



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

AMBASSADE DE FRANCE EN RUSSIE  
SERVICE POUR LA SCIENCE, LA TECHNOLOGIE ET L'ESPACE

# NANOTECHNOLOGIES ET NANOMATERIAUX EN RUSSIE

\*\*\*

## **Etat des lieux et principales coopérations avec la France**

**Juillet 2007**

### **Résumé**

Après une décennie difficile marquée par la baisse des financements et la fuite des cerveaux, les conditions de développement de la R&D russe redeviennent favorables. Dans ce cadre, le développement des nanotechnologies est devenu une priorité en Russie, coordonnée au plus haut niveau politique, et bénéficiant de moyens significatifs. Ce rapport présente dans une première section la mise en place d'une politique nationale de soutien aux nanotechnologies, avant de présenter les grands axes de la coopération franco-russe dans ce domaine. Enfin, la dernière section propose une description non exhaustive des grands centres d'excellence dans ce domaine.

**Auteurs :** Georges Ryschenkow, ex-attaché pour la Science et la Technologie (2003-2005)  
Lise BREUIL, Attachée pour la Science et la Technologie (2005-2007)

# Nanotechnologies et Nanomatériaux en Russie

<b>I - SITUATION DES NANOTECHNOLOGIES EN RUSSIE</b> .....	<b>3</b>
1. LA MISE EN PLACE PROGRESSIVE D'UNE POLITIQUE NATIONALE DE COORDINATION DES RECHERCHES DANS LE DOMAINE DES NANOTECHNOLOGIES.....	3
2. THEMATIQUES PRINCIPALES ET POLES D'EXCELLENCE .....	5
<b>II - COOPERATIONS FRANCO - RUSSES EN NANOTECHNOLOGIES ET NANOMATERIAUX</b> .....	<b>7</b>
1. NANOMATERIAUX : LE PROGRAMME ARCUS ET LE RESEAU DU GROUPE « AUTOCOMBUSTION » .....	7
2. LA MISE EN PLACE D'UN SEMINAIRE ANNUEL A VOCATION EXPLORATOIRE.....	8
3. AUTRES COOPERATIONS.....	12
<b>III. INSTITUTS ET CENTRES DE RECHERCHE D'EXCELLENCE</b> .....	<b>15</b>
1. IOFFE PHYSICO-TECHNICAL INSTITUTE DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE RUSSIE (SAINT PETERSBOURG) .....	15
2. INSTITUT DE PHYSIQUE DES SOLIDES DE CHERNOGOLOVKA (ASR) (REGION DE MOSCOU).....	15
3. INSTITUT DE PHYSIQUE DES SEMI-CONDUCTEURS DE NOVOSIBIRSK (ASR).....	16
4. INSTITUT DE PHYSIQUE DES MICROSTRUCTURES (IPM) DE NIZHNY-NOVGOROD (ASR).....	16
5. INSTITUT DE PHYSIQUE GENERALE PROKHOROV DE MOSCOU (IOFAN- ASR) .....	17
6. INSTITUT DE CHIMIE INORGANIQUE « NIKOLAEV »DE NOVOSIBIRSK (ASR).....	18
7. L'INSTITUT DE CRISTALLOGRAPHIE "SHUBNIKOV" DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DE RUSSIE (ASR).....	18
8. INSTITUT DE MACROCINETIQUE STRUCTURALE (ISMAN) DE CHERNOGOLOVKA (ASR).....	19
9. INSTITUT DE CHIMIE DE CATALYSE « BORESKOV » DE NOVOSIBIRSK (ASR) .....	20
10. INSTITUT DE CHIMIE DU SOLIDE ET DE MECANO-CHIMIE DE NOVOSIBIRSK (ASR).....	20
11. INSTITUT DE PHYSIQUE DES LASERS DE NOVOSIBIRSK (ASR).....	21
12. INSTITUT DE PHYSIQUE DE LA RESISTANCE MECANIQUE ET DES MATERIAUX DE TOMSK (ASR).....	21
13. AUTRES CENTRES DE QUALITE AYANT DES ACTIVITES EN NANOTECHNOLOGIES ET EN MATERIAUX.....	22

## I - SITUATION DES NANOTECHNOLOGIES EN RUSSIE

Les nanotechnologies recouvrent un domaine varié, multidisciplinaire, très actif en Russie. La plupart des grands centres scientifiques russes s'y sont engagés, quelles que soient leurs spécialités : physique, chimie, électronique, biologie, sciences des matériaux. Ces technologies encore très nouvelles requièrent, par leur nature, une instrumentation de pointe et l'implication des sciences fondamentales. Ces dernières étant de très bon niveau en Russie, ce pays a pu développer le domaine des nanotechnologies sans prendre de retard significatif par rapport aux avancées occidentales. **La Russie présente donc un intérêt stratégique pour une collaboration structurée avec la France dans ce domaine de grand avenir.**

On observe une **intense activité dans les principaux centres scientifiques russes** pour le développement des nanotechnologies. En effet, sur la base de très bonnes connaissances fondamentales en physique des solides, cristallographie, mécanique quantique, physique théorique, physique des lasers, biophysique et génétique, la recherche russe a su prendre le tournant vers ces nouvelles technologies, d'abord dans un certain désordre dû à un manque de concertation des principaux acteurs. Aujourd'hui, le Ministère de l'Education et la Science a mis en place une politique nationale qui vise à coordonner et fédérer les recherches menées. Des moyens importants y sont consacrés.

Avec un budget croissant pour la recherche depuis 2002, les principaux instituts ont pu se doter d'**appareillages ultra-modernes**. Le parc expérimental disponible s'étend depuis les microscopies nanométriques en champ proche (dont les Russes sont d'ailleurs eux-mêmes fabricants et exportateurs) jusqu'aux Synchrotrons dont les performances restent toujours d'un bon niveau. Cet investissement permanent est dû aux différents soutiens financiers sur appels d'offre russes (Ministère, RFFI, FASIE, etc.) ou étrangers (CIST<sup>1</sup>, contrats privés).

### **1. La mise en place progressive d'une politique nationale de coordination des recherches dans le domaine des nanotechnologies**

Jusqu'en 2004-2005, l'organisation de la R&D concernant les nanotechnologies est restée relativement peu coordonnée, et reposait surtout sur des initiatives individuelles, autour de personnalités scientifiques de grand renom telles que **Jaurès Alferov**, Prix Nobel 2000 issu de l'Institut Ioffe à Saint Pétersbourg, et **Mikhail Kovalchuk**, Directeur de l'Institut de Cristallographie à Moscou et Secrétaire du Conseil Scientifique et Technologique auprès du Président Poutine, qui cherchent à s'assurer de solides appuis auprès du pouvoir politique (Ministère de l'Education et de la Science - MES) et scientifique (Académie des Sciences - ASR) afin de maintenir un bon niveau de financement, en particulier pour leurs propres Instituts.

