

A U X C Ô T É S D E

L A S C I E N C E

E T D U S A V O I R

**P H Y S I Q U E**

# INSTITUT DE PHYSIQUE DU COLLÈGE DE FRANCE

## Un incubateur innovant de jeunes équipes

---

La France est aujourd'hui aux avant-postes de la recherche internationale en physique. L'institut de physique du Collège de France constitue l'un des piliers de ce succès grâce à un atout majeur : l'interdisciplinarité.

À travers trois chaires prestigieuses et une pépinière de jeunes équipes, les chercheurs travaillent en étroite collaboration et les cultures scientifiques se croisent pour faire émerger de nouvelles idées sur la structure de la matière et de ses constituants.

De la physique atomique à l'optique, en passant par la science des matériaux et la physique statistique, les équipes de l'institut de physique, dirigé par Jean Dalibard, répondent aux défis de la société de demain.

---

### **Pr Jean Dalibard**

Chaire Atomes et rayonnement

### **Pr Antoine Georges**

Chaire de Physique de la matière condensée

### **Pr Bernard Derrida**

Chaire de Physique statistique

### **Pr Serge Haroche (professeur émérite)**

Chaire de Physique quantique

### **Responsables d'équipes de recherche**

Benoît Fauqué

Alexei Ourjoumstev

Çağla Girit

Jean-Michel Raimon

L'INSTITUT DE PHYSIQUE DU COLLÈGE DE FRANCE	2
<b>Les équipes de chaires</b>	<b>3</b>
Physique de la matière condensée – Pr Antoine Georges	
Physique statistique – Pr Bernard Derrida	
Physique quantique – Pr Serge Haroche et Jean-Michel Raimond	
Atomes et rayonnement – Pr Jean Dalibard	
<b>Les jeunes équipes de l'institut de physique du Collège de France</b>	<b>8</b>
Spectroscopie de systèmes mésoscopiques avec des jonctions Josephson - Équipe de Çağla Girit	
Photonique quantique - Équipe d'Alexei Ourjoumstev	
Matière quantique sous champ magnétique - Équipe de Benoît Fauqué	
<b>Soutenir l'Institut de physique du Collège de France</b>	<b>12</b>
LE COLLÈGE DE FRANCE, L'EXCELLENCE SCIENTIFIQUE FRANÇAISE	14
UNE POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT SCIENTIFIQUE AMBITIEUSE	15

**La France est aujourd'hui aux avant-postes de la recherche internationale en physique. L'institut de physique du Collège de France constitue l'un des piliers de ce succès grâce à un atout majeur : l'interdisciplinarité.**

**À travers trois chaires prestigieuses et une pépinière de jeunes équipes, les chercheurs travaillent en étroite collaboration et les cultures scientifiques se croisent pour faire émerger de nouvelles idées sur la structure de la matière et de ses constituants.**

**De la physique atomique à l'optique, en passant par la science des matériaux et la physique statistique, les équipes de l'institut de physique, dirigé par Jean Dalibard, répondent aux défis de la société de demain.**

Le Collège de France a créé en 2014 un Institut de physique réunissant les chaires de physique et leurs équipes de recherche ainsi que de jeunes équipes accueillies. La réunion de ces équipes sur le site principal du Collège de France dans des laboratoires entièrement rénovés a permis de renouer avec une longue tradition de prestigieux laboratoires de physique dans ces murs à l'image des laboratoires de Louis Leprince-Ringuet, Marcel Froissard ou Pierre-Gilles de Gennes. L'information et la simulation quantiques, la physique statistique, l'étude de la matière condensée constituent les thèmes principaux des activités des équipes de recherche de l'Institut.



### UN CENTRE DE RECHERCHE PLURIDISCIPLINAIRE ET DE FORMATION PAR LA RECHERCHE

L'Institut de physique est exemplaire de la structure unique du Collège de France qui combine des recherches expérimentales et théoriques du plus haut niveau, un enseignement des derniers développements de ces recherches et une ouverture aux jeunes chercheurs. L'Institut a renforcé ses partenariats avec d'autres institutions, notamment Paris Sciences et Lettres (PSL) et le réseau des physiciens du Grand Paris.

L'Institut de physique développe des recherches aux interfaces des physiques de la matière condensée, photonique et atomique, un champ connexe en plein développement au niveau international.

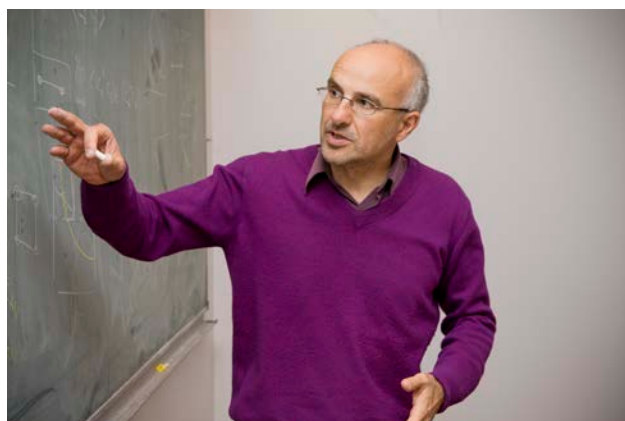
L'Institut offre un environnement technique et scientifique particulièrement favorable à l'accueil d'un incubateur de jeunes équipes. Cet incubateur, nommé « Jeunes équipes de l'Institut de physique du Collège de France », est le fruit de l'alliance entre le CNRS et le Collège de France. Il est un élément clé garantissant la continuité interdisciplinaire physique-chimie-biologie au sein de l'institution.

