



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Conférence-débat



La matière topologique : des concepts aux applications

mardi 5 novembre 2019 de 14h30 à 17h00

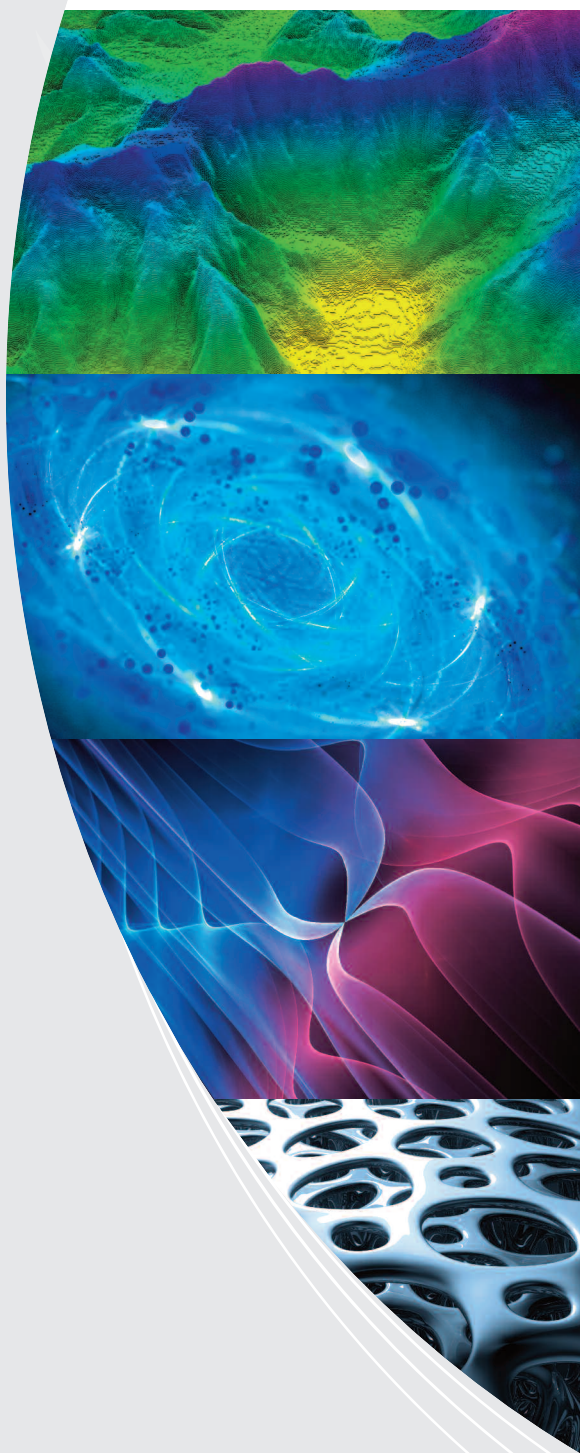
Grande salle des séances
de l'Institut de France

23, quai de Conti, 75006 Paris

Comment classer les états de la matière ? Au-delà des considérations usuelles fondées sur les symétries géométriques, l'application de concepts issus de la topologie conduit actuellement à des développements fascinants. Initialement proposés pour aborder certains problèmes de l'état solide comme l'effet Hall quantique, ces concepts irriguent désormais de nombreux autres domaines de la physique, allant de l'optique à l'hydrodynamique.

La matière topologique se caractérise par des propriétés spécifiques robustes, qui subsistent lorsque l'on modifie (modérément) les paramètres du système ou lorsqu'on lui ajoute du désordre. Les matériaux topologiques peuvent par exemple présenter une conductance quantifiée ou des états de bords se propageant sans pertes ; ils sont ainsi à l'origine de dispositifs nouveaux, notamment en électronique et en photonique.

La conférence-débat montrera comment les concepts topologiques émergent naturellement dans une vaste classe de problèmes physiques et elle illustrera ces concepts à partir de plusieurs applications récentes.



Les organisateurs de la conférence-débat



Hélène BOUCHIAT

Physicienne, directeur de recherche CNRS, Université Paris Sud, membre de l'Académie des sciences

Hélène Bouchiat s'intéresse aux nanosciences et à la physique des systèmes mésoscopiques isolés par opposition à celle des propriétés de transport d'échantillons connectés. A partir de 1998, ses travaux s'intéressent au transport cohérent dans les nanotubes de carbone et tout particulièrement aux phénomènes liés à la supraconductivité qui peut être induite dans ces matériaux par effet de proximité. Par la suite, elle et son équipe s'intéressent également à l'effet Josephson dans le graphène ainsi que, plus récemment, dans des nanofils de bismuth présentant une forte interaction spin-orbite et un comportement topologique d'ordre supérieur.