Une première tentative de coordination a été initiée en 2003, à travers la mise en place d'un d'un "**méga-projet**" sur les cristaux piloté par l'Institut de Cristallographie dirigé par M. Kovalchuk. Celui-ci dirige aujourd'hui également le Centre Kurchatov à Moscou. L'Institut de Cristallographie a été désigné correspondant officiel russe des programmes européens sur les nanotechnologies ("National Contact Point"), ce qui lui donne un rôle important dans la structuration de la politique russe des nanotechnologies.

Lors de la table ronde de mars 2005 consacrée aux problèmes de la réglementation et de la politique nationale de développement des Nanotechnologies, il a été constaté que la Russie n'avait toujours pas de véritable stratégie nationale d'étude et d'implantation des Nanotechnologies et que les fonds

---

<sup>1</sup> Centre International pour la Science et la Technologie, créé dans les années 1990 pour lutter contre la prolifération durant les années difficiles de la R&D russe.

alloués, dix fois moindres qu'aux Etats-Unis, ne permettent pas d'aboutir à une implantation pratique des résultats obtenus et freinent le développement de technologies pourtant bien développées au plan fondamental : physique des semi-conducteurs, composants électroniques, mémoires magnétiques, optoélectronique, etc. A la suite de cette table ronde, un certain nombre de mesures ont donc été prises concernant le montant et la coordination du programme « Nanotechnologies » de l'Agence Fédérale pour la Science et l'Innovation (RosNauka). On peut retenir les éléments suivants :

### **1. Des moyens financiers très importants pour la R&D (salaires et équipements)**

Les nanotechnologies représentent 40 % des financements de R&D planifiés suivant le Programme Fédéral Ciblé pour la période 2007-2012, soit près de 43.5 Md de roubles (environ 1,25 Md €) sur 6 ans, de manière croissante (5 Md de roubles en 2007, soit 143 M €, puis une croissance annuelle de 25 %). En outre, les recherches menées dans le domaine des nanotechnologies ne sont pas menées uniquement dans le cadre de ce programme fédéral ciblé, mais selon des demandes « hors budget », pour des travaux accomplis par les Instituts de l'Académie des Sciences d'Etat et par les établissements d'enseignement supérieur, dans le cadre de financement par devis. Ainsi, au sein du Praesidium de l'Académie, 2 programmes concernent les nanosciences, sur les matériaux et sur les équipements électroniques.

Enfin, à côté de ce programme fédéral (dans lequel plus de la moitié des financements sont des salaires), un programme spécifique pour les infrastructures a été proposé en 2007, doté de près d'1 Md d'€ sur 3 ans, qui vise à créer une vingtaine de centres sectoriels (un par grand secteur d'activité : nucléaire, aéronautique, chantiers navals, etc.) d'équipements et de métrologie. Ces centres, placés sous la coordination globale du Centre Kurchatov, travailleront en réseau.

En plus de ces canaux, la R&D et l'innovation dans le domaine des nanotechnologies sont également soutenues par les fondations :

- Pour la recherche fondamentale, la « Fondation Russe pour la Recherche Fondamentale » (ou RFFI) permet aux chercheurs sélectionnés sur appels d'offre de type "Bottom-Up" afin de maintenir un bon niveau de recherche. Les nanotechnologies y percevaient environ 7 M euros en 2005.
- Pour la recherche appliquée, le Fonds d'aide aux petites et moyennes entreprises (ou FASIE) donne la possibilité aux chercheurs de démarrer ou de poursuivre leurs activités de développement dans le cadre d'une start-up ou d'une PME créée même au sein de leur propre institut. Les nanotechnologies y tiennent une part importante.

Enfin, les aides internationales passent en premier lieu par le Centre International pour la Science et la Technologie (CIST) qui a financé en 2004 un total de 42 Millions de dollars pour l'ensemble des projets dont environ 8 Millions ont été consacrés aux nanotechnologies.

### **2. L'accent mis sur la commercialisation des résultats scientifiques**

L'annonce a été faite au printemps 2007 de la création d'un consortium public-privé (NanoTech) chargé de commercialiser les résultats de la R&D, et qui serait doté d'environ 4 Md d'€. Mais les discussions sont en cours sur son statut, sa gouvernance, etc.

### **3. Une coordination au plus haut niveau**

Pour assurer la coordination entre les différents programmes, un conseil présidé par M. Fursenko, Ministre de l'Education et la Science avait d'abord été créé en 2006, composé de représentants des différents ministères, de scientifiques (qui président des groupes de travail d'experts) et d'industriels. Il a produit le « programme de coordination des travaux dans le domaine des nanotechnologies et nanomatériaux en Fédération de Russie » en août 2006. Ce conseil a été ensuite chargé de fournir un cadre pour la coordination nationale des nano-industries, qui consiste en deux mesures principales présentées par M. Fursenko lors d'une réunion en présence de Vladimir Poutine au Centre Kurchatov le 18 avril 2007 :

- La stratégie et les moyens : le comité a rédigé un « programme de développement des infrastructures des nano-industries », rebaptisé « initiative présidentielle », qui fixe les grandes directions prioritaires
- La mise en œuvre par un coordinateur national : à la suite d'un appel d'offre, le Centre Kurchatov a été désigné comme laboratoire national chargé de mettre en œuvre ce programme. Le Centre Kurchatov, qui emploie environ 5000 personnes, peut être en partie comparé au CEA en France, puisqu'il a été créé initialement pour développer des recherches nucléaires, mais s'est ensuite diversifié notamment dans les nanotechnologies. Seront également créés et équipés une vingtaine de centres régionaux, en réseau.

Après cette première phase où le MES a été leader, la coordination sera assurée à partir d'avril 2007 par M. Ivanov, premier vice-premier ministre en charge de la modernisation de l'économie et de l'innovation qui assurera la présidence d'un nouveau Conseil des nanotechnologies chargé de contrôler « sévèrement » l'utilisation des ressources budgétaires. MM. Fursenko et Kovalchuk en sont vice-présidents.

4. **Un groupe de travail russo-européen « Nano »** a été créé pour définir les thèmes d'intérêt commun, afin de favoriser la participation des équipes russes au 7eme programme cadre européen, mais aussi d'inclure la Russie dans les instances d'évaluation des projets.
5. **Un fond de capital risque** consacré aux nanotechnologies devrait être créé en 2007, permettant de « connecter » les différentes étapes de l'innovation.

