

PROPOSITION DE THESE

NOUVEAUX CONCEPTS D'ANTENNES RADIOFREQUENCES A SENSIBILITE OPTIMISEE POUR L'IRM ULTRA HAUT CHAMP

N° ADUM : 35570

https://www.adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?site=PSaclay&matricule_prop=35570#version

ENCADREMENT / LABORATOIRES :

Directeur de thèse : Jean-Christophe Ginefri, équipe « Développements méthodologiques et instrumentaux », Unité de recherche BIOMAPS, CEA/CNRS/Univ Paris Saclay

<http://www.biomaps.universite-paris-saclay.fr/>

Co-encadrant : Alexandre Vignaud, équipe « Méthodologie pour la recherche en imagerie clinique »

Unité de recherche BAOBAB , Institut Neurospin. CEA/Unive Paris Saclay

https://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/NeuroSpin.aspx

FINANCEMENT :

Ce projet a obtenu un financement du CEA (CFR-CEA 2021) dans le cadre de l'appel Technologie pour la Médecine du Futur. La rémunération mensuelle brute du doctorant est de 2043.54 € en 1ère et 2ème année et de 2104,62 € en 3ème année.

DESCRIPTION DU PROJET DOCTORAL :

Contexte :

Avec l'émergence des aimants « ultra-haut-champ », l'imagerie par résonance magnétique (IRM) offre des perspectives inédites, notamment pour la recherche en neurosciences. L'augmentation du champ magnétique permet d'améliorer le rapport signal sur bruit (RSB) et donc la résolution spatiale des images et d'atteindre typiquement 500µm pour le cerveau humain à 11,7T. Pour tirer pleinement parti des hauts champs et accéder ce niveau de résolution, il est indispensable de concevoir des détecteurs – i.e. des antennes radiofréquence – adaptés à ces valeurs de champ magnétique.

Ainsi, les systèmes d'imagerie modernes les plus performants utilisent des champs magnétiques très élevés (> 7T) et des réseaux d'antennes RF comportant un grand nombre d'antennes élémentaires associés à des systèmes de transmission multi-canaux. L'utilisation d'IRM ultra haut champ permet d'augmenter la quantité d'aimantation détectable, et l'utilisation de réseaux d'antennes permet de bénéficier d'une forte sensibilité de détection tout en accédant à un champ de vue élargi.

Toutefois, le développement de réseaux d'antennes à haute densité de parallélisme, comportant de plus en plus d'éléments pose de nombreux problèmes technologiques, qui constituent une limitation forte à l'amélioration des performances des réseaux actuels. Cette stratégie conduit en effet une complexité technologique accrue associée à une augmentation significative des coûts.

Objectifs :

Ce projet doctoral a pour objectif le développement d'antennes RF innovantes permettant de dépasser les limites de sensibilité actuelles en IRM à ultra-haut champ (7T et 11,7T) tout en réduisant les difficultés technologiques et les coûts. Les antennes RF développées dans ce projet exploiteront un nouveau concept récemment publié (Front. Phys. 2020. vol 7: article 237), les structures multi-boucles (MLC), qui sont constituées de petites boucles de courant associées en série. Ces structures présentent une haute sensibilité intrinsèque de par la taille réduite des boucles et couvrent un champ de vue étendu grâce à leur mise en série, permettant d'obtenir un gain en RSB comparé aux antennes classiques. Les MLC pourront remplacer les antennes élémentaires constituant les réseaux, comme par exemple dans les réseaux d'antennes tête, et ainsi lever les limites d'amélioration de leurs performances, mais aussi être utilisées en tant qu'antenne simple pour l'imagerie localisée de zones anatomiques peu étendues comme le cortex visuel.

Stratgies et axes de travail :

Pour atteindre ces objectifs, plusieurs stratgies seront poursuivies simultanément.

Nous étudierons différentes géométries de MLC dans le but d'uniformiser la sensibilité de détection et envisagerons en particulier le développement de MLC multi-couches permettant d'augmenter les degrés de liberté lors de la conception et de l'optimisation des performances.

Nous travaillerons au développement de versions monolithiques des MLC, basées sur le principe des résonateurs à lignes de transmission permettant de réduire le nombre de capacités discrètes, réduisant ainsi les pertes associées, mais permettant également de développer des antennes flexibles pouvant s'adapter au mieux aux reliefs de la zone observée.

