

« Utiliser des impulsions laser très brèves permettrait de créer des dispositifs de stockage plus rapides et moins énergivores. »

Entretien avec **Boris VODUNGBO**, porteur de projet, chercheur au sein du Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement (LCPMR).

Bonjour Boris. Quel est votre projet lauréat ?

Nous voulons étudier les propriétés de films magnétiques de très faible épaisseur soumis à des impulsions laser « ultracourtes ». Et quand je parle de faible épaisseur, il s'agit de quelques centaines de couches atomiques !

Les matériaux que nous cibons sont des alliages composés de métaux de transition (le Cobalt (Co) ou le Fer (Fe)) et de terres rares

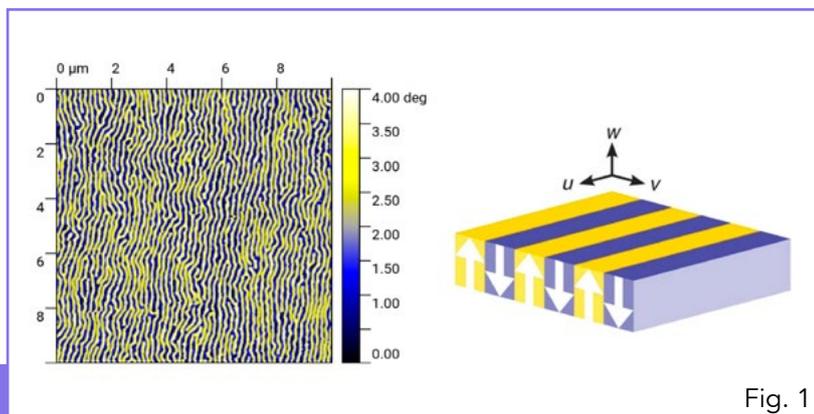


Fig. 1

Titre projet : Ultrafast dynamics of magnetic anisotropy and magnetic structure in CoTb and FeTb ferrimagnetic alloys.

Porteur-ses de projet :

Marcel Hennes

(Institut des NanoSciences de Paris)

Emmanuelle Jal

(Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement)

Boris Vodungbo

(Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement)

Doctorant :

Mohamed Helimi

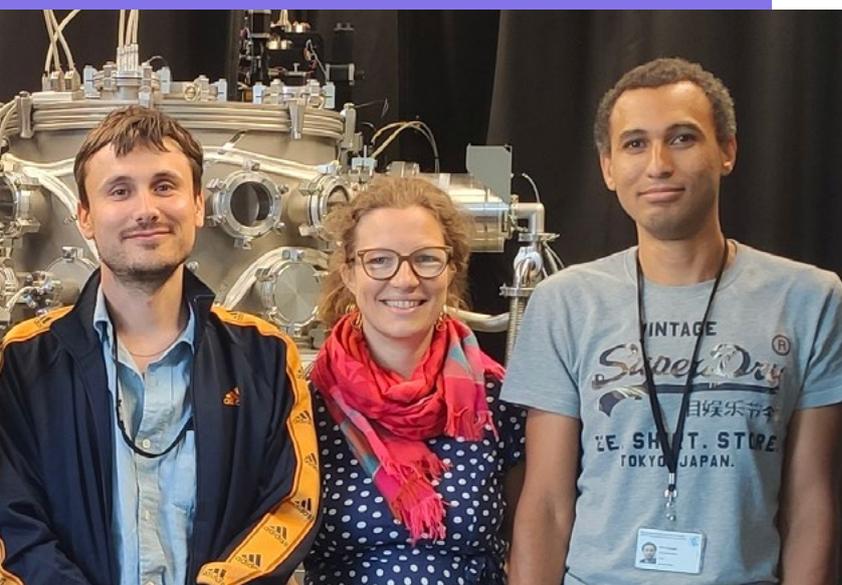
(École Doctorale Chimie-Physique et Chimie Analytique de Paris Centre - ED388)

(le Terbium (Tb) et le Gadolinium (Gd)). Ces alliages présentent des propriétés remarquables en raison du couplage des moments magnétiques des deux espèces. En modifiant l'épaisseur, la concentration ou la température des échantillons, il est possible d'obtenir une nanostructuration magnétique des films. Et tout en étant plus ou moins homogènes chimiquement, ils vont développer des régions d'aimantation préférentielles appelées domaines magnétiques (Fig.1) : nous voulons comprendre comment ces domaines et les zones de transition entre différents domaines sont modifiés par des impulsions optiques « femtoseconde » (10^{-15} seconde), des paquets de lumière dont la durée est de l'ordre d'un millionième de milliardième de seconde.

Mais pourquoi développer une action de recherche dans cette direction ?

Les couches minces magnétiques jouent un rôle fondamental dans le domaine du stockage de données : utiliser des impulsions laser très brèves au lieu d'un champ magnétique ou d'un courant permettrait de créer des dispositifs de stockage beaucoup plus rapides et moins énergivores.

