

La chiralité dans tous ses états

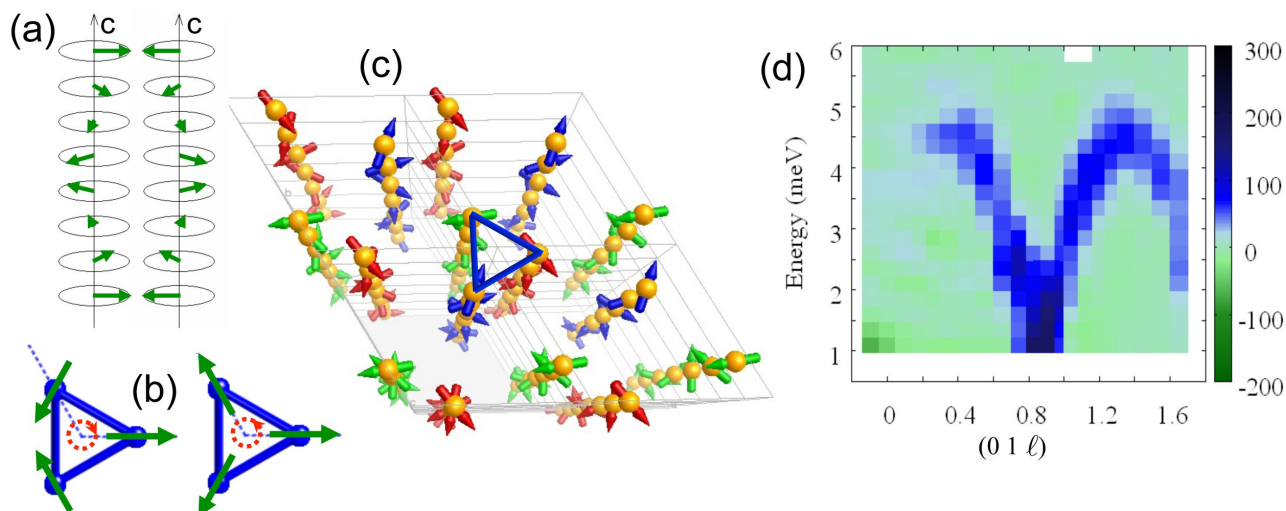


Figure : chiralité d'hélices (a) et de triangles (b) de moments magnétiques; (c) arrangement magnétique dans le langasite de fer; (d) Diffusion chirale des ondes de spins en utilisant l'analyse de polarisation avec des neutrons polarisés.

La chiralité est présente partout en sciences, que ce soit en biologie, en chimie, en physique des particules, ou encore en physique de la matière condensée. Plus spécifiquement, les propriétés de chiralité magnétique ont récemment suscité un grand intérêt comme de nouveaux moyens potentiels de transporter ou coder l'information dans le domaine de la spintronique par exemple.

Les langasites, étudiés dans le passé pour leurs propriétés piézoélectriques, ont récemment attiré l'attention. Ils peuvent en effet accommoder des réseaux d'atomes magnétiques à base de triangles. A cause de la frustration magnétique, ceci peut conduire à des arrangements magnétiques complexes. A l'institut Néel et en collaboration avec le SPSMS/CEA et l'Institut Laue Langevin à Grenoble, le Laboratoire Léon Brillouin à Saclay, et le synchrotron SOLEIL, nous avons étudié un membre de cette famille, $\text{Ba}_3\text{NbFe}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, où les atomes de fer forment un réseau triangulaire de petits triangles. Ce composé est remarquable à bien des points de vue et, en particulier, pour ses propriétés uniques de chiralité. Le mot chiralité provient du mot grec qui signifie la main. Il correspond à des objets qui ne sont pas l'image d'eux-mêmes par une symétrie miroir (ou un centre d'inversion). En magnétisme, une définition étendue permet de définir une structure magnétique chirale comme correspondant à un arrangement magnétique avec un sens défini de rotation des moments magnétiques. C'est le cas des hélices ou des triangles de moments à 120° sur leurs sommets (voir figure).

Après avoir établi grâce à la diffusion anormale des rayons X que la structure atomique du langasite de fer a une chiralité bien définie, nous avons étudié la structure magnétique de ce composé par diffraction de neutrons. Pour ce faire, nous avons utilisé des neutrons polarisés (faisceau de neutrons avec une direction de spin donnée) et analyse de la polarisation du faisceau après diffraction par le cristal. Ces techniques sophistiquées nous ont permis de montrer que l'ordre magnétique est constitué d'hélices de moments magnétiques émergeant de triangles où les moments magnétiques sont orientés à 120° les uns des autres, le tout tournant dans un sens unique (voir figure). Ce matériau réuni donc trois chiralités, une

structurale et deux magnétiques, qui sont intimement reliées les unes aux autres.

Cet état magnétique chiral génère des excitations élémentaires appelées ondes de spins (qui se schématisent comme des mouvements de précession de moments déphasés de site en site en fonction de l'énergie). Or, la diffusion neutronique avec analyse de polarisation nous a permis de prouver que ces dynamiques ne se matérialisent que selon une seule chiralité et constituent une signature univoque de l'état statique de chiralité sous-jacent (voir figure). Enfin, nous avons combiné la diffusion inélastique de neutrons et la spectroscopie par absorption dans le domaine TeraHertz en utilisant la lumière du synchrotron SOLEIL. Cette technique permet d'identifier les conditions d'excitation par les champs électrique et magnétique de l'onde électromagnétique des modes à énergie finie dans ce matériau. Ceci nous a permis d'identifier un tout nouveau type d'excitation hybride, plus précisément un mode oscillatoire de réseau, correspondant à des rotations atomiques, qui peut être excité par un champ magnétique. L'observation d'un tel mode implique l'existence d'une polarisation électrique chirale qui tournerait en hélice, faisant finalement de ce composé un matériau multiferroïque.

Références

2013 L. Chaix, S. de Brion, F. Lévy-Bertrand, V. Simonet, R. Ballou, B. Canals, P. Lejay, J. B. Brubach, G. Creff, F. Willaert, P. Roy, A. Cano, "THz Magneto-electric atomic rotations in the chiral compound $Ba_3NbFe_3Si_2O_{14}$ ", *Phys. Rev. Lett.*, 110, 157208 (2013).

2012 V. Simonet, M. Loire, and R. Ballou, "Magnetic chirality as probed by neutron scattering", *European Physics Journal Special Topics*, 213, 5.

2011 M. Loire, V. Simonet, S. Petit, K. Marty, P. Bordet, P. Lejay, J. Ollivier, M. Enderle, P. Steffens, A. Zorko, E. Ressouche, R. Ballou, "Parity-Broken Chiral Spin Dynamics in $Ba_3NbFe_3Si_2O_{14}$ ", *Phys. Rev. Lett.* 106, 207201.

2010 K. Marty, P. Bordet, V. Simonet, M. Loire, R. Ballou, C. Darie, J. Kljun, P. Bonville, O. Isnard, P. Lejay, B. Zawilski, and C. Simon, "Magnetic and dielectric properties in the langasite-type compounds : $A_3BFe_3D_2O_{14}$ with $A=Ba, Ca, Sr, B=Nb, Ta, Sb,$ and $C=Si, Ge$ ", *Phys. Rev. B* 81, 054416.

2008 K. Marty, V. Simonet, E. Ressouche, R. Ballou, P. Bordet, P. Lejay, "Single domain magnetic helicity and triangular chirality in structurally enantiopure $Ba_3NbFe_3Si_2O_{14}$ ", *Phys. Rev. Lett* 101, 247201