

Cluster "Microélectronique, Nanosciences et Nanotechnologies"

APPEL A SUJET de RECHERCHE 2007



Date de retour du dossier : le 24 novembre 2006, au plus tard à l'adresse suivante : Valerie.Rocchi@cluster-micronano.fr

Responsable scientifique :

Ahmad BSIESY, Université Joseph Fourier
SPINTEC
CEA DRFMC

Conseiller scientifique :

Daniel-Pierre BOUCHIER
Directeur de recherche CNRS
Institut d'Electronique Fondamentale d'Orsay

Chargée de mission : Valérie ROCCHI

E-mail: Valerie.Rocchi@cluster-micronano.fr

Tél: 04 76 82 51 68

Sommaire

1. Contexte scientifique.....	p 2
2. Le programme scientifique.....	p 2
3. La gouvernance	p 4
4. Critères d'éligibilité des sujets de recherche.....	p 6
5. ANNEXE 1 Calendrier	p 7
6. ANNEXE 2 Projets scientifiques	p 8
7. ANNEXE 3 Les sujets 2005 et 2006	p 16
8. ANNEXE 4 Dossier de candidature 2007	p 18

1. Contexte scientifique

Le domaine des micro-nanotechnologies constitue un des axes majeurs de la politique régionale :

- du point de vue de l'enseignement et de la recherche (cf. création du pôle MINATEC à Grenoble, de l'Institut de l'Energie Solaire à Chambéry, pôle optique à Saint Etienne, l'ARATEM à Valence ...).
- du point de vue de la valorisation industrielle (cf. pôle de compétitivité « Minalogic », grands projets structurants comme Crolles-II ou le pôle optique).

Le tissu industriel est dense, avec des grosses entreprises du secteur (Alliance Crolles II, Soitec, Schneider, Air Liquide, Thalès, France Télécom, ...) des PME et des start-up (Tronics, Teem Photonics, Crocus, ...).

Les laboratoires de recherche des Organismes et des Universités sont nombreux et forment un ensemble cohérent qui couvre tous le spectre du domaine :

- Recherche fondamentale en nanosciences
- Recherche technologique (procédés, composants)
- Support au développement industriel

L'objectif principal du cluster est de contribuer activement :

- A la structuration de la recherche avec l'émergence
 - o de thématiques nouvelles, potentiellement pluridisciplinaires
 - o de projets trans-régionaux cohérents et clairs
 - o de jeunes équipes trans-laboratoires
- Au développement du tissu économique régional, tant en ce qui concerne
 - o le support à l'activité de cœur en microélectronique
 - o le développement de domaines émergents comme la spintronique, l'électronique moléculaire, la traçabilité par RFID....
 - o un meilleur couplage avec le milieu industriel existant
 - o L'émergence de start-up à fort potentiel
- Au rayonnement international en faisant ressortir un ensemble cohérent et lisible visible « de loin ».

2. Le programme scientifique

RAPPEL DE VOCABULAIRE :

- la « thématique » est le champ défini par le titre du cluster ;
- le « programme » se rapporte au cluster dans son ensemble,
- le programme est composé de « projets », qui sont les axes de structuration du cluster, eux même composés de « sujets » pouvant comporter ou non une demande d'ADR.

Le cluster a été structuré en 5 projets (ex. axes thématiques) principaux, représentant les enjeux économiques majeurs des micro-nano technologies. (Voir programme détaillé en annexe 2)

Trois de ces projets constituent le cœur de l'activité :

- Micro-Nano Electronique
- Nanotechnologies (Intégration, procédés, matériaux)
- Micro et Nano systèmes

Deux autres projets en forte émergence viendront en soutien à cette activité de cœur **à partir de 2008 :**

- Nano-magnétisme et Electronique de spin
- Micro et Nano Photonique

En effet, pour être en phase avec les engagements de la Région vis-à-vis de l'Alliance, le cluster a décidé de concentrer ses moyens 2007 sur les projets dits « de cœur » en Micro-Electronique. Les projets Nano-photonique et Nano-magnétisme redeviendront éligibles dès 2008. (Voir planning ci-dessous selon le projet du contrat quadriennal).

Projet	2007	2008	2009	2010
Microélectronique				
Nanotechnologies				
Micro- et Nano-Systèmes				
Nano-Photonique				
Spintronique				
Projets d'interface				

Chaque projet (ex. axe thématique) est animé par un responsable scientifique adossé à une petite équipe dont la fonction est d'assurer la communication de l'information dans sa communauté, d'organiser la réflexion scientifique et de faire émerger des projets de recherche cohérents et structurants :

- Micro-nano électronique (composants)** : G.Ghibaudo (IMEP), V.Bouchiat (CRTBT), A.Souifi (LPM)
- Micro-Nano systèmes** : C.Malhaire (LPM), G.Reyne (LEG), L.Montès (IMEP), S. Basrour-(TIMA) Pierre Lemaitre-Auger (LCIS)
- Nanotechnologies (intégration, procédés, matériaux)** : T.Baron (LTM), V. Lysenko (LPM), C.Dubourdieu (LMGP)
- Electronique de spin** : J.Cibert (LLN), Y.Samson (CEA/DRFMC), V.Dupuis (LPMCL)
- Micro-nano-photonique** : P.Viktorovitch (LEOM), F.Pigeon (LTSI), B.Boulangier (LSP), Jean-Michel Gérard (DRFMC-CNRS), Bernard Jacquier (LPCML / NanOptec), T.Benyattou (LPM), J.LCouttaz (LAHC)

+ Projets d'Interface : Par exemple, Architecture de composants innovants, Nano-biotechnologies, systèmes embarqués,

La labellisation de projets d'interface n'interviendra à titre exceptionnel que pour des sujets jugés stratégiques pour le cluster.

