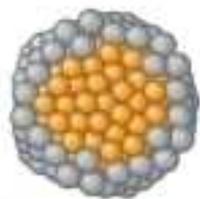


Réunion Thématique du GDR Nanoalliages



Nanoalliages & Magnétisme

19 - 20 janvier 2009
Lyon

Recueil des Résumés



Université Claude Bernard



Lyon 1



Présentation de la réunion

Les nanoparticules d'alliages, du fait de leurs propriétés chimiques, physiques ou structurales, constituent une thématique d'étude commune à de nombreuses équipes en France. Quelle que soit leur communauté d'origine ou leur spécialité ces équipes ont très souvent des intérêts scientifiques convergents, ou sont confrontées dans leurs recherches aux mêmes difficultés liées aux spécificités des systèmes étudiés. L'objectif du GDR Nanoalliages est d'offrir à cette communauté un forum de rencontre et d'échange.

Après une réunion de lancement à Oléron, du 9 au 11 juin 2008, le GDR Nanoalliages organise ici sa première réunion thématique. Celle-ci entend offrir un panorama de la recherche sur les propriétés magnétiques des particules d'alliages et, d'autre part, par le choix des conférenciers invités, de permettre la constitution d'un bagage commun en nanomagnétisme.

Bien que le format retenu soit celui d'une réunion courte, nous espérons que chacun y trouvera la matière et les idées pour progresser qui dans son travail, qui dans sa thèse, qui dans sa recherche de partenaires en vue d'ANR....

Bonne réunion à tous,

Véronique Dupuis
LPMCN – Lyon

Cyrille Barreteau
IRAMIS/SPCSI – CEA Saclay

Robert Morel
INAC/SP2M – CEA Grenoble

Présentation du GDR Nanoalliages

Le fait d'associer deux métaux au sein d'une particule de taille nanométrique (d'où le terme de « nanoalliages ») permet d'étendre considérablement les potentialités de ces systèmes grâce à une diversité structurale couplée aux effets d'ordre chimique et de ségrégation superficielle. Par comparaison avec les alliages métalliques en volume, le rapport élevé du nombre d'atomes de surface par rapport à celui de coeur (dispersion) conduit à une grande diversité de structures atomiques et chimiques faisant apparaître des phases nouvelles par rapport au diagramme de phase volumique, ce qui élargit encore davantage le spectre des applications potentielles : magnétisme, optique, catalyse... Ainsi l'étude de diagrammes de phases de nanoalliages, où la taille du système apparaît comme une troisième variable, représente actuellement un enjeu majeur dans le domaine des nanosciences où il est nécessaire de rassembler les compétences expérimentales et théoriques au niveau national dans une structure telle que celle qu'offre un GDR au CNRS.

L'ambition des équipes impliquées dans le GDR Nanoalliages est de comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la croissance des nanoparticules bimétalliques, d'étudier leurs propriétés structurales, physiques (magnétiques et optiques) et chimiques (catalytiques) en fonction de leur taille, de leur structure et de leur composition chimique. Pour cela, des développements importants sont nécessaires au niveau de l'élaboration des nanoparticules dans le but d'obtenir des nano-objets dont on contrôle la taille, la structure et la composition chimique. D'un point de vue encore plus fondamental, nous nous attachons à étudier les modifications des comportements thermodynamiques de ces systèmes de dimension réduite par comparaison avec les comportements observés dans les matériaux massifs (effet de taille sur les diagrammes de phases). Entre autres atouts pour mener à bien ce programme, le GDR bénéficie d'un fort couplage entre expérimentateurs et théoriciens.

Christine Mottet
CINaM – CNRS

Christian Ricolleau
MPQ - CNRS / Paris 7

Constitution du GDR Nanoalliages

Le GDR fonctionne avec un bureau constitué d'une dizaine de membres :

- Caroline Andréazza (CRMD, Orléans)
- Cyrille Barreteau (IRAMIS/SPCSI, Saclay)
- François Ducastelle (LEM, Châtillon)
- Véronique Dupuis (LPMCN, Lyon)
- Christine Goyhenex (IPCMS, Strasbourg)
- Robert Morel (INAC/SP2M, Grenoble)
- Joseph Morillo (CEMES, Toulouse)
- Christine Mottet (CINaM, Marseille)
- Laurent Piccolo (IRCELYON, Villeurbanne)
- Christian Ricolleau (MPQ, Paris)

Et avec des responsables thématiques concernant :

- Synthèse de nanoparticules bi-métalliques :
 - par voie chimique (Christophe Petit, LM2N – Paris)
 - par voie physique (Jean-Luc Rousset, IRCELYON – Lyon)
- Caractérisation :
 - par microscopie électronique (Marie-José Casanove, CEMES – Toulouse)
 - par microscopie en champ proche (Vincent Repain, MPQ – Paris)
 - par rayonnement synchrotron (Pascal Andréazza, CRMD – Orléans / Hélio Tolentino, Institut Néel MCMF – Grenoble)
- Modélisations et simulations par :
 - des méthodes statistiques (Jérôme Creuze, LEMHE/ICMMO – Orsay)
 - des méthodes de structure électronique (Cyrille Barreteau, CEA – Saclay)
- Propriétés :
 - magnétiques (Véronique Dupuis, LPMCN – Lyon)
 - catalytiques (Laurent Piccolo, IRCELYON – Lyon)
 - optiques (Michel Pellarin, LASIM – Lyon)

Programme

Lundi 19 Janvier

10:00-12:00 Accueil des participants - café

12:00-13:30 Déjeuner

13:30-14:20 Patrick Bruno ESRF, Grenoble
Nanomagnétisme

14:20-14:40 Jean-Marc Tonnerre Institut Néel, Grenoble
Distribution d'aimantation au sein de nanoparticules FePt dans une multicouche granulaire C/FePt par réflectivité magnétique résonante des X mous polarisés

14:40-15:00 Florent Tournus LPMCN, Lyon
Évaluation de l'énergie d'anisotropie magnétique de nanoparticules de CoPt à l'aide du modèle de Néel et lien avec les mesures expérimentales

15:00-15:20 Alexandre Tamion LPMCN, Lyon
Des courbes SQUID à l'anisotropie magnétique d'assemblées d'agrégats nanométriques

15:20-15:30 Mini-Pause

15:30-16:10 Gustav Bihlmayer IFF, Julich
Méthodes de Structure électronique pour le magnétisme

16:10-16:30 Emmanuel Arras CEA Grenoble
Computational investigation of the atomic structure of Mn-rich nanocolumns : comparison with a possible GeMn ordered compound

16:30-16:50 Matthias Hillenkamp LPMCN, Lyon
Interaction effects in dilute cluster-assembled magnetic nanostructures

16:50-17:30 Pause Café

17:30-18:10 Daniel Spanjaard LPS, Orsay
Structure électronique et magnétisme des nanoalliages

18:10-18:30 Marie-Josée Casanove CEMES, Toulouse
Structure, ordre chimique et magnétisme dans des nanoparticules d'alliages de métaux de transition 3d/4d

18:30-18:50 Mireille Maret SIMaP, Grenoble
Propriétés structurales et magnétiques de nanostructures de FePt auto-assemblées sur NaCl(001)

Nanoalliages et Magnétisme

- 18:50-19:10 Anastasia Delattre CEA Grenoble
Obtention de la phase L10 via un recuit dans du NaCl de NPs FePt synthétisées par voie chimique
- 19:10-19:30 Catherine Amiens LCC, Toulouse
Nanoparticules d'alliage CoAl, un tremplin vers des nano-objets Co@Al₂O₃ ?
- 20:00 Dîner

Mardi 20 Janvier

-
- 8:30-9:10 Denis Ledue GPM, Rouen
Couplage et dynamique de l'aimantation
-
- 9:10-9:30 Alexey Dobrynin Institut Néel, Grenoble
Coexistence of exchange bias and exchange spring effects in oxidized Co nanocluster assembled films
- 9:30-9:50 Pierre-Emmanuel Berche GPM, Rouen
Retournement de l'aimantation dans des super-réseaux DyFe₂/YFe₂ couplés antiferromagnétiquement
- 9:50-10:10 Damien Le Roy CEA Grenoble
Étude des effets du couplage d'échange F/AF sur le magnétisme d'une particule unique de Co, Ni et NiCu
- 10:10-10:30 Márcio Soares Institut Néel, Grenoble
Growth, structure and magnetic properties of ultra-thin MnPt layers on Pt(001)
- 10:30-11:00 Pause Café
- 11:00-12:30 Posters
- 12:30-14:00 Déjeuner
-
- 14:00-14:40 Olivier Fruchart Institut Néel, Grenoble
Techniques expérimentales appliquées à l'étude du magnétisme des petits systèmes
-
- 14:40-15:00 Nicolas Moreau MPQ, Jussieu
Étude par XMCD du magnétisme de nanostructures organisées d'alliages Co_xPt_{1-x} sur Au(111)
- 15:00-15:20 Hugo Feitosa Jurca École Polytechnique
Propriétés magnétiques de couches ultraminces FeNi/Au(111) par MOKE in situ
- 15:20-15:40 Ariel Brenac CEA Grenoble
Propriétés magnétiques et structurales d'agrégats de Co et CoPt préparés en présence d'azote
- 16:00 Clôture de la réunion

Présentations orales

Electronic structure techniques for the study of magnetic materials

Gustav Bihlmayer

Institut für Festkörperforschung, Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich

Depending on their dimensionality, the properties of magnetic materials might be determined by various magnetic interactions like symmetric and antisymmetric exchange, single ion anisotropy, dipolar terms etc. For a material specific description of these interactions we developed density functional theory-based methods, which allow not only to determine the magnetic groundstate, but also to extract model parameters which can be included in statistical models to simulate the finite-temperature behaviour in magnetic systems, e.g. critical temperatures. I will describe general techniques for an efficient exploration of the magnetic phase space in materials and focus on spin-orbit effects that are of particular importance for the simulation of low-dimensional magnetic systems like ultrathin films and magnetic nanowires. Where available, comparison with experiment will be used to illustrate the reliability of the applied methods.

