

Rapport d'activité 2002-2003

Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés

UMR 5147 CNRS/INSA/UPS



L N C M P

143 Avenue de Rangueil – 31432 Toulouse Cedex 04 – France

tel: (33) 05 62 17 28 60 (Secrétariat)

fax: (33) 05 62 17 28 16

Web: <http://www.lncmp.org>



Toulouse, le 14 décembre 2003

Introduction:

Le champ magnétique statique maximal d'une bobine supraconductrice égale 25 T. Avec des bobines hybrides résistives/supraconducteur, le record de champ magnétique continu est de 44 T. Pour la production de champs plus intenses, l'utilisation de champs transitoires est nécessaire. Ceux-ci peuvent être de nature pulsée non destructives (jusqu'à 80 T), pulsée destructives (jusqu'à 350 T) ou implosés (jusqu'à 2000 T). Le projet du LNCMP est de développer à leur meilleur niveau les champs pulsés non destructifs, de longue durée et de mettre cette infrastructure à la disposition des chercheurs toulousains, français et européens. Son équipement est adapté à la réalisation d'expériences scientifiques d'envergure, originales et délicates, en physique, chimie et sciences appliquées.

La physique en champs magnétiques intenses se développe autour de deux grands axes principaux :

- L'action d'un champ sur les propriétés de transport, magnétiques ou optiques permet in fine de sonder la structure électronique de la matière. Le champ magnétique est en particulier un outil privilégié pour l'étude des semi-conducteurs, des supraconducteurs ou des métaux, de type fermions fortement corrélés ou systèmes de basse dimensionnalité.

- Le champ magnétique, par son couplage à la charge et au spin des électrons, peut induire un nouveau état fondamental dans la matière, comme les ondes de densité de spin, ou l'état normal dans un supra haut Tc.

D'autres domaines scientifiques bénéficient de la disponibilité des champs intenses. Un champ appliqué intense peut modifier la cinétique de réactions chimiques. Plusieurs expériences ont révélé qu'un champ intense peut modifier l'activité de systèmes biologiques, sans toutefois, en général, en comprendre les raisons profondes.

Résumé du projet 14 MJ

Le premier objectif du LNCMP est la mise en route de l'installation 14 MJ dont l'infrastructure lourde est déjà en place et opérationnel. Le cœur de cette installation est un générateur basé sur un banc de condensateurs, d'une capacité totale de 48 mF, qui peut être chargée sous 24 kV. L'énergie stockée dans le banc peut atteindre la valeur maximale de 14 MJ. La génération d'un champ magnétique transitoire intense est obtenue par la décharge du banc de condensateurs dans une bobine adaptée, permettant la conversion de l'énergie électrostatique en énergie magnétique.

Le second objectif du projet, actuellement en cours est l'équipement de 10 sites de mesures permettant de développer la science en champs intenses autour de cette installation. Les thèmes principaux de recherche concernent la physique de l'état solide en champs intenses (physique des semi-conducteurs, des supraconducteurs, des fermions lourds, des matériaux magnétiques). De nouveaux développements sont envisagés en physique fondamentale et atomique, en chimie et en biologie.

Résumé de l'avancement dans la période 2002-2003:

Bâtiment :

Le LNCMP a déménagé de l'ancien bâtiment à l'INSA de Toulouse en été 2000. La deuxième tranche du nouveau bâtiment, au campus UPS, vient d'être achevée et nous sommes en train d'aménager les bureaux et ateliers supplémentaires.

Dans ce bâtiment, 10 boxes de mesures sont prévues autour du générateur 14 MJ. 7 de ces boxes sont maintenant équipées et opérationnelles, et une 8e sera bientôt finie. L'achèvement de la 9me box est prévu pour mi-2004. Plusieurs autres pièces sont en train d'être aménagées pour des mesures sans utilisation du générateur 14 MJ ; au rez-de-chaussée il y vient d'être créé, parmi d'autres, un atelier électronique, un atelier électrotechnique et un atelier cryogénie et pression. Au sous-sol il y aura un laboratoire optique et un atelier bobines et à la première étage il y aura un laboratoire optique. Toutes ces pièces seront finies été 2004.

Générateur 14 MJ :

Le cœur de l'installation du LNCMP est le générateur 24 kV, 14 MJ, le plus puissant au monde, dont la conception date des années 1990. Ce générateur est opérationnel depuis plusieurs années et a un fonctionnement correcte. Pendant l'utilisation du générateur sous des conditions réalistes, on s'est rendu compte que des améliorations en termes de fiabilité, sécurité et ergonomie sont nécessaires. Deux autres laboratoires de champs pulsés sont en train d'être mis en opération (Nimègue (Pays-Bas) et Dresde (Allemagne)) sur des conceptions plus récentes, partiellement basés sur les expériences obtenues à Toulouse. Dans le cadre de la collaboration avec ces deux laboratoires (PICS) et profitant de leurs développements récents, le LNCMP veut mettre à jour son banc de condensateurs et l'automate au niveau de sécurité et d'ergonomie. En particulier, on veut supprimer tout lien galvanique entre la salle de manip et la salle de générateur, en introduisant un pilotage par fibre optique, plus fiable et découplé galvaniquement. Cette modification a l'avantage supplémentaire de supprimer le pupitre central de commande, un équipement de conception analogique compliquée, réalisé par une entreprise qui n'existe plus. La situation actuelle présente un danger latent : en cas de défaut de cet équipement on serait obligé d'arrêter toute l'installation.

Conducteurs :

Pour générer des champs magnétiques très intenses, il est nécessaire d'utiliser des conducteurs qui combinent une bonne conductivité électrique avec une résistance mécanique très élevée. Deux approches ont été développées au LNCMP.

La première consiste à mettre une âme de cuivre dans une gaine d'acier inoxydable. La billette, ainsi obtenue, est ensuite mise en forme par étirage à froid. La technique utilisée permet d'obtenir des fils avec des sections de plusieurs mm² et des longueurs pouvant atteindre 350 mètres. Cette procédure est maintenant bien maîtrisée et les conducteurs macro-composites sont utilisés dans la production des bobines compactes 60T. Mais pour le moment, il y a encore des problèmes avec l'isolation électrique de ces fils dans les conditions d'utilisation extrêmes, c'est à dire, basse température forte contrainte mécanique et champ électrique élevé.

L'influence de la déformation cryogénique, à 77K, sur le durcissement des aciers inoxydables austénitiques et du cuivre et son application à la mise en forme par étirage des conducteurs macrocomposites a été explorée en collaboration avec J.D. Embury (Mc Master University). Les résultats mettent en évidence un écrouissage plus rapide lorsque les matériaux sont déformés à basse température avec l'obtention d'une contrainte maximale du même ordre que celle obtenue après déformation à RT, mais avec une tendance à la fragilité plus importante.

Pour atteindre un champ magnétique encore plus élevé, nous développons des fils nano-composites constitués d'une matrice de cuivre renforcée soit par des nanowhiskers de niobium ou de tantale, soit par des nanotubes de niobium remplis par des nanowhiskers de cuivre. Les premiers résultats sont très prometteurs, mais la présence de ruptures internes dans les conducteurs ne nous permet pas encore de fabriquer des longueurs suffisantes pour fabriquer des bobines. Afin de résoudre cette difficulté d'ordre technologique qui nécessite une compréhension des mécanismes de déformations à l'échelle de la nanostructure, une collaboration a été initiée et sera poursuivie avec le Laboratoire de Métallurgie Physique de Poitiers afin d'étudier et de comprendre les mécanismes de déformation de ces nanostructures du domaine plastique jusqu'à la rupture. Dans ce cadre, nous accueillerons une doctorante à partir du 1^{er} janvier 2004 financée par une BDI.

Bobines :

Le parc bobines du LNCMP consiste maintenant de 4 bobines 38 Tesla en fils de cuivre, 4 bobines 60 Tesla, dont une en fils cuivre-inox «Toulousaine» et trois en cuivre-Zylon, et une bobine de 77 Tesla. Pour préparer des expériences à bas champ magnétique, une bobine supraconductrice (14/16 Tesla) a aussi été installée. Les caractéristiques des bobines pulsés actuellement opérationnelles sont résumées dans le tableau en dessous.

Pour ne pas perturber les activités de recherche et d'accueil pendant qu'on cherche à résoudre le problème d'isolation évoqué en haut, nous avons mis 3 nouvelles bobines 60 Tesla en cuivre-Zylon en opération pendant 2002-2003, fabriqués à Amsterdam par P. Frings. En plus nous avons complété le projet Advanced Research Magnet System (ARMS), un projet européen dans lequel tous les laboratoires européens de champs pulsés ont participé. Le but de ce projet était de créer un système de

deux bobines concentriques, celle qui est à l'extérieure alimenté par le générateur 14 MJ, celle qui est à l'intérieur par un petit générateur supplémentaire, dont les champs magnétiques se renforcent. Cette approche permet de mieux maîtriser les contraintes thermiques et mécaniques et d'obtenir des champs plus intenses. Nous avons réussi à générer 77 Tesla avec ce système, un record européen. Ce système sera encore amélioré, et l'on espère de générer 80 Tesla début 2004. Les partenaires de ARMS ont souhaité de continuer cette collaboration, et dans le cadre du 6me PCRDT, une demande pour un « Integrated Infrastructure Initiative » a été faite, qui, malgré une très bonne évaluation ne sera pas financé par manque de moyens. Le projet ARMS a donc été un succès, d'un point de vue technique et politique, mais la continuation de cette collaboration n'est pas évidente.

Pour avancer plus rapidement dans le développement des fils et des bobines, nous avons mis en place un site de test avec un générateur dédié, qui permet de tester des bobines, des fils et des isolants électriques sous des conditions mécaniques, électriques et thermiques réalistes, tout ça à une échelle très réduite par rapport aux bobines finales. Pour mieux comprendre et modéliser le comportement mécanique et électrique des bobines, un logiciel pour modélisation par éléments finis a été mis en place. On souhaite à développer cette activité qui permet d'aller au-delà de la mécanique linéaire et élastique. Pour plus de détails sur le développement des bobines, voir Activités techniques plus bas.

<i>Champ max. (Tesla)</i>	<i>Nombre</i>	<i>Diamètre utile(mm) à 77K (à 4.2K)</i>	<i>Durée du pulse (s)</i>	<i>Energie (MJ)</i>	<i>Fréquence d'utilisation</i>
38	4	26 (19)	1.2	1.25	1 / heure
60	2	11 (8)	0.150	1.2	1 / heure
60	2	26 (19)	0.250	3.3	1 / 3 heures
77 (coilin-coilex)	1	15 (10)	coilin - 0.005 coilex - 0.300	12	1 / 4 heures

Dispositifs expérimentaux:

Dans l'ancien bâtiment au campus INSA et autour de l'ancien installation, il y avait déjà plusieurs dispositifs expérimentales dans les bobines pulsées. Ces dispositifs ont été démenagés, re-installés et adaptés à la nouvelle installation et permettent de faire des mesures de transport, d'aimantation ou d'optique. Ces mesures peuvent être réalisées dans une large gamme de température en utilisant soit des cryostats classiques à ^4He , soit des systèmes à ^3He ; les plus basses températures étant fournies par des réfrigérateurs à dilution $^3\text{He}-^4\text{He}$, dont il y a deux opérationnels et deux sous construction. Aussi disponible sont des cellules de pression, jusqu'à 1 Gpa. Les caractéristiques détaillées sont consultables sur le site Internet du laboratoire (www.lncmp.org).

Nous avons récemment développé plusieurs nouveaux dispositifs qui mettent en valeur les champs magnétiques pulsés. En particulier, un dispositif pour faire des mesures d'aimantation par cantilever et un dispositif pour faire de la magnéto-spectroscopie infrarouge avec des lasers à cascade quantique viennent d'être mis en route.

Plusieurs autres dispositifs sont encore sous développement, comme des cellules pour des mesures de transport sous très haute pression (> 1 GPa) dans un champ pulsé, un dispositif pour faire de la magnéto-spectroscopie par ultrasons et un dispositif pour mesurer l'effet Nernst (une tension électrique créée par un flux thermique sous champ magnétique).

Les générateurs haute énergie/haute tension du LNCMP, et les bobines qui sont chargés jusqu'à leurs limites mécaniques représentent une certaine risque pour les expérimentateurs. Plusieurs mesures ont été pris pour améliorer leur sécurité (voir Activités techniques plus bas), et plusieurs autres sont prévus, comme discuté pour le générateur plus haut.

Conférence Research in High Magnetic Fields 2003

Le 7ème Symposium International pour la Recherche dans les Champs Magnétiques Intenses (Research in High Magnetic Fields, RHMF) a eu lieu à Toulouse du 20 juillet au 23 juillet 2003, organisé par le LNCMP. C'était un satellite de la Conférence Internationale du Magnétisme ICM 2003, organisée à Rome du 27 juillet au 1 août 2003. Ce colloque est organisé chaque trois années, et les précédents ont eu lieu à Porto (2000), Sydney (1997), Nimègue (1994), Amsterdam (1991), Louvain (1988) et Osaka (1982). L'organisation locale était faite par plusieurs collaborateurs du LNCMP dans les localités de l'INSA de Toulouse.

Le Symposium a couvert des apogées récents dans la recherche dans des champs magnétiques intenses, à la fois dans des domaines scientifiques comme le magnétisme, le magnéto-transport et la magnéto-spectroscopie de la matière condensée, et dans des domaines instrumentaux comme la génération des champs magnétiques intenses et les nouvelles techniques de mesure liées aux champs magnétiques intenses.

Cette fois on a aussi voulu essayer à créer une ouverture vers des domaines pas encore beaucoup développés en champs magnétiques intenses, comme la chimie, la biologie et les sciences appliquées. et de rajeunir la communauté en donnant ample occasion aux jeunes chercheurs de se manifester pendant le colloque.

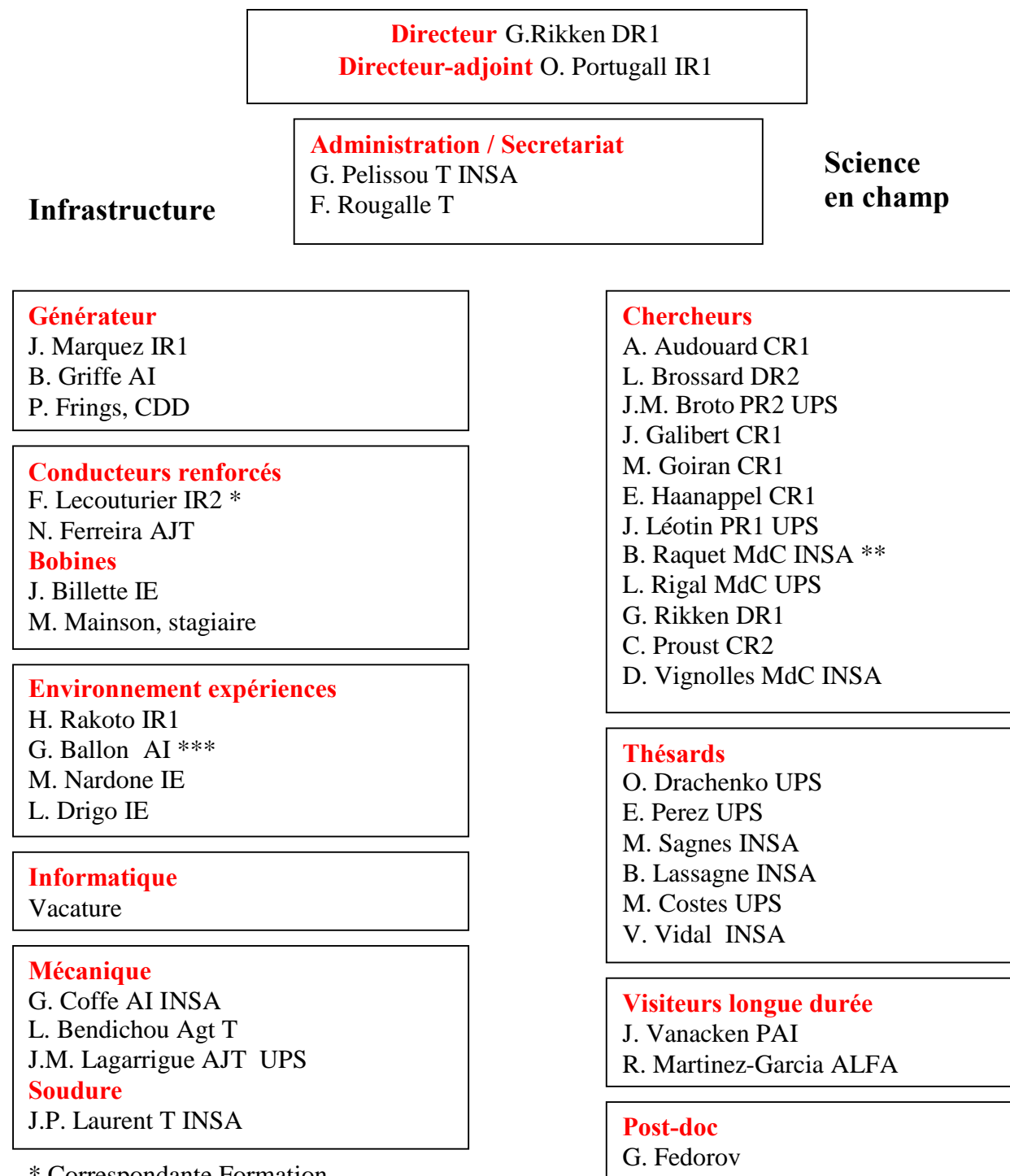
Nous avons reçu 180 participants, venants de l'Europe, des Etats-Unis et du Japon. A peu près un tiers des participants était invité, sur proposition d'un Comité de Conseil et un Comité de Programme, les deux composés des experts internationales et reconnus.