3. La gouvernance

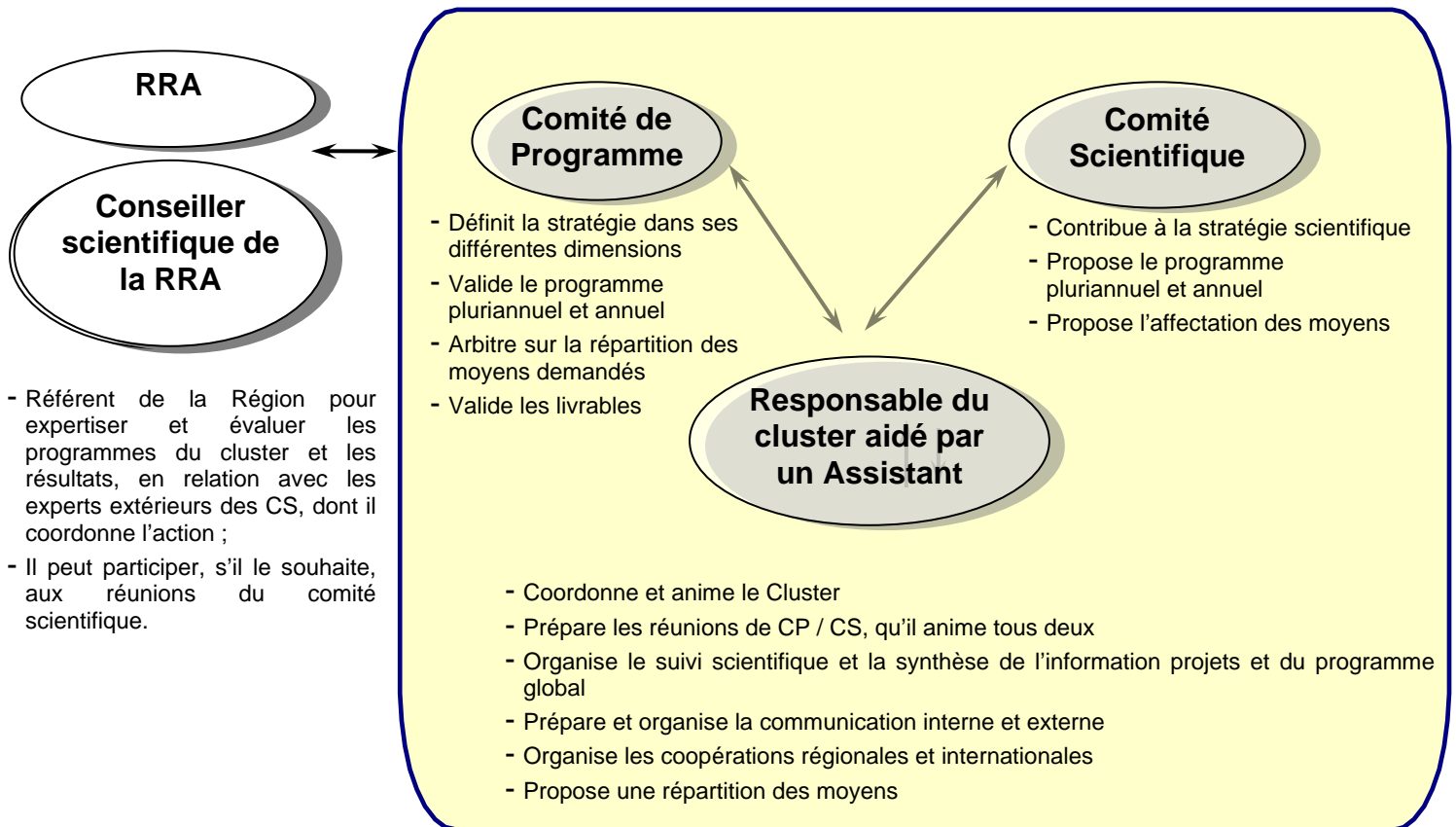
Ce schéma rappelle les instances et leurs rôles respectifs pour le management de cluster. Chaque cluster est composé d'instances de gouvernance dont les responsabilités sont présentées schématiquement ci-dessous.

Le management du cluster est assuré par un responsable de Cluster qui anime le comité de programme (CP) et le comité scientifique (CS).

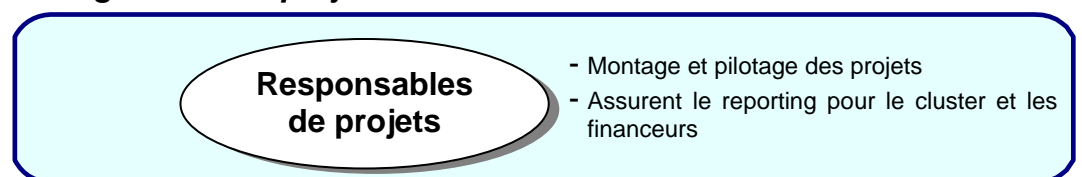
Le Comité de programme est composé des représentants des établissements et des représentants de la demande économique, sociale et sanitaire, en prenant en compte les thématiques des clusters et les sites géographiques.

Le Comité Scientifique est composé des responsables de projets et des experts extérieurs.

Management du Cluster



Management des projets



Responsable du cluster : Ahmad Bsiesy

Conseiller scientifique de la Région Rhône-Alpes : Daniel Bouchier (IEF Orsay)

Comité de Programme :

MEMBRES	AFFILIATION
Alain Perez	UCB Lyon
Andreas Wild	Freescale Semiconductors
Bernard Flechet	Université de Savoie
Dick Heslinga	Philips Semiconductors
Florent Pigeon	Université J. Monnet Saint Etienne
Gérard Guillot	INSA Lyon
Hervé Mingam	STMicroelectronics
Joël Rollin	Thalès-Angénieux
Laurent Levy	IdNano-UJF Grenoble
Laurent Malier	LETI
Laurent Montès	INP Grenoble
Noël Magnéa	DRFMC
Stéphane Renard	Tronics System

Comité Scientifique :

Thématiques	Responsables de projets		Experts scientifiques extérieurs	
	NOM	Affiliation	NOM	Affiliation
Micro-Nanoélectronique	G. GHIBAUDO	IMEP, INPG	D. GOGENHEIM	L2MP, Marseille
Nano-technologies	T. BARON	LTM, UJF	Y. BONNASSIEUX	LPICM, Palaiseau
			G. FAINI	LPN, Marcoussis
Micro-Nanosystèmes	C. MALHAIRE	LPM, INSA	Y. CHEN	ENS, Paris
Electronique de Spin	J. CIBERT	LLN, CNRS	A. THIAVILLE	Laboratoire de Physique des Solides, Orsay
Micro-Nanophotonique	P. VIKTOROVITCH	LEOM, EC LYON	C. AMRA	Institut Fresnel, Paris

4. Critères d'éligibilité des sujets de recherche 2007

Le cluster interviendra majoritairement pour initier et soutenir des sujets de recherche. Son domaine d'action sera principalement l'octroi de bourses de thèses (ADR), de crédits (<100k€ par sujets), à part égale entre fonctionnement et équipements*, et de bourses d'accueil. Les crédits sont alloués pour trois ans et versés en une seule fois lors du démarrage du sujet.

Le comité de sélection jugera les sujets dans leur globalité, sans aucun à priori entre le type de projet, l'axe thématique considéré ou le soutien à des projets préexistants.

Critères d'éligibilité des nouveaux sujets:

Le Positionnement général des projets est sur le moyen/long terme (6 à 10 ans), à « l'amont de l'aval ». Le développement incrémental de technologies existantes ou la recherche trop fondamentale sont exclus de cet appel d'offre.