*« Il y a des moments où les frontières n'ont plus de raison d'être, c'est pour cela que l'interdisciplinarité est dans la culture même du Collège de France, que le dialogue et la créativité sont au cœur de ce projet. »*

Pr Jean Dalibard, Directeur de l'institut de physique

### PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE PR ANTOINE GEORGES

Les recherches menées par l'équipe de recherche de Physique de la matière condensée, dirigée par le Pr Antoine Georges, concernent en premier lieu les matériaux dans lesquels les électrons interagissent fortement entre eux, comme les oxydes de métaux de transition. Ces interactions fortes conduisent à des propriétés physiques remarquables (comme la supraconductivité), qui confèrent à ces matériaux des fonctionnalités susceptibles de conduire à des applications innovantes. Dans ce domaine, une synergie forte se développe avec les chaires et équipes de chimie, en particulier autour des matériaux pour l'énergie.



### PUBLICATIONS RÉCENTES

POUROVSKII L.V., HANSMANN P., FERRERO M. et GEORGES A., « Theoretical prediction and spectroscopic fingerprints of an orbital transition in CeCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> », *Physical Review Letters*, 13 mars 2014, vol. 112, n° 10, DOI : 10.1103/PhysRevLett.112.106407.

POLETTI D., BARMETTLER P., GEORGES A. et KOLLATH C., « Emergence of glass-like dynamics for dissipative and strongly interacting bosons », *Physical Review Letters*, 7 novembre 2013, vol. 111, n° 19, DOI : 10.1103/PhysRevLett.111.195301.

SAKAI S., BLANC S., CIVELLI M., GALLAIS Y., CAZAYOUS M., MEASSON M.-A., WEN J.S., XU Z.J., GU G.D., SANGIOVANNI G., MOTOME Y., HELD K., SACUTO A., GEORGES A. et IMADA M., « Exploring the Dark Side of Cuprate Superconductors: s-wave Symmetry of the Pseudogap », *Physical Review Letters*, 3 septembre 2013, vol. 111, n° 10, DOI : 10.1103/PhysRevLett.111.107001.

MIRZAEI S.I., STRICKER D., HANCOCK J.N., BERTHOD C., GEORGES A., HEUMEN E., CHAN M.K., ZHAO X., LI Y., GREVEN M., BARIŠIĆ N. et MAREL D., « Evidence for a Fermi liquid in the pseudogap phase of high-T<sub>c</sub> cuprates », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 9 avril 2013, vol. 110, n° 15, 5774-5778, DOI : 10.1073/pnas.1218846110.

GEORGES A., MEDICI L. et MRVLJE J., « Strong electronic correlations from Hund's coupling », *Annual Review of Condensed Matter Physics*, avril 2013, vol. 4, n° 1, 137-178, DOI : 10.1146/annurev-conmatphys-020911-125045.

GRENIER C., KOLLATH C. et GEORGES A., « Quantum oscillations in ultracold Fermi gases: Realizations with rotating gases or artificial gauge fields », *Physical Review A*, 4 mars 2013, vol. 87, n° 3, 33603, DOI : 10.1103/PhysRevA.87.033603.

BERTHOD C., MRVLJE J., DENG X., ZITKO R., MAREL D. et GEORGES A., « Non-Drude universal scaling laws for the optical response of local Fermi liquids », *Physical Review B*, 7 mars 2013, vol. 87, n° 11, 115109, DOI : 10.1103/PhysRevB.87.115109.

POUROVSKII L.V., MIYAKE T., SIMAK S.I., RUBAN A.V., DUBROVINSKY L. et ABRIKOSOV I.A., « Electronic properties and magnetism of iron at the Earth's inner core conditions », *Physical Review B*, 21 mars 2013, vol. 87, n° 11, 115130, DOI : 10.1103/PhysRevB.87.115130.

DENG X., MRVLJE J., ZITKO R., FERRERO M., KOTLIAR G. et GEORGES A., « How Bad Metals Turn Good: Spectroscopic Signatures of Resilient Quasiparticles », *Physical Review Letters*, 19 février 2013, vol. 110, n° 8, 86401, DOI : 10.1103/PhysRevLett.110.086401.

SUBEDI A., « Electron-phonon superconductivity and charge density wave instability in the layered titanium-based pnictide BaTi<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>O », *Physical Review B*, 15 février 2013, vol. 87, n° 5, 54506, DOI : 10.1103/PhysRevB.87.054506.

TOMCZAK J.M., POUROVSKII L.V., VAUGIER L., GEORGES A. et BIERMANN S., « Rare-earth vs. heavy metal pigments and their colors from first principles », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 15 janvier 2013, vol. 110, n° 3, 904-907, DOI : 10.1073/pnas.1215066110.

POLETTI D., BERNIER J.-S., GEORGES A. et KOLLATH C., « Dissipative quantum systems: from two to many atoms », *ArXiv:1212.4254 [cond-mat, physics:quant-ph]*, 4 janvier 2013, DOI : 10.5176/2301-3516\_OPAP13.38.

GRENIER C., KOLLATH C. et GEORGES A., « Probing thermoelectric transport with cold atoms », *ArXiv:1209.3942 [cond-mat, physics:quant-ph]*, 18 septembre 2012, <http://arxiv.org/abs/1209.3942>.

POLETTI D., BERNIER J.-S., GEORGES A. et KOLLATH C., « Interaction-Induced Impeding of Decoherence and Anomalous Diffusion », *Physical Review Letters*, 24 juillet 2012, vol. 109, n° 4, 45302, DOI : 10.1103/PhysRevLett.109.045302.

MRVLJE J., AICHORN M. et GEORGES A., « Origin of the High Neel Temperature in SrTcO<sub>3</sub> (vol 108, 197202, 2012) », *Physical Review Letters*, 25 mai 2012, vol. 108, n° 21, 219903, DOI : 10.1103/PhysRevLett.108.219903.

SEYFARTH G., RUEETSCHI A.-S., SENGUPTA K., GEORGES A., JACCARD D., WATANABE S. et MIYAKE K., « Heavy fermion superconductor CeCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> under high pressure: Multiprobing the valence crossover », *Physical Review B*, 3 mai 2012, vol. 85, n° 20, 205105, DOI : 10.1103/PhysRevB.85.205105.