Le fait que l'organisation de ce colloque a été confiée au LNCMP est une reconnaissance de la rôle importante que notre laboratoire a joué dans le développement de la recherche et de la technologie des champs magnétiques intenses pulsés. Le colloque a offert une bonne occasion de présenter le LNCMP dans son nouveau bâtiment avec sa nouvelle installation à la communauté scientifique.

Résumé des activités scientifiques

Les activités scientifiques propres du LNCMP sont groupés traditionnellement autour de trois grands thèmes, le magnétisme, les semi-conducteurs et systèmes désordonnés, et les fermions fortement corrélés. La plupart des utilisateurs externes sont aussi actives dans ces domaines. Un rapport détaillé de ces activités et de leurs évolutions est donné plus bas. Dans le souci d'élargir les applications des champs pulsés, un quatrième thème est sous développement; la magnéto-optique. A travers de tous ces thèmes, on voit clairement des aspects de la nanophysique et de la physique moléculaire se développer et on peut donc constater que le LNCMP est en route de s'ouvrir vers d'autres domaines que la physique de l'état solide classique. Il faut quand même noter que tous ces domaines scientifiques sont couverts avec qu'une douzaine de chercheurs et enseignants-chercheurs. Pour être crédible comme laboratoire d'accueil, il faut continuer d'être actif dans tous ces domaines. A ce but, et pour faire tourner d'une façon efficace les dix sites de mesures du LNCMP, un renfort du potentiel humain est nécessaire, par des postes supplémentaires, des bourses thésards et post-docs et des CDDs. Réduire les barrières financières pour des visiteurs externes peut aussi contribuer à mieux amortir les investissements faits dans le LNCMP.

Organigramme



- * Correspondante Formation
- ** Correspondant Information
- *** ACMO

Evolutions personnels

Le personnel du LNCMP doit couvrir une gamme de compétences techniques et scientifiques très étendue. Dans les domaines techniques, il y a le développement et élaboration des conducteurs ultra-forts, la modélisation et construction des bobines et l'électrotechnique haute tension. Dans les domaines scientifiques, il y a une pléthore de techniques expérimentales et systèmes physiques à maîtriser. Il faut constater qu'à la taille actuelle du LNCMP, le nombre d'agents active dans certains domaines cruciaux est critique. En particulier la production des bobines et la physique de semi-conducteurs sont deux domaines où un renfort est souhaitable.

En dessous sont listés les changements de personnels titulaires dans la période 2002-2003 et ceux prévus dans le futur immédiat.

Départs permanents

D. Ricart (AI INSA, retraite) 31/11/02

D. Givord (DR CNRS, re-affectation) 31/01/02

M.L. Perez (T CNRS, NOEMI) 31/12/2003

J. Ferrer (1/2 AI CNRS, NOEMI) 31/12/2003

Départs prévus

G. Pelissou (T INSA, retraite) 1/6/2004

L. Brossard (DR CNRS, retraite) 1/7/2004

J. Marquez (IR CNRS, CPA) 1/7/2004

J.P. Ulmet (PR INSA, retraite) 1/7/2004

Recrutements permanents

L. Drigo (IE CNRS) 1/9/2002

G. Ballon (AI CNRS) 1/2/2002

G. Rikken (DR CNRS) 1/2/2002

M. Nardone (IE CNRS, NOEMI) 1/1/2003

N. Ferreira (Agt. T CNRS) 1/1/2003

M.L. Perez (T CNRS, NOEMI) 1/1/2003

F. Rougalle (T CNRS, NOEMI) 1/1/2004

Recrutements prévus

T INSA mécanicien, 1/10/2004

MdC UPS, magnéto-optique des milieux dilués, 1/10/2004

CR2 CNRS, magnéto-optique des systèmes chiraux. 1/10/2004

IR CNRS, responsable générateur 1/10/2004

Mutations internes

G. Coffe, T INSA → AI INSA

On peut constater que les recrutements se font principalement au CNRS, que l'effectif UPS est stable mais faible, et que l'effectif INSA est en train de baisser. L'effectif en thésards a augmenté dans les dernières années (liste en dessous) mais les petites promotions actuelles dans les DEA de l'école doctorale de physique à Toulouse prévoient une réduction dans les années qui viennent.

Arrivés thésards

E. Perez 1/10/2000

O. Drachenko (UPS) 1/9/2000

M. Sagnes (INSA) 1/9/2001

M. Costes (UPS) 1/9/2002

B. Lassagne (INSA) 1/9/2003

V. Vidal (BDI, INSA) 1/1/2004

Post-doc

G. Fedorov 1/12/2002 – 1/5/2004 Magnétisme.

Stagiaire

M. Mainson, stagiaire-ingénieur, formation en alternance 1/10/2003-30/9/2006, Métrologie optique

Visiteurs longue durée

D. Smirnov (CA, 1/9/2001-31/1/2002, 1/1/2003-31/3/2003) Spectroscopie de semi-conducteurs

E. Arushanov (CA, 1/9/2002-31/1/2003) Magnétisme

V. Dolgoplov (Prof. Invité UPS 1/2/2002-28/2/2002) Magnéto-transport

J. Vanacken (CDD, 1/12/2002 – 31/11/2003) Supraconductivité

V. Samuilov (CA, 20/11/2001-19/9/2002) Conducteurs désordonnés

P. Frings (CDD, 1/9/2003 – 28/2/2004) Générateur

M. Baibich (PAST, 3 x 4 mois, 2001, 2002, 2003) Magnétisme

S. Vedeneev (CA, 1/10/2003 – 31/12/2003) Supraconductivité

L. Barron (Prof. Invité UPS 1/4/2003 – 30/4/2003) Magnéto-optique

R. Martinez-Garcia (ALFA, 1/10/2003 – 1/4/2004) Magnétisme

V. Rylkov (contrat DGA, 1/11/2002-31/12/2003) Spectroscopie de semi-conducteurs

Activités d'accueil 2002 / 2003

Le LNCMP, outre ses activités de recherche propre et de développements techniques a aussi une mission d'accueil vis à vis de la communauté scientifique nationale et internationale. Le laboratoire met ainsi à la disposition des visiteurs extérieurs son ensemble de dispositifs de mesure dans des conditions uniques pour réaliser des expériences sous champ magnétique pulsé de longue durée.

Il faut quand même constater que, tant que le LNCMP ne peut pas rembourser les frais de voyages et séjour de ses utilisateurs externes, comme par exemple le LCMI de Grenoble, il y aura toujours une barrière pour des chercheurs venants de laboratoires moins nantis, pour venir travailler au LNCMP. Plusieurs cas sont connus ou des chercheurs européens sont allées aux Etats Unis pour faire leurs expériences au NHMFL, parce qu'ils étaient remboursés.

La demande du LNCMP pour être reconnu comme laboratoire d'accueil européen, avec un financement correspondant, fait dans le cadre du « Integrated Infrastructure Initiative » mentionné plus haut, a été très bien classé, mais pas assez haut pour être financé. La critique principale des rapporteurs était l'absence du LCMI du consortium qui comprenait tous les autres laboratoires de champs intenses en Europe. Cette absence était entièrement du volonté du LCMI. On ne peut que regretter cette position qui ne bénéficie qu'aux laboratoires des champs intenses aux Etats Unis.

Modalités d'accès aux expériences en champ pulsé

L'utilisation des installations et des infrastructures scientifiques du LNCMP nécessite une demande d'expérience par écrit suivant un formulaire préétabli disponible sur demande ou directement sur le site Internet du laboratoire. Les demandes, formulées chaque semestre sont regroupées en 4 thèmes scientifiques : *Magnétisme, Métaux et Supraconducteurs, Semi-conducteurs, et Résonances Magnétiques et Autres*. Celles ci seront soumises à un comité d'experts (program committee), commun avec le Laboratoire des Champs Magnétiques Intenses de Grenoble (GHMFL/LCMI) qui se réunit deux fois par an pour juger de la faisabilité et de la pertinence de la demande, et en établit un classement.

Après acceptation de la demande, l'expérience est planifiée en accord avec un contact local (chercheur et/ou ingénieur de recherche) qui assurera l'assistance. Sur les publications emanant du travail fait (partiellement) au LNCMP, au moins le contact locale doit apparaître comme co-signataire.

Bilan des activités d'accueil 2002-2003

Le laboratoire utilise le comité d'experts pour l'évaluation des expériences depuis le deuxième semestre 2002. La soumission des propositions d'expérience doit se faire pour les périodes de septembre en janvier ou de février à fin juillet.

Le nombre de jours disponibles pour réaliser des expériences est d'environ 120 jours par semestre et par bobine, soit au total 7 x 120 jours; 20% du temps étant réservé pour la maintenance ou le développement technique.

Pour ces trois premiers appels d'offre, une moyenne de 452 jours a été attribuée aux expériences. L'évolution du nombre de demandes par semestre regroupant les 4 thèmes est représentée sur la figure 1 suivante :

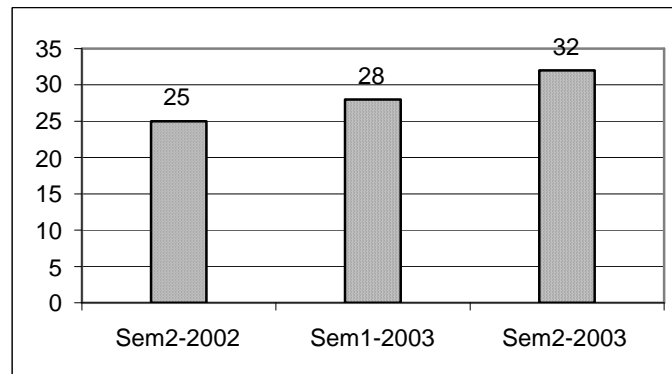


Fig. 1 : Nombre de demandes d'expérience pour les 3 derniers semestres 2002-2003.

Ces valeurs incluent un certain nombre de demandes de continuation d'expériences (non achevées ou expériences de thèse). La répartition moyenne par thème sur la totalité des demandes (85) est la suivante : *Magnétisme* (34 %), *Semi-conducteurs* (21 %), *Métaux et Supraconducteurs* (33 %), *Résonances magnétiques et Autres* (11 %).

Sur l'ensemble de ces demandes, 38 % émanent des chercheurs du LNCMP et le reste (62%) de chercheurs extérieurs, dont la répartition suivant les pays d'origine est montrée sur la figure suivante :

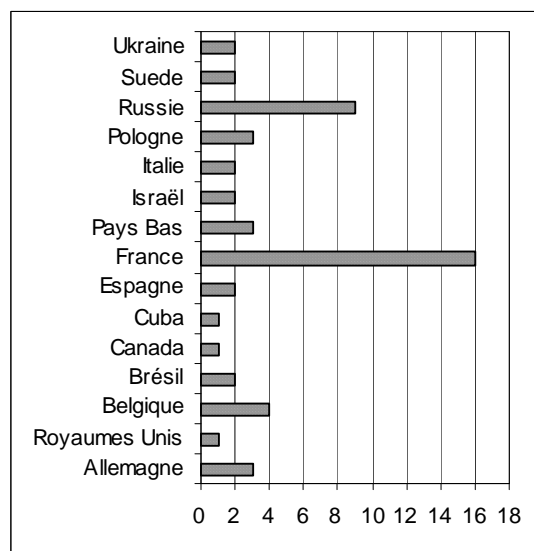


Fig. 2 : Nombre d'attributions d'expériences par pay pour les 3 derniers semestres 2002-2003.

Publications

En annexe sont listés les publications des chercheurs travaillant au LNCMP, repartis sur les deux années 2002 et 2003 et les catégories différents. Le histogramme en dessous montre une croissance du nombre de publications et en particulier une croissance du nombre de publications « high impact » (Phys.Rev. Lett., Nature, Science).

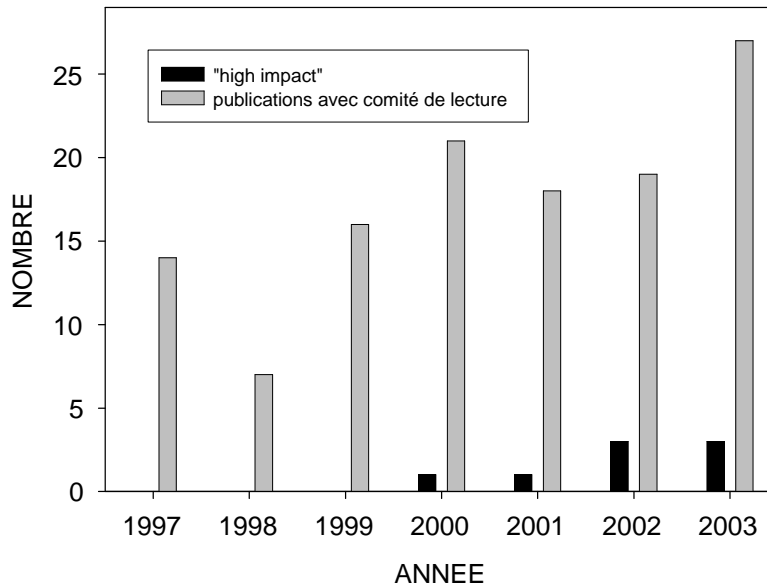


Fig. 3 Nombre de publications dans des journaux avec comité de lecture et dans des journaux « high impact »

Contrats et programmes

Le LNCMP participe dans plusieurs programmes et collaborations formelles, et bénéficie de plusieurs contrats, au niveau national et européen. A part de ces collaborations formelles, il y a beaucoup de collaborations informelles et ponctuelles.

Advanced Research Magnet System (1/3/2000-31/5/2003) collaboration européen (HPRI-CT-1999-50007)

DGA Contrat « Fils de cuivre renforcé » (1/12/1999-1/12/2002)

DGA Contrat « Processus opto-électronique dans une structure à cascade quantique » (1/12/2003-30/11/2004)

PICS Dresden-Nijmegen-Toulouse, Collaboration international de recherche sur des champs magnétiques pulsés (2002-2004)

PAI Tournesol Université de Louvain (1/1/2003-31/12/2004)

PAI Polonium IFPAN Varsovie (2003)

Communauté de Travail des Pyrénées, Recherche sur le matériaux en champ magnétique pulsé intense, avec Université de Saragosse (2002-2003)

ALFA II Measurement methods involving high magnetic fields for advanced and novel materials, collaboration Europe-Amérique Latine.

ICN High Field Network (2000-2002)

CPER Equipement du LNCMP (2000-2006)

PCP Nanosystèmes et nanomesures, avec le Venezuela (1999-2004)

GDR 2253 IMCODE (2003-2004)

GDR 2426 Physique quantique mésoscopique (2001-2005)

GDR 1752 Structures nanotubulaires mono- et multi-éléments (2001-2003)

GDR 2069 Oxides à propriétés remarquables ; onde de spin, onde de charge et phénomènes coopératifs, (2001-2003)

Action de formation 2002-2003

Le LNCMP n'étant pas encore inscrit dans une démarche de Plan de Formation d'Unité, les formations suivies, pendant la période 2002-2003, par les personnels étaient donc issues d'offres de formation transversales en provenance des 3 tutelles. Dans ce contexte, l'accent a été mis sur le suivi de cours d'anglais pour les personnels ITA amenés à interagir avec les visiteurs étrangers et sur des formations dans des domaines techniques spécifiques, comme le collage, techniques de très hautes pressions, langages de programmation etc.