STRUCTURE ELECTRONIQUE ET MAGNETIQUE DE NANOALLIAGES DE METAUX DE TRANSITION

D. Spanjaard

Laboratoire de Physique des solides, Bat. 510, Université Paris-Sud,
Centre d'Orsay, 91405 Orsay

L'étude des nanoalliages s'est développée rapidement ces dernières années du fait de leurs nombreuses applications. Dans cet exposé, je commencerai par présenter les différents potentiels semi-empiriques utilisés dans la littérature permettant d'obtenir la structure atomique et chimique de ces agrégats sans que le temps de calcul devienne prohibitif. Puis ces structures étant connues je montrerai comment la méthode des liaisons fortes combinée à un hamiltonien d'interactions électroniques traité à l'aide de l'approximation Hartree-Fock permet d'obtenir la structure électronique et les moments magnétiques de spin et orbitaux de ces nanoalliages. En particulier je montrerai qu'un hamiltonien d'interactions de type Stoner, s'il permet une description satisfaisante du magnétisme de spin, n'est pas capable de décrire correctement le magnétisme orbital. Je finirai en développant quelques exemples.

Couplage et dynamique d'aimantation

D. Ledue

Groupe de Physique des Matériaux, UMR 6634 CNRS - Université de Rouen
Saint-Etienne du Rouvray

Les agrégats ferromagnétiques sont d'un grand intérêt scientifique et technologique. En effet, d'un point de vue technologique, des assemblées d'agrégats ferromagnétiques d'un diamètre de l'ordre de quelques nanomètres sont des candidats potentiels pour la réalisation de supports d'enregistrement magnétique à très haute densité (de l'ordre du Tbits/pouce²). Il est alors essentiel de comprendre la dynamique d'aimantation de ces agrégats individuellement mais aussi celle de ces agrégats en interactions (interactions dipolaires et interactions de type RKKY si la matrice est conductrice). En effet, l'augmentation de la densité de stockage requiert l'utilisation de petits agrégats mais aussi d'assemblées de plus en plus denses dans lesquelles les interactions ne sont plus négligeables. Ces interactions pourraient alors conduire à des modes de retournement collectifs, ce qui poserait problème pour les applications technologiques.

Dans cet exposé, nous rappelons les bases théoriques sur le retournement d'aimantation thermiquement activé sous l'effet d'un champ appliqué en l'absence d'interactions (dans le cadre des modèles de Néel et de Brown)¹ [1-3]. Nous présentons ensuite quelques généralités sur l'effet des interactions ainsi que des rappels bibliographiques sur des études expérimentales portant sur l'effet des interactions² [4-6]. Nous présentons ensuite un modèle traitant de l'effet des interactions dipolaires faibles sur le taux de relaxation d'une assemblée d'agrégats ferromagnétiques³ [7-8]. Les résultats de calculs de susceptibilité alternative pour des assemblées polydisperses avec anisotropie magnétique texturée obtenus avec ce modèle seront présentés. Nous étudions en particulier l'influence du champ appliqué, de la température, de la fréquence, de la géométrie de l'échantillon, de la distribution de taille et de la concentration des assemblées (intensité des interactions dipolaires).

¹ L. Néel, Ann. Géophys. 5, 99 (1949); W.F. Brown, Phys. Rev. 130, 1677 (1963); J.L. Dormann, Rev. Phys. Appl. 16, 275 (1981).

² S. Morup et E. Tronc, Phys. Rev. Lett. 72, 3278 (1994); J.L. Dormann, D. Fiorani et E. Tronc, J. Magn. Magn. Mater. 202, 251 (1999); F. Luis, F. Petroff et J. Bartolomé, J. Phys. Cond. Mat. 16, 5109 (2004).

³ P.E. Jönsson et J.L. Garcia-Palacios, Europhys. Lett. 55, 418 (2001); M. Azeggagh et H. Kachkachi, Phys. Rev. B 75, 174410 (2007)

Techniques expérimentales appliquées à l'étude du magnétisme des petits systèmes

Olivier Fruchart¹

¹Institut Néel (CNRS & UJF), 25 rue des Martyrs, 38042 Grenoble Cedex 9

S'il existe un nombre certain de techniques expérimentales adaptées à la caractérisation du magnétisme de petits systèmes, on peut dire qu'il n'existe pas de technique universelle. Chacune a son ou ses avantage(s) et inconvénient(s). Il est donc souvent nécessaire de combiner plusieurs approches pour caractériser un système donné. Il convient donc de connaître les spécificités des techniques disponibles, dont je dresserai ici un panorama rapide.

L'approche la plus populaire pour sonder un objet unique, car la plus simple à interpréter au premier abord, sont les microscopies magnétiques. Pour atteindre les tailles réellement nanométriques on trouve essentiellement des microscopies électroniques: la microscopie de Lorentz (adaptée de la microscopie électronique à haute résolution), le SEMPA ou spin-SEM (Scanning Electron Microscope with Polarization Analysis, adapté du MEB), le SPLEEM (Spin-Polarized Low-Energy Electron Microscope, adapté du LEEM et se faisant sur des surfaces sous ultra-vide), le XMCD-PEEM (X-ray Magnetic Circular Dichroism combiné à la microscopie Photo-Electron Emission Microscope). La techniques de STM polarisée en spin (sp-STM), atteignant sur les systèmes modèles la résolution atomique, complète ces techniques.

Des techniques indirectes sont également à considérer pour les mesures d'objets uniques, car apportant souvent des informations plus quantitatives. On peut distinguer les sondes locales de flux pour la magnétométrie d'objet unique (micro-SQUID, micro-sonde de Hall, vanes de spin) et les expériences de magnéto-transport à travers une nanostructure unique, parmi les plus populaires.

Enfin des techniques moyennées sont souvent utilisées sur des assemblées diluées d'objets dont on cherche lors de la synthèse à minimiser les dispersions de propriétés structurales. La dilution pour éviter les interactions (dipolaires ou RKKY) et la monodispersion laissent alors espérer que la mesure d'ensemble reflète le comportement d'un objet individuel. On distinguera les mesures d'aimantation, des techniques de diffusion, permettant d'estimer des variations spatiales (rayons X, neutrons polarisés).

Dans un esprit 'nanoalliages', lors de la description des techniques je mettrai un accent particulier sur les possibilités de combiner l'apport d'informations chimiques ou locales d'une part, et magnétiques d'autre part.

Distribution d'aimantation au sein de nanoparticules FePt dans une multicouche granulaire C/FePt par réflectivité magnétique résonnante des X mous polarisés

J.-M. Tonnerre,¹ D. Carbone,^{1,2} D. Babonneau,³ et N. Jaouen⁴

¹Institut Néel, CNRS & Université Joseph Fourier, 25 rue des Martyrs, 38052 Grenoble

²ESRF, Boîte Postale 220, 38043 Grenoble

³PHYMAT, Université de Poitiers, UMR 6630 CNRS, Bvd M. et P. Curie, Futuroscope

⁴Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, St-Aubin, Gif-sur-Yvette

L'augmentation rapide des densités d'enregistrement tolérées par les supports magnétiques implique l'utilisation de matériaux constitués de grains nanométriques à forte énergie d'anisotropie magnétique. Dans ce contexte, nous nous intéressons aux propriétés de nanoparticules d'alliage FePt, dont l'intérêt est l'anisotropie magnétocristalline élevée de la phase chimiquement ordonnée L_{10} . Des multicouches granulaires C/FePt ont été élaborées par pulvérisation ionique alternée de carbone ($e = 4,3$ nm) et de $Fe_{50}Pt_{50}$ ($e_{\text{effective}} = 1,1$ nm) puis soumises à des traitements thermiques sous vide jusqu'à 1070 K.

Les propriétés structurales et magnétiques de ces multicouches ont été étudiées par plusieurs techniques et présentées lors de la première réunion du GDR¹. Les expériences de XMCD² ont montré que la transformation vers la phase ordonnée L_{10} lors d'un recuit, se manifeste par une forte augmentation des moments magnétiques de spin et orbital des atomes de fer et de platine. Pour l'échantillon, juste après préparation, le moment magnétique est trouvé plus faible que celui attendu du FePt cfc désordonné. Une des explications proposées à partir des mesures EXAFS est la présence d'une couche morte à l'interface.

Pour sonder la distribution d'aimantation au sein d'une particule moyenne et l'hypothèse d'une structure cœur-coquille ainsi que son évolution, nous avons conduit des expériences de réflectivité magnétique résonnante des x-mous sur deux échantillons: la multicouche juste après élaboration et après un recuit à 770K, température qui optimise un paramètre d'ordre élevé ($S=0.55$) tout en maintenant la structure multicouche. Les résultats indiquent une variation d'aimantation de 25% entre la surface et le cœur de la particule pour l'échantillon "frais" et une distribution homogène pour l'échantillon recuit.

¹ D. Babonneau, G. Abadias, J. Toudert, T. Girardeau, E. Fonda, J.S. Micha, et F. Petroff, J. Phys.: Condens. Matter **20**, 035218 (2008).

