



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport du comité d'experts

Unité de recherche :

Matériaux et Phénomènes Quantiques (MPQ)

– UMR 7162

de l'Université Denis Diderot



février 2008



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport du comité d'experts
Unité de recherche :
Matériaux et Phénomènes Quantiques
(MPQ)
– UMR 7162
de l'Université Denis Diderot



Section des unités
de recherche

Le Directeur

Jean-Jacques Aubert

février 2008



Rapport du comité d'experts

L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : Matériaux et Phénomènes Quantiques (MPQ)

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 7162

Nom du directeur : Mme Sylvie ROUSSET

Université ou école principale :

Université Denis Diderot - Paris 7

Autres établissements et organismes de rattachement :

CNRS

Date(s) de la visite :

22 - 23 novembre 2007



Membres du comité d'évaluation

Président :

M. Joël CIBERT, Institut Néel, CNRS, Grenoble

Experts :

Mme Marie-Jose CASANOVE, CEMES, CNRS, Toulouse

M. Jérôme FAIST, ETH Zurich

M. Jean-Michel GERARD, CEA Grenoble

M. Ariel LEVENSON, LPN, CNRS, Marcoussis

M. Wulf WULFHEKEL, Univ. Karlsruhe

M. Peter ZEPPENFELD, Univ. Linz

Expert(s) représentant des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD...) :

Mme Agnès BARTHELEMY, UMP CNRS/THALES, Palaiseau ; repr. CNU

M. Giancarlo FAINI, LPN, CNRS, Marcoussis ; repr. CN 06

Observateurs

Délégué scientifique de l'AERES :

Mme Margrit HANBÜCKEN

Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Guy COUSINEAU, Président

M. Richard LAGANIER, Vice Président Conseil Scientifique

Représentant(s) des organismes tutelles de l'unité :

Mme Dominique CHANDESRI, Directrice Scientifique Adjointe MPPU

Mme Liliane FLABBEE, Déléguée régionale Paris B



Rapport du comité d'experts

1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif, dont enseignants-chercheurs (27), chercheurs (9), ingénieurs (5), doctorants (29), techniciens et administratifs (3), post-docs et ATER (9)
- Nombre de HDR (19), nombre de HDR encadrant des thèses (13)
- Nombre de thèses soutenues et durée moyenne lors des 4 dernières années (12) durée moyenne 3 ans, nombre de thèses en cours (29), taux d'abandon (0), nombre de thésards financés (29)
- Nombre de membres bénéficiant d'une PEDR (12)
- Nombre de publiants (33)

2 • Déroulement de l'évaluation

Cette évaluation s'appuie sur les documents écrits (rapport administratif, rapport scientifique, fiches individuelles) et une visite de deux jours comprenant, un exposé préliminaire de la direction, cinq exposés "faits marquants" par les membres du laboratoire, les visites des équipes par les experts (en deux groupes), une rencontre avec les représentants du personnel, l'exposé de prospective et la discussion avec les tutelles (Directrice scientifique adjointe et Déléguée régionale du CNRS, Président et Directeur d'UFR de l'Université).

Le comité remercie la directrice, l'équipe de direction, et l'ensemble des contributeurs pour la qualité des documents fournis et l'excellente organisation de la visite.

3 • Analyse globale de l'unité, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

Les deux équipes de direction qui se sont succédées de façon harmonieuse ont réussi à créer et faire fonctionner un laboratoire de très haut niveau.

Après un temps de fonctionnement en tant que Fédération de Recherche (évaluée en 2004), le laboratoire MPQ a été créé en tant qu'UMR au 1er janvier 2005. L'effectif est passé de 21 à 44 permanents.

Le laboratoire s'est installé dans ses nouveaux locaux (bâtiment Condorcet, une partie des locaux restant utilisée par des équipes d'autres laboratoires en attente de leur installation définitive) cette année, avec un retard d'un an. Il est évidemment difficile de juger aussi bien du caractère inévitable de ce retard, que de son impact sur la formation d'équipes cohérentes et la mise en place des programmes expérimentaux. Les installations, parfois originales, apparaissent satisfaisantes. Il faut cependant souligner les demandes de tous que les problèmes pratiques restant soient réglés au plus vite (climatisations de salles d'expériences, parking, mais, surtout, une offre de restauration satisfaisante ouverte à toutes les catégories de personnels, doctorants compris, indispensable à la formation d'équipes cohérentes).

Les domaines de recherche incluent des aspects en lien direct avec les applications, aussi bien que des projets très fondamentaux avec parfois une prise de risque significative. Cette variété est illustrée par la grande



variété des sections (CNRS 04, 05, 06 ; CNU 28, 29, 30), qui pourrait même être encore plus large puisque l'activité de certaines équipes devrait intéresser les sections CNRS 08 et CNU 63. Le laboratoire contribue de façon importante aux instances de l'Université et du Comité National, participe aux réseaux scientifiques et technologiques (C'nano, réseau de salles blanches Paris-Centre, réseau Ile-de-France de microscopie électronique) ; il a des liens avec les grands équipements et certains laboratoires (SOLEIL, IEF, LPN), avec le milieu industriel (THALES) ; de nouveaux liens se créent de façon volontariste (LPA, UMP CNRS-THALES).

