

Physique de la matière condensée

M. Antoine GEORGES, professeur

ENSEIGNEMENT AU COLLÈGE DE FRANCE

Leçon inaugurale

La leçon inaugurale de la chaire a été prononcée le jeudi 8 octobre 2010. Le texte de cette leçon, intitulé « De l'atome au matériau. Les phénomènes quantiques collectifs » est paru en novembre aux éditions Fayard.

Cours et séminaire : Des oxydes supraconducteurs aux atomes froids : la matière à fortes corrélations quantiques

L'enseignement proprement dit s'est déroulé en mai et juin 2010, sur le thème : « Des oxydes supraconducteurs aux atomes froids : la matière à fortes corrélations quantiques ». Cette première année d'enseignement a été conçue comme une introduction à la physique des systèmes quantiques à fortes corrélations, dans une perspective large. Plusieurs types de systèmes physiques ont été abordés : nanostructures de type « points quantiques », atomes froids dans les réseaux optiques, oxydes de métaux de transition. On a cherché à mettre en lumière les phénomènes et concepts essentiels communs à ces systèmes : blocage de Coulomb, transition de Mott, descriptions de quasiparticules et leurs limites.

Les deux premiers cours (5 mai, 12 mai) ont porté sur les modèles d'impuretés quantiques, de type modèle Kondo. Originellement introduits pour décrire les impuretés magnétiques dans les métaux, ces modèles ont connu un regain d'intérêt récent, en liaison avec la physique du blocage de Coulomb dans les nanostructures d'une part, et dans le contexte de la théorie de champ moyen dynamique des systèmes à fortes corrélations électroniques d'autre part. Deux séminaires ont été donnés en liaison avec ces cours, par Olivier Parcollet (IPhT, CEA-Saclay) sur les « Modèles d'impuretés quantiques : méthodes numériques et applications », et par

Serge Florens (Institut Néel, CNRS, Grenoble) sur les « Effets Kondo exotiques dans les nanostructures ».

Le troisième cours (17 mai) a été consacré au cas le plus simple dans lequel des interactions répulsives induisent une transition entre état itinérant et état localisé dans un système étendu : le modèle de Hubbard bosonique et la transition entre état superfluide et état isolant de Mott. Les applications de ce modèle aux atomes ultra-froids bosoniques piégés dans un réseau optique ont été brièvement présentées, ainsi que l'observation expérimentale de cette transition dans ce contexte. Matthias Troyer (ETH-Zurich) a donné un séminaire en liaison avec ce cours, portant sur : « Superfluidity near the Mott transition of cold bosonic atom: validating a quantum simulator ».

Le cours du 26 mai a été consacré à quelques aspects essentiels de la théorie des liquides de Fermi. On a insisté en particulier sur la description des excitations du système en termes de « quasiparticules », en présentant les caractéristiques essentielles de ces excitations : dispersion (masse effective), durée de vie et poids spectral. On a montré comment les progrès de la spectroscopie de photoémission résolue en angle (ARPES) permettent aujourd'hui une imagerie directe de ces excitations, comme l'a illustré le séminaire donné par Véronique Brouet (LPS-CNRS et université d'Orsay) le 2 juin sur le thème « Les nouveaux supraconducteurs au fer vus par photoémission résolue en angle ». Des développements récents de la physique des liquides de Fermi bidimensionnels dans le contexte de l'Helium 3 liquide ont été présentés par Henri Godfrin (Institut Néel, CNRS, Grenoble) dans un séminaire donné le 26 mai.

Une introduction à la structure et aux propriétés électroniques des oxydes de métaux de transition a été donnée dans le cours du 2 juin. On a insisté sur la famille importante des pérovskites, rappelé les éléments principaux de la théorie du champ cristallin, et illustré quelques notions essentielles de la structure électronique de ces matériaux sur l'exemple de titanates et vanadates. Le séminaire d'Antoine Maignan (CRISMAT, Caen), donné le 9 juin et portant sur « Oxydes des métaux de transition : réseaux carrés et triangulaires pour générer de nouvelles fonctionnalités » est venu apporter le regard du chimiste sur la chimie et la physique de quelques familles d'oxydes, à travers des développements récents.

