

NMRProbe: une boîte à outils pour concevoir et construire sa sonde RMN

Joel Mispelter^{1,2)} et Mihaela Lupu^{1,2)}.

⁽¹⁾ *Institut Curie, Recherche, 91405 Orsay Cedex;* ⁽²⁾ *U759 INSERM, Orsay*

Le « capteur » ou « sonde » est un élément essentiel de la chaîne de réception du faible signal produit par l'aimantation nucléaire et pour la manipulation des spins par le champ radiofréquence (RF) qu'il produit. D'après le Principe de Réciprocité [1], ces deux caractéristiques sont intimement liées.

Lorsque la sonde fonctionne en « champ proche » (ce qui est encore la majorité des cas bien que de nouvelles approches utilisent la propagation d'onde [2]), son optimisation consiste à minimiser le champ électrique dans l'échantillon et à maximiser la composante magnétique. La répartition spatiale du champ RF dans l'échantillon est aussi à prendre en compte. Elle dépend de la géométrie de la sonde, de la répartition des courants entre les différentes structures conductrices et de la densité de courant dans les conducteurs. Enfin, le couplage optimum du capteur à l'émetteur et au préamplificateur nécessite une adaptation d'impédance spécifique.

Chaque expérience de RMN requiert ainsi une optimisation particulière du capteur. Pour de nombreuses applications, telles que l'étude de macromolécules biologiques en solution ou en phase solide, des sondes parfaitement adaptées et optimisées sont généralement fournies par le constructeur. Toutefois, pour de nombreuses autres études, en particulier en RMN *in vivo*, l'optimisation du capteur devrait idéalement être faite spécifiquement pour chaque expérience envisagée.

Pour cela, il est possible de réaliser sa sonde soi même ou de faire appel à un constructeur [3], mais dans tous les cas il est souhaitable d'avoir une idée précise de ce que l'on peut en attendre.

On présente ici un ensemble d'outils logiciels (Open Source, langage C) qui permet d'aborder la conception d'un capteur RF à champ proche. Ces outils s'articulent autour de deux principaux composants [4], un simulateur de circuit linéaire pour le calcul des caractéristiques électriques (composantes complexes des courants et des tensions) et un programme de calcul des composantes « tournantes » du champ magnétique. Ces composants sont complétés par des outils d'analyse (calcul des paramètres S, calcul d'impédance, visualisation des distributions de champ...), et par un programme de calcul de la matrice d'inductance du réseau de conducteurs constituant la sonde.

Cette boîte à outils étant limitée aux calculs dans le domaine « quasi-statique » (par exemple, le calcul du champ magnétique utilise la loi de Biot-Savart), son domaine d'application porte sur les sondes de spectroscopie RMN *in vivo* jusqu'aux sondes d'imagerie « corps entier » du petit animal dans un domaine de fréquence allant de quelques MHz à environ 400 MHz, voire plus pour des sondes de plus petite taille. Ces outils sont donc parfaitement adaptés à la conception de sondes pour le proton jusqu'à environ 9.4T et pour tous les autres noyaux (³¹P, ¹³C, ²³Na...) jusqu'à près de 24T. Ils facilitent la phase d'apprentissage pour la conception des capteurs et permettent d'optimiser très rapidement les prototypes en cours de réalisation. Finalement, ils peuvent aider à l'interprétation de l'évaluation finale qui sera généralement faite après une résolution complète des équations de Maxwell à l'aide d'outils commerciaux de simulation de champ électromagnétique [5].

Bibliographie

1. Hoult D.I., *Concept in Magn. Reson.* 2000, **12**, 173-187.
2. Bruner D.O. et al., *Nature* 2009, **457**, 994-998.
3. RAPID Biomedical, Allemagne, Doty Scientific, USA.
4. Mispelter J., Lupu M., Briguet A., « *NMR Probeheads for Biophysical and Biomedical Experiments, Theoretical Principles and Practical Guidelines* », 2006, Imperial College Press.
5. CST Microwave Studio (<http://www.cst.com>), XFtd (<http://www.remcom.com>), HFSS (<http://www.ansoft.com/>)