

# **Les Nanotechnologies**

un atout majeur pour la  
Région Rhône-Alpes  
au 21<sup>ème</sup> siècle

Un des Axes :



*Les nanotechnologies, la microélectronique, et les micro-technologies avancées concernent :*

- *La fabrication de matériaux*
- *L'étude des mécanismes physiques, chimiques et biologiques*
- *La réalisation de systèmes fonctionnels obtenus en contrôlant la matière à l'échelle du nanomètre, c'est à dire inférieure à 100 nanomètres.*

Les progrès technologiques sont tels que la taille des éléments susceptibles de stocker ou transporter une information (électrique, magnétique, optique...) devient comparable à des distances critiques des phénomènes physiques mis en jeu. Il apparaît alors de nouveaux effets aux échelles du nanomètre ou de la dizaine de nanomètres. A titre d'exemple, il est devenu possible de contrôler le passage d'un courant électrique dans un petit grain de taille nanométrique, d'électron par électron ou l'émission d'un photon dans des structures nanométriques.

*Le nanomètre est au millimètre ce que le millimètre est au kilomètre : le diamètre d'un cheveu ou d'une fibre optique de transmission téléphonique vaut plusieurs dizaines de milliers de nanomètres.*

Parallèlement à l'étude des propriétés physiques aux échelles ultimes, ce domaine de recherches en plein essor a aussi pour but d'exploiter les phénomènes originaux qui en découlent pour réaliser de nouveaux dispositifs. Cette thématique permet d'envisager le développement d'applications nouvelles dans les technologies de l'information et de la communication, où la réduction en taille (100nm) à des composants élémentaires aboutit déjà à l'observation de phénomènes nouveaux. Plus généralement, les nanosciences se placent en amont des nanotechnologies d'où devraient émerger des instruments reposant sur des principes innovants, par exemple en chimie, biologie, mécanique, fluide, robotique...

Ainsi les micro et nanotechnologies sont à la croisée de toutes les disciplines scientifiques notamment la microélectronique, les nanostructures et l'optique qui font l'objet du Contrat de Plan Etat Région 2000-2006 (CPER) en Rhône-Alpes.

La région Rhône-Alpes rassemble sur les pôles Lyon-Saint-Etienne-Grenoble plusieurs centaines d'acteurs sur ces domaines phares constituant une entité scientifique et technique de premier plan en Europe. La forte complémentarité des pôles s'illustre au sein de la thématique « Pôle Numérique » par quatre projets soutenus :

- **Nano-Opto-Technologie (*NanOpTec*) à Lyon**
- Le Pôle Optique et Vision à St-Etienne
- NanoPhysique et CPMA à Grenoble

Cet ensemble s'appuie sur une grande synergie régionale du secteur de la recherche fondamentale au développement industriel.



## Objectif

### Créer un pôle lyonnais d'excellence en Nano-optique, Photonique et Nano-technologie.

Le pôle a l'ambition de dynamiser et renforcer les recherches fondamentales et appliquées menées à Lyon dans ces domaines et transférer les résultats vers l'industrie et les enseignements spécialisés.

*Le pôle rassemble les compétences lyonnaises en matière d'élaboration de nanostructures, de caractérisations ultimes et de technologies avancées. Il s'appuie sur un Centre de Nano-optique, une Plate-forme de caractérisation électro-optique et une Plate-forme Technologique communs aux trois établissements ECL, INSA et UCBL et sur un partenariat fort avec les laboratoires publics et industriels de la région allant du CEA-LETI Grenoble au pôle Optique et Vision (St-Etienne). Les projets de recherche, alliant des développements fondamentaux originaux jusqu'aux transferts industriels, ont une dimension internationale tout en étant fortement inscrits dans la synergie des priorités nationales et régionales.*

