

## Proposition d'un sujet de stage M2

**Sujet:**

**Lumière dans les guides d'ondes désordonnés**

**Laboratoire d'accueil :**

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

**Encadrant :**

[Sergey Skipetrov](#)

**Contact :**

<http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, [Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr)

**Résumé :**

La localisation d'Anderson est un phénomène d'arrêt du transport des ondes (électronique, optique ou autre) dans un système désordonné en raison d'interférences destructives d'ondes diffusées par des impuretés ou des défauts [1]. D'abord prédite pour les électrons dans les solides désordonnés [2], la localisation d'Anderson est maintenant à l'étude pour d'autres types d'ondes (lumière, son) [3], ainsi que pour les atomes froids dans les potentiels aléatoires [4].

Dans ce contexte, un système qui a été beaucoup étudié à la fois théoriquement [5] et expérimentalement [6] est un guide d'ondes quasi-unidimensionnel (quasi-1D) et désordonné : un tube rempli de diffuseurs (par exemple, des billes). La diffusion d'une onde (électromagnétique, sonore, etc.) dans un tel guide d'ondes simule la propagation d'électrons dans un fil désordonné. Par conséquent, le système peut être utilisé pour tester les résultats précédemment obtenus pour le transport électronique et pour observer les phénomènes typiques de la physique électronique mésoscopique. En particulier, la localisation d'Anderson des micro-ondes a été observée dans un guide d'ondes désordonné [6].

Les modèles développés pour le transport électronique sont basés sur l'équation de Schrödinger désordonnée qui est une équation pour une fonction d'onde scalaire. Ils ne peuvent s'appliquer aux ondes électromagnétiques qu'approximativement car ces ondes sont vectoriels (c'est-à-dire que les champs électriques et magnétiques ont une direction). Cet aspect a été largement sous-estimé jusqu'à la découverte récente du rôle crucial joué par le caractère vectoriel des ondes électromagnétiques pour la localisation dans les systèmes tridimensionnels (3D) [7]. La question qui se pose maintenant concerne le rôle du caractère vectoriel des ondes électromagnétiques dans des guides quasi-1D dans des conditions expérimentales réalistes [6].

Ce stage **théorique** a pour objectif de créer un modèle de diffusion des ondes électromagnétiques dans les guides d'ondes où le désordre est représenté par des diffuseurs ponctuels placés au hasard. Nous suivrons l'approche développée pour les systèmes 3D [7,8] et basée sur l'analyse de grandes matrices  $N \times N$  dans la limite thermodynamique  $N \gg 1$ . Nous prévoyons de retrouver les résultats précédents basés sur la théorie scalaire pour les faibles densités de diffuseurs mais de nouveaux régimes de transport vont probablement apparaître à haute densité lorsque la nature vectorielle de l'onde et les effets de champ proche associés entrent en jeu [9].

Le candidat à ce stage devrait avoir un goût pour la physique théorique et des compétences en calculs analytique et numérique. Ce stage peut être suivi d'une thèse de doctorat sur un sujet proche.

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique 2009*, pp. 70-74
2. P.W. Anderson, [Absence of diffusion in certain random lattices](#), *Phys. Rev.* **109**, 1492 (1958)
3. S.E. Skipetrov, B.A. van Tiggelen and J.H. Page, [La localisation forte d'Anderson des ondes classiques](#), *Images de la physique 2009*, pp. 75-80
4. A. Aspect *et al.*, [Localisation d'Anderson d'atomes ultrafroids](#), *Images de la physique 2009*, pp. 87-93
5. A.D. Mirlin, [Statistics of energy levels and eigenfunctions in disordered systems](#), *Phys. Rep.* **326**, 259 (2000)
6. A.A. Chabanov, M. Stoytchev & A.Z. Genack, [Statistical signatures of photon localization](#), *Nature* **404**, 850 (2000)
7. S.E. Skipetrov and I.M. Sokolov, [Absence of Anderson Localization of Light in a Random Ensemble of Point Scatterers](#), *Phys. Rev. Lett.* **112**, 023905 (2014)
8. 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)
9. R. Rezvani Naraghi, S. Sukhov, J.J. Sáenz, and A. Dogariu, [Near-Field Effects in Mesoscopic Light Transport](#), *Phys. Rev. Lett.* **115**, 203903 (2015)

## Master 2 Internship Proposal

**Subject:** Light in disordered waveguides

**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)

### Summary:

Anderson localization is a phenomenon of halt of wave transport (electronic, optical, or other) through a disordered system due to destructive interferences of waves scattered by impurities or defects [1]. First predicted for electrons in disordered solids [2], Anderson localization is now being studied for other types of waves (light, sound) [3], as well as for cold atoms in random potentials [4].

In this context, a system that has been extensively studied both theoretically [5] and experimentally [6] is a quasi-one-dimensional (quasi-1D) disordered waveguide—a tube filled with scatterers (e.g., balls). Scattering of a wave (electromagnetic, sound, etc.) in such a waveguide is supposed to model propagation of electrons in a disordered wire. Therefore, the system can be used to test theoretical results that were previously derived for electronic transport and to observe phenomena typical of mesoscopic electron physics. In particular, Anderson localization of microwaves has been observed in a disordered waveguide [6].

Models developed for electronic transport start with a disordered Schrödinger equation which is an equation for a scalar wave function. They can apply to electromagnetic waves only approximately because electromagnetic waves are vectorial (i.e., the electric and magnetic fields have a direction). This aspect has been largely underestimated until the recent discovery of the crucial role played by the vectorial character of electromagnetic waves for localization in three-dimensional (3D) systems [7]. The question that arises now concerns the role of the vectorial character of electromagnetic waves in quasi-1D waveguides under realistic experimental conditions [6].

This **theoretical** internship aims at building a model of electromagnetic wave scattering in disordered waveguides in which disorder is modeled by randomly placed point scatterers. We will follow the approach developed previously for 3D systems [7,8] and based on the analysis of large  $N \times N$  matrices in the thermodynamic limit  $N \gg 1$ . We expect to recover previous results based on the scalar theory for low scatterer densities but new transport regimes are likely to arise at high densities when the vectorial nature of the wave and its associated near-field effects come into play [9].

The candidate for this internship is expected to have a taste for theoretical physics, as well as analytical and numerical computational skills. This internship can be followed by a PhD thesis on a related subject.

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique 2009*, pp. 70-74
2. P.W. Anderson, [Absence of diffusion in certain random lattices](#), *Phys. Rev.* **109**, 1492 (1958)
3. S.E. Skipetrov, B.A. van Tiggelen and J.H. Page, [La localisation forte d'Anderson des ondes classiques](#), *Images de la physique 2009*, pp. 75-80
4. A. Aspect *et al.*, [Localisation d'Anderson d'atomes ultrafroids](#), *Images de la physique 2009*, pp. 87-93
5. A.D. Mirlin, [Statistics of energy levels and eigenfunctions in disordered systems](#), *Phys. Rep.* **326**, 259 (2000)
6. A.A. Chabanov, M. Stoytchev & A.Z. Genack, [Statistical signatures of photon localization](#), *Nature* **404**, 850 (2000)
7. S.E. Skipetrov and I.M. Sokolov, [Absence of Anderson Localization of Light in a Random Ensemble of Point Scatterers](#), *Phys. Rev. Lett.* **112**, 023905 (2014)
8. 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)
9. R. Rezvani Naraghi, S. Sukhov, J.J. Sáenz, and A. Dogariu, [Near-Field Effects in Mesoscopic Light Transport](#), *Phys. Rev. Lett.* **115**, 203903 (2015)