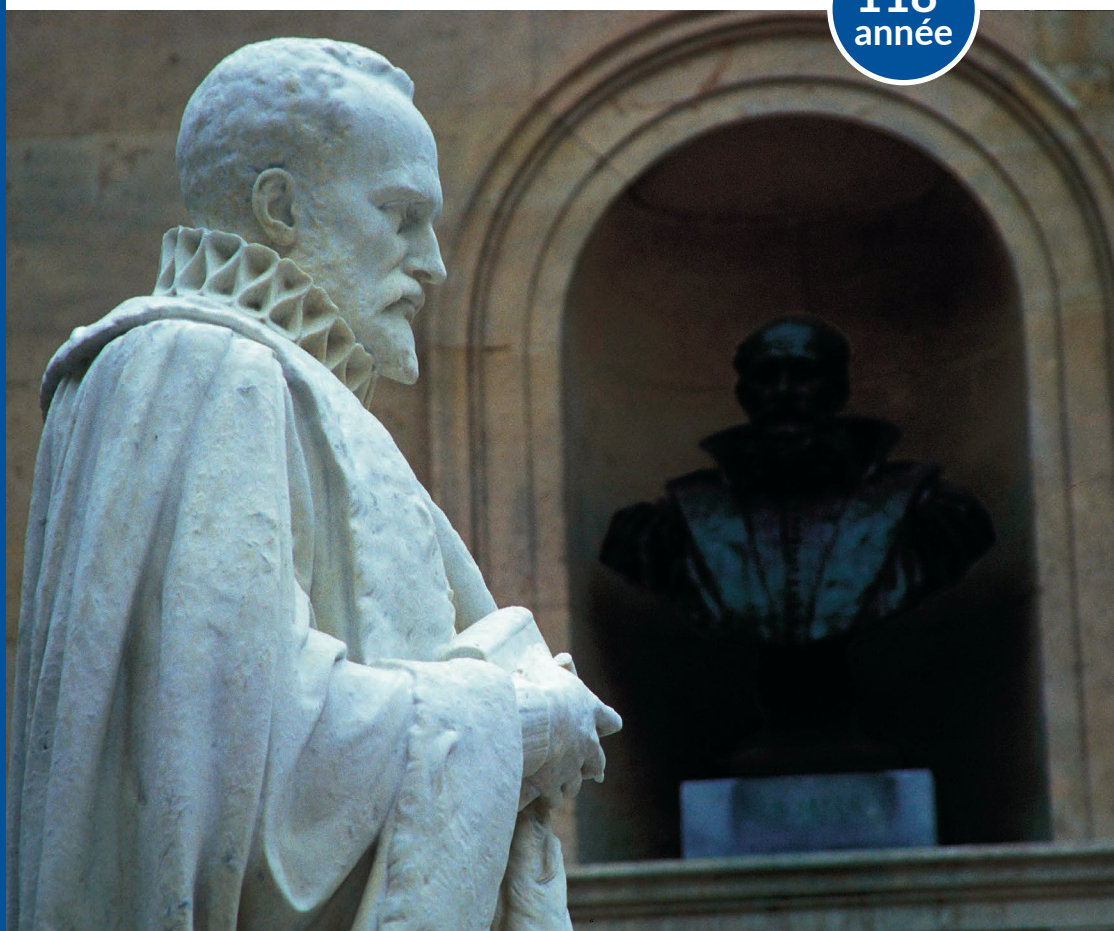


ANNUAIRE du **COLLÈGE DE FRANCE** 2017 - 2018

Résumé des cours et travaux

118^e
année



COLLÈGE
DE FRANCE

— 1530 —

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

Antoine GEORGES

Membre de l'Institut (Académie des Sciences),
professeur au Collège de France

Mots-clés : physique quantique, physique théorique, matière condensée

ENSEIGNEMENT

Cours et séminaires : l'enseignement n'a pas eu lieu (année sabbatique).

RECHERCHE – MATIÈRE QUANTIQUE À FORTES CORRÉLATIONS

Les recherches menées dans l'équipe concernent la « matière quantique à fortes corrélations ». Il s'agit de systèmes constitués d'un très grand nombre de particules indiscernables (les électrons d'un solide ou les atomes d'un gaz ultra-froid par exemple) ayant entre elles de fortes interactions. Pour ces systèmes, une description théorique en termes de fonctions d'ondes indépendantes est insuffisante. Le développement de nouvelles méthodes théoriques, analytiques et computationnelles, permettant de comprendre la physique de ces systèmes est au cœur des activités de notre équipe, ainsi que les applications de ces méthodes à des questions de physique des matériaux ou aux propriétés d'autres systèmes quantiques en interaction.

