



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur
l'unité :
Unité de Physique CNRS / THALES – UMR 137
sous tutelle des
établissements et organismes :
CNRS
Thales

Août 2010



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

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Unité de Physique CNRS / THALES – UMR 137

Sous tutelle des établissements et organismes

CNRS

Thales

Le Président
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

Août 2010



Unité

Nom de l'unité : Unité mixte de physique CNRS-Thales

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : UMR 137

Nom du directeur : M. Frédéric NGUYEN VAN DAU

Membres du comité d'experts

Président :

M. Dominique GIVORD, Institut Néel, Grenoble

Experts :

M. Jean-Paul CASTERA, Thales

Mme Annick DEGARDIN, Supelec

M. Mathias KLAUI, Université de Konstanz, Allemagne

M. Wolfgang KLEEMANN, Université Duisburg-Essen, Allemagne

M. Xavier OBRADORS, Institut de Ciència de Materials de Barcelona, Espagne

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

M. Guy LE LAY, CNU

M. Yves HENRY, CoNRS

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Claude LECOMTE

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

M. Giancarlo FAINI, chargé de mission CNRS, DAS CNRS INP à partir de 2010

M. Erick LANSARD, TRT Thales

M. Jacques BITTOUN, Université Paris 11



Rapport

Préambule

Les unités mixtes avec un partenaire industriel ne sont pas notées ce qui est le cas de cette UMR.

1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

Le comité d'experts de l'Unité Mixte de Physique CNRS-Thales s'est tenu les 25 et 26 mars 2010. Dans un exposé introductif, F. Petroff, directeur-adjoint, a présenté un bref historique de ce Laboratoire encore jeune et rappelé ses missions principales. Lors des exposés qui ont suivi, des aboutissements de ces dernières années, parmi les plus marquants, ont été présentés. Dans l'après-midi, les posters ont souvent été présentés par des étudiants. La journée s'est terminée par une visite des équipements expérimentaux. Le deuxième jour de réunion, le directeur a présenté le projet de Laboratoire. Le Comité a apprécié la qualité des exposés, la motivation manifestée par l'ensemble des personnels et les échanges fructueux qui ont lieu. La qualité de l'accueil de l'ensemble du personnel et son engagement dans l'organisation et le déroulement de ces deux jours ont été remarqués.

- Historique et localisation géographique de l'unité et description synthétique de son domaine et de ses activités

L'Unité mixte de physique CNRS-Thales a été créée en 1995. Située initialement à Corbeville au sein du Laboratoire central de Thales (alors Thomson CSF), l'Unité de Physique est aujourd'hui intégrée au Centre de Recherche de Thales, TRT-France, à Palaiseau. Lors de la création de l'Unité de Physique, l'objectif était de structurer une collaboration établie depuis plusieurs années entre le Laboratoire central de recherche et le groupe animé par M. A. Fert au Laboratoire de Physique des Solides (CNRS / Université Paris 11). Cette collaboration avait conduit à la découverte du phénomène de magnétorésistance géante, aujourd'hui considéré comme l'évènement fondateur du développement d'un nouveau domaine scientifique, la spintronique. Dès 1996, un nouvel axe de recherche s'ouvrait, consacré aux oxydes supraconducteurs à haute température critique, animé par J.P. Contour. En 1998, le Laboratoire des dispositifs supraconducteurs du Laboratoire central rejoignait l'unité de physique afin de favoriser la synergie entre les activités de recherche les plus fondamentales et celles orientées vers les développements technologiques, en particulier les applications des dispositifs hyperfréquences. En 2005, une petite équipe spécialiste de la technologie LIGA, venant du LURE, a rejoint l'Unité de physique, permettant ainsi de préserver des collaborations avec diverses équipes de Thales TRT.

Les missions actuelles de l'Unité sur ses thèmes d'activités sont - de mener une recherche fondamentale tout en développant l'innovation technique, - d'identifier des secteurs de recherche ayant des applications technologiques, - d'optimiser des dispositifs technologiques en s'appuyant sur la recherche de base. Les trois thèmes majeurs de recherche actuels sont : -spintronique et nanomagnétisme, - supraconducteurs à haute température critique et traitement du signal et -oxydes fonctionnels. Deux axes transverses sont identifiés sur les aspects matériaux et technologie d'une part, LIGA d'autre part.



- Equipe de Direction :
 - Directeur : M. Frédéric VAN DAU (TRT Thales)
 - Directeurs-adjoints : M. Frédéric PETROFF (CNRS)
M. Jean-Claude MAGE (TRT Thales)
 - Directeur scientifique : M. Albert FERT (Paris 11)

- Effectifs de l'unité : (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	4	4
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	11	11
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité) ¹	28	25
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	7.8	8.8
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	3.5	3
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité) ²	15	10
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	7	8

2 • Appréciation sur l'unité

- Avis global :

Laboratoire mixte entre le milieu académique et un partenaire industriel, l'Unité de physique CNRS-Thales réussit un équilibre remarquable entre recherche fondamentale de haut niveau et prise en compte des aspects applicatifs. Sur sa thématique historique de la Spintronique, l'unité est à l'avant-garde de la communauté internationale sur les sujets de recherche les plus actuels : couple de transfert de spin et effets magnéto-Coulomb. Sur la thématique Supraconductivité-traitement du signal, un renouvellement de l'activité a eu lieu avec en vue le développement de matériaux pour l'électronique supraconductrice. L'activité sur les oxydes fonctionnels, plus récemment développée, connaît de grands succès dans l'étude de matériaux de propriétés multiferroïques.

Les aspects les plus caractéristiques de l'activité sont -le développement d'outils très performants - l'élaboration de matériaux de haute qualité, et - une instrumentation de pointe sur des aspects spécifiques. Un dialogue constant existe entre théorie et expériences. Le Laboratoire révèle une capacité rare à s'appuyer sur des compétences extérieures à travers de solides collaborations. Il porte enfin une grande importance au développement de démonstrateurs, action qu'il considère indispensable en vue de convaincre les utilisateurs potentiels des possibilités d'applications de matériaux développés en son sein.

1 Ici sont comptés les ATER, post-docs et invités accueillis pour au moins 3 mois (formulaire 2.7 pour le bilan et estimés d'après la visite pour le projet)

2 Formulaire 2.8 dans le bilan, formulaire 2.7 dans le projet. Pour le projet, sont rajoutés entre parenthèses les doctorants présents lors de la visite d'évaluation mais non comptabilisés dans les formulaires



- **Points forts et opportunités :**

Les grandes thématiques de l'Unité portent sur des thèmes de grand intérêt actuel. La qualité du personnel de l'Unité est excellente. Elle incorpore un fondateur récipiendaire du prix Nobel 2007, une génération de jeunes seniors, de chercheurs plus jeunes et d'ingénieurs de recherche de grandes compétences.