VAN HOUCKE K., WERNER F., KOZIK E., PROKOF'EV N., SVISTUNOV B., KU M.J.H., SOMMER A.T., CHEUK L.W., SCHIROTZEK A. et ZWIERLEIN M.W., « Feynman diagrams versus Fermi-gas Feynman emulator », *Nature Physics*, mai 2012, vol. 8, n° 5, 366-370, DOI : 10.1038/NPHYS2273.

SEYFARTH G., RUEETSCHI A.-S., SENGUPTA K., GEORGES A. et JACCARD D., « Proximity to valence transition in heavy fermion superconductor CeCu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> under pressure », *Epl*, avril 2012, vol. 98, n° 1, 17012, DOI : 10.1209/0295-5075/98/17012.

DENG X., FERRERO M., MRVLJE J., AICHORN M. et GEORGES A., « Hallmark of strong electronic correlations in LaNiO<sub>3</sub>: Photoemission kink and broadening of fully occupied bands », *Physical Review B*, 30 mars 2012, vol. 85, n° 12, 125137, DOI : 10.1103/PhysRevB.85.125137.

TARANTO C., SANGIOVANNI G., HELD K., CAPONE M., GEORGES A. et TOSCHI A., « Signature of antiferromagnetic long-range order in the optical spectrum of strongly correlated electron systems », *Physical Review B*, 23 février 2012, vol. 85, n° 8, 85124, DOI : 10.1103/PhysRevB.85.085124.

ZITKO R., MRVLJE J. et HAULE K., « Ground State of the Parallel Double Quantum Dot System », *Physical Review Letters*, 8 février 2012, vol. 108, n° 6, 66602, DOI : 10.1103/PhysRevLett.108.066602.



Théoricien de la physique statistique sous ses formes les plus diverses, Bernard Derrida étudie principalement la théorie des systèmes désordonnés, la dynamique des réseaux et les applications de la physique statistique à des problèmes de génétique, de réseaux de neurones ou de trafic. Bernard Derrida et ses collaborateurs travaillent sur les systèmes hors d'équilibre, comme les problèmes de croissance. Ils ont calculé pour ces systèmes des exposants de persistance et les régimes stationnaires hors d'équilibre pour lesquels, à partir de solutions exactes de modèles unidimensionnels, on peut étudier les fluctuations et les grandes déviations de densité et de courant.

#### PUBLICATIONS RÉCENTES

DERRIDA B., SHI Z., Large deviations for the branching Brownian motion in presence of selection or coalescence Submitted to Journal of Statistical Physics arXiv::1601.04652

DERRIDA B., MEERSON B., SASOROV P.V., Large-displacement statistics of the rightmost particle of the one-dimensional branching Brownian motion Submitted to Phys. Rev. E arXiv::1601.08070

DERRIDA B., MOTTISHAW P., *Finite size corrections in the random energy model and the replica approach* Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, P01021 (2015) arXiv::1410.1432

BRUNET E., DERRIDA B., *An Exactly Solvable Travelling Wave Equation in the Fisher KPP Class* J. Stat. Phys. 161, 801-820 (2015) arXiv:1506.06559

SADHU T., DERRIDA B., *Large deviation function of a tracer position in single file diffusion* Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, P09008 (2015) arXiv:1505.04572

DERRIDA B., GIACOMIN G., *Log-periodic critical amplitudes: a perturbative approach* J. Stat. Phys. 154, 286-304 (2014) arXiv:1303.5971

DERRIDA B., RETAUX M., *The depinning transition in presence of disorder: a toy model* J. Stat. Phys. 156, 268-290 (2014) arXiv:1401.6919

DHAR A., SAITO K., DERRIDA B., *Exact solution of a Levy walk model for anomalous heat transport* Phys. Rev. E 87, 010103R (2013) arXiv:1207.1184

BRUNET E., DERRIDA B., *Genealogies in simple models of evolution* J. Stat. Mech. P01006 (2013) arXiv:1202.5997

DERRIDA B., RETAUX M., Finite size corrections to the large deviation function of the density in the one dimensional symmetric simple exclusion process J. Stat. Phys. 152, 824-845 (2013) arXiv:1303.7135

AKKERMANS E., BODINEAU T., DERRIDA B., SHPIELBERG O., Universal current fluctuations in the symmetric exclusion process and other diffusive systems EPL 103, 20001 (2013) arXiv:1306.3145

GERSCHENFELD A., DERRIDA B., *Anomalous long-range correlations at a non-equilibrium phase transition* J. Phys. A Math. and Theor. 45, 055002 (2012) arXiv:1110.1002

BRUNET E., DERRIDA B., *How genealogies are affected by the speed of evolution* Philosophical Magazine 92, 255-271 (2012) cond-mat/1107.2227

L'équipe senior issue de l'équipe de chaire de Serge Haroche et désormais dirigée par Jean-Michel Raimond étudie le couplage matière - rayonnement à la limite où un seul atome interagit avec quelques photons stockés dans un équivalent moderne de la fameuse « boîte à photons » d'Einstein. Ce système très simple, directement décrit par les postulats fondamentaux de la physique quantique, permet d'illustrer les comportements quantiques les moins intuitifs, comme la superposition d'états ou la mesure. Il permet de voir et revoir un même photon, sans le détruire, et



d'observer les « sauts quantiques » de la lumière. Il rend possible une exploration quantitative de la limite entre le monde quantique étrange qui permet au fameux chat de Schrödinger d'être à la fois mort et vif, et le monde classique, seul accessible à nos sens, où les chats sont soit morts, soit vifs. Enfin, il constitue un prototype de système traitant de l'information en utilisant ces propriétés remarquables de la logique quantique.