Jean DALIBARD

Physicien, professeur au Collège de France et membre de l'Académie des sciences

Jean Dalibard étudie la matière quantique ultra-froide, produite en refroidissant et en piégeant des gaz d'atomes avec des faisceaux lumineux. Jean Dalibard et son équipe du laboratoire Kastler Brossel y ont notamment mis en évidence le phénomène de superfluidité grâce à l'observation de réseaux de vortex. Ses recherches actuelles portent sur la préparation de ces gaz d'atomes dans des phases topologiques qui seraient l'analogie des états de l'effet Hall quantique connus pour les gaz d'électrons.



Antoine GEORGES

Physicien, professeur au Collège de France, membre de l'Académie des sciences

Antoine Georges est un physicien théoricien dont les recherches portent sur les états collectifs de la matière, et plus particulièrement les systèmes quantiques ayant de fortes interactions comme les matériaux à électrons fortement corrélés.



Thierry GIAMARCHI

Physicien, professeur à l'Université de Genève et membre de l'Académie des sciences

Thierry Giamarchi un théoricien étudiant les effets d'interaction dans les systèmes quantiques de basse dimension tant dans le domaine de la matière condensée que dans les systèmes d'atomes ultra-froids.

Ses recherches ont également porté sur les effets du désordre dans les systèmes classiques et quantiques où il a pu montrer que la combinaison du désordre et des interactions conduisait à de nouvelles phases de la matière.

P rogramme

- 14:30** **Ouverture de la séance**
Patrick FLANDRIN, physicien, vice-président de l'Académie des sciences
Étienne GHYS, mathématicien, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
- 14:45** **Introduction à la matière topologique**
Benoit DOUÇOT, physicien, directeur de recherches au CNRS au Laboratoire de physique théorique et hautes énergies (LPTHE), Sorbonne Université
- 15:05** Discussion
- 15:15** **Supraconductivité topologique et calcul quantique**
Julia MEYER, physicienne, professeure à l'Université de Grenoble Alpes et directrice du Centre de physique théorique de Grenoble Alpes
- 15:35** Discussion
- 15:45** **La matière topologique sous toutes ses formes : des gaz quantiques à la photonique**
Nathan GOLDMAN, physicien, chercheur qualifié au Fonds de la recherche scientifique (FNRS), professeur à l'Université Libre de Bruxelles et professeur invité à l'Ecole Normale Supérieure de Paris
- 16:05** Discussion
- 16:15** **Aspects topologiques des ondes dans les fluides**
Pierre DELPLACE, physicien, chercheur CNRS au laboratoire de Physique de l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Lyon
- 16:35** Discussion
- 16:45** **Discussion générale et conclusion**

