



Proposition d'un sujet de stage Master 2

Sujet: [L'effet conjugué de la topologie et du désordre en physique des ondes](#)
Laboratoire: [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](#)
Encadrant: [Sergey Skipetrov](#)
Contact: <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr, (+33) 4 76 88 74 97

Résumé:

Les concepts topologiques jouent un rôle important en physique de la matière condensée [1]. Les invariants topologiques, tels que le nombre de Chern, sont robustes vis-à-vis des imperfections d'échantillons et des interactions faibles entre particules, ce qui en fait de bons points de référence pour la comparaison de modèles théoriques idéalisés avec des expériences. De plus, penser en termes de topologie fournit une vision alternative de phénomènes physiques complexes et peut être très bénéfique pour l'interprétation d'expériences. L'effet Hall quantique est un exemple paradigmatique d'un phénomène qui est le mieux compris en termes de concepts topologiques.

La caractérisation topologique des systèmes et phénomènes physiques ne se limite pas aux systèmes intrinsèquement quantiques ni aux électrons (c'est-à-dire aux fermions chargés). Les concepts topologiques apparaissent en optique [2], en acoustique [3] et même en sciences de la Terre [4]. Le but de ce stage **théorique** est d'explorer le rôle joué par les phénomènes topologiques en physique des ondes en milieux désordonnés. L'exemple le plus simple d'un tel système est une chaîne unidimensionnelle périodique ou quasi-périodique à laquelle une petite quantité de désordre est ajoutée. Nous savons que les invariants topologiques associés au spectre de la chaîne sont robustes vis-à-vis du désordre [5,6]. Plus récemment, l'existence de phases topologiques non triviales *induites* par le désordre a été découverte [7] et généralisée à des systèmes de dimensions supérieures [8]. Malgré ces résultats, l'impact combiné de la topologie et du désordre reste mal compris. En particulier, il existe des modèles dans lesquels les transitions entre différentes phases topologiques et la transition de localisation d'Anderson peuvent avoir lieu en fonction de paramètres (par exemple, le modèle d'Aubry-André). Ces deux types de transitions sont-ils complètement indépendants l'un de l'autre ou existe-t-il un lien entre eux ? Un autre système physique intrigant est le soi-disant isolant topologique d'Anderson – une phase topologique de la matière induite par le désordre et comportant des états propagatifs (ou conducteurs) uniquement à la surface mais pas dans le volume [9]. Enfin, la caractérisation topologique de systèmes ondulatoires ouverts avec un spectre d'énergie dans le plan complexe présente un intérêt également.

Le présent projet propose d'étudier l'effet conjugué de la topologie et du désordre sur les ondes, d'abord dans des systèmes unidimensionnels où les calculs analytiques sont réalisables et les calculs numériques rapides, puis dans des systèmes à deux et à trois dimensions. En particulier, en trois dimensions, la transition de localisation d'Anderson est attendue lorsque le désordre augmente. Cette transition peut être étudiée en modélisant le milieu désordonné par un ensemble de diffuseurs de points résonants placés dans l'espace de manière aléatoire ou avec une corrélation arbitraire [10]. Nous prévoyons d'étudier un lien possible entre la transition de localisation et les propriétés topologiques du spectre d'énergie du système. Nous espérons que cette étude permettra de mieux comprendre les différences constatées entre différents types d'ondes (scalaires, électromagnétiques, élastiques) en ce qui concerne la localisation d'Anderson.

Ce stage peut être suivi d'une thèse de doctorat.

Le stagiaire devrait avoir un goût pour la physique théorique, des compétences en calcul analytique, et un minimum d'expérience en calcul numérique.

Bibliographie

1. M.Z. Hasan and C.L. Kane, [Colloquium: Topological insulators](#), Reviews of Modern Physics **82**, 3045 (2010)
2. L. Lu, J.D. Joannopoulos and M. Soljačić, [Topological photonics](#), Nature Photonics **8**, 821 (2014)
3. X. Zhang, M. Xiao, Y. Cheng, M.-H. Lu, and J. Christensen, [Topological sound](#), Communications Physics **1**, 97 (2018)
4. P. Delplace, J.B. Marston, A. Venaille, [Topological origin of equatorial waves](#), Science **358**, 1075 (2017)
5. [Topological matter](#), Focus issue of Nature Physics **12**, 615-718 (2016)
6. Y.E. Kraus, Y. Lahini, Z. Ringel, M. Verbin, and O. Zeitler, [Topological states and adiabatic pumping in quasicrystals](#), Physical Review Letters **109**, 106402 (2012)
7. J. Li, R.-L. Chu, J. K. Jain, and S.-Q. Shen, [Topological Anderson Insulator](#), Phys. Rev. Lett. **102**, 136806 (2009)
8. S. Stützer, Y. Plotnik, Y. Lumer, P. Titum, N.H. Lindner, M. Segev, M.C. Rechtsman, A. Szameit, [Photonic topological Anderson insulators](#), Nature **560**, 461 (2018)
9. J. Li, R.-L. Chu, J. K. Jain, and S.-Q. Shen, [Topological Anderson Insulator](#), Phys. Rev. Lett. **102**, 136806 (2009)
10. S.E. Skipetrov, [Finite-size scaling analysis of localization transition for scalar waves in a three-dimensional ensemble of resonant point scatterers](#), Phys. Rev. B **94**, 064202 (2016)