Par delà le simple soutien à l'excellence scientifique, le cluster a pour mission principale la structuration régionale de la recherche. Pour cela, les projets sélectionnés devront répondre à un au moins des deux critères suivants :

- **la mise en réseau** (effet « cluster ») de laboratoires pas ou peu habitués à collaborer. On favorisera donc des alliances nouvelles, préférentiellement entre champs disciplinaires différents.
- **l'impact socio-économique** pour la Région. La participation ou le soutien d'un acteur industriel n'est pas indispensable mais est souhaitable. Le support effectif de l'Alliance est bien entendu un plus.

Enfin, dans la mesure du possible, on s'efforcera d'articuler les projets autour des politiques de structuration régionales et nationales (politiques de site, pôles de compétitivité, réseaux thématiques, ...).

* Les équipements sont financés à 100%

Calendrier de l'Appel à sujet de recherche

- 11 Octobre 2006** : envoi de l'appel d'offre
- 24 novembre 2006** : retour des dossiers de candidatures
- Fin novembre 2006** : envoi des dossiers aux experts scientifiques extérieurs
- < 10 janvier 2007** : réunion du Comité Scientifique : proposition de classement
- < 20 janvier 2007** : réunion du Comité de Programme : classement définitif
- 31 janvier 2007** : dépôt du dossier final à la Région
- Communication des résultats du classement aux porteurs de sujets
- Avril 2006** : Vote de la Commission Plénière de la Région Rhône-Alpes

Les projets scientifiques

Projet Micro et Nano-Electronique : G.Ghibaudo (IMEP), V.Bouchiat (CRTBT), A.Souifi (LPM)

L'objectif général de la Micro et Nano-électronique est de concevoir et de réaliser des composants de plus en plus petits en accord avec la loi de Moore afin de pouvoir fabriquer des circuits logiques ou analogiques de plus en plus denses en terme d'intégration et de plus en plus rapides et complexes en terme de vitesse de fonctionnement et de capacité de traitement de l'information.

Des réflexions sur les perspectives de la micro- nano- électronique sont consignées dans la feuille de route des semiconducteurs établie par l'ITRS, association des industriels, équipementiers, organisations gouvernementales, instituts de recherche et autres universités travaillant dans le domaine des semiconducteurs pour la microélectronique.

Les différentes orientations possibles pour la recherche technologique en microélectronique d'ici 20 ans concernent l'évolution du CMOS et des mémoires associées, ainsi que les nouveaux dispositifs et architectures envisagées pour le post-CMOS qui pourraient à long terme remplacer les circuits intégrés standards.

Dans ce projet Micro et Nanoélectronique, trois thématiques principales peuvent être distinguées :

1. Composants et technologies
2. Caractérisation et test avancés
3. Modélisation et simulation

Composants et technologies

Pour le CMOS ultime, on sait aujourd'hui que l'objectif principal est d'aller vers de nouvelles architectures de dispositifs MOS à contrôle électrostatique renforcé pour arriver au transistor quasi balistique. Cela implique des efforts considérables en terme de procédés technologiques pour améliorer dans un premier temps les propriétés de transport par des effets de contraintes mécaniques permettant une ingénierie de bande appropriée et de réaliser des composants de faibles dimensions dans lesquels l'accès ne pénalise pas les performances de transport. Les grandes directions de recherche pour le CMOS ultime sont i) les films minces de type SOI, les FET multi grilles combinant les effets de contrainte, les diélectriques à haute permittivité réduisant les fuites de grille ainsi que l'amélioration des procédés technologiques de fabrication (lithographie, gravure ...). On considère que la fin du CMOS standard sera le nœud technologique 16nm. Au-delà de cette dimension, d'autres technologies émergentes seront envisagées pour l'ère du post-CMOS.

Pour les mémoires (DRAM, Flash, MRAM, ...), les grandes orientations de recherche vont vers l'amélioration des performances de stockage des mémoires flash traditionnelles par discrétisation des sites de stockage (nano cristaux, pièges, molécules,...) en remplacement de la grille flottante continue, l'utilisation d'autres concepts de stockage (changement de phase ou de résistance, Ferro, magnéto,...), les mémoires à peu d'électrons (SEM, SET) ou encore à fonctionnement moléculaire.

Pour les technologies logiques en rupture avec le CMOS standard, qui seront poussées à l'extrême probablement jusqu'au nœud 16nm, on envisage l'émergence d'autres alternatives plus amont. Parmi ces possibilités, on trouve les jonctions supra RSFQ, les nanotubes de carbone (CNT), les SET (single electron transistors), les dispositifs tunnel résonant (RTD), les spinFETs (transistor à transport de spin), les QCA (automates à cellules quantiques) ou encore les dispositifs moléculaires.

Une évolution possible des circuits intégrés consiste également à implémenter d'autres architectures circuit ne reposant pas sur la logique CMOS binaire actuelle. Parmi les solutions envisageables, on trouve les circuits à automates cellulaires exploitant les QCA, les circuits inspirés des phénomènes biologiques ou encore le calcul quantique cohérent.

Une thématique de recherche connexe au développement des composants électroniques décrit ci-dessus et indispensable au fonctionnement des circuits doit s'intéresser aux interconnexions entre composants. En effet, même si l'on dispose de transistors très performants à l'unité, il est impératif de ne pas limiter les performances des circuits à cause des retards introduits par le transport des signaux entre dispositifs. En matière d'interconnexions filaires, les efforts porteront sur l'amélioration des délais RC des lignes avec une amélioration des matériaux conducteurs en fonction de leur nature et

dimension, des isolants de ligne à faible permittivité ($\epsilon_r < 2$) ou encore l'intégration à 3 dimensions permettant une densification des circuits. Des solutions alternatives aux interconnexions filaires devront également être étudiées comme les interconnexions sur puce sans fil ou par voie optique.

La région RA dispose, dans ce contexte, de nombreux atouts industriels et académiques reposant sur l'Alliance de Crolles et le pôle MINATEC, ainsi que sur les nombreux laboratoires de la région Rhône-Alpes. Le développement des technologies CMOS et post CMOS pourront bénéficier du soutien d'instituts et de laboratoires tels que : LETI-CEA, IMEP, LTM, LMGP, SPINTEC, LAHC, CRTBT, LEPES, SPRAM, TIMA, SiC, LPM, LEOM, LPMCN, LCIS,...

Caractérisation et test avancés

Une thématique associée aux développements technologiques et aux activités de modélisation devra porter sur la caractérisation physique et électrique fine des nouveaux composants, ainsi que le test avancé des technologies ou circuits intégrés mis au point. En matière de composants, il s'agira en particulier de mesurer le comportement des dispositifs déca-nanométriques et des interconnexions par des méthodes de champs proche et/ou des mesures électriques ou optiques macroscopiques sous conditions expérimentales extrêmes en terme de température, de champs magnétique, de fréquence (100GHz) et de résolution (faible courant, faible capacité, faible surface, ...). En ce qui concerne les technologies, des méthodes de caractérisation analytique devront être développées pour mieux imager et diagnostiquer la composition chimique et les propriétés physiques des nouveaux matériaux utilisés et cela sur des échelles nanométriques. Les progrès associés à ces techniques et autres méthodologies permettront de valider les concepts de nouveaux composants et/ou technologies au plan morphologique, physique et électrique.