#### PUBLICATIONS RÉCENTES

HERMANN-AVIGLIANO C., TEIXEIRA R.C., NGUYEN T.L., CANTAT-MOLTRECHT T., NOGUES G., DOTSENKO I., GLEYZES S., RAIMOND J.M., HAROCHE S. et BRUNE M., « Long coherence times for Rydberg qubits on a superconducting atom chip », *Physical Review A*, 23 octobre 2014, vol. 90, n° 4, 40502, DOI : 10.1103/PhysRevA.90.040502.

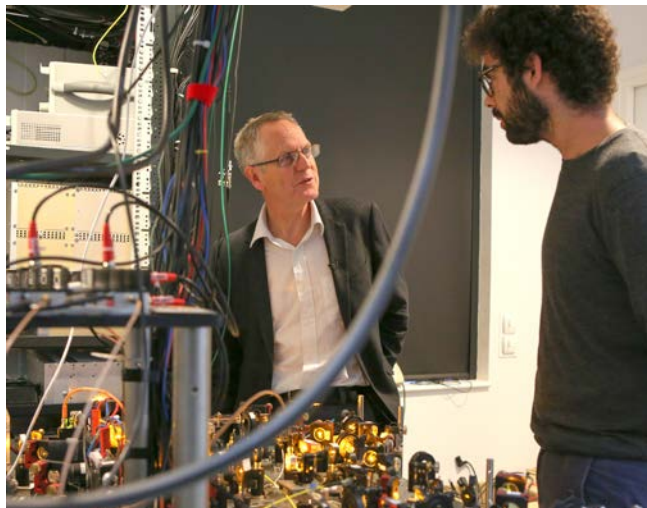
SIGNOLES A., FACON A., GROSSO D., DOTSENKO I., HAROCHE S., RAIMOND J.-M., BRUNE M. et GLEYZES S., « Confined quantum Zeno dynamics of a watched atomic arrow », *Nature Physics*, octobre 2014, vol. 10, n° 10, 715-719, DOI : 10.1038/nphys3076.

RYBARCZYK T., GERLICH S., PEAUDE CERF B., PENASA M., JULSGAARD B., MOELMER K., GLEYZES S., BRUNE M., RAIMOND J.-M., HAROCHE S. et DOTSENKO I., « Past quantum state analysis of the photon number evolution in a cavity », *ArXiv:1409.0958 [quant-ph]*, 3 septembre 2014, <http://arxiv.org/abs/1409.0958>.

PEAUDE CERF B., RYBARCZYK T., GERLICH S., GLEYZES S., RAIMOND J.M., HAROCHE S., DOTSENKO I. et BRUNE M., « Adaptive Quantum Nondemolition Measurement of a Photon Number », *Physical Review Letters*, 2014, vol. 112, n° 8, 80401, DOI : 10.1103/PhysRevLett.112.080401.



L'équipe expérimentale dirigée par Jean Dalibard étudie le comportement collectif d'atomes refroidis à une température extrêmement basse (le microkelvin et en deçà). Cette température est atteinte en éclairant les atomes par des faisceaux lasers de fréquence judicieusement choisie, les atomes étant alors piégés dans des « cages de lumière ». Ces assemblées d'atomes froids permettent de simuler le comportement d'autres systèmes encore mal compris, comme certaines classes de matériaux supraconducteurs ou des objets astrophysiques, étoiles à neutrons par exemple. Les atomes froids trouvent également de nombreuses applications en métrologie, avec le développement de nouvelles horloges, et en mesures de haute précision (gravimétrie, accélérométrie).



## PUBLICATIONS RÉCENTES

### ARTICLES

AIDELSBURGER M., LOHSE M., SCHWEIZER C., ATALA M., BARREIRO J.T., NASCIBÈNE S., COOPER N.R., BLOCH I. et GOLDMAN N., « Revealing the topology of Hofstadter bands with ultracold bosonic atoms », *ArXiv:1407.4205 [cond-mat, physics:quant-ph]*, 16 juillet 2014.

CORMAN L., CHOMAZ L., BIENAIMÉ T., DESBUQUOIS R., WEITENBERG C., NASCIBÈNE S., DALIBARD J. et BEUGNON J., « Quench-induced supercurrents in an annular two-dimensional Bose gas », *ArXiv:1406.4073 [cond-mat]*, 16 juin 2014.

GOLDMAN N. et DALIBARD J., « Periodically Driven Quantum Systems: Effective Hamiltonians and Engineered Gauge Fields », *Physical Review X*, 2014, vol. 4, n° 3, 31027, DOI : 10.1103/PhysRevX.4.031027.

DESBUQUOIS R., YEFSAH T., CHOMAZ L., WEITENBERG C., CORMAN L., NASCIBÈNE S. et DALIBARD J., « Determination of Scale-Invariant Equations of State without Fitting Parameters: Application to the Two-Dimensional Bose Gas Across the Berezinskii-Kosterlitz-Thouless Transition », *Physical Review Letters*, 2014, vol. 113, n° 2, 20404, DOI : 10.1103/PhysRevLett.113.020404.

ANISIMOVAS E., GERBIER F., ANDRIJAUSKAS T. et GOLDMAN N., « Design of laser-coupled honeycomb optical lattices supporting Chern insulators », *Physical Review A*, 31 janvier 2014, vol. 89, n° 1, 13632, DOI : 10.1103/PhysRevA.89.013632.

SARLO L.D., SHAO L., CORRE V., ZIBOLD T., JACOB D., DALIBARD J. et GERBIER F., « Spin fragmentation of Bose–Einstein condensates with antiferromagnetic interactions », *New Journal of Physics*, 1 novembre 2013, vol. 15, n° 11, 113039, DOI : 10.1088/1367-2630/15/11/113039.

GOLDMAN N., GERBIER F. et LEWENSTEIN M., « Realizing non-Abelian gauge potentials in optical square lattices: an application to atomic Chern insulators », *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, 14 juillet 2013, vol. 46, n° 13, 134010, DOI : 10.1088/0953-4075/46/13/134010.