² N. Jaouen, D. Babonneau, J.-M. Tonnerre, D. Carbone *et al.*, Phys. Rev. B **76**, 104421 (2007).

Évaluation de l'énergie d'anisotropie magnétique de nanoparticules de CoPt à l'aide du modèle de Néel et lien avec les mesures expérimentales

Florent Tournus, A. Gérardin

LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua - 69622 Villeurbanne

Le modèle de Néel a été récemment utilisé pour calculer les effets de la mise en ordre chimique et de la réduction de taille sur l'énergie d'anisotropie magnétique (MAE) de nanoparticules de FePt et CoPt¹. Ce modèle empirique très simple, basé sur une interaction de paire entre plus proches voisins pour décrire l'anisotropie magnétocristalline, permet de calculer la constante d'anisotropie d'un système, et ce de manière statistique puisque les calculs peuvent être menés pour un grand nombre de configurations différentes. Ces simulations doivent permettre de prédire des tendances fiables quant à l'évolution de l'anisotropie magnétique avec différents paramètres tels que la forme, la taille, la composition ou l'ordre chimique des nanoparticules.

Ici nous discuterons des différentes sources de dispersion d'énergie d'anisotropie dans une assemblée d'agrégats (telles que celles qui peuvent être caractérisées expérimentalement par magnétométrie à SQUID). Nous verrons que, tandis que de légères variations de forme et de composition ont des effets négligeables sur l'anisotropie, la distribution statistique d'arrangements chimiques, qui est typiquement un effet d'alliage, peut être une source majeure de dispersion de MAE². Nous discuterons ces prédictions au vu des caractérisations récentes d'assemblées d'agrégats de CoPt triés en masse.

Par ailleurs, nous discuterons de l'anisotropie de structures particulières : particules constituées d'un cœur chimiquement ordonné $L1_0$ et d'une coquille désordonnée³, agrégats inhomogènes avec ségrégation du platine en surface, agrégats non cristallins de type décaédriques prédits par simulations de dynamique moléculaire⁴. Ces résultats pourront servir à proposer des hypothèses pour rendre compte de l'observation expérimentale récente d'une très forte réduction de MAE par rapport au massif, dans le cas de nanoparticules de CoPt chimiquement ordonnées noyées en matrice de carbone amorphe⁵.

¹ S. Rohart, F. Tournus, et V. Dupuis, *soumis pour publication*.

² F. Tournus, S. Rohart, et V. Dupuis, *IEEE Trans. Magn.*, *sous presse*.

³ M. Müller, P. Erhart, et A. Karsten, *Phys. Rev. B* **76**, 155412 (2007).

⁴ G. Rossi, R. Ferrando, et C. Mottet, *Faraday Discuss.* **138**, 193 (2008).

⁵ F. Tournus, A. Tamion, N. Blanc *et al.*, *Phys. Rev. B* **77**, 144411 (2008).

Des courbes SQUID à l'anisotropie magnétique d'assemblées d'agrégats nanométriques

Alexandre Tamion,¹ Cécile Raufast,¹ Edgard Bonet,² Florent Tournus,¹ Juliette Tuaille,¹ Julien Jouanguy,³ et Véronique Dupuis¹

¹LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua, 69622 Villeurbanne

²Institut Néel, 25 rue des Martyrs, 38042 Grenoble cedex 9

³LML, Boulevard Paul Langevin, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex

La technique LECBD (Low Energy Clusters Beam Deposition) développée au Centre Interlaboratoires de Recherche sur les agrégats (CIRA)¹ permet de synthétiser des agrégats pré-formés en phase gazeuse et de les déposer à faible énergie sur un substrat. La source à vaporisation laser de dernière génération du centre permet le co-dépôt sous ultra-haut vide d'agrégats magnétiques de taille nanométrique identique et d'une matrice hôte.

L'équipe magnétisme du LPMCN étudie les propriétés structurales, chimiques et magnétiques de ces agrégats. Dans cet exposé, nous nous intéresserons uniquement à la partie magnétique. La magnétométrie SQUID est la technique de laboratoire la plus répandue pour déterminer les propriétés magnétiques des assemblées d'agrégats. Cet exposé fera la liste non exhaustive des différentes techniques de mesures utilisées au LPMCN de l'université de Lyon, ainsi que les méthodes d'ajustement des résultats expérimentaux^{2,3}.

Nous nous focaliserons plus particulièrement sur la détermination de l'anisotropie magnétique effective des agrégats (K_{eff}), propriété importante autant du point de vue fondamental que des applications. L'objectif principal est d'évaluer avec la plus grande précision possible cette caractéristique magnétique. A titre d'exemple nous nous concentrerons sur des agrégats de Co et CoPt. A travers plusieurs exemples nous montrerons l'influence de la matrice et de la distribution de taille sur les courbes expérimentales.

Cette description du travail de recherche se fera en deux sous-parties :

Dans une première partie nous étudierons la détermination de la distribution de taille magnétique des agrégats à l'aide des courbes $M(H)$ à haute température ; ainsi que les différents problèmes rencontrés lors de la soustraction de la composante diamagnétique du substrat.

La seconde partie présentera les différentes techniques employées au LPMNC pour déterminer l'anisotropie magnétique : des cycles d'hystérésis à basse température ($T < T_B$) jusqu'aux Zero Field Cooled/Field Cooled, en passant par $H_c(T)$.

¹ J. Bansmann, S.H. Baker, C. Binns, J.A. Blackman, J.-P. Bucher, J. Dorantes-Dávila, V. Dupuis, L. Favre, D. Kechrakos, A. Kleibert *et al.* Surface Science Reports **56** 189 (2005).

² F. Tournus, A. Tamion, N. Blanc, A. Hamour, L. Bardotti, B. Prével, P. Ohresser, T. Epicier et V. Dupuis, Phys. Rev. B **77**, 144411 (2008).

³ S.Rohart, C. Raufast, L. Favre, E. Bernstein, E. Bonet et V. Dupuis, Phys. Rev. B **74**, 104408 (2006).

Computational investigation of the atomic structure of Mn-rich nanocolumns: comparison with a possible GeMn ordered compound

Emmanuel Arras, Ivetta Slipukhina, Thierry Deutsch and Pascal Pochet

Laboratoire de simulation atomistique (L_Sim), INAC/SP2M, CEA Grenoble, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9

High curie temperature ($> 400\text{K}$) GeMn alloys have recently been grown by means of low temperature molecular beam epitaxy¹. The samples exhibit Mn-rich nanostructures embedded in a nearly pure germanium matrix (Fig. 1). The composition of these nanostructures is close to Ge_2Mn but their atomic structure is still puzzling.

A recent Extended X-Ray Absorption Fine Structure (EXAFS) study reveals that these nanostructures present a complex local structure that does not correspond to any known stable GeMn compound². Based on electronic structure calculations we have investigated both magnetic and structural properties of a possible GeMn ordered compound found in similar transition-metal metalloid systems. The comparison is based on both magnetic properties of the relaxed compounds as well as their simulated EXAFS spectra. This methodology was first validated on the Ge_3Mn_5 compound (Fig. 2) and then applied to other ordered compounds. Moreover the Curie temperature is calculated by means of coupled KKR-Monte Carlo calculations for the compounds that exhibit a stable ferromagnetic ordering.

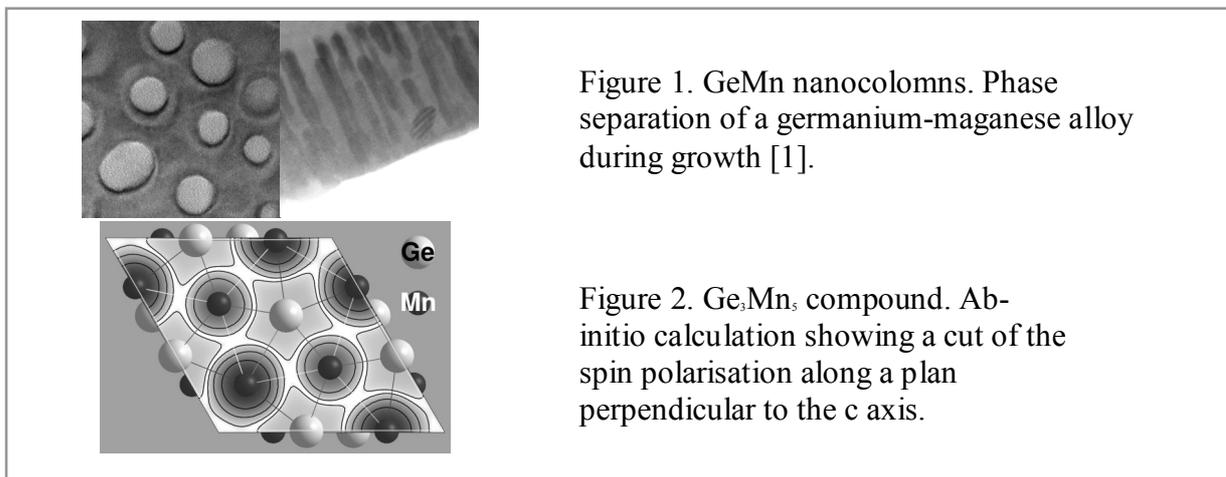


Figure 1. GeMn nanocolumns. Phase separation of a germanium-manganese alloy during growth [1].

Figure 2. Ge_3Mn_5 compound. Ab-initio calculation showing a cut of the spin polarisation along a plan perpendicular to the c axis.

¹ M. Jamet, A. Barski, T. Devillers, V. Poydenot, R. Dujardin, P. Bayle-Guillemaud, J. Rothman, E. Bellet-Amalric, A. Marty, J. Cibert, R. Mattana, and S. Tatarenko, *Nat. Mater.* **5**, 653 (2006).