Les laboratoires de la Région susceptibles de contribuer dans cette thématique sont : LETI, IMEP, LTM, LMGP, SPINTEC, CRTBT, LEPES, LLN, LCMI, LC, SP2M, LSP, TIMA, LPM, LEOM, LMI, LENAC, LAHC, DIOM...

Modélisation et simulation

Une autre thématique de recherche indispensable au développement technologique concerne les activités de modélisation et de simulations en micro- et nano-électronique à caractère transversal. Les principaux challenges concernent la simulation des circuits et dispositifs à très haute fréquence ($\Rightarrow > 100\text{GHz}$), la modélisation des procédés des étapes technologiques élémentaires pour les nano-matériaux, simulation de la lithographie optique, modélisation des dispositifs déca-nanométriques (structure de bande, transport, stress, architecture...), simulations couplées électro-mécanico-thermique, modélisation des propriétés chimiques, physiques et thermodynamiques des nouveaux matériaux, modélisation compacte des dispositifs en vue de la simulation circuit, simulation des nano-structures (transport quantique, effet de spin, moléculaire...).

Les laboratoires de la Région susceptibles de contribuer dans cette thématique sont : LETI, IMEP, SPINTEC, CRTBT, LEPES, LLN, LPMMC, SP2M, SPSMS, LSP, SPRAM, LPM, LEOM, LPMCN, LMI, LENAC, LAHC, DIOM...

Projet Micro et Nano-systèmes : C.Malhaire (LPM), G.Reyne (LEG), L.Montès (IMEP), S. Basrour-(TIMA) Pierre Lemaitre-Auger (LCIS)

Le projet de recherche proposé reflète le caractère pluridisciplinaire des études sur les micro et nano-Systèmes et se décline en trois grands axes qui associent Recherche Fondamentale et Appliquée au développement de nouveaux dispositifs.

Axe 1 : Intégration technologique et fonctionnelle des Micro et Nano-Systèmes

La spécificité des composants Micro et Nano-systèmes réside dans la complexité de leurs architectures 3D (parties mobiles, multicouches) et dans leurs conditions de fonctionnement parfois sévères et variables suivant le contexte d'utilisation. C'est en étant conscient des délais de mise sur le marché des Micro et Nano-Systèmes et des challenges technologiques (MEMS before, during, after IC) que les chercheurs doivent apporter des connaissances sur l'intégration et les propriétés des matériaux en films minces (contraintes, paramètres élastiques) et le comportement des Micro et Nanotechnologies-structures mobiles. La mise en réseau des laboratoires permet de proposer une approche globale allant de la modélisation (redéfinition des modèles physiques) et la conception à la

fabrication collective, en passant par les tests mécaniques intégrés sur tranche pour le développement et le contrôle des procédés. Le développement des nanosystèmes (NEMS) est motivé par la double perspective d'un gain d'échelle (économie d'énergie, compacité) et surtout de l'utilisation de phénomènes nouveaux spécifiques à l'échelle nanométrique (force de Casimir, effet tunnel, ...). De nombreux travaux ont été réalisés intégrant des cantilevers approchant l'échelle nanométrique et des nanotubes et nanofils (NNs) dans des structures NEMS. Cependant, très peu de réalisations ont vu réellement la mise en œuvre de nouveaux phénomènes liés à l'échelle nanométrique (approche bottom-up). La plupart des travaux se limitent jusqu'à présent à la reproduction à plus petite échelle de phénomènes couramment utilisés dans les MEMS (approche top-down). Dans ce contexte, ce sujet de recherche s'attachera d'abord à étendre la maîtrise de plusieurs nouveaux phénomènes révélés sur les NNs et ensuite à les exploiter dans des dispositifs NEMS (nanorésonateurs accordables). De nouvelles perspectives sont envisagées en explorant les liens entre la nanomécanique et la physique mésoscopique. Ce travail ne peut se faire qu'en développant et validant de nouvelles méthodes de caractérisation spécifiques pour analyser quantitativement les phénomènes physiques mis en œuvre dans les NEMS : AFM à haute résolution en force, NSOM et nanovibrométrie...

Axe 2: Micro et Nano-Systèmes autonomes et applications RF

Les MEMS RF possèdent de multiples applications dans le domaine des télécommunications avec l'émergence des systèmes multi-standards. Ces systèmes nécessitent l'utilisation de circuits accordables afin d'éviter la réalisation d'un « front-end » pour chaque standard supporté. Les principaux circuits à rendre accordables sont les suivants : antennes, filtres, adaptateurs d'impédance, coupleurs, déphaseurs, diviseurs de puissance. Deux types d'accords sont recherchés, soit un accord « discret » pour lequel le MEMS est utilisé en interrupteur (« switch »), soit un accord « continu » ou « analogique » pour lequel le MEMS est utilisé en varactor. Les dispositifs réalisés seront caractérisés en terme de surface utilisée, plage d'accord, pertes d'insertion, adaptation, sélectivité... L'autre application RF à très fort potentiel concerne le développement de la traçabilité avec l'identification par radiofréquence (RFID). Les nouvelles voies pour réduire les coûts de fabrication des dispositifs seront ouvertes par l'utilisation de la technologie d'impression numérique de pistes conductrices. Un travail de recherche amont reste nécessaire pour lever des verrous technologiques en particulier dans le domaine microfluidique et pour connaître et optimiser les propriétés des matériaux déposés. Un fort potentiel existe en Rhône-Alpes tant au niveau recherche que production (Valence, Grenoble). Des coopérations avec le projet Micro et Nano-électronique du cluster sont aussi envisageables pour le développement de l'électronique souple. En outre, la production, le traitement et l'économie de l'énergie deviennent des priorités dans la conception des systèmes autonomes embarqués ou portables. Dans ce contexte, les MEMS offrent des réponses adaptées au niveau composant de par les dimensions réduites des éléments dynamiques et des nombreuses fonctions de transductions de l'énergie possibles avec des rendements améliorés dans le cadre des filières silicium. On abordera la conception, la fabrication et le test d'architectures MEMS performantes pour la production et le traitement de l'énergie sous différentes formes (mécanique, électrique, électromagnétique). La production d'énergie au moyen de micro-piles à combustibles, de micro-générateurs piézoélectriques, magnétostrictifs, photovoltaïques ou électromagnétiques, fera également l'objet d'étude d'architectures nouvelles. L'amélioration des modèles physiques de composants MEMS permettra de valider des solutions architecturales originales.

