

# Contrôle de l'ordre antiferromagnétique par contraintes anisotropes dans les films multiferroïques épitaxiés

## AUTEURS

Pauline Dufour  
Amr Abdelsamie  
Johanna Fischer  
Aurore Finco  
Angela Haykal  
Aurore Finco  
Martin Sarott  
Sara Varotto  
Cécile Carrétéro  
Sophie Collin  
Florian Godel  
Nicolas Jaouen  
Michel Viret  
Morgan Trassin  
Karim Bouzheouane  
Vincent Jacques  
Jean-Yves Chaudreau  
Stéphane Fusil  
Vincent Garcia

## PROJET

effectué dans le cadre du Flagship SPICY du Labex NanoSaclay

Bien qu'intensivement étudié depuis une vingtaine d'années, le matériau multiferroïque,  $\text{BiFeO}_3$ , reste au cœur de notre curiosité scientifique. Ses températures d'ordres ferroélectrique et antiferromagnétique bien au-dessus de l'ambiante, ouvrent des perspectives d'applications en spintronique. L'idée étant que le couplage magnétoélectrique permet de contrôler l'ordre magnétique en agissant sur l'ordre ferroélectrique par un champ électrique, faiblement coûteux en énergie. Néanmoins, la polarisation électrique étant alignée selon la diagonale  $\langle 111 \rangle$  de la maille pérovskite de  $\text{BiFeO}_3$ , les 8 variantes ferroélectriques possibles complexifient le paysage ferroélectrique, notamment en films minces. D'autre part, l'ordre antiferromagnétique complexe de  $\text{BiFeO}_3$  résulte de la présence d'une interaction magnétoélectrique conduisant à une cycloïde de spin. Pour chaque variante électrique, 3 directions  $\langle -110 \rangle$  de propagation de la cycloïde sont possibles dans le plan (111), perpendiculaire à cette polarisation. Il est alors délicat de maîtriser la structure magnétique de films minces de  $\text{BiFeO}_3$ .

Dans le cadre d'une collaboration entre l'Unité Mixte de Physique CNRS/Thales, le Laboratoire Charles Coulomb, le Service de Physique de l'Etat Condensé, le Synchrotron Soleil et l'ETH Zürich, nous avons étudié les textures antiferromagnétiques de films minces de  $\text{BiFeO}_3$  ne présentant qu'une seule variante ferroélectrique. Les films minces sont élaborés par ablation laser pulsé selon leur orientation (111) qui favorise un état monodomaine électrique où la polarisation est parallèle à l'axe de croissance. Une technique de champ proche, la microscopie de piézoréponse, nous permet de sonder cet état ferroélectrique. Nous avons étudié les contraintes épitaxiales dans ces films par diffraction de rayons X. Lorsque les films sont élaborés sur des substrats de  $\text{SrTiO}_3(111)$ , les contraintes sont isotropes en compression de -0.7% dans le plan. Avec des substrats orthorhombiques de  $\text{DyScO}_3(011)$ , les films sont uniquement contraints dans une direction produisant une contrainte anisotrope de +0.9% et -0.5%. Ces deux cas de figures ont de lourdes

conséquences sur l'ordre antiferromagnétique, sondé par une autre technique de champ proche : la magnétométrie à balayage à centre NV (défaut coloré dans le diamant). Alors que dans le cas de contraintes isotropes, des nano-domaines antiferromagnétiques correspondant aux 3 types de variantes cycloïdales sont observés, les contraintes anisotropes lèvent la dégénérescence entre les 3 directions de propagation pour former un unique domaine cycloïdal. Dans ce système multiferroïque modèle contenant à la fois un domaine ferroélectrique et un domaine antiferromagnétique, nous avons sondé l'influence de l'épaisseur sur les deux ordres. La microscopie optique de seconde harmonique nous a permis de suivre en temps réel l'apparition de l'ordre ferroélectrique aux alentours de 1.4 nm. De manière univoque, la magnétométrie à centre NV a montré qu'à partir d'une telle épaisseur l'ordre cycloïdal apparaissait, soulignant son origine liée à l'interaction magnétoélectrique. Nous projetons d'étudier la dynamique THz et la propagation de magnons dans ce système modèle antiferromagnétique.

## Référence

Pauline Dufour et al., Nano Lett. 23, 9073-9079 (2023)  
<https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.3c02875>

## Contact

vincent.garcia@cnrs-thales.fr

Figure. Comparaison entre les films de  $\text{BiFeO}_3(111)$  épitaxiés sur des substrats  $\text{SrTiO}_3(111)$  et  $\text{DyScO}_3(011)$  orthorhombique. La polarisation  $P$  est perpendiculaire au plan de la couche. Dans le premier cas, les contraintes isotropes induisent une dégénérescence entre les 3 vecteurs de propagations de la cycloïde  $k_1, k_2, k_3$ . Dans le second cas, les contraintes anisotropes lèvent la dégénérescence entre les 3 types de domaines et favorisent uniquement  $k_2$ . En bas, les images de magnétométrie en centre NV montrent des petits domaines de quelques 100 nm sur  $\text{SrTiO}_3$  et un état monodomaine cycloïdal sur  $\text{DyScO}_3$ .

