

## Parcours M2 « Systèmes Complexes, Optique, Lasers » : Stage de Recherche 2020-2021

Laboratoire : PhLAM

Responsable : Radu CHICIREANU

Tél : 03.aa.bb.cc.dd, E-mail : radu.chicireanu@univ-lille.fr

Collaborateur : Pascal SZRIFTGISER, Jean-François CLEMENT

Thématique : Atomes Froids

### Simulations Quantiques de la matière condensée avec des atomes ultrafroids

La physique des systèmes quantiques à N corps est extrêmement complexe à étudier, tant du point de vue théorique que numérique. La taille de l'espace des états et l'existence de corrélations quantiques rend extrêmement difficile les prédictions de la dynamique des tels systèmes (sauf des cas particuliers) à travers des simulations numériques, même sur les ordinateurs les plus puissants. Une façon d'étudier ces systèmes, imaginé par Feynman il y a 40 ans, est de réaliser expérimentalement des « simulateurs quantiques », des systèmes modèles qui soient à la fois très flexibles (avec un large espace de paramètres contrôlables) et qui obéissent au même type d'Hamiltonien à N corps que l'on veut étudier. Pour réaliser un simulateur quantique, il est aujourd'hui possible d'utiliser expérimentalement des ensembles d'atomes ultrafroids, ayant des températures très proches du zéro absolu. Le comportement quantique devient alors dominant, et mène à l'apparition de nouveaux états de la matière, comme le condensat de Bose-Einstein. L'ensemble des particules se comporte alors comme une « onde cohérente de matière » (similaire à un « LASER à atomes »). De plus, en utilisant des faisceaux lasers, il est possible de créer des potentiels lumineux, avec des propriétés bien maîtrisées expérimentalement. Une spécialité de l'équipe « Chaos Quantique » est d'utiliser ces outils pour simuler certains phénomènes emblématiques de la matière condensée, comme les propriétés de conduction des électrons dans un réseau cristallin en présence de désordre. Du fait que les atomes soient des particules quantiques, ils peuvent suivre lors de leur propagation dans le potentiel plusieurs 'trajectoires', ou 'chemins' de Feynman, qui interfèrent entre elles. Dans certaines conditions, cela peut mener à une décroissance exponentielle de la probabilité des particules de se retrouver loin de leurs position initiale – ce qui s'apparente à un comportement isolant. Ce phénomène porte le nom de localisation d'Anderson. Le condensat de Bose-Einstein permettra de rajouter des nouveaux ingrédients à cette riche physique. L'introduction d'interactions, contrôlables via des champs magnétiques, peut créer des corrélations entre particules et modifier la nature de la localisation. Il s'agit ainsi du phénomène de 'localisation à N corps' (ou 'Many Body Localisation', MBL) [1], très récemment observé expérimentalement, et dont l'étude n'est qu'à ses débuts. Un autre ingrédient consiste à contrôler les propriétés fondamentales de symétries de l'Hamiltonien, par la réalisation d'un couplage de type spin-orbite. Cela ouvre des perspectives pour la simulation quantique des phénomènes nouveaux, en lien avec la topologie et l'effet Hall quantique [2,3].

[1] D. A. Abanin, E. Altman, I. Bloch, and M. Serbyn, Rev. Mod. Phys. 91, 021001 (2019)