

Problèmes inverses pour des capteurs quantiques à l'échelle nanométrique : application à l'imagerie non destructive de circuits électroniques et à la biologie moléculaire

Thèse CIFRE

Encadrement

- *Université Bretagne SUD/LMBA UMR CNRS 6205* : François Septier et Audrey Poterie
- *Wainvam-E* : Ali Mohammad-Djafari et Rémi Geiger

A propos de WAINVAM-E

La société WAINVAM-E fait le lien entre la recherche universitaire à fort potentiel et les solutions technologiques commercialisables. Ce processus de transformation est rendu possible en facilitant la collaboration interdisciplinaire entre les scientifiques, puis en les mettant en contact avec des professions orientées vers la commercialisation. L'énergie collaborative diversifiée qui résulte de cette synergie favorise une créativité sans limite et est ce qui alimente WAINVAM-E pour qu'elle devienne le futur acteur clé de l'industrie de haute technologie. WAINVAM-E commercialisera des solutions de métrologie qui étendent nos cinq sens au-delà de leur capacité normale, en mettant l'accent sur les technologies d'imagerie non destructrices en biologie et chimie moléculaires et en microélectronique. Pour développer la métrologie à l'échelle nanométrique, WAINVAM-E se spécialise dans la réalisation de capteurs quantiques basés sur des centres colorés Azote-Lacune (*Nitrogen Vacancy*) dans le diamant, couplés à des algorithmes mathématiques d'inversion avancés. En développant des solutions de métrologie grâce à des outils de mesure très sensibles et des algorithmes d'inversion de données innovants, WAINVAM-E vise de fournir de meilleures techniques de diagnostic et de contrôle. WAINVAM-E dispose d'une stratégie solide en matière de brevets pour promouvoir ses principales découvertes.

Programme de recherche pour le doctorat

WAINVAM-E développe des magnétomètres basés sur la manipulation de spins électroniques dans des atomes artificiels situés dans un cristal de diamant, les centres NV du diamant. Ces spins sont des sondes très sensibles de champ magnétique à l'échelle nanométrique qui seront utilisées pour l'analyse des défaillances de circuits électroniques (Nowodzinski et *al.*, 2015) ou pour l'imagerie cellulaire (Schirhagl et *al.*, 2014). Cette thèse de doctorat portera sur la recherche d'algorithmes d'inversion avancés pour la récupération optimale des informations sous-jacentes sur les circuits ou les cellules à partir des mesures magnétiques. La recherche sera menée en collaboration entre le laboratoire de recherche expérimentale de WAINVAM-E situé à Ploemeur (Bretagne, France) et l'Université Bretagne Sud/Laboratoire de Mathématiques de Bretagne Atlantique LMBA UMR CNRS 6205.

L'objectif principal de la thèse porte sur le développement d'algorithmes d'inversion pour interpréter les données des magnétomètres NV pour différents problèmes et la proposition de solutions pour optimiser les procédures d'acquisition des données.

Le **premier objectif** de la thèse consistera à étudier le principe physique du magnétomètre basé sur les centres NV du diamant. Il s'agira alors de modéliser ce phénomène en caractérisant statistiquement l'incertitude présent dans le processus d'acquisition entre les mesures et le phénomène d'intérêt. Le **deuxième objectif** est de développer un algorithme d'inversion pour la reconstruction précise du phénomène d'intérêt à partir des mesures magnétiques obtenues. Nous nous focaliserons sur le développement d'une approche Bayésienne (Robert, 2007), ce qui permettra de 1) prendre en compte toute l'information statistique disponible sur le problème, 2) quantifier l'incertitude présente dans la solution fournie par la méthode d'inversion. Récemment dans (Bisognin et *al.*, 2019), A. Mohammad-Djafari et ces co-auteurs ont proposé une technique de déconvolution Bayésienne dans le cadre de la reconstruction de courant électrique par tomographie quantique. Dans le problème étudié dans cette thèse, le modèle sera beaucoup plus complexe