NAVON N., NASCIBÈNE S., LEYRONAS X., CHEVY F. et SALOMON C., « Condensation energy of a spin-1/2 strongly interacting Fermi gas », *Physical Review A*, 2013, vol. 88, n° 6, 63614, DOI : 10.1103/PhysRevA.88.063614.

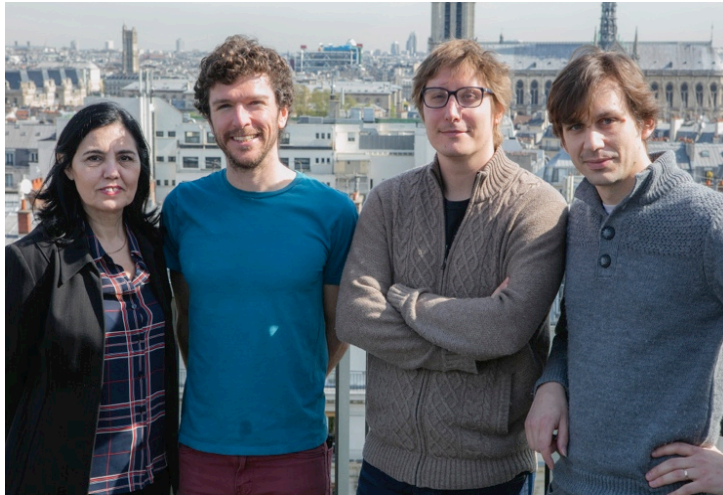
HADZIBABIC Z. et DALIBARD J., « BKT Physics with Two-Dimensional Atomic Gases », dans *40 Years of Berezinskii-Kosterlitz-Thouless Theory*, World Scientific, 2013, 297-323.

Fruit d'un partenariat entre le CNRS et le Collège de France, cet incubateur, dirigé par Michel Brune, est un élément décisif pour le maintien d'un lien de forte continuité interdisciplinaire physique-chimie-biologie au Collège de France. Il vise à fournir à de jeunes chercheurs des conditions de recherche exceptionnelles avec l'infrastructure technique et l'environnement intellectuel idéaux pour lancer des projets de recherche innovants. Ces jeunes équipes bénéficient de locaux de bureaux et d'expérimentation, ainsi que de matériel de pointe et d'un soutien administratif. Le financement initial de leur activité est apporté dans le cadre d'un contrat de quatre ans et couvre le budget de fonctionnement courant.



Une fois entièrement opérationnel, l'incubateur accueillera cinq jeunes équipes (trois sont actuellement hébergées). Ces équipes sont recrutées via des appels à projets ouverts aux chercheurs ayant soutenu leur thèse il y a moins de dix ans, ayant déjà une expérience postdoctorale significative et un projet de recherche convaincant. À la suite de la période initiale de quatre ans, l'activité de l'équipe est évaluée par un comité scientifique international. Leur contrat peut être renouvelé pour une autre période de quatre ans suivant l'évaluation et en tenant compte de la situation professionnelle du candidat. Le développement de l'activité de l'équipe doit ensuite lui permettre de chercher des sources complémentaires de financement.

L'ingénieur quantique peut de nos jours concevoir et fabriquer des circuits mésoscopiques basés sur différentes briques élémentaires – boîtes quantiques, aimants moléculaires, nanofils, liens faibles supraconducteurs, graphène, etc. – et se comportant quantiquement à basse température. Comme en physique atomique et moléculaire, la spectrométrie est l'outil de choix pour sonder et manipuler les états quantiques de ces circuits.



C. Toderasc (resp. administrative), C. Girit, J.D. Pillet, J.L. Smirr (postdocs).

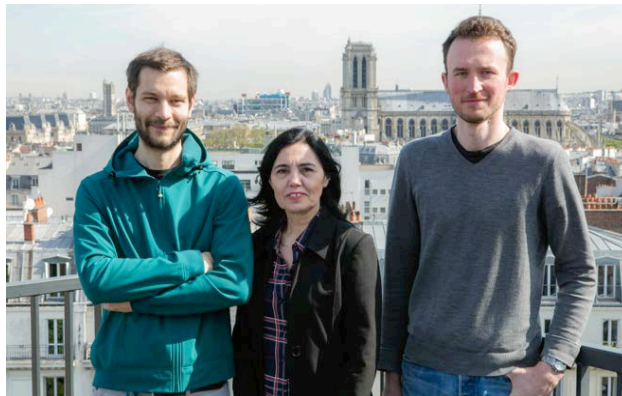
L'objectif de ce projet est de développer un spectromètre intégré (on-chip) à base des jonctions Josephson pour accéder aux propriétés électroniques des systèmes mésoscopiques entre 2 GHz et 2 THz. Non seulement cette technique rendra accessible une gamme de fréquences hors d'atteinte par des moyens conventionnels d'optique et d'électronique, mais ce spectromètre aura une largeur de raie d'émission comparable à celle des meilleures sources, une sensibilité comparable à celle des meilleurs détecteurs, et la capacité de se coupler électromagnétiquement sur une très large bande et sur une même puce, à

un système mésoscopique. Les spectres obtenus permettront d'identifier les excitations élémentaires du système.

Plusieurs expériences sont prévues pour le spectromètre Josephson : la mesure des temps de vie d'une quasiparticule ou paire de Cooper unique dans des supraconducteurs mésoscopiques ; la spectroscopie des états isolants aux points de Dirac dans le graphène de haute mobilité ; l'excitation des modes de Majorana dans des systèmes hybrides supraconducteur - semiconducteur «topologiques».

