



université PARIS-SACLAY

## « VERS UNE ALTERNATIVE AUX AIMANTS À BASE DE TERRES RARES : HEXAFERRITES NANOSTRUCTURÉS ET ALLIAGES MN-AL » PAR MURIEL TYRMAN

**Discipline : physique / Laboratoire de recherche LISV - Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes de Versailles**

### **Résumé :**

Dans le cadre d'un projet de transport automobile propre pour la mise en place de véhicules électriques décarbonés grand public, les aimants représentent un enjeu important au niveau des moteurs électriques. Il est alors nécessaire de se passer des aimants à base de terres rares, peu écologiques et dont un seul pays détient le monopole. Deux voies sont explorées ici : la nanostructuration des hexaferrites de type M par frittage flash de type SPS (Spark Plasma Sintering), et la synthèse d'alliages Mn-Al-C par la méthode de la trempe rapide sur roue. Concernant le premier matériau, l'optimisation du protocole de synthèse a permis d'augmenter le champ coercitif d'un facteur 2. Deux outils de caractérisation des aimants ont été mis en place : le premier évalue la texture du matériau (modèle de Stoner et Wohlfarth), le second étudie les processus d'aimantation (Preisach). Pour les alliages Mn-Al-C, nous avons pu démontrer la présence d'un couplage antiferromagnétique entre les atomes de Mn des sites 1a et

1d. La diffraction de neutrons à également pu montrer que le moment magnétique du Mn du site 1d est par ailleurs très supérieur à celui du site 1a. Un broyage cryogénique suivi d'un frittage SPS à haute pression (400 MPa) a permis d'augmenter la valeur du champ coercitif de 40 %. Les résultats obtenus sont très prometteurs quant à la faisabilité d'alternatives aux aimants à base de terres rares.

### **Abstract:**

In the context of green car development for mass market, development of low cost rare-earth-free magnets is clearly a milestone, because the rare-earth are expensive and their production is not ecological and a monopoly of one country. Two routes are explored herein : nanostructuration of M-type hexaferrites by flash sintering (Spark Plasma Sintering), and the synthesis of Mn-Al-C alloys by melt spinning. Concerning the first material, the optimization of the synthesis protocol allowed to increase the coercive field by a factor of 2. Two characterization tools of the magnets were set-up : the first evaluates the texture of the material (Stoner and Wohlfarth model), the second, based on Preisach model, is used to infer the magnetization processes. For Mn-Al-C alloys, we have evidenced from Weiss plots the antiferromagnetic coupling between 1a and 1d-sites Mn atoms. Neutron diffraction confirmed this result and shown that the magnetic moment of the 1d-site Mn is also much larger than that of 1a-site. Cryogenic ball milling followed by high-pressure SPS (400 MPa) increased the coercive field by 40 %. The results obtained are very promising as to the feasibility of alternatives to rare-earth magnets.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

**M. Victor H. ETGENS**, Professeur des universités, université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines - Directeur de these

**M. Frédéric MAZALEYRAT**, Professeur des universités, Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay - CoDirecteur de these

**M. Olivier ISNARD**, Professeur des universités, Institut NEEL CNRS/UGA UPR2940 - Examineur

**Mme Nora DEMPSEY**, Directeur de recherche, Institut NEEL CNRS/UGA UPR2940 - Examineur

**M. Guillaume VIAU**, Professeur des universités, Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-objets - Rapporteur

**M. Viorel POP**, Professeur des universités, Faculty of Physics Babe-Bolyai University - Rapporteur

**M. Radu FRATILA**, Ingénieur de recherche, Valéo - Examineur

**M. Alexandre PASKO**, Chargé de recherche, Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay -  
Examineur

**Contact :**

DSR - Service FED : [theses@uvsq.fr](mailto:theses@uvsq.fr)