Toutes ces actions font des Nanotechnologies LA priorité politique affichée, et LE secteur économique où la Russie veut se positionner comme leader mondial. Toutefois, la stratégie adoptée est très centralisatrice, avec un personnage omniprésent, celui de M. Kovalchuk, à la fois directeur du Centre Kurchatov, vice-président du comité national de coordination des nanotechnologies, vice-président à l'Académie des Sciences. Cela écarte *in fine* les instituts de l'Académie, pourtant centres d'excellence pour les nanosciences. On peut donc s'interroger sur l'efficacité d'une telle dépense d'argent, sur la base de directives « top-down » qui risquent d'être mal relayées jusqu'à ceux qui mènent les recherches fondamentales.

## 2. Thématiques principales et pôles d'excellence

Si la Russie est traditionnellement spécialisée dans les matériaux innovants, elle a néanmoins développé les différents thèmes d'applications des nanotechnologies :

- Effets liés aux électrons : électronique, optoélectronique, mémoires magnétiques, émetteurs d'ondes Giga et Térahertz, capteurs et détecteurs, imagerie (en particulier pour le médical), supraconductivité
- Instrumentation : microscopies à champ proche (à force atomique, à effet tunnel, SNOM, etc..), nanobiotechnologies (biochips)
- Matériaux : renforcement de matériaux, matériaux super-durs, alliages spéciaux, quasi-cristaux, ultrafiltration, revêtements fonctionnels en couches minces, nanotubes et cristaux de toute nature et de toutes formes, peintures antibactériennes, etc...

En particulier, les thèmes suivants sont développés :

- **Croissance cristalline** (la Russie est un des plus grand producteur mondial de cristaux synthétiques)
  - en volume : monocristaux sans défauts, cristaux nanostructurés, nanocristaux, ...
  - en surface : cristaux à rugosité nanométrique, croissance par épitaxie, hétéro-structures, ...

- **Nanomatériaux** : poudres nanométriques de toute nature (métaux, céramiques), nanofibres, nanotubes et nanofilms.
- **Nanostructures superconductrices** et effet tunnel, bruit quantique, effets magnétiques, effets optiques, quantum dots, quantum wells et quantum wires, etc..
- **Spintronique**, nanomagnétisme, mémoires.

**Cinq grands pôles de compétence** sont répertoriés : **Moscou, Saint-Pétersbourg, Chernogolovka, Nizhny-Novgorod**, et **Novossibirsk** (avec **Tomsk**). D'excellents centres sont également identifiés à **Obninsk, Ekaterinbourg, Zélénograd** et **Troïtsk**.

## II - COOPERATIONS FRANCO - RUSSES EN NANOTECHNOLOGIES ET NANOMATERIAUX

Sur le plan des collaborations bilatérales, jusqu'en 2003, la France jouissait d'un bon niveau d'échanges, avec les physiciens russes au niveau des recherches fondamentales, surtout soutenus par le CNRS, mais de façon peu coordonnée et éloignée des applications. L'excellence de ce domaine en Russie et la nécessité des chercheurs russes de valoriser leurs connaissances militait donc en faveur de la mise en place d'une action coordonnée dans le domaine technologique. Celle-ci a eu lieu par deux canaux : le lancement d'un programme ARCUS sur les Nanomatériaux et l'institutionnalisation d'un séminaire annuel exploratoire sur 3 thèmes, qui se renouvellent régulièrement.

### 1. Nanomatériaux : le programme ARCUS et le réseau du groupe « autocombustion »

#### 1.1. Le Programme ARCUS Lorraine avec le MISIS de Moscou

Le projet Lorraine/Russie s'inscrit dans la cadre d'actions de coopération scientifique lancées depuis quelques années entre des laboratoires des universités de la Région Lorraine et des laboratoires de la Fédération de Russie dans le domaine de la science des matériaux. S'ajoute une dimension thématique sur la physique des plasmas et les risques environnementaux avec une collaboration avec la Région PACA, qui accueillera le projet ITER.

Le partenaire principal russe est le MISIS (Institut des alliages et des métaux de Moscou), mais plus d'une dizaine d'autres instituts sont également très impliqués, parmi lesquels :

Université de technologie chimique de Russie D.I. Mendeleïev (RKhTU)

Institut de physique de l'ingénieur de Moscou (Université d'État) (MIFI)

Institut de technique électronique de Moscou (Université technique) (MIÉT)

Université technique d'État d'Irkoutsk (IrGTU)

Université d'État de l'Oural A.M. Gorki (UrGU)

Université d'État de radiotechnique de Taganrog (TGRU)

Institut de métallurgie et de génie des matériaux A.A. Baïkov de l'ASR (IMET)

Institut de géologie des gisements, de pétrographie, de minéralogie et de géochimie de l'ASR (IGEM)

Institut des problèmes de mise en valeur complexe du sous-sol de l'ASR (IPKON)

Institut de physique du solide de l'ASR (IFTT)

Institut de mécanique des milieux continus de la branche ouralienne de l'ASR

Institut de recherche et d'ingénierie « Technologies d'enrichissement des matières premières minérales » (TOMS), Irkoutsk

L'ensemble du projet disposera ainsi d'un budget total de 0.6 M € pour 3 ans (2006-2008), répartis de la façon suivante : 0,35 M € du MAE ; 0,25 M € de la région Lorraine.

Le projet est divisé en cinq sous-projets, dont deux concernent les nanomatériaux :

- Sous-projet n°2 « **Matériaux, surfaces, interfaces** », avec deux axes de recherche : les relations entre microstructure et performance et les traitements de surface à fonctionnalités avancées ;
- Sous-projet n°3 « **Nanomatériaux et nano-technologies** », avec deux axes de recherche : l'élaboration de nouveaux composites nanotubes de carbone et leur caractérisation et l'élaboration de matériaux pour l'optique et l'optoélectronique.

Ces deux actions couvrent environ 8 coopérations assez actives, et susceptibles de déboucher sur des applications technologiques<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Projet de buse d'injection dans un matériau très résistant (coordonné par M. POLUSHIN, professeur au MISIS, Laboratoire des matériaux réfractaires) ; projet de revêtements fonctionnels et couches minces à gradient de composition obtenues par pulvérisation cathodique réactive, collaboration entre le Laboratoire de Science et Génie des Surfaces -LSGS ( Dr A. Billard, Dr J.F. Pierson) et le MISIS (Pr Levashov, Pr Shtansky). L'obtention de dépôts à composition contrôlée se fera à partir de cibles élaborées par les techniques mises en œuvre au MISIS (synthèse auto-propagée).

