

LIA Laboratoire Circuits et Matériaux Quantiques (LCMQ)
2017 – 2020

Responsables scientifiques : *Cyril Proust, LNCMI (UPR 3228), INP
Bertrand Reulet, Sherbrooke, Canada*

RAPPORT D'ACTIVITÉ 2019

A. MOBILITE TRANSNATIONALE

A.1- Organisation de réunions de travail sur la thématique du projet

Indiquer l'objet de la réunion, date, lieu (laboratoire partenaire ou ville), nombre total de participants, identifier les participants français (nom, qualité, laboratoire de rattachement, durée de la mission). Vous pouvez également donner ces renseignements sous forme de tableau Excel.

- **Colloque du LIA**, du 2 au 4 octobre 2019 à Jouvence (Canada)

Organisateurs : C. Proust (LNCMI) & B. Reulet (Sherbrooke)

D. Parisé (Sherbrooke) & M-F. Mariotto (LPS Orsay)

Ce 5^{ème} colloque du LIA a fait suite à l'école du LIA à Jouvence (cf A.4).

70 participants dont 54 canadiens et 16 français issus des différents laboratoires du LIA et certains membres invités. Une table ronde organisée en fin de colloque a permis de discuter de l'avenir du LIA. La totalité des membres présents ont voté pour le renouvellement du LIA.

Le programme se trouve en annexe et la liste des participants se trouve sur le site web dédié au colloque : <https://lia-cnrs-udes19.sciencesconf.org/>

A.2 - Accueil, dans le laboratoire français, de chercheurs des laboratoires partenaires étrangers

Objet de l'accueil, date, nom du chercheur, qualité, laboratoires d'origine et d'accueil, durée du séjour, si le chercheur a donné un séminaire indiquer le titre

Vous pouvez également donner ces renseignements sous forme de tableau Excel.

- 29 Septembre – 2 octobre (3 jours): séjour de Nicolas Dupuis (LPTMC, Paris) à l'Université de Sherbrooke (invité de Claude Bourbonnais)
- 18 Novembre – 12 décembre (24 jours) : Séjour de Bertrand Reulet au LNCMI-Toulouse (invité de Cyril Proust). Séminaire : « How non-Gaussian is the electrical current in a conductor ? » le 5 décembre
- 29 Novembre : Visite de Bertrand Reulet au LPS-Orsay (invité de Marco Aprili). Séminaire : « Quantum microwave radiation generated by a normal conductor »
- 23-30 mars 2019 (7 jours): Séjour de Louis Taillefer au LNCMI, Toulouse (invité de Cyril Proust)
- 4-31 mai 2019 (27 jours): Séjour de Louis Taillefer au Collège de France (invité d'Antoine Georges)
- 20-26 juin 2019 (6 jours): Louis Taillefer a reçu le titre de Docteur Honoris Causa à l'Université de Toulouse
- Juin 2019 (2 jours): Visite de Zhiren Wang, étudiant en thèse en cotutelle entre Denis Vion (CEA Saclay) et Michel Pioro-Ladrière (U. de Sherbrooke), pour la mise en place de son projet de thèse. Exposé scientifique.

A.3 - Séjours, dans le laboratoire partenaire étranger, de chercheurs du laboratoire français

Objet du séjour, date, nom du chercheur, qualité, laboratoires d'origine et d'accueil, durée du séjour, si le chercheur a donné un séminaire indiquer le titre

- 22 septembre au 1^{er} octobre 2019 (9 jours): Participation de Marco Aprili à l'école du LIA, et de nombreuses discussions scientifiques avec Bertrand Reulet (U. de Sherbrooke).
- 30 septembre-1^{er} octobre (2 jours) :Visite de Denis Vion (CEA Saclay) des laboratoires de Michel Pioro-Ladrière, Bertrand Reulet et Alexandre Blais à l'Université de Sherbrooke. Point sur le travail de Zhiren Wang, thésard en cotutelle.
- 30 septembre : Discussion de Cyril Proust (LNCMI Toulouse) avec le groupe de L. Taillefer à l'Université de Sherbrooke
- 1^{er} octobre : Visite d'Hélène Bouchiat (LPS Orsay) des laboratoires de l'Université de Sherbrooke, organisé par Eva Dupont-Ferrier (U. de Sherbrooke)

A.4 – Organisation de conférences, écoles d'été, ateliers etc. par les partenaires du projet

Objet, date, lieu, organisateur, nombre total de participants, identifier les participants du laboratoire français (nom, qualité, laboratoire de rattachement, durée de la mission)

Vous pouvez également donner ces renseignements sous forme de tableau Excel.