Le cours des 9 et 16 juin ont porté sur la physique de la transition métal-isolant de Mott, essentielle pour comprendre les propriétés physiques de très nombreux oxydes de métaux de transition. Les grandes descriptions théoriques de ce phénomène ont été présentées : théorie de Brinkman et Rice, théorie du champ moyen dynamique et ses conséquences physiques. De nombreux aspects expérimentaux ont été présentés. Un séminaire présenté par Andrew J. Millis (Columbia University) sur le thème « Illuminating the Strong Correlation Problem: optical conductivity of manganites, nickelates and cuprates » a permis de confronter les propriétés d'oxydes tridimensionnels à celles des cuprates supraconducteurs, à travers leurs propriétés optiques.

Le dernier cours (23 juin) a porté sur quelques effets liés aux interactions entre orbitales dans les oxydes. Après une introduction rappelant les travaux de Slater et

Racah sur les multiplets atomiques, on a présenté des situations dans lesquelles le champ cristallin (qui tend à polariser les populations orbitales) et le couplage de Hund (qui tend au contraire à une compensation de ces populations) sont en compétition. Il a été suggéré que la physique de nombreux métaux de transition de la couche 4d est dominée par le couplage de Hund, et présente de ce fait des effets de fortes corrélations alors que les effets de type Mott-Hubbard sont moins sensibles dans ces matériaux en raison des plus faibles valeurs de l'interaction de Coulomb écrantée. Dans un séminaire intitulé : « Spin-orbit physics in the Mott regime », Leon Balents (University of California, Santa Barbara) a montré comment, pour les oxydes de métaux de transition de la couche 5d, c'est cette fois le couplage spin-orbite qui est à l'origine de fortes corrélations électroniques.

ORGANISATION DE COLLOQUES

Dans le cadre des activités de la chaire, un colloque a été organisé le 9 octobre 2010, en liaison avec la leçon inaugurale prononcée la veille. Ce colloque, intitulé « Matériaux à fortes corrélations quantiques : questions d'actualité » a réuni une centaine de participants et sept orateurs invités (T. Giamarchi, université de Genève ; G. Kotliar, Rutgers University ; C. Lhuillier, université Pierre et Marie Curie ; A. J. Millis, Columbia University ; C. Proust, CNRS Toulouse ; S. Sachdev, Harvard University ; C. Salomon, ENS & CNRS Paris. Les informations sur ce colloque sont disponibles sur le site web de la chaire.

La chaire a de plus contribué à l'organisation de la conférence « Edge Topics in Correlated Materials » (17-19 mai 2010), dont une séance s'est tenue au Collège de France (voir : <http://users.lps.u-psud.fr/Parisedge2010/>).

AUTRES ENSEIGNEMENTS

Enseignements à l'école Polytechnique. Cours de niveau master-1 « Physique quantique des électrons dans les solides » (A. Georges, S. Biermann) ; Enseignements de niveau master-1 « Matériaux fonctionnels » et « Couches minces fonctionnelles et surfaces actives : recherche et innovation » (S. Biermann, T. Gacoïn dans le cadre de la chaire école Polytechnique-ESPCI-Saint Gobain).

Enseignement au master « Concepts Fondamentaux de la Physique ». Cours « Fermions et bosons fortement corrélés » (A. Georges, O. Parcollet).

Enseignements dans le cadre d'écoles d'été. S. Biermann, juin 2010 : école « Matériaux et interactions en compétition » (GDR-MICO), Aussois ; A. Georges, juillet 2010 : cours à l'école de Physique des Houches dans le cadre de la session « Physique à N corps avec des gaz ultra-froids » (organisateur : C. Salomon, G. Shlyapnikov).

