

### Proposition d'un sujet de thèse

**Sujet:** Ondes électromagnétiques en milieux fortement désordonnés  
**Laboratoire:** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC UGA/CNRS\)](#)  
**Encadrants:** [Sergey Skipetrov](#) et [Bart van Tiggelen](#)  
**Contact:** <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, [Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr), (+33) 4 76 88 74 97

#### Résumé:

La diffusion des électrons par des impuretés dans les métaux donne lieu à un transport diffusif à l'origine de la loi d'Ohm. A basse température, cette propagation diffuse est empêchée par les interférences quantiques, c'est la « localisation d'Anderson » connue depuis plus de 60 ans [1]. Le phénomène de diffusion existe également pour les ondes électromagnétiques et de nombreux efforts ont été faits pour observer la localisation d'Anderson de la lumière [2,3].

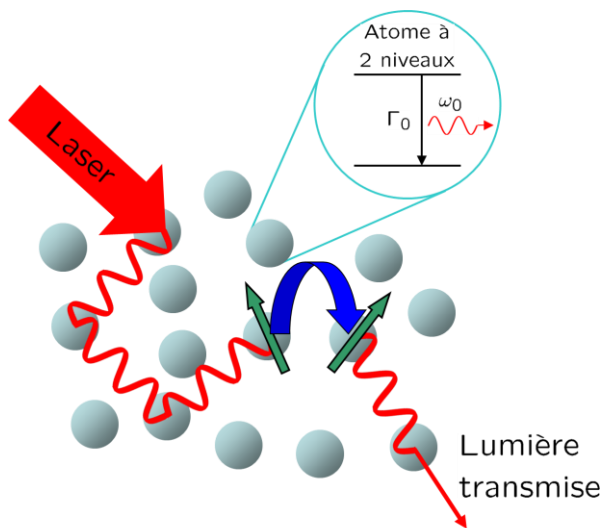


Figure : Illustration de la propagation de la lumière dans un milieu désordonné représenté par un ensemble d'atomes à 2 niveaux (sphères bleues). En plus des ondes transverses qui se propagent à grande distance (lignes rouges ondulées), il existe un couplage dipôle-dipôle entre les atomes en champ proche par l'intermédiaire des champs longitudinaux (flèche bleue).

Nos simulations numériques et calculs analytiques ont démontré l'absence de la localisation d'Anderson pour les ondes électromagnétiques se propageant dans les milieux désordonnés constitués de diffuseurs dipolaires [4, 5]. Cette absence inattendue et surprenante est sans doute induite par des phénomènes liés au champ proche et, notamment par les ondes électromagnétiques longitudinales. Dans les milieux fortement désordonnés, ces ondes vont contribuer au transport d'énergie et seront déterminantes pour les observables clés telles que le libre parcours moyen (la distance entre deux diffusions), le coefficient de diffusion, la vitesse de transport d'énergie, et la densité d'états [6] (voir la Figure). L'existence des ondes longitudinales rend le transport radiatif très différent du transport des ondes de matière (électrons ou atomes froids). Leur inclusion dans la théorie de transport est l'objectif principal de cette thèse.

Dans le cadre de cette thèse **théorique et numérique**, nous proposons d'étudier le rôle des ondes longitudinales dans le transport optique en utilisant deux approches : 1) la théorie de perturbation diagrammatique et 2) les simulations numériques d'un modèle de diffuseurs dipolaires immobiles souvent utilisé pour modéliser les atomes froids. Les deux approches sont fortement complémentaires. Tandis que la théorie analytique guide les simulations et nous permet d'aboutir à des formules simples bien qu'approximatives, les simulations donnent la possibilité d'effectuer des calculs quasi-exacts et de tester la validité des formules analytiques obtenues. Le

programme de recherche prévoit un calcul des paramètres clés caractérisant le transport optique et une étude de leur dépendance de la densité des diffuseurs. Malgré de nombreux travaux existants, la nature du transport d'énergie électromagnétique dans un milieu désordonné très dense est encore inconnue à ce jour.