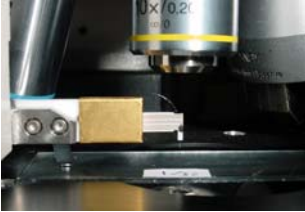
### **Laboratoires porteurs du projet**

- ECL : Laboratoire d'Electronique, Optoélectronique et Microsystèmes (LEOM) UMR 5512 (STIC)
- INSA : Laboratoire de Physique de la Matière (LPM) UMR 5511 (STIC)
- UCBL : **Laboratoire de Physico-Chimie des Matériaux Luminescents (LPCML) UMR 5620 (SC)**  
Laboratoire de Spectrométrie Ionique et Moléculaire (LASIM) UMR 5579 (SPM)  
Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et Nanostructures (LPMCN) UMR 5586 (SPM)

### **Laboratoires associés au projet :**

- ECL : Laboratoire d'Interfaces et de Fonctionnement des surfaces (IFOS) UMR 5621 (SC)
- ENSL : Laboratoire de Science de la Terre UMR 5570 (SDU)
- UCBL : Institut de Physique Nucléaire de Lyon (IPNL/SMA) UMR 5822 (IN2P3), Laboratoire d'électronique, Nanotechnologies et Capteurs (LENAC), Laboratoire des MultiMatériaux et Interfaces (LMI) UMR 5615 (SC), Institut de Biologie et Chimie des Protéines (IBCP) UPR 412 (SDV), Laboratoire de Génie Enzymatique UPRES-A 5013 (SDV)
- UJM : Laboratoire de Traitement du Signal et Instrumentation (LTSI) UMR 5516 (STIC)

*La réduction en taille des matériaux fonctionnels à une échelle nanométrique (inférieure à 100nm) nécessite une approche expérimentale où sont intimement liés procédés d'élaboration et techniques de caractérisation. L'analyse optique et spectroscopique utilisant le champ proche optique offre une nouvelle approche des propriétés optiques et optoélectroniques des nanostructures comme les agrégats, les points quantiques, les boîtes quantiques, les microcavités, les cristaux photoniques... qui est l'objectif principal du regroupement du nouveau Centre Lyonnais de Nano-Opto-Technologie (NanOpTec).*

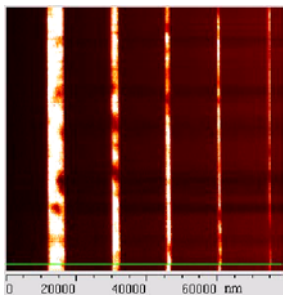


**Un projet fédérateur de compétences en techniques de fabrication et de caractérisation de nano-structures à propriétés optiques et de luminescence dédiées.**

*La genèse de ce pôle de nanooptique tient dans la forte complémentarité thématique des cinq laboratoires fondateurs appartenant à plusieurs établissements lyonnais d'enseignement et de recherche et de la grande synergie avec les partenaires régionaux de Grenoble et Saint Etienne. La maîtrise de techniques d'élaboration aussi variées que la vaporisation laser, le sol/gel... le dépôt en phase vapeur ou l'épitaxie a conduit à la fabrication originale de nano-objets isolés : dispersion d'agrégats isolés dans des couches, points quantiques noyés dans des couches ultraminces, micro/nanogoutellettes, nanophases, molécules biologiques... et à des systèmes autoorganisés de structures semiconductrices et de guides optiques actifs.*

***C'est dans le but de fabriquer, d'observer, d'étudier par nanospectroscopie ces systèmes nanométriques et d'évaluer leur potentialité d'applications qu'a été créé NanOpTec.***