Les noms soulignés sont membres du LIA

- **École de pointe du LIA**, du 22 septembre au 1 octobre 2019 à Jouvence (Canada)

Organisateurs : B. Reulet (Sherbrooke), M. Aprili (LPS-Orsay), D. Parisé (Sherbrooke), J. Gabelli (LPS-Orsay), C. Proust (LNCMI)

Cette première école du LIA se situe à l'interface entre la physique des circuits quantiques et celle des matériaux quantiques. Elle a pour but d'enrichir les deux communautés en offrant une perspective pédagogique sur ces deux mondes. Elle a attiré 20 étudiants, dont 1 français.

9 conférenciers, dont 4 français et 5 canadiens, se sont partagés l'emploi du temps des cours sur 7 journées.

Le programme et la liste des participants se trouvent sur le site web dédié à l'école :

<https://www.usherbrooke.ca/ecoles-de-pointe/fr/ecoles-de-pointe-anterieures/2019-lia-circuits-et-materiaux-quantiques-22-sept-2-oct/>

B. TRAVAUX EN COLLABORATION

B.1 – Etat d'avancement du projet scientifique

5 pages maximum pour l'année en cours ou 15 pages maximum pour les projets arrivant à leur terme. Le nom des chercheurs impliqués sera précisé

- **Collaboration M. Pioro-Ladriere (Sherbrooke) / P. Bertet, D. Vion (CEA Saclay)**
Circuit quantique hybride entre un spin électronique et une cavité supraconductrice. Offre de cotutelle de thèse co-financée par l'IQ à Sherbrooke et le CEA Saclay.
- **Collaboration J. Quilliam, X. Bazier-Matte (Sherbrooke) / D. LeBoeuf, M. Frachet (LNCMI Toulouse) / P. Mendels, F. Bert (LPS Orsay)**
Ce projet a commencé par un séjour de David Leboeuf dans le laboratoire de Jeffrey Quilliam en 2018, où ont été effectués des mesures de vitesse ultrasonore sur des monocristaux du liquide de spin

Herbertsmithite à très basses températures pour mettre en évidence une transition de phase induite sous champ magnétique. Des analyses de données sont toujours en cours.

- **Collaboration J. Quilliam, (Sherbrooke) / E. Kermarrec (LPS)**
Projet de caractériser des échantillons du système magnétique frustré $\text{Sm}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, par chaleur spécifique et par diffusion de neutrons. Des mesures à très basses températures (< 500 mK) seront effectuées.
- **Collaboration B. Reulet (Sherbrooke) / C. Proust (LNCMI)**
Continuation du développement des mesures de transport haute fréquence (\sim GHz) dans l'installation MegaGauss du LNCMI (> 200 Teslas, quelques μsec). L'objectif est de mesurer des oscillations quantiques dans un cuprate supraconducteur au dopage optimum dont le champ critique excède 150 T. Nous avons obtenu les premiers résultats de transport dans un film mince de NbN dans l'installation MegaGauss. L'analyse des résultats est en cours.
- **Collaboration B. Reulet (Sherbrooke) / M. Aprili (LPS)**
Discussions pour la mesure d'impédance micro-onde à basse température afin de mettre en évidence le mode d'amplitude de Higgs d'un supraconducteur conventionnel à basse T_c (Ti, Ir). Des mesures ont commencé à Sherbrooke sur des échantillons de Ti. Des échantillons d'Ir sont en cours d'élaboration au LPS Orsay.
- **Collaboration K. Le Hur (CPHT Ecole Polytechnique) / I. Garate (Sherbrooke)**
Ce projet porte sur la réalisation de supraconductivité topologique $p+ip$ dans des fils supraconducteurs de type Kitaev. Nous avons décrit des effets orbitaux, avec un flux total "zero" dans chaque cellule unité, de manière à réaliser une phase $p+ip$ topologique montrant un fermion de Majorana chiral aux bords de l'échantillon. Nous avons proposé la réalisation de champs magnétiques dépendant de l'espace pour produire cette physique. Nous avons aussi étudié la possibilité de phases de Hall quantique, ondes de densité de charge, et avons introduit des nouveaux systèmes hybrides. Ce projet a commencé avec le projet de stage M2 de Vivien Perrin en 2018, co-direction CPHT Ecole Polytechnique (Karyn Le Hur) et Sherbrooke (Ion Garate) maintenant en thèse au LPS Orsay avec Pascal Simon, et a inclus l'étudiante de thèse Fan Yang (CPHT), le post-doctorant Alexandru Petrescu (institut quantique, Sherbrooke; thèse Yale et CPHT 2015). Article soumis en commun.
- **Collaboration L. Taillefer (Sherbrooke) / C. Proust (LNCMI)**
Nous avons poursuivi l'étude de la magnétorésistance sous champ intense de certains cuprates autour du point critique correspondant à l'ouverture du pseudogap.
- **Collaboration L. Taillefer (Sherbrooke) / T. Klein et C. Marcenat (CNRS, Grenoble)**
Dans le cadre de deux co-supervisions de doctorat en cotutelle Sherbrooke-Grenoble, les étudiants Bastien Michon (2014-2017) puis Clément Girod (2017-2020) ont produit une étude approfondie de la chaleur spécifique à champs intenses dans les cuprates Nd-LSCO et Eu-LSCO. Ils ont fait la découverte majeure des signatures thermodynamiques de la criticalité quantique au point critique pseudogap p^* . Article accepté dans Nature en 2019.
- **Collaboration L. Taillefer (Sherbrooke) / A. Georges (Collège de France, Paris)**
Etudes de la phase pseudogap dans les cuprates. Comparaison théorie / expérience.
- **Collaboration L. Taillefer (Sherbrooke) / A. Sacuto (Paris-Diderot)**
Mesures Raman sur le cuprate Nd-LSCO sous pression. Première observation de fluctuations nématiques par spectroscopie Raman dans la phase pseudogap de Nd LSCO. Les études sont prometteuses et méritent d'être poursuivies à d'autres dopages. Un étudiant est en cours de recrutement pour effectuer des mesures Raman à Paris-Diderot.