² M. Rovezzi, T. Devillers, E. Arras, F. d'Acapito, A. Barski, M. Jamet, and P. Pochet, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 242510 (2008).

Interaction effects in dilute cluster-assembled magnetic nanostructures

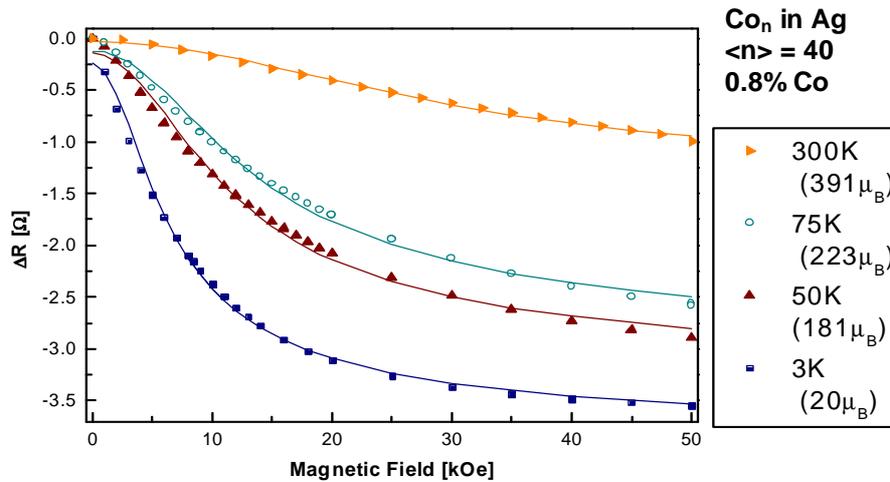
Matthias Hillenkamp,^{1,2} Giulia Di Domenicantonio,² et Christian Félix²

¹ LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua, 69622 Villeurbanne

² Institut de Physique des Nanostructures, EPFL, Lausanne, Switzerland

We have prepared dilute nanostructured magnetic samples by codeposition of preformed cobalt clusters with a narrow size distribution around 40 atoms per cluster in silver matrices¹. Magnetoresistance measurements are used to derive information about the magnetic structure of the samples.

Effects of cluster size distribution or anisotropy can be neglected in our samples. Deviations from simple Langevin-type magnetization are observed as a function of temperature and identified as due to intercluster interactions. Pairwise magnetostatic and indirect exchange interactions as well as the model of interacting superparamagnets are found to be not adequate to explain the observed temperature dependences. We propose an interpretation of a correlated spin glass, which shows that for small clusters, spin glass behavior can be observed even at high dilutions².



Magnetoresistance curves for a Ag film with embedded Co clusters around 40 atoms at different temperatures. Also shown are fits according to a superparamagnetic model. The increase in apparent moment per cluster with increasing temperature is an indication for intercluster interactions.

¹ M. Hillenkamp, G. Di Domenicantonio and C. Félix, Rev. Sci. Instrum., **77** 025104 (2006).

² M. Hillenkamp, G. Di Domenicantonio and C. Félix, Phys. Rev. B, **77** 014422 (2008).

Structure, ordre chimique et magnétisme dans des nanoparticules d'alliages de métaux de transition 3d/4d

M.-J. Casanove

CEMES-CNRS, 29 rue J. Marvig, BP 94347, 31055 Toulouse cedex 4

Au cours de ces deux dernières décennies, il a largement été démontré que tant la taille que la dimensionnalité sont susceptibles d'engendrer des propriétés physiques et chimiques originales. Les clusters de métaux de transition offrent ainsi de nouvelles possibilités dans les applications magnétiques et les alliages 3d-4d peuvent répondre d'une façon efficace à la nécessité de combiner un grand moment magnétique avec une forte anisotropie.

Nous présenterons une partie du travail, expérimental et théorique, effectué au CEMES sur ce type de nanoalliages, synthétisés par voie de chimie douce par nos collaborateurs du LCC. Nous souhaitons en particulier promouvoir une approche combinant différentes techniques expérimentales à même d'analyser de si petits objets (dans notre cas, pas même forcément bien cristallisés) avec une modélisation à différentes échelles. Nous montrerons comment cette approche permet une analyse plus pointue des mesures expérimentales.

Les techniques mises en œuvre ont mis en évidence des organisations structurales et chimiques originales, dont la stabilité a été évaluée par modélisation atomique. Ces organisations sont hautement favorables à l'amélioration des propriétés magnétiques, mesurées par ailleurs dans ces nanoparticules (coll. M. Respaud, LPCNO). Les objets étudiés étant de très petites tailles, il est peu vraisemblable d'obtenir, lorsque l'alliage s'y prête, une structure ordonnée chimiquement. Par contre, tant les moteurs de ségrégation de surface que les moteurs cinétiques, peuvent influencer sur une organisation chimique particulière, elle même favorable à une amélioration du magnétisme. Nous présenterons également nos prospectives sur l'influence des contraintes d'épitaxie sur les propriétés magnétiques de nanoalliages.

Propriétés structurales et magnétiques de nanostructures de FePt auto-assemblées sur NaCl(001)

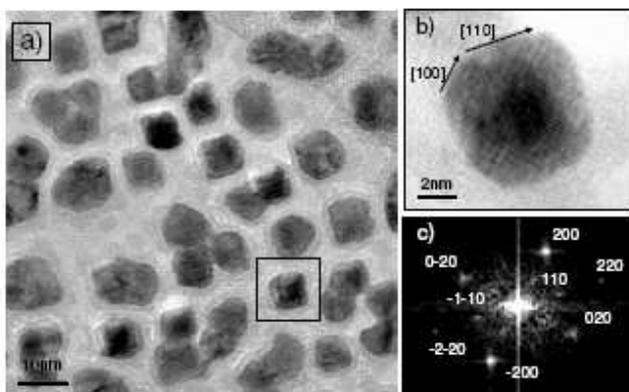
F. Liscio,¹ D. Makarov,² B. Doisneau-Cottignies,¹ M.Maret¹ et M. Albrecht³

¹SIMAP, INP Grenoble-CNRS-UJF, BP75, 38402 Saint Martin d'Hères, France

² Université de Konstanz, Département de Physique, D-78457 Konstanz, Allemagne

³ Université Technique de Chemnitz, Institut de Physique, D-09107 Chemnitz, Allemagne

Des nanostructures de FePt ont été obtenues sous ultra vide par co-déposition d'atomes de Fe et Pt sur la surface NaCl(001). Pour une température de déposition T_d proche de 250°C, les nanostructures croissent essentiellement suivant la direction [001] malgré le grand désaccord de maille ~30%, elles ne sont pas contraintes et s'ordonnent dans la phase $L1_0$. Pour des températures inférieures (~150°C) ou supérieures (~350°C), de nombreuses nanostructures croissent également suivant la direction [110], initialement attendue de part la valeur du paramètre cristallin de NaCl de 5,64Å très proche de la diagonale de la face cubique de FePt, mais la relation d'orientation correspondante, $[1-10]FePt(110)//[100]NaCl(001)$, est peu respectée. Pour $T_d=350°C$, des tâches dans les clichés RHEED indiquent la formation de nanoparticules $L1_0$ avec l'axe tétragonal situé dans le plan du substrat. Les paramètres d'ordre $L1_0$ déterminés par diffraction X sont égaux à $0.3(\pm 1)$ et $0.4(\pm 1)$ pour T_d égales à 250 et 350°C. Les mesures de microscopie électronique à transmission réalisées dans des dépôts de ~3nm montrent que par des effets de coalescence la taille des particules augmente avec T_d . A 250°C les nanostructures adoptent une structure pyramidale composée de larges facettes latérales {111} et de plus petites de type {110}. Les mesures magnétiques indiquent que les particules sont superparamagnétiques avec une large distribution de températures de blocage allant jusqu'à la température ambiante. Les valeurs plus élevées des coercivités enregistrées lorsque le champ magnétique est appliqué perpendiculairement au substrat indiquent une anisotropie perpendiculaire qui croît avec le degré d'ordre $L1_0$.



a) Image MET d'une assemblée de nanoparticules de FePt formées à 250°C sur NaCl(001). b) image haute-résolution d'une particule orientée [001] et c) sa transformée de Fourier révélant les tâches de surstructure de la phase $L1_0$. La taille latérale moyenne des nanostructures est proche de 10nm

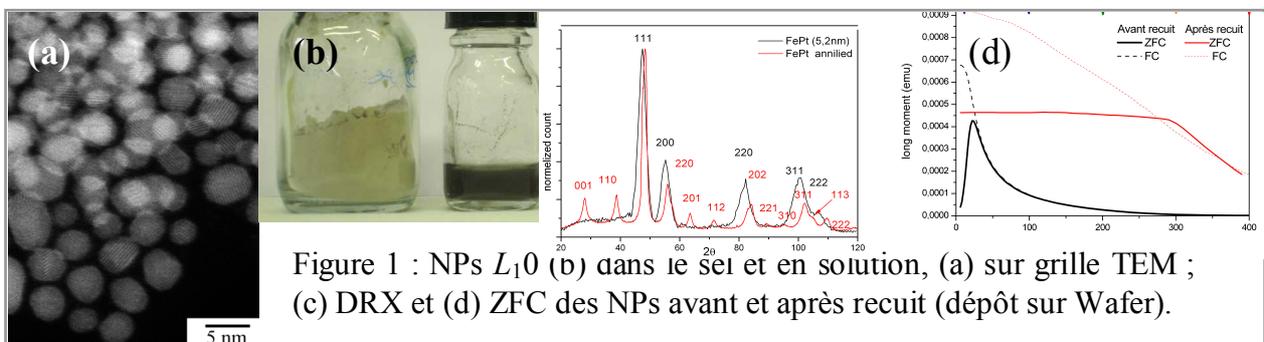
Obtention de la phase L_10 via un recuit dans du NaCl de NPs FePt synthétisées par voie chimique

Anastasia Delattre,^{1,2} Peter Reiss,¹ et Yves Samson²

¹INAC/SprAM et ²INAC/SP2M, CEA Grenoble, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9

Dans le cadre des média magnétiques ultra haute densité, il est envisageable qu'un bit d'information soit porté sur une particule. Des matériaux à très fortes anisotropies magnétocristallines sont alors indispensables afin de préserver la stabilité de l'aimantation en dépit de la limite superparamagnétique des nanoparticules (NPs).

