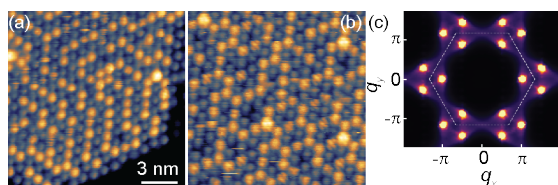


## Proposition de stage Master 2 - Année universitaire 2022-2023

### Emulation de Hamiltoniens de spins frustrés dans des réseaux moléculaires

**Cadre général :** En 1935, Linus Pauling a expliqué pourquoi des cristaux de glace possèdent une entropie résiduelle même au zéro absolu. Cette propriété, qui semble contredire le troisième principe de la thermodynamique (en tous cas, sous certaines de ses formulations), provient du désordre positionnel des protons coexistant avec l'arrangement cristallin des atomes d'oxygène [1]. Les physiciens se sont depuis emparés de ce particularisme en physique de la matière condensée en étudiant d'autres systèmes que l'eau, également sièges de ce qu'on dénomme des phénomènes de frustrations. Par exemple, dans des réseaux de nano-aimants, nous avons révélé l'existence de phases massivement désordonnées, appelées "liquides de spin" [2] parce qu'elles sont l'analogue de liquides, et qui peuvent être observées directement dans l'espace réel au moyen de techniques disponibles au laboratoire. Tout récemment, dans le cadre d'une thèse qui se termine, nous avons repris le point de vue de Pauling, et démontré que des couches bi-dimensionnelles de molécules (fullerènes  $C_{60}$ , cf. figure) présentent des analogies frappantes avec l'eau à l'état solide [4] et les réseaux de nano-aimants. Ces couches moléculaires permettent de tester des prédictions théoriques de Hamiltoniens de spins frustrés sur réseaux et sont, en ce sens, des émulateurs de ces Hamiltoniens. L'éventail des phases exotiques et des effets physiques qui peuvent dès lors être explorés est considérable.



(a,b) Réseaux frustrés de  $C_{60}$  imagés par microscopie à effet tunnel. (c) Facteur de structure magnétique, calculé pour un Hamiltonien modèle décrivant (b).

[1] L. Pauling, *Journal of the American Chemical Society*, vol.57, p.2680 (1935).

[2] Y. Perrin, B. Canals, N. Rougemaille, *Nature*, vol.540, p.410 (2016). — B. Canals *et al.* *Nature Communications* 7, 11446 (2016)

[3] M. Alfonso-Moro *et al.*, Corrugation in a molecular  $C_{60}$  monolayer as a spin liquid candidate. — M. Alfonso-Moro *et al.*, Coexisting metal-fullerene surface alloys: local three-dimensional strains and rotations, order/disorder. *Articles à paraître*.

**Sujet exact, moyens disponibles :** Le projet que nous proposons se concentre sur certains de ces Hamiltoniens de spin frustrés et sur les diagrammes de phases intrigants auxquels ils donnent accès, où l'on attend des phases exotiques de la matière, des transitions de phases non conventionnelles et où des effets de topologie peuvent se manifester. Nous chercherons également à manipuler localement les réseaux, pour comprendre comment une excitation locale se propage dans ces états exotiques. Nos approches sont expérimentales (imagerie par microscopie à effet tunnel, cf. figure) et théoriques, s'appuyant notamment sur des méthodes de simulations Monte Carlo et des analyses des propriétés thermodynamiques des systèmes.

**Interactions et collaborations éventuelles :** Le travail repose sur des interactions fortes avec plusieurs chercheurs de l'Institut Néel, experts de la physique des systèmes frustrés et de l'étude de monocouches moléculaires sur des surfaces. L'étudiant sera donc intégré dans un travail collaboratif et bénéficiera d'un support technique important. Par ailleurs, des mesures par microscopie à très haute résolution sont prévues dans le cadre d'une collaboration extérieure au laboratoire.

**Ce stage pourra se poursuivre par une thèse**

**Formation / Compétences :** Solide formation en physique du solide et physique statistique.

**Période envisagée pour le début du stage :** printemps 2023

**Contact :** Dr Johann Coraux, Institut Néel ([johann.coraux@neel.cnrs.fr](mailto:johann.coraux@neel.cnrs.fr)), Dr Nicolas Rougemaille ([nicolas.rougemaille@neel.cnrs.fr](mailto:nicolas.rougemaille@neel.cnrs.fr))

Plus d'informations sur : <http://neel.cnrs.fr>