Le budget de MPQ comporte des subventions d'Etat dont le montant (150 k€ annuel) a peu évolué malgré l'augmentation des effectifs, des crédits spécifiques d'installation pour un montant presque équivalent, et une part de contrats en très forte augmentation (de 400 k€ en 2005 à 970 k€ en 2007).

4 • Analyse équipe par équipe et par projet

Equipe STM: Auto-organisation de nanostructures et STM

L'équipe STM est bien positionnée au sein du MPQ avec 9 permanents dont 6 jeunes chercheurs actifs sur les thématiques de l'auto-organisation et nanostructures de surfaces. Sur la base des résultats scientifiques (30 publications en 2004-2007 dans des journaux internationaux dont 3 PRL, trois thèses dont une en cours) l'équipe a su acquérir dans ces dernières années des crédits d'équipement supplémentaires de plus de 800 k€ permettant notamment le montage récent d'un nouveau STM à basse température avec possibilité de spectroscopie électronique locale et polarisée en spin.

L'équipe STM a obtenu des résultats remarquables sur la croissance de nanostructures de Co, Fe et Pt ordonnées à la surface de métaux nobles. Le choix astucieux d'une orientation vicinale de Au(111) a permis de stabiliser une nouvelle surstructure, et celle-ci a rendu possible la croissance de nano-plots magnétiques bien ordonnés et homogènes en taille, avec une densité dépassant 20 Teradots/in². Les plots de Co sur Au(788) constituent probablement les structures magnétiques les mieux ordonnées disponibles au niveau mondial, et leur découverte a été très remarquée dans la communauté internationale. Les nanostructures ont été caractérisées in situ par STM et effet Kerr magnéto-optique et des simulations par Monte-Carlo cinétique ont permis de déterminer les processus atomiques responsables de l'auto-organisation. En complément, des études de diffraction X en incidence rasante GIXD (pour l'analyse structurale) et de dichroïsme magnétique (pour les mesures magnétiques) ont été menées auprès de différents synchrotrons. Aussi remarquables sont les travaux en GIXD sur l'auto-organisation des facettes dans le système Ag/Cu(233). Dans ce contexte, les forts liens de l'équipe STM avec le synchrotron SOLEIL seront dans le futur extrêmement précieux. Le comité a été également impressionné par les travaux menés en collaboration étroite avec le LPM de Nancy concernant le confinement électronique dans le système Co/Au(788) ainsi que la transition de phase métal-isolant et les phénomènes de corrélation à l'interface Sn/Ge(111) en utilisant la spectroscopie locale (STS) et la photoémission résolue en angle.

Par ailleurs, les premières mesures de spectroscopie tunnel utilisant le nouveau montage STM à basse température (LT-STM) ont été réalisées sur des matériaux métalliques, semi-conducteurs, et organiques. L'instrument LT-STM permet à l'équipe de participer pleinement à la compétition internationale dans ce domaine. L'adjonction de pointes magnétiques permettra des études de spectroscopie dépendant du spin. Les projets de réaliser l'imagerie magnétique d'agrégats d'alliages magnétiques sont prometteurs; cependant, l'équipe a pris pleinement conscience de la nécessité d'aller au delà de l'imagerie: les projets de collaborations avec l'UMR CNRS-THALES, entre autres, sur l'électronique de spin à base d'agrégats et de molécules, semblent intéressants. Nous suggérons également de renforcer la collaboration entre les équipes MN2P et STM autour des nanostructures d'alliages magnétiques, en vue d'une comparaison entre les propriétés physiques d'agrégats 2D et 3D. Il pourrait également être intéressant de conjuguer les études des excitations magnétiques dans les nano-plots, menées par le groupe de théoriciens, et les efforts de l'équipe STM pour extraire les paramètres d'anisotropie magnétique des mesures de susceptibilité. Enfin, la collaboration envisagée avec TELEM sur le transport à travers une molécule unique permettra d'exploiter complètement les potentialités du nouveau LT-STM.



Equipe Matériaux Nanostructurés et NanoPlasmonique (MN2P)