Le thème de recherche en cours sur cette problématique repose sur l'étude de NPs de FePt, alliages retenus pour la très forte anisotropie magnétocristalline associée à la phase chimiquement ordonnée L_10 . Nous maîtrisons au laboratoire la synthèse par voie chimique¹ de telles particules avec une très bonne distribution de taille permettant un bon processus d'auto-organisation. Nous souhaitons présenter le travail qui a été effectué sur le changement de phase des NPs (cfc vers L_10), mettant en jeu un recuit dans une matrice de NaCl². Les NPs ainsi obtenu présente clairement la phase L_10 attendu (figure 1c) et la limite superparamagnétique est repoussée au delà de la température ambiante (fig. 1d). Ces particules ferromagnétiques en solution ou déposées sur grille sont en fortes interactions entre elles : elles s'agrègent lors du dépôt TEM (fig. 1a) et modifient la dynamique de retournement des nano-aimants lors des mesures SQUID. Nous expliquerons d'une part la méthode en elle-même permettant la mise en ordre chimique sans coalescence, l'élimination du sel et la redispersion en solution colloïdale des NPs (figure 1b) ; mais aussi les études qui sont en cours pour comprendre et quantifier l'interaction des nano-aimants et éventuellement la maîtrisée pour des applications ultérieurs.



¹ M. Delalande, P. Marcoux, P. Reiss, et Y. Samson, J. Mater. Chem. **17**, 1579 (2007); V. Monnier, M. Delalande, P. Bayle-Guillemaud, Y. Samson, et P. Reiss, Small **4**, 1139 (2008).

² J. R. Liu et K. Elkins, IEEE Trans. Magn. **42**, 3036 (2006).

Nanoparticules d'alliage CoAl, un tremplin vers des nano-objets Co@Al₂O₃ ?

Diana Ciuculescu-Pradines,¹ Catherine Amiens,¹ Bruno Chaudret,¹ Mirza Cokoja,¹ Pierre Lecante,² et Robert E. Benfield³

¹LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua - 69622 Villeurbanne

²Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales-CNRS, Toulouse

³University of Kent, Canterbury, UK

Les nanoparticules magnétiques de petites tailles ont des propriétés très originales: elles sont superparamagnétiques à température ambiante, leur aimantation dépend énormément de leur environnement chimique, leur structure peut être différente de celle du métal massif etc... Elles sont envisagées dans de nombreuses applications mais leur oxydabilité est un frein à tout développement technologique. Une méthode pour palier cet inconvénient consiste à les enfouir au sein de matrices inorganiques isolantes, silice ou alumine par exemple, ce qui nécessite des techniques lourdes de dépôt en ultravide. Une alternative intéressante serait de passiver les particules obtenues par voie chimique classique. De nombreux travaux s'attachent à mettre aux points des enrobages de type coquille de carbone¹ ou de silice.² Pour l'instant, les coquilles obtenues restent soit partiellement poreuses à l'oxygène, soit conduisent à des matériaux électriquement conducteurs, ce qui peut être un handicap pour de nombreuses applications en microélectronique. Depuis quelques années nous avons mis au point une méthode de synthèse chimique en solution, qui nous a permis d'obtenir de façon reproductible, des nanoparticules magnétiques dans divers environnements.³ Nous proposons une méthode alternative d'accès à des composés de type M@Al₂O₃, de taille nanométrique, par oxydation sélective de l'aluminium dans les alliages MAI. Nous présentons ici les résultats obtenus dans le cas de la synthèse de nanoparticules d'alliage CoAl. Des résultats préliminaires montrent que leur oxydation partielle induit une ségrégation de type Co@Al₂O₃ ...

¹ C. Desvaux, C. Amiens, P. Fejes, P. Renaud, M. Respaud, P. Lecante, E. Snoeck, et B. Chaudret, *Nature Materials* **4**, 750 (2005) ; N. Shpaisman et S. Margel, *Chem. Mater.* **18**, 396 (2006).

² P. Tartaj et C. J. Serna, *J. Am. Chem. Soc.* **125**, 15754 (2003) ; G. Wang et A. Harrison, *J. Coll. Interface Sci.* **217**, 203 (1999).

³ J. Osuna, D. d. Caro, C. Amiens, B. Chaudret, E. Snoeck, M. Respaud, J.-M. Broto, et A. Fert, *J. Phys. Chem.* **100**, 14571 (1996) ; M. Respaud, J.M. Broto, H. Rakoto, A.R. Fert, L. Thomas, B. Barbara, M. Verelst, E. Snoeck, P. Lecante, A. Mosset, J. Osuna, T.O. Ely, C. Amiens, et B. Chaudret, *Phys Rev B* **57**, 2925 (1998) ; N. Cordente, C. Amiens, B. Chaudret, M. Respaud, F. Senocq, et M.-J. Casanove, *J. Appl. Phys.* **94**, 6358 (2003).

Coexistence of exchange bias and exchange spring effects in oxidized Co nanocluster assembled films

A. Dobrynin

Institut Néel, CNRS, 25 Rue des Martyrs Bat D, BP 166, F-38042 Grenoble Cedex 9, France

We present the observation of a double hysteresis loop behavior in oxidized Co nanocluster assembled films¹. These films consist of ferromagnetic Co clusters of about 2 nm diameter, embedded in a thin antiferromagnetic CoO matrix. Magnetization measurements after zero field cooling from 300 to 5 K show this double loop behavior, with remanent magnetization of the sample determining the point of loop separation. Such magnetization behavior is related to the presence of two ferromagnetic parts with antiparallel orientations of their magnetization vectors. While the loop shifts are provided via the exchange bias mechanism, the alignment of randomly oriented magnetization vectors of Co clusters in either of two directions suggests the presence of an exchange spring effect in the system.

¹ A.N. Dobrynin *et al.*, New J. Phys. **9**, 258 (2007).

Retournement de l'aimantation dans des super-réseaux DyFe₂/YFe₂ couplés antiferromagnétiquement

P.E. Berche,¹ E. Talbot,¹ T. Philippe,¹ C. Dufour,² et K. Dumesnil²

¹Groupe de Physique des Matériaux, Université de Rouen, 76801 Saint Etienne du Rouvray

²Laboratoire de Physique des Matériaux, Université Henri Poincaré Nancy 1, 54506 Vandoeuvre les Nancy Cédex

Les super-réseaux DyFe₂/YFe₂ sont des composés qui permettent la fabrication de parois de domaines artificielles par le biais du couplage d'échange négatif à l'interface entre les couches dure et douce. Ils sont constitués de couches ferrimagnétiques dures (DyFe₂) et de couches ferrimagnétiques douces (YFe₂). L'arrangement magnétique qu'ils adoptent dépend de l'énergie d'anisotropie magnéto-cristalline, de l'énergie d'échange et de l'énergie Zeeman.

Les résultats expérimentaux ont montré que les super-réseaux peuvent présenter des propriétés magnétiques très diverses suivant la température, le rapport entre les épaisseurs déposées et les épaisseurs nominales de chaque couche. Notamment, il apparaît pour certains échantillons et dans certaines conditions que la paroi de domaine peut se déplacer dans la phase magnétique dure sous l'effet de la température.¹ Notre objectif est d'interpréter cette grande variété de résultats expérimentaux à partir de simulations numériques Monte Carlo.

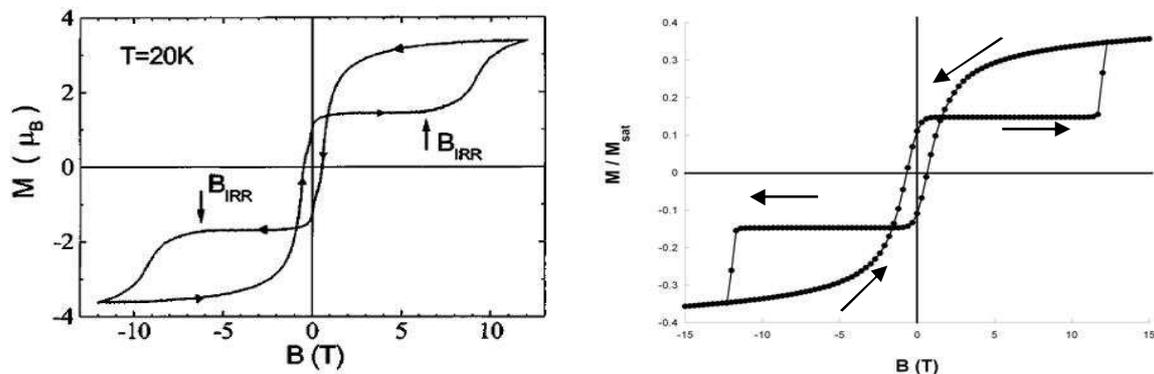


Figure 1. Cycles d'hystérésis du super-réseau DyFe₂ (5 nm) / YFe₂ (20 nm) à basse température : (a) cycle expérimental²; (b) Cycle obtenu en simulation numérique Monte Carlo.

