

Titre de la thèse : Développement et optimisation de sondes de gradient de champ magnétique B_1 destinées à la spectroscopie et à la micro-imagerie par RMN

Encadrement : Jean-Christophe Perrin (directeur) - Laouès Guendouz (co-directeur)

Laboratoire : LEMTA (Laboratoire d'Énergétique et de Mécanique Théorique et Appliquée)

Equipe : IRM pour l'Ingénierie

Ecole Doctorale : SIMPPÉ – Sciences et Ingénieries des Molécules, des Produits, des Procédés de l'énergie.

Type de contrat : Concours pour un contrat doctoral

Thématique : Le sujet concerne, au sens large, le développement scientifique et matériel de sondes radiofréquences (RF) présentant un gradient de champ magnétique B_1 de grande uniformité. Les sondes développées trouvent leur champ d'application en spectroscopie et en micro-imagerie RMN.

Mots Clés : Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), matériaux pour l'énergie, gradient de champ magnétique radiofréquence B_1 , modélisation électromagnétique.

Contexte :

En spectroscopie ou en micro-imagerie RMN, la qualité des mesures dépend principalement de l'uniformité et de l'intensité du champ magnétique statique B_0 produit par l'aimant. De façon standard, un système de bobines auxiliaires dites de 'shim' est mis en œuvre pour garantir une uniformité de l'ordre du ppm, un système de bobines de gradient de champ 'statique' est utilisé pour les besoins de localisation spatiale et un dispositif d'émission-réception radiofréquence (RF) est associé au système. Ce dernier comporte des bobines RF sensées produire un champ magnétique B_1 (ordre de qq. dizaines de Gauss) uniforme sur l'échantillon et perpendiculaire au champ B_0 .

Dans le cas assez courant de mesures de coefficients de diffusion sur des échantillons présentant un temps de relaxation transversale T_2 relativement court, les temps de commutation des gradients statiques peuvent rendre ces derniers totalement inopérants. *La technique de gradient de champ RF peut alors constituer une alternative très intéressante.* En effet, les sondes RF sont des circuits accordés de facteur de qualité Q de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines. Comme ils fonctionnent à hautes fréquences (~MHz), ils présentent un temps de commutation relativement court ($\tau = Q/\omega_0$) de l'ordre de quelques μ s (c.a.d. bien en deçà des temps de commutation des gradients statiques).

De même, dans le cas de la micro-imagerie de matériaux non homogènes, des artefacts peuvent être observés en raison de différences de susceptibilité magnétiques rencontrées localement aux interfaces. Un gradient de champ magnétique interne apparaît et se superpose aux gradients B_0 mis en œuvre pour réaliser les expériences d'imagerie, ce qui fausse les mesures. En technique de gradient de champ RF, le gradient de champ interne créé par la différence de susceptibilité aux interfaces reste faible, sans commune mesure avec celui créé en champ statique : on peut alors parler d'immunité des gradients B_1 aux variations de susceptibilité magnétique au sein de l'échantillon.


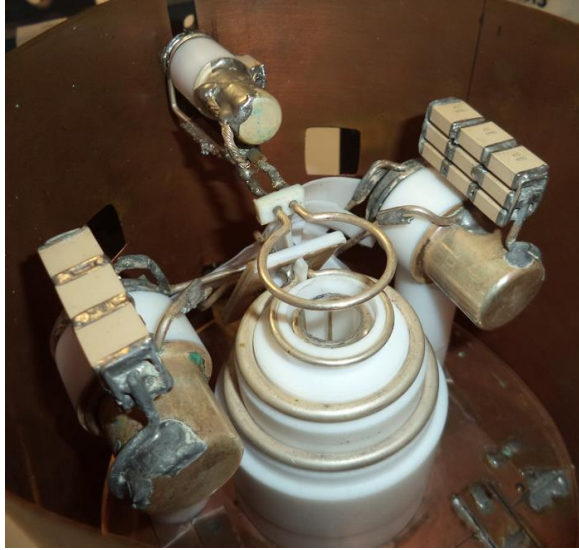
Alors que les systèmes de gradients B_0 sont standardisés et sont coûteux, les gradients B_1 sont potentiellement moins onéreux sur certains systèmes mais ils restent à développer. En effet, les bobines de gradient RF doivent produire, en tous points de l'échantillon, un champ B_1 non nul (loi affine) et un gradient le plus uniforme possible. Cette singularité du profil de champ ajoutée aux difficultés importantes rencontrées en RF (couplage, effets d'antenne, etc.) explique en grande partie l'absence de sonde standard ou commerciale.

Développement du sujet :

Ce sujet propose de développer et d'optimiser un système original de gradient de champ magnétique B_1 , constitué de bobines radiofréquences, pour des applications en spectroscopie et en micro-imagerie RMN.