## 1.2. Les coopérations en SHS ("Selfpropagating High temperature Synthesis") avec Chernogolovka

L'Institut de Macrocinétique structurale (ISMAN) de Chernogolovka (ASR) a récemment démarré de fortes collaborations avec la France (Dijon, Nancy, Montpellier, Poitiers, Limoges, Villetaneuse, qui formaient un GDR « Autocombustion jusqu'en 2004)) sur le procédé SHS ("*Selfpropagating High temperature Synthesis*") qui permet de fabriquer des matériaux originaux et dont les Russes ont une excellente maîtrise. La complémentarité avec la partie française réside dans ses capacités de caractérisation et d'utilisation de ces matériaux. Les applications industrielles sont nombreuses (réfractaires, dépôts durcissants, matériaux ultradurs, boucliers thermiques, etc.). Ces différentes collaborations, soutenues par l'Ambassade de France, ont fait l'objet dans un premier temps d'une demande de Programme International PICS auprès du CNRS, avec l'objectif de réaliser à terme un laboratoire commun « sans murs » avec Dijon, où se tiendra en 2007 un symposium international sur les SHS.

## 2. La mise en place d'un séminaire annuel à vocation exploratoire

Le Poste s'est attaché tout d'abord à identifier les meilleurs acteurs du domaine au travers des visites des centres de recherche les plus renommés (2003-2004). Ensuite, des missions exploratoires d'experts ont permis de repérer les opportunités les plus intéressantes de partenariat. De plus, en liaison avec le Ministère de l'Éducation et de la Science de Russie, le SSTE a organisé en 2004 un premier « Séminaire Franco-Russe en Nanotechnologies » d'un niveau remarquable, avec plus de 20 participants français et destiné à établir des partenariats concrets ou à lier des "binômes" de recherches technologiques franco-russe. L'Institut de Cristallographie "Shubnikov" (ASR) a joué un rôle important pour ce 1<sup>er</sup> Séminaire en coordonnant avec l'Ambassade son organisation et en accueillant les délégués du séminaire bilatéral. Deux autres séminaires ont suivi, respectivement à Lille (2005, coordonné par l'IEMN) et à Saint-Pétersbourg (2006, coordonné par l'Institut Ioffe), autour de trois thèmes identifiés conjointement : **spintronique, nanotubes de carbones et ondes Térhertz**. Pour 2007, un nouvel axe sur la **photonique** devrait être développé lors du séminaire qui se tiendra à Grenoble.

### 2.1. Nanostructures de carbones (nanotubes et autres)

#### Etat de l'art

Les premiers nanotubes ont été synthétisés en 1990. Les recherches concernent aujourd'hui trois grands thèmes :

- 1) la synthèse des nanotubes : compréhension et contrôle des mécanismes de formation (aujourd'hui, on ne contrôle que le diamètre et le nombre de feuillets, mais pas l'hélicité d'un nanotube, par exemple) ;
- 2) les techniques d'études structurales : microscopie électronique (pour une analyse individuelle) et spectroscopie (pour une analyse d'ensemble) ;
- 3) les propriétés chimiques, mécaniques, optiques et de conduction électrique.

L'exploitation de ces propriétés fait déjà l'objet d'applications (écrans plats, cathodes) et est très prometteuse.

Il existe en France une soixantaine de laboratoires actifs dans le domaine des nanotubes. Les trois thèmes sont représentés, avec quelques retards – en cours de résorption - concernant notamment l'étude des propriétés optiques (qui ont démarré dans le monde en 2002 mais restent modestes en France) et chimiques (fonctionnalisation bio-organique de nanotubes, etc. ). Les laboratoires russes sont également très actifs, et disposent d'une expérience accumulée. Ils sont ainsi excellents dans la synthèse des nanotubes et l'analyse spectroscopique. Ils sont relativement plus faibles en ce qui

concerne l'électronique moléculaire (par exemple, la microscopie électronique est peu développée à Moscou, et il faut aller jusqu'à Novossibirsk pour en trouver).

### **Complémentarités entre les laboratoires français et russes**

Les complémentarités entre laboratoires français et russes concernent en premier lieu les études structurales : les laboratoires russes ont ainsi une très bonne expérience de la spectroscopie (spectroscopie Raman, par exemple) mais ont à apprendre en microscopie électronique (manque d'outillage), et doivent passer à la spectroscopie de pertes d'énergie (*EELS - Electron Energy Loss Spectroscopy*). S'agissant de la synthèse, les centres de recherche russes sont sans doute plus avancés que les laboratoires français en CVD (*Chemical Vapor Deposition*).

### **Coopérations en cours**

L'ONERA a été désigné comme « tête de file » de la coopération franco-russe sur les nanotubes, avec une forte composante « formation » qui pourrait être développée.

- **ONERA (Chatillon) - General Physics Institute (Moscou)**

Annick Loiseau, Brigitte Trétout et Elena Obraztsova (GPI) ont démarré une coopération en 2005 (séjours d'un mois d'E. Obraztsova à l'ONERA en 2005 et 2006) qui a débouché sur une action de formation de jeunes étudiants russes fin 2006. D'importantes applications en optiques linéaires et non linéaires sont envisagées.

- **ONERA (Chatillon) - General Physics Institute (Moscou) - Novossibirsk**

Les équipes de ces centres de recherche ont déposé un projet INTAS en juin 2005, sur les nanotubes de boron-nitrides, dont les propriétés paraissent intéressantes dans le domaine du renforcement des matériaux.

- **Laboratoire Physique de la Matière (Lyon) – Nikolaev Institut of Inorganic Chemistry (Novossibirsk)**

Le laboratoire de Alexander Okotrub à Novossibirsk souhaite envoyer un doctorant durant 2-3 mois à Lyon, auprès de Xavier Blase, pour approfondir des calculs et simulations théoriques sur les propriétés des nanotubes dopés – domaine dans lequel X. Blase a présenté des travaux innovants.

- **CIRIMAT (Toulouse) - Nikolaev Institut of Inorganic Chemistry (Novossibirsk)**

- **Orsay -Nikolaev Institut of Inorganic Chemistry (Novossibirsk)**

La rencontre entre Alexander Okotrub et Lubov Bulusheva de Novossibirsk, et Emmanuel Flahaut et Christophe Laurent de Toulouse remonte à trois ans. Des échantillons de nanotubes fluorinés ont ainsi été étudiés à Toulouse, et les deux équipes souhaitent continuer cette coopération. Un autre contact a été établi avec Odile Stephan (Orsay), spécialiste de la spectroscopie par pertes d'énergie, que les chercheurs russes souhaiteraient développer pour mieux caractériser la structure des nanotubes.