¹ E.E. Fullerton, J.S. Jiang, M. Grimsditch, C.H. Sowers, et S.D. Bader, Phys. Rev. B **58**, 12193 (1998) ; M.R. Fitzsimmons, S. Park, K. Dumesnil, C. Dufour, R. Pynn, J.A. Borchers, J.J. Rhyne, et Ph. Mangin, Phys. Rev. B **73**, 134413 (2006).

² J.-M. L. Beaujour, S.N. Gordeev, G.J. Bowden, P.A.J. de Groot, et B. D. Rainford, J. Appl. Phys. **78**, 964 (2001).

Étude des effets du couplage d'échange F/AF sur le magnétisme d'une particule unique de Co, Ni et NiCu

Damien Le Roy,¹ Robert Morel,¹ Wolfgang Wernsdorfer,² Ariel Brenac,¹ Thierry Crozes,² Thierry Fournier,² et Lucien Notin¹

¹INAC/SP2M, CEA Grenoble, 17 rue des Martyrs 38054 Grenoble cedex 9

² Institut Néel, CNRS-Université Joseph Fourier, BP 166, 38042 Grenoble cedex

L'anisotropie d'échange induite par le couplage F/AF pourrait permettre de renforcer l'anisotropie magnétique d'agrégats nanométriques et repousser leur limite superparamagnétique. Si les effets macroscopiques du couplage F/AF sont connus, son origine microscopique reste mal comprise. La magnétométrie μ Squid a récemment permis de mesurer les champs de retournement d'agrégats uniques cœur-coquille de Co-CoO et de mieux appréhender les détails de l'interaction en reliant ces résultats expérimentaux à un modèle énergétique simple¹¹. Les développements récents de la magnétométrie μ Squid ont été obtenus grâce aux progrès lithographie électronique. La sensibilité de la technique est directement liée à la taille des boucles. La réduction à quelques $0.01 \mu\text{m}^2$ (Fig. 1), permet de nouveaux types de mesures, en particulier des courbes d'aimantation (Fig. 2).

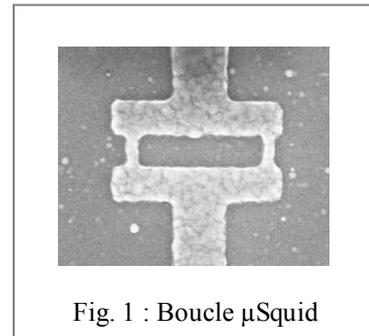


Fig. 1 : Boucle μ Squid

Nous présenterons une étude expérimentale des effets du couplage d'échange F/AF sur les propriétés magnétiques

d'agrégats nanométriques uniques, déposés sur une couche antiferromagnétique. La taille des particules étudiées favorise une configuration monodomaine et implique qu'une large proportion d'atomes se trouve en surface (de l'ordre de 25%), exaltant les effets dus aux interactions à l'interface F/AF. Dans le but de relier la contribution induite par le couplage à la configuration des spins à l'interface, les agrégats sont déposés sur une couche antiferromagnétique orientée. Nous avons étudiés différents matériaux ferromagnétiques (Ni, Co, NiCu), d'anisotropies intrinsèques différentes, et dont les températures de Curie encadrent la température de Néel de la couche antiferromagnétique (CoO).

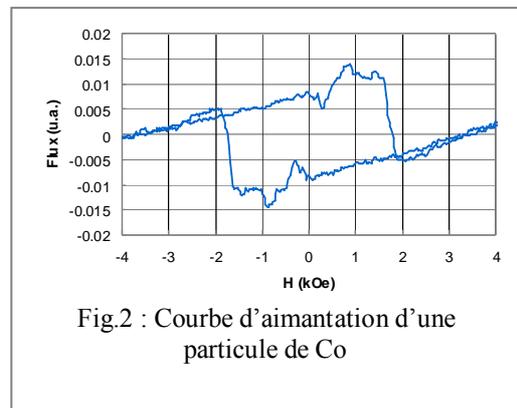


Fig.2 : Courbe d'aimantation d'une particule de Co

¹ C. Portemont *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 144415 (2008).

Growth, structure and magnetic properties of ultra-thin MnPt layers on Pt(001)

Márcio M. Soares, Mohamad Al Jawad, Maurizio De Santis, Hélio C.N. Tolentino, Aline Y. Ramos, et Yves Gauthier

Institut Néel, CNRS&UJF, 25 Avenue des Martyrs, BP166, 38042 Grenoble, France

Spin valves based on the exchange interaction between antiferromagnetic (AFM) and ferromagnetic (FM) films have been investigated for their application in the future generations of magnetic heads for high-density hard-disks. The desired properties of the AFM are large exchange coupling, good resistance to corrosion and high ordering temperature (T_N). MnPt in the $L1_0$ phase is one of the best AFM materials for that¹. However, its high exchange bias is difficult to maintain when reducing the thickness. Indeed, it has been observed that the exchange coupling vanishes when the MnPt layer is thinner than 6-10 nm.² The origin of such a critical thickness is controversial and could be due to thermal instability, owing to the finite-size scaling of T_N ,³ or due to lack of chemical order⁴. With few exceptions, all these studies were performed on films grown by sputtering and with different degrees of texture.

We have used surface X-ray diffraction (SXR) to study ultra-thin MnPt layers grown in epitaxy on Pt(001). Our aim is to correlate their detailed structure with magnetic properties. Recently, we elaborated a 14 ML (2.8nm) film by alternate deposition of monolayers of Mn and Pt at room temperature, in order to mimic the chemically ordered $L1_0$ phase, and followed simultaneously the structure by *in-situ* SXR. After the first Mn ML, a mixing of Mn and Pt along at least two atomic layers was observed. Adding a Pt ML to this mixed layer lead to Pt islands compatible with a large roughness. For the whole 14 ML film any degree of chemical order has been observed. These results have indicated that is impossible to grow a $L1_0$ ordered MnPt alloy over Pt(001) at room temperature. After annealing up to 500°C, short range order shows up with a coherence length of 1.6 nm. However, the $L1_0$ domains are oriented both in plane and out-of-plane. A 15 ML Fe and a 10 ML Pt films were deposited on top of the sample. Magnetic properties were studied *ex-situ* by MOKE. The exchange bias shift observed clearly demonstrated that such a MnPt film was AFM (with T_N in the 50 K range). One important conclusion is that short range order, of a few nanometers, is sufficient to give rise to AFM order and strong exchange coupling.

¹ J. P. Nozières *et al.*, J. Appl. Phys. **87**, 3920 (2000).

² M. Rickart *et al.*, Eur. Phys. J. B **45**, 207 (2005); T.Sato *et al.*, JMMM **240**, 277 (2002).

³ T. Ambrose *et al.*, J. Appl. Phys. **83**, 6822 (1998).

⁴ M. F. Toney *et al.*, Appl. Phys. Lett. **81**, 4565 (2002).

Étude par XMCD du magnétisme de nanostructures organisées d'alliages $\text{Co}_x\text{Pt}_{1-x}$ sur Au(111)

Nicolas Moreau,¹ Cyril Chacon,¹ Vincent Repain,¹ Philippe Ohresser,² Fabrice Scheurer,² Jérôme Lagoute,¹ Yann Girard,¹ et Sylvie Rousset¹

¹Équipe STM, Laboratoire MPQ (UMR 7162, CNRS – Université Paris Diderot)

²Groupe Surfaces Interfaces, IPCMS (UMR 7504, CNRS – Université Louis Pasteur), Strasbourg

Le magnétisme des objets de très faible taille montre des comportements originaux comme l'augmentation du moment orbital associé à une hausse de l'anisotropie. Le dichroïsme circulaire magnétique des rayons X (XMCD) s'est révélé être une méthode particulièrement efficace pour mesurer ces effets jusqu'à l'atome individuel¹.

Par ailleurs, les alliages en volume de type CoPt ou FePt dans leur phase ordonnée sont connus pour avoir des anisotropies magnétiques très importantes, ce qui en fait de bons candidats pour l'enregistrement magnétique à très haute densité. Une question importante est de comprendre comment cette anisotropie peut être modifiée dans des nanostructures de taille ultime, ce qui nécessite l'étude de systèmes modèles. La croissance épitaxiale organisée permet de réaliser des nanostructures contrôlées avec une distribution de taille étroite, ce qui permet de remonter plus facilement à leurs propriétés magnétiques par des techniques moyennées spatialement comme le XMCD. Nous avons réalisé par codépôt à température ambiante des nanostructures de $\text{Co}_x\text{Pt}_{1-x}$ sur Au(111) qui montrent une organisation pour une gamme importante de concentration en Pt. Ces échantillons ont été analysés par XMCD pour différentes tailles et concentrations en Pt. L'anisotropie magnétique a été déterminée par l'analyse des cycles d'hystérésis en fonction de l'angle du champ et de la température. Celle-ci, initialement hors du plan pour des plots de Co pur, diminue fortement pour passer dans le plan pour une concentration de Pt de 40%, ceci en bon accord avec les mesures de moment orbital déduites des spectres XMCD. L'importance de la dimensionnalité de ces nanoplots ainsi que la concentration en Pt sur leur comportement magnétique seront discutées.

¹ P. Gambardella *et al.*, Science **300**, 1130 (2003).