avec la présence de non-linéarités et d'incertitudes potentiellement non-Gaussiennes. Il sera alors nécessaire de développer des approches Bayésiennes, robustes et peu complexes, telles que les méthodes variationnelles (MacKay, 2007) ou les méthodes de Monte-Carlo (Robert & Casella, 2004) avec notamment des adaptations plus efficaces telle que celle développée par F. Septier et ces co-auteurs dans (Nguyen *et al.*, 2016). La solution devra être implémentée et testée à la fois sur données synthétiques et réelles afin de valider les performances de l'approche proposée. Le **troisième objectif** de la thèse est de fournir une méthode d'optimisation des différents paramètres de l'instrument d'acquisition ainsi que d'éventuels paramètres extérieurs (temps d'acquisition, coût, etc.) en utilisant l'incertitude fournie par la méthode Bayésienne développée précédemment.

Profil du candidat recherché

Nous sommes à la recherche d'un candidat motivé et talentueux qui devra :

- Détenir un diplôme d'ingénieur ou un master ;
- Avoir des compétences en mathématiques appliquées (statistiques/probabilités, machine learning, science des données ou traitement du signal) et idéalement en électronique ;
- Avoir une solide expérience en programmation informatique, de préférence en Python ;
- Avoir un très bon niveau en anglais (lecture et rédaction d'articles scientifiques, présentations lors de conférences internationales).

Détails

Ce projet de doctorat est une thèse CIFRE qui pourra débiter dès que possible avant septembre/octobre 2021. Le doctorant partagera son temps de travail, 50% au sein de la société Wainvam-E à Ploemeur et 50% au sein du laboratoire de Mathématiques de Bretagne Atlantique sur le campus de Vannes de l'Université Bretagne Sud. L'étudiant sera encadré au niveau de l'université par :

- [Audrey Poterie](mailto:audrey.poterie@univ-ubs.fr): audrey.poterie@univ-ubs.fr
- [François Septier](mailto:francois.septier@univ-ubs.fr): francois.septier@univ-ubs.fr

Nous invitons les candidats intéressés à nous envoyer tout d'abord leur curriculum vitae accompagné d'une lettre de motivation.

Bibliographie

- Bisognin, R., Marguerite, A., Roussel, B., Kumar, M., Cabart, C., Chapdelaine, C., Mohammad-Djafari, A., Berroir, J M, Bocquillon, E, Plaçais, B, Cavanna, A, Gennser, U, Jin, Y, Degiovanni, P and Fève, G (2019). Quantum tomography of electrical currents. Nature Communications, 1–12. <http://doi.org/10.1038/s41467-019-11369-5>
- MacKay, D. J. C. (2007). Information Theory, Inference, and Learning Algorithms (Sixth Printing). Cambridge University Press.
- Nowodzinski, A., Chipaux, M., Toraille, L., Jacques, V., Roch, J. F., & Debuisschert, T. (2015). Nitrogen-Vacancy centers in diamond for current imaging at the redistributive layer level of Integrated Circuits. Microelectronics Reliability, 55(9-10), 1549–1553.
- Robert, C. P. (2007). The bayesian choice (Second Edition). Springer.
- Robert, C. P., & Casella, G. (2004). Monte Carlo statistical methods. Springer.
- Schirhagl, R., Chang, K., Loretz, M., & Degen, C. L. (2014). Nitrogen-Vacancy Centers in Diamond: Nanoscale Sensors for Physics and Biology. Annual Review of Physical Chemistry, 65(1), 83–105.
- Nguyen, T. L. T., Septier, F., Peters, G. W., & Delignon, Y. (2016). Efficient Sequential Monte-Carlo Samplers for Bayesian Inference. IEEE Transactions on Signal Processing, 64(5), 1305–1319. <http://doi.org/10.1109/TSP.2015.2504342>