Le système le plus simple consiste en une spire circulaire, le gradient de champ est présent dans la zone d'inflexion du champ magnétique sur l'axe de symétrie. Dans cette configuration, l'homogénéité du gradient reste néanmoins faible. L'ajout de spires parfaitement dimensionnées peut permettre d'étendre la zone d'homogénéité du gradient. En son temps, cette technique a été mise en œuvre dans la thèse de Ould Mohamed Ghaly [1] portant sur l'amélioration des bobines d'Helmholtz.

De ce point de vue, ce sujet fait suite au développement validé de différents prototypes asymétriques : deux comportant 2 spires [2] et un dernier comportant 3 spires [3] (voir Figs. ci-dessous).

Sonde de gradient RF avec 2 spires	Sonde de gradient RF avec 3 spires
<p>Gradient transverse (vs. Ox) à l'échantillon vertical</p> $G_{1,axial} = \left(\frac{\mu_0 I}{a^2}\right) 0.65 \left[1 - 0.304 \left(\frac{x}{a}\right)^2 - 4.36 \left(\frac{x}{a}\right)^3 + \dots\right]$	<p>Gradient longitudinal (vs. Oz) à l'échantillon vertical</p> $G_{1,axial} = \left(\frac{\mu_0 I}{a^2}\right) 0.98 \left[1 - 22.7 \left(\frac{z}{a}\right)^6 - 62.1 \left(\frac{z}{a}\right)^7 + \dots\right]$
	
<p>Fig. RF gradient coil prototype [2] operating in a vertical magnet at 200 MHz.</p>	<p>Fig. RF gradient coil prototype [3] operating in a horizontal magnet at 100.3 MHz.</p>

En l'occurrence, le développement d'un dispositif pratique et performant est envisagé pour un usage dans les aimants verticaux. Un système de bobines RF comportant 4 (voire 6) bobines sera développé.

Dans une première étape, partant d'un modèle prédéfini (forme des spires [4, 5]) avec des conducteurs extrêmement fins, un calcul analytique ou numérique du champ magnétique induit sera effectué (Loi de Biot et Savart). Une analyse en régime continu ou basse fréquence permettra de définir les conditions théoriques pour la création d'un gradient de champ optimum.

Dans une seconde étape, des simulations seront effectuées à l'aide du logiciel Comsol® multiphysics de façon à optimiser la structure réelle en radiofréquence. Les dimensions effectives des conducteurs (section, longueur) seront définies pour un fonctionnement optimal sur les spectromètres. De même, les conditions d'accord et d'adaptation des sondes RF pourront être prédéterminées.

Le(s) prototype(s) réalisé(s) sera(ont) ensuite caractérisé(s) et vérifié(s) hors aimant sur un banc de mesures et de tests (facteur de qualité, profil de champ, limitations en puissance).

Enfin, des expériences de spectroscopie RMN et de micro-imagerie seront réalisées sur des liquides (ou gels), des milieux poreux modèles et des matériaux pour l'énergie en collaboration avec nos partenaires académiques. Les comparaisons avec les expériences de RMN conventionnelles seront faites. Deux appareils de la plateforme RMN de l'Institut Jean Barriol seront utilisés pendant le travail de thèse : un imageur horizontal Bruker Avance Biospec 24/40 (100.3MHz) et un spectromètre vertical « wide bore » (200MHz).

Références :

- [1] Sidi Mohamed Ould Ahmed Ghaly « Contribution à l'étude de systèmes multispire dérivés des bobines de Helmholtz - Application à l'imagerie par résonance magnétique » [Thèse 2007].
- [2] L. Guendouz et *al.*, Single-sided radio-frequency gradient with two unsymmetrical loops: application to nuclear magnetic resonance, *Rev. Scient. Instrum.* 79 (2008) 123704.
- [3] L. Guendouz et *al.*, Design of a three-loop asymmetric coil producing a highly uniform radiofrequency B_1 field gradient along the axis of a vertical sample tube. *JMR (to be submitted)*.
- [4] G. Farrher et *al.*, Probing four orders of magnitude of the diffusion time in porous silica glass with unconventional NMR techniques, *JMR* 182 (2006) 215–220.
- [5] K.C.H. Tijssen et al., Spatially resolved spectroscopy using tapered stripline NMR, *JMR* 263 (2016) 136–146.

Profil du candidat :

Master 2 en physique / instrumentation / énergétique et procédés / électronique.

Des compétences en techniques radiofréquences et/ou en modélisation électromagnétique (Comsol multiphysics), bien que non nécessaires, seront appréciées.

Merci d'envoyer une lettre de motivation, un CV et une liste de contacts à Laouès Guendouz (laoues.guendouz@univ-lorraine.fr).

Candidate profile :

Master 2 in physics / instrumentation / energy and processes / electronics.

Radiofrequency and/or electromagnetic modelling skills, although not mandatory, will be appreciated.

Please send a cover letter, a CV and a list of contacts to Laouès Guendouz (laoues.guendouz@univ-lorraine.fr)