

MODULATION ELECTRO-OPTIQUE POUR LA TRANSMISSION DU SIGNAL EN IRM PRECLINIQUE A 7T

Paul Nobre¹, Gwenaël Gaborit^{2,3}, Raphaël Sablong¹, Nadège Courjal⁴, Florent Behague⁴, Antoine Coste⁴, Adrien Godet⁴, Miguel Suarez⁴, Lionel Duvillaret³, Olivier Beuf¹

¹Univ. Lyon, INSA-Lyon, Université Lyon 1, UJM-Saint Etienne, CNRS, Inserm, CREATIS, UMR 5220, U1206, 69616 Villeurbanne, France

²Université de Savoie, IMEP-LAHC, UMR 5130, 73376 Le Bourget-du-Lac, France

³KAPTEOS, 73376 Sainte-Hélène-du-Lac, France

⁴Institut FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Université Bourgogne Franche-Comté, 25030 Besançon cedex, France

Paul.nobre@creatis.insa-lyon.fr

RÉSUMÉ

(385/350c) L'objectif de ces travaux est d'utiliser le principe de la conversion électro-optique pour remplacer des câbles coaxiaux en IRM. Cette étude présente une comparaison d'images obtenues par transmission optique ou galvanique du signal, puis les caractéristiques du modulateur utilisé ainsi que celles d'un modulateur sans tension de biais qui permettrait le développement d'un capteur passif à liaison optique avec modulateur embarqué.

MOTS-CLEFS : *IRM ; capteur; modulateur; Radiofréquence*

1. INTRODUCTION

Dans une expérience IRM classique, il est habituel de choisir et placer un capteur magnétique radiofréquence (souvent appelé antenne) à proximité de la zone à imager, pour avoir un rapport signal sur bruit maximal. Un câble coaxial relie ce capteur à la console et peut représenter, lors de la phase d'émission, un risque de brûlure associé à une augmentation locale du Débit d'absorption spécifique [1]. Nous proposons de résoudre ce problème en convertissant le signal électrique aux bornes du capteur en signal optique grâce à une conversion électro-optique puis de transporter le signal converti par fibre optique. Dans un second temps, nous caractérisons les performances d'un modulateur commercial et d'un prototype de modulateur d'état de polarisation sans tension de biais. L'objectif est de valider l'usage de la conversion et de la transmission optique du signal et d'identifier les sources de bruit ajouté par la conversion pour d'établir le cahier des charges d'un modulateur dédié à cette application.

2. MATERIEL ET METHODES

Conversion EO du signal RMN

Toutes les acquisitions sont réalisées sur un IRM préclinique Bruker de champ magnétique statique 7 Teslas. Un tube rempli d'une solution de NaCl 5 g/l, NiSo4 1.25 g/L simule les tissus à imager. Il est introduit dans une bobine volumique émission/réception. Lors de la phase d'émission, la bobine va basculer l'aimantation (initialement créée par le champ magnétique statique en présence de protons) dans le plan de détection transversal. L'aimantation revient ensuite à sa position d'équilibre et c'est son évolution pour revenir à son état d'équilibre qui est mesurée. Le signal mesuré par la même bobine lors de la réception est envoyé sur l'entrée radiofréquence (RF) d'un modulateur d'intensité (type interféromètre) LN82S-FC Thorlabs 10 GHz. L'environnement de l'IRM présente une contrainte très spécifique : aucun élément magnétique ne peut être introduit dans le tunnel. Dans cette étude, le modulateur utilisé, dont le boîtier est magnétique, est déporté en

dehors de l'IRM. Le laser envoyé sur le modulateur et la photodiode recevant le signal modulé sont intégrés dans une unité optoélectronique EoSense de la société Kapteos. La sortie RF de l'EoSense est branchée sur la console de l'IRM pour réaliser sa numérisation et la reconstruction de l'image. Dans chacune des configurations, le signal utile arrivant sur la console IRM est mesuré au moyen d'un analyseur de spectre.

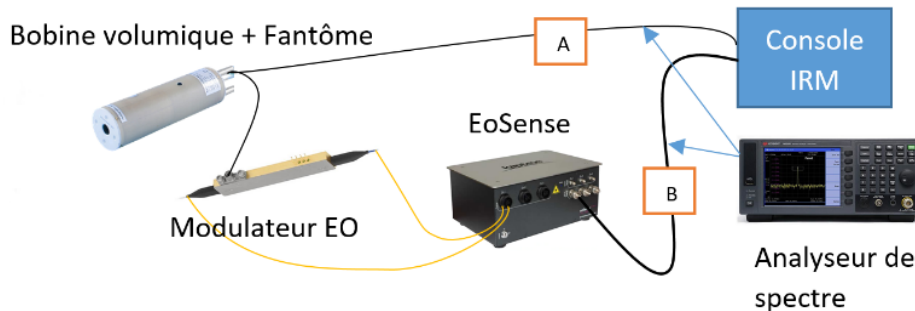


Fig. 1 : Schéma des chaînes de transmission galvanique (A) et optique (B)

