

Résumé

Ces travaux de thèse ont porté sur une nouvelle catégorie d'antennes radiofréquence (RF) utilisées en imagerie par résonance magnétique (IRM). En IRM, on distingue trois leviers d'amélioration du rapport signal sur bruit : la durée d'acquisition, l'intensité du champ magnétique statique B_0 et l'efficacité de l'antenne radiofréquence. L'amélioration des performances de l'antenne RF est une solution de choix, le principe étant de concevoir une antenne avec des propriétés optimales de génération et de détection du signal (champ magnétique), et qui génère un minimum de pertes (champ électrique). Les antennes d'IRM dites classiques sont métalliques et induisent un champ électromagnétique dans l'objet à imager par circulation d'un courant électrique. A ce jour, les deux géométries d'antennes les plus utilisées sont le solénoïde et l'antenne de type « birdcage » (antennes volumiques) en émission, et les boucles (antennes de surface) en réception. Les performances de ces antennes, en termes de rapport signal sur bruit et de débit d'absorption spécifique, sont limitées par les interactions entre les tissus biologiques et le champ électrique qu'elles génèrent. En effet, toute augmentation du signal utile, via une augmentation de la tension d'alimentation de l'antenne, induit une augmentation proportionnelle des pertes. Les nouvelles antennes que nous avons étudiées exploitent les modes de résonance de structures diélectriques à haute permittivité. Cela permet justement de minimiser les pertes dans l'échantillon car ces modes assurent localement la coexistence d'un champ magnétique élevé et d'un champ électrique faible. L'enjeu de cette thèse a été de proposer des outils de modélisation de ces antennes diélectriques, afin de maximiser leur efficacité et finalement améliorer la qualité des images obtenues par IRM. En particulier, nous nous sommes penchés sur des applications en microscopie par résonance magnétique (MRM) pour valider et expérimenter les antennes diélectriques proposées.

Abstract

This thesis focuses on alternative radiofrequency (RF) coils for magnetic resonance imaging (MRI). In MRI, one can distinguish three ways of improving the signal-to-noise ratio (SNR): the acquisition duration, the static field strength B_0 and the probe efficiency. Improving the RF probe efficiency is a strategic solution, the goal being to develop a coil with optimal properties of signal transmit and detection (magnetic field) while generating minimized losses (electric field). Conventional MRI coils are metallic: the electromagnetic (EM) field is induced into the sample by the current circulation along the conducting path. Currently, the principal geometries of metallic coils are the solenoid and the birdcage (volume coils) for the RF pulse transmit, and loops (surface coils) for the signal detection. These antennas are limited in terms of SNR and specific absorption rate (SAR) by the interaction between the biological tissues and the electric field induced concomitantly with the excitation magnetic field. The alternative coil type studied in this manuscript exploit the natural resonant modes of high-permittivity dielectric structures. The main benefit of the corresponding EM field distribution is the coexistence of a high magnetic field with a low electric field in some regions of the resonator. This thesis aims at developing modelling tools that enable to design these dielectric coils with maximized efficiency and therefore enhanced MR images quality. In particular, the proposed dielectric antennas were dedicated to magnetic resonance microscopy (MRM).