La communauté scientifique étudie depuis les années 90 l'impact des impulsions laser femtoseconde sur des matériaux magnétiques et a identifié toute une série d'effets physiques inattendus. La modification de l'aimantation sur des échelles de temps de quelques dizaines de femtosecondes a surpris les



chercheurs et a donné naissance à un nouveau domaine scientifique : le *femtomagnétisme*. Progressivement, les scientifiques ont exploré le comportement de systèmes magnétiques de plus en plus complexes sur des temps très courts, alliant différentes composantes sous formes de multicouches ou d'alliages. Les alliages mélangeant des terres rares et des métaux de transitions ont attiré l'attention, car ils permettent le renversement local de l'aimantation en utilisant une seule impulsion de lumière. Malgré plus de 25 ans de travaux dans le domaine, les mécanismes physiques sont encore mal compris et particulièrement l'évolution temporelle de structures magnétiques complexes (en bandes et présentant des domaines aléatoires) et les temps caractéristiques entrant en jeu ont été peu étudiés. Ceci est en partie lié aux techniques expérimentales : la majorité des sources de laboratoire ne permettent pas de « voir » les domaines, leur taille est inférieure à la longueur d'onde de la lumière utilisée. En nous appuyant sur le savoir-faire développé au sein du LCPMR durant les dix dernières années, nous utiliserons des impulsions X provenant de différentes grandes infrastructures de recherches comme les lasers à électrons libres (FEL) afin d'obtenir à la fois une résolution spatiale nanométrique et une résolution temporelle de l'ordre de dizaines de femtoseconde.

Quels sont vos objectifs ?

Dans un premier temps, notre ambition est le contrôle précis et reproductible de la texture magnétique des échantillons. En nous appuyant sur une approche systématique reliant expériences et simulations numériques, il s'agira de comprendre l'impact de toute une série de paramètres sur les domaines magnétiques. Dans un deuxième temps, des expériences de type *pompe-sonde* (Fig.2) nous permettront de comprendre l'évolution des domaines suite à une excitation optique de très courte durée. Nous nous intéressons à la modification temporelle de l'anisotropie magnétique de l'échantillon, un paramètre qui décrit l'orientation préférentielle des moments magnétiques ainsi que leur stabilité par rapport aux fluctuations thermiques. L'impact de l'anisotropie sur la texture magnétique a été étudiée en détail pour le cas statique, lorsque le système magnétique est à l'équilibre : notre étude apportera des éléments clés pour comprendre l'évolution de l'anisotropie dans des systèmes fortement excités, hors-équilibre et l'évolution de la configuration magnétique sur des échelles de temps allant de la femto à la picoseconde (10^{-12} seconde).

Un projet fortement collaboratif

Avec *Marcel Hennes*, nous avons établi une collaboration de façon très naturelle : nous sommes d'anciens collègues du LCPMR. *Marcel* a intégré récemment l'INSP et la

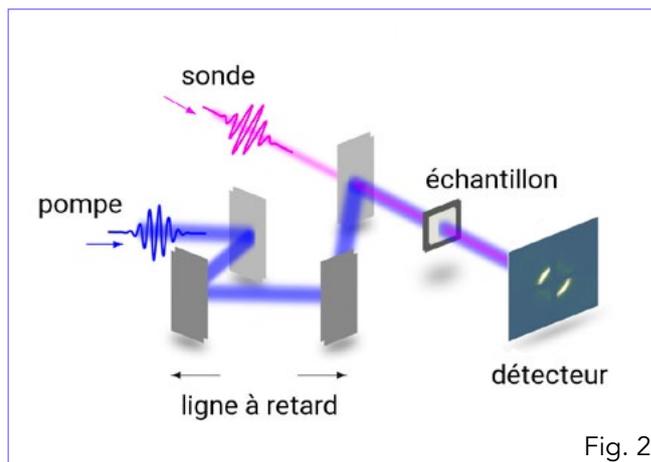


Fig. 2

proximité des deux laboratoires nous a permis de suivre de près et en temps réel les avancées de chacun.

Pour ce projet, une puissante collaboration entre nos deux laboratoires est indispensable, car notre recherche combine des techniques et savoir-faire très différents :

- l'INSP est spécialisé dans la croissance d'échantillons magnétiques en couches minces et possède les ressources et le savoir-faire nécessaire pour les caractériser et les optimiser.
- Le LCPMR possède une grande expertise dans le domaine du femtomagnétisme et des expériences résolues en temps utilisant des rayons X provenant de grandes infrastructures de recherche.

Le recrutement de Mohamed Helimi, doctorant...

Nous avons diffusé une annonce via une grande variété de canaux : UFR de physique et chimie de SU, Masters de physique et chimie, GDRs, écoles doctorales, instituts, etc. Une trentaine de candidatures nous est parvenue mais la recherche en France fait face à une pénurie de bons candidats, un phénomène récent peut-être lié au COVID. De nombreux instituts et laboratoires y font face et il faudra d'ailleurs y répondre dans les années à venir... Quoiqu'il en soit, nous avons retenu 4 candidats pour l'oral et *Mohamed Helimi* s'est imposé : il possède des connaissances solides dans le domaine du magnétisme, les qualités requises pour mener ce projet ; son intérêt pour les nanostructures magnétiques, sa curiosité, ses connaissances en programmation, son envie de voyager, pour participer à des expériences en collaboration sur des grands instruments en ont fait le doctorant idéal.

Les apports de l'institut

La pluridisciplinarité d'IMAT est un réel avantage pour nous : en mettant l'accent sur les matériaux et non pas sur une discipline, la collaboration entre les labos est grandement facilitée. Nous gagnerons en visibilité en étant financé par l'institut : ça nous permettra d'attirer de bons étudiants dans les prochaines années. Pour tout dire, nous envisageons déjà de démarrer de nouvelles collaborations dans le cadre des appel à projet à venir !