La nomination d'une Correspondante Formation a été effectuée en janvier 2003. Une analyse des besoins de formation collective, réalisée récemment, est présentée dans le tableau suivant :

Formation Collective	Public concerné	Compétences à acquérir
« Haute Tension » Habilitation électrique HT	Equipe Générateur Pulsé + utilisateurs LNCMP	Intervention sur le générateur pulsé dans les meilleures conditions de sécurité
Langage de programmation automate programmable Siemens	Equipe Générateur Pulsé	Acquisition du langage de programmation de l'automate Siemens pilotant le générateur pulsé
Initiation aux fabrications mécaniques sur machines-outils	Chercheurs Enseignants/chercheurs ITA non-mécaniciens	Familiarisation à l'utilisation des machines-outils (perceuse, tour, fraiseuse) (règles de sécurité, critères d'usinage suivant nature des matériaux, démonstration d'usinage...).

A part de la formation des stagiaires DEA et des thésards de l'Ecole Doctorale de la Physique de Toulouse, le LNCMP s'est engagé dans la formation en alternance d'un stagiaire-ingénieur « Optique et vision industrielle » de l'Université de St. Etienne.

Activités scientifiques

Magnétisme

Permanents : JM Broto, M Goiran, , B Raquet, H Rakoto

Doctorants : M. Sagnes (Sept.2001), M. Costes (Sept.2002), B. Lassagne (Sept. 2003)

Post- Doctorant : G. Fedorov (18 mois)

Invités : E. Arushanov (CNRS - 5 mois), V.T. Dolgoplov (UPS-1 mois), M. Baibich (UPS-2*4 mois)

La période 2002-2003 marque une certaine évolution dans les thèmes développés par le groupe Magnétisme. L'activité de certains de ces thèmes a baissé tels que l'étude des composés à ordre de charge ou bien l'étude des propriétés magnétiques de nano-particules de métaux de transition. En effet, nous avons choisi de nous centrer sur des thèmes pour lesquels l'utilisation de champs magnétiques intenses est absolument incontournable ; c'est ainsi que nous avons démarré une activité importante sur l'étude des propriétés de transport de nano-tubes de carbone individuels et sur l'étude des propriétés magnétiques et/ou de transport dans les systèmes de spins de basses dimensions. Ces deux thèmes font l'objet des sujets de thèses de nos doctorants et seront développés ci dessous. Par ailleurs d'autres activités plus ponctuelles mais pour lesquels les champs intenses sont tout autant importants ont été et sont encore en cours. Il s'agit notamment de l'étude la magnéto-conductance en champ parallèle et à très basse température dans des systèmes électroniques bi dimensionnels (type Si MOSFET) où les champs intenses permettent d'observer une saturation de la magnéto-résistance pour une grande gamme de concentrations électroniques qui est due à la polarisation totale en spin du système. Dans le domaine du magnétisme moléculaire, nous nous intéressons au phénomène de transition de spin dans les complexes mononucléaires de métaux de transition en collaboration avec le Laboratoire de Chimie de Coordination de Toulouse; le champ magnétique intense et transitoire est utilisé pour sonder les interactions coopératives à l'origine de transitions de phase du premier ordre dans ces matériaux. Nous avons mis en place plusieurs collaborations internationales avec la Pologne (coordination d'un programme Polonium) et le Venezuela (PCP et programme ALFA) sur l'étude des propriétés magnétiques et de transport dans les systèmes semi-conducteurs magnétiques afin de déterminer soit les diagrammes de phase magnétique de composés quaternaires soit les constantes d'échange entre ions magnétiques dans les composés semi-magnétiques ou bien encore d'évaluer la concentration électronique des composés semi-conducteurs ferromagnétiques. Nous nous intéressons également aux couches minces de métaux de transition qui sont des systèmes modèles du ferromagnétisme de bande ; le magnéto transport sur ces systèmes en champ magnétique intense permet de sonder l'origine de la résistivité magnétique, les mécanismes de diffusions de spin inter-bande avec spin-flip et les interaction électron⁻-magnon dans un modèle de bande.

Propriétés de transport électronique de nanotube de carbone individuels (JM Broto, B Raquet, M. Sagnes, B. Lassagne, G. Fedorov)

Les nanotubes de carbone (NTCs) ont donné lieu, depuis leur découverte il y a environ dix ans, à un grand nombre de travaux et d'avancées importantes en ce qui concerne leur synthèse et leurs propriétés notamment dans le domaine de la physique moléculaire et de la nano-électronique. Les effets physiques observés permettent d'envisager des applications industrielles multiples, des écrans plats aux circuits logiques intégrés basés sur des transistors à NTC. Leur forme tubulaire avec un rapport longueur sur diamètre de l'ordre de 10^5 , associée aux propriétés électroniques remarquables du graphite confèrent aux nanotubes le statut de système modèle uni-dimensionnel. En fonction de la chiralité et du diamètre de l'enroulement, leur conductivité varie d'un comportement métallique à celui d'un semi-conducteur grand gap permettant ainsi de décliner un grand nombre de problématiques centrées sur les propriétés électroniques de la matière aux dimensions réduites. L'avènement récent des techniques de champ proche et de nanolithographie rend désormais possible l'étude de la conductivité d'un nano-objet unique qui, dans le cas d'un nanotube mono-feuillet, peut être assimilé à une seule molécule.

Notre activité consiste en l'étude du transport quantique dans un nanotube de carbone isolé et essentiellement mono ou bi feuillet basée sur des expériences de magnéto-transport dans un environnement extrême conjuguant un champ magnétique intense (60T pulsé) et une grande gamme de

température (300K-50mK). D'une manière générale, l'application d'un champ magnétique permet de sonder les régimes de conduction ainsi que les effets quantiques qu'ils soient liés au confinement électronique ou bien aux phénomènes d'interférences des fonctions d'ondes électroniques. La mise en évidence directe sous champ magnétique des conditions aux limites imposées par la structure tubulaire sur la structure électronique nécessite d'appliquer un champ magnétique dont la longueur magnétique $l = \sqrt{\hbar/eH}$ est de dimension inférieure ou égale au diamètre L du nanotube. La grandeur pertinente est alors le rapport L/l. Si l'on considère des nanotubes de 6nm de diamètre, des champs de l'ordre de 60T sont nécessaires à l'observation d'une oscillation complète de la cohérence de phase sous l'effet du champ parallèle. C'est une condition sine qua non pour sonder les spécificités remarquables de la structure de bande du nanotube. Un champ magnétique intense permet également une mesure directe des niveaux électroniques quantifiés par l'intermédiaire du couplage champ-spin. Ce même couplage est supposé fortement modifier les oscillations de magnétorésistance de type Aronov-Bohm L'énergie Zeeman, $g\mu_B H$, est de l'ordre de quelques meV pour des champs de 60T avec un facteur de Landé estimé à 2 pour les nanotubes. Seuls les champs magnétiques pulsés sont aujourd'hui susceptibles d'atteindre cette gamme de champ, avec des durées d'impulsion compatibles avec des mesures de transport électronique.

La mise en œuvre de ce programme passe par la maîtrise des procédés d'élaboration de nanotubes, leur purification, et enfin leur manipulation associée à la connexion électrique d'un nano-objet individuel. C'est pourquoi nous avons mis en place une collaboration avec des équipes toulousaines reconnues sur le plan international dans les domaines de la croissance de matériaux carbonés, des nanotechnologies (CIRIMAT, CPAT, LAAS, CEMES).

Une première étape, a consisté en la maîtrise des différentes nanotechnologies permettant de contacter un nanotube individuel puis de montrer la faisabilité des études de transport électronique sous champ pulsé à diverses températures, ce qui a constitué une première expérimentale. Un premier résultat marquant concerne la mise en évidence d'oscillations de la magnétorésistance dans un nanotube bi-paroi dont le comportement de la conductivité en fonction de la température ne peut correspondre à un liquide de Fermi, mais pourrait être décrit par un mécanisme tunnel à travers un liquide de Luttinger. Il est à noter que la haute fréquence de ces oscillations (17 Tesla) exclut l'hypothèse d'oscillations de type Aharonov – Bohm ou AAS. Plus récemment nous avons observé jusqu'à 30 Tesla une magnétorésistance positive géante (supérieure à 400%) dans un nanotube de diamètre 2 nm de type métallique à température ambiante qui pourrait être le démarrage d'une transition métal – isolant induite par le champ magnétique ; la vérification de cette hypothèse nécessiterait l'application de champ de l'ordre 1000 Tesla pour lequel le tube retrouverait un état métallique.

Actuellement, notre maîtrise des technologies nous permet de réaliser des dispositifs nanoélectroniques basés sur un nanotube, sur lequel nous pouvons modifier la conduction électronique par application d'une tension de polarisation à travers le substrat isolant. Les premiers résultats combinant des effets de grille et l'application d'un champ magnétique de 50T (perpendiculaire et parallèle) viennent d'être obtenus et sont en cours d'analyse ; ils apportent des données tout à fait originales notamment sur l'effet du champ magnétique en régime de blocage de Coulomb.

Bien que nous continuions à étudier le nanotube de carbone individuel, nous envisageons maintenant d'étudier des nanotubes remplis avec des matériaux qui ont des propriétés de transport électronique ou magnétiques particulières, lorsqu'ils sont à l'état massif, tels que des semi-conducteurs, des métaux - magnétiques ou non , ou des supraconducteurs. S'il est difficile de prévoir les effets des interactions entre le tube de carbone et son contenu, il est clair que la réduction de la dimension du matériau dans la gamme du nanomètre stabilisera ces matériaux sous de nouvelles structures cristallographiques. Le confinement électronique ainsi engendré modifiera la structure électronique et donc les modes de conduction dans les métaux et les semi conducteurs, il modifiera également les propriétés magnétiques, liées à la structure de bande et les propriétés supraconductrices - puisque le diamètre sera inférieur à la longueur de cohérence des paires de Cooper. Ce nouveau type de matériaux sera élaboré au CIRIMAT ou au CEMES. Nous collaborons également avec le Groupe de Dynamique des Phases Condensées de Montpellier qui fabrique des nanotubes de carbone dans lesquels se trouvent des nanoparticules magnétiques équidistantes, ces nanofils présenteront très

certainement des propriétés de transport dépendant du spin et ouvriront ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine de l'électronique de spin.

Propriétés magnétiques et/ou de transport dans les systèmes de spins de basses dimensions (JM Broto, M Goiran, H Rakoto M. Costes):

Afin de développer ce nouveau thème dans notre laboratoire, nous avons initié de nombreuses collaborations, nationales et internationales, avec l'aide précieuse du Prof. E. Arushanov pour lequel nous avons obtenu une invitation de 5 mois par le CNRS. D'une façon générale, le champ magnétique intense à travers les mesures d'aimantation (classiques ou par magnéto-optique dans le cas de couches minces), les mesures de RPE et éventuellement de transport, permet de déterminer l'état fondamental du système qui peut être complexe lié aux fluctuations quantiques pour les systèmes de bas spin et plus généralement aux frustrations magnétiques. Nous étudions ainsi différents systèmes de spins $\frac{1}{2}$ portés par du Cu ou du V.

Dans le cas de la phase η du système Na-V-O, sur lequel nous collaborons avec P. Millet et F. Mila, nous avons pu mesurer la valeur du gap de spin qui apparaît au voisinage de 40K par des mesures d'aimantation jusqu'à 50T. Dans ce système nous étudions aussi la RPE sous fort champ en collaboration avec A. Stepanov et A. Ghorayeb (L2MP, Marseille). Ces travaux ont pour objectif de déterminer précisément la valeur du gap de spin. L'analyse des premiers résultats montre que, à 36T, l'état de plus basse énergie du triplet est l'état fondamental du système.

La chaîne de spins LiCuVO_4 que nous étudions en collaboration avec R. Kremer du MPI à Stuttgart présente un arrangement voisin de celui du composé spin-Peierls CuGeO_3 , nous avons mesuré l'aimantation d'un monocristal dans les différentes orientations cristallographiques jusqu'à 1.6K et 50 Tesla, nous avons atteint la saturation sans observer de transition spin flop ou de paliers de l'aimantation auxquels on peut s'attendre dans ce type de systèmes frustrés.

Les composés à échelles de spins ont fait l'objet de nombreux travaux suite aux prévisions de l'existence d'un gap de spin dans le spectre d'excitations magnétiques et de la possible apparition de la supraconductivité de type « d » dans les systèmes à échelle à nombre pair de branches dopés en trous. Dans les composés à échelles à 2 branches non dopés SrCu_2O_3 et $\text{Sr}_{0.4}\text{Ca}_{13.6}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ (composé 14 24 41), l'existence d'un gap de spin a été confirmée et la supraconductivité a été observée sous pression (≥ 3 Gpa) dans le composé 14 24 41 dopé, avec une température de transition T_c maximum à 8-12 K. Pour le composé massif pur Cu_2O_3 , la supraconductivité prédite théoriquement, n'a pas été observée. Nous collaborons avec C. Deville de l'ESPCI qui a récemment élaboré des films minces de haute qualité de CaCu_2O_3 . Notre activité dans ce domaine concerne l'étude des propriétés électroniques de CaCu_2O_3 en films minces et sous forme de monocristaux sous fort champ dans une très large gamme de température (2K- 300K) afin de déterminer les mécanismes de conduction, le caractère et les particularités des transitions métal-isolant. Nous avons ainsi mis en évidence dans les films $[\text{Ca}_{1+\delta}\text{Cu}_2\text{O}_3]_4$ avec $\delta = 0$ and 0.08 une conduction par saut de type VRH (Variable Range Hopping) en accord avec le modèle de Mott à 3 dimensions pour des températures comprises entre 20-40K et 2-3 K suivant la valeur de δ ; aux températures inférieures, nous attribuons les déviations à ce comportement à une transition vers le régime VRH proposé par Shklovskii-Efros. L'analyse de ces mécanismes nous a permis de déterminer de nombreux paramètres de la structure électronique, tels que la densité d'électrons localisés, la longueur de localisation, la largeur de la bande des états électroniques localisés ou bien la valeur du gap de Coulomb. Par ailleurs, nous étudions des propriétés magnétiques (susceptibilité, effet Kerr sous fort champ, RPE) afin de vérifier en particulier l'existence du gap de spin dans les films minces de CaCu_2O_3 . Dans le matériaux massif monocristallin, les mesures de RPE sous fort champ ont permis de déterminer l'anisotropie du facteur g. La comparaison des susceptibilités magnétiques déduites des mesures de RPE et de SQUID montre un désaccord très important en dessous de 25K entre les deux méthodes de mesures qui pourrait être interprété par la présence d'impuretés magnétiques inactives en RPE. En outre la valeur du champ de résonance croît rapidement (≈ 2 T) dans la gamme 20-40K et se stabilise à plus haute température, cet effet a été mis en évidence pour les trois directions principales du cristal et pour différentes fréquences d'excitation (96GHz, 344GHz, 740GHz, 980GHz). L'ensemble de ces résultats, ainsi que les mesures d'aimantation sous fort champ actuellement en cours, devraient permettre de déterminer les propriétés magnétiques de ce système

Les oxydes de métaux de transition de basse dimension sont d'excellents systèmes modèles pour l'étude de l'interface magnétisme et transport électronique. Les composés de la famille A'_3ABO_6 ($A' = Ca, Sr... A = Co, Fe, Ni, Cu, B = Co, Ir, Rh, Pt, Ni, Ru,$) sont composés de chaînes ABO_6 séparées par des cations A' , qui leur donnent un fort caractère unidimensionnel. En fonction des divers types de couplage intra et inter chaînes, ces composés ont des propriétés magnétiques et de transport très différentes. Nous collaborons sur ce thème avec l'équipe d'Antoine Maignan du CRISMAT de Caen qui élabore les matériaux. Plus particulièrement nous étudions le composé $Ca_3Co_2O_6$ sous forme mono cristalline, ainsi que les composés Sr_3NiIrO_6 et Ca_3CoIrO_6 poly cristallins. Dans le $Ca_3Co_2O_6$, les ions cobalt sont couplés ferromagnétiquement le long des chaînes $Co_2O_6^{6-}$ ($T_c = 24$ K). Ces chaînes séparées par des cations Ca^{2+} sont couplées antiferromagnétiquement dans un réseau triangulaire ($T_N = 12$ K) et présentent donc une frustration magnétique. Nous avons effectué des mesures d'aimantation et de magnéto transport en champ pulsé sur une grande gamme de température (2K-300K). Les mesures d'aimantation permettent de proposer un diagramme de phase magnétique cohérent avec les températures d'ordre mentionnées ci-dessus avec notamment l'apparition d'un palier de l'aimantation correspondant à 1/3 de la saturation lorsque la température est inférieure à T_N . Les mesures de transport mettent en évidence deux transitions 3D-1D et 1D-3D en fonction de la température avec l'ouverture d'un gap de Coulomb en dessous de la température de Curie qui peut être fermé par l'application d'un champ magnétique intense supérieur à 15 Tesla. Des effets dynamiques très importants sont observés sur la magnéto-résistance ainsi que sur l'aimantation aux plus basses températures. Ces mêmes effets dynamiques ont été sondés par des mesures de bruit électronique sous champ magnétique statique dans le domaine des basses fréquences, inférieures à 100kHz. L'étude des fluctuations de résistances $\delta R(t)$, en dessous de T_N , a permis une spectroscopie des fluctuations magnétiques $\delta M(t)$, localisées le long des chaînes de cobalt. Les dynamiques lentes de ces fluctuations ont été interprétées comme une signature des temps caractéristiques de la phase magnétique frustrée. Les mesures d'aimantation des deux autres composés, sous forme de poudre, présentent des sauts à fort champ qui peuvent être attribués à des transitions d'un état gelé partiellement désordonné antiferromagnétique vers un état ferrimagnétique pour le Sr_3NiIrO_6 et vers un état ferromagnétique pour le Ca_3CoIrO_6 . Des échantillons monocristallins permettraient d'étudier les propriétés de transport électronique de ces systèmes que nous pourrions corrélérer avec les propriétés magnétiques.