Axe 3 : Micro et Nano-Systèmes fluidiques

Ce sujet concerne la manipulation de systèmes fluides (phase liquide, vapeur ou diphasique ; liquides électro- ou magnéto-actifs) avec des outils issus des développements les plus récents en Micro et Nanotechnologies. L'objectif est d'aborder expérimentalement les aspects de physique fondamentale et de développer conjointement des applications innovantes. Les thèmes qui seront traités sont parmi ceux qui suscitent actuellement le plus d'intérêt au niveau de la communauté internationale. La stricte réduction d'échelle des systèmes permet de se placer dans un environnement où les effets de surface deviennent prédominants par rapport aux effets de volume. La dispersion de nanoparticules dans un liquide porteur a mis en évidence de nouveaux effets : effet électrorhéologique géant, diffusion thermique d'un mélange biphasique. Les microsystèmes sont alors des outils d'investigation privilégiés pour appliquer des champs ou des gradients de champs électromagnétiques intenses qui sont seuls susceptibles de compenser les effets défavorables de l'agitation thermique sur des nanoparticules. Ce domaine inclut également les activités concernant la diélectrophorèse et le confinement sous champ. Des besoins en recherche fondamentale existent sur les propriétés des fluides pour le guidage optique et le développement du contrôle dynamique de

guides d'ondes fluidiques. Les Micro et Nano-systèmes fluidiques sont naturellement adaptés aux études fondées sur la manipulation individuelle de gouttes (volumes sub-nl). En outre, ce sujet a vocation à susciter des interactions avec le projet nanotechnologies de ce cluster (microcaloducs, nanotubes de carbone comme nano-ailettes dans des micro-échangeurs ou nano-électrodes pour l'application de champs localisés). Des avancées sont aussi attendues au niveau des technologies mises en œuvre : gravure électrochimique à fort facteur d'aspect, technologie non silicium.

Projet Nanotechnologies (intégration, procédés, matériaux) : T. Baron (LTM), V. Lysenko (LPM), C. Dubourdieu (LMGP)

Le thème « Nanotechnologies » a pour objectif de développer des connaissances spécifiques sur (i) les nanomatériaux au sens large du terme et (ii) sur les nanotechnologies qui seront mises en œuvre dans le futur. Il s'agit d'une part, de développer le savoir-faire sur l'élaboration, la fonctionnalisation et l'étude de nanostructures 2D (films minces), 1D et 0D... et d'autre part, de développer des nanotechnologies génériques pour l'intégration, l'adressage, la nanostructuration de surface, les pseudo-substrats, Ces développements pourront être validés dans des dispositifs de type démonstrateur.

Il existe deux types d'approches pour atteindre cet objectif : (i) L'approche standard de la microélectronique « top-down » où l'on va miniaturiser des dispositifs, par diminution des dimensions des structures jusqu'à l'échelle nanométrique. (ii) L'approche « bottom-up », plus prospective, où l'on va partir d'une structure de dimension nanométrique pour obtenir le dispositif voulu, plus grand que la taille initiale, par assemblage, auto-assemblage ou manipulation à l'échelle nanométrique.

L'objectif du développement de nanostructures et nanotechnologies est l'intégration de nouvelles fonctionnalités. Le projet se place donc en amont des autres projet du cluster dans le sens où les briques de bases développées et la levée de certains verrous technologiques pourront être génériques et donc participer à l'émergence de nouveaux projets dans les domaines « Micro et Nano-électronique », « Nanomagnétisme », « Electronique de spin », « Micro et Nanotechnologies-photonique », et « Micro et Nano-systèmes » .

Le thème sera organisé en deux axes qui apparaîtront de manière séquentielle dans chaque projet selon la maturité scientifique de l'innovation : le volume et la durée des travaux relatifs à chacun de ces axes seront pondérés en fonction de l'état de l'art dans chaque laboratoire.

Axe 1 : Nanostructures

- Elaboration de nanostructures (2D, 1D, 0D) par voie physique et voie chimique
- Localisation et organisation de nanostructures
- Fonctionnalisation de nano-objets (hybride organique-inorganique)
- Développement d'outils de caractérisation d'objets de taille nanométrique

Axe 2 : Nanotechnologies

- Nanostructuration de surface
- Manipulation de nanostructures
- Connexion ou adressage de nanostructures
- Pseudo-substrats pour l'intégration hétérogène ou monolithique

La spécificité de ce projet est sa transversalité vis-à-vis des autres des autres projets du cluster. En effet, les nanotechnologies développées pourront ensuite alimenter les autres projets du cluster. Nous allons donner quelques exemples, mais cette liste n'est volontairement pas exhaustive car ce projet doit être le plus ouvert possible pour favoriser l'émergence de nouvelles briques technologiques de base. Nous souhaitons également encourager les sujets favorisant un couplage des matériaux hybride organiques – inorganiques.

Nous donnons ici quelques exemples pour montrer l'apport potentiel de ce projet :

- la maîtrise de la croissance de nanostructures 1D (nanofils) ou 0D (boîtes) de semiconducteurs II-VI, III-V, IV-IV permettra l'intégration de ces objets dans des transistors MOS ou des cavités optiques....

- La possibilité de réaliser des réseaux auto-organisés de nano-objets ou de localiser des particules précisément permettra de réaliser de nouvelles fonctions optiques, électroniques, magnétiques, biologiques,
- Explorer de nouveaux matériaux diélectriques multifonctionnels en couche minces ouvrant la voie à la combinaison des propriétés électroniques, optiques et magnétiques au sein d'un même matériau,
- Le développement de technologies simples pour réaliser des motifs nanométriques, pour connecter des nano-objets, ou permettre la réalisation à grande échelle de nanodispositifs.

Projet Nano-magnétisme et Electronique de spin : J.Cibert (LLN), Y.Samson (CEA/DRFMC), V.Dupuis (LPMCL) : Eligible à partir de 2008

Le thème "nanomagnétisme et électronique de spin" conjugue deux compétences très fortes de la région Rhône-Alpes: les études fondamentales en magnétisme et matériaux magnétiques, et les études appliquées en micro et nanoélectronique. La création en 2002 du laboratoire Spintec, par des chercheurs issus du Laboratoire Louis Néel (CNRS) et du Département de Recherche Fondamentale (CEA), en liaison avec le LETI ainsi que l'INPG et l'UJF, concrétise cette double compétence. Une start-up -Crocus Technologies- vient d'être créée pour valoriser une nouvelle technologie dans le domaine des MRAM (Magnetic Random Access Memories : mémoires magnétiques à accès aléatoire), issue des laboratoires de la Région. Le projet lui-même mobilise, essentiellement sur Grenoble, et sur Lyon, plusieurs laboratoires allant de la recherche de base aux applications (avec dans ce cas un lien très fort avec l'industrie). En France, une telle concentration de laboratoires dans ce domaine est unique - mise à part, peut-être, la Région Ile-de-France, qui a beaucoup investi dans ce domaine ces dernières années.