La gouvernance de l'Unité révèle un grand professionnalisme dans tous les aspects concernés : définition de la politique scientifique, gestion des moyens et des équipements, gestion des personnels.

- **Points à améliorer et risques :**

La possibilité d'accueillir des étudiants de divers masters de la région parisienne constitue une force que le Laboratoire est justifié à vouloir préserver. Cependant, une relation plus étroite avec Paris 11, sous une forme à définir, devrait être envisagée dans la perspective de faciliter les liens avec d'autres laboratoires de l'environnement travaillant dans le domaine de la nanophysique, ainsi qu'en vue d'obtenir des postes d'enseignants à moyen terme.

Certaines présentations auraient gagné à rendre compte plus rigoureusement des résultats des groupes concurrents.

- **Recommandations au directeur de l'unité :**

- Préserver l'équilibre entre recherche fondamentale et recherche appliquée.
- Résoudre les problèmes éventuels de locaux permettant de réaliser les quelques embauches jugées nécessaires de permanents, post-docs et étudiants.
- Sans remettre en cause la qualité de l'activité LIGA, se poser la question de la place la plus appropriée de cette activité à long terme.

- **Données de production pour le bilan :**

(cf. http://www.aeres-evaluation.fr/IMG/pdf/Criteres_Identification_Ensgts-Chercheurs.pdf)

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2	16
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5	
A3 : Taux de producteurs de l'unité $[A1/(N1+N2)]$	100%
Nombre d'HDR soutenues	
Nombre de thèses soutenues	14
Autre donnée pertinente pour le domaine (à préciser...)	



3 • Appréciations détaillées

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :

- Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

Le thème "spintronique et nanomagnétisme" constitue le noyau à partir duquel s'est développé le Laboratoire. Les phénomènes de transport dépendant du spin sont analysés aujourd'hui dans des systèmes organiques ou semi-conducteurs, ou des objets de très petites tailles. Un effort de caractère à la fois expérimental et théorique s'est porté sur l'étude des processus magnétiques (renversement d'aimantation et génération de signaux hyperfréquences) induits par transfert de spin. Dans tous les domaines, les travaux de l'Unité émergent fortement à l'échelle internationale. Le Laboratoire est leader pour l'étude des effets magnéto-Coulomb dans les nano-objets et celle des oscillateurs à base de vortex.

Le thème "supraconducteurs à haute température critique et traitement du signal" s'est renouvelé après le départ de J.P. Contour qui avait développé cette activité au sein de l'Unité. Les aspects les plus fondamentaux de l'activité (élaboration de jonctions Josephson ou études de la dynamique de vortex) sont au niveau de ce qui se fait par ailleurs au sein de la communauté internationale. Dans ce thème le plus fortement lié aux applications, un effort remarquable est fait pour exploiter les résultats obtenus.

Le thème « oxydes fonctionnels » s'est développé à partir des compétences complémentaires du laboratoire, concernant d'une part les propriétés de transport dépendant du spin, et d'autre part la croissance d'oxydes par dépôt laser pulsé. Les thèmes abordés sont de grande actualité : gaz 2D à l'interface de couches d'oxydes, couplage entre magnétisme et ferro-électricité. L'orientation vers une spintronique tout oxyde est très prometteuse.

La spécificité d'unité mixte entre le CNRS et un partenaire industriel influence le choix des grands axes de recherche. Elle se manifeste aussi par l'effort fait pour mettre en œuvre des concepts de dispositifs et, au-delà, réaliser des démonstrateurs révélant la potentialité applicative de ces concepts. Des exemples de cette démarche existent dans les trois thèmes de recherche de l'Unité. Les développements les plus avancés concernent les capteurs magnétorésistifs et les démonstrateurs exploitant l'électronique supraconductrice pour les télécommunications.

- Quantité et qualité des publications, communications, thèses et autres productions :

Sur les quatre dernières années, l'Unité a publié 126 articles dans des revues avec comité de lecture, auxquels s'ajoutent 14 articles de revue invités. Ceci représente 1,5 article par chercheur et par an. Parmi ceux-ci, 5 articles environ sont publiés annuellement dans des revues à très fort impact.

Le taux de citations de publications plus anciennes est très haut avec 41 articles cités plus de 50 fois.

Le Laboratoire est très présent aux grandes conférences internationales du domaine. Un nombre impressionnant de 239 conférences invitées ont été présentées durant les 4 dernières années, incluant des invitations aux plus grandes conférences (ICM, March meeting, etc.).

La prise d'un nombre significatif de brevets (8 sur la période) est une spécificité du Laboratoire. La poursuite de cette démarche doit être encouragée.

Le nombre d'étudiants en thèse est nettement supérieur à la moyenne du domaine scientifique concerné. Le prix de Thèse Thales a été remis à Hélène Béa en 2008.



- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'unité de recherche dans son environnement :**
 - **Nombre et renommée des prix et distinctions octroyés aux membres de l'unité, y compris les invitations à des manifestations internationales :**

L'année 2007 a été exceptionnelle avec la remise du Japan Prize, du Wolf Prize in Physics puis du prix Nobel à A. Fert (chaque fois en commun avec P. Grünberg). Ces grands événements illustrent le rayonnement des travaux d'un scientifique hors norme. Ils rejaillissent sur tout le groupe qu'il a créé et dont il inspire encore largement l'activité. Durant cette période, A. Fert a également reçu le diplôme de docteur Honoris Causa de plusieurs universités étrangères (5 au total).

Les autres récipiendaires de prix sont J.P. Contour qui a reçu le prix du 60ème anniversaire de la Société Française du Vide décerné en 2005 et Agnès Barthélémy qui a reçu le prix Louis Ancel de la SFP en 2008.

Les très nombreuses invitations à des conférences internationales reçues par A. Fert, sont souvent des conférences plénières (on peut noter particulièrement la conférence plénière donnée lors de la 50ème conférence MMM et celles données à ICM 2006 et ICM 2009).

Le taux d'invitation des autres membres de l'unité est bien au-dessus de la moyenne (173 invitations sur une période de 4 ans dans un laboratoire de constitué de 21 chercheurs et 20 doctorants ou post-docs). On note plusieurs invitations reçues par de très jeunes scientifiques.

- **Capacité à recruter des chercheurs, post-doctorants ou étudiants de haut niveau, en particulier étrangers :**

Le Laboratoire bénéficie d'une excellente image et d'une grande notoriété. Il est associé à plusieurs Masters de la région parisienne. Le taux d'encadrement est nettement supérieur à la moyenne nationale (actuellement 15 étudiants en thèse pour un effectif de 21 chercheurs). Le thème spintronique apparaît un peu plus attractif que les deux autres thèmes. Il a également accueilli de nombreux post-docs. Sur les quatre dernières années, les progrès dans la capacité à recruter du thème supraconducteur et traitement du signal et la percée du thème oxydes fonctionnels sont très notables.