L'équipe MN2P, 3 permanents (1Pr, 2 MC) et 3 doctorants, s'est focalisée ces dernières années sur deux thématiques majeures : les relations ordre-désordre en fonction de la taille et des traitements thermiques dans des particules bi-métalliques d'une part et l'optimisation de substrats métalliques plans ou nanostructurés pour la plasmonique d'autre part. L'équipe a donc une importante activité d'élaboration et dispose pour cela des techniques d'ablation laser pulsée et d'évaporation thermique dans un bâti ultra-vide. Elle est par ailleurs fortement investie dans la technique de microscopie électronique en transmission (TEM) nécessaire à l'étude morphologique, structurale et chimique des nanomatériaux élaborés, à toutes les échelles pertinentes. Une étude très complète de la transition ordre-désordre dans des particules de l'alliage magnétique CoPt, qui présente à l'état ordonné une structure anisotrope L_{10} , a fait l'objet d'une thèse (soutenance décembre 2007). De très beaux résultats ont également été obtenus sur des nanoparticules Cu-Ag dans lesquelles l'immiscibilité des deux métaux se traduit par un ordre chimique cœur-coquille comme cela a été montré simultanément en micro-Raman (coll. Equipe SQUAP) et en TEM. Dans le second axe, des substrats métalliques plans et nanostructurés ont été optimisés pour amplifier le signal de fluorescence dans des échantillons biologiques (puces à ADN). Ce résultat a fait l'objet d'une thèse (2007) et plusieurs autres développements de supports pour la bio-imagerie sont en cours (ANR EMPB 2006 « Plasmoside »). Un des autres projets forts de l'équipe vise l'élaboration de particules présentant un cœur d'oxyde de cuivre et une coquille d'argent pour leurs propriétés optiques et plasmoniques.

Impliquée dans différents programmes (2 Sesame, 1 C'Nano, 3 ANR), dans la valorisation (2 brevets et un prix innovation Denis Diderot) et dans l'Université, l'équipe MN2P s'investit également dans la communication grand public (émissions radiophoniques et plusieurs conférences). On note dans la période concernée 7 conférences invitées dont 2 internationales, une vingtaine d'articles dans des revues internationales.

La prospective de l'équipe est indissociable du projet de plate-forme TEM et sera donc commentée plus loin.

Plate-forme TEM : Microscopie électronique en transmission

Il s'agit d'un microscope muni d'un correcteur d'aberration sphérique de la lentille objectif, particulièrement intéressant pour l'étude de nanostructures et d'interfaces. Plusieurs laboratoires (ESPCI, IMPMC, INSP, CECM, LEM-ONERA...), réunis dans le cadre du réseau RIME de microscopie électronique en Ile de France, souhaitent également avoir un accès à ce type d'instrument. L'implantation au MPQ sur Paris VII répond tout d'abord à plusieurs critères « objectifs » qui sont :

- l'intérêt porté par l'université Paris-VII (3 laboratoires impliqués) qui a dégagé des locaux spécifiques complètement aménagés dans ce but (dalle anti-vibration, climatisation...),
- l'apport financier déjà constitué (pratiquement les 2/3 de la somme nécessaire) grâce au succès rencontré par les différents projets déposés pour cet équipement par le laboratoire et notamment sa composante MN2P,
- l'expérience de l'équipe MN2P en imagerie haute résolution et dans les techniques associées ainsi que les compétences qu'elle a développées tant dans l'imagerie filtrée qu'en tomographie électronique.

De toute évidence, le faible nombre de chercheurs spécialistes en TEM dans MPQ, ne peut, malgré leur expertise reconnue, justifier à lui seul la mise en place d'un tel instrument. Il faut que l'implication des autres laboratoires Paris VII se renforce peu à peu afin d'exploiter au mieux les 50% du temps dédié à l'université. Afin de gérer les 50% proposés à l'extérieur de l'université, le comité recommande la mise en place d'un comité comprenant des membres d'autres laboratoires ou universités.

Evolution de l'équipe MN2P : cette équipe doit faire des choix décisifs. Actuellement, les 3 membres de MN2P mènent de front les projets plasmoniques, la croissance de nanoparticules, et la microscopie électronique. Ils ont pris des responsabilités très lourdes au niveau régional sur le TEM, et doivent en tirer les conséquences. L'aspect croissance ne peut plus être prioritaire : ils devront de plus en plus utiliser des échantillons externes (ce qui ne doit pas les empêcher de définir leurs propres axes de recherche, mais davantage en relation avec le TEM et de moins en moins en lien avec leurs moyens de croissance ; un bon exemple de cette démarche est la thèse en commun avec l'équipe photonique). Le soutien par un recrutement IE ou IR est nécessaire. La plasmonique est très dépendante de projets et de compétences extérieurs, et



implique de maintenir les moyens de croissance actuels : on voit mal quelle peut être l'implication réelle du labo, d'autant plus qu'il n'y a qu'un chercheur sur ce sujet, et qu'un recrutement ne pourra pas être prioritaire.

Physique théorique de la Matière condensée (PTMC)

Les études théoriques à MPQ sont menées soit dans les équipes principalement expérimentales, soit dans l'équipe PTMC. Dans cette équipe, il s'agit de la poursuite d'études initiées antérieurement sur les quasi-cristaux et les modes magnétiques dans des nanostructures, et sur les matériaux ultra-durs. Cette équipe est numériquement sous-critique. Son rattachement à une autre équipe est envisagé : cette décision doit se prendre pour chaque membre de l'équipe en fonction des thématiques qu'il développera. La réflexion sur ce point doit être poursuivie : si les études de modes magnétiques devaient trouver une résonance expérimentale dans l'équipe STM, l'initiation d'un axe de recherche sur les centres localisés dans le diamant ne semble pas permettre un tel rapprochement.