Fermions fortement corrélés

A. Audouard, L. Brossard, E. Haanappel, M. Nardone, C. Proust, L. Rigal, D. Vignolles

Les composés réunis sous l'appellation systèmes de fermions fortement corrélés ont en commun le rôle important que jouent les interactions électron-électron dans leurs propriétés physiques. Ils regroupent en particulier, les oxydes de métaux de transition, les supraconducteurs haute T_c , les composés à fermions lourds et certains sels organiques à transfert de charge. Ces systèmes présentent souvent des diagrammes de phases complexes où voisinent différents types d'ordre qui peuvent, par ailleurs, entrer en compétition. Un des exemples les plus frappants est le voisinage entre un ordre magnétique et une supraconductivité non conventionnelle. A cet égard, il est remarquable que les diagrammes de phases (température-stœchiométrie) de certains supraconducteurs à haute T_c présentent d'étroites similitudes avec les diagrammes de phases (température-pression hydrostatique) des sels quasi-1D de Bechgaard (sels de TMTSF) et des composés à fermions lourds tridimensionnels. En outre, la basse dimensionnalité de certains de ces systèmes favorise l'apparition d'instabilités électroniques de type onde de densité ce qui rend possible l'observation d'états fondamentaux très variés pour cette classe de systèmes. Dans la mesure où l'état fondamental est susceptible d'être influencé par des processus de relativement basse énergie, le champ magnétique est un outil puissant pour l'étude de ces systèmes et, en particulier, de leur diagramme de phases. Par exemple, dans le cas d'une onde de densité de charge avec un vecteur de nesting imparfait, le champ magnétique peut avoir un effet important à la fois par le biais de l'effet orbital qui va stabiliser l'onde de densité en unidimensionnalisant le mouvement électronique et par le biais de l'effet Zeeman (ou de Pauli) qui, au contraire, va la déstabiliser en clivant les niveaux de spin opposés. Bien entendu, le champ magnétique est également susceptible de donner lieu aux oscillations quantiques de la magnéto-résistance (effet

Shubnikov-de Haas) et de l'aimantation (effet de Haas-van Alphen) qui permettent non seulement d'étudier la surface de Fermi (SF) et ses modifications lors des transitions de phase mais aussi d'obtenir des renseignements sur les différentes interactions. A cet égard, on peut citer la renormalisation de la masse effective du fermion lourd et la destruction de cet état sous champ magnétique dans le composé CeAl_2 . En outre, lorsque la topologie de la SF est favorable, la magnétorésistance et l'aimantation oscillatoires peuvent résulter de phénomènes non conventionnels (interférences quantiques en ce qui concerne la magnétorésistance, oscillations du potentiel chimique). Signalons également que l'importance des corrélations électroniques et la nature de l'état fondamental de ces composés (et donc leur SF) peuvent être modifiés par la pression hydrostatique qui, à l'inverse du champ magnétique, tend à augmenter la dimensionnalité effective du système électronique.

Il faut noter qu'avec le départ de L. Brossard en juillet 2004, cet activité perd un de ces animateurs et que son remplacement, avec peut être un re-orientation au sein de ce thématique, est souhaitable.

Supraconductivité exotique

L'étude de la supraconductivité exotique se concentre actuellement autour les supraconducteurs haute T_c et est principalement porté par un jeune chercheur de recherche et un jeune maître de conférence qui sont en train de mettre en place des dispositifs tout à fait innovateurs qui peuvent aussi servir pour étudier d'autres systèmes.

Conception et réalisation d'un spectromètre à ultrason (C. Proust)

Un spectromètre à ultrason est en cours de réalisation au laboratoire. Il permettra d'effectuer des mesures sous champ magnétique pulsé de l'atténuation ultrasonore et de la vitesse du son dans des monocristaux. Il a été conçu à partir de composants radiofréquences connectés grâce à des liaisons coaxiales semi-rigides. La première partie du système permettant de mesurer uniquement l'atténuation ultrasonore est achevée et les tests sur table se sont révélés concluants.

La récente réception du comparateur de phase, nécessaire pour mesurer la vitesse du son, va permettre de finaliser le spectromètre et d'effectuer les premiers tests dans un échantillon de manganites $\text{Pr}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{MnO}_3$. Ce composé subit, à basse température et sous champ magnétique, une transition entre un état isolant antiferromagnétique vers un état métallique avec un large hystérésis. Cette transition a déjà été mise en évidence dans d'autres composés à dopage différent et sa signature est très marquée sur des mesures de la vitesse du son. Le domaine de champ magnétique s'étend jusqu'à ~ 12 T, ce qui permettra d'effectuer des mesures préliminaires dans la bobine supraconductrice (14-16 T) avant de valider les mesures sous champ pulsé.

Enfin, le dispositif sera prêt pour démarrer une étude sous champ pulsé de la vitesse du son et de l'atténuation dans l'état mixte et l'état normal de certains cuprates à différents dopages. Le composé $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ se prête particulièrement bien à cette étude car le dopage est bien contrôlé et il est possible de synthétiser des monocristaux de taille suffisante pour pouvoir coller un transducteur piézo-électrique sur une face.

Mesure de l'effet Nernst (C. Proust, L. Rigal)

Il s'agit de mesurer l'effet Nernst sous champ magnétique pulsé notamment dans certains cuprates supraconducteurs. Cette mesure consiste à envoyer un courant de chaleur dans un échantillon pour créer un gradient de température ($\nabla_x T$). La présence d'un champ magnétique B_z induit alors une différence de potentiel transverse E_y - similaire à l'effet Hall - et l'effet Nernst se mesure à partir du rapport $vB = E_y / \nabla_x T$. Cette mesure est utilisée pour sonder l'état de vortex des supraconducteurs. Récemment, les mesures de N.P. Ong de Princeton [1] puis celles de K. Behnia de l'ESPCI [2] dans certains supraconducteurs à haute température critique (SHTc) ont montré qu'un signal Nernst "anormal" persiste bien au-delà de la température de transition supraconductrice T_c et au-delà du champ magnétique critique H_{c2} nécessaire pour restaurer la résistance électrique de l'état métallique. Ce résultat peut s'interpréter par la présence d'excitations de type vortex dans la phase "normale" des SHTc (l'effet Nernst dû aux quasi-particules étant négligeable). On peut également invoquer des

fluctuations supraconductrices très fortes qui découlent de la faible densité de quasi-particules dans les cuprates et d'importantes fluctuations de la phase du paramètre d'ordre [3].

Des mesures antérieures ont été réalisées sous champ magnétique statique à Grenoble jusqu'à 27 T et Tallahassee jusqu'à 45 T. L'extension de ces mesures à plus fort champ magnétique paraît incontournable et il fallait donc penser à un système de mesure adapté au champ magnétique pulsé. Nous avons, avec un stagiaire DEA, mis en route la réalisation d'une canne de mesure adaptée au champ pulsé. Cela permettrait d'étudier une partie inexplorée du diagramme champ magnétique-température dans laquelle le signal Nernst est présent. De plus, une plus large gamme de dopage, notamment celle autour du dopage optimal pour laquelle le champ magnétique critique est très élevée, pourrait être étudiée.

Si ce projet est mené à bien, la première campagne de mesure concernera un échantillon de $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ($x=0.08$) que K. Behnia a mesuré au LCMJ jusqu'à 27 T. Cette mesure devrait nous permettre à la fois de valider le dispositif expérimental, d'évaluer l'erreur de mesure commise sous champ pulsé comparé à des mesures classiques sous champ statique mais également d'étendre les mesures jusqu'à 60 T. Dans la gamme de température autour de $T_c=28$ K, le signal Nernst passe par un maximum autour de 10 T puis diminue progressivement. L'extrapolation du champ magnétique nécessaire pour annuler le signal Nernst est de l'ordre de 50 T. Ce projet est d'autant plus important qu'une équipe du NHMFL à Los Alamos s'apprête également à mettre au point un dispositif de mesure de l'effet Nernst sous champ pulsé.

- [1] Z.A. Xu et al, Nature **406**, 486 (2000)
- [2] C. Capan et al, PRL **88**, 056601 (2002)
- [3] V.J. Emery et S.A Kivelson, Nature **374**, 434 (1995)

Combinaisons de fréquences d'oscillations magnétiques dans les systèmes d'orbites couplées (A. Audouard, L. Brossard, D. Vignolles)

Le problème central de la physique des oscillations magnétiques, qui fait actuellement l'objet de nombreuses études théoriques et expérimentales, concernant aussi bien des métaux organiques que certaines hétérostructures semiconductrices, est l'interprétation des combinaisons de fréquences qui, bien qu'interdites dans le cadre des modèles semiclassiques, sont néanmoins observées dans le spectre de la magnétorésistance et de l'aimantation oscillatoires de systèmes multibandes bidimensionnels. C'est le cas de la chaîne d'orbites couplées des composés tels $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu(SCN)}_2$ qui constitue une réalisation expérimentale du modèle de Pippard (Proc. Roy. Soc. **A270** 1 1962) et dont le spectre oscillatoire, bien que largement étudié, reste à interpréter.

Pour notre part, nous avons étudié, en collaboration avec l'équipe de Rustem Lyubovskii de l'ICPCP de Chernogolovka, le réseau bidimensionnel d'orbites couplées de la famille $(\text{BEDT-TTF})_3\text{Hg}_4\text{Cl}_{12}(\text{C}_6\text{H}_5\text{X})_2$ ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$). La SF de ces composés, qui a pour origine deux paires de feuillet quasi 1D, est constituée d'un tube d'électrons et d'un tube de trous de même section connectés par des gaps suffisamment faibles pour permettre la rupture magnétique. Le spectre des oscillations de la magnétorésistance est constitué d'une quinzaine de fréquences fondamentales, combinaisons linéaires des fréquences associées aux aires. En plus de l'effet SdH conventionnel lié aux orbites fermées d'électrons et de trous, nous avons pu montrer que la rupture magnétique entre ces orbites induit non seulement des orbites fermées supplémentaires mais aussi des interférences quantiques: interféromètre de masse effective nulle et dont l'aire est égale à celle de la première zone de Brillouin (PZB). Il est à noter que dans un tel réseau bidimensionnel, aucune fréquence n'est interdite, ni dans le cadre du modèle semi-classique de Falicov et Stachowiak (Phys. Rev. B **147** 505 1966), ni dans en termes d'interférences quantiques. Pourtant, l'analyse de l'influence de la température, de la direction et de l'intensité du champ magnétique sur les caractéristiques des différentes oscillations montre que de nombreuses combinaisons de fréquences ne peuvent être interprétées sur aucune de ces bases qui supposent des niveaux de Landau suffisamment dégénérées pour pouvoir être considérés comme discrets.

Des calculs prenant en compte de l'oscillation du potentiel chimique sous champ magnétique sont actuellement en cours afin d'élucider ce problème (collaboration avec J. Y. Fortin du LPT de Strasbourg). Leur confrontation avec des mesures thermodynamiques est cependant indispensable. A

cet effet, des mesures simultanées de l'aimantation oscillatoire (effet de Haas van Alphen) et de la magnétorésistance sont également prévues.

Signalons cependant que l'oscillation du potentiel chimique ne peut, à lui seul, rendre compte des combinaisons de fréquences observées dans les systèmes d'orbitales couplées. En effet, la SF du composé β -(BEDT-TTF)₄(NH₄)[Fe(C₂O₄)₃]•DMF (cristaux synthétisés par l'équipe de E. Yagubskii de Chernogolovka, étudiés en collaboration avec V. Laukhin et E. Canadell de l'ICMaB de Barcelone) a pour origine une orbite dont l'aire de la section droite est égale à celle de la PZB. La SF qui en résulte est constituée de plusieurs orbitales susceptibles d'être couplées par la rupture magnétique. Bien que le temps de relaxation du cristal que nous avons étudié soit relativement faible (τ de l'ordre de quelques 10^{-13} s), le spectre de la magnétorésistance oscillatoire montre, y compris à 4.2 K, des combinaisons de fréquences qui ne peuvent donc être attribuées qu'à l'élargissement des niveaux de Landau induit par la rupture magnétique.

Onde de densité de spin et oscillations rapides de la magnétorésistance dans les sels de Bechgaard. *(A. Audouard, L. Brossard, D. Vignolles)*

Parmi les sels de Bechgaard, (TMTSF)₂NO₃ est particulièrement intéressant puisqu'il est le seul à subir à la fois (i) une mise en ordre des anions (à 41 K) dont le vecteur d'onde, parallèle à la direction de plus grande conductivité, permet l'instauration d'un état semi-métallique avec des orbitales fermées bidimensionnelles et (ii) une transition SDW qui donne lieu (à 9.4 K) à un emboîtement imparfait des deux parties de la SF, conduisant également à des orbitales fermées d'électrons et de trous. La magnétorésistance transverse mesurée jusqu'à 37 T a montré deux séries d'oscillations ($F_L = 63$ T; $F_H = 248$ T) qui n'existent que dans la phase SDW. Ceci remet en cause les interprétations de type fermiologique, basées sur une reconstruction de la SF dans l'état SDW puisque, dans le cadre de cette hypothèse, les orbitales 2D issues de la mise en ordre des anions devraient donner lieu aux oscillations H (que l'on peut assimiler aux oscillations rapides observées dans les autres sels de Bechgaard) aussi bien dans l'état semi-métallique au-dessus de 9.4 K que, par rupture magnétique, dans l'état SDW. L'origine de ces oscillations reste donc à déterminer.

Des mesures récentes de la magnétorésistance oscillatoire jusqu'à 55 teslas et sous pression hydrostatique jusqu'à 8.5 kbar ont mis en évidence une onde de densité de spin induite par le champ magnétique (FISDW) à partir de l'état métallique obtenu sous pression, caractérisée par une modification drastique du spectre oscillatoire. Ces résultats sont en cours d'analyse.

Fabrication et test de cantilevers pour la mesure de l'aimantation sous champ pulsé *(D. Vignolles)*

Un dispositif de mesure de l'aimantation sous champ magnétique pulsé par la méthode du cantilever a été développé. Avec des cantilevers en silicium mis au point pour utilisation en champ magnétique statique par Mike Naughton (Boston College –Etat-Unis) nous avons obtenu des sensibilités de l'ordre de $4 \cdot 10^{-11}$ A.m². Leur fréquence de résonance relativement basse limite leur utilité pour les champ pulsé, notamment pour la mesure de l'effet dHvA. Par conséquent, une collaboration a été engagée avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) à Toulouse pour la réalisation de cantilevers plus spécifiquement étudiés pour le champ pulsé (avec notamment une fréquence de résonance plus élevée). Ces cantilevers ont été réalisés dans le courant de l'année 2003 et sont actuellement en cours de test.

Détection synchrone numérique pour la mesure AC de la magnétorésistance *(E. Haanappel)*

Dans un souci permanent d'améliorer les techniques de mesures, et notamment la mesure de la magnéto-résistance sous champ magnétique pulsé, nous avons développé une détection synchrone numérique (ou « lockin numérique ») : un logiciel d'analyse de données qui simule et améliore le fonctionnement des détections synchrones classiques couramment utilisées dans le laboratoire. Lors de la mesure, la tension développée aux bornes d'un échantillon due au passage d'un courant alternatif de fréquence élevée (typiquement $f \sim 50$ kHz), est numérisée simultanément avec un signal de référence. A la manière d'un lockin classique, le lockin numérique mesure la différence de phase du signal brut provenant de l'échantillon par rapport au signal de référence. Ceci permet de reconstituer la composante en phase et la composante hors phase du signal de l'échantillon. Les avantages du lockin numérique résident dans le fait que l'analyse est effectuée sur une mesure enregistrée. Elle peut être

itérée pour différentes valeurs des paramètres (constante de temps, ordre des filtres, ...) ou avec différents types de filtres, notamment des filtres non-causaux. Ces derniers permettent de s'affranchir du délai de quelques constantes de temps imposé par l'électronique d'un lockin classique. De ce fait les mesures sur la montée et la descente du champ pulsé sont confondues, ce qui est surtout important pour la mesure correcte de la magnétorésistance oscillatoire et la mesure de champs magnétiques critiques ou de transition.