- **Capacité à obtenir des financements externes, à répondre ou susciter des appels d'offres, et à participer à l'activité des pôles de compétitivité :**

L'Unité a été couronnée de nombreux succès à tous les niveaux d'appel d'offre : région, ANR et Europe. A ce jour, 10 projets ANR sont actifs, 2 projets C'Nano Ile de France et 6 projets Européens. Ce dernier chiffre est très spectaculaire.

- **Participation à des programmes internationaux ou nationaux, existence de collaborations lourdes avec des laboratoires étrangers :**

Le Laboratoire a de très nombreuses collaborations nationales et internationales. Le développement de celles-ci relève d'une approche très ouverte qui fait appel aux compétences externes plutôt que de chercher à tout faire soi-même.

La qualité et la durée de ces collaborations est un aspect frappant. Plutôt que "lourdes", celles-ci se maintiennent sur de nombreuses années et vivent largement indépendamment des soutiens financiers qu'elles peuvent recevoir. On peut citer par exemple les collaborations avec P. Levy (New York) et J. Barnas (Poznan).



- **Valorisation des recherches, et relations socio-économiques ou culturelles :**

Insérer un laboratoire de recherches académiques dans un contexte industriel était un pari risqué qui, quinze ans plus tard, est en passe d'être gagné. Une telle initiative n'était pas sans risques. Le caractère fondamental des études de l'UMR 137, les différences entre le langage des physiciens et celui des ingénieurs d'applications, la finalité des études de part et d'autre et l'organisation associée ou encore les différences culturelles entre le CNRS ou l'Université et un Groupe industriel constituaient autant d'écueils à éviter et de difficultés à surmonter. Ce rapprochement n'avait de sens pour les deux parties que si les besoins exprimés par l'industriel couvraient une large palette d'applications en adéquation avec les domaines d'excellence de l'Unité Mixte de Physique. Dans une telle collaboration, chacun doit garder sa spécificité tout en s'investissant le plus possible dans la relation. La probabilité pour qu'une recherche débouche suppose également qu'il n'y ait pas de rupture dans la longue chaîne de maturité d'une découverte qui va de l'idée (TRL 0) au produit fabriqué et testé dans les conditions réelles d'utilisation (TRL 9) (le TRL (Technology Readiness Level) sert à mesurer le degré de maturité d'une technologie). Or, l'Unité Mixte de Physique est insérée dans TRT (Thales Research and Technology) qui est lui-même un centre de recherches inséré dans le Groupe Thales. L'Unité Mixte de Physique mène des études dont la plage de TRL est majoritairement comprise entre 0 et 3, TRT concentre ses efforts principalement sur des TRL compris entre 3 et 5, au-delà ce sont les divisions qui, par le biais des développements, prennent le relais. Cette organisation de type « poupées russes » permet à la fois de couvrir tout le spectre des TRL, de préserver l'identité de chacun et à tous de bénéficier d'un enrichissement mutuel.

Au cours des quatre dernières années, les résultats obtenus dans ses domaines de compétences par l'Unité Mixte de Physique se situent au meilleur niveau mondial. Le maintien de ce niveau d'excellence doit être une priorité à laquelle Thales tient tout particulièrement. La volonté de mieux se coupler aux équipes de TRT et d'amplifier ainsi l'impact des travaux de l'UMR 137 dans le Groupe Thales est l'autre point qui caractérise le mandat qui vient de s'achever. Le développement d'un démonstrateur autonome de filtre cryogénique commandable sur la bande 200-500 MHz constitue un aboutissement notable de cette démarche.

Ce développement a bénéficié des compétences de Thales dans le domaine de la cryogénie illustrant ainsi l'importance des échanges qui ont pu se développer avec d'autres composantes de TRT. Un autre projet concerne la construction d'un oscillateur à faible bruit de phase à 1 GHz. Ces réalisations illustrent aussi la prise de conscience que pour convaincre de la potentialité d'applications, il faut aller au-delà de la preuve de concept à la réalisation de systèmes dont les ingénieurs peuvent imaginer des moyens de développements industriels.

Le Laboratoire participe à de nombreuses actions vers le grand public. Il s'est beaucoup impliqué dans l'exposition "La spintronique, un nano-monde dans nos ordinateurs" du 16 décembre 2008 au 1er mars 2009 au Palais de la Découverte.

- **Appréciation sur la stratégie, la gouvernance et la vie de l'unité:**
 - **Pertinence de l'organisation de l'unité, qualité de la gouvernance et de la communication interne et externe :**

L'activité scientifique est structurée autour de trois thèmes représentant l'activité scientifique et de deux axes transversaux.

Entre les trois thèmes de nombreux échanges existent. Plusieurs personnes sont membres de deux thèmes. Plus de 1/4 des thèses sont réalisées en commun entre deux thèmes. L'axe transversal "matériaux et nanotechnologies" contribue fortement à l'activité des trois thèmes.

Cette organisation permet de préserver un fort esprit collectif, elle n'est elle-même possible que parce que cet esprit collectif existe.

Le directeur Frédéric Van Dau et le directeur-adjoint, Frédéric Petroff, forment une équipe soudée qui se révèle capable d'animer la réflexion sur les orientations scientifiques en interne et représente le laboratoire à l'extérieur de façon efficace, en particulier auprès de Thales et du CNRS.



- Existence et pertinence d'une politique d'affectation des moyens :

Bénéficiant de moyens substantiels à travers les succès aux appels à projets (ANR, C'Nano et Européens), et placé dans un environnement de recherche industrielle très favorable, Le Laboratoire n'a pas de difficultés financières. Au sein d'un Laboratoire qui fait preuve d'une véritable solidarité, les moyens sont distribués par consensus de l'ensemble des acteurs sous l'autorité de l'équipe de direction. On ne peut que souhaiter que cette situation puisse durer.

- Originalité et prise de risques :

La qualité de la réflexion sur la stratégie scientifique est remarquable. On a le sentiment que la prise de risque inhérente à l'activité de recherche est minimisée de ce fait.

Cette attitude professionnelle trouve sans doute sa source, au moins pour une part, dans la situation particulière de cette unité, près d'un partenaire industriel, et qui doit plus que les autres, convaincre ses tutelles de sa raison d'être.

- Relations industrielles :

Le projet scientifique 2011-2014 fait apparaître, conformément aux souhaits de Thales, un renforcement des liens existants et la création de nouveaux liens avec les laboratoires de TRT et la mise en place de six projets fédérateurs transverses. Ces actions transverses auront pour effet d'accélérer le processus d'innovation et de mobiliser les équipes sur des objectifs ambitieux et dimensionnants. Ces projets peuvent adresser un concept, un composant, un dispositif ou un système nouveau, voire une discipline. Ainsi, les modulateurs électrooptiques à faible tension de commande pour application dans le domaine hyperfréquence restent aujourd'hui un problème sans véritable solution technique. L'optospintronique, dans l'hypothèse où les composants spintroniques débouchent un jour, permettrait le transfert sur de longues distances de l'information de spin entre composants. La nanoélectronique supraconductrice pourrait être mise à profit pour réaliser des convertisseurs analogiques/numériques très performants ou encore des détecteurs sensibles dans le domaine des fréquences THz.