### **Des objets isolés**

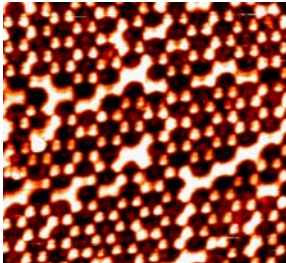


*Reconnus dans le domaine des sources **d'agrégats libres et supportés** et de leur caractérisation, le LASIM et le LPCMN ont mis en évidence des structures atomiques et électroniques qui sont analysées en optique de champ proche pour sonder leur résonance de plasmons par exemple en fonction de leur taille. Dans les couches ultraminces de très grande qualité optique réalisées au LPCML, au LPCMN ou encore SMA/IPNL, la maîtrise des techniques de dépôt conditionne leur porosité et le dopage par des ions ou groupements luminescents, véritables points quantiques leur conférant des propriétés radiatives spécifiques qui peuvent être mises à profit pour la réalisation de nouvelles sources à photons. De taille plus variable allant du micromètre au nanomètre, la dimension et la forme de ces objets favorisent des exaltations de propriétés non linéaires dans les microgoutellettes ou des particules fractales rencontrées dans les aérosols atmosphériques. La **nano-spectroscopie** développée dans ce centre permet l'étude directe et fonctionnelle de nano-phases (silicium*

polymorphe), de nano-précipités (objets géologiques à l'ENSL...) et surtout des systèmes biologiques isolés (virus, vacuoles, protéines...) à l'IBCP.

**Elle intéresse particulièrement des industriels pour caractériser des nouveaux nano-matériaux.**

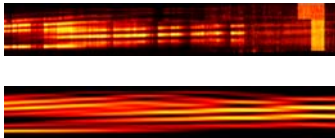
### Des systèmes autorganisés



Dans le cas de croissance auto-organisée, les structures obtenues principalement de matériaux III-V (InAs/InP, InAlAs/InP, ou avec la gallium...) tirent profit de la présence de sites de nucléation générés dans les substrats par des voies classiques (contrôle des propriétés de surface) ou plus exploratoires (par effet de pointe) au LEOM de l'Ecole Centrale de Lyon et au LPM de l'INSA de Lyon. De même la formation d'**îlots nanométriques** de silicium représente une filière technologique dont l'enjeu est la réalisation de dispositifs monélectroniques (**transistor à un électron...**). Des mesures locales pour sonder leurs propriétés électriques et optiques individuelles contribueront à comprendre les mécanismes de transport des porteurs, les processus d'émission et de capture, de conduction tunnel et de blocage de coulomb entre autres.

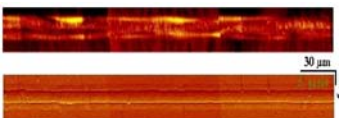
Dans les structures guidées diélectriques comme les **fibres optiques, guides plans**, les études de défaut combinent la spectroscopie d'émission induite par laser et la spectroscopie Raman avec l'utilisation extensive du filtrage spatial des modes de propagation développée au LTSI de Saint Etienne qui collabore à ce centre. Un objectif tout particulier concerne l'analyse locale des guides d'onde pompés optiques ou produisant des effets non linéaires comme l'autodoublage de fréquence dans le cas du renversement de domaines ferroélectriques du niobate de lithium par exemple.

**Cette analyse par sonde locale optique nécessite la réalisation de capteurs spécifiques développés au sein de NanOpTec par une start-up.**

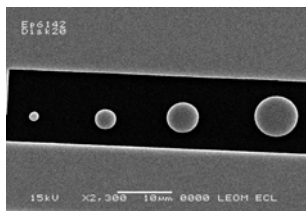


### La Manipulation des photons avec les BIP's

Les **cristaux photoniques** ou systèmes organisés à bande interdite photonique sont des objets qui sont caractérisés par une variation périodique de leur indice de réfraction dans une ou plusieurs directions. Cette périodicité restreint la propagation des ondes dans le matériau et contribue à modifier la répartition spatiale des modes du champ électromagnétique qui supportent l'émission spontanée de centres luminescents. Cette propriété est exploitée pour **guider ou confiner les photons** dans des structures à une dimension comme les réseaux de Bragg (LTSI), les microcavités optiques (LEOM, LPCML, SMA) dont la réalisation bénéficie de la maîtrise du dépôt de couches minces de très haute qualité optique de matériaux isolants ou de semiconducteurs. Grâce à la lithographie électronique, la réalisation de motifs de l'ordre de

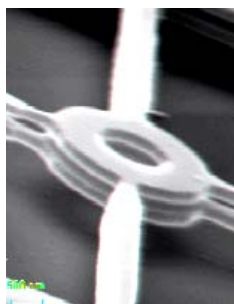


quelques centaines de nanomètres permet de constituer des réseaux bidimensionnels (LEOM). Des cavités hexagonales ou triangulaires élaborées dans des structures III-V suspendues ont déjà permis la réalisation de micro-sources pompées optiquement dotées d'un facteur de qualité supérieur à 1000 (LEOM, LPM). Le comportement en champ proche optique représente une approche nouvelle qui doit permettre une meilleure maîtrise des structures d'une part et une confrontation avec les modèles théoriques.