Çağlar Girit est diplômé du MIT (2003) et a obtenu son doctorat à Berkeley (2010) sous la direction du Pr Alex Zettl. Il a été chercheur postdoctoral dans le Groupe Qnantronique au CEA de 2010 à 2014. Il est lauréat du National Science Foundation Graduate Research Fellowship (2004-2007), du UC Berkeley Lars Commins Memorial Award (2009) et d'une bourse de recherche posdoctorale Marie Curie (2012-2014). Durant sa thèse, il a étudié les propriétés électroniques et structurales du graphène et du transport électronique dans des structures supraconductrices en graphène hybride. Durant son post-doctorat, il a mesuré des états liés d'Andreev d'un contact atomique supraconducteur. Il a obtenu une bourse ERC pour ses recherches actuelles.

Les lois de la physique quantique autorisent un objet à être à deux endroits en même temps, à changer d'état du simple fait qu'on l'observe, ou encore à former un couple avec un autre objet situé pourtant à des kilomètres de distance. Ces phénomènes sont aujourd'hui observables dans des expériences manipulant des particules de matière, de lumière, ou de minuscules circuits électroniques. Progressivement, nous apprenons à utiliser ces objets élémentaires pour construire des systèmes de plus en plus complexes et, d'objets d'études, les transformer en outils d'investigation pour d'autres domaines de recherche. Dans ce jeu de construction quantique, les particules de lumière (photons) sont une pièce essentielle, la seule qui permette de relier deux systèmes quantiques à distance. De cette qualité vient aussi leur défaut principal : les faisceaux lumineux, donc les photons, interagissent très peu entre eux. Il est donc difficile de les assembler pour faire un système quantique sophistiqué.



De g. à d. : K. Muller (postdoc), C. Toderasc, A. Ourjourtsev

Les travaux de l'équipe visent à créer une plateforme expérimentale capable de faire interagir efficacement des particules de lumière entre elles et de contrôler les propriétés de leurs interactions. On combine pour cela les idées et les techniques de différents domaines de recherche comme la physique atomique, l'optique quantique, la nanophotonique ou l'imagerie biomédicale. Ce système fonctionnera comme des lunettes de soleil à teinte variable, qui s'obscurcissent au soleil et s'éclaircissent lorsque la luminosité baisse. Ces « lunettes » ultra-sensibles seront capables de transmettre un photon unique, mais deviendront opaques ou réfléchissantes lorsque plusieurs photons y arriveront en même temps. Cette plateforme sera utilisée pour faire des expériences de logique quantique, pour préparer la lumière dans des états quantiques sophistiqués permettant de faire des mesures ultra-sensibles, ou encore pour simuler des phénomènes quantiques complexes se produisant dans d'autres systèmes physiques.

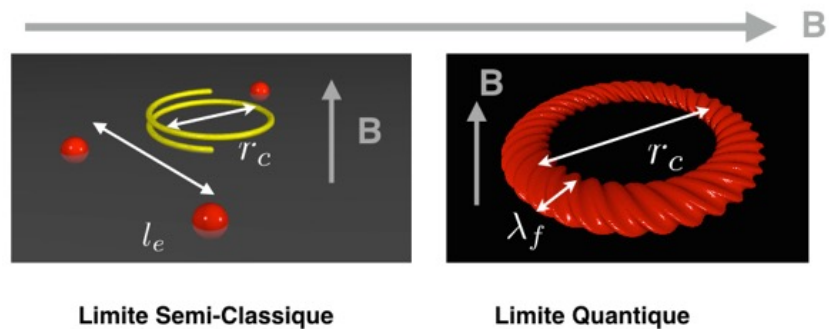
À sa sortie de l'École normale supérieure en 2004, Alexei Ourjourtsev s'est spécialisé en optique quantique expérimentale. Durant sa thèse, menée à l'Institut d'optique sous la direction de P. Grangier, il a créé une interaction photon-photon sous une forme probabiliste. Son séjour postdoctoral à l'Institut Max Planck dans le groupe de G. Rempe lui a permis d'étudier ce même problème dans un autre environnement, l'électrodynamique quantique en cavité. Il est revenu en 2009 à l'Institut d'optique en tant que chargé de recherche au CNRS pour y développer une nouvelle expérience visant à étudier les non-linéarités optiques dans un gaz froid formé d'atomes portés dans des états de Rydberg. Il a obtenu une bourse ERC pour ses recherches actuelles.

L'équipe de Benoît Fauqué s'intéresse aux propriétés électroniques de certains métaux, appelés métaux dilués, quand ils sont placés dans un champ magnétique. Sous l'effet de ce champ, les électrons se déplacent le long d'une hélice. À mesure que le champ magnétique augmente, le rayon de l'hélice diminue et devient tour à tour comparable aux différentes échelles caractéristiques du matériau : à faible champ, lorsque ce rayon est comparable au libre parcours moyen électronique, la dynamique de l'électron est bien décrite par une approche semi-classique ; à plus fort champ, lorsque le rayon est comparable à la longueur d'onde de Fermi, on s'attend à une modification de l'état fondamental électronique du système.

C'est dans ce régime dit de la « limite quantique » que l'effet Hall quantique est observé dans des gaz d'électrons à deux dimensions. Paradoxalement, cette limite a été peu étudiée dans des gaz d'électrons à trois dimensions, essentiellement pour une raison pratique : dans

le cas du cuivre (ou d'un métal standard), le champ magnétique nécessaire pour atteindre cette limite est de l'ordre de 5000 Teslas, ce qui n'est pas réalisable en laboratoire. En revanche, dans le cas des métaux dilués qui nous intéressent ici, celui-ci est beaucoup plus faible, de l'ordre de quelques Teslas. L'équipe explore l'organisation des électrons dans le régime de la limite quantique dans les métaux dilués, en particulier dans le graphite où elle a mis en évidence l'existence de phases électroniques originales induites par le champ magnétique.