La possibilité démontrée de réaliser un oscillateur hyperfréquence accordable via l'amplitude du courant continu qui l'alimente pourra, si les caractéristiques techniques telles que largeur de raie ou puissance émise s'améliorent, trouver des applications dans le domaine des télécommunications. L'activité sur les démonstrateurs en technologie supraconductrice HTc devrait déboucher sur des filtres à haute sélectivité et faible bruit et des oscillateurs de référence dans le domaine hyperfréquence. Ce travail, aujourd'hui très avancé, est en passe de trouver un débouché industriel. Le projet amont sur le traitement cognitif de l'information s'appuie sur deux points forts : la conception et la réalisation d'un memristor original et une collaboration avec le Groupe de Recherche en Science et Technologie de l'Information de TRT sur les applications potentielles au traitement cognitif de l'information des architectures massivement parallèles et analogiques que permettent de réaliser ces nouveaux composants. Cet exemple est intéressant car il montre que l'insertion de l'UMR 137 dans TRT a permis de rapprocher deux communautés de chercheurs qui n'étaient pas forcément destinés à se rencontrer et dont la collaboration devrait conduire à de nombreuses innovations.

Depuis sa création, l'UMR 137 a eu le souci de se rapprocher des laboratoires de TRT et s'est montrée motivée par les challenges techniques proposés par Thales. Cette attitude qui justifie l'insertion d'un tel laboratoire dans une structure industrielle doit s'amplifier car elle constitue une source d'ouverture et d'innovations, à la fois pour l'UMR et pour les laboratoires de TRT. Elle est aussi pour Thales la garantie d'avoir accès à l'excellence pour une partie de ses recherches amont. Thales souhaite que l'UMR 137 préserve son excellence dans ses domaines de compétences où elle doit tout faire pour être le leader international et pour être l'initiateur des nouvelles voies de recherche. Pour cela, elle doit veiller à conserver un réservoir de chercheurs, expérimentateurs et théoriciens, au plus haut niveau et à préserver l'excellence technologique qui fait la bonne recherche. Cet équilibre subtil qui a démontré son efficacité durant les mandats précédents doit être maintenu.



4 • Analyse équipe par équipe et/ou par projet

Intitulé de l'équipe : Spintronique et Nanomagnétisme

Responsables : M. Frédéric Nguyen VAN DAU et M. Frédéric PETROFF

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	3	
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	6	
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	1	
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	1	
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	7 + 5x1/2	6
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées		

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :
 - Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

L'activité du thème « Spintronique et Nanomagnétisme » est organisée en 4 opérations de recherche, animées pour la plupart par un couple de chercheurs.

Une opération de recherche est dédiée au renversement de l'aimantation et à la génération de signaux hyperfréquences par transfert de moment cinétique depuis un courant polarisé en spin. Durant la période évaluée, l'équipe s'est tout particulièrement concentrée sur la mise en précession entretenue de l'aimantation avec pour objectif la réalisation d'oscillateurs. Elle s'est préoccupée des principales limitations pratiques de ce type de dispositifs. Grâce à sa maîtrise des phénomènes de transport diffusif dépendant du spin, elle a notamment montré que cette précession peut être obtenue sans champ magnétique appliqué. Elle a par ailleurs étudié à la fois théoriquement et expérimentalement la synchronisation d'assemblée d'oscillateurs afin d'augmenter la puissance rf émise. Dans ce domaine, des résultats se situant au tout meilleur niveau international ont été obtenus avec des oscillateurs à base de vortex magnétiques.

Une seconde opération concerne la nanospintronique et le nanomagnétisme. Cette opération de recherche repose largement sur des dispositifs de très petite taille réalisés à l'aide de la technique de lithographie par nano-indentation contrôlée par courant développée au laboratoire. Avec cette technique, l'équipe a pu contacter des nanoparticules uniques, de 2-3 nm de diamètre, à deux électrodes ferromagnétiques aux travers de barrières tunnel et mettre en évidence des effets physiques totalement inédits résultant de la combinaison d'effets magnétiques (accumulation de spin) et électrostatiques (blocage de Coulomb). Par ailleurs, l'équipe a récemment entrepris des recherches concernant le transport dépendant du spin dans des matériaux organiques.



Elle a d'ores et déjà obtenu de très forts effets de magnétorésistance avec le semi-conducteur AlO₃ et développé un modèle théorique pertinent, permettant d'expliquer les résultats contradictoires relevés à ce sujet dans la littérature et qui lui donne un avantage certain dans le domaine. Ces travaux devraient maintenant s'étendre à d'autres matériaux organiques, dont des couches moléculaires auto-assemblées.

Une troisième opération de recherche est dédiée à la spintronique avec des matériaux semi-conducteurs. L'une des voies de recherche suivies exploite les propriétés spécifiques du semi-conducteur magnétique dilué (Ga,Mn)As. Après avoir étudié le transport polarisé en spin (magnétorésistance tunnel, magnétorésistance tunnel anisotrope) dans des hétérostructures III-V à base de ce matériau, l'équipe approfondit désormais ses travaux sur le transfert de spin dans ce type de système et s'intéresse à la manipulation de l'aimantation au moyen d'impulsions acoustiques. Un second pan de l'activité de l'équipe a trait à l'injection de spin à l'intérieur d'un canal semi-conducteur depuis un métal ferromagnétique. L'équipe a progressé sur la voie d'une injection efficace avec la mise au point de la croissance de structures CoFeB/MgO/GaAs épitaxiées dans lesquelles la barrière tunnel cristalline de MgO assure un filtrage en spin des électrons. En intégrant un tel empilement dans une hétérostructure III-V de type spin-LED, l'équipe a démontré la possibilité de convertir, avec un rendement proche de l'unité, un courant de spin en un flux de photons d'hélicité contrôlée. Ce thème très porteur sera poursuivi avec en particulier le but de réaliser un spin-VECSEL (vertical cavity surface-emitting laser). Sur cet aspect, on doit regretter un certain manque de connaissance de résultats antérieurs (voir M.R. Hofman Phys. Stat. Sol. A 204, 500 (2007); Phys. Stat. Sol. C2, 436 (2009)) et M. Holub et al. J. Cryst. Growth 301-302 602 (2007)). Parmi les perspectives intéressantes de cette opération de recherche, il y a également l'étude de la conversion inverse et du mécanisme physique de transfert de moment angulaire entre photons et électrons.