- **Collaboration L. Taillefer (Sherbrooke) / P. Mendels (LPS-Orsay)**
Projet de mesures de transport thermique sur l'herbertsmithite.

B.2 - Co-encadrement de doctorants et/ou participation à des jurys

a) Thèses co-encadrées ou en co-tutelle transnationale

- L. Taillefer (Sherbrooke) – T. Klein et C. Marcenat (CNRS, Grenoble) : Clément Girod (octobre 2017 - octobre 2020)
- C. Bourbonnais (Sherbrooke) – N. Dupuis (LPTMC, Paris) : Lucas Désoppi (à partir de janvier 2019)
- M. Pioro-Ladrière (Sherbrooke) – D. Vion (CEA Saclay).
« Circuits quantiques hybrides combinant un spin électronique unique et un résonateur supraconducteur », Zhiren Wang.

b) Participation à des jurys de soutenance de thèse ou d'habilitation dans un des laboratoires partenaires étrangers

- Pascal Simon (LPS Orsay) : Rapporteur pour la thèse de Samuel Boutin (Université de Sherbrooke): "Ingénierie optimale et signatures micro-ondes de modes de Majorana en physique mésoscopique" soutenue le 24 Mai 2019.

B.3 – AUTRES ACTIVITES COMMUNES

Activités avec des chercheurs du laboratoire partenaire étranger hors du contexte du projet, projets co-déposés dans le cadre d'appels nationaux ou européens, contrats industriels, ...
Objet, cadre, dates, bref descriptif.

C. PRODUCTION SCIENTIFIQUE CO-SIGNEE AVEC LES PARTENAIRES ETRANGERS DU PROJET

a) Liste des publications parues, acceptées ou soumises (préciser) dans des revues avec comité de lecture

Les membres du LIA sont soulignés.

- Udson C. Mendes, Sébastien Jezouin, Philippe Joyez, Bertrand Reulet, Alexandre Blais, Fabien Portier, Christophe Mora and Carles Altimiras.
Parametric amplification and squeezing with ac- and dc-voltage biased superconducting junction. *Phys. Rev. Applied* **11**, 034035 (2019)
- Aimé Verrier, Jeffrey Quilliam, Fabrice Bert, Philippe Mendels
Étude du matériau antiferromagnétique kagomé, Sr-Vesignieite.
Soumis à *Phys. Rev. B*
- A. Legros, S. Benhabib, W. Tabis, F. Laliberté, M. Dion, M. Lizaire, B. Vignolle, D. Vignolles, H. Raffy, Z. Z. Li, P. Auban-Senzier, N. Doiron-Leyraud, P. Fournier, D. Colson, L. Taillefer, C. Proust.
Universal T-linear resistivity and Planckian dissipation in overdoped cuprates
Nature Physics **15**, 142 (2019).

- C. Proust and L. Taillefer.
The remarkable underlying ground states of cuprate superconductors
Annual Review of Condensed Matter Physics, **10**, 409 (2019).
- B. Michon, C. Girod, S. Badoux, J. Kačmarčík, Q. Ma, M. Dragomir, H. A. Dabkowska, B. D. Gaulin, J.-S. Zhou, S. Pyon, T. Takayama, H. Takagi, S. Verret, N. Doiron-Leyraud, C. Marcenat, L. Taillefer, T. Klein
Thermodynamic signatures of quantum criticality in cuprate superconductors
Nature, **567**, 218 (2019).
- Fan Yang, Vivien Perrin, Alexandru Petrescu, Ion Garate, Karyn Le Hur
From Topological Superconductivity to Quantum Hall States in Coupled Wires
Article soumis à *Physical Review B* (arXiv:1910.04816)
- C. Girod, A. Legros, [...] C. Marcenat, L. Taillefer, and T. Klein,
High density of states in the pseudogap phase of $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ from specific heat
Soumis à *Physical Review B* (2019).