Enfin, nous explorerons les possibilités d'intégrer des anneaux de blindage et des métasurfaces dans l'objectif de réduire la corrélation de bruit entre les boucles et permettre l'utilisation d'un plus grand nombre de boucles de tailles plus réduites pour augmenter plus encore la sensibilité de détection.

Le projet doctoral comportera trois volets distincts. Le premier concernera l'étude et l'optimisation par simulation électromagnétique 3D des géométries MLC envisagées au regard notamment de la fréquence de résonance visée et de la sensibilité de détection à la fois en termes d'amplitude et d'homogénéité. Les simulations seront également utilisées pour étudier et optimiser les anneaux de blindage et les métasurfaces qui seront intégrés aux MLC. Nous concevrons également les circuits électroniques nécessaires au conditionnement du signal RMN, notamment pour le découplage des antennes de détection pendant la phase d'émission.

  l'issue de la phase de conception, les MLC seront fabriquées et leurs performances seront caractérisées et optimisées sur banc de mesure. Cette optimisation visera en particulier l'ajustement fin de la fréquence de résonance et du découplage mutuel entre les MLC lorsque celles-ci sont utilisées en réseau. Cette étape permettra de quantifier la réduction des différents niveaux de bruit obtenue par ces nouvelles antennes ainsi que leur efficacité de couplage magnétique.

La dernière phase du projet évaluera les performances des antennes en IRM sur fantôme et in-vivo chez l'homme. Ces évaluations seront faites sur les imageurs 7 T et 11,7 T de Neurospin. Nous utiliserons les outils d'interfaçage dédiés pour la connexion aux imageurs et utiliserons les techniques de caractérisation spécifiques pour évaluer la sensibilité de détection obtenue, en termes de RSB, d'homogénéité et d'efficacité de découplage à l'émission.

Résultats attendus :

  l'issue de ce projet, nous disposerons de nouveaux systèmes de détection pour l'IRM ultra-haut champ avec une haute sensibilité permettant de visualiser in vivo des structures fines, jusqu'alors difficilement observables. La réussite de ce projet représente un enjeu important en technologie pour la santé, pour la recherche avancée en neuroimagerie fonctionnelle et neuroanatomie d'une part mais également, dans une perspective de transfert clinique à plus long terme, pour l'amélioration de la spécificité et l'utilité diagnostique de l'IRM ultra-haut-champ et des modalités de prise en charge en médecine personnalisée.

Ouverture internationale :

Dans le cadre de ce projet, une collaboration internationale avec le Center for Medical Physics and Biomedical Engineering de l'université médicale de Vienne en Autriche sera envisagée. Des séjours en Autriche seront de fait possibles. Ils permettront au doctorants d'appréhender la dimension internationale de la recherche scientifique, et de bénéficier des connaissances et compétences de l'équipe étrangère, avec le laboratoire Biomaps collabore de longue date.

Formation pour la recherche :

Ce projet permettra au doctorant d'acquérir des compétences fortes en instrumentation avancée pour l'IRM couvrant l'ensemble des aspects liés au développement d'antennes RF pour l'imagerie haut champ. Il maîtrisera à terme les outils de simulation électromagnétique 3D, saura concevoir et fabriquer des antennes radiofréquences complexes et connaîtra les méthodes de caractérisation de leurs performances en IRM et de leur validation in-vivo.

PHD THESIS OFFER

NEW CONCEPTS OF RADIOFREQUENCY COILS WITH OPTIMIZED SENSITIVITY FOR HIGH FIELD MRI

N^o ADUM : 35570

https://www.adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?site=PSaclay&matricule_prop=35570#version

SUPERVISION / LABORATORIES :

PhD supervisor : Jean-Christophe Ginefri,  quipe « Développements méthodologiques et instrumentaux », Unité de recherche BIOMAPS, CEA/CNRS/Univ Paris Saclay

<http://www.biomaps.universite-paris-saclay.fr/>

Co-Supervisor : Alexandre Vignaud,  quipe « Méthodologie pour la recherche en imagerie clinique »
Unité de recherche BAOBAB , Institut Neurospin. CEA/Unive Paris Saclay

https://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/NeuroSpin.aspx

FUNDING :

This project has been funded by the CEA (CFR-CEA 2021) within the framework of the call Technology for the Medicine of the Future. The gross monthly salary of the PhD student is 2043.54 Å in 1st and 2nd year and 2104.62 Å in 3rd year.