En 2017-2018, les principales directions poursuivies au sein de ce domaine général ont été les suivantes.

1) DÉVELOPPEMENTS ALGORITHMIQUES

Développement de nouvelles méthodes de « Monte-Carlo diagrammatique » : M. Ferrero, thèse en cours d'Alice Moutenet et collaboration avec l'équipe d'O. Parcollet IPhT-CEA Paris-Saclay et CCQ-Flatiron Institute, New York). Notre équipe (M. Ferrero) participe au développement de la librairie de codes *open-source* TRIQS « Toolbox for Research on Interacting Quantum Systems ¹ ».

1. <https://triqs.github.io/triqs/latest/>

2) PHYSIQUE DU « PSEUDOGAP »

Dans les cuprates supraconducteurs, mais aussi dans certains autres composés comme les iridates (Moutenet *et al.*, Martins *et al.*, 2018), on observe une suppression des excitations électroniques dans certaines régions de la zone de Brillouin. La compréhension de ce phénomène, et des propriétés de l'état métallique non conventionnel qui en résulte, est l'une des questions actuelles les plus ouvertes dans notre domaine de recherche. En 2017-2018, notre équipe a effectué des avancées significatives sur ce problème, en clarifiant le mécanisme responsable du *pseudogap* (Wu *et al.*, 2017 ; Gunnarsson *et al.*, 2018) et en montrant la manière dont la structure électronique du problème est déterminante (lien avec la topologie de la surface de Fermi : Wu *et al.*, 2018, collaboration avec l'équipe de L. Taillefer, Sherbrooke, Canada : Doyron-Leyraud *et al.*, 2017). Nous avons également montré, en collaboration avec des collègues de l'université Harvard (équipe de S. Sachdev), comment les résultats des approches numériques développés dans notre équipe pouvaient être interprétés dans le cadre de théories de basse énergie (théories de jauge), ce qui suggère un possible ordre topologique dans la phase *pseudogap* (Scheurer *et al.*, 2018).

3) OXYDES DE MÉTAUX DE TRANSITION : COUPLAGE *SPIN*-ORBITE, PHYSIQUE HORS D'ÉQUILIBRE

Les oxydes de métaux de transition sont des matériaux ayant des fonctionnalités électroniques particulièrement intéressantes. Plusieurs voies de contrôle « physique » de ces matériaux sont actuellement explorées, comme la fabrication d'hétérostructures d'oxydes permettant de modifier les propriétés électroniques essentielles. Une direction de recherche particulièrement originale s'est aussi développée depuis quelques années, cherchant à contrôler ces fonctionnalités en excitant de manière sélective certains modes structuraux par des impulsions lumineuses Téra-Hertz. Cette direction de recherche est au cœur du programme « Frontiers in Quantum Materials Control » (ERC Synergy Q-MAC) dont notre équipe est l'un des quatre partenaires.

Notre activité de recherche dans ce domaine en 2017-2018 a porté plus particulièrement sur les effets du couplage *spin*-orbite, dans divers matériaux : ruthénates (Kim *et al.*, 2018) et iridates (Moutenet *et al.*, Martins *et al.*, 2018) en particulier. Pour les aspects hors d'équilibre, A. Subedi a continué son étude du contrôle de la ferroélectricité (Subedi, 2017), et nous avons proposé un mécanisme de « refroidissement » des quasi-particules sous excitation lumineuse (Nava *et al.*, 2018).

ÉQUIPE DE RECHERCHE

L'équipe de recherche « Matériaux quantiques à fortes corrélations » est implantée au sein de l'Institut de physique du Collège de France. L'équipe est rattachée au Centre de physique théorique ou CPHT (CNRS, UMR 7644), Ecole polytechnique et université Paris-Saclay².