### **Des Applications: Nanotechnologies et composants photoniques innovants**

Les applications les plus évidentes des propriétés optiques des nanostructures reposent sur le filtrage spectral, le contrôle de leurs propriétés radiatives et la manipulation des photons par guidage. Cela conduit à envisager de nouveaux types de microdispositifs d'optique intégrée ouvrant des voies nouvelles pour les télécommunications optiques et les interconnexions optiques avec des nano-sources, de la commutation, du multiplexage, de la modulation... (LEOM/LPM/LPCML...). En biologie, ces avancées technologiques débouchent sur la caractérisation et la **miniaturisation de biocapteurs** électro-optiques et la micro-instrumentation (Laboratoire d'Electronique Nanotechnologies et Capteurs et le Laboratoire de Génie Enzymatique) d'une part, **le développement de biopuces pour le séquençage de l'ADN dans le cadre du programme GENOME** du CNRS (IFOS/LEOM) d'autre part.



### **Des Plate-formes de Recherche**

**Un Centre de Nano-Optique sur l'Université Claude Bernard Lyon1:** implanté depuis peu dans 300m<sup>2</sup> de locaux rénovés par l'Université Lyon1 dans lesquels des équipements performants de nano-spectroscopie optique et de détection sont concentrés autour de nouvelles sources laser à impulsions très courtes en particulier.

**Une Plate-forme de caractérisation électro-optique implantée à l'INSA de Lyon:** bénéficiant de nouveaux équipements à sondes locales pour mesures électriques et capacitives.

**Une Plate-forme Technologique implantée à l'Ecole Centrale de Lyon :** équipements de salles blanches pour la réalisation et le conditionnement d'objets nanométriques.

### **Budget**

**Pour un budget total d'environ 2 Mio € dont les ¾ inscrits au CPER et le ¼ se partageant entre l'université et des contrats de recherche.**

## LES PROJETS FORTS EN RHONE-ALPES

### LA NANOPHYSIQUE ET LE CENTRE DE PROJETS EN MICRO-ELECTRONIQUE AVANCEE A GRENOBLE

*La "nanophysique" fait partie d'un projet plus large sur les "nanotechnologies" du contrat de plan Etat-Région de la région Rhône-Alpes. Cette activité est développée par un ensemble de Laboratoires de physique de Grenoble qui regroupent des personnels du CNRS, de l'UJF et de l'INPG. Un institut Fédératif, l'IPMC, favorise le développement d'axes de recherche originaux nécessitant la collaboration de plusieurs laboratoires. La nanophysique représente une fraction importante et rapidement croissante de la recherche de ces laboratoires. Environ 150 chercheurs (dont une quarantaine de thésards) sont concernés par la physique nouvelle associée à la réduction de la taille de matériaux au-dessous de longueurs physiques caractéristiques: longueurs de cohérences, libre parcours moyen, épaisseur tunnel... Ce thème se développe dans les laboratoires et quand cela est nécessaire à l'aide de centrales de technologies telles que le LPM ou le LETI/PLATO. L'environnement Grenoblois est particulièrement adapté au développement de la nanophysique avec la présence du CEA Grenoble, des grands équipements (ESRF, ILL, MPI/LCMI), de l'Université et des écoles d'ingénieurs, et de toutes les entreprises concernées par les nanotechnologies (dont ST microélectronique).*