Equipe Spectroscopie des QUAsi-Particules (SQUAP)

L'équipe est composée de trois permanents et de trois étudiants en thèse. Le point fort de cette équipe est la grande maîtrise de la spectroscopie Raman électronique. Durant la période considérée, elle a utilisé cette technique pour étudier la problématique très actuelle de l'influence de l'environnement sur les propriétés de molécules d'ADN. Ces mesures mettent en évidence une modification de la structure moléculaire de l'ADN qui s'accompagne du passage d'un comportement diamagnétique à paramagnétique selon l'humidité du milieu. Ce groupe a également mis à profit cette technique afin d'explorer le diagramme de phase des cuprates et de mettre en évidence l'existence de deux échelles d'énergie dans l'état supraconducteur. Ces travaux ont suscité un grand intérêt dans la communauté des supraconducteurs et des théoriciens. La mise à profit de cette technique pour étudier des composés multiferroïques leur a permis d'obtenir des résultats très novateurs. Citons notamment, la mise en évidence d'un décalage en énergie des modes E attribués à la liaison Bi-O dans BiFeO₃ lorsqu'un champ électrique est appliqué mais surtout la mise en évidence de modes assignables aux électromagnons. Ces travaux se sont effectués au sein de très nombreuses collaborations avec des expérimentateurs et des théoriciens en France et à l'étranger. Ils ont donné lieu à deux thèses (2004, 2006), 14 articles dans des revues internationales, 2 articles de vulgarisation, 6 conférences internationales et 1 conférence nationale invitées, ainsi que 2 conférences grand public sur la période considérée. La thématique supraconductivité devrait se poursuivre par une combinaison d'études Raman, de conductivité optique et de spectroscopie tunnel afin de déterminer le lien qui existe entre gap et pseudo-gap. D'autres thématiques vouées à se développer concernent l'étude de transitions de phase quantiques entre liquide de spin et phase magnétiquement ordonnée par diffusion Raman sous champ magnétique et sous pression ainsi que l'observation des excitations collectives de spin de liquides électroniques 2D par diffusion inélastique de la lumière.

De façon générale, l'équipe Spectroscopie de QUAsi-Particules est une équipe auto-cohérente et dynamique. En abordant par le biais de la spectroscopie Raman des matériaux très étudiés actuellement, elle amène des résultats novateurs qui aboutissent à une meilleure compréhension des systèmes étudiés. Les programmes sur les supraconducteurs, les multiferroïques, ou le graphène sont bien identifiés (avec pour le dernier sujet un positionnement par rapport à d'autres laboratoires qui mériterait d'être précisé).

Equipe Transport Electronique à l'Echelle Moléculaire (TELEM)

C'est une des équipes les plus récentes du laboratoire (création en 2003 autour d'un recrutement PR). Elle est composée de 5 permanents: 4 enseignants- chercheurs Paris VII et un chercheur CNRS. Les efforts de cette équipe sont concentrés autour des études de transport électronique sur molécule unique. Un premier centre d'intérêt a été la réalisation de transistors organiques à base de films minces de pentacène adressés grâce à une grille locale, dans le cadre d'une collaboration avec le laboratoire ITODYS. La finalité de cette étude était la réduction des dimensions de la grille de manière à pouvoir réaliser des systèmes dont la conduction serait assurée par un faible nombre de molécules. La conclusion de l'étude menée montre que l'approche pressentie n'est pas la bonne et que la conduction est dominée par la largeur des contacts plutôt que par la longueur de la grille. Cette activité a cessé et tous les efforts de l'équipe sont maintenant focalisés sur le problème difficile et très actuel de la réalisation de bons contacts, fiables et reproductibles, pour l'adressage de molécules uniques. Le choix très pertinent qui a été fait par l'équipe est la réalisation, par une technique d'électromigration électriquement contrôlée à basse température, d'électrodes de contact distantes de quelques nanomètres.



C'est actuellement la technique la plus prometteuse qui est également étudiée par les groupes les plus avancés dans ce domaine. Le Comité a été très sensible à la démarche entreprise, à savoir la caractérisation complète des nanogaps ainsi obtenus, avant d'y déposer une quelconque molécule. Cette caractérisation s'accompagne d'une modélisation complète afin d'extraire les paramètres physiques pertinents. Avant de mesurer une molécule, il est important de connaître au mieux le système d'électrodes de contact: la littérature scientifique est pleine d'exemples de mesures de transport attribuées aux objets alors qu'elles ne sont dues qu'à l'environnement immédiat (impuretés, agrégats issus de la formation du nanogap...).

En parallèle mais toujours dans l'objectif fixé par l'équipe, un développement d'un projet ambitieux de dépôt in situ des molécules (ici des C60) dans un four de petites dimensions directement inséré dans l'étage 4 K d'un cryostat à dilution est en cours de réalisation.