La quatrième et dernière opération de recherche a pour objectif l'identification et l'évaluation de concepts pouvant servir à la réalisation de dispositifs basés soit sur les phénomènes de transport dépendant du spin, soit sur le caractère nanostructuré des matériaux employés. Les recherches menées au cours de la période de référence ont concerné le développement de magnétomètres, de circulateurs hyperfréquences (assemblée de nanofils magnétiques) et de capacités variables (agrégats métalliques en matrice isolante). Ces travaux ont été couronnés par la réalisation d'un démonstrateur multi-élément (96 capteurs magnétorésistifs), puis d'un prototype de sonde pour le contrôle non-destructif.

- **Quantité et qualité des publications, communications, thèses et autres productions :**

Sur la période de référence, les travaux du groupe ont donné lieu à une production scientifique remarquable, constituée de plus de 60 publications dans des revues internationales de haut ou très haut niveau (1 Nature, 2 Nature Phys., 1 Nature Mat, 1 Nature Nanotech, 7 Phys. Rev. Lett.), et plus de 150 conférences invitées. 3 brevets ont été déposés. Une dizaine de thèses ont été soutenues.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'équipe ou du projet dans son environnement :**

Sur ce thème, le laboratoire entretient un grand nombre de collaborations nationales et internationales judicieuses avec d'autres acteurs du domaine.

- **Capacité à obtenir des financements externes, à répondre ou susciter des appels d'offres, et à participer à l'activité des pôles de compétitivité :**

Le groupe a été particulièrement performant dans les appels d'offres compétitifs, français (3 projets ANR, 2 AC Nanosciences MRT, C'Nano IdF, RTRA Triangle de la Physique) et européens (5 projets du FP6 et FP7 acceptés sur la période).

- **Valorisation des recherches, et relations socio-économiques ou culturelles :**

La valorisation des recherches est un aspect fort de l'activité de l'Unité dans son ensemble (voir le paragraphe situé à cette question ci-dessus).



Le thème "Spintronique et Nanomagnétisme" très actif en recherche fondamentale émerge également par le nombre de brevets pris (5).

- **Appréciation sur le projet :**
 - Existence, pertinence et faisabilité d'un projet scientifique à moyen ou long terme :

Il y a dans le thème de recherche « Spintronique et Nanomagnétisme » une majorité d'activités pour lesquelles l'Unité Mixte de Physique occupe une position de tout premier plan au niveau mondial. Les projets associés à ces activités sont ambitieux et novateurs et ils devraient permettre au laboratoire de maintenir son statut de leader. Il est toutefois des activités pour lesquelles les moyens mis en œuvre ne paraissent pas/plus suffisants pour assurer au laboratoire la même position de leadership. C'est notamment le cas des recherches concernant la propagation et les oscillations de parois de domaines magnétiques induites par transfert de spin. Même si d'importants résultats théoriques ont été obtenus récemment concernant le rôle des courants de spin verticaux, le laboratoire a perdu la position de pionnier qu'il occupait sur le sujet dans la première moitié des années 2000. Si son ambition est de la regagner, un accroissement des moyens humains dévolus à cette activité devra vraisemblablement être consenti. Le laboratoire devra par ailleurs veiller à ce que le démarrage prévu et vivement encouragé d'une ambitieuse activité dans le domaine des memristors n'affaiblisse pas de manière dommageable d'autres activités ; on pense en particulier aux recherches sur les oscillateurs à base de vortex magnétiques qui contribuent aujourd'hui grandement au rayonnement de l'unité et dont les perspectives en termes d'applications sont très prometteuses.

Intitulé de l'équipe : Supraconducteurs à haute température critique et

Traitement du signal

Responsables : M. Jean-Claude MAGE et M. Javier BRIATICO

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**
 - Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

L'axe de recherche « Supraconducteurs à haute température critique (SHTC) et traitement du signal » mêle de façon harmonieuse des activités amont reposant sur la préparation de couches minces de l'oxyde SHTC YBaCuO et l'étude de leurs propriétés physiques, et des activités aval consistant en la réalisation de composants démonstrateurs hyperfréquences à partir de ces films minces. La maîtrise de la chaîne allant du matériau au dispositif constitue un atout de cet axe de recherche qui s'articule autour de trois opérations :

- Opération n°1 : Composants supraconducteurs numériques.
 - Opération n°2 : Systèmes supraconducteurs pour le traitement analogique du signal.
 - Opération n°3 : Dynamique des vortex.
- **Opération n°1. Composants supraconducteurs numériques :**

L'effet Josephson dans les matériaux SHTC permet d'envisager la réalisation de circuits électroniques numériques rapides et de circuits mixtes (conversion analogique/numérique), dont la brique de base est la jonction Josephson. Pour cela, il convient de relever le défi technologique de la reproductibilité des jonctions Josephson. C'est en ce sens que l'UMP CNRS/Thales, en étroite collaboration avec le LPEM-ESPCI (porteur du projet) et le LPN-CNRS, étudie une nouvelle technologie planaire de jonction Josephson consistant à irradier avec des atomes d'oxygène une étroite zone supraconductrice définie par lithographie électronique. Des résultats pertinents au niveau de la dispersion de la température critique des jonctions ont été obtenus et corroborés par des travaux de simulation, ce qui a donné lieu à quatre publications. Des travaux intéressants de conception et simulation sur un circuit comparateur pour un convertisseur analogique/numérique *pipe-line* sont menés en parallèle dans le cadre d'une thèse. Le test du circuit qui sera réalisé en fonderie devrait permettre de conforter les résultats de simulation.



Commentaires : Les résultats validant les aspects intégration et technologie sont intéressants au niveau amont. Il convient désormais de s'assurer de la stabilité de ces jonctions Josephson irradiées en particulier pour leur mise en œuvre pour les applications envisagées. L'étude prospective sur les jonctions Josephson réalisées à partir de bicouches supraconductrices / ferroélectriques s'avère être aussi une option attractive.

- **Opération n°2. Systèmes supraconducteurs pour le traitement analogique du signal :**

La recherche de la performance de ces composants et leur intégration dans un système cryogénique opérationnel sont deux objectifs clés définis en liaison étroite avec les divisions Thales concernées.

Afin d'atteindre le premier objectif relatif à la performance, des études ont été entreprises pour optimiser la croissance des matériaux (telle que l'étude originale menée sur la croissance de films diélectriques de SrTiO₃ à partir de cibles métalliques Sr/Ti pour la réalisation de filtres commandables) ou pour évaluer l'influence de la technique de gravure des composants sur leurs caractéristiques. En outre, des efforts importants ont été mis en œuvre pour optimiser la géométrie des composants et étudier finement leur tenue en puissance (voir opération n°3).

Grâce au savoir-faire de Thales dans le domaine de la cryogénie, le second objectif d'intégration de composants dans un cryogénérateur miniature est relevé avec brio : un démonstrateur autonome de filtre cryogénique commandable sur la bande 200-500 MHz, mettant en œuvre des inductances supraconductrices, des capacités SMS et des commutateurs refroidis a été réalisé : les tests ont révélé des performances excellentes (pertes totales inférieures à 1 dB). De plus, un oscillateur à faible bruit de phase à 1 GHz est en cours de finalisation : la solution proposée devrait être compétitive par rapport aux solutions commerciales actuelles tant au niveau du gain que de la miniaturisation.

