

# Mesures magnétiques locales par dichroïsme

**Bénédicte Warot-Fonrose<sup>1</sup>, Xiaoxiao Fu<sup>1</sup>, Virginie Serin<sup>1</sup>, Salia Cherifi<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup> CEMES-CNRS, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse, France

<sup>2</sup> IPCMS UMR7504 CNRS-UDS, (Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg) 23 rue du Loess BP 43, 67034 Strasbourg, France

warot@cemes.fr

Les propriétés magnétiques locales peuvent être étudiées par diverses techniques de microscopie (MFM, microscopie Kerr, holographie électronique ...) présentant chacune des sensibilités et résolutions différentes. Les techniques développées dans les microscopes électroniques à transmission (MET) permettent la combinaison d'une sonde locale et l'extraction des données quantitatives sur le matériau. L'EMCD (Energy-loss Magnetic Chiral Dichroism) a été proposé pour mesurer les moments magnétiques locaux dans un MET [1]. Cette méthode peut être comparée au XMCD (X-ray Magnetic Circular Dichroism), technique proposée en 1988 pour mesurer les moments magnétiques un rayonnement synchrotron.

Lors de l'interaction avec l'échantillon, le faisceau incident (électronique ou rayons X) cède de l'énergie au matériau qui permet la transition d'électrons de cœur vers des niveaux excités. L'exploration des bandes électroniques vides permet d'avoir accès à des informations cristallographiques, sur les liaisons chimiques mais également sur le remplissage des bandes et donc le magnétisme. Des spectres, soit d'absorption X, soit de pertes d'énergie des électrons (EELS) dans le MET sont enregistrés pour déterminer ces informations.

L'accès à l'information magnétique impose cependant des contraintes sur le faisceau incident. En XMCD, le faisceau est polarisé circulairement et la différence d'absorption selon deux vecteurs de polarisation est exploitée. Dans un MET, la polarisation du faisceau d'électrons a été montrée mais reste peu utilisée pour l'EMCD [2]. L'interaction électron-matière induit une diffusion du faisceau électronique incident et la combinaison du signal porté par deux vecteurs de diffusion contient une contribution proportionnelle à l'information magnétique. La variation de signal EELS est ainsi enregistrée entre deux positions dans le plan de diffraction du matériau, correspondant à des combinaisons de deux vecteurs de diffusion différents [3].

Plan de diffraction dans un MET

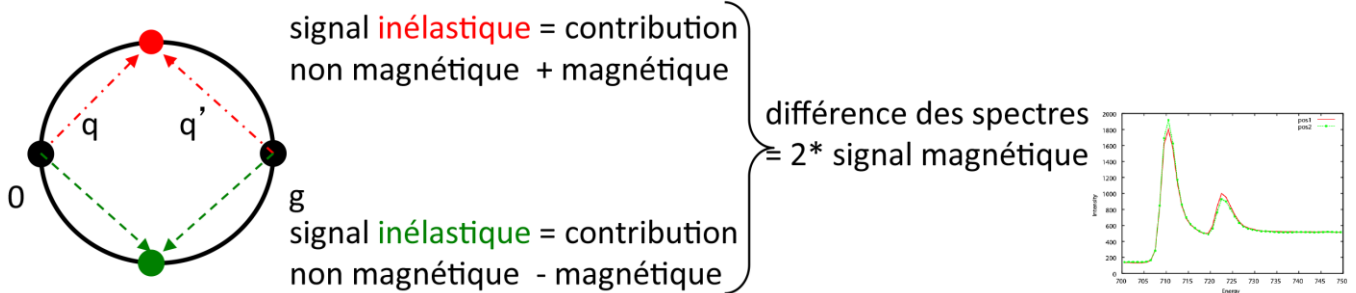


Figure 1 : Schéma de principe de la mesure du signal magnétique en EMCD et illustration de la mesure du signal au seuil L du fer [4]

Les vecteurs de polarisation du faisceau X et les vecteurs de diffusion dans le MET jouent donc des rôles comparables. Le traitement quantitatif des données a été formalisé grâce aux règles de somme pour le XMCD et ces règles ont été dérivées dans le cas de l'EMCD [5,6].

Différents exemples d'application seront proposés au cours de cette présentation en présentant des comparaisons XMCD/EMCD sur des métaux purs ou des alliages 3d [7]. Une étude récente sur des films MnAs permettra de montrer l'intérêt de la mesure locale de l'aimantation [8].

*Ce travail est financé dans le cadre de l'ANR EMMA (ANR12 BS10 013 01).*

- [1] P. Schattschneider et al., "Detection of Magnetic Circular Dichroism Using a Transmission Electron Microscope," *Nature* **441**, 486 (2006)
- [2] J. Verbeeck, H. Tian, and P. Schattschneider, "Production and Application of Electron Vortex Beams," *Nature* **467**, 301 (2010)
- [3] B. Warot-Fonrose et al., "Mapping Inelastic Intensities in Diffraction Patterns of Magnetic Samples Using the Energy Spectrum Imaging Technique," *Ultramicroscopy* **108**, 393–98 (2008)
- [4] B. Warot-Fonrose et al., "Effect of Spatial and Energy Distortions on Energy-Loss Magnetic Chiral Dichroism Measurements: Application to an Iron Thin Film," *Ultramicroscopy* **110**, 1033–37 (2010)
- [5] L. Calmels et al., "Experimental Application of Sum Rules for Electron Energy Loss Magnetic Chiral Dichroism," *Physical Review B* **76**, 060409 (2007)
- [6] J. Ruzs et al., "Sum Rules for Electron Energy Loss near Edge Spectra," *Phys. Rev. B* **76**, 060408 (2007)
- [7] B. Warot-Fonrose et al., "Magnetic Properties of FeCo Alloys Measured by Energy-Loss Magnetic Chiral Dichroism," *Journal of Applied Physics* **107**, 09D301 (2010)
- [8] X. Fu, B. Warot-Fonrose, R. Arras, D. Demaille, M. Eddrief, V. Etgens, V. Serin, "Energy-loss magnetic chiral dichroism (EMCD) study of local ferromagnetic properties of epitaxial MnAs thin film on GaAs(001)", submitted