

# SUJET DE STAGE M2 & THESE (2019)

## TRAITEMENT DES SIGNAUX QUANTIQUES

**1 - Titre de la thèse:** Traitement des signaux quantiques.

**2 - Nom et qualité du Directeur de thèse :** Pascal Degiovanni (DR2 CNRS).

Email: Pascal.Degiovanni@ens-lyon.fr

**2 – Unité de recherche :** Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon (UMR 5672).

### **4 - Résumé du sujet :**

Ces dernières années, des expériences spectaculaires [1-4] de physique mésoscopique ont permis de préparer, manipuler et caractériser les courants électriques dans des conducteurs quantiques réalisant ainsi l'analogie électronique de l'optique quantique. Ces développements font que l'on sait maintenant caractériser avec une grande précision le contenu en fonctions d'ondes mono-électroniques d'un tel courant électrique quantique [5,6].

Un tel courant peut également être vu comme un signal quantique véhiculé par un faisceau d'électrons [3,6] que l'on peut éventuellement utiliser pour véhiculer de l'information classique ou bien quantique.

Cependant à la différence d'un courant électrique classique, un courant électrique quantique véhicule une information bien plus riche que le flux de particules en fonction du temps. Chaque électron est en effet porteur d'une phase qui peut être révélée dans une expérience d'interférométrie électronique [2]. Mais surtout, le fluide électronique est lui même porteur de corrélations quantiques et classiques entre électrons, corrélations qui proviennent à la fois de la statistique quantique et de l'effet des interactions entre électrons [7].

L'objet de cette thèse sera donc de comprendre comment mesurer, caractériser, représenter et utiliser les « signaux quantiques » véhiculés par un courant électrique quantique. C'est une perspective totalement nouvelle sur le transport électronique [3] qui se situe à l'interface entre l'optique quantique, la physique mésoscopique, le traitement du signal et l'information quantique.

### **a) Caractérisation et mesure des signaux quantiques électroniques**

Cette partie du projet consistera à comprendre comment mesurer les cohérences électroniques d'ordre supérieur. Un exemple est la cohérence d'ordre deux qui caractérise les états à deux électrons émis par une source électronique [8,10]. Elle joue un rôle crucial dans la compréhension de l'intrication dans les conducteurs quantiques. Le projet s'appuiera sur et approfondira le travail de thèse d'Etienne

Thibierge et de Clément Cabart qui ont permis de définir précisément ce concept fondamental [10,11].

Un point essentiel est d'arriver à mesurer ces cohérences [2,5]. Un pas important a été fait en interprétant les différentes interférométries électroniques en terme de traitement du signal quantique [3,6].

Ainsi, pour la cohérence d'ordre deux, l'interférométrie de Franson [9] apparaît comme un schéma par interférométrie d'amplitude pour des paires de particules [10]. Cependant, il pose des problèmes pratiques car l'interféromètre est un objet étendu dans lequel les interactions Coulombiennes entre électrons vont fortement altérer le signal de cohérence que l'on cherche à mesurer. Pour cette raison, on cherche à étendre le schéma d'interférométrie de Hong Ou Mandel pour accéder aux cohérences d'ordre deux [11].

Il s'agira de voir dans quelle mesure on peut proposer un protocole de tomographie électronique de la cohérence d'ordre deux à partir de là.

## **b) Analyse et représentation des signaux quantiques électroniques**

Même si savoir mesurer des cohérences électroniques est un point important, encore faut-il savoir analyser ces signaux quantiques. Pour cela, comme en traitement du signal classique, il est important de savoir reconnaître des atomes de signaux élémentaires qui peuvent ensuite être utilisés pour décrire de manière simple le signal auquel on s'intéresse tout comme les notes et les partitions servent à décrire une musique.