Commentaires : On ne peut que souligner la qualité des résultats obtenus dans ce domaine où les études amont et les développements aval trouvent leur place de façon naturelle et complémentaire.

- **Opération n°3. Dynamique des vortex :**

Afin de comprendre les causes de limitation des performances des dispositifs vis-à-vis de la puissance micro-onde incidente (cf. Opération n°2), des bancs de test originaux ont été développés dans le cadre d'une thèse en collaboration avec le LSI-École polytechnique. Les résultats ont permis ultérieurement d'optimiser la géométrie de résonateurs planaires en redistribuant les courants créateurs de dissipation et ainsi de multiplier par 10 le facteur de qualité de résonateurs planaires en régime de forte puissance micro-onde (50 W) pour des températures inférieures à 60 K. De nouvelles pistes intéressantes d'ancrage des vortex pour réduire les pertes hyperfréquences sont actuellement explorées. Il s'agit de créer des défauts micro/nanométriques par lithographies optique et électronique, par inclusion de nanoparticules, ou encore par irradiation.

Ces études à caractère plus fondamental se révèlent de grande importance pour la compréhension des mécanismes de pertes hyperfréquences dans les composants.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'équipe ou du projet dans son environnement :**

- **Capacité à recruter des chercheurs, post-doctorants ou étudiants de haut niveau, en particulier étrangers :**

Le nombre d'étudiants en thèse sur la période (5) est satisfaisant, surtout pour un groupe dont une part significative de l'activité est de caractère plus appliqué. Un seul post-doc a été accueilli au sein du thème. Un effort pourrait sans doute être fait dans ce domaine. Les contrats ANR, Européens et de caractère industriel sont en général bien adaptés à l'emploi de post-docs.



- Capacité à obtenir des financements externes, à répondre ou susciter des appels d'offres, et à participer à l'activité des pôles de compétitivité :

Très bons succès aux appels d'offre nationaux (ANR) et européens (FP7).

A noter un contrat avec la DGA.

- Valorisation des recherches, et relations socio-économiques ou culturelles :

La réalisation de deux démonstrateurs en électronique supraconductrice (l'un achevé cette année, l'autre prévu courant 2010) est un aboutissement notable, illustrant l'effort de valorisation des recherches de l'Unité.

- Appréciation sur le projet :

- Existence, pertinence et faisabilité d'un projet scientifique à moyen ou long terme :

Le projet de l'axe de recherche « Supraconducteurs à haute température critique (SHTC) et traitement du signal » s'articule autour de deux opérations de recherche : les démonstrateurs en électronique supraconductrice d'une part, et la nanoélectronique supraconductrice d'autre part. De plus, il est concerné par l'opération de recherche transverse « Systèmes hybrides supraconducteurs/ferroïques ».

Les activités phares de réalisation de démonstrateurs en électronique supraconductrice seront poursuivies en collaboration étroite avec les divisions Thales concernées. Elles seront axées essentiellement sur le filtrage et les oscillateurs. Mais d'autres perspectives sont également évoquées : antennes de petite taille, récepteurs numériques, détecteurs et imageurs submillimétriques. Sur ce dernier point (imagerie), une réflexion approfondie devrait être menée afin de cerner plus précisément les tenants et aboutissants d'une telle recherche, compte-tenu de l'activité nationale et internationale déjà menée dans ce domaine.

L'opération nanoélectronique supraconductrice se concentrera essentiellement sur l'étude des défauts intrinsèques comme centres de piégeage de vortex, la fonctionnalisation des films supraconducteurs, les jonctions Josephson ainsi que sur un concept de source millimétrique à partir de $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$.

L'opération transverse « Hybrides supraconducteurs/ferroïques » a comme objectif d'aboutir à de nouvelles fonctionnalités en maîtrisant les propriétés électroniques et supraconductrices des SHTC. Son caractère transverse est basé sur l'expertise et la complémentarité avec les thèmes « Spintronique et nanomagnétisme » et « Oxydes fonctionnels ». Soulignons ici l'effort pour créer une synergie dans un sujet qui a été jusqu'à maintenant peu exploré encore dans le contexte des SHTC alors qu'il a conduit à de très bons résultats dans le domaine des supraconducteurs à basse T_c . Trois axes d'action sont considérés : 1/ Le piégeage magnétique des vortex ; 2/ Les effets de proximité SHTC-ferromagnétiques ; 3/ La modulation avec des champs électriques. Dans les trois cas, il faudra chercher des matériaux et structures qui puissent permettre d'arriver à des résultats convaincants. Pour ce faire, l'expérience des thèmes autres que la supraconductivité sera déterminante. Cette initiative offre de très bonnes opportunités pour l'innovation dans la nanoélectronique supraconductrice et, en même temps, renforcera l'activité en amont de l'axe de recherche. Il est essentiel de renforcer le personnel scientifique dédié à cette opération de recherche.



Intitulé de l'équipe : Oxydes fonctionnels

Responsables : Mme Agnès BARTHELEMY et M. Frédéric NGUYEN VAN DAU

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :
 - Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

Après la période consacrée aux travaux sur la magnétoresistance géante et les MRAM, l'UMR 137 a décidé de formaliser l'existence d'un thème consacré aux "oxydes fonctionnels". Ce thème tire bénéfice des compétences complémentaires du Laboratoire, concernant d'une part les propriétés de transport dépendant du spin, et d'autre part la croissance d'oxydes par dépôt laser pulsé. L'essentiel de cet axe concerne les "multiferroïques pour la spintronique". Un aspect central est de trouver ou développer des matériaux dans lesquels l'aimantation puisse être contrôlée à l'aide d'un champ électrique. Ceci présente l'avantage d'une dissipation d'énergie minimale associée à une réduction de la taille des processeurs MERAM (= magnetoelectric RAM). L'objectif est d'atteindre des dimensions inférieures à celles des éléments microélectroniques actuels, soit 90 nm. Ce sujet attire un vaste intérêt sur le plan mondial et il est de nature très compétitive. Le groupe figure parmi les plus puissants mondialement. Il est fortement motivé, très compétent et poursuit plusieurs idées originales.

Durant cette période, l'activité a été constituée de 5 opérations de recherche.