Propriétés magnétiques de couches ultraminces FeNi/Au(111) par MOKE *in situ*

Hugo Feitosa Jurca, Alexis Damian, Philippe Allongue, et Fouad Maroun

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Ecole Polytechnique – Palaiseau.

Les propriétés magnétiques d'alliages dépendent de l'arrangement atomique local. Dans ce travail nous utilisons la croissance électrochimique pour déposer des couches FeNi/Au(111) ultraminces de composition variable. Ce système a été sélectionné car nos observations STM *in situ* montrent que la croissance est 2D comme pour chacun des deux éléments.¹ On présentera les principes de base du co-dépôt électrochimique d'alliages et un ensemble de mesures MOKE (Mesures magnéto optiques par effet Kerr) *in situ* (enregistrées pendant la croissance) en fonction de la stoechiométrie de la solution (i.e. rapport des concentrations $[Fe^{2+}]/[Ni^{2+}]$) et du potentiel de dépôt. On présentera aussi des expériences complémentaires avec le dépôt de films Fe *pur* sur une surface Ni(1ML)/Au(111).

La figure 1 montre un exemple de résultats MOKE en configuration polaire pour deux dépôts $Fe_xNi_{1-x}/Au(111)$ de composition chimique très voisine ($x \sim 0.5$). Le dépôt (a) est ferromagnétique dès 0.35 MC et le dépôt (b) ne présente aucun ordre ferromagnétique en dessous de 1 MC. En outre le dépôt (a) présente des cycles $M - H$ carrés avec une forte rémanence et un champ coercitif, un comportement qui ressemble fortement à celui des couches Fe/Au(111). Au contraire l'anisotropie perpendiculaire du film (b) est quasi nulle.

Ces différences flagrantes suggèrent des microstructures très différentes pour les deux films. Dans les conditions du dépôt (b) le comportement magnétique des couches en fonction de leur composition suggère la formation d'une solution solide, en accord avec la thermodynamique. Au contraire une ségrégation de phase inattendue se produit pour le dépôt (a). On discutera l'origine de ce phénomène en faisant appel aux spécificités de la méthode électrochimique pour l'étude des alliages.

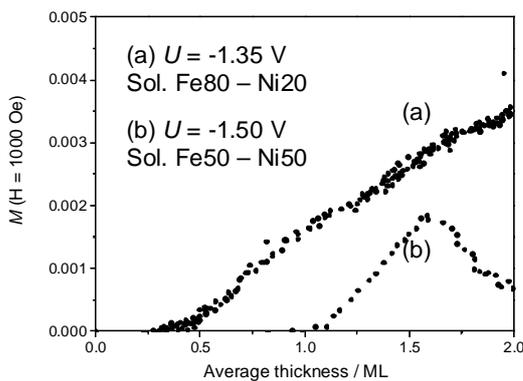


Fig. 1: Mesures MOKE *in situ* montrant que les conditions de croissance d'un film $Fe_{50}Ni_{50}$ affectent l'ordre atomique local. Le dépôt (a) est ségrégué. Le dépôt (b) est une solution solide.

¹ P. Allongue *et al.*, Surf. Sci., sous presse.

Propriétés magnétiques et structurales d'agrégats de Co et CoPt préparés en présence d'azote

D. Le Roy,¹ A. Brenac,¹ R. Morel,¹ L. Notin,¹ O. Plantevin,² et O. Bikondo³

¹CEA, INAC, SP2M, NM, 38054 Grenoble

²CNRS/IN2P3 – Université Paris XI, CSNSM, UMR 8600, 91405 Orsay

³ESRF, Surface and Interface Science Group, 6 rue Jules Horowitz, BP 220, 38043 Grenoble

Les particules magnétiques nanométriques présentent souvent des structures originales, qui influencent le magnétisme. Par exemple, les agrégats de cobalt de quelques nanomètres de diamètre sont souvent icosédriques, d'où une anisotropie magnétocristalline plus faible que dans la structure hexagonale du massif. Les alliages FePt ou CoPt présentent une grande anisotropie magnétique uniaxiale lorsqu'ils sont ordonnés dans la phase $L1_0$. Mais cet ordre se révèle difficile à obtenir dans une assemblée d'agrégats : la température requise pour la transformation icosédrique-cfc- $L1_0$ provoque la coalescence entre agrégats.

Une technique s'est récemment avérée efficace pour obtenir une proportion importante d'agrégats FePt isolés et ordonnés dans la phase $L1_0$: injecter de l'azote pendant la croissance puis recuire les agrégats en vol¹. Inspirés par cette expérience, nous faisons croître en présence d'azote des agrégats de cobalt et de CoPt, dont nous étudions le magnétisme sous l'effet d'un recuit à température modérée, ce qui minimise la coalescence.

Nous présentons ici les résultats des mesures magnétiques et structurales, réalisées pour différentes températures de recuit. Après dépôt, la température de blocage superparamagnétique des agrégats de CoPt préparés en présence d'azote est nettement plus basse que celle des mêmes agrégats préparés sans azote. Après un recuit à 300 °C, cette température de blocage remonte jusqu'au voisinage de la température ambiante. Quant aux particules de cobalt préparées en présence d'azote, leur aimantation spécifique est divisée par trois par rapport au cobalt. Après un recuit à 350°C, le ferromagnétisme du cobalt est restauré avec une température de blocage à l'ambiante, largement supérieure à celle des agrégats préparés sans azote. Ces résultats suggèrent la formation d'un nitrure de cobalt (CoN), matériau paramagnétique qui se décompose vers 300°C en cobalt hexagonal.

¹ O. Dmitrieva *et al.*, J. Phys. D : Appl. Phys. **39**, 4741 (2006).

Posters

Couplage d'échange anisotrope dans des tricouches Fe/Mn/Fe

Anouar El bahoui,¹ Catherine Bordel et Denis Ledue

GPM - UMR CNRS 6634 - Avenue de l'Université - B.P. 12 76801 SAINT ETIENNE DU ROUVRAY CEDEX

Le couplage d'échange anisotrope à l'interface entre une couche ferromagnétique (F) et une couche antiferromagnétique (AF) est un phénomène qui a été découvert par Meiklejohn et Bean en 1956¹, et a qui donné lieu par la suite à de très nombreuses études du fait de son intérêt dans les dispositifs de type vannes de spin. Plusieurs modèles théoriques ont été proposés, qui généralement ne donnent pas une estimation quantitative de l'intensité de ce couplage. L'étude du système modèle Fe/Mn/Fe a donc pour objectif de mieux cerner l'origine microscopique de ce phénomène et de permettre une description plus quantitative, notamment grâce à des nano-analyses chimiques en sonde atomique tomographique.

Les tricouches (Fe/Mn/Fe) sont déposées par évaporation sous ultravide sur un substrat de Si(100). Les mesures magnétiques effectuées après refroidissement sous champ permettent de mettre en évidence un décalage, nommé champ d'échange (H_e), du cycle d'hystérésis vers les valeurs négatives. Des études préliminaires ont permis d'optimiser l'effet en fonction des épaisseurs individuelles des couches (F) et (AF). Comme dans les systèmes étudiés antérieurement, l'amplitude de H_e augmente avec l'épaisseur de la couche (AF) jusqu'à une valeur-plateau, et décroît en fonction de l'épaisseur de la couche (F). Les épaisseurs optimales sont de 5nm de Fe et 20 nm de Mn.

L'objectif est maintenant d'étudier la variation de H_e en fonction de la qualité des interfaces, en provoquant une modification contrôlée des interfaces F/AF et AF/F, *via* la température d'élaboration qui peut varier de 30°C à 800°C. La sonde atomique tomographique permet de suivre l'évolution du profil chimique aux interfaces, et donc de relier l'amplitude du couplage d'échange à l'interdiffusion entre Fe et Mn aux interfaces.

¹ W. P. Meiklejohn et C. P. Bean, Phys. Rev. **102**, 1413 (1956); Phys. Rev. **105**, 904 (1957).

Détermination structurale de nanoparticules de CoPt: mise en ordre chimique et effets sur leurs propriétés magnétiques.

N. Blanc,¹ L. Bardotti,¹ M. Hillenkamp,¹ A. Tamion,¹ F. Tournus,¹ J. Tuaille-Combes,¹ V. Dupuis,¹, E. Bonet,² H. Tolentino,² A. Ramos,² M. De Santis,² P. Ohresser,³ et T. Epicier⁴

¹LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua - 69622 Villeurbanne

²Institut Néel, CNRS & UJF, 25 rue des Martyrs, BP 166; F-38042 Grenoble cedex 9

³Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint-Aubin – BP 48 ; F-91192 GIF-sur-YVETTE cedex

⁴INSA de Lyon ; Laboratoire MATEIS - UMR 5510 ; INSA ;Blaise PASCAL– F 69621 Villeurbanne, France

La phase $L1_0$ de l'alliage CoPt présente à l'état massif une très forte anisotropie magnétique. Cette phase, difficile à obtenir pour des nanoparticules, pourrait permettre de surmonter la limite superparamagnétique. Afin de déterminer les propriétés magnétiques intrinsèques de nanoparticules de CoPt, nous étudions des échantillons modèles : des assemblées diluées d'agrégats (de diamètre entre 1 et 5 nm), synthétisés sous ultra-haut vide, noyés en matrice de carbone amorphe¹[1].

Des études par diverses techniques de rayonnement synchrotron (EXAFS, GIXRD, XMCD²[2]) montrent une évolution des propriétés structurales et magnétiques après recuit. Celle-ci peut être attribuée à la mise en ordre chimique des agrégats, conformément aux observations par HRTEM. Bien que cette mise en ordre s'accompagne d'une nette augmentation de la température de blocage (mesures SQUID), l'anisotropie magnétique reste largement inférieure à celle de la phase $L1_0$ massive. Enfin, des premiers résultats ont également été obtenus sur des agrégats triés en masse (dispersion de taille inférieure à 10 %).