Résumés et biographies



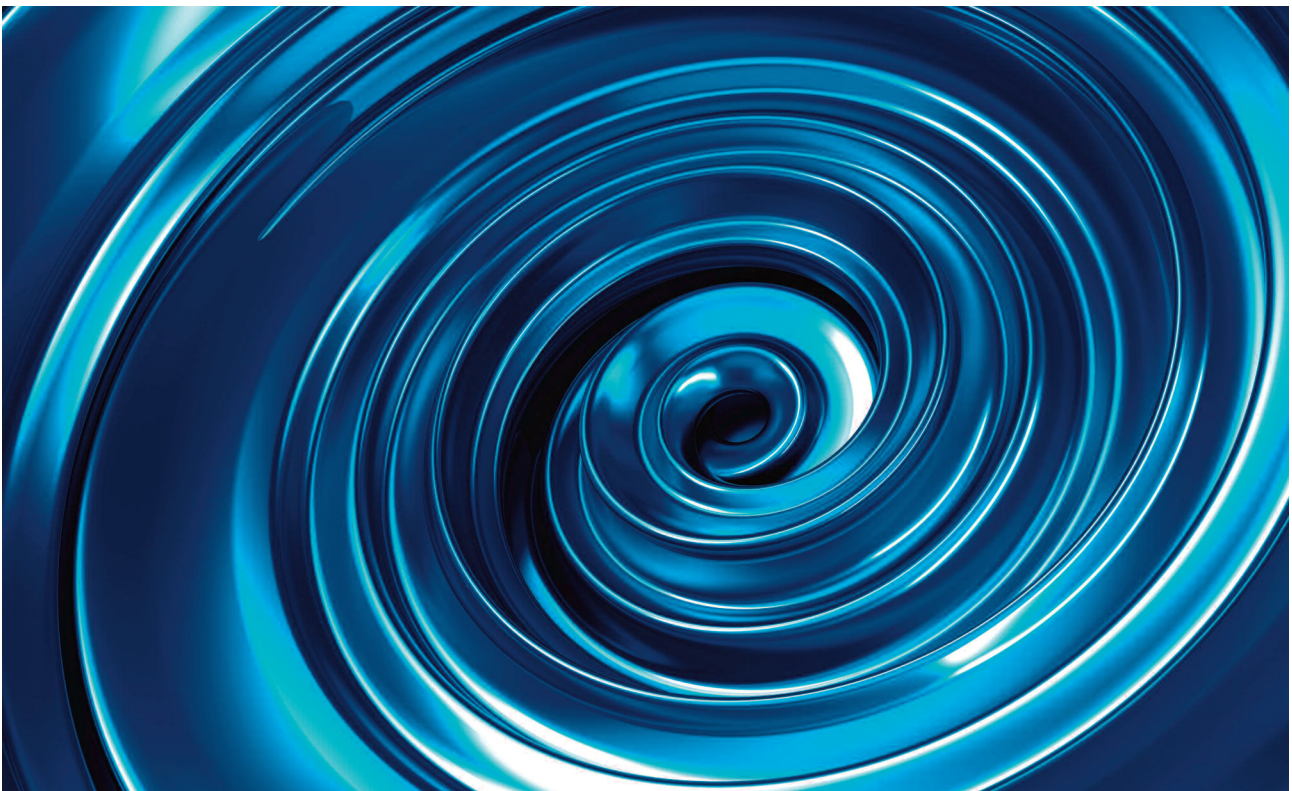
Benoît DOUCOT

Physicien, directeur de recherches au CNRS au Laboratoire de physique théorique et hautes énergies (LPTHE), Sorbonne Université

Benoît Douçot est directeur de recherches au CNRS et travaille depuis 1995 au Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Énergies dépendant de Sorbonne Université. Ses sujets de recherches ont été : effets quantiques dans les conducteurs désordonnés, systèmes électroniques fortement corrélés, circuits quantiques supraconducteurs, bits quantiques topologiquement protégés, effets topologiques dans les systèmes intégrables, réseaux de Skyrmions dans les ferromagnétiques de Hall. Il a reçu le prix Aniuta Winter-Klein de l'Académie des sciences en 2010 et la médaille d'argent du CNRS en 2013.

Introduction à la matière topologique

Depuis la seconde moitié du XIX^e siècle, la topologie a été très présente en physique. Ainsi, après les travaux fondateurs d'Helmholtz sur les lignes de vortex dans les fluides incompressibles, Thomson, Tait et Maxwell ont songé à expliquer la structure atomique de la matière en termes de nœuds de lignes de vortex dans un hypothétique milieu continu. Au cours du XX^e siècle, la mécanique quantique a amplifié le rôle de la topologie, comme en témoignent les exemples des monopôles de Dirac et de l'effet Aharonov-Bohm. Dans les années 1980, la découverte de l'effet Hall quantique a fait émerger un paradigme central pour la matière topologique, qui combine la quantification de la conductance de Hall et l'apparition d'états de bords chiraux portant un courant électrique sans dissipation. Depuis une vingtaine d'années, l'émergence simultanée d'une chimie quantique topologique, du calcul quantique topologique, et le développement remarquable des simulateurs quantiques ont considérablement étendu le champ de la matière topologique. J'essaierai d'expliquer les concepts clés mis en jeu dans ce domaine en pleine effervescence.