Le Comité a souligné l'importance de l'activité de cette équipe et les enjeux qui en découlent dans la compétition internationale. Le projet est extrêmement ambitieux et les équipes reconnues internationalement sont confrontées aux mêmes difficultés: ceci explique la faible production scientifique de l'équipe en terme de publications. Néanmoins, le Comité recommande la valorisation des efforts entrepris jusqu'à maintenant, par la publication d'un certain nombre de résultats intermédiaires aussi bien concernant l'étude des transistors organiques que pour les plus récentes caractérisations et modélisations des nanocontacts. Le Comité est aussi confiant sur la valorisation des efforts entrepris dans le cadre des mesures de transport très basse température sur les nanotubes de carbone, en collaboration avec le LPA de l'ENS.

Les ambitions et difficultés de ce projet demandent un très fort investissement en moyens humains. Le Comité a émis des remarques sur ce point. En effet, l'ensemble des expérimentateurs de l'équipe est composé d'enseignants-chercheurs. De plus, dans le nouvel organigramme présenté par la Directrice, deux d'entre eux sont investis de lourdes tâches administratives auprès de l'équipe de Direction du laboratoire. Il serait raisonnable de veiller à dégager assez de temps et alléger ces engagements afin de mener à bien le projet scientifique et se placer dans la compétition internationale. De même, il est souhaitable que le chargé de recherche rattaché à l'équipe se concentre de plus en plus sur les problématiques qui sont l'objet des recherches expérimentales du groupe.

Equipe Ions Piégés et Information Quantique (IPIQ)

IPIQ (1 PR et 2 CR) est l'une des deux équipes dont la création coïncide avec celle du laboratoire. Dans une première période, les activités des trois membres fondateurs ont été essentiellement menées dans la continuité des recherches développées dans leur laboratoire d'origine, le LKB. C'est pendant cette période, en parallèle, qu'ont été posées les bases de la thématique originale de l'équipe: la réalisation et l'étude de pièges à ions pouvant servir de mémoires pour l'information quantique. Une nouvelle étape démarre suite au départ de deux membres de l'équipe et à l'arrivée de deux jeunes chercheurs CNRS ayant bénéficié d'une mutation. Les trois permanents épaulés par deux post-doctorants théoriciens se consacrent alors pleinement à l'activité fédératrice sur le piégeage d'ions. Il n'en faut pas moins pour pouvoir développer des recherches dont l'intérêt scientifique certain va de pair avec la difficulté expérimentale.

Deux approches sont développées en parallèle et se nourrissent mutuellement. Elles sont fondées sur l'utilisation d'un piège de Paul d'ions de strontium. Elles diffèrent par les dimensions des pièges. Dans la première, le piège est macroscopique alors qu'il est microscopique et intégré sur puce dans la deuxième. Le piège macroscopique a d'ores et déjà donné lieu à un refroidissement présentant des prémices de la cristallisation du nuage d'ions. Une deuxième génération de piège est en cours de réalisation pour aboutir à la cristallisation, élément clé des mémoires quantiques pour variables continues qui seront développées par la suite. Dans la deuxième approche, la puce à ions est réalisée sur silicium dans la centrale technologique de Thales et en collaboration avec l'équipe DON. Une première génération de micro-puces est en cours de test.

En parallèle avec le développement des deux pièges à ions qui constitueront autant de supports pour des mémoires quantiques, la mise en place d'une source d'états non classiques basée sur un mélange à quatre ondes suivi d'un doublage de fréquence a été démarrée. Cette source, nécessaire pour générer les états non triviaux qui pourront être stockés dans la mémoire, constitue un challenge et son efficacité potentielle pour générer des états corrélés confère à ces recherches un intérêt per se.

Une intense activité théorique a été développée également pendant la période évaluée, manière pertinente dans cette période de profiter de l'apport des post-doctorants, d'accompagner les développements expérimentaux et de temporiser lorsque les développements expérimentaux ou technologiques s'avéraient



rebelles. Elle a accompagné les réflexions sur le piégeage d'ions, y compris par l'introduction dans les modèles des effets à N-corps. Cette démarche nécessaire pour comprendre et prédire le comportement du nuage d'ions en fonction du nombre d'ions piégés a conduit à l'incorporation des effets à N-corps dans des codes numériques ; codes qui s'avèrent très utiles pour les expériences et qui ont suscité l'intérêt d'autres équipes qui peuvent désormais en bénéficier. L'activité théorique a également largement dépassé le cadre du soutien aux montages expérimentaux. Le résultat le plus marquant, publié dans Phys. Rev. Lett. et cosigné par l'ensemble des membres de l'équipe, est la proposition d'un protocole de protection topologique de qubits dans le cas des ions, par analogie et en adaptant l'approche connue dans les solides.