Les études qui sont menées comprennent l'élaboration et la nanofabrication, l'étude des propriétés physiques et la mise au point de moyens d'études, la compréhension des mécanismes mis en jeu, la recherche de nouvelles fonctionnalités et la mise au point de composants de l'électronique de spin. Les systèmes étudiés sont des hétérostructures ou des nanostructures qui intègrent des matériaux traditionnels du magnétisme (métaux magnétiques) ou de l'électronique (silicium, semi-conducteurs composés), parfois ensemble (structures hybrides), ou des matériaux plus originaux (matériaux magnétiques à forte polarisation, semi-conducteurs magnétiques, systèmes hybrides : Ferromagnétique/Supraconducteur).

Les enjeux du domaine impliquent des démarches de deux types: (i) susciter des études communes entre les laboratoires de recherche fondamentale et appliquées; (ii) développer des études originales qui permettront éventuellement des applications à long terme. On doit souligner l'intérêt de former des jeunes chercheurs dans les laboratoires de recherche fondamentale, qui seront recrutés dans les laboratoires d'applications, ou encore l'intérêt de thèses en cotutelle entre les deux types de laboratoires.

A court terme, les applications concernent les médias (supports d'enregistrement, têtes de lecture...) et le stockage de l'information (MRAM). Des mécanismes élémentaires (magnétorésistance tunnel, dynamique de l'aimantation, commutation de l'aimantation par un courant électrique polarisé en spin) ne sont pas encore totalement compris et encore moins maîtrisés. Un gros effort est entrepris dans les laboratoires d'applications et même les laboratoires industriels, mais le sujet réclame encore le soutien d'études amont (mise au point d'outils de mesure et de simulation, compréhension des mécanismes, études d'objets modèles, contrôle des matériaux et des interfaces).

L'utilisation de structures hybrides matériau ferromagnétique / semi-conducteurs ou supraconducteur offre des perspectives beaucoup plus larges mais pose des problèmes plus complexes aussi bien de maîtrise des interfaces que de compréhension des mécanismes. Le problème de l'injection de spin dans le semi-conducteur n'est toujours pas suffisamment maîtrisé, même si l'on s'accorde à reconnaître le rôle que peut jouer une barrière isolante insérée à l'interface. Les effets de proximité Ferromagnétique/Supraconducteur sont à l'étude pour rendre compte de la compétition entre deux ordres antagonistes (alignement des spins dans les aimants / spins antiparallèles dans les paires de Cooper). Mais surtout, de nouvelles structures et de nouvelles fonctions doivent être imaginées.

Comme dans le cas précédent, un très fort couplage entre les compétences des laboratoires de recherche fondamentales et les laboratoires d'applications doit être encouragé. On ne peut pas se contenter de n'étudier que les matériaux compatibles avec la filière silicium et les mesures de transport: les études mettant en jeu des matériaux modèles, des mesures complémentaires que ceux-ci permettent (spectroscopies...) conservent tout leur intérêt. On doit aussi envisager des mesures simultanées des propriétés de transport et de ces mesures complémentaires.

Une intégration plus poussée consiste à rendre le semiconducteur lui-même ferromagnétique. Plusieurs semiconducteurs présentant un ferromagnétisme induit par les porteurs ont été mis au point, en particulier à Grenoble. Les semiconducteurs magnétiques actuels ont des températures critiques encore trop basses. Les recherches se sont orientées dans plusieurs directions complémentaires: la recherche de matériaux à température critique aussi élevée que possible, la recherche de semiconducteurs ferromagnétiques compatibles avec les filières technologiques, la conception et l'étude de nanostructures assurant des fonctionnalités nouvelles. L'essentiel de l'activité concerne la recherche fondamentale, mais des études avancées de l'intégrabilité et de l'intérêt de fonctions nouvelles pour de nouveaux types de composants sont d'actualité et doivent être menées en commun.

Enfin, tout un domaine de la recherche fondamentale s'est développé sur les propriétés et la manipulation du spin dans les semiconducteurs et leurs nanostructures (boîtes quantiques), ou les propriétés et la manipulation des objets magnétiques (parois, vortex...) dans les métaux magnétiques et leurs nanostructures. Les perspectives d'applications sont certainement beaucoup plus lointaines (information quantique, logique à base de domaines magnétiques, courants de spin non dissipatifs...) mais sont reconnues dans la communauté internationale, y compris par les industriels (le résident Intel à University of California at Los Angeles proclame, à propos de ce domaine, "spintronics is an option for the future"). Là encore, les atouts des laboratoires de la Région sont importants, et un soutien de ces programmes dans les années à venir paraît indispensable.

Micro et Nano-photonique : P.Viktorovitch (LEOM), F.Pigeon (LTSI), B.Boulanger (LSP), Jean-Michel Gérard (DRFMC-CNRS), Bernard Jacquier (LPCML / NanOptec), T.Benyattou (LPM), J.LCouttaz (LAHC) : **Eligible à partir de 2008**

La Nanophotonique peut se définir comme le domaine de recherche où l'on vise à contrôler la propagation et l'interaction avec la matière des photons dans le volume le plus restreint possible, pendant des intervalles de temps les plus longs possibles. Confiner les photons et façonner les champs optiques à des échelles sub-longueur d'onde pour réaliser de nouveaux composants optiques et optoélectroniques implique d'abord de maîtriser la fabrication d'objets de dimensions sub-microniques avec une résolution inférieure au nanomètre, soit un enjeu technologique d'un ordre de grandeur supérieur à l'état de l'art actuel de la microélectronique. Les nouveaux composants, *a priori* de dimensions réduites, pourront ainsi répondre aux exigences accrues de compacité et d'intégration et permettront de créer de nouveaux schémas et fonctions optiques en diversifiant par là même les perspectives d'applications aux télécommunications optiques, à la visualisation et à la biologie. La maîtrise des champs optiques à des échelles égales ou inférieures à la longueur d'onde impose aussi de développer en parallèle des techniques expérimentales d'analyse à ces petites échelles.