Le lockin numérique a permis d'obtenir de très bons résultats lors de mesures simultanées de la magnétorésistance et l'effet Hall dans des films minces de $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (J. Vanacken *et al.*, LNCMP et Université de Louvain, Belgique) jusqu'à 52 T et pour des températures entre 2 K et 300 K. Lors d'expériences sur des films minces du supraconducteur MgB_2 (C. Ferdeghini, V. Ferrando, M. Putti et D. Marré, INFN-LAMIA, Genova, Italie), nous avons mesuré la magnétorésistance sur trois films différents jusqu'à 55 T et pour des températures entre 2 K et 35 K. La dépendance en température du champ critique B_{c2} a ainsi été mesurée avec le champ magnétique perpendiculaire et parallèle à l'axe c . Le champ critique a pu être déterminé avec précision parce que montée et descente du champ étaient superposées. Nous avons notamment observé un champ critique de 52 T à une température de 4.2 K dans un des films, ce qui est le champ critique le plus élevé jamais observé dans ce composé.

Semi-conducteurs et systèmes désordonnés

J. Galibert, J. Leotin

Magnéto-transport sur des réseaux réguliers en nids d'abeille de fils semiconducteurs (J. Galibert, V. Samuilov, chercheur de haut niveau 4 mois, chercheur associé 8 mois)

Une approche alternative aux méthodes classiques de fabrication de réseaux réguliers de fils semi-conducteurs consiste à utiliser l'auto-organisation en couches minces de solutions à base de polymères afin de réaliser des masques en forme de réseaux de cellules hexagonales, puis à graver les couches (2D) du semi-conducteur à travers ces mêmes masques à l'aide d'un faisceau d'ions réactifs (Ar^+). Les échantillons obtenus par V.A. Samuilov (Minsk) sont des structures régulières et permanentes de cellules hexagonales d'environ 500 nm de diamètre séparées les unes des autres par une distance d'environ 50 nm.

Les mesures de magnétorésistance, de i - V sur des réseaux mésoscopiques en nid d'abeille à base d'hétérostructures $\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$ δ dopées, effectuées au laboratoire, ont montré que la magnétorésistance est négative à faible champ, devient positive à partir de 5 T et se sature au delà de 12 T environ. Pour des températures en dessous de 20 K, la conduction est une conduction par saut à distance variable de type Mott à deux dimensions. La faible conductivité des échantillons en réseau pourrait être expliquée par un modèle de "gouttes métalliques" couplées par des jonctions tunnel dans la trame du réseau 2D. A 2 K des "décrochages" équidistants ont été observés sur les courbes i - V , qui sont la signature d'effet tunnel résonant dans le système. La magnétorésistance négative à champ évanescence est une conséquence d'interférences quantiques dans le régime de conduction par saut à distance variable.

Dans des échantillons de réseaux mésoscopiques de carbone en nid d'abeille, une transition depuis le régime de saut à distance variable de type Mott vers un régime de Efros-Shklovskii a été mise en évidence. A plus haute température, quand la distance de saut devient comparable à la longueur de localisation, la faible magnétorésistance négative semble être la signature d'un régime de faible localisation.

Il est généralement admis que le transport par saut a lieu en régime de forte localisation (SL), alors qu'au voisinage de la transition métal-isolant (MIT), les propriétés de transport sont expliquées en termes de localisation faible (WL). Une étude que nous avons commencée, sur des structures de carbone en fonction de la température de recuit du réseau initial de nitrocellulose, a montré un exemple où la conduction par saut à distance variable (VRH) est aussi observée au voisinage de la MIT. Par exemple, pour un réseau de carbone en nid d'abeille recuit à 1150°C, une conduction de type localisation faible ($\rho \propto T^{-n}$) est observée dans une très large gamme de température, une conduction par VRH n'étant observée qu'en dessous de 5K. A bas champ, la magnétorésistance est négative (NMR), la transition depuis la magnétorésistance positive (PMR) vers la NMR, signature d'un crossover depuis le VRH vers un régime diffusif a lieu dès 25K pour cet échantillon (à une

température plus élevée pour des échantillons recuits à plus basse température). En résumé, une augmentation de la température induit une transition depuis un régime de SL (VRH) vers un régime de WL (transport diffusif): le fait que ces mécanismes de transport dépendent de la température de recuit du réseau de nitrocellulose initial, suggère qu'ils sont en relation avec la formation de clusters de carbone dans la matrice amorphe et leur augmentation de taille.

Transport dans des couches bidimensionnelles auto-assemblées de nanocristaux métalliques (J. Galibert, V. Samuilov)

Une des voies disponibles pour l'obtention d'échantillons de taille macroscopique qui conservent leurs propriétés à l'échelle nanométrique, est d'utiliser l'auto-organisation de surface. V. Samuilov a acquis la maîtrise de fabrication de réseaux réguliers de nanogouttes auto-organisées à partir de l'adsorption en surface à partir d'une solution ou par technique "lift-off" à partir de films de polymères de type "Langmuir-Blodgett". Dans ces systèmes, si l'électron agit comme une particule discrète, le blocage de Coulomb peut induire des oscillations de la conductance. S'il agit par sa fonction d'onde, la conductance est modulée en amplitude par le biais d'un transport tunnel résonant.

Les réseaux réguliers, qui sont une réalisation expérimentale du modèle d'Anderson, devraient montrer une transition métal-isolant en fonction du paramètre de désordre qui intervient via la taille de la particule, laquelle détermine l'énergie coulombienne U sur le site, ou via les fluctuations de l'espacement entre les nanogouttes qui déterminent la conductance G par effet tunnel. C'est là que le champ magnétique permet de faire varier continûment le caractère isolant de ces réseaux auto-organisés, qui apparaissent dès lors comme des systèmes modèles

Les expériences préliminaires que nous avons effectuées au LNCMP sur des réseaux bidimensionnels de nanoparticules d'or (de diamètre ≈ 4 nm) obtenus à partir d'une solution colloïdale Au/SC₁₀ par la technique "Langmuir-Blodgett", montrent que les courbes $i(V)$ font apparaître une tension seuil V_t dans toute la gamme de température explorée entre 4 et 70K, signature d'un mécanisme de blocage de Coulomb: $I=I_0 [(V-V_t)/V_t]^\beta$. Pour des particules sphériques de 4 à 5 nm de diamètre, séparées par quelques 2 nm, l'énergie de charge d'un électron est à peu près de ≈ 10 meV, tandis que l'énergie de quantification dû à la taille n'est que de $\approx 0,1$ meV. Le taux de transmission tunnel entre particule est exponentiellement proportionnel à la séparation et peu être modulé dans une large gamme de température. De ce fait, dans la gamme de température 4,2-300 K, les effets de charge (blocage de Coulomb) domineront le transport, alors qu'à très basses températures on peut espérer mettre en évidence des effets de quantification dus à la taille.

Au dessus de 70 K, on observe une transition vers une conduction par saut à distance variable (VRH) entre clusters métalliques. Une faible magnétorésistance positive peut être attribuée au rétrécissement des fonctions d'onde induit par le champ magnétique.

Transport dans des réseaux auto-assemblés de nanotubes de carbone multiparois (C-MWNT) (J. Galibert, V. Samuilov)

De par leur propriétés mécaniques et électroniques uniques, et leur bonne stabilité chimique, les nanotubes de carbone peuvent être utilisés comme systèmes modèles pour l'étude du transport électrique dans les systèmes désordonnés. Parmi la grande variété de structures carbonées, nous nous intéressons aux réseaux auto-assemblés de nanotubes multiparois de carbone (MWNT). La manipulation et le contrôle de l'auto-organisation de nanotubes en monocouches sont problématiques du fait de leur insolubilité dans la plupart des solvants communément utilisés et de leur résistance à une fonctionnalisation organique.

Nous avons obtenus des résultats préliminaires sur les premiers échantillons élaborés par V. Samuilov avec ses collègues de Stony Brook et L. Forró de Lausanne. Entre 4 et 70K, la résistance R à champ magnétique nul suit une loi en: $R \propto R_0 + AT^{-\alpha}$ où $\alpha=0,38$, alors qu'à plus haute température, la résistance se comporte comme $R \propto R'_0 + BT^{+1/3}$. Ce comportement suggère la formation d'un liquide de Luttinger dans lequel le transport est régi par des effets de rétrodiffusion cohérente.

En configuration transverse, la magnétorésistance est négative jusqu'à 35T, avec une tendance apparente à la saturation à fort champ, lorsque la température varie de 2 à 80K. Cette tendance doit

être confirmée à plus fort champ. De plus, quelques oscillations apparaissent depuis les faibles champs jusqu'à 25T environ, à basse température (2K). Lorsqu'on fait croître la température, ces oscillations ont tendance à disparaître.

A ce stade exploratoire de nos investigations sur ces échantillons, on peut juste tenter une explication de l'origine de la magnétorésistance négative (NMR). Ch. Schönenberger de Bâle et L. Forró de Lausanne ont déjà observé une NMR transverse à faible champ sur laquelle venait se superposer quelques oscillations aperiodiques en accord avec des fluctuations universelles de la conductance (UCF). D'un point de vue classique, le terme d'interférence qui conduit aux UCF vient de l'addition des amplitudes des probabilités de transport via tous les chemins qui relient la source au drain. La NMR à faible champ est due aux interférences entre différentes trajectoires électriques bouclées qui s'additionnent de manière constructive à champ nul (c'est d'ailleurs la définition de la localisation faible (WL), au sens de Kawabata).

Puisque les effets de la localisation faible doivent décroître avec la température plus lentement que les UCF, une étude de la NMR à différentes températures devrait nous permettre de confirmer l'origine de ces oscillations. Si non, cela signifierait que les fluctuations pourraient être dues à la structure de bande de l'ensemble des nanotubes, et de ce fait, pourraient être causées par une dépopulation induite par le champ magnétique d'une sous-bande unidimensionnelle, phénomène qui, dans des films minces, donne naissance à des oscillations de Shubnikov-de Haas.

Ces premières expériences doivent être poursuivies en faisant varier l'angle du champ magnétique avec le plan de l'échantillon, ce qui devrait nous aider dans la progression de l'analyse.

Spectroscopie de semiconducteurs (J. Leotin)

La période est marquée par le départ de Dmitri Smirnov, qui a travaillé au LNCMP sur plusieurs CDD et la mise en veille d'une activité importante de spectroscopie. Retenons la mise en place fin 2003 d'un contrat DGA sur le sujet : Processus optoélectroniques dans les lasers à cascade quantiques ».

Effet magnétophonon inter sous-bandes dans des puits quantiques GaAs/GaAlAs

La mise en évidence et l'étude de l'effet magnétophonon inter sous-bandes dans des puits quantiques GaAs/GaAlAs constitue l'un des résultats marquants. L'effet a été recherché dans l'émission et le transport d'une structure laser à cascades quantiques dans un champ pulsé balayé jusqu'à 62 Tesla. Dans la structure choisie, les électrons injectés dans la sous-bandes supérieure émettent des photons d'énergie supérieure à celle du phonon optique LO. Dans ce système, l'inversion de population dans une sous-bande supérieure est réglée par le taux d'émission de phonons LO vers les états du continuum de la sous-bande inférieure. Du fait de la quantification de Landau de l'énergie, l'émission devenue résonante pour ces phonons optiques se trouve périodiquement bloquée et amplifiée dans le champ balayé. Il s'ensuit, aux champs magnétiques élevés, une modulation périodique de la concentration d'électrons dans la sous-bande supérieure, en conséquence du gain. Le bilan est une variation périodique spectaculaire de l'intensité de l'émission d'un laser parcouru par un courant constant voisin du seuil. Il est à noter que l'effet a été également trouvé sur la magnétorésistance de la structure.

L'effet magnétophonon intersous-bande est instructif à plusieurs titres. D'abord, il permet une spectroscopie des phonons efficaces pour la relaxation intersous-bande en particulier de vérifier la pertinence de modes d'interface, de modes confinés ou des modes d'alliages. Ces autres modes ne sont pas apparus dans nos résultats. L'étude d'autres systèmes est envisagée pour rechercher l'effet. Ensuite, dans ce système où le champ magnétique balayé perpendiculairement aux couches confine les états électroniques dans une dimension zéro, pouvoir sonder la nature du couplage fort ou faible des électrons et de phonons est une opportunité particulièrement intéressante, compte tenu du couplage toujours fort découvert dans les boîtes quantiques auto-organisées et des états polarons. Nos résultats offrent un support à une modélisation probablement concluante sur la nature de ce couplage et la réalité des polarons de Landau. Ce travail est en cours en collaboration avec C. Sirtori (Thales).

Spectroscopie de photoluminescence de boîtes quantiques auto-organisées InGaAs/GaAs

La spectroscopie de photoluminescence en champ pulsé jusqu'à 73 T est un atout important pour analyser le spectre d'énergie des boîtes quantiques InGaAs/GaAs. Dans cette expérience, le contrôle

de la population des paires électron-trou par la puissance d'excitation optique nous a permis de remplir successivement les couches d'états jusqu'à une population de 12 paires par boîte. L'application d'un champ magnétique lève la dégénérescence des couches et permet d'identifier l'état fondamental et les états excités. De plus, elle offre de données pour caractériser les interactions du système électron-trou confinés à 0D.

Nous avons mis en place pour ce projet une spectrométrie rapide fournissant un spectre toutes les millisecondes, soit plus de 100 spectres durant le balayage du champ pulsé. La bobine ARMS a permis d'atteindre 73T. La mesure est basée sur le guidage par fibre optique du signal de luminescence excité par une diode laser pulsée vers un spectromètre à réseau équipé d'une matrice silicium CCD 100*1340 pixels. La sensibilité spectrale est toutefois limitée à basse énergie à 1,1 eV. Il est urgent de compléter cet équipement par une barrette GaInAs sensible jusqu'à 0,73 eV.

L'analyse des données montre qu'un modèle simple de confinement à deux bandes paraboliques pour les électrons et les trous explique étonnamment bien l'essentiel de nos résultats. On retrouve les états de Fock-Darwin d'une particule chargée confinée dans le potentiel parabolique 2D engendré par le champ magnétique, sans signature particulière d'effets de corrélation électron-trou. Les masses effectives ajustées pour les électrons et les trous sont respectivement $0,067m_0$ et $0,341 m_0$. Le clivage de spin n'est pas introduit ici car il n'est pas résolu dans nos données expérimentales.

Projet en cours : Détection optique de résonances magnétiques

Dans l'infra-rouge lointain, la détection conventionnelle de résonance sur des nano-structures confinées manque de sensibilité, à cause du faible volume de matière absorbante. Par contre, la détection démontrée en champ pulsé de la photoluminescence de boîtes quantiques dans la gamme 0,7- 3 eV, offre une voie indirecte mais très sensible pour mesurer la réponse à une excitation résonante dans l'infrarouge lointain. Notre idée est d'exciter la résonance avec des sources lasers à cascades quantiques (LCQ) pulsées en synchronisme avec l'excitation optique. Cette technique nouvelle en champ pulsé, n'est possible que dans un champ de longue durée. Elle sera d'abord appliquée à l'étude de boîtes quantiques et à la spectroscopie de photoluminescence de nanotubes de carbone. Nous avons réalisé un spectromètre compact de résonance cyclotron basé sur une source d'excitation LCQ GaAs/GaAlAs et un détecteur Si :B à bande d'impuretés bloquée, tous deux placés près de l'échantillon, à environ 10 cm. Nous avons démontré la faible sensibilité au champ magnétique de ces sources et détecteurs par la mesure de la résonance des électrons d'une couche mince InSb/GaAs.

Perspectives:

D'une façon générale, la nanophysique fait désormais partie du paysage scientifique toulousain depuis la reconnaissance par le CNRS de Toulouse comme site d'excellence en nanoscience.

Les différents laboratoires toulousains offrent une grande variété de méthodes d'investigation, depuis les moyens lourds d'analyse physique (champs magnétiques intenses- notre laboratoire-, microscopie électronique, diffraction des RX,...) jusqu'à des méthodes plus légères telles que la microscopie à sonde locale, les différentes spectroscopies optiques ou électroniques, ainsi que tout l'ensemble théorique et numérique nécessaire à l'étude des phénomènes physiques dans les systèmes complexes.

Pour les expériences sur les conducteurs désordonnés, les matériaux et les systèmes étudiés sont élaborés dans les laboratoires locaux soit dans le cadre de collaborations. En ce sens, la collaboration avec la Biélorussie viendrait enrichir nos sources d'échantillons.