ACTIVITÉS DE RECHERCHE DE L'ÉQUIPE

Équipe de recherche : « Matériaux quantiques à fortes corrélations », Centre de physique théorique (CPHT, CNRS UMR-7644), école Polytechnique, Palaiseau.

Membres (2009-2010) : Silke Biermann, Antoine Georges, Corinna Kollath (permanents) ; Donat Adams, Markus Aichhorn, Peter Barmettler, Jean-Sébastien Bernier, Michele Casula, Lorenzo De Leo, Michel Ferrero, Jernej Mravlje (postdocs) ; Cyril Martins, Loïg Vaugier (doctorants).

Site web : <http://www.cpht.polytechnique.fr/cpht/correl/mainpage.htm>

Les *matériaux à fortes corrélations quantiques* sont caractérisés par l'échec des descriptions en termes de fonctions d'ondes de particules indépendantes. Cette situation est fréquente dans le cas de matériaux à bandes étroites, dans lesquels les électrons « hésitent » entre un comportement itinérant et un comportement localisé. C'est le cas des métaux de transition (couches 3d, 4d, 5d) et surtout de leurs oxydes, des composés de terres rares et d'actinides (couches 4f et 5f) et de nombreux solides moléculaires. De plus, les développements expérimentaux de ces dix dernières années dans le domaine des gaz atomiques ultra-froids permettent aujourd'hui de réaliser de véritables « solides artificiels » constitués par des atomes piégés dans un potentiel lumineux périodique (réseau optique). Ces nouveaux systèmes permettent d'explorer la physique des fortes corrélations quantiques avec un degré de contrôle et dans des régimes jusqu'alors inaccessibles.

Les activités de notre équipe de recherche s'organisent au sein de ce vaste domaine, autour de plusieurs directions différentes, depuis des aspects fondamentaux jusqu'à des questions liées aux propriétés de matériaux particuliers (parfois en liaison avec certaines applications).

Développement de méthodes théoriques pour le traitement des corrélations fortes

Les systèmes fermioniques en interaction soulèvent des difficultés théoriques considérables. Les approches numériques directes sont limitées, d'une part par la taille exponentielle de l'espace de Hilbert, d'autre part (pour les simulations Monte Carlo) par le fait que le signe des amplitudes fermioniques n'est pas constant. Pour cette raison, la recherche d'approches efficaces, tant analytiques que numériques, constitue un problème central de la physique théorique. Notre équipe de recherche est très activement impliquée dans ces développements méthodologiques, qui servent de fondation à la plupart de nos travaux consacrés à des systèmes physiques particuliers.

Au cours des vingt dernières années, la « théorie du champ moyen dynamique » (en abrégé DMFT pour « Dynamical Mean-Field Theory ») a permis des avancées notables dans notre compréhension des systèmes de fermions en interaction. Les fondements de cette approche ont été établis au début des années 1990. Le principe directeur de cette méthode est de décrire un solide comme un « atome effectif » plongé dans un milieu auto-cohérent avec lequel il peut échanger des électrons.

Parmi les premiers succès de cette approche, on peut mentionner en particulier une description théorique détaillée de la transition métal-isolant de Mott, prenant en compte à la fois les quasiparticules et les excitations incohérentes et permettant de décrire les transferts de poids spectral entre ces deux types d'excitations (détectés par les mesures d'optique ou de photoémission).

Une large part des développements méthodologiques effectués dans notre équipe est consacrée à des extensions de cette méthode, soit pour en étendre le domaine d'applicabilité, soit pour en dépasser les limitations en étendant ce cadre théorique.

L'une des extensions à laquelle nous avons consacré de nombreux travaux récents est motivée par l'étude du modèle de Hubbard bidimensionnel, et par ses applications à la physique des oxydes de cuivre supraconducteurs (cuprates) « à haute température critique ». Cette approche consiste à généraliser l'approche DMFT à une « molécule » constituée non plus d'un seul site, mais d'un petit amas de taille finie couplé de manière auto-cohérente à son environnement. Une telle généralisation est essentielle pour décrire les corrélations spatiales de portée finie (par exemple les corrélations magnétiques) qui jouent un rôle essentiel dans la physique des cuprates. Nous avons en particulier poursuivi une approche originale, consistant à considérer un amas de taille minimale (deux sites) ce qui permet des calculs à très basse température et une meilleure compréhension qualitative du problème (Ferrero *et al.*, 2009, 2010).