Julia MEYER

Physicienne, professeure à l'Université de Grenoble Alpes et directrice
du Centre de physique théorique de Grenoble Alpes

Julia Meyer est professeure de physique théorique de la matière condensée à l'Université Grenoble Alpes depuis 2009. Avant de venir en France, elle a obtenu son doctorat en Allemagne à l'*Universität zu Köln* et elle a travaillé aux Etats-Unis comme *Assistant Professor* à l'*Ohio State University* pendant plusieurs années. Ses activités de recherche couvrent les phénomènes mésoscopiques dans les systèmes sans interaction, les effets d'interaction à basse dimension, les effets de proximité dans les systèmes supraconducteurs hybrides et, plus récemment, les phases topologiques de la matière.



Supraconductivité topologique et calcul quantique

Parmi les phases topologiques de la matière récemment découvertes, les supraconducteurs topologiques ont suscité un intérêt particulier dû aux perspectives qu'ils ouvrent pour le développement d'une nouvelle informatique quantique. Une propriété commune aux phases topologiques de la matière est qu'elles abritent des états protégés aux propriétés exotiques. Dans le cas des supraconducteurs topologiques, il s'agit d'états dits de Majorana – d'après le physicien italien Ettore Majorana qui a démontré la possibilité d'une particule élémentaire qui serait sa propre antiparticule en 1937. Ces états permettraient de réaliser des bits quantiques, éléments de base d'un ordinateur quantique, avec une grande robustesse vis-à-vis des perturbations qui ont tendance à effacer l'information. Dans les dernières années, plusieurs groupes expérimentaux ont réussi à créer des systèmes adaptés dans lesquels ils ont mis en évidence des signatures liées à la présence d'états de Majorana. En plus de la nature de ces états exotiques, j'essaierai d'expliquer les avancées récentes dans le domaine ainsi que les perspectives pour le calcul quantique topologiquement protégé.





Nathan GOLDMAN

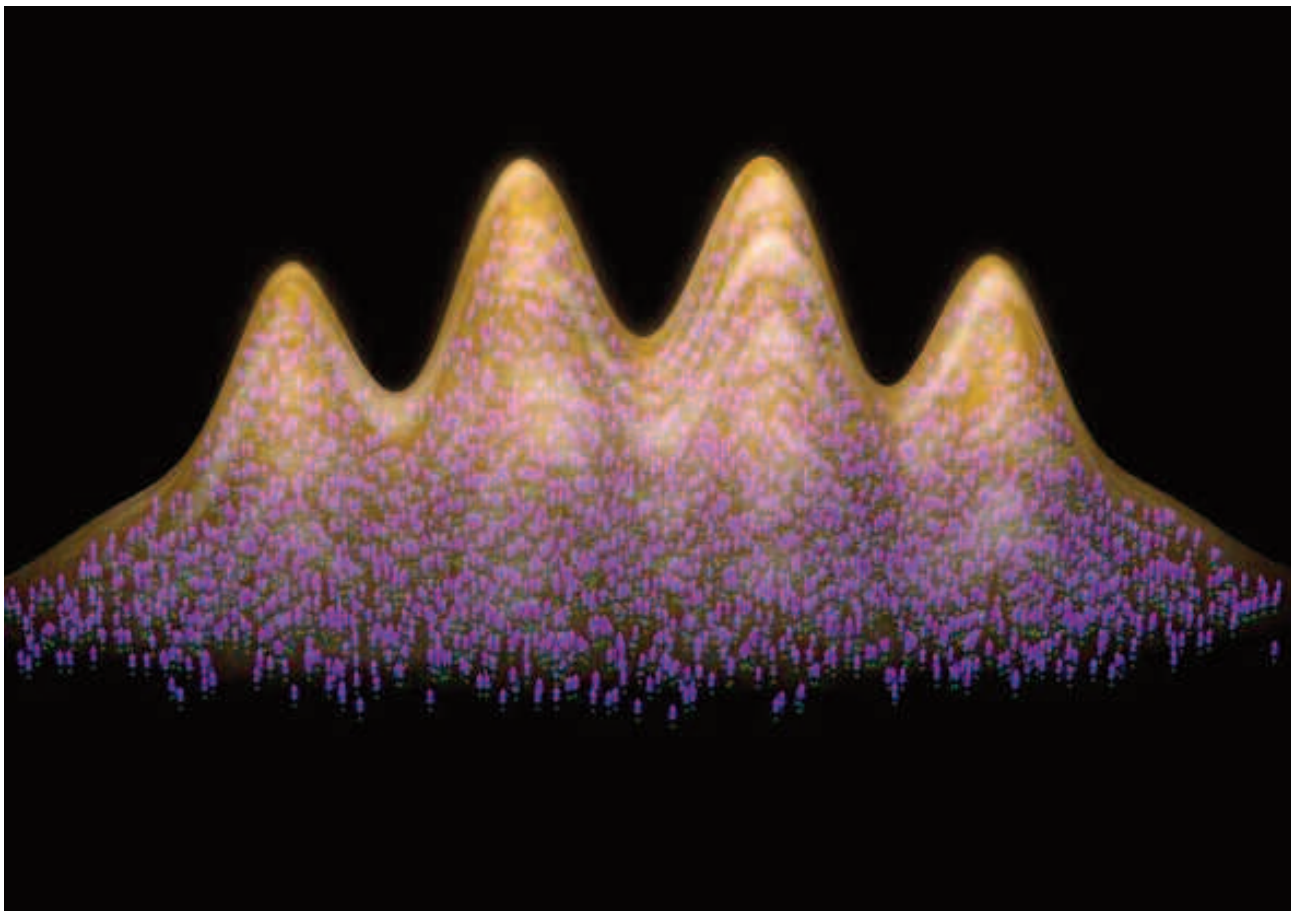
Physicien, chercheur qualifié au FNRS, professeur à l'Université Libre de Bruxelles et professeur invité à l'Ecole Normale Supérieure de Paris