*La microélectronique est le moteur qui assure le renouvellement rapide de l'électronique et de l'informatique, segments déterminants de l'économie mondiale. Grâce aux industries (STMicroelectronics, SOITEC, etc), aux centres de recherches (LETI-CEA, CNRS, CNET) et grâce aux travaux exploratoires menés dans les laboratoires universitaires (UJF, ECL, INSA Lyon), la région Rhône-Alpes occupe une position très forte à l'échelle internationale. La pérennité de ce succès exige le renforcement de la recherche amont et des synergies inter établissements. La vocation de ce nouveau laboratoire est l'étude physique d'opérations technologiques élémentaires, notamment gravure et lithographie, permettant d'élaborer des dispositifs de la microélectronique du futur. Le CPMA représente, pour les laboratoires universitaires nationaux, la principale porte d'entrée sur la plate-forme technologique (PLATO) du LETI, permettant le développement des recherches universitaires avec des équipements lourds.*

*Le développement du pôle MINATEC en un même lieu géographique permettra par effet de proximité de renforcer la*

*collaborations des Laboratoires du CNRS, de l'INPG et de l'UJF avec le CEA-LETI sur les thématiques allant de la Microélectronique et de son prolongement la nano-électronique aussi bien que les microtechnologies incluant les microsystèmes et l'optique intégrée sur silicium.*

## **LE POLE OPTIQUE ET VISION A ST-ETIENNE**

*L'optique se décline du macroscopique au microscopique et est pluridisciplinaire par les matériaux et objets d'étude. Elle est l'un des vecteurs principaux du développement des télécommunications, des micro systèmes dédiés (capteurs par exemple), de la vision... En région Rhône Alpes, il existe des spécificités uniques dans plusieurs domaines d'intérêt pratique et fondamental allant de l'optique diffractive à la nano-caractérisation par spectroscopie optique en passant par les micro systèmes, les lasers à faible seuil, les interconnexions optiques... En aval, le développement du pôle optique et vision de Saint-Etienne a la vocation de fédérer l'offre de recherche et de transfert de technologies pour la mettre à disposition des industriels ; il a pour mission l'animation, la promotion, la valorisation et la prospective de l'optique à la vision. Il est constitué en plates-formes technologiques, issues des demandes industrielles, avec un partenariat fort impliquant par exemple : **Angénieux S.A., Thomson CSF optronique, HEF, GIAT industries, Cybernetix...** auquel il convient d'ajouter les actions de recherche et de formation menées avec l'IOTA.*



## PERSPECTIVES

*Les quatre projets sont orientés vers les nano et micro technologies, disciplines soutenues par l'existence du réseau RMNT dont la délégation permanente est à Grenoble et la présidence du comité d'orientation à Saint-Etienne.*

*Deux parties sont proches de la recherche amont (**NanOpTec** et **Nano-physique**), une autre explore les frontières industrielles (**CPMA** et **LTM**) et la dernière est directement issue de la demande industrielle (**Pôle Optique et Vision**).*

*Elles forment un ensemble cohérent allant de la recherche de base aux applications industrielles. Les perspectives de développement sont liées à la synergie entre ces thématiques et les besoins industriels déjà exprimés ou à expliciter. Les contributions que peuvent apporter les partenaires du pôle lyonnais de Nano-opto-technologie et du projet Nano-physique sont un apport tout à fait indispensable aux objectifs du pôle optique et vision et du CPMA. Cette synergie apparaît clairement dans divers domaines tels que la réalisation de micro capteurs ou actionneurs, les études nanométriques dont les retombées seront utilisées dans les procédés ou la fabrication, les couches minces, les matériaux ...*

### Recherche

*Ces projets renforcent l'interaction entre les chercheurs lyonnais, grenoblois et stéphanois et confortent la place de la **Région Rhône-Alpes comme région européenne** de première importance dans le domaine des micro- et nanotechnologies.*

*La mise en place et l'aménagement de moyens communs (partage des équipements et des moyens humains) sur les différentes plates-formes régionales favoriseront une approche pluridisciplinaire associant les compétences des sciences pour l'ingénieur, de la physique, de la chimie et de la biologie.*