Master 2 internship proposal

Subject: [Interplay of topology and disorder in wave physics](#)
Laboratory: [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](#)
Supervisor: [Sergey Skipetrov](#)
Contact: <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr, (+33) 4 76 88 74 97

Summary:

Topological concepts play an important role in condensed matter physics [1]. Topological invariants, such as the Chern number, for example, are robust with respect to sample imperfections and weak interactions between particles, which makes them good reference points when comparing idealized theoretical models with experiments. In addition, thinking in terms of topology provides an alternative view of complex physical phenomena and can be very beneficial for the interpretation of experiments. The quantum Hall effect is a paradigmatic example of phenomenon that is best understood with the help of topological concepts.

The topological characterization of physical systems and phenomena is restricted neither to intrinsically quantum systems nor to electrons (i.e., charged fermions). Topological concepts arise in optics [2], in acoustics [3] and even in Earth science [4]. The aim of this **theoretical** internship is to explore the role played by the topological phenomena in the wave physics of disordered systems. The simplest example of such a system is a one-dimensional periodic or quasi-periodic chain to which a small amount of disorder is added. We know that the topological invariants associated with the chain's spectrum are robust with respect to disorder [5,6]. More recently, the existence of nontrivial topological phases *induced* by disorder has been discovered [7] and generalized to higher-dimensional systems [8]. Despite these results, the interplay between topology and disorder remains poorly understood. In particular, models exist in which both transitions between different topological phases and the Anderson localization transition can take place as functions of parameters (e.g., the so-called Aubry-André model). Are these two types of transitions completely independent of each other or does a link exist between them? Another intriguing physical system is the so-called topological Anderson insulator – a topological phase of matter induced by disorder and having propagating (or, equivalently, conducting) states only at its surface but not in the bulk [9]. Finally, the topological characterization of open wave systems with an energy spectrum in the complex plane is of interest as well.

The present project proposes to study the interplay of topology and disorder for waves, first in one-dimensional systems where analytic calculations are feasible and numerical calculations are fast, and then in two- and three-dimensional systems. In particular, in three dimensions the Anderson localization transition is expected when the disorder is increased. This transition can be studied by modeling the disordered medium by an ensemble of resonant point scatterers that are placed in space either randomly or with arbitrary correlations [10]. We plan to explore a possible link between the localization transition and the topological properties of the system's energy spectrum. We hope that this study may shed light on the differences discovered to exist between different types of waves (scalar, electromagnetic, elastic) as far as the Anderson localization is concerned.

The internship can be followed by a doctoral thesis.

Successful candidate should have a taste for theoretical physics, analytical calculation skills, and a minimum of experience in numerical calculations.

Bibliography

1. M.Z. Hasan and C.L. Kane, [Colloquium: Topological insulators](#), *Reviews of Modern Physics* **82**, 3045 (2010)
2. L. Lu, J.D. Joannopoulos and M. Soljačić, [Topological photonics](#), *Nature Photonics* **8**, 821 (2014)
3. X. Zhang, M. Xiao, Y. Cheng, M.-H. Lu, and J. Christensen, [Topological sound](#), *Communications Physics* **1**, 97 (2018)
4. P. Delplace, J.B. Marston, A. Venaille, [Topological origin of equatorial waves](#), *Science* **358**, 1075 (2017)
5. [Topological matter](#), Focus issue of *Nature Physics* **12**, 615-718 (2016)
6. Y.E. Kraus, Y. Lahini, Z. Ringel, M. Verbin, and O. Zeitler, [Topological states and adiabatic pumping in quasicrystals](#), *Physical Review Letters* **109**, 106402 (2012)
7. J. Li, R.-L. Chu, J. K. Jain, and S.-Q. Shen, [Topological Anderson Insulator](#), *Phys. Rev. Lett.* **102**, 136806 (2009)
8. S. Stützer, Y. Plotnik, Y. Lumer, P. Titum, N.H. Lindner, M. Segev, M.C. Rechtsman, A. Szameit, [Photonic topological Anderson insulators](#), *Nature* **560**, 461 (2018)
9. J. Li, R.-L. Chu, J. K. Jain, and S.-Q. Shen, [Topological Anderson Insulator](#), *Phys. Rev. Lett.* **102**, 136806 (2009)
10. S.E. Skipetrov, [Finite-size scaling analysis of localization transition for scalar waves in a three-dimensional ensemble of resonant point scatterers](#), *Phys. Rev. B* **94**, 064202 (2016)