En conclusion, il y a quatre ans, IPIQ était une équipe naissante d'une grande fragilité, avec « sur le papier » un projet extrêmement ambitieux, chiffré partiellement et pour lequel le degré de conviction de ses membres était inégal. De plus l'équipe démarrait dans un environnement culturellement éloigné des atomes froids et de l'information quantique. Force est de constater que les trois jeunes porteurs du projet ont su construire des bases solides conduisant à sa réussite, tout en maintenant une production scientifique de qualité et en attirant qui plus est plusieurs doctorants et plusieurs post-doctorants. L'équipe est sur le point d'aboutir à la cristallisation du nuage d'ions et cet objectif doit rester prioritaire afin de consolider l'activité et de prendre une avance par rapport aux prestigieuses équipes concurrentes. Les puces à ions constituent également un objectif pertinent et passionnant. La transposition des prédictions à partir de lois d'échelle pourrait s'y avérer limitée, mais cette difficulté éventuelle constitue une motivation et une source d'intérêt supplémentaires. L'équipe vient d'accueillir deux nouveaux jeunes membres, Nicolas Sanguard (MC) et Jean-Pierre Likforman (IR), preuve supplémentaire de son dynamisme et du soutien, bien mérité, apporté par la direction du laboratoire et l'Université. Elle devrait prendre donc son rythme de croisière dans un futur proche et devrait pouvoir bénéficier d'une extension en surface et d'une amélioration en stabilité thermique du laboratoire permettant de consolider des montages expérimentaux, délicats et fort prometteurs.

Equipe Dispositifs Optiques Nonlinéaires (DON)

Le groupe de "Dispositifs Non-Linéaires" a pour but la fabrication de dispositifs basés sur des effets optiques non-linéaires. Il s'agit d'une excellente équipe, présente depuis la fondation du MPQ.

Les projets de l'équipe DON s'articulent autour de trois grands axes:

1. Génération paramétrique. Il s'agit d'utiliser des effets non-linéaires pour générer, à partir de photons de haute énergie, des photons de plus basse énergie par génération paramétrique. Ceux-ci peuvent être recherchés soit parce qu'ils correspondent à une fréquence optique difficile à générer directement, comme l'infrarouge moyen ou lointain, soit parce que les photons générés simultanément ont des propriétés de corrélation temporelle ou d'intrication importantes pour des applications liées à la cryptographie quantique et plus généralement le traitement quantique de l'information.
Une nouvelle direction démarrée par le groupe est la génération de fréquences Terahertz dans des microdisques résonants.
2. Détecteurs infrarouges: l'utilisation de transitions inter-sous-bandes permet de fabriquer des matrices de détecteurs dans l'infrarouge moyen ayant des propriétés uniques. Le laboratoire de recherche de Thales a eu un rôle très important dans le développement de cette technologie, et le groupe DON profite de la direction par un PR qui était un membre clé du laboratoire Thales à l'époque où les développements les plus importants ont été faits. Le groupe DON a une approche originale, le détecteur à cascade quantique, dans laquelle un électron est entraîné de période en période par les photons absorbés. Cette approche a l'avantage de permettre la fabrication d'un détecteur complètement photovoltaïque et donc ne présentant pas de courant d'obscurité.
3. Optomécanique: Il s'agit d'une nouvelle direction dans laquelle l'étude porte sur l'interaction entre oscillateurs mécanique et optique. Cette nouvelle direction est rendue possible par un nouveau recrutement. Les applications sont surtout dans la physique fondamentale, et portent sur la possibilité d'agir sur les degrés de libertés fondamentaux d'oscillateurs mécaniques.

D'une manière générale, il s'agit d'un groupe excellent, qui possède une très bonne visibilité (publications et conférences), de nombreux thésards, et de nombreuses collaborations autant nationales qu'internationales.



Remarques:

Au niveau du personnel, l'équilibre est bon. L'apport de nouveaux membres va, à notre avis, permettre à l'équipe de garder son mordant en dépit des charges administratives et organisationnelles des professeurs.

L'équipe a choisi de se focaliser sur une technologie originale pour les effets non-linéaires : les semi-conducteurs III-V. C'est un choix qui n'est pas celui de la majorité des groupes, qui préfèrent se concentrer sur le niobate de lithium et autres isolants, car ceux-ci ont des avantages au niveau des pertes. Ce choix de matériaux confère à l'équipe de DON une originalité certaine. Il a en outre l'avantage de leur permettre de proposer des dispositifs intégrés qui comportent à la fois des effets non-linéaires et de la génération directe. Enfin, il leur permet d'utiliser une plateforme technologique commune avec le groupe QUAD, et d'être ainsi un groupe utilisateur de la salle blanche. Le groupe a donc fait un choix ambitieux et difficile, mais celui-ci est bien argumenté et très vraisemblablement payant sur le long terme.

Le sujet des détecteurs infrarouges offre un terrain passionnant pour la physique et qui prend tout son sens par la collaboration avec une industrie (Thales) à la pointe de la commercialisation de ces dispositifs.

Equipe Physique Quantique et Dispositifs (QUAD)

L'activité de l'équipe « Physique quantique et dispositifs » (QUAD), est principalement tournée vers l'étude physique et le développement des lasers à cascade quantique (LCQ) ; elle porte par ailleurs des études théoriques sur la physique du couplage fort en cavité. Cette équipe jeune comprend depuis 2006 cinq permanents (2 PR, 2 MdC, 1CR1) et accueille de nombreux doctorants et post-doctorants.

Dans le domaine des LCQ, l'équipe QUAD a obtenu de nombreux résultats marquants en s'appuyant sur un important effort de conception (ingénierie de la structure de bande électronique et du confinement optique) et d'optimisation de la technologie.