De ces études se dégagent un certain nombre de conclusions qui sont robustes (c'est-à-dire qui ne sont pas limitées de manière cruciale par la résolution finie dans l'espace des impulsions et par la taille de l'amas, *cf.* Gull *et al.*, 2010). La principale d'entre elles est que le dopage d'un isolant de Mott bidimensionnel suit une voie originale, dans laquelle les quasiparticules se développent sélectivement dans les régions diagonales (« nodales ») de la zone de Brillouin. Les « antinœuds » développent quant à eux un « pseudogap », conséquence de la formation de singulets de courte portée. Ce pseudogap se manifeste dans ces calculs par l'apparition d'une transition de Mott sélective en impulsion. Ces conclusions sont en bon accord avec les observations expérimentales sur les cuprates, et permettent par exemple de décrire la formation d'arcs de Fermi et le comportement de la conductivité inter-plans (Ferrero *et al.*, 2010). Ces approches ont cependant une résolution limitée en impulsion, et le développement de nouvelles approches permettant de surmonter cette limitation est un enjeu majeur de la théorie des systèmes à fortes corrélations actuellement.

Cette différenciation entre nœuds et antinœuds est également observée dans l'état supraconducteur. Une collaboration initiée en 2006 avec l'équipe de spectroscopie Raman de l'université Denis Diderot (A. Sacuto *et al.*) a permis de mettre en évidence l'existence de deux échelles d'énergie, associée à ces deux régions de l'espace réciproque. Cette collaboration se poursuit aujourd'hui avec comme objectif de mieux comprendre l'origine de ces deux échelles. Nous avons récemment suggéré (Blanc *et al.*, 2010) qu'un facteur essentiel est la réduction rapide de la zone de cohérence des quasiparticules de Bogoliubov lorsque le dopage diminue.

Des modèles aux matériaux réels : intégration de méthodes à N corps aux calculs de structure électronique

Les calculs de structure électronique pour les matériaux à fortes corrélations électroniques ne peuvent se contenter du cadre de la théorie de la fonctionnelle de densité dans l'approximation de la densité locale (LDA). Alors qu'elle est si fructueuse pour de nombreux matériaux, cette approximation ne conduit dans ces cas ni à une description satisfaisante des excitations électroniques ni même des propriétés de l'état fondamental (volume d'équilibre, module élastique).

Un développement majeur, depuis une dizaine d'années, a été l'intégration de la méthode du champ moyen dynamique aux calculs de structure électronique utilisant la théorie de la fonctionnelle de densité pour l'étude réaliste de matériaux fortement corrélés. Cette intégration a nécessité de nombreux développements techniques, dans le cadre de codes numériques souvent assez sophistiqués. Cette recherche a un aspect interdisciplinaire puisqu'elle combine les méthodes de la mécanique quantique des systèmes en interaction avec celles de la structure électronique des solides.

Un projet de longue haleine mené à bien dans notre équipe (Aichhorn *et al.*, 2009) a été l'intégration de l'approche DMFT dans le cadre d'une méthode de calcul de structure électronique de haute précision (ondes planes augmentées FLAPW, code Wien2k). Notre approche utilise des fonctions de Wannier permettant de sélectionner les orbitales sur lesquels les effets à N corps sont traités. Ces orbitales permettent de marier l'intuition du chimiste et les méthodes quantitatives de la physique. Notre implémentation utilise de plus – dans le cadre d'une étroite collaboration avec O. Parcollet (IPhT, CEA-Saclay) – tous les avantages des algorithmes de Monte Carlo quantique en temps continu, dont le développement récent a permis des progrès remarquables dans la solution du problème local qui est au cœur de la méthode DMFT.