2. Site internet de recherche : <https://www.cphpt.polytechnique.fr/>

Membres de l'équipe de chaire (2017-2018) : Silke Biermann, Michel Ferrero, Antoine Georges, Leonid Pourovskii, Alaska Subedi (permanents CPHT, École polytechnique) ; Giacomo Mazza, Minjae Kim, Thomas Schäfer, Wei Wu (postdoctorants CPHT) ; Alice Moutenet (doctorante). Membres associés à l'équipe de chaire : Olivier Parcollet, Marco Schiro, Francesco Peronaci, Nils Wentzell (IPhT-CEA), Indranil Paul (LMPQ, université Paris-Diderot), Luca de' Medici (ESPCI). L'équipe de chaire est membre fondateur de trois réseaux collaboratifs internationaux : le projet ERC-Synergy QMAC « Frontiers in Quantum Materials Control », Hambourg-Genève-Oxford-Paris (A. Georges et postdoctorants), la « Simons Collaboration on the Many-Electron Problem » financée par la Simons Foundation (M. Ferrero) et le Centre national de compétences en recherche NCCR-MARVEL « Materials Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials », sous l'égide de la Fondation nationale suisse pour la science (O. Peil et A. Georges dans le cadre d'une affiliation à temps partiel à l'université de Genève). Je suis, de plus, membre du conseil scientifique du programme « Quantum Materials » de la Fondation canadienne pour la recherche avancée (CIFAR), qui a des liens de collaboration avec plusieurs équipes de chaire du Collège. Depuis septembre 2017, je dirige le « Center for Computational Quantum Physics » au Flatiron Institute (Simons Foundation, New York).

Notre équipe fait également partie d'un laboratoire international associé (LIA) CNRS/université de Sherbrooke.

De nombreux travaux de notre équipe de recherche s'inscrivent par ailleurs dans le cadre de collaborations, avec des équipes théoriques ou expérimentales. En 2017-2018, ces collaborations ont impliqué principalement les institutions suivantes : IPhT-CEA Paris-Saclay (O. Parcollet), Institut d'optique Graduate School (L. Sanchez-Palencia et A. Aspect), université de Genève (J.-M. Triscone, D. van der Marel, F. Baumberger), université de Bonn (C. Kollath), institut Jožef Stefan de Ljubljana (J. Mravlje), Max Planck Institute for Structural Dynamics, Hambourg (A. Cavalleri, M. Sentef), King's College de Londres (E. Kozik), University of California, UC-Santa Cruz (B.S. Shstry), université de Linköping, Suède (I. Abrikosov), université de Graz, Autriche (M. Aichhorn), SISSA, Trieste, Italie (M. Capone et M. Fabrizio), université de Sherbrooke, Canada (L. Taillefer), Harvard University (S. Sachdev).

RENCONTRES INTERNATIONALES

En 2017-2018 ont été organisés les colloques et rencontres suivantes : rencontre de la collaboration ERC/QMAC, fondation Hugot (28-29 novembre 2017) ; « Matériaux quantiques sur la montagne », rencontre conjointe Collège de France/ESPCI/université Paris-Diderot (4 décembre 2017) ; Symposium de la collaboration ERC/QMAC, Venise, Italie (22-25 mai 2018) ; « TRIQS – Toolbox for Research on Interacting Quantum Systems », rencontre internationale annuelle de la librairie numérique, Collège de France (14-15 juin 2018).

PUBLICATIONS

CROSNIER DE BELLAISTRE C., TREFZGER C., ASPECT A., GEORGES A. et SANCHEZ-PALENCIA L., « Expansion of a matter wave packet in a one-dimensional disordered potential in the presence of a uniform bias force », *Physical Review A*, vol. 97, n° 1, 2018, 013613,

[Autre titre : « Expansion of a quantum wave packet in a one-dimensional disordered potential in the presence of a uniform bias force »], DOI : 10.1103/PhysRevA.97.013613 [arXiv:1710.05595].

DELANGE P., BIERMANN S., MIYAKE T. et POUROVSKII L., « Crystal field splittings in rare earth-based hard magnets: An ab initio approach », *Physical Review B*, vol. 96, n° 15, 2017, 155132, DOI : 10.1103/PhysRevB.96.155132 [arXiv:1705.08027].

DELANGE P., BACKES S., VAN ROEKEGHEM A., POUROVSKII L., JIANG H. et BIERMANN S., « Novel approaches to spectral properties of correlated electron materials: From generalized Kohn-Sham theory to screened exchange dynamical mean field theory », *Journal of the Physical Society of Japan*, vol. 87, n° 4, 2018, 041003, DOI : 10.7566/JPSJ.87.041003 [arXiv:1707.00456].