*Les laboratoires impliqués déjà bien connus dans leur domaine et dotés d'équipements scientifiques performants devraient pouvoir s'affirmer parmi les leaders du domaine. Les moyens technologiques mis en œuvre (PLATO, moyens divers de fabrication (RIBE, MBE, CVD) de micro et nano-structures en salle blanche et plates-formes, moyens d'analyse et de caractérisation répartis sur les trois villes) permettront la mise en place des expériences de base et la réalisation de composants.*

### Retombées Industrielles

*Les recherches entreprises dans les laboratoires devraient conduire à des retombées significatives dans différents domaines de production où la Région Rhône Alpes a de nombreuses entreprises performantes et un tissu de PME PMI engagées dans*

*les nouvelles technologies. Un certain nombre d'enjeux et de besoins industriels sont d'ores et déjà clairement identifiés.*

◆ *Dans le domaine de la micro électronique et des télécommunications, les demandes concernent la réalisation des composants du futur à base de technologie silicium, les circuits intégrés, les interconnexions optiques, l'intégration de fonctions, les micro sources, l'optoélectronique, les surfaces guidantes. Elles font aussi appel à une collaboration étroite entre les participants.*

◆ *La fabrication de systèmes optiques de haute performance et à faible coût va nécessiter une interaction entre les acteurs de ces thématiques : opticiens, physiciens, chimistes et spécialistes en matériaux.*

*La mise en œuvre des matériaux et la réalisation des micro optiques passent par des procédés de fabrication utilisant les techniques sol gel (optique), la réalisation de couches et multi couches.*

◆ *L'étude des micro systèmes en est encore à ses débuts même si un effort important de recherche existe déjà et leur réalisation nécessite les moyens issus de la micro électronique. Les applications visent l'industrie de la robotique (codeurs, micro actionneurs) et les biotechnologies (bio capteurs, labo puces).*

◆ *Les applications des lasers trouvent des débouchés dans l'industrie mécanique, micro mécanique et mécanique d'ultra précision. Les lasers femto seconde permettent un micro usinage très propre et les lasers haute puissance sont utilisés pour l'assemblage-soudage.*

## **Formation**

*La Région Rhône-Alpes compte un certain nombre d'établissements dans lesquels sont dispensés des enseignements concernant les micro et nano technologies. D'ores et déjà, le premier DESS nanotechnologies a vu le jour en 1999 à l'université Claude Bernard. Les formations dispensées dans les écoles d'ingénieurs (INPG Grenoble, INSA, ECL et ENS Lyon, ISTASE à Saint Etienne...) sont importantes, mais encore insuffisantes. Le projet de Centre de formation professionnelle en microélectronique, proposé par le CEA/LETI et l'INPG, permettra d'accompagner les besoins de formation des entreprises de ce secteur. Parallèlement aux développements de recherche, des inflexions devront être proposées dans les programmes en particulier de Master et de Doctorat (LMD) et d'écoles d'ingénieurs. La création d'un pôle IOTA à Saint-Etienne doit renforcer cet aspect.*

## **Suivi**

*Le suivi des recherches et des retombées industrielles fait l'objet d'une attention particulière en veillant à la complémentarité et à la cohérence des actions. Le renforcement du **couplage industrie-***

*recherche* passe par des rencontres régulières entre les partenaires des projets. Il faut noter que des réunions thématiques du pôle optique et vision, et de nano-optique ont eu lieu à Saint-Etienne et à Lyon en 1999, 2000, 2001, 2002 et aussi à Grenoble en 2002.

Au cours de ces rencontres, les projets en aval font part de leurs avancées et des demandes qui leur sont faites ainsi que des besoins identifiés par l'industrie. Les projets en amont font part de leurs résultats et des applications potentielles. **Cette synergie permet d'aborder l'approche vers les industriels de la région, PMI/PME, de façon cohérente.** Les responsables s'engagent à poursuivre et développer ces réunions communes annuelles. Un bilan de perspective actualisé sera défini et diffusé à tous les acteurs universitaires, industriels et institutionnels de la région (rapport de prospective).