- Dans le domaine des interfaces de structures à base d'oxydes, l'Unité s'est intéressée aux propriétés de conduction à l'interface dans le système SrTiO₃/LaAlO₃. Une explication très convaincante a été apportée pour rendre compte des résultats contradictoires de la littérature. Elle met en évidence le rôle crucial de la qualité cristalline de la couche de LaAlO₃. On doit noter ici l'apport des mesures utilisant l'AFM à pointe conductrice (CT-AFM).
- Des études fondamentales ont été développées sur le système BiFeO₃ révélant des effets de couplage entre antiferromagnétisme et ferroélectricité, en particulier à travers les observations de domaines. Un autre aspect original est d'exploiter le caractère antiferromagnétique de BiFeO₃ pour fabriquer des bicouches présentant le phénomène d'échange-bias et dont les propriétés sont contrôlables électriquement. Ces idées autour de la spintronique, et basées sur BiFeO₃ (BFO) - le seul système multiferroïque à une phase, qui fonctionne à la température ambiante - sont très prometteuses. D'autres groupes dans le monde, de compétences proches, développent des approches similaires de celles développées au sein de l'Unité de Physique (UC Berkeley, UN Lincoln, U Duisburg-Essen). Celles-ci ont éventuellement fait l'objet de brevet.
- Les études sur les oxydes dilués se sont centrées sur ZnO dopé Co et sur (LaSr)TiO₃ dopé Co. Dans un cas comme dans l'autre, le caractère intrinsèque du magnétisme n'a pu être démontré, la présence de petits clusters métalliques de Co perturbant l'analyse des résultats. Les difficultés de préparation de matériaux sont cruciales. Dans l'attente d'une possible résolution de celles-ci, ce thème, sujet de nombreuses incertitudes, sera mis en sommeil dans la période à venir.
- Dans le domaine des propriétés de transport d'hétérostructures d'oxydes, l'idée la plus spectaculaire a concerné un système de résistance tunnel avec des barrières ferromagnétiques et ferroélectriques, fondé sur le système (La,Bi)MnO₃ (LBMO) et permettant une logique à 4 bit tout à fait nouvelle (Gajek et al., Nature Mat. (2007)). Malheureusement on n'a pas trouvé à ce jour un matériau multiferroïque semblable à LBMO, qui satisfasse la condition cruciale de fonctionner à la température ambiante. La plupart des experts s'accordent sur le fait qu'il s'agit là d'un défi de taille.
- Les études sur les barrières tunnel ferrimagnétiques à base de NiFe₂O₄ et CoFe₂O₄, sources d'effets TMR très importants, sont également prometteuses.



- Le cinquième axe de travail concerne les dispositifs exploratoires exploitant les propriétés spécifiques d'oxydes fonctionnels. Le travail sur les "jonctions tunnel ferroélectriques" est tout à fait original et très prometteur. Il fait suite au travail pionnier de Kohlstedt et Tsybal sur l'influence électrostatique des interfaces et des contraintes sur la "TER" (Tunnel Electro-resistance). L'utilisation de couches minces de BaTiO₃ (BTO) pour réaliser des barrières tunnel et de couches minces de BTO/LSMO pour celle des mémoires non-volatiles a été un grand succès. On peut s'interroger en revanche sur l'intérêt ultime du modulateur électro-optique basé sur BFO. Pour quelles raisons et sur la base de quels critères, ses propriétés pourraient-elles finalement surpasser celles des systèmes utilisant LiNbO₃, optiquement intégrés depuis longtemps ?
- **Quantité et qualité des publications, communications, thèses et autres productions :**

Excellente productivité scientifique. De nombreuses publications dans des journaux de fort impact (dont 1 Nature, 2 Nature Materials, 7 PRL).

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'équipe ou du projet dans son environnement :**
 - **Capacité à recruter des chercheurs, post-doctorants ou étudiants de haut niveau, en particulier étrangers :**

Dans ce thème créé plus récemment le nombre d'étudiants en thèse est un peu moindre que dans les deux autres. Sur 8 thèses soutenues ou en cours, 4 sont réalisées en commun avec un autre thème de l'Unité.

- **Capacité à obtenir des financements externes, à répondre ou susciter des appels d'offres, et à participer à l'activité des pôles de compétitivité :**

Nombreux succès aux appels à projets de l'ANR comme de ceux des programme-cadre la commission européenne.

- **Valorisation des recherches, et relations socio-économiques ou culturelles :**

Effort de réflexion visant à la mise en application des recherches (jonctions tunnels ferro-électriques et modulateur électro-optique. Brevet Memristor "oxydes").

- **Appréciation sur le projet :**
 - **Existence, pertinence et faisabilité d'un projet scientifique à moyen ou long terme :**

L'étude proposée de l'injection d'électrons polarisés dans le canal conducteur, à l'interface LaAlO₃/SrTiO₃ s'inscrit dans le prolongement du très beau travail fait sur les gaz 2D pouvant exister dans ce système. Cette étape franchie, la manipulation de la polarisation par un champ électrique ou un champ magnétique constituerait le prochain défi. La possibilité d'inscrire des lignes conductrices dans ces hétérostructures à l'aide d'une pointe conductrice est un aspect original de ce type de matériaux.

Dans les hétérostructures à base de matériaux multiferroïques, l'objectif est d'aboutir au contrôle électrique de l'aimantation de vannes de spin par action sur une couche ferroélectrique/antiferromagnétique de BiFeO₃, en exploitant le mécanisme d'échange-bias. La réalisation la plus spectaculaire de ce type de phénomène a été obtenue dans Cr₂O₃/CoPt (Borisov et al. et Binek et al.) où la direction d'aimantation peut être directement renversée par application d'un champ électrique. Dans les autres systèmes étudiés, un tel renversement de l'aimantation n'a pas été vu jusqu'à ce jour. Une réflexion et des expériences sont certainement nécessaires pour identifier si les systèmes analysés peuvent dans leur principe permettre d'obtenir un renversement d'aimantation ou une seule rotation de la direction de facile aimantation.



Les actions concernant la modulation électro-optique de BiFeO₃ (avec les réserves exprimées ci-dessus) et l'étude de non-linéarités optiques de matériaux ferroélectriques et multiferroïques qui répondent à des besoins exprimés par Thales TRT bénéficieront des compétences matériaux de ce groupe.

Les études envisagées sur les jonctions tunnel concernent tout d'abord SrTiO₃. Elles visent à associer très forte TMR et réduction, par rapport à MgO, du produit RA. Par ailleurs, la possibilité de moduler l'effet tunnel par la ferro-électricité pourrait ouvrir une voie nouvelle au contrôle d'une jonction tunnel par un champ électrique.

Le sujet MEMRISTOR "oxyde" s'insère dans le projet plus global, autour des memristors. L'idée, très originale, est d'utiliser les cycles d'hysteresis inclinés des "relaxeurs ferro-électriques" tels qu'observés dans le composé 90% PbMg_{1/3}Nb_{2/3}O₃ + 10% PbTiO₃. Ces matériaux fournissent une polarisation continument variable, qui peut donc être transformée en résistance continument variable. Il faut être conscient que le concept de MEMRISTOR introduit par Hewlett-Packard 2008, attire un grand intérêt au sein de la communauté scientifique internationale. On peut prévoir que ce sera dans le proche avenir un domaine d'activité très compétitif. Considérant la qualité des personnes engagées sur ce thème, le Comité pense que l'Unité de Physique a les moyens de relever le défi.