En pratique, tenant compte de la taille critique de l'équipe "semiconducteurs et systèmes désordonnés", d'une part, et vu l'intérêt de la communauté internationale aux réseaux de nanotubes de carbone, d'autre part, nous avons déposé

- (i) Un projet de recherche INTAS: "Réseaux fortement orientés de nanotubes de carbone: synthèse, caractérisation et propriétés physique"
- (ii) Une demande de bourse de recherche post-doctorale INTAS sur le projet intitulé: "Réseaux bidimensionnels de nanoclusters métalliques: fabrication, caractérisation et propriétés de transport".
- (iii) Un projet de collaboration bilatérale CNRS/partenaire Biélorusse:

Pour la spectroscopie des semi-conducteurs, la pérennité de l'activité est posée par le départ de J. Léotin au terme du contrat quadriennal. Vu l'activité dans ce domaine dans les autres laboratoires des champs intenses, cet activité au LNCMP a besoin d'un renfort.

Magnéto-optique

G. Rikken

Depuis quelques années, le LNCMP essaie d'identifier d'autres domaines scientifiques, hors de la physique de la matière condensée, où les champs magnétiques pulsés peuvent jouer un rôle importante. Un premier projet dans ce cadre, réalisé en collaboration avec le Laboratoire Collisions-Agrégats-Réactivité de Toulouse, est l'observation de la biréfringence magnétique du vide (BMV). Avec l'arrivée de G. Rikken au LNCMP, le laboratoire va en plus développer une activité magnéto-optique dans des milieux dilués sous champ électrique et dans des systèmes chiraux. Une partie de l'équipement de l'ancien équipe « Magnéto-optique » du Laboratoire des Champs Magnétiques Intenses de Grenoble a été déménagé au LNCMP en juillet 2003 et est en train d'être installé dans une nouvelle salle d'optique. L'embauche d'un maître de conférence UPS, prévu pour la deuxième partie de 2004, va beaucoup aider pour faire avancer le projet BMV plus rapidement. Ce chercheur doit aussi, avec l'équipement BMV légèrement modifié, s'impliquer dans les phénomènes magnéto-électriques dans des milieux gazeux et condensés. Du côté CNRS, un poste CR2 a été prévu au concours 2004. Ce chercheur doit se concentrer sur des phénomènes magnéto-chiraux, comme la génération de la deuxième harmonique induit par champ magnétique dans un milieu chiral, la spectroscopie de l'anisotropie magnéto-chirale et la fausse chiralité hors équilibre.

Biréfringence magnétique du vide (O. Portugall, C. Rizzo (LCAR))

Ce phénomène, prévu par l'électrodynamique quantique, correspond à l'effet Cotton-Mouton des particules virtuelles dans le vide et n'a pas encore été observé. Pour son observation, un polarimètre, avec une cavité Fabry-Perot sous ultra-vide et à très haute finesse dans un champ magnétique pulsé transversal, est sous construction. Le LCAR s'occupe de la partie optique ; la cavité et son asservissement par rapport au longueur d'onde du laser sont en train d'être testés. Au LNCMP, la moitié du générateur dédié est opérationnelle, ce qui permet de tester les premiers aimants pulsés dipolaires et la deuxième tranche sera fini dans quelques mois. La salle optique au LNCMP ou tout sera rassemblé sera aménagée avant l'été 2004. Nous prévoyons de faire les premiers tests du système complet vers le fin de 2004.

Effets magnéto-chiraux (G. Rikken)

Dans les dernières années, un nouveau phénomène magnéto-optique dans des systèmes chiraux vient d'être mis en évidence ; l'anisotropie magnéto-chirale. Ce phénomène général implique une différence dans les propriétés optiques d'un système chiral pour la lumière non-polarisée qui se propage parallèlement ou anti-parallèlement à un champ magnétique externe, une différence qui a des signes opposés pour les deux chiralités possibles. Il a été observé en luminescence, absorption et réfraction. Sa généralisation vers les phénomènes généraux de transport balistique ou diffusive a été prévu et son existence dans la conductivité électrique a été confirmé. Des manifestations dans d'autres domaines, comme dans la diffusion moléculaire et dans la conductivité thermique seront aussi étudiées.

Effets magnéto-électriques (G. Rikken)

Appliquer à la fois un champ magnétique et un champ électrique à un système peut provoquer des nouveaux phénomènes optiques, dont plusieurs viennent d'être observé pour la première fois. La biréfringence magnéto-électrique est maintenant bien établie expérimentalement, mais pas encore dans des systèmes qui permettent une modélisation théorique. C'est aussi vrai pour un deuxième nouveau phénomène, l'anisotropie magnéto-électrique. Comme cet effet, jusqu'à ce moment uniquement observé dans l'optique, ne dépend pas de la polarisation, il doit aussi exister dans d'autres phénomènes de transport, diffusive ou balistique.

Activités techniques

Les activités techniques du LNCMP sont orientées autour quatre grandes axes :

- la mise au point du générateur 14 MJ (équipes générateur et mécanique);
- la production des bobines 60 T y compris la fabrication du fil renforcé en qualité et quantité suffisante (équipes conducteurs renforcés, bobines et mécanique);
- l'équipement des sites de mesures y compris des dispositifs expérimentales (équipes environnement expériences et mécanique);
- l'amélioration de la sécurité (équipes générateur, environnement expériences et mécanique).

A part du risque posé par le manque d'un remplacement pour le pupitre central de commande en cas de panne et le souhait actuel de renouveler l'automatisme en utilisant de la technologie numérique, la mise en opération du générateur 14 MJ s'est déroulé comme prévu. Le générateur est donc entièrement disponible aux utilisateurs. L'équipement de 8 sites de mesure a été également accompli. En fait, plusieurs sites ont été équipés avec des nouveaux dispositifs, notamment des systèmes à basse température et haute pression. Contrairement, des problèmes imprévus ont été rencontrés avec la nouvelle génération des bobines 60 T et la sécurité insuffisante des sites de mesure. Ces deux points sont donc discutés en détail ci-dessous.

Situation du développement des aimants 60 T

L'objectif de l'installation 14 MJ au sein du LNCMP est de fournir des champs magnétiques de 60 T pendant plus que 100 ms. Pendant la rédaction du dernier demande de contractualisation en janvier 2002 le LNCMP possédait 4 bobines construit selon ces critères, dont 3 étaient testées jusqu'à 60 T. Au cours du printemps 2002, 3 de ces bobines ainsi qu'une autre produit peu après, étaient soit détruites soit mis hors service à cause de problèmes de bruit électrique.

L'analyse des données disponibles indiquait une forte dégradation d'isolation électrique dans ces aimants. Un sixième aimant était donc produit en collaboration avec l'université d'Oxford en utilisant la méthode d'imprégnation sous vide. La durée de vie de cette bobine -- environ 25 tirs à champ maximal -- était néanmoins insatisfaisante comme cela de ses prédécesseurs.

Dans le contexte international le manque de fiabilité constaté avec cette première série de bobines 60 T n'est pas sans parallèle: Depuis environ 10 ans les champs records obtenus de façon non-destructif restent à 80 T pendant que les champs disponibles aux utilisateurs ne dépassent pas le 60 T. Cette évaluation comprend même les champs de courte durée obtenus par les autres leaders du domaine, notamment Louvain et Los Alamos.

Le décalage entre champs records et champs utilisables reflète la fatigue des bobines soumises simultanément aux contraintes mécaniques, électriques et thermiques. La méthode traditionnelle de remédier ce problème consiste à développer des aimants records qui sont ensuite copiés pour l'utilisation en réduisant seulement leur gamme d'opération afin de prolonger la durée de vie. Cette méthode est contestable car les mécanismes de fatigue ne sont pas forcément les mêmes que ceux qui provoquent une défaillance spontanée. Les origines du vieillissement progressif sont pourtant peu étudiées -- surtout dans des bobines à champ fort -- et difficiles à modéliser.

En utilisant notamment ses compétences dans le domaine des matériaux renforcés le LNCMP a pris l'initiative d'étudier les phénomènes de fatigue électrique et mécanique dans des bobines pulsées de façon plus systématique. Contrairement aux démarches prises par les autres laboratoires, cette étude ne sera pas basée exclusivement sur les calculs numériques qui, après tout, supposent une compréhension complète de tous mécanismes de fatigue. A ce but, le LNCMP a lancé un programme destiné à l'étude expérimentale des effets de vieillissement.

Dans une première étape, les propriétés mécaniques et électriques des échantillons récupérés d'une bobine détruite par un tir à champ maximale ont été analysés. Les résultats de cette étude ont été

publiés récemment. Dans une deuxième étape, l'infrastructure nécessaire pour l'étude expérimentale et théorique des effets des vieillissements a été mise en place. Les dispositifs ainsi créés comprennent :

- le design d'une bobine prototype permettant de simuler l'effet des contraintes thermiques, électriques et mécaniques de façon réaliste, reproductible et pourtant à une échelle drastiquement réduite afin de faire un grand nombre d'essais qui permet une évaluation qui est statistiquement significative.
- la construction d'un site de test y compris un générateur dédié et un système de mesure permettant de détecter des faibles changements de performance des bobines tir après tir;
- l'élaboration d'un protocole d'essai et la mise en place des logiciels pour la modélisation par éléments finis.

Actuellement les premiers tests des bobines prototypes destinés à évaluer leur performance maximale sont en cours. Les résultats ainsi obtenus serviront comme calibration pour des futurs essais. A partir de janvier 2004 la durabilité des bobines sera testée sous conditions sub-maximales. Après un certain nombre de cycles les aimants seront débobinés afin d'analyser l'état des matériaux à l'intérieur. Les résultats seront utilisés pour

- évaluer et adapter plusieurs techniques d'isolation électrique;
- trouver le meilleur compromis entre ductilité et dureté du fil renforcé élaboré au sein du laboratoire;
- comparer l'état réel des matériaux dans des bobines avec les contraintes locales trouvées dans des calculs.

Pour une troisième étape, le LNCMP s'est engagé à développer des nouvelles méthodes d'analyse in-situ dans les bobines. Cet engagement comprend notamment la mise en place d'un système basé sur les fibres optiques qui permettra de mesurer des déformations à l'intérieur d'une bobine pendant un tir. Pour le projet un jeune étudiant a été recruté en octobre 2003 dans le cadre d'une formation d'ingénieur par alternance en optique et vision industrielle.

Afin d'assurer le fonctionnement du laboratoire pendant la période des essais expliquée ci-dessus, le LNCMP a obtenu trois bobines à renfort distribué (« cuivre-Zylon ») fait par P.Frings à l'Université d'Amsterdam. Ces bobines sont actuellement disponibles aux utilisateurs, à côté des bobines toulousaines.

Dans le cadre d'une coopération à long terme avec le laboratoire de champs intenses de l'Université de Nimègue, qui a pris le relais de l'Université d'Amsterdam dans le domaine des champs pulsés, la bobineuse d'Amsterdam était récemment stationnée au LNCMP. La bobineuse, spécialement équipée pour la mise en place du renfort distribué, permettra à l'avenir d'appliquer cette technique en combinaison avec le fil renforcé produit à Toulouse et ouvrira donc des toutes nouvelles possibilités. Entre temps, cette bobineuse garantit la disponibilité des bobines à renfort distribué et permet au LNCMP de fonctionner.

Le projet détaillé ci-dessus représente actuellement la priorité du développement technique au sein du LNCMP. A part de l'équipe conducteurs renforcés et bobines, cette activité implique toutes les autres équipes techniques du laboratoire et plusieurs chercheurs se sont également impliqués dans son progrès.

Sécurité

En 2002, la sécurité des sites de mesure était améliorée en supprimant ou sécurisant tous liens galvaniques entre les boîtes des bobines et les pupitres opérés par les chercheurs pendant l'utilisation du générateur. L'alimentation 220 V est désormais assurée par des onduleurs, et toutes les connexions 380 V sont sécurisées avec des fusibles. La transmission des données est réalisée en utilisant des systèmes de fibres optiques. Des pièces isolantes sont également incluses dans les lignes de fourniture d'azote liquide et de récupération d'hélium. En général, les dispositifs de séparation galvanique ont été placés en respectant une ligne de démarcation qui sépare deux zones bien définies, une zone fermée à haut risque incluant la salle de condensateurs et les boîtes de bobines et une zone accessible aux

personnels a chaque moment. L'utilisation des deux zones et du générateur a été réglé par un protocole de sécurité affiché dans la salle des expériences.

La terre électrique du bâtiment a été réorganisée afin de établir

- la sécurité des endroits de travail comme prévue par les normes EDF;
- la sécurité du générateur en cas des malfonctionnements;
- une référence de mesure.

Afin de garantir une égalisation rapide des potentiels électriques en cas des décharges accidentelles du générateur, une terre propre à été installée derrière le bâtiment. La proximité entre le circuit de décharge et les instruments de mesure demandait une liaison de ces derniers avec la même terre. Cette liaison était pourtant réalisée en utilisant des connections individuelles vers la terre propre afin de minimiser la propagation des perturbations transitoires. Pour l'instant l'ensemble des terres de générateur et de mesure reste aussi lié à la terre du bâtiment par une boucle éloignée. Il est pourtant prévu de séparer ces deux systèmes sous conditions que tout équipement associé reste suffisamment loin l'une de l'autre.

Publications

2002

Publications dans des revues à comité de lecture:

C. Proust, A. Audouard, L. Brossard, S. I. Pesotskii, R. B. Lyubovskii and R. N. Lyubovskaya
Competing types of quantum oscillations in the 2D organic conductor $(\text{BEDT-TTF})_8\text{Hg}_4\text{Cl}_{12}(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl})_2$.
Phys. Rev. B **65**, 155106 (2002).

G.L.J.A. Rikken, E. Raupach, S. Roth and V. Krstić
Magneto-chiral anisotropy. *Mol. Phys.* **100**, 1155 (2002).

V. Krstić, S. Roth, M. Burghard, K. Kern and G.L.J.A. Rikken
Magneto-chiral anisotropy in charge transport through single-walled carbon nanotubes. *J. Chem. Phys.*
117, 11315 (2002).

V. Krstić and G.L.J.A. Rikken
Magneto-chiral anisotropy of the free electron on a helix. *Chem. Phys. Lett* **364**, 51 (2002).

T. Roth and G.L.J.A. Rikken
Observation of magneto-electric linear birefringence. *Phys. Rev. Lett.* **88**, 063001 (2002).

S. Roth, V. Krstić and G.L.J.A. Rikken
Quantum transport in carbon nanotubes. *Curr. Appl. Phys.* **2**, 155 (2002).

G.L.J.A. Rikken, C. Strohm and P. Wyder
Observation of magneto-electric directional anisotropy, *Phys. Rev. Lett.* **89**, 133005 (2002).

C. Proust, E. Boaknin, R. W. Hill, L. Taillefer and A. P. Mackenzie
Heat Transport in a Strongly Overdoped Cuprate: Fermi Liquid and a Pure d-Wave BCS
Superconductor, *Phys. Rev. Lett.* **89** 147003 (2002).

L. Thilly, O. Ludwig, M. Véron, F. Lecouturier, J.P. Peyrade, S. Askénazy
High strength materials: in situ investigations of dislocations behaviour in Cu/Nb multifilamentary
nanostructured composites. *Phil. Mag. A* **82**, 925 (2002).

L. Thilly, F. Lecouturier, J. Von Stebut
Size-induced enhanced mechanical properties of nanocomposite copper/niobium wires : nano-
indentation study. *Acta Materiala* **50**, 5049 (2002).

C. Gilles, P. Bonville, H. Rakoto, J.M. Broto
Magnetic hysteresis and superantiferromagnetism in ferritin nanoparticles. *J. Mag. Mag. Mat.* **241**,
430 (2002).

B. Raquet, M.N. Baibich, J.M. Broto, H. Rakoto, S. Lambert, A. Maignan
Hopping conductivity in one dimensional $\text{Ca}_3\text{CO}_2\text{O}_6$ single crystals. *Phys. Rev. B* **65**, 104442 (2002).

B. Raquet, M. Viret, E. Sondergard, O. Cespedes, R. Mamy
Electron magnon scattering and magnetic resistivity in 3d-ferromagnets. *Phys Rev B* **66**, 024433
(2002).

B. Raquet, M. Viret, J.M. Broto, E. Sondergard, O. Cespedes, R. Mamy
Magnetic resistivity and electron-magnon scattering in 3d ferromagnets, *J. Appl. Phys.* **91**, 8129 (2002)

A. Bousseksou, K. Boukheddaden, M. Goiran, C. Consejo; M.L. Boillot, J.P. Tuchague
Dynamic response of the spin-crossover solid $\text{Co}(\text{H}_2\text{fsa})_2\text{en}(\text{py})_2$ to a pulsed magnetic field, *Phys. Rev. B.* **65**, 172412 (2002).

