



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

Contrats doctoraux, campagne 2018 – ED 160 EEA de Lyon

MaSuRe : Etude des métamatériaux surffaciques résonants dans les systèmes du Génie Electrique

Etablissement d'inscription :

ECL

Intitulé du doctorat :

Génie Electrique

Unité de recherche :

Ampère, CNRS UMR5005

Départements et Priorités concernés :

MIS (Priorité M1) / EE (Priorité E2)

Directeur de thèse :

C. Voltaire

Encadrement scientifique :

A. Bréard : modélisation et applications CEM (première partie du travail)

C. Martin : composants intégrés pour réalisation expérimentale (réalisation démonstrateur)

C. Sartori (Professeur Associé, LMAG, São Paulo)

Résumé : Ce travail de doctorat est une contribution au projet USP/COFECUB « MaSuRe » (métamatériaux surfaciques résonants associés aux phénomènes inductifs, 2018-2021). Ces matériaux peuvent être caractérisés par une fréquence de résonance et un facteur de qualité intrinsèques (voire plusieurs couples fréquence / facteur de qualité). Partant d'une part de la validation expérimentale d'un modèle numérique efficace (mis en place en amont, dans le cadre du projet), fondé sur l'homogénéisation de ces métamatériaux, d'autre part de l'étude des limites technologiques de leur réalisabilité à grande échelle (champ des possibles dans le plan fréquence / facteur de qualité), l'objectif du travail est d'explorer l'intérêt de l'utilisation de ces métamatériaux dans les applications du Génie Electrique (en profitant de la souplesse des modèles numériques), et de proposer au moins une réalisation permettant de valider expérimentalement cette démarche de conception appuyée par la modélisation fine, et tenant lieu de « preuve de concept ».

Mots clés : métamatériaux surfacique, électromagnétisme, résonance, transfert inductif, CEM

Domaine et contexte scientifiques

Les boîtiers et structures portantes utilisées en électronique de puissance sont traditionnellement ou bien isolantes électriquement, et neutres par rapport aux champs électrique et magnétique générés par le dispositif, ou bien au contraire conducteurs électriques, avec effet de blindage électromagnétique. Des matériaux « artificiels » (métamatériaux), constitués d'un très grand nombre de cellules résonantes, par exemple réparties sur une surface, pourraient avoir des comportements différents suivant la fréquence des champs considérés, et/ou suivant une consigne imposée par une commande. Une application typique pourrait concerner le transfert sans contact d'énergie électrique par effet inductif, ce matériau remplaçant le bobinage supplémentaire souvent utilisé pour améliorer le transfert (idée originale due à Tesla).

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieurs

Cette thèse participe au [LIA Maxwell](#), et en particulier au projet [USP/Cofecub MaSuRe](#) (2018-2021).

Les collaborations seront étroites avec le LMAG (São Paulo) et le G2ELab (Grenoble).

Objectif de la thèse, verrous scientifiques et contribution originale attendue

Le projet MaSuRe est prévu pour 4 années avec la participation de trois laboratoires universitaires (Ampère à Lyon, LMAG à São Paulo et G2Elab à Grenoble), qui ont chacun des compétences en simulation numérique et en méthodes expérimentales pour l'électronique de puissance, la CEM, et (à Lyon et SP) le transfert d'énergie électrique sans contact.

Le projet MaSuRe doit permettre de mettre en évidence les domaines du GE dans lesquels l'utilisation de métamatériaux surfaciques résonants pourrait être économiquement réalisable, et techniquement plus pertinent que d'autres approches.

Ce travail de thèse sera l'une des contributions apportées à la réalisation de cet objectif très général.

La réalisation « artisanale » de prototype a été l'approche utilisée jusqu'ici. Cette méthode est peu efficace, parce que les prototypes, très figés, sont longs à construire et ne permettent donc pas d'explorer de grandes variétés de mises en œuvre.

L'idée du projet MaSuRe est de partir de la modélisation numérique de tels métamatériaux, ce qui doit permettre de déterminer de manière beaucoup plus souple les propriétés intrinsèques et les géométries à mettre en œuvre, qui pourraient apporter de véritables effets intéressants pour des applications pratiques. En parallèle, les possibilités de réaliser de manière « économiques » de grands réseaux résonants (via les techniques de l'électronique intégrée) seront analysées, ce qui réduira naturellement les propriétés intrinsèques « atteignables » en pratique de ces métamatériaux. In fine, on tentera de dégager quelques familles d'applications réalisables intéressantes, qui feront l'objet de réalisations pratiques (démonstrateurs de faisabilité).

La thèse proposée ici sera une contribution sur les années 2 à 4 du projet.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée

Ce doctorat est un apport au projet MaSuRe, dédié aux métamatériaux surfaciques résonants (aux fréquences inférieures à 100MHz). D'ici au démarrage de la thèse, une bonne partie des aspects théoriques liés à la modélisation des métamatériaux surfaciques visés devrait avoir été traitée.

Ce travail de thèse se situera donc à la jonction entre les deux phases du projet. Il s'agit :

- dans une première étape de tester et valider les modèles numériques (développés en amont de cette thèse), à partir d'expériences utilisant les structures surfaciques périodiques simples déjà réalisées.
- en partant du champ des propriétés intrinsèques réalisables, caractérisé dans une autre partie du projet, et en couplant le simulateur numérique validé avec ces données, il s'agira ensuite de définir 2 ou 3 applications possibles (par exemple pour la transmission d'énergie et pour le blindage adaptatif), et enfin de participer à la réalisation d'au moins un démonstrateur.

Financement de la thèse : Allocation doctorale de l'Etablissement d'inscription (ECL). Frais d'accompagnement : LIA Maxwell + financements complémentaires à solliciter pour 2020 (BQR, ANR, Fondation brésilienne, ...)

Profil du candidat recherché (prérequis)

Formation de type ingénieur, avec attrait pour le Génie Electrique, l'utilisation des outils de simulation/conception et l'expérimentation.

Compétences développées au cours de la thèse et perspective professionnelle

Le doctorant développera ses compétences en Génie Electrique, énergétique, électromagnétisme, conception système, en travail d'équipe et gestion de projet.

Les deux grands types de carrière (industrielle ou universitaire) sont envisageables, suivant les talents spécifiques du candidat, et l'orientation donnée aux travaux en cours de thèse.

Bibliographie sur le sujet de thèse

Article Wikipédia général sur le transfert inductif :

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Resonant_inductive_coupling

Sur la mise en œuvre d'un métamatériau surfacique pour le transfert inductif :

[2] S. Nishimura, J. de Almeida, C. Vollaie, C. Sartori, et al. "Enhancing the inductive coupling and efficiency of wireless power transmission system by using metamaterials". Momag, Brazil. pp.121-125, 2014. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01064690>

[3] F. Camilleri, M. Legrand : Optimisation du transfert d'énergie à l'aide de métamatériaux (sous la direction de C. Vollaie et A. Bréard). Projet d'application recherche, ECL, avril 2017