Deux autres développements méthodologiques dans le domaine de la structure électronique des matériaux ont été récemment poursuivis dans notre équipe. D'une part, en collaboration avec deux équipes japonaises (Tsukuba, Tokyo), le calcul des interactions de Coulomb écrantées a été abordé dans le cadre d'une méthode de type RPA *ab initio*. D'autre part, une méthode de calcul des spectres optiques des matériaux corrélés a été mise au point et appliquée à différents aspects des propriétés optiques du dioxyde de vanadium VO₂ et à leurs applications aux « verres intelligents » (Tomczak et Biermann, 2009).

Études de matériaux à fortes corrélations électroniques : métaux de transition, terres rares, et leurs composés

Outre les études sur les cuprates supraconducteurs et sur VO₂ mentionnées plus haut, notre équipe poursuit des travaux sur différents matériaux à fortes corrélations électroniques présentant des propriétés physiques originales. Nous citons ici deux exemples choisis parmi les études menées en 2009-2010.

Nous avons cherché à déterminer l'importance des corrélations électroniques dans les nouveaux supraconducteurs à base de fer, récemment découverts (2008). Notre conclusion (Aichhorn *et al.*, 2009) est que ces matériaux sont dans un régime de corrélation intermédiaire, permettant de les considérer comme des métaux itinérants proches d'un état magnétique. Nos études suggèrent également (Aichhorn *et al.*, 2010) que le composé FeSe présente des effets de corrélation plus fortes, ce qui semble en accord avec les résultats de spectroscopie de photoémission.

L'arséniure d'erbium (ErAs) est un semi-métal dont la structure permet une déposition en couche mince sur GaAs et présente de ce fait des applications potentielles intéressantes en électronique. Sa nanostructuration conduit également à des propriétés thermoélectriques remarquables. Bien que les électrons f restent localisés dans ce matériau, nous avons pu montrer que leur présence influence de manière déterminante la structure électronique de basse énergie de ce semi-métal et qu'une description appropriée de la structure en multiplets atomiques de ces électrons permet d'expliquer les expériences d'oscillations quantiques (Pourovskii *et al.*, 2009).

Atomes ultra-froids dans les réseaux optiques

Une nouvelle frontière de la physique de la matière condensée a été récemment ouverte avec l'étude des atomes froids en forte interaction. Bien que ces gaz soient dilués, il est néanmoins possible d'accéder à des régimes de fortes corrélations en utilisant d'une part la possibilité de faire varier la longueur de diffusion grâce aux résonances de Feshbach et d'autre part le piégeage de ces atomes froids dans le potentiel périodique d'un réseau optique. Ces études se sont beaucoup développées avec en particulier l'observation de la transition de Mott d'atomes bosoniques (2002), et plus récemment, du régime de Mott d'atomes fermioniques (équipes de T. Esslinger à l'ETHZ et de I. Bloch à Mainz).

Nous résumons ici brièvement quelques-unes des directions de recherche poursuivies par notre équipe dans ce domaine. Certaines de ces études s'inscrivent dans le contexte de collaborations avec plusieurs groupes expérimentaux (LKB-ENS, ETHZ, Cambridge).

– *Thermodynamique et thermométrie.* Nos calculs des propriétés thermodynamiques de fermions en interaction piégés dans un réseau optique tridimensionnel (De Leo *et al.*, 2010) ont permis une comparaison détaillée (Jördens *et al.*, 2010) aux expériences menées dans l'équipe de T. Esslinger à l'ETHZ. La conclusion de cette étude est que les températures actuellement atteintes en présence du réseau sont de l'ordre de grandeur de l'amplitude de transfert par effet tunnel entre sites.