C. Rincón, S.M. Wasim, R. Marquez, L. Nieves, G. Marín, E. Hernández, J. Galibert
Optical properties of the ordered defect compound CuIn_5Te_8 . *J. Phys. Chem. Solids* **63**, 581 (2002).

R. Tovar, M. Quintero, E. Quintero, P. Bocaranda, I. Ruiz, R. Cadenas, A.E. Mora, L. Hoeger, J.M. Briceno, H. Rakoto, J.M. Broto, R. Barbaste
Crystallographic characterization and magnetic properties of the $\text{MnIn}_2\text{Ga}_2\text{Se}_4$ alloy system. *Mat. Res. Bul.* **37**, 1011 (2002).

V.K. Ksenevich, V.A. Samuilov, J. Galibert, H.G. Roskos,
Magnetotransport in low dimensional honeycomb-shape GaAs networks, *Materials-Science-Forum.* **384-385**, 59 (2002).

M. Grayson, L. B. Rigal, D. C. Schmadel, H. D. Drew, and P.-J. Kung
Spectral measurement of the Hall angle response in normal state cuprate superconductors. *Phys. Rev. Lett.* **89**, 037003 (2002)

Contributions aux oeuvres:

JM Broto

Participation à la rédaction de Springer Handbook of Nanotechnology, edited by Bharat Bhushan

Communications avec actes:

S. Askenazy, J. Billette, P. Dupré, P. Ganau, J. Mackowski, J. Marquez, L. Pinard, O. Portugall, D. Ricard, G.L.J.A. Rikken, C. Rizzo, G. Trenec, J. Vigué
Mesure de la biréfringence magnétique du vide: le projet BMV, *J. Phys. IV France* **12**, Pr5-145 (2002).

L. Thilly, F. Lecouturier, G. Coffe, S. Askénazy
Recent progress in the development of ultra high strength “continuous” Cu/Nb and Cu/Ta conductors for non-destructive pulsed fields higher than 80T, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **12**, 1181 (2002). (17th International Conference on Magnet Technology, Geneve, 24-28 september 2001)

M.N. Baibich, J.M. Broto, B. Raquet, H. Rakoto, M. Costes, A. Maignan, S. Lambert, D. Grebille
Electronic conductivity in 1D Co spin chain single crystal, *Physica B* **320** (1-4): 337-339 (2002)
VLAW3M Argentine 2001

E. Quintero, R. Tovar, M. Quintero, M. Morocoima, J. Ruiz, G. Delgado, J.M. Broto, H. Rakoto
Structural characterization and magnetic properties for the semiconducting semimagnetic system $\text{Cu}_2\text{Cd}_{1-z}\text{Mn}_z\text{GeSe}_4$ alloys, *Physica B* **320** 384-387 (2002) VLAW3M Argentine 2001

J.L. Garcia-Munoz, C. Frontera, M.A.G. Aranda, C. Ritter, A. Llobet, L. Ranno, M. Respaud, J. Vanacken, J.M. Broto
Electronic and magnetic transitions in Bi-Sr-Mn-O oxides: high temperature charge-ordering, *J. Mag. Mag. Mat.* **242**, 645 (2002) JEMS 01, Grenoble 2001

C. Frontera, J.L. Garcia-Munoz, A. Llobet, M.A.G. Aranda, J. Rodriguez-Carvajal, M. Respaud, J.M. Broto, B. Raquet, H. Rakoto, M. Goiran,
Spin state transition: the origin of structural, magnetic and metal-insulator transitions in $\text{GdBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ ($\delta \approx 0.5$) J. Mag. Mat. **242**, 751 (2002) JEMS 01, Grenoble 2001

Kirste, M. Goiran, J. Vanacken, J.M. Broto, H. Rakoto, M. Respaud, M.von Ortenberg, C. Frontera, J.L. García-Muñoz
High magnetic field study of charge-melting in $\text{Bi}_{1/2}(\text{Sr,Ca})_{1/2}\text{MnO}_3$ perovskites : unconventional behaviour of Bi-Sr, Proceedings of 9th International Conference on Megagauss Magnetic Field Generation and Related Topics", 7-14 July 2002

JM. Broto, B. Raquet, H. Rakoto, MR Baibich, S. Lambert, A. Maignan, Hopping conductivity in one dimensional CaCo_2O_6 single crystals, , World Scientific, Proceeding PPHMF p.397 (2002). Physical Phenomena at High Magnetic Fields –IV, Santa Fe (2001). Int. J. Modern. Phys. **16**, 3289 (2002).

B. Raquet, J.M. Broto, M. Viret, E. Sondergard, O. Cespedes, Electronic scattering and spin-disorder in 3d-ferromagnets in the paraprocess regime World Scientific, Proceeding PPHMF p.468 (2002). Physical Phenomena at High Magnetic Fields –IV, Santa Fe (2001). Int. J. Modern. Phys. **16**, 3360 (2002).

I. Kuryliszyn, T. Wojtowicz, X. Liu, J.K. Furdyna, W. Dobrowolski, J.M. Broto, M. Goiran, O. Portugall, H. Rakoto, B. Raquet
Transport and magnetic properties of low temperature annealed $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$,
Acta Physica Polonica A **102** 659 (2002) Proc. the XXXI Internl School of Semicond Comp., "Jaszowiec 2002"

J.M. Broto, B. Raquet, M.N. Baibich, H. Rakoto, M. Costes, Maignan, S. Lambert , Magnetic ordering and hopping conductivity in a quasi-one dimensional $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ single crystal, SLAFES, Dec 2002, Merida (2002) To be published in Micro electronic Journal

Rivas, F. González-Jiménez, L. D'Onofrio, J. M. Broto, H. Rakoto, M. Quintero, and J.González.
Magneto-transport in the almost-2D compound $\text{CuFe}(\text{Te}_{0.9}\text{Se}_{0.1})_2$ at high magnetic field
Accepted Revista Mexicana de Física, Junio 2003, SLAFES 2002

A. Llobet; C. Frontera; C. Ritter; M. Respaud; J.M. Broto; M.J. Martinez-Lope; M.A.G. Aranda, J.L. Garcia-Munoz
Charge modulation and orientational variants in $\text{Bi}_{1/3}\text{Ca}_{2/3}\text{MnO}_3$, Applied Physics-A 74 Part 2 Suppl. S : S1761. Int. Conf. On Neutron Scattering 2001, Munchen, Germany, 9-13 September 2001

C. Frontera, J.L. Garcia-Munoz, M.A.G. Aranda, C. Ritter, A. Llobet, L. Ranno, M. Respaud, J. Vanacken, J.M. Broto, A.E. Carrillo, A. Calleja, J. Garcia
Anomalously high charge/orbital ordering temperature in $\text{Bi}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$, Applied Physics A Materials Science and Processing, Déc. 2002; 74 Part 2 Suppl. S : S1787-S1789. Int. Conf. On Neutron Scat. 2001, Munchen , Germany, 9-13 September 2001

V.K. Ksenevich,; J. Galibert, V. Samuilov; Y.S. Seo; J. Sokolov, M. Rafailovich,
Charge transport in mesoscopic carbon network structures, Self-Assembly-Processes-in-Materials.-Symposium-Mater.-Res.-Soc.-Proceedings- **707** 15 (2002) S.C. Moss editor

V.K. Ksenevich, J. Galibert, V. Samuilov, Y.S. Seo, J. Sokolov, M. Rafailovich,
Charge transport in mesoscopic carbon network structures, Nanopatterning-From-Ultralarge-Scale-Integration-to-Biotechnology.-Symposium-Materials-Research-Society-Symposium-Proceedings- **705**, 227 (2002)

Communications sans acte:

L.B. Rigal, D.C. Schmadel, H.D. Drew, B. Maiorov, E. Osquigil, R. Hughes and J.S. Preston Mid-infrared Hall effect in underdoped YBCO films, Emergent Materials and highly correlated electrons, Trieste, 5-16 Août 2002

A. Audouard, D. Vignolles, C. Proust, L. Brossard, E. Perez, M. Nardone, E. Haanappel, S. Pesotskii, R. Lyubovskii, R. Lyubovskaia (communication orale),
Magnetic oscillations in the two-dimensional network of coupled orbits of the organic metals (BEDT-TTF)₈Hg₄Cl₁₂(C₆H₅X)₂ (X = Cl, Br). (Réunion du réseau HFICN, Grenoble (2002)).

L.Thilly, F.Lecouturier, J. Von Stebut
Effet de taille sur la plasticité des matériaux : étude des conducteurs nanocomposites Cu/Nb par nano-indentation, Colloque "Plasticité 2002", Lyon, mars 2002.

C. Proust, L. Taillefer, R.W. Hill, E. Boaknin, K. Behnia, R. Bel
Transport de chaleur dans la phase normale de cuprates supraconducteurs, JMC8, Marseille, août 2002.

M. Sagnes, B. Raquet, JM Broto, E. Flahaut, Ch. Laurent, Ch. Vieu, Th. Ondarçuhu, Ch. Vieu, Th. Ondarçuhu
Magneto-transport sous champ magnétique intense dans un nanotube de carbone individuel, GdR Nanotube La Grande Motte Oct. 2002.

M. Costes
Ordre magnétique et conductivité par saut dans un monocristal quasi-unidimensionnel, le Ca₃Co₂O₆, GDR Oxydes à propriétés remarquables Paris, 18-20 Nov. 2002

J.B Moussy, S. Gota, M.J. Guittet, L. Pham Van, M. Gautier-Soyer, P. Warin, P. Bayle-Guillemaud, M. Viret, C. Fermon, F. Ott, B. Raquet, M. Goiran
Croissance par épitaxie par jets moléculaires d'hétérostructures à base d'oxydes de Fer et magnéto-transport, Colloque Louis Néel 2002 : Couches Minces et Multicouches Magnétiques. Gerardmer Sept. 2002.

B. Raquet
Ordre magnétique et transport électronique dans des chaînes de spin unidimensionnelles, Séminaire du SPEC, CEA- Saclay, décembre 2002.

V. Samuilov, J. Galibert, K. Yoon, J. Sokolov, M. Rafailovich, E. Ljubovich, L. Forro
Transport in self-assembled arrays of multi-wall carbon nanotubes, Réunion GDR "Physique Quantique Mésooscopique" Lalonde les Maures 15-18 septembre 2002

Conférences invitées

G.L.J.A. Rikken
Chirality and magnetic fields, Chirality in Physics and Chemistry, KU Leuven, 23-24 mai 2002.

G.L.J.A. Rikken, Magneto-chiral anisotropy, Annual Meeting GDR Nanotubes, Grenoble 12-13 juin 2002.

G.L.J.A. Rikken
Advances in Magneto-optics, Hot Topics in Photonics, Photonics Fabrication Europe, Brueges 28-29 octobre 2002.

G.L.J.A. Rikken
Recent advances in Magneto-optics, New Magneto-Science V, Tsukuba 6-8 novembre 2002.

B. Raquet

1/f noise in magnetic nano-structures, MAGNOISE Workshop on Noise and dynamic switching in magneto-electronic devices. December 2002. Connemara, Ireland.

B. Raquet

Electronic noise in magnetic low-dimensional materials and nanostructures, Moscow International Symposium on Magnetism, Moscow, June 2002.

2003

Publications dans des revues à comité de lecture :

D. Vignolles, A. Audouard, L. Brossard, S. I. Pesotskii, R. B. Lyubovskii, M. Nardone, E. Haanappel and R. N. Lyubovskaya

Magnetic oscillations in the 2D network of compensated coupled orbits of the organic metal (BEDT-TTF)₈Hg₄Cl₁₂(C₆H₅Br)₂, Eur. Phys. J. B **31**, 53 (2003).

D. Vignolles, D. Smirnov, G. Rikken, B. Raquet, H. Rakoto, C. Proust, M. Nardone, J. Léotin, F. Lecouturier, M. Goiran, O. Drachenko, J.M. Broto, L. Brossard, A. Audouard

Low temperature physics at the Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés in Toulouse. J. Low Temp. Phys. **133**, 97 (2003)

A. Audouard, V. N. Laukhin, L. Brossard, T. G. Prokhorova, E. B. Yagubskii and E. Canadell
Combination frequencies of magnetic oscillations in β''-(BEDT-TTF)₄(NH₄)[Fe(C₂O₄)₃]·DMF. à paraître dans Phys. Rev. B.

C. Koerdt, G.L.J.A. Rikken and E. Petrov

The Faraday effect in photonic crystals. Appl. Phys. Lett. **82**, 1538 (2003).

A. Kirste, M. Goiran, M. Respaud, J. Vanaken, J. M. Broto, H. Rakoto, M. von Ortenberg, C. Frontera, and J. L. García-Muñoz

High magnetic field study of charge melting in Bi_{1/2}(Sr,Ca)_{1/2}]MnO₃ perovskites: Unconventional behavior of bismuth charge ordered compounds, Phys. Rev. B **67**, 134413 (2003).

J.C. Woolley, G. Lamarche, A.M. Lamarche, H. Rakoto, J.M. Broto, M. Quintero, M. Morocoima, E. Quintero, J. González, R. Tovar, R. Cadenas, P. Bocoranda, J. Ruiz

High Field Magnetic Properties of Ag₂FeGeSe₄ in the temperature range 2 K to 300 K. J. Mag. Mag. Mat. **257**, 87 (2003)

C. Consejo; G. Molnar; M. Goiran; A. Bousseksou

Two-level Ising-like model for spin-crossover phenomenon including the magnetic field effect: the mean-field approximation and Monte Carlo resolutions, Polyhedron **22**, 2441 (2003)

J. M. Broto, M. Goiran, H. Rakoto, A. Gold, and V. T. Dolgoplov

Magnetoresistance saturation in Si MOSFETs in a parallel pulsed magnetic field up to 40 T, Phys. Rev. B **67**, 161304 (2003).

L. Essaleh, J. Galibert, S.M. Wasim, G. Marin

Metallic magnetoconductivity in copper gallium telluride
Phys. Stat. Sol. (b) **240**, 625 (2003).

M. Sagnes, B. Raquet, B. Lassagne, J. M. Broto, E. Flahaut, Ch. Laurent, Th. Ondarçuhu, F. Carcenac and Ch. Vieu

Probing the electronic properties of individual carbon nanotube in 35 T pulsed magnetic field, *Chem. Phys. Lett.* **372**, 733 (2003).

A.U.B. Wolter, H. Rakoto, M. Costes, A. Honecker, W. Brenig, A. Klümper, H.-H. Klauss, F.J. Litterst, R. Feyerherm, D. Jérôme, S. Süllo
High-field magnetization study of the $S = 1/2$ antiferromagnetic Heisenberg chain [PM $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$]_n with field-induced gap, à paraître dans *Phys. Rev. B.*, Rapid Comm. (2003).

K. G. Lisunov, B. Raquet, H. Rakoto, J. M. Broto, E. Arushanov, X. Z. Xu, H. El Alami, C. Deville-Cavellin, Variable-range hopping conductivity in thin film of the ladder compound $[\text{Ca}_{1+\delta}\text{Cu}_2\text{O}_3]_4$, *J. Appl. Phys.* **94**, 5912 (2003).

D. Flahaut, S. Hébert, A. Maignan, V. Hardy, C. Martin, M. Hervieu, M. Costes, B. Raquet and J.M. Broto, A magnetic study of the 1-D $\text{Sr}_3\text{NiIrO}_6$ compound, *Eur. Phys. J. B.* **35**, 317 (2003)

L. Thilly, F. Lecouturier, J. Von Stebut
Erratum to: Size-induced enhanced mechanical properties of nanocomposite copper/niobium wires : nanoindentation study, *Acta Materialia* **51**, 195 (2003).

G.L.J.A. Rikken and B.A. van Tiggelen
Reply to "Comment on `The direction of optical energy flow in a transverse magnetic field, *Phys. Rev. Lett.* **90**, 099402 (2003).

D.G. Hawthorn, R.W. Hill, C. Proust, F. Ronning, M. Sutherland, E. Boaknin, C. Lupien, M.A. Tanatar, J. Paglione, S. Wakimoto, H. Zhang, L. Taillefer, T. Kimura, M. Nohara, H. Takagi, N.E. Hussey, Field-Induced Thermal Metal-to-Insulator Transition in Underdoped LSCO, *Phys. Rev. Lett.* **90** 197004 (2003)

G. Düchs, C. Koerdts and G.L.J.A. Rikken
Magneto-chiral anisotropy in Bragg scattering. *Phys. Rev. Lett.* **91**, 073902 (2003).

G.L.J.A. Rikken and C. Rizzo
Magneto-electric anisotropy of the quantum vacuum. *Phys. Rev. A* **67**, 15801 (2003).