Nathan Goldman est un spécialiste de la matière quantique, reconnu pour ses travaux sur les états topologiques de la matière. Ses travaux actuels portent sur l'observation de phénomènes topologiques en physique atomique ainsi qu'en photonique. Il est lauréat de plusieurs prix dont le Prix Agathon de Potter en 2015 et le Prix Wetrems en 2019 (Académie Royale de Belgique) et le Prix Antonella Karlson (FNRS). Nathan Goldman est détenteur d'une *Starting Grant* délivrée par le *European Research Council*.

La matière topologique sous toutes ses formes : des gaz quantiques à la photonique

Les liens étroits qui unissent la topologie et la physique quantique sont largement explorés dans le cadre de la physique du solide. En effet, depuis la découverte des isolants topologiques, de nombreuses études portent sur la recherche de nouveaux états topologiques de la matière, ainsi que sur leurs applications potentielles. Une caractéristique importante de la physique topologique réside dans son universalité : les ingrédients de base nécessaires à l'élaboration d'une phase topologique sont en effet accessibles bien au-delà des matériaux analysés en physique du solide. En particulier, des modèles simples d'états topologiques peuvent être construits au laboratoire, en manipulant des gaz d'atomes ultrafroids, ou plus simplement, en guidant la lumière.

Dans cet exposé, je reviendrai sur les faits marquants de l'histoire des phases topologiques et de leurs réalisations synthétiques. Je me baserai sur des exemples concrets pour illustrer des correspondances entre des systèmes topologiques construits à partir de systèmes physiques très différents. Je décrirai également quelques sondes et phénomènes spécifiques à ces différents systèmes artificiels.



Pierre DELPLACE

Physicien, chercheur CNRS au laboratoire de Physique de l'ENS Lyon

Pierre Delplace est chercheur au laboratoire de physique de l'ENS de Lyon. Il a obtenu son doctorat à l'université Paris-Sud en 2010, puis a passé quatre ans à l'université de Genève avant d'être recruté en 2015 au CNRS. Après plusieurs années à travailler sur les propriétés topologiques des électrons en matière condensée, il s'est récemment tourné vers les aspects topologiques des ondes classiques, en particulier dans les fluides géophysiques.



Aspects topologiques des ondes dans les fluides

À travers l'effet Hall quantique et plus généralement les isolants topologiques, la topologie a montré son efficacité à révéler l'existence d'états dont la propagation est à la fois robuste aux perturbations et confinée dans une région d'espace bien déterminée, comme sur le bord de l'échantillon. En réalité, cette propriété remarquable de guidage ne concerne pas exclusivement les électrons quantiques dans les solides mais plus généralement les ondes dans leur ensemble.

À ce titre, la topologie s'avère donc particulièrement utile pour appréhender le guidage d'ondes macroscopiques dans les fluides, que ce soit à travers le contrôle d'ondes sonores dans des méta-matériaux, comme dans la description et la prédiction de l'existence d'ondes uni-directionnelles dans des milieux naturels comme l'océan et l'atmosphère.





INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

www.academie-sciences.fr
(rubrique «prochains évènements»)