¹ F. Tournus, A. Tamion, N. Blanc, et V. Dupuis, Phys. Rev. B 77, 144411 (2008).

² Les auteurs remercient J.P. Simon, J.F. Bézar, F. Wilhelm, et A. Rogalev pour leur assistance technique lors des mesures synchrotron.

Transport measurements with nanometric magnetic clusters

I. Groza, R. Morel, A. Brenac, D. Le Roy, and L. Notin

CEA-Grenoble- INAC/SP2M, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble cedex 9

In the last years, the need for new materials for magnetic recording increased the interest for study of magnetic clusters. Magnetic recording has played a key role in the development of non-volatile information storage technologies, including audio, video and data. In our paper a study of cluster oxidation is presented. Our first results on the sample Co/CoO are interesting. The samples were obtained using a sputtering gas aggregation source. For their analyze we used SQUID and transport measurements. Using SQUID we made two measurements, first at 6 K with an applied field of 30 kOe and the second one at 6K without cooling field with an applied field of 30 kOe. On the other hand we measured the resistance versus temperature at zero field. The transport measurements are preliminary and in the future we have to separate the effect of AMR and GMR. The future samples will be obtained by lithography and the transport properties will be studied under high magnetic field and high current density.

XMCD measurements of $\text{Co}_x\text{Pt}_{1-x}$ nanoparticles: The influence of particle size and stoichiometry on the magnetic properties

M. Hillenkamp,¹ N. Blanc,¹ A. Tamion,¹ F. Tournus,¹ V. Dupuis,¹ P. Ohresser,² C. Praetorius,³ T. Lödding,³ K. Fauth,³ H. Tolentino,⁴ A. Ramos,⁴ F. Wilhelm,⁵ and A. Rogalev⁵

¹LPMCN, Bâtiment Léon Brillouin, Domaine Scientifique de la Doua, 69622 Villeurbanne

²Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint-Aubin – BP 48, 91192 Gif-sur-Yvette

³Department of Experimental Physics, University of Würzburg, Germany

⁴Institut Néel, CNRS & UJF, 25 rue des Martyrs, BP 166, 38042 Grenoble

⁵European Synchrotron Radiation Facility, 6 rue Jules Horowitz, BP 220, 38043 Grenoble

CoPt in the tetragonal $L1_0$ phase is one of the alloys with the highest bulk magnetic anisotropy. It has thus attracted considerable interest in the last years and its nanoparticles have been investigated in the light of possible applications in high-density magnetic data storage.

We prepare $\text{Co}_x\text{Pt}_{1-x}$ nanoparticles by co-deposition of pre-formed clusters of variable size and stoichiometry in amorphous carbon matrices. The implementation of a quadrupole deflector allows narrowing down the inherent size distributions prior to deposition in order to obtain benchmark samples with quasi-identical embedded particles. Recent results¹ of our group have demonstrated the possibility to transform these nanoparticles from the initial, chemically disordered A1 phase into the high anisotropy $L1_0$ phase by annealing, without deteriorating the narrow particle size distribution.

Here we present recent results on the magnetic properties of $\text{Co}_x\text{Pt}_{1-x}$ nanoparticles of different size and stoichiometry in both crystalline phases, as determined by X-ray Magnetic Circular Dichroism (XMCD) at the Co and Pt $L_{2,3}$ edges at BESSY (Berlin Synchrotron, Germany) and ESRF (Grenoble), respectively. This element specific and highly sensitive technique allows us to determine quantitatively the magnetic moment per Co or Pt atom as well as its partitioning into spin and orbital moments. Magnetisation curves have been measured between ± 3 T and 10-300 K and are compared to results from SQUID magnetometry. The magnetic anisotropy as a function of stoichiometry, particle size and crystalline phase is discussed, as well as its influence on the superparamagnetic blocking temperatures observed.

¹ F. Tournus, A. Tamion, N. Blanc, and V. Dupuis. Phys. Rev. B 77, 144411 (2008).

Magnetic properties of thin layers of CoPt

Marzena Materska, Véronique Pierron-Bohnes, Corine Ulhaq- Bouillet, Rafał Kozubski,
Wojciech Mędrzak

IPCMS-GEMM CNRS-ULP, (Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg
Groupe d'Etudes des Matériaux Métalliques), 23 rue du Loess, BP 43, 67034 STRASBOURG
CEDEX 2

Several CoPt layers were grown by sputtering, imaged by transmission electron microscopy (TEM), their orientation was evaluated from x-ray diffraction (XRD) and their magnetic properties by SQUID. The substrates were adapted to the measurement methods.

Participants

ALLONGUE	Philippe	École Polytechnique	philippe.allongue@polytechnique.edu
AMARA	Hakim	LEM / Onera	hakim.amara@onera.fr
AMIENS	Catherine	LCC, Toulouse	amiens@lcc-toulouse.fr
ANDREAZZA	Pascal	CRMD, Orléans	Pascal.Andreazza@univ-orleans.fr
ARRAS	Emmanuel	CEA Grenoble	emmanuel.arras@cea.fr
AYOUB	Jean-Pierre	CEMES, Toulouse	ayoub@cemes.fr
BABONNEAU	David	PHYMAT, Poitiers	david.babonneau@univ-poitiers.fr
BARDOTTI	Laurent	LPMCN, Lyon	laurent.bardotti@lpmcn.univ-lyon1.fr
BARRETEAU	Cyrille	CEA Saclay	cyrille.barreteau@cea.fr
BERCHE	Pierre-Emmanuel	GPM, Rouen	pierre.berche@univ-rouen.fr
BIHLMAYER	Gustav	IFF, Jülich	g.bihlmayer@fz-juelich.de
BLANC	Nils	LPMCN, Lyon	nblanc@lpmcn.univ-lyon1.fr
BONET	Edgar	Institut Néel, Grenoble	bonet@grenoble.cnrs.fr
BORDEL	Catherine	GPM, Rouen	catherine.bordel@univ-rouen.fr
BRENAC	Ariel	CEA Grenoble	ariel.brenac@cea.fr
BRUNO	Patrick	ESRF, Grenoble	patrick.bruno@esrf.fr
CASANOVE	Marie-Josée	CEMES, Toulouse	casanove@cemes.fr
CHACON	Cyril	MPQ, Jussieu	cyril.chacon@univ-paris-diderot.fr
DELATTE	Anastasia	CEA Grenoble	anastasia.delatte@cea.fr
DOBRYNIN	Alexey	Institut Néel, Grenoble	alexey.dobrynin@grenoble.cnrs.fr
DUPUIS	Véronique	LPMCN, Lyon	Veronique.Dupuis@lpmcn.univ-lyon1.fr
EL BAHOU	Anouar	GPM, Rouen	anouar.elbahoui@etu.univ-rouen.fr
FEITOSA JURCA	Hugo	École Polytechnique	hugo.jurca@polytechnique.edu
FRUCHART	Olivier	Institut Néel, Grenoble	olivier.fruchart@grenoble.cnrs.fr
GROZA	Georgiana Irina	CEA Grenoble	irina.groza@cea.fr
HILLENKAMP	Matthias	LPMCN, Lyon	matthias.hillenkamp@lpmcn.univ-lyon1.fr
JAIN	Abhinav	CEA Grenoble	abhinav.jain@cea.fr
LE ROY	Damien	CEA Grenoble	damien.leroy@cea.fr
LEDUE	Denis	GPM, Rouen	Denis.Ledue@univ-rouen.fr
MARET	Mireille	SIMaP, Grenoble	mireille.maret@simap.grenoble-inp.fr
MOREAU	Nicolas	MPQ, Jussieu	nicolas.moreau@univ-paris-diderot.fr
MOREL	Robert	CEA Grenoble	robert.morel@cea.fr
MORILLO	Joseph	CEMES, Toulouse	Joseph.Morillo@cemes.fr
MOTTET	Christine	CINAM, Marseille	mottet@cinam.univ-mrs.fr
PETIT	Christophe	LM2N, Jussieu	christophe.petit@upmc.fr
PIERRON-BOHNES	Véronique	IPCMS, Strasbourg	vero@ipcms.u-strasbg.fr
PIQUEREL	Raoul	Institut Néel, Grenoble	raoul.piquerel@grenoble.cnrs.fr
POCHET	Pascal	CEA Grenoble	pascal.pochet@cea.fr
RAMOS	Aline	Institut Néel, Grenoble	aline.ramos@grenoble.cnrs.fr
SOARES	Márcio	Institut Néel, Grenoble	marcio.soares@grenoble.cnrs.fr
SPANJAARD	Daniel	LPS, Orsay	spanjaard@lps.u-psud.fr

Nanoalliages et Magnétisme

TAMION	Alexandre	LPMCN, Lyon	alexandre.tamion@lpmcn.univ-lyon1.fr
THIBAUDEAU	Pascal	CEA Le Ripault	pascal.thibaudeau@cea.fr
TOLENTINO	Helio	Institut Néel, Grenoble	helio.tolentino@grenoble.cnrs.fr
TONNERRE	Jean-Marc	Institut Néel, Grenoble	jean-marc.tonnerre@grenoble.cnrs.fr
TOURNUS	Florent	LPMCN, Lyon	ftournus@lpmcn.univ-lyon1.fr
TUAILLON-COMBES	Juliette	LPMCN, Lyon	juliette.tuillon@lpmcn.univ-lyon1.fr