » sur la bande UHF sera proposée pour répondre efficacement aux besoins de l'entreprise d'anticiper la couverture (de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres), la fiabilité de la liaison (liée aux conditions de propagation et aux risques d'interférences avec les autres systèmes de communication sans fil) et la configuration matérielle et logicielle.

Enfin, les différentes méthodes de modélisation et simulation proposées dans le cadre de cette thèse doivent aussi permettre de tester l'impact du passage à de nouvelles technologies de contrôle d'accès et à de nouveaux environnements (badge mains libre universel pour l'accès des personnes et des véhicules).

## ***Organisation et méthodologie des travaux de recherche***

Le travail de thèse est organisé en 4 parties.

### 1. Etat de l'art / Bibliographie

Recherche de publications et de brevets (en lien avec un cabinet de propriété industrielle Schmit-Chrétien qui assiste ADVEEZ dans la stratégie de protection de l'innovation) portant sur :

- Etude des antennes basses fréquences (techniques de conception et d'adaptation, méthodes d'extraction et de construction des modèles électriques, modélisation électromagnétique, effet des objets environnants sur le champ électromagnétique)
- Recherche des solutions existantes pour la localisation basées sur l'utilisation d'antennes LF
- Etat de l'art sur les modèles de propagation indoor sur la bande UHF, classification des différentes méthodes (déterministes, empiriques, stochastiques, méthodes de simulation numérique) et sélection des méthodes adaptées aux besoins de la thèse
- Identification des modèles et outils de simulation de performances de liens radio (prédiction du taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal à bruit), des paramètres des couches physiques et d'accès au médium influant sur la qualité du lien radiofréquence

- Etat de l'art sur les effets des interférences sur les systèmes de communication sans fil, les modèles associés et les techniques de réduction de leur influence (matérielle et logicielle)
- Etude des différentes méthodes de mesure et de caractérisation du canal radioélectrique (pertes de propagation, caractérisation des interférences)

## 2. Modélisation des antennes LF pour le dimensionnement de la liaison LF et la localisation des badges

Le but de cette partie est de fournir une méthode de modélisation électrique des antennes LF et de simulation du champ électromagnétique généré afin de sélectionner les antennes émettrices et réceptrices, optimiser l'adaptation, la polarisation (trouver le meilleur compromis entre la portée et la consommation électrique), le placement de l'antenne émettrice (réduire l'influence des objets environnants sur le rayonnement de l'antenne). La localisation du badge dans le bâtiment étant basée sur un contrôle du champ électromagnétique produit par l'antenne d'émission, la connaissance du modèle électrique et du comportement électromagnétique de l'antenne est indispensable. Les différentes étapes du travail sont les suivantes :

- a) Caractérisation électrique des différents modèles disponibles d'antennes LF d'émission et de réception (analyseur de réseau) afin d'extraire le modèle électrique équivalent, le facteur de qualité, optimiser l'adaptation de l'antenne et sélectionner le ou les meilleurs types d'antennes (en fonction des performances, des dimensions, du coût)
- b) Modélisation électromagnétique des antennes LF à partir d'un logiciel de simulation électromagnétique *full wave* (FEKO) et extraction d'un modèle analytique de rayonnement. Validation des modèles par mesures du diagramme de rayonnement des antennes et du champ électromagnétique en fonction de la distance et du courant de polarisation.
- c) Etude de l'effet des objets métalliques environnants sur les caractéristiques des antennes LF par simulation électromagnétique. Extraction de modèles analytiques simplifiés. Validation par des mesures terrain.
- d) Etude et sélection de la configuration matérielle de l'antenne émettrice LF permettant la localisation d'un badge dans un bâtiment (la sélection matérielle devra dans tous les cas tenir compte des contraintes d'industrialisation et de coût).

## 3. Prédiction des performances de la liaison RF en milieu *indoor* avec prise en compte des interférences électromagnétiques

Le but de cette partie est de fournir une méthode de prédiction de la fiabilité de la liaison RF (taux de réussite d'identification du badge), basée sur la modélisation des

pertes de propagation de l'onde électromagnétique en milieu *indoor* sur la bande UHF, sur l'augmentation du niveau de bruit liée aux interférences électromagnétiques, et la relation entre le rapport signal à bruit et le taux d'erreur. Selon le degré de complexité des méthodes à mettre en œuvre (mesures préliminaires, temps de calcul, nombre de paramètres, adaptation à une grande variété d'environnement) et de précision voulue, la méthodologie proposée pourra être basée soit sur une méthode empirique s'appuyant sur des données expérimentales, sur une simulation numérique ou sur une solution mixte. Les outils de modélisation et de simulation développés dans cette partie doivent permettre d'estimer la couverture de la liaison RF et de sélectionner la configuration matérielle et logicielle pour optimiser sa fiabilité. La méthodologie du travail à réaliser dans cette partie est la suivante :