Nous présentons dans ce qui suit une brève prospective du domaine qui est largement couvert par les laboratoires concernés de la région Rhône Alpes. **Ces éléments constituent l'armature du programme scientifique et définissent les orientations stratégiques de la recherche dans le domaine de la Nano-Photonique en Région Rhône Alpes pour la période 2007-2010.**

L'approche générale de la Nanophotonique consiste à *structurer l'espace* pour contrôler la propagation des photons et les confiner. Dès la fin des années 70, la structuration de la matière à l'échelle nanométrique en vue de confiner les électrons à l'intérieur d'espaces de dimensions réduites à l'échelle de leur longueur d'onde (puits et boîtes quantiques) avait déjà ouvert la voie aux formidables développements que l'on sait de l'optoélectronique. C'est environ deux décennies plus tard que la Nanophotonique prend son essor, la communauté prenant alors conscience que c'est aussi en structurant l'espace à l'échelle sub-longueur d'onde qu'il est envisageable de faire subir le

même sort aux photons. La structuration doit alors se traduire par une forte modulation spatiale de l'indice optique, ce qui, aux longueurs d'ondes optiques, implique véritablement la réalisation d'objets de dimensions sub-microniques avec une résolution inférieure au nanomètre. La réalisation des nanostructures photoniques impose elle-même en retour la nécessité « d'ajuster » dans les domaines spatial et spectral les nanostructures électroniques (fils, boîtes quantiques...) au champ optique. Autrement dit, la croissance des matériaux actifs de toute nature doit être parfaitement maîtrisée pour contrôler les nanostructures électroniques en taille, densité, composition et localisation.

Plusieurs stratégies de confinement des photons, fondées sur la structuration de l'espace à *fort contraste d'indice*, sont actuellement mises en œuvre et combinées entre elles :

1. la première utilise le phénomène de réfraction, les photons étant confinés par réflexion totale interne dans le matériau diélectrique de fort indice,
2. la deuxième utilise le phénomène de diffraction, notamment dans le contexte des *cristaux photoniques* (structuration périodique de l'indice optique à fort contraste),
3. la troisième utilise l'interaction dite plasmonique entre la lumière et un gaz d'électrons à la surface d'un métal ou d'un semiconducteur très dopé.

Si la stratégie réfractive à fort contraste d'indice a bien été présente et continue de l'être sur le terrain de la Nanophotonique « guidée » (micro-guides de type « fils » photoniques, micro-cavités de type micro-disque, etc.), force est d'admettre que la stratégie diffractive tend à s'imposer avec notamment **les cristaux photoniques bidimensionnels (CP2D)**, dont la fabrication est accessible aux procédés technologiques dits planaires, bien connus du monde de la microélectronique. C'est dans le domaine des **CP2D semiconducteurs** que les percées les plus spectaculaires ont été rapportées (à un rythme dépassant toutes les prévisions). Ceci concerne principalement *l'approche dite « membrane »*, à fort confinement vertical, les photons étant guidés dans une fine membrane semiconductrice (III-V, silicium, ...) environnée d'un matériau de faible indice (air, silice,...). On citera, sans prétendre à l'exhaustivité, micro-cavités submicroniques à très fort facteur de qualité pour l'électrodynamique quantique « solide », micro-lasers à très faible seuil compatibles avec l'intégration photonique à large échelle, dispositifs non-linéaires tout optiques à très faible énergie de commande optique (commutateurs, bistables, amplificateurs optiques), une variété de composants passifs (guides, filtres, routeurs,...), etc. Parmi les autres développements récents majeurs, on notera l'extension du mode opératoire des CP2D à la troisième direction de l'espace ouvrant la voie à une floraison de dispositifs nanophotoniques adressables par la surface. Notons enfin que l'approche membrane décrite plus haut se prête naturellement à **l'intégration hétérogène des matériaux III-V et du silicium**, notamment à l'échelle de la tranche de silicium, ce qui ouvre la voie à des développements extrêmement génériques en matière de systèmes intégrés complexes, combinant les attributs intrinsèques des différents matériaux et tirant parti de la formidable puissance du secteur de la microélectronique. ***Il s'agit là d'un débouché très important de la Micro et Nanotechnologies-Photonique en Région Rhône-Alpes, compte tenu du puissant environnement de R&D (Universités, CNRS, CEA-LETI) et industriel dans le secteur de la micro-électronique. De manière générale, les grands groupes industriels de « l'ALLIANCE » ne sauraient faire l'impasse sur les potentialités offertes par la Micro et Nanotechnologies-Photonique aux acteurs de la microélectronique, suivant en cela l'exemple de leurs principaux concurrents internationaux.***

La troisième stratégie de confinement des photons associée à la **Plasmonique** a progressé de façon remarquable ces dix dernières années grâce à la fabrication de nano-objets métalliques dont la forme et la taille ainsi que les arrangements sont contrôlés. Si aujourd'hui les propriétés d'objets individuels sont relativement bien connues, il est fondamentalement nécessaire d'approfondir les phénomènes de confinement et d'exaltation de champ associés à ces nano-objets ainsi que leur interaction avec leur environnement : couplages avec d'autres nano-objets métalliques, avec des nano-objets luminescents (application à l'exaltation de la fluorescence pour la bio-photonique). En termes d'applications, la plasmonique présente un intérêt majeur pour l'optimisation de l'extraction de lumière dans des dispositifs de type LED ou OLED, pour la détection localisée de molécules individuelles, les tests biologiques miniatures ainsi que la réalisation de capteurs biochimiques et, plus généralement, la réalisation de nano-dispositifs assurant à la fois sur un même support la propagation de signaux lumineux et le transport de courants électriques.

Au-delà, viennent les **Métamatériaux**, assemblages périodiques de matériaux, dotés, entre autres caractéristiques, d'une permittivité diélectrique et d'une perméabilité magnétique (effective) négatives, ce qui devrait permettre notamment la réalisation de lentilles plates présentant une résolution en deçà de la limite de diffraction. Mais les défis à relever, notamment technologiques, sont majeurs (taille nanométrique des motifs dans le domaine de l'optique).

La recherche en matière de **composants micro - et nano-photoniques** s'articule autour d'un certain nombre d'axes forts. Il s'agit soit de domaines émergents, soit d'applications bien établies pour lesquelles de nouvelles solutions technologiques sont activement recherchées. On citera quelques domaines représentatifs des compétences présentes dans les laboratoires de la Région Rhône Alpes.

- **Composants et systèmes pour l'information quantique**
- **Composants pour fonctions optiques et télécoms**
- **Composants opto-THz**
- **Intégration optoélectronique à large échelle**

La **caractérisation des propriétés optiques aux échelles sub-longueur d'onde** des matériaux, des nanostructures et des nanocomposants photoniques a permis à de **nouvelles techniques ou configurations optiques instrumentales** de voir le jour. On citera, sans prétendre à l'exhaustivité, les domaines en pleine expansion pour lesquels la région Rhône Alpes dispose de tous les atouts pour jouer un rôle majeur :

- **Caractérisation et instrumentation optiques en champ proche**
- **La Nanobiophotonique**

Il semble, en conclusion, que rien ne puisse entraver le mouvement ascendant de la Nanophotonique, à condition de pouvoir disposer des outils nécessaires à leur évolution. À cet égard des verrous subsistent, dont l'élimination devra mobiliser les efforts :

- le défi technologique, résolution nanométrique imposée à la fabrication, déjà mentionné en préambule, reste encore à relever. A cette fin, certains songent aujourd'hui à la mise en œuvre de procédés « naturels » de type « bottom up », que pourrait offrir le monde du vivant.
- en matière de modélisation (notamment 3D) et de conception, les outils rapides et conviviaux restent à construire. Le flux d'idées originales dont le débit en amont est généreusement alimenté par la richesse sans précédent de degrés de libertés offerts par la Micro et Nanotechnologies-Photonique pour la manipulation des photons à l'échelle de la longueur d'onde, vient littéralement buter sur le goulet d'étranglement opposé à leur validation rapide par les outils actuels de conception.