Intitulé de l'équipe : Matériaux et Nanotechnologies

Responsables : M. Karim Bouzehouane, M. Cyrille DERANLOT et M. Eric

JACQUET

- **Appréciation sur la qualité scientifique et la production :**
 - **Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :**

Des matériaux avancés, qu'ils soient des semiconducteurs (e.g., GaMnAs), des métaux ferromagnétiques, des supraconducteurs à haute température critique, des oxydes (e.g., BiFeO₃, BaTiO₃ pour des barrières tunnel ferroélectriques), ou bien des matériaux à base de carbone tels que des organiques, des nanotubes de carbone ou du graphène sont les constituants clés servant à l'élaboration de nano/hétéro structures innovantes, telles que celles formées de systèmes hybrides ferromagnétique/semiconducteur ou organiques. Les interfaces jouent un rôle majeur dans ces nano-structures préparées à l'état de l'art en films minces par pulvérisation cathodique (par exemple pour le dépôt de MgO), ablation laser pulsée (e.g., supraconducteurs, oxydes fonctionnels) ou évaporation thermique (e.g., métaux, organiques) et contrôlées à l'échelle atomique par RHEED (y compris à haute pression). Souvent ces méthodes sont utilisées en synergie pour la création de structures hybrides. Eventuellement les nano-structures sont individualisées à l'aide de méthodes performantes de lithographie.

Les outils privilégiés de microscopie à force magnétique ou atomique (typiquement à pointe conductrice (CT-AFM) ou pour la réponse piézo-électrique), fonctionnant éventuellement aux températures cryogéniques et sous champ magnétique, permettent d'en analyser les caractéristiques physiques (par exemple les barrières tunnel, l'imagerie de domaines et parois ferroélectriques), mais aussi servent à la réalisation de procédés nano-lithographiques innovants. A cet égard, la méthode originale d'obtention par indentation dans un isolant très mince de « nano-trous », qui, typiquement remplis par un métal, permettent la réalisation de nano-contacts (moins de 10 nm) sur les structures étudiées, mérite d'être soulignée.

La valeur des résultats scientifiques pour les trois thèmes de l'Unité repose pour une très large part sur les succès dans l'élaboration de ces nouvelles nano-structures. Ces succès tiennent certes aux outils très performants mis en jeu et aux moyens importants dont dispose l'Unité dans l'environnement particulièrement favorable de TRT. Mais l'utilisation optimale de ces outils et de ces moyens au profit des projets de recherche est à porter au crédit de l'action de personnels, particulièrement motivés et dynamiques, à la pointe de la technologie (dont le pivot a été distingué par un cristal du CNRS), et à l'osmose rare réalisée entre ces personnels et les chercheurs. La mise en commun de l'ensemble de ces ressources et moyens en permet une gestion très efficace dans une atmosphère émulative, féconde et confraternelle qu'on ne rencontre guère ailleurs.



- **Quantité et qualité des publications, communications, thèses et autres productions :**

Les résultats remarquables, illustrés typiquement par l'injection de porteurs polarisés en spin via une barrière de MgO, la croissance de couches minces du multiferroïque BiFeO₃, l'observation en coupe transverse par CT-AFM du confinement du gaz électronique à l'interface entre deux oxydes isolants SrTiO₃ et LaAlO₃ à température ambiante, la réalisation de nano-contacts à magnétorésistance géante par nano-lithographie, irriguent un nombre important de publications dans des journaux à très fort facteur d'impact, alimentent la plupart des travaux de thèse et sont le socle de divers brevets.

- **Qualité et pérennité des relations contractuelles :**

Les moyens originaux développés par l'Unité sont souvent mis au profit de l'ensemble de la communauté nationale à travers les succès aux appels d'offre de l'ANR et même au-delà à travers les projets européens.

Des projets spécifiquement tournés vers le développement de la nano-lithographie par CT-AFM ont fait l'objet de financements C'Nano Ile de France et ANR-Pnano.

- **Appréciation sur le rayonnement, l'attractivité, et l'intégration de l'équipe ou du projet dans son environnement :**

L'ensemble de l'activité expérimentale de l'Unité de Physique se structure autour de l'axe transverse Matériaux et nanotechnologies, aussi bien dans ses aspects de recherche fondamentale que dans ses aspects appliqués en relation directe avec les groupes de Thales-RT.

Réciproquement, l'axe bénéficie des moyens financiers obtenus grâce aux succès aux appels à projets de l'ANR ou des programmes cadres européens.

Le cristal du CNRS a été remis en 2004 à Karim Bouzehouane pour le développement de la nanolithographie par CT-AFM.

- **Appréciation sur le projet :**

- **Existence, pertinence et faisabilité d'un projet scientifique à moyen ou long terme :**

Le rapport d'activité et le projet font apparaître sans ambiguïté que l'axe "Matériaux et technologie" continuera à travailler dans les années qui viennent au service de l'activité de recherche. Les présentations orales faites lors du comité de visite ont pleinement confirmé cet engagement.



Intitulé de l'équipe : LIGA

Responsable : M. Stéphane MEGTERT

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)		
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	1	1
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)		
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	2	2
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)		
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)		
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées		

- Appréciation sur la qualité scientifique et la production :
 - Pertinence et originalité des recherches, qualité et impact des résultats :

L'activité LIGA n'est pas de même nature que les autres activités de l'UMR 137. Elle adresse un domaine dimensionnel bien spécifique et présente une forte composante service. Historiquement, le rattachement de l'équipe LIGA à l'Unité Mixte de Physique faisait suite à la fermeture du LURE. Le rapprochement de cette activité d'un laboratoire industriel a permis d'explorer son potentiel d'applications et de montrer que, pour un domaine spécifique de besoins notamment ceux qui requièrent des facteurs de forme très élevés, cette technologie est la seule à pouvoir satisfaire la demande.

- Qualité et pérennité des relations contractuelles :

La technique LIGA est adaptée à la réalisation d'objets très spécifiques. Les principales collaborations existantes sont avec des groupes de Thales TRT.

- Appréciation sur le projet :

L'intérêt de l'activité LIGA étant démontré, c'est la composante service de cette activité qui doit être développée et exploitée ; mieux qu'elle ne l'est aujourd'hui en repositionnant de façon centrale, plus visible et plus accessible ce laboratoire.

A moyen terme, garder la technique LIGA dans l'environnement de recherche d'un seul industriel n'est pas la solution optimale au niveau national. Cette situation rend plus difficiles les collaborations avec les autres industriels et éloigne l'activité des laboratoires de recherche publics. Un rapprochement avec de grands laboratoires dans le cadre de l'aménagement du Plateau de Saclay conjugué à la proximité immédiate de la ligne de SOLEIL dédiée à la LIGA pourrait faire sens.