- **Laboratoire des Colloïdes, Verres et Nanomatériaux (Montpellier II) – Institut de physique de l'université de Rostov sur Don.**

- **Laboratoire des Colloïdes, Verres et Nanomatériaux (Montpellier II) – Institute of High Pressure of the RAS (Troitsk)**

Jean-Louis Sauvajol, de Montpellier II, est en contact avec un chercheur russe, Yuri Yuzyuk, en charge du développement d'une activité "Nanotechnologies" à Rostov sur Don. Les deux chercheurs ont convenu d'établir une collaboration sur le thème " Nanotubes de carbone " : les parties synthèse et caractérisation des nanotubes par diffraction, microscopie et AFM seraient réalisées à Rostov, et les études des propriétés optiques Raman, IR et photoluminescence à Montpellier.

## 2.2. Emission et détection d'ondes Tera-Hertz

### Etat de l'art

Les ondes TéraHertz se distinguent par leur gamme de fréquences, située entre celles des ondes radio et celle de la lumière infrarouge : entre 0,3 et 10 térahertz. Cela correspond à des longueurs d'onde comprises entre 0,03 et 1 millimètre, soit le domaine situé entre l'électronique et l'optique. Ces ondes permettent de voir à travers la matière sans être destructrices (car de peu d'énergie), ce qui déboucherait sur de nombreuses applications : diagnostic de tissus malades (en réduisant les effets secondaires liés à l'utilisation des rayons X), détection des polluants, mais aussi échantillonnage électronique et communications. L'enjeu de la recherche aujourd'hui est d'arriver à émettre des ondes Téra-Hertz avec des dispositifs compacts et à faible coût. Deux voies principales sont aujourd'hui explorées en France :

- les sources optiques : Le centre Thalès à Orsay (Carlo Sirtori) a réussi à émettre des ondes Tera-Hertz à partir d'un laser à cascade quantique à très grande longueur d'onde. Les recherches se poursuivent sur le confinement dans ces nouveaux lasers.
- les sources électroniques : l'université de Montpellier II (Wojciech Knap et Michael Dyakonov) travaille sur les oscillations de plasma bidimensionnel : un gaz bidimensionnel d'électrons placés dans un transistor à effet de champ peut, dans certaines conditions (distances nanométriques), produire des radiations terahertz. La démonstration expérimentale en a été donnée à Montpellier en 2004.

D'autres voies sont peu ou pas développées en France : il s'agit par exemple du laser à Germanium, inventé et utilisé en Russie, ou de la génération d'ondes Tera-Hertz par phénomène d'oscillations – blocs (voir les travaux de V. Gavrilenko à Nizhny Novgorod), ou encore de l'idée d'utiliser les phénomènes de propagation des ondes de forts champs dans des super-réseaux (*superlattice*), comme le suggèrent les travaux de Kagan (Institut de radio-engineering et d'électronique de Moscou).

### Complémentarités entre les laboratoires français et russes

Les complémentarités entre les laboratoires russes et français dans le domaine des ondes téra-hertz sont riches, car les chercheurs russes ont développé des idées nouvelles pour lesquelles ils ne disposent pas toujours des moyens expérimentaux : manque de matériel de haut niveau, ou problèmes de frais de fonctionnement. Ainsi une coopération entre les centres russes et français présents au séminaire pourrait s'axer sur la construction de super-réseaux permettant de tester l'hypothèse de propagation d'ondes du domaine des forts champs.

### Coopérations en cours

A la suite des contacts établis lors des premiers séminaires, un **GDRE franco-russe « TeraHertz »** a été créé en juillet 2006, qui associe en particulier, sous la coordination de W. Knap (GES, Montpellier II) :

- à Saint Petersburg: Ioffe Institute of Russian Academy of Sciences (Michael LEVINSHTEIN et Robert SURIS), St. Petersburg State Polytechnic University (Dmitri FIRSOV), Physical Technical Institute of the Russian Academy of Sciences (Sergei IVANOV) ;
- à Moscou : Lebedev Physical Institute (Yury MITYAGIN), Institute of Radioengineering and Electronics (Miron S. KAGAN et Valery KOSHELETS) ;
- à Nizhny Novgorod : Institute for Physics of Microstructures of RAS (Vladimir GAVRILENKO) ;
- à Orsay : Thales (Carlo Sirtori) ;
- à Lille : IEMN (Sylvain Bollaert, Alain Cappy).

Une thèse est en cours. Un projet de laser conjoint P-Germanium est également à l'étude.

## 2.3. Spintronique et nanomagnétisme

### Etat de l'art

La spintronique se fonde sur une propriété fondamentale des électrons : leur spin, c'est-à-dire leur mouvement de rotation ultrarapide sur un axe, qui crée un champ magnétique. En manipulant ce spin,

on peut contrôler les flux d'électrons et mémoriser des informations et effectuer des traitements de données dans des conditions de taille et de vitesse encore jamais atteintes. Les premières applications concernent l'informatique. Les techniques des ordinateurs classiques utilisent des flux d'électrons (un courant électrique) contrôlés par des champs électriques et dont l'intensité, détectée par des capteurs magnétiques, permet d'enregistrer ou de lire des «bits » d'information exprimés sous forme de 0 ou de 1. Avec la spintronique, chaque électron (plutôt que des milliers dans un courant) peut, selon la direction de son spin, représenter un bit d'information. Toutefois de nombreux problèmes demeurent avant l'industrialisation de composants spintroniques : la distance de transport des excitations, la durée de vie des composants, ou la nécessité de fonctionnement à très basse température pour éviter la perte d'alignement des spins.

En France, les recherches se font à Orsay (Agnès Barthelemy, Thales ; Claude Chappert, IEF-CNRS), à Villetaneuse (A. Stachkevitch) et à Grenoble (Spintec).

### **Complémentarités entre les laboratoires français et russes**

Dans les projets de coopération qui se dessinent, il semble que les équipes russes disposent de plus de chercheurs leur permettant de lancer des pistes nouvelles (nouveaux échantillons), mais qu'elles manquent parfois du matériel pour analyser les propriétés de ces nano-matériaux. Inversement, les équipes françaises sont intéressées par les pistes offertes.

### **Coopérations en cours**

#### **A. Semi-conducteurs magnétiques**

##### **Topic A1: Semi-conducteurs ferromagnétiques dilués (DMS)**

1. *J.Cibert, Lab. Louis Neel, Grenoble*
2. *E. Kulatov, Prokhorov General Physics Institute, Moscow*
3. *V.Ivanov, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry, Moscow*
4. *M.Jamet, Grenoble*

Bulk DMS: growth, characterization, theory in Moscow (VI), T-dependent studies (magnetometry, magnetotransport) and neutron (if possible : e.g., single crystal without inclusions) in Grenoble (JC) ; Ge:Mn structures, experimental in Grenoble (MJ) and theory in Moscow (EK).