– *Refroidissement.* Le refroidissement d'atomes fermioniques piégés dans le réseau constitue donc un défi majeur des expériences en cours, défi qu'il est essentiel de relever pour permettre l'étude des régimes les plus intéressants du diagramme de phases de ces systèmes. Nous avons proposé (Bernier *et al.*, 2009) une méthode de refroidissement fondée sur la création d'une zone de faible entropie en centre de piège, séparée par des barrières de potentiel de zones servant

de réservoirs d'entropie. Cette méthode devrait pouvoir être mise en œuvre en générant un potentiel de piégeage approprié (par des méthodes optiques). L'efficacité théorique estimée devrait permettre d'améliorer le refroidissement de ces systèmes par un ordre de grandeur.

– *Spectroscopies*. Le développement de nouvelles méthodes spectroscopiques permettant de sonder les propriétés physiques de ces systèmes est au cœur de nos travaux dans ce domaine. Nous avons proposé il y a quelques années, en collaboration avec l'équipe du LKB-ENS et I. Carusotto (Trento) une méthode permettant d'étudier les quasiparticules de manière résolue en impulsion et en énergie par diffusion Raman stimulée ou spectroscopie radio-fréquence. Cette méthode constitue un analogue de la spectroscopie de photoémission résolue en angle (ARPES) en physique des solides. La faisabilité expérimentale de cette méthode a été démontrée par l'équipe de D. Jin à Boulder. Dans un travail récent (Bernier *et al.*, 2010), nous montrons la possibilité d'effectuer par cette méthode une thermométrie directe de fermions en interaction faible dans le réseau. Nous montrons également comment les spectres rf et Raman révèlent les caractéristiques essentielles de phases de fermions en interaction répulsive.

Dans un autre travail récent (Dao, Kollath *et al.*, 2009), nous proposons une méthode optique « pompe-sonde » permettant la mesure des corrélations dynamiques dans un gaz de fermions bidimensionnel. La méthode consiste à amener le système (pompe) dans un état qui est une superposition de son état initial et d'un état excité, puis de mesure sa réponse à une impulsion-sonde après un délai temporel variable.

PRINCIPALES COLLABORATIONS

De nombreux travaux de notre équipe de recherche s'inscrivent dans le cadre de collaborations, avec des équipes théoriques ou expérimentales.

Collaborations au niveau national

ENS, Laboratoire Kastler-Brossel (J. Dalibard, C. Salomon, F. Gerbier *et coll.*).

CEA-Saclay, IPhT (O. Parcollet, G. Biroli).

CEA-Saclay, SPEC (F. Rullier-Albenque).

CEA-DAM, Bruyères le Châtel (B. Amadon).

Université Denis Diderot, Paris, Laboratoire Matériaux et phénomènes quantiques (équipe d'A. Sacuto *et coll.*).

Université Paris-Sud, Orsay, Laboratoire de Physique des solides (V. Brouet, M. Marsi *et coll.*).

Collaborations internationales

États-Unis

Rutgers University (équipe de G. Kotliar, collaboration financée par le Partner University Fund, la National Science Foundation et le CNRS, programme LIA).

Columbia University (équipe de A.J. Millis).

Harvard University (équipe de E. Demler, collaboration financée par le programme DARPA-OLE).

University of California, San Diego (D. Basov).

University of California, Santa Barbara (N. Spaldin *et coll.*).

Virginia Tech (V. Scarola).

Japon

University of Tokyo (équipes de M. Imada et R. Arita, collaboration financée par le programme JST-CREST).

Tsukuba, RICS-AIST (T. Miyake, F. Aryasetiawan, collaboration financée par le programme JST-CREST).

Europe

Université de Genève, Suisse (équipe de T. Giamarchi).

ETH-Zurich, Suisse (équipes de M. Troyer et de T. Esslinger).

Cambridge University, UK (équipe de M. Köhl).

Universität Hamburg, Allemagne (équipes de A. Lichtenstein et F. Lechermann).

Université de Linköping, Suède (L. Pourovskii).

Université de Trento, Italie (I. Carusotto).

Université Lomonossov, Moscou, Russie (A. Rubtsov).