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

#### Bibliographie

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique 2009*, pp. 70-74
2. A. Lagendijk, B.A. van Tiggelen and D.S. Wiersma, [Fifty years of Anderson localization](#), *Physics Today* **62**(8), 24 (2009)
3. S.E. Skipetrov and J.H. Page, [Perspectives: Red light for Anderson localization](#), *New J. Phys.* **18**, 021001 (2016)
4. 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)
5. B.A. van Tiggelen and S.E. Skipetrov, [Longitudinal modes in diffusion and localization of light](#), arXiv:2012.11210
6. N. Cherroret, D. Delande, and B.A. van Tiggelen, [Induced dipole-dipole interactions in light diffusion from point dipoles](#), *Phys. Rev. A* **94**, 012702 (2016)

### PhD thesis proposal

**Subject:** **Electromagnetic waves in strongly disordered media**  
**Laboratory:** [Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés \(LPMMC UGA/CNRS\)](#)  
**Supervisors:** [Sergey Skipetrov](#) and [Bart van Tiggelen](#)  
**Contact:** <http://lpmmc.cnrs.fr/skipetrov>, [Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr](mailto:Sergey.Skipetrov@lpmmc.cnrs.fr), (+33) 4 76 88 74 97

#### Summary:

Scattering of electrons by impurities in metals gives rise to a diffusive transport which is at the origin of Ohm's law. At low temperatures, this diffuse propagation is prevented by quantum interferences. This is "Anderson localization" known for more than 60 years [1]. The phenomenon of scattering also exists for electromagnetic waves, and many efforts have been made to observe Anderson localization of light [2,3].

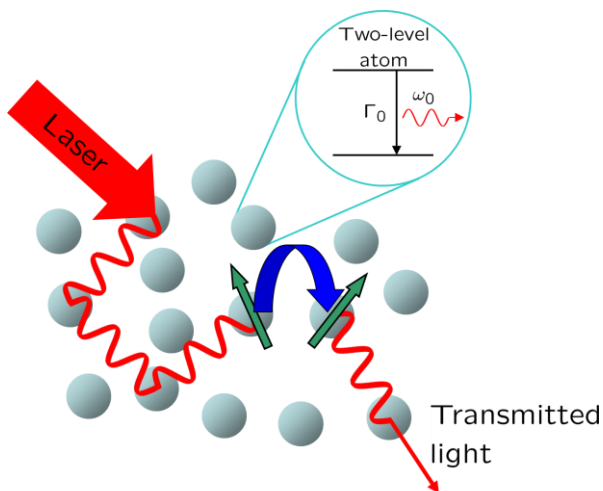


Figure : Sketch the propagation of light in a disordered medium represented by an ensemble of two-level atoms (blue spheres). In addition to the transverse waves that propagate at long distances (wavy red lines), there is dipole-dipole coupling between atoms in the near field via longitudinal fields (blue arrow).

Our numerical simulations and analytic calculations have demonstrated the absence of Anderson localization for electromagnetic waves propagating in disordered media composed of dipolar scatterers [4, 5]. This unexpected and surprising absence is undoubtedly due to the near-field phenomena and, in particular, to the existence of longitudinal electromagnetic waves. In strongly disordered media, these waves will contribute to energy transport and will be decisive for key observables such as the mean free path (the distance between two scattering events), the diffusion coefficient, the energy transport velocity, and the density of states [6] (see Figure). The existence of longitudinal waves makes radiative transport very different from the transport of matter waves (electrons or cold atoms). Their inclusion in transport theory is the main objective of this thesis project.

As part of this **theoretical and numerical** project, we propose to study the role of longitudinal waves in optical transport using two approaches: 1) diagrammatic perturbation theory and 2) numerical simulations of a model of immobile dipolar scatterers often used to model cold atoms. The two approaches are strongly complementary. While analytical theory guides simulations and allows us to come up with simple yet approximate formulas, simulations provide the opportunity to perform quasi-exact calculations and to test the validity of the analytical formulas. The research program foresees a calculation of the key parameters characterizing the optical transport and a study of their dependence on the number density of scatterers. Despite many existing works, the nature of electromagnetic energy transport in a very dense disordered media is still unknown today.

#### Bibliography

1. D. Delande *et al.*, [La localisation forte d'Anderson](#), *Images de la Physique 2009*, pp. 70-74
2. A. Lagendijk, B.A. van Tiggelen and D.S. Wiersma, [Fifty years of Anderson localization](#), *Physics Today* **62**(8), 24 (2009)
3. S.E. Skipetrov and J.H. Page, [Perspectives: Red light for Anderson localization](#), *New J. Phys.* **18**, 021001 (2016)
4. 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)
5. B.A. van Tiggelen and S.E. Skipetrov, [Longitudinal modes in diffusion and localization of light](#), arXiv:2012.11210
6. N. Cherroret, D. Delande, and B.A. van Tiggelen, [Induced dipole-dipole interactions in light diffusion from point dipoles](#), *Phys. Rev. A* **94**, 012702 (2016)