Caractérisation des modulateurs

Nous caractérisons le modulateur utilisé précédemment ainsi qu'un prototype de modulateur d'état de polarisation entièrement passif développé au sein du laboratoire Femto-ST. Le boîtier de ce dernier est constitué d'acide polylactique (PLA) ce qui le rend compatible avec l'environnement de l'IRM. La bande passante des modulateurs est mesurée avec un analyseur de réseau vectoriel. Les différentes contributions au bruit de la chaîne complète sont également analysées (RIN du laser, shot noise, bruit thermique).

3. RESULTATS ET PERSPECTIVES

Le principe de conversion et de transmission est démontré : les deux images acquises représentant un tube cylindrique (Fig.2) sont semblables.

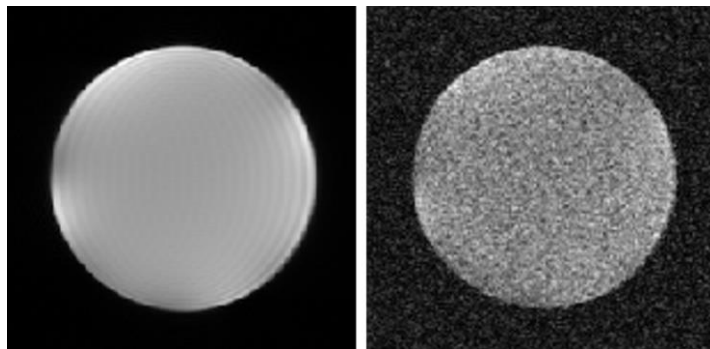


Fig. 2 : Images d'un tube cylindrique contenant une solution liquide et acquises avec la chaîne de transmission galvanique (à gauche) et optique (à droite)

On constate néanmoins une forte dégradation du rapport signal sur bruit de l'image, et il nous faut comprendre quelles sont les sources de bruit dominantes pour adapter la chaîne de transmission et améliorer le SNR.

L'étude sur banc de la chaîne de transmission en aval du capteur magnétique montre un plancher de bruit stable en fonction de la puissance optique P du laser, en deçà du seuil de 15mW environ ; au-delà, l'augmentation est proportionnelle à P . Cela suggère qu'à faible puissance optique, le bruit thermique du circuit de la photodiode est dominant, et qu'à haute puissance ce soit celui du RIN du laser. Il est possible que l'amplitude du signal RMN (de l'ordre du mV) génère une variation du signal optique qui soit trop faible vis-à-vis des sources de bruit précédemment mentionnées (le rapport entre la puissance du signal électrique de sortie et d'entrée est de 50dB), ce

facteur fera l'objet d'études ultérieures. Dans ce cas de figure, en plus de chercher à réduire le bruit, on pourrait chercher à augmenter la sensibilité du modulateur. Or en ce qui concerne la bande passante, le modulateur LN82S fonctionne jusqu'à 15 GHz, ce qui est bien supérieur à nos besoins ($F=300\text{MHz}$). Comme le produit sensibilité \times BP est constant pour une technologie de modulation [2], une bande passante très large limite la sensibilité du dispositif. Inversement le modulateur en boîtier PLA a une bande passante d'une centaine de MHz ce qui n'est pas suffisant. L'adaptation d'impédance des électrodes, est en cours d'amélioration.

4. CONCLUSION

Cette preuve de concept démontre l'intérêt du lien optique en IRM pour certaines applications, comme par exemple l'imagerie endoluminale [3] ou les réseaux d'antennes. Pour être réalisable, cette solution doit cependant inclure des éléments adaptés aux contraintes de l'IRM (signaux de faible amplitude, environnement magnétique, domaine $\text{RF} < \text{GHz}$), différents de ceux en télécommunication qui ont guidé la recherche dans le domaine des modulateurs EO.

Remerciements : Ce projet est financé par la région Auvergne Rhône-Alpes et le LabEx PRIMES (ANR-11-LABX-0063). Les expériences ont été réalisées sur la plateforme PILOT, membre du réseau France Life Imaging (ANR-11-INBS-0006)

RÉFÉRENCES

- [1] Challis, L.J. «Mechanisms for Interaction between RF Fields and Biological Tissue». *Bioelectromagnetics* 26, n° S7 (2005): S98-106. <https://doi.org/10.1002/bem.20119>.
- [2] R. C. Williamson, "Sensitivity–bandwidth product for electro-optic modulators," *Opt. Lett.* 26, 1362-1363 (2001)
- [3] I. Saniour, « Exploitation des effets électro-optiques pour la sécurité en IRM », univ. Lyon, 2017.