##### **Topic A2: Spins of carriers in semiconductor nanostructures**

1. *T. Amand, LNMO, INSA Toulouse*
2. *V. Kalevitch, Ioffe Institute, Saint Petersburg*
3. *H. Mariette, CEA-CNRS-JFU, Grenoble*
4. *V. Kochereshko, Ioffe Institute, Saint Petersburg*
5. *A. Toropov, Ioffe Institute, Saint Petersburg*
6. *S. Ivanov, Ioffe Institute, Saint Petersburg*
7. *E. Ivchenko, Ioffe Institute, Saint Petersburg*

Optical microscopy and fine structure of excitons and excitons complexes in charged quantum dots with embedded magnetic ions. Spin dynamics controlled by spin-dependent recombination. MBE growth of wide band gap diluted-magnetic semiconductor nanostructures. Magneto-optical spectroscopy of excitons quantized as a whole in submicron films.

##### **Topic A3: Etude des systèmes semi-conducteurs semi-magnétiques (DMS)**

1. *Michel Goiran, LNCMP – Laboratoire National des Champs Magnétiques Pulsés (Toulouse)*
2. *Boris Aronzon, Kurchatov Institute Research Center (Moscou)*

Récemment, l'équipe russe a mis en application ses nouvelles idées pour accroître la température à laquelle l'aimantation macroscopique affecte de façon notable la polarisation de spin et donc les propriétés de transport électronique dans certains semi-conducteurs semi-magnétiques. Des travaux sous très forts champs magnétiques permettraient de mieux comprendre les mécanismes qui gouvernent les propriétés magnétiques. Les expériences sous forts champs magnétiques seront réalisées au LNCMP qui possède une infrastructure unique dans ce domaine, les échantillons seront élaborés par l'équipe russe qui assurera aussi les mesures de transport à bas champ magnétique. Cette coopération est encore non formelle.

#### **B. Nano-magnétisme**

##### **Topic B3: Spin transport and advanced micromagnetism**

1. Vincent Cros, *Unité Mixte CNRS-Thales, Palaiseau (France)*
2. Anne-Marie Haghiri-Gosnet, *Institut d'Electronique Fondamentale, Orsay (France)*
3. Bernard Dieny, *SPINTEC, Grenoble (France)*
4. Anatoly Zvezdin, *GPI, Russian Academy of Science, Moscow (Russian Federation)*
5. Konstantin Zvezdin, *IMT, Moscow (Russian Federation)*
6. Anatoly Vedyayev, *Moscow State University*

Advanced modelling of spin transport effects in magnetic nanostructures (CPP spin valves, magnetic tunnel junctions and nano patterned planar devices). Development of models including spin transfer terms for investigation of high frequency dynamics.

Existing formalized links: Econet project between partner 2 and 4

Existing long standing collaboration between partner 3 and 6

New collaboration between partner 1 and 5

#### **Topic B4: Multiferroics**

1. Agnès Barthélémy, *Unité Mixte CNRS-Thales, Palaiseau (France)*
2. Manuel Bibes, *Institut d'Electronique Fondamentale, Orsay (France)*
3. Anatoly Khodan, *detached scientist from Moscow State University at Unité Mixte CNRS-Thales*
4. Alexander Pyatakov, *Dept. Physics, Moscow State University (Russian Federation)*
5. Oleg Yu. Gorbenko, *Dept. Chemistry, Moscow State University (Russian Federation)*
6. Anatoly Zvezdin, *GPI, Russian Academy of Science, Moscow (Russian Federation)*

The collaborations mostly involve BiFeO<sub>3</sub>, an antiferromagnetic and ferroelectric multiferroic. Films are produced by partner 1 and 5, characterizations by partners 1 and 2, and theoretical support (calculations, simulations) by partners 3, 4 and 6.

Existing formalized links : Econet project between partner 1 and 5 (with one "cotutelle" PhD student)

Existing long standing collaboration between partner 1 and 3

New collaborations between partners (1,2) and (4,6)

#### **Topic B5: Spin-polarized electrons and magnetism**

1. Daniel Paget, *Lab. PMC Ecole Polytechnique*
2. E. Lafon, *University Blaise Pascal, Clermont-Ferrand*
3. B. Gerard, *Thales RT*
4. V.L. Berkovits, *Ioffe Physico-Technical Institute*
5. O.E. Tereshchenko, *Novossibirsk State University*

This collaboration has two aims:

- development of SPSTM for studies of nanomagnetism using passivated GaAs tips (1-4)
- development of spin filters for the measurement of the spin of free electrons (1, 5)

#### **Topic B6 : Nanoparticules et clusters magnétiques**

1. Andrei Stachkevitch, *Paris XIII (Villetaneuse)*
2. A Zvezdin *General Physics Institute (Moscou)*
3. *Institut de radioélectronique et automatique MIREA (Moscou)*

## **3. Autres coopérations**

### **3.1. Transport mésoscopique avec Novossibirsk**

Des contacts établis depuis une dizaine d'années entre le laboratoire des champs magnétiques intenses de Grenoble (Jean-Claude Portal) et l'Institut des semi-conducteurs de Novossibirsk (Académicien Aseev) ont conduit à des résultats intéressants : Aharonov-Bohm oscillations sur interféromètres balistiques des plus petites tailles fabriqués par oxydation AFM, nouveaux effets d'interactions de transport 2 D provoqués par scattering cohérent (oscillations de Friedel), transport cohérent, faible et anti-localisations, développement de modélisations quantiques numériques sur des nanostructures (dots, antidots, interféromètres ...), premier résultat expérimental du ratchet électronique, transport contrôlé par micro-onde (réseau asymétrique d'antidots, Nature 2007) – ce qui a valu à un jeune étudiant russe en thèse en co-tutelle entre les deux équipes un prix en 2007. Cette coopération est soutenue par un PICS en 2007-2010, et pourrait déboucher sur une action plus structurée avec Novossibirsk.

### 3.2. Tableau récapitulatif des actions en Nanosciences en cours

Les deux tableaux ci-dessous reprennent les actions sur les nanosciences et nanotechnologies franco-russes portées à la connaissance de ce poste, et ne prétend pas être exhaustif... La plupart des outils mobilisés sont des outils de type « amorçage » (PICS ou Econet).