Durant sa thèse, Benoît Fauqué a étudié les supraconducteurs à haute température critique par diffusion de neutrons au CEA de Saclay. Durant ses travaux de post-doctorat (ATER à l'université Pierre et Marie Curie, puis 'Newton International Fellow' à l'université de Bristol), il a étudié les propriétés électroniques des métaux dilués et les systèmes magnétiquement frustrés par des mesures de transport d'entropie. Depuis 2010, il est chargé de recherche au CNRS. Il a obtenu le prix EMFL 2013 (*European Magnetic Field Laboratory*) et une bourse ANR Jeunes Chercheurs pour ses recherches.



L'exception du Collège de France réside dans le croisement du niveau le plus pointu de la recherche avec la diffusion la plus large de la connaissance. Les plus grands chercheurs s'y côtoient pour faire avancer tous les domaines de la connaissance : mathématiques, sciences de la matière et du vivant, mais aussi histoire, sciences humaines, économie. Ce savoir, qui a vocation à rayonner partout dans le monde, est enseigné de manière libre et gratuite, au rythme des découvertes.

Le Collège de France doit sa création à François I<sup>er</sup> qui nomma en 1530 les premiers Lecteurs royaux. Leur fonction était d'enseigner des disciplines qui n'étaient pas encore admises à l'Université. Aujourd'hui, les anciens « lecteurs royaux » sont devenus 50 professeurs travaillant avec plusieurs centaines de chercheurs dans les différents sites parisiens de l'institution (place Marcelin-Berthelot, rue d'Ulm et rue du Cardinal Lemoine).

### DES PERSONNALITÉS D'EXCEPTION POUR UNE RECHERCHE LIBRE ET AUDACIEUSE

La politique de l'institution repose sur le choix de personnalités d'exception. En effet, quand de nouveaux professeurs sont élus par leurs pairs, seules comptent l'importance et l'originalité de leurs travaux. La force du Collège de France réside également dans sa capacité à évoluer en fonction des acquis de la recherche. Depuis l'origine, une disposition essentielle a maintenu la vigueur créatrice de cette communauté savante : les chaires sont créées à l'arrivée des nouveaux professeurs selon leur spécialité et disparaissent à leur départ en retraite. Ainsi, au départ d'un professeur, son successeur est choisi librement par ses pairs dans un nouveau domaine de recherche, en fonction des derniers développements des sciences. Les thématiques des chaires du Collège de France sont donc constamment renouvelées.

### UNE RECONNAISSANCE NATIONALE ET INTERNATIONALE

La qualité scientifique exceptionnelle des travaux menés par les professeurs du Collège de France peut se mesurer aux distinctions nationales et internationales qu'ils ont pu obtenir et notamment, entre autres consécration, 4 médailles Fields, 16 médailles d'or du CNRS, 5 grands prix de l'INSERM et 10 Prix Nobel dont, tout récemment, le prix Nobel de physique attribué au professeur Serge Haroche en 2012.

### **Objectif :**

Développer l'action du Collège de France au service du progrès et du rayonnement des sciences françaises avec l'exigence d'une recherche libre, de haut niveau et tournée vers la société et ses enjeux.

### **Axes stratégiques pour assurer toutes les conditions de développement d'une recherche d'excellence :**

- 1/** Mettre à la disposition des professeurs et des équipes de recherche des infrastructures performantes et des équipements innovants ;
- 2/** Mener une politique scientifique ambitieuse basée sur l'interdisciplinarité, la mutualisation et la valorisation de la recherche ;
- 3/** Renforcer significativement l'attractivité scientifique du Collège de France pour attirer les meilleurs talents ;
- 4/** Assurer le rayonnement du Collège de France et des sciences françaises par une politique d'ouverture et de diffusion à l'échelle mondiale.

**Réunir ces conditions est un enjeu vital pour permettre à la France de conserver son leadership scientifique dans des domaines stratégiques pour l'avenir.**

*« La recherche fondamentale, par son originalité et sa liberté, est génératrice des ruptures conceptuelles qui, par-delà leur valeur propre, une fois traduites en innovations technologiques et industrielles, assurent le succès des économies fondées sur la connaissance. »*

Pr Alain Prochiantz, Administrateur du Collège de France

## DES INFRASTRUCTURES ET DES ÉQUIPEMENTS DE POINTE POUR UNE RECHERCHE DE PREMIER PLAN

Il est essentiel que le Collège de France offre aux chercheurs les conditions nécessaires à la pratique d'une recherche de premier plan sur les sites mêmes de l'institution.

La recherche expérimentale en physique, chimie et biologie du Collège de France a longtemps bénéficié d'une surface de recherche importante sur le site Marcelin Berthelot. Des découvertes majeures y ont été faites, notamment par Frédéric Joliot, Pierre-Gilles de Gennes, Claude Cohen-Tannoudji, Jean-Marie Lehn ou Jean Dausset, pour n'en citer que quelques-uns. Faute de moyens, ces locaux n'avaient pas été rénovés depuis de très nombreuses années. Une politique ambitieuse de rénovation des laboratoires de recherche du Collège de France a été menée depuis les années 2000 pour mettre aujourd'hui à la disposition des chercheurs en physique, chimie et biologie, plus de 25 000 m<sup>2</sup> de laboratoires équipés des dernières technologies.

Le Collège de France entend poursuivre un effort analogue en faveur de la recherche en sciences humaines et historiques, notamment l'étude des mondes anciens et des grandes civilisations. Ces domaines, dans lesquels le Collège de France a traditionnellement excellé, sont associés sur le site Cardinal Lemoine à des bibliothèques d'une richesse dont il existe peu d'équivalents dans le monde. Le réaménagement et la modernisation de ces locaux d'ici à 2019 permettront la mise en valeur de ce patrimoine et le développement de ces recherches au sein d'un Institut des civilisations.

La rénovation des bâtiments du Collège de France est en passe d'être achevée. Cependant le maintien d'une recherche de niveau international nécessite un investissement permanent, notamment dans l'acquisition d'équipements de haute technologie.