1. Dans le domaine THz, la démonstration d'un LCQ à 2.9 THz fonctionnant en continu à 77 K avec un seuil record, et la première réalisation d'un LCQ fonctionnant à 1.9 THz, constituent des avancées majeures. La démonstration récente d'une modulation à 13 GHz d'un LCQ ouvre la voie au développement de laser THz impulsions à modes bloqués. Enfin, un mélange de fréquence intracavité entre l'émission THz du LCQ et un faisceau laser « télécom » à 1.5 μm a été réalisé en exploitant une approche très originale pour assurer l'accord de phase. Ce résultat ouvre des perspectives très intéressantes pour la détection et le traitement du rayonnement THz (via une translation de fréquence vers le domaine télécom), ou la translation tout optique de fréquences télécom.
2. L'étude expérimentale de LCQ moyen infrarouge sous champ magnétique intense a jeté un éclairage nouveau sur la physique de la relaxation électronique intersousbande, et mis en évidence l'importance de la contribution relative des mécanismes de relaxation élastique.
3. La première observation de polaritons intersousbandes par spectroscopie de photocourant et d'électroluminescence est une étape importante vers la réalisation de sources pompées électriquement exploitant le régime de couplage fort.

Les études théoriques animées ont permis d'identifier un nouveau régime de couplage « ultra-fort » dans les microcavités semi-conductrices, dans lequel l'état fondamental du système est un état comprimé du vide. Cette prédiction a stimulé le démarrage d'études expérimentales au sein de QUAD visant à mettre en évidence ce régime, et à générer des paires de photons infrarouges enchevêtrés par modulation ultrarapide de ce couplage. Par ailleurs, l'étude théorique des gaz de polaritons excitoniques a révélé les propriétés originales de ce fluide quantique hors d'équilibre, et a apporté un soutien extrêmement précieux à de nombreuses équipes expérimentales du domaine.

Très dynamique et positionnée sur des axes originaux et porteurs, l'équipe QUAD a un rayonnement international incontestable dans ses différents domaines d'activité. Elle est très bien intégrée dans les paysages francilien, national et européen, grâce à un tissu de collaborations très solides avec des partenaires de premier plan.

QUAD a su garder un bon équilibre entre ses axes de recherche à finalité appliquée (développement et optimisation de lasers à cascade quantique) et des recherches de nature fondamentale (physique de la



relaxation intersousbande, couplage fort intersousbande et ultrafort...). Le comité a par ailleurs apprécié l'interaction très positive entre expérimentateurs et théoriciens au sein de cette équipe.

Salles Blanches

Le Comité a examiné spécifiquement le projet de construction et équipement des salles blanches de la Centrale de Proximité adossée au laboratoire, qui est en cours. Le Comité, tout comme la Direction du laboratoire, pense que la finalisation et la montée en régime de ce dossier doivent être la priorité dans le cadre du prochain quadriennal. Ceci afin de se mettre en synergie au plus tôt avec les autres Centrales de proximités formant la Plateforme de Paris Centre qui a pour but de mutualiser les efforts dans le domaine des Nanotechnologies. Le choix de dupliquer certains équipements génériques entre les Centrales, de transférer des procédés génériques, et d'avoir un certain nombre de projets communs, va dans ce sens. Les porteurs de ce projet au sein du laboratoire soulignent l'importance de pouvoir continuer à s'appuyer sur les Grandes Centrales (LPN, IEF) pour des réalisations plus lourdes et complexes. Le Comité d'Evaluation a aussi été convaincu par les arguments avancés par les porteurs du projet en soutien de la priorité d'équipement faisant la spécificité de la Centrale de MPQ, à savoir l'acquisition d'un bâti de type RIE-ICP pour la gravure profonde de semi-conducteurs III-V. Il n'y a aucun doute sur l'importance d'un tel équipement pour pouvoir répondre au plus haut niveau aux besoins des équipes du laboratoire qui sont à l'état de l'art aujourd'hui dans les domaines de la photonique et de l'optoélectronique. Et il est indispensable de veiller à donner les moyens qui permettent de garder un tel niveau à ces équipes. Concernant l'organisation et la gestion future de la Plateforme Paris Centre et de la Centrale de proximité de MPQ, le Comité est confiant sur le fait que l'ajustement par rapport à ce qui est actuellement prévu se fera de manière tout à fait naturelle en fonction du taux de demande, de la diversité de la demande et du taux d'occupation des équipements.

5 • Analyse de la vie de l'unité

Les deux équipes de direction, et les deux Conseils de Laboratoire, se sont succédé de façon harmonieuse et efficace. L'installation dans les locaux de Condorcet va maintenant permettre une communication plus forte entre les équipes.