DOCTORAL PROJECT DESCRIPTION :

Context :

With the emergence of 'ultra-high field' magnets, magnetic resonance imaging (MRI) offers new perspectives, particularly for neuroscience research. Increasing the magnetic field improves the signal-to-noise ratio (SNR) and therefore the spatial resolution of the images, typically reaching 500 m for the human brain at 11.7T. To take full advantage of high fields and reach this level of resolution, it is essential to design detectors - i.e. radiofrequency coils- adapted to these magnetic field values.

Thus, the most efficient modern imaging systems use very high magnetic fields (> 7T) and RF coil-arrays with a large number of elementary coils associated with multi-channel transmission systems. The use of ultra high field MRI allows to increase the amount of detectable magnetization, and the use of coil-arrays allows to benefit from a high detection sensitivity while accessing a wider field of view.

However, the development of coil-arrays with high density of parallelism, including more and more elements poses many technological problems, which constitute a strong limitation to the improvement of the performance of current arrays. This strategy leads to an increased technological complexity associated with a significant cost increase.

Objectives :

The objective of this PhD project is to develop innovative RF coils to overcome the current sensitivity limits in ultra-high field MRI (7T and 11.7T) while reducing technological difficulties and costs. The RF coils developed in this project will exploit a new concept recently published (Front. Phys. 2020. vol 7: article 237), the multi-loop structures (MLC), which consist of small current loops associated in series. These structures have a high intrinsic sensitivity due to the small size of the loops and cover a large field of view due to their series connection, allowing to obtain a gain in SNR compared to conventional coils. The MLCs can replace the elementary coils constituting arrays, as for example in the head coil-arrays, and thus lift the limits of their performance improvement, but also be used as a single coil for localized imaging of small anatomical areas such as the visual cortex.

Strategies and main working axes :

To achieve these goals, several strategies will be pursued simultaneously.

We will study different MLC geometries with the aim of uniformizing the detection sensitivity and will consider in particular the development of multi-layer MLCs allowing to increase the degrees of freedom during the design and the performance optimization.

We will work on the development of monolithic versions of the MLCs, based on the principle of transmission line resonators allowing to reduce the number of discrete capacitances, thus reducing the associated losses, but also allowing to develop flexible coils that can best adapt to the relief of the observed area.

Finally, we will explore the possibilities of integrating shielding rings and metasurfaces in order to reduce the noise correlation between loops and to allow the use of a larger number of loops of smaller sizes to further increase the detection sensitivity.

The PhD project will have three distinct parts. The first one concerns the study and optimization by 3D electromagnetic simulation of the proposed MLC geometries with respect to the targeted resonance frequency and the detection sensitivity in terms of both amplitude and homogeneity. The simulations will also be used to study and optimize the shielding rings and metasurfaces that will be integrated into the MLCs. We will also design the electronic circuits necessary for the conditioning of the NMR signal, in particular for the decoupling of the detection coils during the emission phase.

At the end of the design phase, the MLCs will be manufactured and their performances will be characterized and optimized on a measurement bench. This optimization will aim in particular at the fine tuning of the resonance frequency and the mutual decoupling between the MLCs when they are used in an array. This step will allow to quantify the reduction of the different noise levels obtained by these new coils as well as their magnetic coupling efficiency.

The last phase of the project will evaluate the performance of the coils in MRI on phantom and in-vivo on humans. These evaluations will be done on Neurospin's 7 T and 11.7 T scanners. We will use dedicated interfacing tools for the connection to the scanners and will use specific characterization techniques to evaluate the detection sensitivity obtained, in terms of SNR, homogeneity and decoupling efficiency.

Expected Results :

At the end of this project, we will have new detection systems for ultra-high field MRI with a high sensitivity allowing to visualize in vivo fine structures, until now difficult to observe. The success of this project represents an important stake in health technology, for advanced research in functional neuroimaging and neuroanatomy on the one hand, but also, in a perspective of clinical transfer in the longer term, for the improvement of the specificity and the diagnostic utility of ultra-high field MRI and the modalities of management in personalized medicine.

International openness :

Within the framework of this project, an international collaboration with the Center for Medical Physics and Biomedical Engineering of the Medical University of Vienna in Austria will be envisaged. Stays in Austria will be thus possible. They will allow the PhD students to apprehend the international dimension of the scientific research, and to benefit from the knowledge and competences of the foreign team, with which the Biomaps laboratory collaborates for a long time.

Training through research :

This project will allow the PhD student to acquire strong skills in advanced instrumentation for MRI covering all aspects related to the development of RF coils for high field imaging. He will master 3D electromagnetic simulation tools, will be able to design and fabricate complex RF coils and will know the methods to characterize their performance in MRI and their in-vivo validation.