#### Moyens directs du CNRS

Thèmes	Partenaires français	Partenaires russes	Outils de coopération
<b>Nanomagnétisme</b>	LPMTM / Paris 13 Villetaneuse	GPI /ASR Moscou Université Electrotechnique de St-Petersbourg	1 thèse en co-tutelle
	Laboratoire de photonique et de nanostructures, Marcoussis Paul Voisin	Institut IOFFE St Petersburg	PICS
	Institute Neel-CNRS, Grenoble Henri Mariette	Institut IOFFE St Petersburg	Séminaire conjoint
<b>Nanofils semiconducteurs</b>	Laboratoire de photonique et de nanostructures, Marcoussis Jean Christophe Harmand	Institut IOFFE St-Petersbourg	PICS 2007-2009
<b>Nanostructures métalliques</b>	Physique de l'état condensé, Gif Philippe Joyez CRTBT Grenoble Vincent Bouchiat	IMT (Inst. of Microelectronics technology) /ASR: Moscou	PICS 2006-2008
	Laboratoire de physique des matériaux, Nancy Bertrand Kierren	GPI /ASR Moscou	PICS 2006-2008
<b>Nanotubes</b>	LCVN Montpellier Jean-Louis Sauvajol	Rostov/Don	PICS
	UMR6595 Marseille David Zeitoun	Novosibirsk (Inst. of theoretical applied mechanics)/ASR	PICS 2006-2008
<b>Transport mésoscopique</b>	Laboratoire des champs magnétiques intenses – CNRS Grenoble -Jean-Claude Portal	Institut de Physique des Semi-conducteurs – Novossibirsk (A. Aseev) + Institut de Radioengineering de Moscou	PICS 2007-2009 avec Moscou Les Russes envisagent la création d'un LIA ?
	Laboratoire des champs magnétiques intenses – CNRS Grenoble – Maud Duncan	Lebedev Institute –Moscou	PICS 2006-2008
<b>Nanocristaux organiques et nanocapteurs</b>	UMR8531 Cachan Robert Pansu	Irkutsk/ASR	PICS 2007-2009
<b>Nanomatériaux SHS (high temperature synthesis)</b>	Laboratoire de recherche sur la réactivité des solides (Dijon, Frédéric Bernard)	ISMAN, Chernogolovka- Sytshev	PICS 2006-2008
	Jean-Claude Tedenac Montpellier	ISMAN/ Chernogolovka	1 thèse en cotutelle
	INPL Nancy Jean Steinmetz	MISIS	ARCUS Lorraine 1 thèse en cotutelle
<b>Ondes Terahertz Nanotransistors</b>	GES CNRS Montpellier Wojtech Knap UMR CNRS THALES Carlo Sirtori	Institut IOFFE St Petersburg Nijni-Novgorod	PICS 2006-2008 GDRE 2006 Séminaire conjoint
	IEMN Lille Alain Cappy	IUHFS RAS Moscou	1 thèse en cotutelle

### Hors moyens directs du CNRS (mais souvent unités mixtes CNRS)

Thèmes	Partenaires français	Partenaires russes	Outils de coopération
<b>Nanotubes</b>	ONERA Chatillon Annick Loiseau	General Physics Institute –Moscou (Elena Obraztsova) + Novossibirsk (Nikolaev Institut of Inorganic Chemistry)	INTAS + Ambassade
<b>Micro et nano-objets magnétiques et leurs applications</b>	Jussieu-Paris 6 – Laboratoire Ioniques et interfaces chargées (UMR CNRS 7612) - Régine Perzinski	Perm (Youri Raikher)	Econet 2007-2008
<b>Microguides magnétiques de neutrons</b>	CEA /Saclay, Laboratoire Léon Brillouin (UMR CNRS 12) - Frédéric Ott	Dubna, Laboratoire de physique des neutrons (Serguei Kojevnikov)	Econet 2007-2008
<b>Tectonique moléculaire</b>	Laboratoire de chimie de coordination organique, Strasbourg (Mir Wais Hosseini)	Univ. De Kazan (Antipin) Institut de chimie inorganique de Novossibirsk (Fedin)	ARCUS Alsace 2007-2009 SP 3
<b>Ensembles supramoléculaires</b>	Laboratoire de Chimie Organo-Minérale, Institut de Chimie, Strasbourg UMR 7177 CNRS, Jean-Pierre SAUVAGE	Centre de photochimie de l'ASR (Alfimov)	ARCUS Alsace 2007-2009 SP 3
<b>Nano-particules de métal</b>	Société Novalyst (Strasbourg)	Institut du Radium de St Pétersbourg	ARCUS Alsace 2007-2009 SP 3
<b>Nanotubes de carbone</b>	LCSM, Nancy (Ted MacRae)	Mendeleev University of Chemical Technology (Moscow) + Moscow Institute of Electronic Technology (Zelenograd)	ARCUS Lorraine –SP 3 (2006-2008)
<b>Nanomatériaux pour l'optique</b>	LMOPS, Metz (Patrice Bourson)	Ural State University (Yekaterinburg) Mendeleev University of Chemical Technology (Moscow) and the Moscow Institute of Electronic Technology (Zelenograd), Ioffe Institut of St Petersburg	ARCUS Lorraine –SP 3 (2006-2008)
	+orienté nano-matériaux et nano-technologies  GCOM2, Marseille (André Samat)	Photochemistry Center, Russian Academy of Sciences Institute of Physical and Organic Chemistry, Rostov State University Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Institute of Problems of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka, M.V.Lomonosov Moscow State University, D.I. Mendeleev Moscow University of Chemical Technology	ARCUS Lorraine –SP 3 (2006-2008)
<b>Nanostructures d'oxydes de zinc</b>	ESPCI Pierre Tronc	Université de Tomsk (Guennadi Karavaev)	Econet 2007-2008

### III. INSTITUTS ET CENTRES DE RECHERCHE D'EXCELLENCE

On identifie 4-5 grands établissements russes qui ne font que des nanosciences, souvent à partir de la physique des solides (c'est une transition naturelle). Pour d'autres instituts déjà spécialisés (en chimie inorganique, en catalyse), ce sont des équipes, au sein de l'institut, qui se sont tournées vers les nanosciences et ont obtenu des résultats intéressants ; ou des instituts jouant un rôle important dans la politique menée pour les nanotechnologies. La description ci-dessous d'une dizaine d'instituts d'excellence n'épuise pas d'autres instituts qui pourraient abriter quelques équipes de grande qualité.

#### 1. Ioffe Physico-Technical Institute de l'Académie des Sciences de Russie (Saint Pétersbourg)

##### Description

C'est, à juste titre, le plus prestigieux Institut de Russie, fondé en 1918 par Abram F. Ioffe. Il a été une pépinière de grands physiciens, dont son Directeur actuel, **Jaurès Alferov**, Prix Nobel 2000 a été décoré pour ses découvertes sur les hétérostructures utilisant les semi-conducteurs et surtout pour les innombrables applications dans le domaine des lasers (optoélectronique).

Malgré sa taille importante, les activités de cet Institut restent toujours à la pointe de la science et il a réussi son virage vers la technologie par des applications nombreuses en électronique, nanoélectronique, optoélectronique, spintronique, imagerie, détecteurs, etc.. en étant un vivier de création de PME innovantes.