Pour les courants électriques, Benjamin Roussel a mis au point un algorithme d'identification des fonctions d'ondes électroniques — le rôle des notes de musiques — et une représentation de la cohérence électronique d'ordre un en terme de ces atomes de signaux électroniques — ce qui constitue la partition [3]. Cet algorithme a été utilisé avec succès sur des données expérimentales de sorte que l'on dispose maintenant d'un analyseur de courant électrique quantique au niveau de la cohérence électronique d'ordre un [4].

Cependant, on ne comprends pas encore les cohérences d'ordre supérieure dans ce langage:

- comment représenter les cohérences d'ordre deux, puis d'ordre supérieur de manière minimale en termes des atomes de signaux électroniques ?
- quelles sont les propriétés quantiques portées par ces « partitions » d'ordre supérieur ? Comment les relier à des propriétés comme l'intrication au sein d'un système de particules indiscernables ?

Une partie du projet de thèse consistera à explorer ces questions en recherchant les

représentations simples de l'état à N-corps du fluide électronique à partir des cohérences électroniques d'ordre un et deux (pour commencer) en utilisant la représentation en atomes de signaux électroniques. On s'attachera en particulier à comprendre en profondeur la structure de l'état à N-corps émis par une source opérée à température finie.

### **c) Encodages robustes par des signaux quantiques**

Une des questions centrales du traitement du signal consiste à identifier des manières efficaces et robustes d'encoder de l'information dans un signal physique. La même question se pose pour les signaux quantiques. Dans le cas des courants électriques, la question est d'autant plus vite que les effets de températures finie peuvent être importants même aux températures cryogéniques.

Pour cela, une première piste consiste à comparer les signaux émis par des sources périodiques avec celles de sources quasi-périodiques [12] et aussi à explorer comment la température influe sur les atomes de signaux et la représentation du signal de cohérence d'ordre un, puis d'ordre deux, émis par les sources périodiques et quasi-périodiques.

On peut aussi chercher à déterminer s'il existe des signaux synthétiques présentant des invariants robustes aux petites perturbations et qui permettraient ainsi d'encoder des messages classiques ou quantiques dans les signaux d'optique quantique électronique.

### **Collaborations et compétences**

Cette thèse sera menée en étroite collaboration avec le groupe expérimental de G. Fève au Laboratoire Pierre Aigrain (ENS Paris) ainsi qu'avec B. Roussel de l'équipe Concepts Avancés à l'Agence Spatiale Européenne (Nordwijk, Pays-Bas) dont la thèse est à l'origine de cette nouvelle approche.

Des interactions auront également lieu avec Patrick Flandrin de l'équipe traitement du signal qui a été rapporteur de la thèse de Benjamin Roussel ainsi qu'avec Rémi Bardenet de l'université de Lille.

Les compétences requises sont à la fois analytiques mais aussi numériques étant donné qu'il faudra utiliser et adapter les codes numériques (C, python, Lua) permettant le calcul des cohérences électroniques émises par les sources ainsi que l'effet des interactions sur celles-ci.

### Références:

1. E. Bocquillon *et al*, Annalen des Physik (Berlin) **526**, 1 (2014).
2. A. Marguerite *et al*, Physica Status Solidi B **254**, (2017).
3. B. Roussel *et al*, Physica Status Solidi B **254**, (2017).

4. C. Bauerle *et al*, Rep. Prog. Phys. **81**, 056503 (2018).
5. A. Marguerite *et al.*, *Extracting single electron wavefunctions from a quantum electrical current*, ArXiv:1710.11181
6. B. Roussel, thèse de Doctorat de l'Université de Lyon (Décembre 2017).
7. D. Ferraro *et al*, Phys. Rev. Lett. **113**, 166403 (2014).
8. M. Moskalets, Phys. Rev B **98**, 045402 (2014).
9. J.D. Franson, Phys. Rev. Lett. **62**, 2205 (1989).
10. E. Thibierge *et al*, Phys. Rev B **96**, 081302(R) (2016).
11. C. Cabart, thèse de Doctorat de l'Université de Lyon (Septembre 2018).
12. D.C. Glattli and P. Roulleau, Phys. Rev. B **97**, 125407 (2018).