- a) Extraction par mesures ou à partir des documentations techniques des propriétés des émetteurs et récepteurs de la liaison RF (antennes, puissance émise, sensibilité du récepteur, propriétés du signal transmis (modulation, débit, codage...), propriétés des couches physiques et d'accès au médium). Extraction par mesure d'une relation entre le rapport signal à bruit et le taux d'erreur d'identification du badge.
- b) Caractérisation par des mesures sur terrain des pertes de propagation dans plusieurs environnements de référence, afin de déterminer l'évolution des pertes en fonction de la distance, des obstacles, du nombre de cloison, des variations statistiques ... Comparaison des résultats de mesure aux données sur l'atténuation des ondes électromagnétiques en milieu indoor disponibles dans la littérature scientifique. Evaluation du type de modèle requis, des paramètres à calculer (atténuation, variation aléatoire de l'atténuation, dispersion temporelle si nécessaire).
- c) Modélisation du canal de propagation radioélectrique : développement de modèles et de flots de simulation du canal de propagation radioélectrique (modèles déterministes basées sur une simulation numérique (FEKO – géométrie optique et tracé de rayons) et/ou modèles semi-empiriques). Validation des modèles par la comparaison avec des mesures sur terrain de l'atténuation du signal émis. Etude de l'influence des paramètres du canal sur l'atténuation du signal radioélectrique (distance, présence d'obstacles, type de mur, position du badge, hauteur d'installation du récepteur ...)
- d) Effets des interférences électromagnétiques sur la fiabilité de la liaison RF : caractérisation par mesure du bruit ambiant typique dans différents types d'environnement (résidentiel, industriel, militaire), identification et caractérisation des sources d'interférences produites par les autres badges ou par d'autres systèmes de communication sans fil. Caractérisation expérimentale de l'effet des interférences sur la fiabilité de la liaison RF.
- e) Proposition de modèles d'environnements bruités de référence (seuil de bruit, probabilité de présence de signaux bloquants), modèle de canal bruité (bruit additif incluant l'effet du canal sur la propagation des interférences), évaluation de l'impact de la présence d'interférences sur l'augmentation du seuil de bruit.

f) Simulation de la qualité de la liaison RF : à partir des modèles du canal de propagation, des interférences, des émetteurs et récepteurs, développement d'un outil de simulation permettant de prédire la fiabilité de la liaison RF en terme de probabilité d'échec d'identification, en fonction de l'environnement d'installation, de la technologie employée, de la configuration d'installation d'antennes, du niveau d'interférences. Validation des résultats de simulation par des mesures sur terrain dans les différents environnements de référence.

#### 4. Retombées : Règles de dimensionnement du système et évolution technologique

Cette partie utilise les différents modèles et outils de prédiction développés dans les parties 2 et 3. Le but de cette partie est double :

- Fournir des guides de conception des étages LF/RF et d'installation matérielle du système afin de garantir un taux de réussite proche du 100%.
- Explorer les évolutions technologiques pour les systèmes «mains libres» et évaluer l'impact sur la fiabilité et le confort d'utilisation.

### ***Bibliographie***

[1] D. L. Almanza-Ojeda, A. Hernández-Gutiérrez, M. A. Ibarra-Manzano, « Design and implementation of a vehicular access control using RFID », MEP 2006, 7-11 November 2006, Guanajuato, Guanajuato, México.

[2] M. Brzeska, G. A. Chakam, « Modelling of the coverage range for modern vehicle access systems at low frequencies », Proceedings of 2007 European Microwave Conference, pp.771 – 774, 9-12 Oct. 2007.

[3] T. S. Rappaport, « Wireless Communications, Principles and Practice », 2nd edition, Prentice-Hall, ISBN 0-13-042232-0, 2002.

[4] D. Y. Kim, H. G. Yoon, B. J. Jang, J. G. Yook, « Effects of Reader-to-Reader Interference on the UHF RFID Interrogation Range », IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, No. 7, July 2009.

[5] F. Leferink, « Gaps in the Application of the EMC Directive Due to Inadequate Harmonized Product Standards », EMC Society Newsletter, No 226, 2010, pp. 26-31. ISSN 1089-0785.

[6] M. R. Souryal, D. R. Novotny, D. G. Kuester, J. R. Guerrieri, K. A. Remley, « Impact of RF Interference between a Passive RFID System and a Frequency Hopping Communications System in the 900 MHz ISM Band », IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility 2010, 25-30 July 2010, Fort Lauderdale, FL.

[7] H. Hashemi, « The Indoor Propagation Channel », Proceeding of the IEEE, Vol. 81, No. 7, July 1993

[8] M. Thiel, K. Sarabandi, « A Hybrid Method for Indoor Wave Propagation Modeling », IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 56, No. 8, August 2008