DOIRON-LEYRAUD N., CYR-CHOINIÈRE O., BADOUX S., ATAEI A., COLLIGNON C., GOURGOUT A., DUFOUR-BEAUSÉJOUR S., TAFTI F.F., LALIBERTÉ F., BOULANGER M.-E., MATUSIAK M., GRAF D., KIM M., ZHOU J.-S., MOMONO N., KUROSAWA T., TAKAGI H. et TAILLEFER L., « Pseudogap phase of cuprate superconductors confined by Fermi surface topology », *Nature Communications*, vol. 8, n° 1, 2017, 2044, DOI : 10.1038/s41467-017-02122-x.

GEORGES A., « Coherent excitations revealed and calculated », *Science*, vol. 359, n° 6372, 2018, p. 162-163, DOI : 10.1126/science.aar2325.

GEORGES A., « Physique de la matière condensée », *Annuaire du Collège de France 2015-2016. Résumé des cours et travaux*, n°116, 2018, p. 49-53, DOI : 10.4000/annuaire-cdf.12794.

GUNNARSSON O., MERINO J., SCHÄFER T., SANGIOVANNI G., ROHRINGER G. et TOSCHI A., « Complementary views on electron spectra: From fluctuation diagnostics to real-space correlations », *Physical Review B*, vol. 97, n° 12, 2018, 125134, DOI : 10.1103/PhysRevB.97.125134 [arXiv:1711.07671].

KIM M., « Signatures of spin-orbital states of t_{2g}^2 system in optical conductivity: RVO_3 ($R = Y$ and La) », *Physical Review B*, vol. 97, n° 15, 2018, 155141, DOI : 10.1103/PhysRevB.97.155141 [arXiv:1708.05923].

KIM M., MRAVLJE J., FERRERO M., PARCOLLET O. et GEORGES A., « Spin-orbit coupling and electronic correlations in Sr_2RuO_4 », *Physical Review Letters*, vol. 120, n° 12, 2018, 126401, DOI : 10.1103/PhysRevLett.120.126401 [arXiv:1707.02462].

MAZZA G., « From sudden quench to adiabatic dynamics in the attractive Hubbard model », *Physical Review B*, vol. 96, n° 20, 2017, 205110, DOI : 10.1103/PhysRevB.96.205110 [arXiv:1708.01096].

MOUTENET A., GEORGES A. et FERRERO M., « Pseudogap and electronic structure of electron-doped Sr_2IrO_4 », *Physical Review B*, vol. 97, n° 15, 2018, 155109, DOI : 10.1103/PhysRevB.97.155109.

MOUTENET A., WU W. et FERRERO M., « Determinant Monte Carlo algorithms for dynamical quantities in fermionic systems », *Physical Review B*, vol. 97, n° 8, 2018, 085117, DOI : 10.1103/PhysRevB.97.085117 [arXiv:1712.10304].

NAVA A., GIANNETTI C., GEORGES A., TOSATTI E. et FABRIZIO M., « Cooling quasiparticles in A3C60 fullerides by excitonic mid-infrared absorption », *Nature Physics*, vol. 14, n° 2, 2017, p. 154-159, DOI : 10.1038/nphys4288 [arXiv:1704.05613].

SCHEURER M.S., CHATTERJEE S., WU W., FERRERO M., GEORGES A. et SACHDEV S., « Topological order in the pseudogap metal », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 115, n° 16, 2018, E3665-E3672, DOI : 10.1073/pnas.1720580115 [arXiv:1711.09925].

SETH P., PEIL O.E., POUROVSKII L., BETZINGER M., FRIEDRICH C., PARCOLLET O., BIERMANN S., ARYASETIAWAN F. et GEORGES A., « Renormalization of effective interactions in a negative charge-transfer insulator », *Physical Review B*, vol. 96, n° 20, 2017, 205139, DOI : 10.1103/PhysRevB.96.205139 [arXiv:1707.09820].

VUCICEVIC J., WENTZELL N., FERRERO M. et PARCOLLET O., « Practical consequences of the Luttinger-Ward functional multivaluedness for cluster DMFT methods », *Physical Review B*, vol. 97, n° 12, 2018, 125141, DOI : 10.1103/PhysRevB.97.125141 [arXiv:1709.10490].

WU W., SCHEURER M.S., CHATTERJEE S., SACHDEV S., GEORGES A. et FERRERO M., « Pseudogap and fermi-surface topology in the two-dimensional Hubbard model », *Physical Review X*, vol. 8, n° 2, 2018, 021048, DOI : 10.1103/PhysRevX.8.021048 [arXiv:1707.06602].

