

## Proposition d'un sujet de stage M2

**Sujet:** Phases topologiques dans les systèmes quasi-périodiques  
**Laboratoire d'accueil :** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](http://lpmmc.cnrs.fr)  
**Encadrant :** [Sergey Skipetrov](http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov)  
**Contact :** <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>  
[Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr), (+33) 4 76 88 74 97

### Résumé :

Les spectres de beaucoup de systèmes physiques sont composés de bandes d'énergies permises séparées par des bandes d'énergies interdites appelés « gaps » spectraux. Il a été réalisé assez récemment que les bandes d'énergies permises ne sont pas toutes pareilles et sont caractérisées par des invariants topologiques. Si deux bandes d'énergies permises de deux matériaux coïncident mais ont les invariants topologiques différents, des états de surface apparaissent dans le gap à leur contact car les bandes d'énergie ne peuvent pas se transformer l'une dans l'autre sans fermer le gap. On dit que ces états de surface sont « protégés topologiquement » car ils ne sont pas affectés par le désordre dans les matériaux aussi longtemps que le désordre ne ferme pas les gaps d'énergie entre les bandes. Ils peuvent conduire l'électricité [1] ou servir comme canaux de propagation pour la lumière [2]. L'étude des rôles que les propriétés topologiques jouent dans des systèmes physiques très variés est actuellement un domaine de recherche très actif [3].

Dans le cadre de ce stage **théorique**, nous nous proposons de nous familiariser avec les concepts et les méthodes de calcul utilisés dans ce domaine de recherche en considérant un exemple simple mais, toutefois, assez riche, d'un système unidimensionnel (1D) quasi-périodique. De tels systèmes ont été montrés d'avoir des états de surface protégés topologiquement [4]. Les transitions de phase topologiques ont été observées dans les systèmes 1D également [5]. Nous allons considérer le célèbre modèle de Aubry-André (voir, par exemple, Ref. [4]) dont le spectre sera comparé avec ceux des systèmes périodiques (cristal) et désordonnés (modèle d'Anderson). Nous allons ensuite étudier ce qui se passe lorsque ces systèmes différents sont mis en contact et comment les propriétés topologiques non triviaux du système quasi-périodique disparaissent lorsque on y rajoute du désordre suffisamment fort. Le but du stage serait de bien comprendre la physique des phénomènes topologiques en 1D pour pouvoir ensuite passer à l'étude des systèmes de dimensions supérieures (2D et 3D).

Le candidat pour ce stage est attendu d'avoir un goût pour la physique théorique, des compétences en calcul analytique, et un minimum d'expérience en calcul numérique.

Ce stage peut avoir un prolongement vers une thèse de doctorat portant sur un sujet proche.

### 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. [Topological matter](#), Focus issue of Nature Physics **12**, 615-718 (2016)
4. Y.E. Kraus, Y. Lahini, Z. Ringel, M. Verbin, and O. Zilberberg, [Topological states and adiabatic pumping in quasicrystals](#), Physical Review Letters **109**, 106402 (2012)
5. M. Verbin, O. Zilberberg, Y.E. Kraus, Y. Lahini, and Y. Silberberg, [Observation of topological phase transitions in photonic quasicrystals](#), Physical Review Letters **110**, 076403 (2013)

## Master 2 internship proposal

**Subject:** **Topological phases in quasi-periodic systems**

**Laboratory:** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC\)](#)

**Supervisor:** [Sergey Skipetrov](#)

**Contact :** <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>  
[Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr), (+33) 4 76 88 74 97

### Summary:

Spectra of many physical systems are composed of allowed energy bands separated by bands of forbidden energies, called spectral gaps. It has been realized quite recently that the allowed energy bands are not all the same and are characterized by topological invariants. If two allowed energy bands of two materials coincide but have different topological invariants, surface states appear in the energy gap at their contact because the energy bands cannot transform into each other without closing the gap. These surface states are said to be “topologically protected” because they are not affected by the disorder in materials as long as the disorder does not close the energy gaps between the allowed bands. They can conduct electricity [1] or serve as propagation channels for light [2]. Studies of the roles that topological properties play in varied physical systems is currently a very active field of research [3].

The aim of this **theoretical** internship is to familiarize ourselves with the concepts and methods of computation used in this field of research by considering a simple but rich example of a one-dimensional (1D) quasi-periodic system. Such systems have been shown to have topologically protected surface states [4]. Topological phase transitions have been observed in 1D systems as well [5]. We will consider the famous Aubry-André model (see, for example, Ref. [4]) whose spectrum will be compared with those of the periodic (crystal) and disordered (Anderson model) systems. We will then study what happens when these different systems are brought into contact and how the non-trivial topological properties of the quasi-periodic system disappear when we add sufficiently strong disorder. The aim of the internship would be to understand the physics of topological phenomena in 1D in order to be able to study systems of higher dimensions (2D and 3D) afterwards.

The candidate for this internship is expected to have a taste for theoretical physics, analytical calculation skills, and a minimum of experience in numerical computations.

This internship can be followed by a PhD thesis on a related subject.

### 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. [Topological matter](#), Focus issue of Nature Physics **12**, 615-718 (2016)
4. Y.E. Kraus, Y. Lahini, Z. Ringel, M. Verbin, and O. Zilberberg, [Topological states and adiabatic pumping in quasicrystals](#), Physical Review Letters **109**, 106402 (2012)
5. M. Verbin, O. Zilberberg, Y.E. Kraus, Y. Lahini, and Y. Silberberg, [Observation of topological phase transitions in photonic quasicrystals](#), Physical Review Letters **110**, 076403 (2013)