## UNE POLITIQUE SCIENTIFIQUE AMBITIEUSE

---

Au-delà de conditions matérielles et technologiques renouvelées, la politique scientifique engagée par le Collège de France consiste à structurer ses activités de recherche de la manière la plus performante possible et supportant la comparaison avec les plus prestigieux centres de recherche au niveau mondial. À la faveur de la rénovation et du réaménagement de ses locaux, le Collège de France a en effet regroupé ses 50 chaires et les laboratoires qui leur sont associés en instituts thématiques pensés non pas comme de nouvelles entités administratives mais comme des pôles d'excellence : biologie, physique, chimie, civilisations, études littéraires, monde contemporain.

Souples dans leur fonctionnement et leur organisation, les instituts permettent aux équipes travaillant sur des sujets proches de mutualiser leurs moyens, de mieux collaborer et échanger entre disciplines, et de promouvoir des projets de recherche communs ambitieux.

Alors que l'avenir des sciences se joue pour beaucoup aux frontières entre les disciplines, les instituts renforcent une interdisciplinarité qui est la marque du Collège de France. Enfin, la formation de ces instituts contribue à une meilleure valorisation des travaux de recherche et à une plus grande visibilité du Collège de France.

## UNE ATTRACTIVITÉ SCIENTIFIQUE RENFORCÉE POUR ATTIRER LES MEILLEURS TALENTS

---

*« Pour tenir notre rang dans la compétition avec les institutions étrangères les plus prestigieuses, le mécénat permet souvent de faire la différence. Il faut pouvoir garder les jeunes et brillants chercheurs formés en France mais aussi attirer les meilleurs talents étrangers, tous ceux qui inventeront les sociétés de demain. »*

Pr Serge Haroche, Prix Nobel de physique 2012

Le renforcement de son attractivité est un enjeu majeur pour l'institution. Dès lors, le Collège de France mène une politique engagée d'accueil au sein de ses instituts des meilleurs chercheurs, venus du monde entier, et entend jouer un rôle clé d'incubateur de talents, jeunes chefs d'équipe, doctorants et post-doctorants.

L'accueil de ces chercheurs d'envergure internationale et de ces jeunes talents est un élément essentiel pour la vitalité et la qualité de la recherche mais aussi pour la visibilité et le rayonnement du Collège de France.

L'enjeu est donc de donner l'envie aux jeunes équipes de venir au Collège de France et d'y poursuivre leurs recherches. Pour cela, au-delà d'un environnement intellectuel et scientifique unique, l'institution doit pouvoir continuer d'offrir des conditions de recherche de très haut niveau mais aussi être en mesure d'apporter des compléments de salaire permettant de rivaliser avec ses homologues étrangers, très compétitifs sur ce point.

## UN RAYONNEMENT INTERNATIONAL

---

### OUVERTURE SUR LE MONDE

Le Collège de France est une institution résolument ouverte sur l'international dont de nombreux cours sont délocalisés à l'étranger. Son corps professoral compte plusieurs nationalités différentes et des conférenciers étrangers sont invités régulièrement pour des séjours de courte durée. Enfin, de nombreux jeunes chercheurs venus du monde entier sont accueillis au sein des laboratoires. Afin d'accroître cette ouverture, une chaire internationale et une chaire européenne viennent d'être créées.



## LIBRE ACCÈS AU SAVOIR ET RAYONNEMENT MONDIAL : UNE POLITIQUE DE DIFFUSION AMBITIEUSE

Depuis 1530, les cours du Collège de France sont accessibles à tous, gratuitement, sans inscription. Ils attirent aujourd'hui plus de 150 000 auditeurs chaque année. Cette audience s'est accrue de manière exponentielle avec la diffusion en accès libre de l'ensemble des enseignements et de leur traduction en anglais sur le site Internet de l'institution et sur les plateformes iTunes et iTunes U. En 2015, près de 14 millions d'heures de cours ont été visionnées. Cette politique volontariste et ambitieuse, entamée dès 2007, a permis de démultiplier de façon vertigineuse la portée des enseignements du Collège de France à une échelle mondiale et de toucher de nouveaux publics.

Le Collège de France accroît chaque année cet axe stratégique de diffusion des connaissances qui répond parfaitement à sa mission d'origine et témoigne de la vitalité de la recherche française dans le monde entier.

## LE RÔLE DE LA FONDATION DU COLLÈGE DE FRANCE

---

*« Lorsque nous avons créé la Fondation du Collège de France en avril 2008, notre volonté était d'accroître la visibilité et l'attractivité de l'institution pour développer son potentiel de recherche dans tous les domaines de la connaissance et élargir la diffusion de l'information scientifique.*

*Avec la Fondation du Collège de France, nous voulons nous donner tous les moyens pour être à la hauteur de nos missions et de nos ambitions. »*

Pr Marc Fontecave, Président de la Fondation

**Au cœur de Paris et internationalement reconnu pour son excellence scientifique, le Collège de France dispose de véritables atouts dans la compétition mondiale de la connaissance. Maintenir cette recherche au plus haut niveau a un coût matériel et humain de plus en plus élevé et le Collège de France doit diversifier et amplifier ses sources de financement.**

**C'est pourquoi la Fondation du Collège de France met tout en œuvre pour s'attacher la collaboration de grands mécènes et donateurs désireux de faire avancer la recherche dans notre pays et d'encourager la diffusion des savoirs.**



[www.fondation-cdf.fr](http://www.fondation-cdf.fr)

11 place Marcellin-Berthelot 75005 Paris

[fondation@college-de-france.fr](mailto:fondation@college-de-france.fr)

**Marie Chéron** - Directrice - 01 44 27 11 78  
[marie.cheron@college-de-france.fr](mailto:marie.cheron@college-de-france.fr)

**Julie Barbaroux** - Chef de projet mécénat - 01 44 27 11 60  
[julie.barbaroux@college-de-france.fr](mailto:julie.barbaroux@college-de-france.fr)