ANNEXE 3

Les Sujets 2005

Rang	Sujet de la thèse	Directeur	Labo. d'accueil	ED	Etablissement gestionnaire	Candidat retenu
1	Mémoires nanoélectroniques à boîtes quantiques InAs / SiO ₂ sur silicium	A.Souifi	LPM	EEA Lyon	INSA Lyon	Moira Hocevar
2	Croissance de nanofils de silicium et silicium/germanium pour des applications en nanoélectronique	T.Baron	LTM	Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunications, Signal (EEATS)	UJF	Aurélien Lherbier
3	Interactions fluide – substrat et optimisation de la forme des gouttes	A. Soucemarianadin	LEGI	Mécanique des fluides et Transferts	UJF	Julie Frassy
4	Nouveaux outils pour les simulations micromagnétiques aux échelles ultimes	J.C.Toussaint	Lab. L.Néel	Physique	INP Grenoble	Helga Szabolics
5	Micro-Nanostructures photoniques à fort contraste d'indice pour le contrôle ultime de la lumière	X.Letartre	LEOM	Physique	EC Lyon	Lydie Ferrier
6	Technologies Silicium pour l'Intégration de Systèmes On Chip de type Smart Dust	F.Ndagijimana	IMEP	Electronique, Electrotechnique, Automatique, Télécommunications, Signal (EEATS)	INP Grenoble	Guillaume Bacle
7	Nouveaux dispositifs de test électromécaniques intégrés. Evolution des micro aux nanosystèmes	C.Malhaire	LPM	EEA Lyon	INSA Lyon	Paolo Martins

Les Sujets 2006

Rang	Sujet de la thèse	Directeur	Labo. d'accueil	ED	Etablissement gestionnaire	Candidat retenu
1	Mesure locale des déformations/contraintes dans des circuits intégrés par microscopie électronique	JL ROUVIERE	DRFMC	EEATS	CEA/INP	Armand BECHE
2	Etude théorique et expérimentale du magnéto-transport dans les composants ultra courts sur SOI	M. MOUIS	IMEP	EEATS	INPG	Claudio BURAN
3	Exploitation de nouveaux phénomènes dans les systèmes nanoélectromécaniques. Application à la réalisation d'un nano-résonateur accordable	S. PURCELL	LPMCN	ED Matériaux	UCBL	Vincent GOUTTENOIRE
4	Mémoires moléculaires et spintronique moléculaire	G. ROYAL	LEOPR	ED CSV	UJF	Xavier CHEVALIER
5	Sondes actives nanométriques pour la photonique à base de nanoparticules isolantes	S. HUANT	LSP	ED Physique	UJF	Aurélien CUCHE
6	Photo-organisation de nanoparticules métalliques dans des couches minces diélectriques. Application au white light processing	N. DESTOUCHES	LTSI	ED St ETIENNE	UJM-SE	Yann BATTIE
7	Composants et principes d'architecture pour un processeur quantique minimal	L. LEVY	LCMI	ED Physique	UJF	Raphaël LEONE

ANNEXE 4

Dossier de candidature 2007 (à utiliser impérativement)

Sujet de recherche 2007

Dossier à retourner à Valerie.Rocchi@cluster-micro-nano.fr
au plus tard le 24 novembre 2006

Thématique de rattachement :	Micro-Nanoélectronique () Micro-Nanosystèmes () Nanotechnologies ()	
Titre du sujet :		
Porteur (nom et laboratoire) :		
Coordonnées:	NOM :	Prénom :
	Laboratoire :	Etablissement
	Mail :	Tél :
	Durée 3 ANS	

Récapitulatif des moyens demandés en K€:

Equipements	
Fonctionnement	
ADR demandée (oui/non)	
BIR*	() Mois
BAC*	() Mois

① Informations importantes

- Les budgets sont versés en une seule fois l'année de labellisation du sujet
- Les sujets ont une durée de trois ans maximum (durée de vie d'une Allocation de Recherche)
- Il est souhaitable que les budgets équipement/fonctionnement se situent dans un rapport de 50/50
- BIR (Bourse Internationale de Recherche) et BAC (Bourse d'Accueil de Chercheurs) : nombre limité à 12 mois/an pour l'ensemble du cluster. Le coût est de 3K€/mois à inclure dans le budget total du sujet.

FICHE SUJET :

Résumé du projet (10 lignes maximum) :

--

Récapitulatif du sujet :

SUJET :	Laboratoires	Budgets demandés en K€		Etablissement d'affiliation *
		Equip.	Fonct.	
Laboratoire du Porteur du projet				
Laboratoire 1 *				
Laboratoire 2				
Laboratoire 3				
Laboratoire 4				
Laboratoire 5				
Laboratoire 6				
		<u>TOTAL</u>		

ⓘ Informations

- L'établissement d'affiliation : établissement dont dépend le laboratoire, si le laboratoire est multi-établissement, indiquer celui auquel vous vous rattachez et auprès duquel les budgets seront affectés.
- Les budgets sont versés par laboratoire via les établissements. Les porteurs de sujets ne sont en aucun cas destinataires et gestionnaires des subventions de leur sujet.
- Il n'y a pas de nombre minimum ou maximum de laboratoires partenaires.

Description du projet : (En 2 pages maxi, donner l'objectif de l'étude en précisant les approches théoriques et expérimentales, les moyens mis en œuvre ainsi que le planning prévisionnel sur 3 ans)

Adéquation à l'appel d'offre (En une dizaine de ligne, expliquez pourquoi la demande se positionne dans les objectifs généraux du cluster, en particulier mettre en évidence l'effet cluster (mutualisation des équipements et/ou des compétences).

Impact sur le tissu économique régional

Partenaires universitaires

Partenaires industriels (indiquer si participants pleins ou seulement potentiellement intéressés, et si des moyens supplémentaires peuvent être abondés au projet)

Nature des moyens mobilisés (personnels et équipements existants, accès à des plateformes, financements additionnels).

Détail des ressources demandées au cluster

Autres soutiens pour le projet (ANR, 7^{ème} PCRD, contrats industriels, ..)

Confidentialité du sujet

- Fiche diffusable
- Domaine public :
- Espace cluster :
- Espace dédié et confidentiel