b) Liste des publications dans des ouvrages (livres, *proceedings*, ...)

c) Liste des présentations à des colloques co-signées avec les partenaires étrangers du PROJET
(indiquer si exposés oraux ou affiches)

d) Liste des brevets en co-propiété

e) Autres co-productions (bases de données, plateformes, sites web, portails thématiques... préciser)

D. OBSERVATIONS

- Juin 2019 : L. Taillefer a reçu Doctorat Honoris Causa de l'Université Toulouse III (Paul Sabatier) en reconnaissance de sa collaboration avec des chercheurs de Toulouse
- Suite à la mise en place d'un appel à projets permanent pour financer les échanges entre la France et le Canada, nous avons financé les frais de mission à hauteur de 1000 € pour 2 personnes :
 - L. Désoppi (étudiant en co-tutelle entre C. Bourbonnais (Sherbrooke)/N. Dupuis (LPTMC, Paris))
 - L. Taillefer (séjour mars 2019)
- En janvier 2019, l'Institut quantique de Sherbrooke a financé une bourse en cotutelle entre Sherbrooke et la France pour l'étudiant L. Désoppi [projet C. Bourbonnais (Sherbrooke)/N. Dupuis (LPTMC, Paris)].

E. SYNTHÈSE DES FINANCEMENTS REÇUS EN 2018 POUR CETTE COOPERATION

Subvention du CNRS pour ce LIA / IRN 15000 euros.

Financement des partenaires étrangers dédié au LIA/IRN 15000 euros.

ANNEXE :

LIA Circuits et Matériaux Quantiques Colloque du 2-4 octobre 2019 - Jouvence

Mardi 1 octobre

18:00 Arrivée des Français
19:00 **Souper**

Mercredi 2 octobre

7:00 – 9:00 **Petit-déjeuner**

9:00 – 9:30 Introduction – Discussion préliminaire sur l’avenir du LIA

9:30 – 10:10 Dorothee Colson (SPEC Saclay)
Elaboration of mercury-based cuprate single crystals: a crucial step for investigating high T_c superconductors.

10:10 – 11:00 **Pause café**

11:00 – 11:40 Alain Sacuto (Paris Diderot)
Energy Scale of the Charge Density Waves in Cuprate superconductors.

11:40 – 12:20 Gaël Grissonnanche (Sherbrooke)
Giant thermal Hall conductivity in the pseudogap phase of cuprate superconductors

12:20 – 16:00 **Pause Déjeuner et discussion**

16:00 – 16:40 Jean François Roch (ENS Paris Saclay)
NV centers in diamond as quantum sensors for high-pressure physics

16:40 – 19:00 *Poster* : présentation (30 s / poster) + session + apéritif

19:00 **Souper**

Jeudi 3 octobre

- 7:00 – 8:30 **Petit-déjeuner**
- 8:30 – 9:10 Denis Vion (SPEC Saclay)
Quantum microwaves produced by a dc-biased Josephson junction
- 9:10 – 9:50 Hélène Bouchiat (LPS Orsay)
Revealing the second-order topological character of bismuth-based Josephson junction
- 9:50 – 10:50 **Pause café**
- 10:50 – 11:30 Preden Roulleau (SPEC Saclay)
A Josephson relation for fractionally charged anyons
- 11:30 – 12:10 Agustin di Paolo (Sherbrooke)
Protected superconducting qubits based on high-impedance modes
- 12:10 – 16:00 **Pause Déjeuner et discussion**
- 16:00 – 16:40 Antoine Georges (Collège de France et Flatiron Institute)
Strong Correlations in Multi-Orbital Materials: Beyond Mottness
- 16:40 – 17:20 Nicolas Dupuis (LPTMC Paris)
Mott transition: from bosons in optical lattices to quasi-one-dimensional electronic systems
- 17:20 – 19:00 *Poster*
- 19:00 **Souper**

Vendredi 4 octobre

- 7:00 – 8:30 **Petit-déjeuner**
- 8:30 – 9:10 Marco Aprili (LPS Orsay)
Spin-dependent transport in mesoscopic superconductors
- 9:10 – 9:50 Edwin Kermarrec (LPS Orsay)
Quantum spin liquid in $S_{\text{eff}}=1/2$ rare-earth based frustrated magnets
- 9:50 – 10:50 **Pause café**
- 10:50 – 12:00 *Table Ronde*
- 12:00 – **Pause Déjeuner puis départ**