PUBLICATIONS DE L'ÉQUIPE (2009-2010)

Tomczak J.M., Haule K., Miyake T., Georges A. & Kotliar G., « Thermopower of correlated semiconductors: Application to FeAs₂ and FeSb₂ », *Phys. Rev. B* 82, 2010, 085104.

Piefke C., Boehnke L., Georges A. & Lechermann F., « Considerable non-local electronic correlations in strongly doped Na_xCoO₂ », *ArXiv e-prints*, 2010, 1006.4493.

Kollath C., Roux G., Biroli G. & Läuchli A.M., « Statistical properties of the spectrum of the extended BoseHubbard model », *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 8, 2010, 11.

Jördens R., Tarruell L., Greif D., Uehlinger T., Strohmaier N., Moritz H., Esslinger T., De Leo L., Kollath C., Georges A., Scarola V., Pollet L., Burovski E., Kozik E. & Troyer M., « Quantitative Determination of Temperature in the Approach to Magnetic Order of Ultracold Fermions in an Optical Lattice », *Phys. Rev. Lett.*, 104, 2010, 180401.

Hanke W., Kiesel M.L., Aichhorn M., Brehm S. & Arrighoni E., « The 3-Band Hubbard-Model versus the 1-Band Model for the high-T_c Cuprates: Pairing Dynamics, Superconductivity and the Ground-State Phase Diagram », *ArXiv e-prints*, 2010, 1007.5431.

Gull E., Ferrero M., Parcollet O., Georges A. & Millis A.J., « Momentum space anisotropy and pseudogaps: a comparative cluster dynamical mean field analysis of the doping-driven metal-insulator transition in the two dimensional Hubbard model », *ArXiv e-prints*, 2010, 1007.2592.

Ferrero M., Parcollet O., Georges A., Kotliar G. & Basov D.N., « Interplane charge dynamics in a valence-bond dynamical mean-field theory of cuprate superconductors », *Phys. Rev.*, B 82, 2010, 054502.

De Leo L., Bernier J.-S., Kollath C., Georges A. & Scarola V.W., « Thermodynamics of the three-dimensional Hubbard model: Implications for cooling cold atomic gases in optical lattices », *ArXiv e-prints*, 2010, 1009.2761.

Dao T.-L., Kollath C., Carusotto I. & Köhl M., « All-optical pump-and-probe detection of two-time correlations in a Fermi gas », *Phys. Rev.*, A 81, 2010, 043626.

Brouet V., Rullier-Albenque F., Marsi M., Mansart B., Aichhorn M., Biermann S., Faure J., Perfetti L., Taleb-Ibrahimi A., Le Fèvre P., Bertran F., Forget A. & Colson D., « Significant Reduction of Electronic Correlations upon Isovalent Ru Substitution of BaFe₂As₂ », *Phys. Rev. Lett.*, 105, 2010, 087001.

Blanc S., Gallais Y., Cazayous M., Measson M.A., Sacuto A., Georges A., Gu G.D., Wen J.S. & Xu Z.J., « Suppressed antinodal coherence with a single d-wave superconducting gap leads to two energy scales in underdoped cuprates », *ArXiv e-prints*, 2010, 1004.2404.

Bernier J.-S., Dao T.-L., Kollath C., Georges A. & Cornaglia P.S., « Thermometry and signatures of strong correlations from Raman spectroscopy of fermionic atoms in optical lattices », *Phys. Rev.*, A 81, 2010, 063618.

Aichhorn M., Biermann S., Miyake T., Georges A. & Imada M., « Theoretical evidence for strong correlations and incoherent metallic state in FeSe », *Phys. Rev.*, B 82, 2010, 064504.

Tomczak J.M. & Biermann S., « ‘Optical properties of correlated materials - Or why intelligent windows may look dirty », *Physica Status Solidi B Basic Research*, 246, 2009, 1996-2005.

Tomczak J.M. & Biermann S., « Optical properties of correlated materials: Generalized Peierls approach and its application to VO₂ », *Phys. Rev.*, B 80, 2009, 085117.