6 • Conclusions

MPQ est une unité en construction, soumise encore à des évolutions. C'est ce que traduit l'identification des points forts, dont l'ensemble confère au laboratoire une position originale dans le paysage universitaire français. Mais pour chaque point fort il existe un aspect dont l'évolution est moins achevée, donnant lieu à un point à améliorer et une recommandation, listés ci-dessous dans le même ordre que les points forts :

— Points forts :

1. MPQ a bénéficié sur cette période d'un très fort recrutement de chercheurs CNRS et surtout d'enseignants-chercheurs de l'Université Denis Diderot.
2. Il faut saluer l'attractivité extrêmement forte auprès des étudiants.
3. L'installation dans les nouveaux locaux a permis de réorganiser les montages expérimentaux et va permettre de renforcer la vie collective du laboratoire.
4. Le budget de MPQ comporte une part de ressources propres en très forte augmentation. Cette augmentation traduit la montée en puissance du laboratoire, son fort dynamisme, et l'excellent positionnement de ses thèmes les plus porteurs.
5. De façon globale, la présence de nombreux non-permanents et les succès dans l'obtention de contrats témoignent du dynamisme du laboratoire.



6. La constitution récente de certaines équipes, la jeunesse de l'essentiel du personnel, le nombre important d'enseignants, le fort engagement sur des projets prometteurs mais parfois difficiles, les prises de responsabilité dans des projets qui dépassent le cadre du laboratoire, permettent au laboratoire de construire une politique scientifique ambitieuse pour les prochaines années.

— Points à améliorer :

1. Le recrutement de personnel de soutien (ITA, IATOS) a été plus tardif et leur nombre reste faible, avec un rapport $(ITA-IATOS)/(Ch-EC)=0.22$ défavorable.
2. Les règles déterminant l'Université dans laquelle un doctorant devra s'inscrire ne sont pas clairement explicitées ou au moins pas connues de tous.
3. L'installation dans les nouveaux locaux est récente et en partie inachevée.
4. Le budget de MPO comporte des subventions d'Etat dont le montant a peu évolué malgré l'augmentation des effectifs,
5. Les nombreux non-permanents qu'il faut accueillir de manière efficace, et la part importante de financements sur contrat, entraînent un besoin tout particulier de soutien qui doit concilier efficacité et proximité : il a été fortement souligné par le Comité que l'existence d'un tel soutien est important pour le dynamisme et l'attractivité des équipes.
6. Les implications de certains choix ne sont pas encore totalement mises en pratique.

— Recommandations :

1. Le plan de recrutement ITA proposé, qui comprend une priorité sur la mise à niveau de l'équipe administrative et le soutien aux gros équipements, suivie de recrutements sur des services communs en partie mutualisables, est bien argumenté. Le comité attire tout particulièrement l'attention des tutelles sur ce point.
2. Les Universités concernées doivent se concerter pour clarifier, et expliciter auprès de tous, les règles déterminant le choix de l'établissement d'inscription des doctorants.
3. Il y a une demande générale pour que les problèmes pratiques restant soient réglés au plus vite (climatisations de salles d'expériences, parking, mais, surtout, une offre de restauration satisfaisante ouverte à toutes les catégories de personnels, doctorants compris, indispensable à la formation d'équipes cohérentes).
4. Quel que soit l'effort des tutelles pour une réévaluation de la subvention d'Etat, la composition des ressources du laboratoire impose une participation des contrats au fonctionnement et aux investissements d'intérêt commun du laboratoire, qui devra être beaucoup plus importante que ce qui est fait actuellement.
5. Les besoins spécifiques permettant l'accueil des non-permanents et la gestion des contrats doivent être pris en compte soit grâce aux tutelles, soit en interne.
6. Si les plus grosses équipes (STM, QUAD, DON) peuvent se permettre une certaine ouverture, la cohésion des autres équipes doit se renforcer autour de thèmes bien identifiés - que ce soit par une politique concertée de recrutement, ou par l'abandon de thèmes plus marginaux. En particulier, la responsabilité prise par certaines équipes sur de projets au niveau de Paris-Centre et de l'Île de France (plate-forme de nanofabrication, et surtout microscopie électronique) doit maintenant être pleinement assumée à tous les niveaux. Il faut aussi veiller à ne pas surcharger trop tôt les chercheurs et enseignants les plus jeunes ou ceux sur lesquels repose une équipe encore fragile.

Le Président

P/GC/LCD-08-022
Paris, le 30 janvier 2008

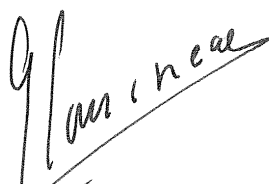
M. Aubert
Directeur de la section des unités de l'AERES
20 rue Vivienne
75002 PARIS

Monsieur le Directeur,

Je vous remercie pour l'envoi du rapport du comité de visite concernant le Laboratoire Matériaux et Phénomènes Quantiques (UMR 7162), rattaché à mon université.

Je me réjouis des appréciations élogieuses qui sont portées sur ce laboratoire et ai pris bonne note des recommandations qui lui sont faites.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de toute ma considération.



Guy Cousineau

tél + 33 (0) 1 57 27 55 10
fax + 33 (0) 1 57 27 55 11
secretariat.president@univ-paris-diderot.fr
www.univ-paris-diderot.fr

Adresse postale :
Présidence
Grands Moulins
75205 Paris Cedex 13