C. Cappelli, A. Rizzo, B. Mennucci, J. Tomasi, R. Cammi, G.L.J.A. Rikken, R. Mathevet and C. Rizzo, The Cotton-Mouton effect of furan and its homologues in gas phase and in solution: interplay of theory and experiment. *Journal of Chemical Physics* **118**, 10712 (2003).

M. Sutherland, D.G. Hawthorn, R.W. Hill, F. Roning, S. Wakimoto, H. Zhang, C. Proust, E. Boaknin, C. Lupien, L. Taillefer, R. Liang, D.A. Bonn, W.N. Hardy, R. Gagnon, N.E. Hussey, T. Kimura, M. Nohara, H. Takagi, Thermal conductivity across the phase diagram of cuprates: low-energy quasiparticles and doping dependence of the superconducting gap, *Phys. Rev. B* **67**, 174520 (2003).

J. Nogues, J. Sort, S. Surinach, J.S. Muñoz, M.D. Baro, J.F. Bobo, U. Luders, E. Haanappel, M.R. Fitzsimmons, A. Hoffmann, and J.W. Cai
Isothermal tuning of exchange bias using pulsed fields, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 3044 (2003).

J. Vanacken, L. Weckhuysen, T. Wambecq, V. Mashkautsan, P. Wagner, V.V. Moshchalkov
Influence of fluctuation conductivity on the high field magnetoresistivity in epitaxial $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ thin films, à paraître dans *Physica B*.

J. Vanacken, E. Haanappel, S. Stroobants, T. Wambecq, V. Mashkautsan, C. Proust, L. Rigal and V.V. Moshchalkov,
Hall effect and magneto-resistance of $\text{La}_{1.875}\text{Sr}_{0.125}\text{CuO}_4$, à paraître dans *Physica B*

T. Wambecq, J. Vanacken, S. Stroobants, L. Weckhuysen, V. Mashkautsan, P. Wagner, V.V. Moshchalkov
Transport Properties of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Epitaxial Thin Films in High Magnetic Fields, à paraître dans Physica C.

J. Vanacken, L. Weckhuysen, T. Wambecq, V. Mashkautsan, P. Wagner, V.V. Moshchalkov
High field magnetotransport in high temperature superconductors, à paraître dans Physica C.

J. Vanacken, L. Weckhuysen, T. Wambecq, P. Wagner, and V.V. Moshchalkov
High field magnetoresistivity of epitaxial $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ thin films, Cond-mat/0308227, soumis à Phys. Rev. B.

J. Cerne, D. C. Schmadel, L. B. Rigal, and H. D. Drew
Measurement of the infrared magneto-optic properties of thin-film metals and high temperature superconductors. Rev. Sci. Instrum. **74**, 4755 (2003)

Contributions aux oeuvres:

G.L.J.A. Rikken
Magneto-chiral anisotropy in asymmetric photochemistry, in "Chiral Photochemistry", eds. Y. Inoue and V. Ranayamurty, Marcel Dekker (2003).

B.A. van Tiggelen, F.A. Pinheiro, G.L.J.A. Rikken, and D. Lacoste
Recent Trends in the Theory of Magneto-Optical Scattering of Light, in: Recent Trends in Theory of Physical Phenomena in High Magnetic Fields 323-331, ed. I.D. Vagner et al, Kluwer Academic, (2003).

A Bousseksou, K. Boukheddaden, M. Goiran, J.P. Tuchagues, F. Varret
The spin crossover phenomenon under high magnetic field, In Topics in Current Chemistry, Vol. Spin Crossover in Transition Metal Compounds Editors: Gütllich/Goodwin (sous presse)

JM Broto
Participation à la rédaction de Springer Handbook of Nanotechnology, edited by Bharat Bhushan

Communications avec actes:

M. Sagnes, J. -M. Broto, B. Raquet, T. Ondarçuhu, C. Laurent, E. Flahaut, C. Vieu and F. Carcenac
Alignment and nano-connections of isolated carbon nanotubes, Microelectronic Engineering, **67-68C**, 683 (2003).

V.K. Ksenevich, J. Galibert, V.A. Samuilov,
Magnetotransport in mesoscopic carbon networks in the vicinity of metal-insulator transition, Int. conference on Superlattices, nanostructures and nano devices (ICSNN-2002) Toulouse, France, 22-26 July 2002 Physica E, **17**, 389 (2003)

F. Rivas, L. González-Jiménez, J. D'Onofrio, J. M. Broto, H. Rakoto, M. Quintero, and J. González.
Magneto-transport in the almost-2D compound $\text{CuFe}(\text{Te}_{0.9}\text{Se}_{0.1})_2$ at high magnetic field
Accepted Revista Mexicana de Física, Junio 2003 SLAFES 2002

J.L. Garcia-Munoz; C. Frontera; M.A.G. Aranda; C. Ritter; A. Llobet; M. Respaud; M. Goiran; H. Rakoto; O. Masson; J. Vanacken; J.M. Broto
Charge and orbital order in rare-earth and Bi manganites: a comparison, J. Sol. St. Chem. **171**, 84 (2003) Proceedings from the 23rd Rare Earth Research Conference UC Davis Campus, July 2002

K. Racka; I. Kuryliszyn; M. Arciszewska; W. Dobrowolski; J.M. Broto; O. Portugall; H. Rakoto; B. Raquet; V. Dugaev; E.I. Slynko; V.E. Slynko, Anomalous Hall Effect in $\text{Sn}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Eu}_y\text{Te}$ and $\text{Sn}_{1-x-y}\text{Mn}_x\text{Er}_y\text{Te}$ mixed crystals, *J.Superc.* **16**, 289 (2003). PAPS Conference Wurzburg July 2002

I. Kuryliszyn; T. Wojtowicz; X. Liu; J.K. Furdyna; W. Dobrowolski; J.M. Broto; O. Portugall; H. Rakoto; B. Raquet, Low temperature annealing studies of $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$, *J.Superc.* **16**, 63 (2003). PAPS Conference Wurzburg July 2002

M. Sutherland, D.G. Hawthorn, R.W. Hill, F. Ronning, S. Wakimoto, H. Zhang, C. Proust, E. Boaknin, C. Lupien, M.A. Tanatar, J. Paglione, R. Liang, D.A. Bonn, W.N. Hardy, L. Taillefer, Doping dependence of superconducting gap in $\text{Yb}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ from universal heat transport, M2S Rio proceedings, Rio, 2003

Proc. 7th Int. Symposium on Research in High Magnetic Field (RHMF 2003) 20-23 juillet, 2003 Toulouse, à paraître dans Physica B, editeurs G.L.J.A. Rikken, O. Portugall et J. Vanacken;

J.M. de Teresa, P.A. Algarabel, D. Serrate, M.R. Ibarra, J. Blasco, J. Galibert
High field intergrain tunnelling magnetoresistance in magnetic oxides

R. Rosenbaum, J. Galibert
Parallel magnetoresistance of a polycrystalline bismuth film in high magnetic field,

R. Rosenbaum, J. Galibert
Hall constant measurements at high magnetic fields in polycrystalline bismuth films,

R. Cadenas, M. Quintero, M. Morocoima, J. González, J. Ruiz, J. M. Broto, H. Rakoto, J.C. Woolley, and G. Lamarche. Magnetic Phase Diagram of MnGa_2Se_4 Compound

J.M. Broto, M. Goiran, H. Rakoto, A. Gold and V.T. Dolgoplov
Saturation of the magnetoresistance of Si-MOSFET in a parallel magnetic field up to 40T

A. Kirste, M. Goiran, M. Respaud, J. Vanaken, J.M. Broto, H. Rakoto, A.E. Carrillo, M. von Ortenberg, C. Frontera and J.L. Garcia-Munoz
High magnetic field study of charge/polaron ordering in the low-doping regime ($x=0.50$) of $\text{Bi}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ perovskites.

A. Babushkina, O. Taldenkov, A. Gorbenko, A. Kaul, G. Fedorov, H. Rakoto and J.M. Broto
Field - induced phase transitions in isotope enriched $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Mn}^{16-18}\text{O}_3$.

C. Frontera, M. Respaud, J.L. Garcia-Munoz, A. Llobet, A.E. Carrillo, A. Caneiro, M.A.G. Aranda and J.M. Broto
High magnetic field study of $\text{HoBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ and $\text{GdBaCo}_2\text{O}_{5.5}$ layered cobaltites: the effect of rare earth size.

H. Rakoto, J.M. Broto and Z.A. Kazei
Effect of pair interactions on magnetic anomalies in HoPO_4 near crossover.

J. Vanacken, E. Haanappel, S. Stroobants, T. Wambecq, V. Mashkautsan, C. Proust, L.B. Rigal and V.V. Moshchalkov
Hall Effect and Magnetoresistance of $\text{La}_{1.875}\text{Sr}_{0.125}\text{CuO}_4$

A. Audouard, D. Vignolles, C. Proust, L. Brossard, M. Nardone, E. Haanappel, S. I. Pesotskii, R. B. Lyubovskii and R. N. Lyubovskaya (communication orale),
Magnetic oscillations in a two-dimensional network of coupled orbits.

J. Dumas, H. Guyot, H. Balaska, J. Marcus, D. Vignolles, I. Sheikin, A. Audouard, L. Brossard, C. Schlenker (Communication orale)
High magnetic field studies of the charge density wave state of the quasi two-dimensional conductor $\text{KMo}_6\text{O}_{17}$.

V. N. Laukhin, A. Audouard, L. Brossard, T. G. Prokhorova, E. B. Yagubskii and E. Canadell
Magnetic oscillations in β "-(BEDT-TTF) $_4$ (NH $_4$)[Fe(C $_2$ O $_4$) $_3$] \cdot DMF: Fermi surface study and frequency mixing.

J. Y. Fortin, E. Perez and A. Audouard
Magnetic oscillations and frequency mixing in a two-band conductor.

J. Billette, F. Lecouturier, O. Portugall
Experimental analysis of mechanical and electrical aging in pulsed magnets.

C. Strohm, G.L.J.A. Rikken and P. Wyder
Magneto-transverse phonon transport.

D. Smirnov, S. Raymond, S. Studenikin, A. Babinski, J. Leotin, P. Frings, M. Potemski, A. Sachrajda
Electronic structure of InAs/GaAs self-assembled quantum dots studied by high-excitation luminescence in magnetic fields up to 73T.

Communications sans acte:

G. A. Mousdis, G. C. Papavassiliou, G. Anyfantis, N. Psaroudakis, A. Terzis, K. Raptopoulou, N. Asimomitis, D. Papahatjis, K. Murata, J. P. Ulmet, D. Vignolles
Some new conducting crystals based on tetrathiafulvalenes and metals metal -1,2 -dithiolenes. (NATO Advanced Study Institute - Organic Conductors, Superconductors and Magnets : From synthesis to Molecular Electronics - Corfu (Avril 2003)).

H. Guyot, H. Balaska, J. Dumas, J. Marcus, D. Vignolles, I. Sheikin, A. Audouard, L. Brossard, C. Schlenker (communication orale),
Transition sous champ magnétique intense dans le conducteur quasi-bidimensionnel à onde de densité de charge $\text{KMo}_6\text{O}_{17}$. (GDR Oxydes - Caen (Mai 2003))

M. Nardone, A. Audouard, D. Vignolles, L. Brossard
Hydrostatic pressure anvil cell for electron transport measurement up to 1 GPa under high magnetic field down to helium temperature. (International conference on high pressure science and technology – Bordeaux (Juillet 2003)).

M. Nardone, A. Audouard, D. Vignolles, L. Brossard
Hydrostatic pressure anvil cell for electron transport measurement up to 1 GPa under high magnetic field down to helium temperature.. (Research in High Magnetic Fields, Toulouse (2003))

D. Vignolles, M. J. Naughton (communication orale)
Cantilever magnetometry in pulsed magnetic field. (Alfa Meeting (Advanced materials in high magnetic fields) - Toulouse (Juillet 2003))

G.L.J.A. Rikken,
Recent advances in Magneto-optics, Seminaire Laboratoire Kastler-Brossel (ENS), 14/1/2003.

G.L.J.A. Rikken

Symmetriebrechung in Magnetfeld, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden, 26 août 2003.

B. Raquet, G. Fedorov, B. Lassagne, M. Sagnes, JM Broto, E. Flahaut, Ch. Laurent, Ch. Vieu, Th. Ondarçuhu

Transport quantique dans un nanotube de carbone : Etude sous champ magnétique intense, GdR Nanotube Lyon Oct. 2003.

B. Raquet, JM Broto, G. Fedorov, B. Lassagne, M. Sagnes

Electronic properties of Carbon nanotubes in high magnetic field, Summer school "Advanced materials in high magnetic fields" ALFA, Chihuahua Mexico April 2003.

JM Broto, B. Raquet

Physic under high magnetic field at the LNCMP, Summer school "Advanced materials in high magnetic fields" ALFA, Chihuahua Mexico April 2003.

B. Raquet

Quantum magnetism under high magnetic field, 6h hours lectures. Summer School on "Magnetic materials under high magnetic field" (ALFA program) Merida - Venezuela, June 2003.

V. Samuilov, J. Galibert, K. Yoon, C. Khrisnan, J. Sokolov, M. Rafailovich

Electronic transport in self-assembled 2-D layers of metal nanocrystals, Réunion GDR "Physique Quantique Mésoscopique" Aussois 22-25 septembre 2003

JM Broto

Electronic transport under high magnetic field, 6h hours lectures. Summer School on "Magnetic materials under high magnetic field" (ALFA program) Merida - Venezuela, June 2003.

H. Rakoto

Experimental technique of measurements in pulsed magnetic field, 1h hour lecture, 6 h practice. Summer School on "Magnetic materials under high magnetic field" (ALFA program) Merida - Vénézuéla, June 2003.

M. Costes

Transport and magnetic properties in one dimensional A_3ABO_6 , Réunion ALFA, Toulouse, 2003

M. N. Baibich, E. Snoeck, B. Raquet, A. B. Antunes and J. M. Broto

Giant magnetoresistance in terbium films, International Conference on Magnetism, Rome, Italie, July 2003

J.M. Broto

Possibilités expérimentales au LNCMP – Etude des propriétés électroniques de nanotubes de carbone individuels sous champ magnétique intense. Université Paris VI -LPMC Septembre 2003

J.M. Broto

Propriétés de transport électronique de cnt individuels – résultats expérimentaux sous champs magnétiques intenses, Journée Thématique, CNES Nanotubes de Carbone, de la curiosité de laboratoire aux applications spatiales, 23 Septembre 2003. CNES Toulouse

M.N. Baibich, B. Raquet, J.M. Broto, H. Rakoto, M. Costes, S. Lambert and A. Maignan

Dynamics effects on the magneto-conductivity of quasi-one dimensional single crystals, RHMF Toulouse July 2003

M. N. Baibich, E. Snoeck, B. Raquet, A. B. Antunes and J. M. Broto

Giant magnetoresistance in half-metallic terbium, ICMFS 18th International Colloquium of Magnetic Films and Surfaces 22 25 Juillet 2003, Madrid Espagne

Conférences invitées

F. Lecouturier, K. Spencer, L. Thilly, J.D. Embury

Perspectives for Cu/SS macrocomposite and Cu/X nanofilamentary conductors used in non-destructive high-field pulsed magnets under cryogenic conditions, A paraître dans Physica B (Research in High Magnetic Fields, Toulouse, 20-23 July 2003)

G.L.J.A. Rikken

Chirality and magnetic fields, Chirality in Physics and Chemistry, KU Leuven, 23-24 mai 2002.

G.L.J.A. Rikken

Magneto-chiral anisotropy, Annual Meeting GDR Nanotubes, Grenoble 12-13 juin 2002.

G.L.J.A. Rikken, Advances in Magneto-optics, Hot Topics in Photonics, Photonics Fabrication Europe, Bruges 28-29 octobre 2002.

G.L.J.A. Rikken

Recent advances in Magneto-optics, New Magneto-science V, Tsukuba 6-8 novembre 2002.

B. Raquet, JM Broto, G. Fedorov, B. Lassagne, M. Sagnes, T. Ondarçuhu, Ch. Laurent, E. Flahaut, Ch. Vieux, F. Carcenac

High magnetic field electronic transport in individual carbon nanotube. VI Latin American Workshop on Magnetism, Magnetic Materials and their Applications, Chihuahua (Mexico) April 2003.

J. Vanacken

Transport Properties of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Epitaxial Thin Films in High Magnetic Fields, Third European Conference on Vortex Matter in Superconductors, Crete - Grèce, -28 September, 2003

J. Vanacken

Magnetization measurements on molecular magnets, First bilateral workshop on Design and Use of Pulsed Field Magnets, K.U. Leuven, Belgique, November 21-23, 2003.

J. Vanacken

Transport Properties of High Tc superconductors in high magnetic fields, First bilateral workshop on Design and Use of Pulsed Field Magnets, K.U. Leuven, Belgique, November 21-23, 2003.