Tomczak J.M. & Biermann S., « Multi-orbital effects in optical properties of vanadium sesquioxide », *Journal of Physics Condensed Matter*, 21, 2009, 064209.

Tomczak J.M. & Biermann S., « Materials design using correlated oxides: Optical properties of vanadium dioxide », *Europhysics Letters*, 86, 2009, 37004.

Thielemann B., Rüegg C., Kiefer K., Rønnow H.M., Normand B., Bouillot P., Kollath C., Orignac E., Citro R., Giamarchi T., Läuchli A.M., Biner D., Krämer K.W., Wolff-Fabris F., Zapf V.S., Jaime M., Stahn J., Christensen N.B., Grenier B., McMorro D.F. & Mésot J., « Field-controlled magnetic order in the quantum spin-ladder system (H₂pip)₂CuBr₄ », *Phys. Rev.*, B 79, 2009, 020408.

Saha-Dasgupta T., Andersen O.K., Nuss J., Poteryaev A.I., Georges A. & Lichtenstein A.I., « Electronic structure of V₂O₃: Wannier orbitals from LDA-NMTO calculations », *ArXiv e-prints*, 2009, 0907.2841.

Rubtsov A.N., Katsnelson M.I., Lichtenstein A.I. & Georges A., « Dual fermion approach to the two-dimensional Hubbard model: Antiferromagnetic fluctuations and Fermi arcs », *Physical Review B (Condensed Matter and Materials Physics)*, 79, 2009, 045133.

Pourovskii L.V., Delaney K.T., de Walle C.G.V., Spaldin N.A. & Georges A., « Role of Atomic Multiplets in the Electronic Structure of Rare-Earth Semiconductors and Semimetals », *Physical Review Letters* 102, 2009, 096401.

Ferrero M., Cornaglia P.S., Leo L.D., Parcollet O., Kotliar G. & Georges A., « Valence bond dynamical mean-field theory of doped Mott insulators with nodal/antinodal differentiation », *EPL (Europhysics Letters)*, 85, 2009, 57009.

Ferrero M., Cornaglia P.S., De Leo L., Parcollet O., Kotliar G. & Georges A., « Pseudogap opening and formation of Fermi arcs as an orbital-selective Mott transition in momentum space », *Phys. Rev.*, B 80, 2009, 064501.

Dao T.-L., Carusotto I. & Georges A., « Probing quasiparticle states in strongly interacting atomic gases by momentum-resolved Raman photoemission spectroscopy », *Phys. Rev.*, A 80, 2009, 023627.

Bernier J.-S., Kollath C., Georges A., Leo L.D., Gerbier F., Salomon C. & Köhl M., « Cooling fermionic atoms in optical lattices by shaping the confinement », *Physical Review A (Atomic, Molecular, and Optical Physics)*, 79, 2009, 061601.

Babadi M., Pekker D., Sensarma R., Georges A. & Demler E., « Non-equilibrium dynamics of interacting Fermi systems in quench experiments », *ArXiv e-prints*, 2009, 0908.3483.

Arrigoni E., Aichhorn M., Daghofer M. & Hanke W., « Phase diagram and single-particle spectrum of CuO_2 high-Tc layers: variational cluster approach to the three-band Hubbard model », *New Journal of Physics*, 11, 2009, 055066+.

Aichhorn M., Saha-Dasgupta T., Valenti R., Glawion S., Sing M. & Claessen R., « Momentum-resolved single-particle spectral function for TiOCl from a combination of density functional and variational cluster calculations », *Phys. Rev.*, B 80, 2009, 115129.

Aichhorn M., Pourovskii L., Vildosola V., Ferrero M., Parcollet O., Miyake T., Georges A. & Biermann S., « Dynamical mean-field theory within an augmented plane-wave framework: Assessing electronic correlations in the iron pnictide LaFeAsO », *Phys. Rev.*, B 80, 2009, 085101.