##### Sujets spécialisés

Hétérostructures en particulier dans les systèmes III- V (Nitrures de Ga, Al, In), croissance de couches minces par épitaxie, optoélectronique, semi-conducteurs cristallins et amorphes, diélectriques, électronique et nanoélectronique, Spectroscopies ...

##### Remarques

La taille de l'Institut, le vieillissement de ses cadres et sa lourde infrastructure nécessitent une modernisation qui ne vient que lentement faute de moyens, mais sa capacité d'innovation et ses très nombreuses collaborations nationales et internationales lui permettent de continuer de drainer des physiciens de talent et de rester l'Institut de référence.

##### Contacts

**Ioffe Physico-Technical Institute (ASR), 26 Polytekhnicheskaya, 194 021 St Petersburg**

Directeur: Jaures Ivanovich ALFEROV, Tel : (812) 247 93 67 [alferov@duma.gov.ru](mailto:alferov@duma.gov.ru)

Dir.-Adjoint : Abram L. ORBELI, Tel : (812) 247 22 55, [orbeli@paris.ioffe.rssi.ru](mailto:orbeli@paris.ioffe.rssi.ru)

Contact privilégié, co-ordinateur russe du séminaire franco-russe annuel : Serguei Ivanov, [ivan@beam.ioffe.rssi.ru](mailto:ivan@beam.ioffe.rssi.ru)

Site Internet : <http://www.ioffe.ru>

#### 2. Institut de Physique des Solides de Chernogolovka (ASR) (Région de Moscou)

##### Description

Fondé au début des années 60, cet Institut reste toujours l'un des plus performants dans son domaine, surtout au niveau fondamental. Il est à l'origine de plusieurs découvertes importantes (phases nanocristallines, cristaux aperiodiques) et a fortement contribué à la compréhension de nombreux phénomènes de la matière condensée : solides, liquides, amorphes, matériaux complexes (bois, composites). La très grande variété des thèmes abordés, l'inventivité de ses chercheurs et son vaste

parc d'appareillage continue d'attirer des jeunes chercheurs de talent. Un secteur applications et valorisation se développe actuellement avec dynamisme, surtout dans le domaine des matériaux. Cet Institut a de nombreux liens avec l'extérieur, en particulier avec les théoriciens du Landau Institute voisin. Sur le plan international, il a de nombreuses collaborations, particulièrement avec plusieurs laboratoires français depuis de nombreuses années (Paris, Orsay, Grenoble).

### **Sujets spécialisés**

Supraconductivité, transport quantique, susceptibilités magnétiques géantes.

Croissance cristalline de cristaux technologiques, matériaux nanostructurés, nanotubes, quasi-cristaux, cristaux quantiques, semi-conducteurs, céramiques, composites, réfractaires, etc..

Surfaces, interfaces, physique des défauts, transformations de phases.

Propriétés optiques, électriques, magnétiques, mécaniques. Spectroscopies et microscopies.

### **Remarques**

Ce centre de hautes compétences a beaucoup souffert dans les années 90 du départ de chercheurs de qualité (mais la tendance a été enrayée) ce qui a entraîné un resserrement des thèmes et le financement de l'institut est loin d'être à la hauteur de sa qualité, ce qui a pour effet de développer la recherche appliquée au détriment de sa recherche fondamentale.

### **Contacts**

**Institute of Solid State Physics ou ISSP (ASR), Chernogolovka 142 432 Russia**

Directeur: Vitaly V. KVEDER, Dir.-Adjoint : Vladimir D. KULAKOVSKII, Tel : (096) 522 26 91, [kulakovs@issp.ac.ru](mailto:kulakovs@issp.ac.ru) (nombreuses collaborations avec Grenoble)

Directeur de l'Innovation : Nikolay V. KLASSEN, Tel : (096) 522 46 94, [klassen@issp.ac.ru](mailto:klassen@issp.ac.ru)

Site Internet : <http://www.issp.ac.ru>

## **3. Institut de Physique des Semi-Conducteurs de Novosibirsk (ASR)**

### **Description**

Fondé en 1964, cet Institut reste le meilleur dans le domaine des semi-conducteurs tant sur le plan de la recherche fondamentale que des applications.

### **Sujets spécialisés**

Croissance et structure des matériaux semi-conducteurs, micro-photoélectronique, physique et technologie des semi-conducteurs de basse dimensionnalité (micro et nano-structures), électronique quantique, structures des films minces pour la micro électronique et la photoélectronique, physique et engineering des structures semi-conductrices, R&D du développement du silicium monocristallin et de structures silicium. Microscopie à force atomique, nanolithographie, LIGA.

**Remarque** : Institut relativement tourné vers l'extrême orient (Japon, Corée, Chine). Collaboration nourrie avec Grenoble (Pr. Portal)

### **Contacts**

Institute of Semiconductors Physics, 13, Ac. Lavrentyev, Novosibirsk 630 090 (Russia)

Directeur : Dr. Alexandre ASEEV, Mbres-corr. de l'ASR (38 32) 333 950. [aseev@thermo.isp.nsc.ru](mailto:aseev@thermo.isp.nsc.ru)

Site Internet : <http://www.isp.nsc.ru>

## **4. Institut de Physique des Microstructures (IPM) de Nizhny-Novgorod (ASR)**

### **Description**

Bien que fondé seulement en 1993, l'IPM est un des grands pôles de compétence en Nanotechnologies grâce à ses recherches fondamentales en physique des surfaces et interfaces, les semi-conducteurs, la supra-conductivité à haute température, l'optique des rayons X. Son parc

instrumental, bien géré par une équipe dynamique (et non pléthorique), lui permet d'attirer de bons jeunes chercheurs issus de l'Université voisine.

### **Sujets spécialisés**

Physique et technologies des structures métalliques, des semi-conducteurs, de la supra-conductivité, des hétérostructures et des nano-systèmes.

Réalisations de sources à semi-conducteurs pour la génération de fréquences TéraHertz et celle de composants pour l'optoélectronique (photo-luminescence, diodes électroluminescentes).

Microscopies à balayage, à force atomique, effet tunnel, SNOM, Spectroscopies de haute résolution, MOCVD, MBE, ablation laser, RIE, nombreux systèmes de caractérisation et de tests (rayons X, AES, SIMS, SEM), salles blanches de classe 1000 et 100.

### **Remarques**

Bien que reconnu par l'ASR comme centre de qualité, cet institut n'obtient pas de soutien suffisant auprès des agences gouvernementales.

### **Contacts**

**Institute for Physics of Microstructures (ASR), GSP-105 Nizhny Novgorod 603 950**

**Directeur: Professeur Serguey V. GAPONOV, Tel : (8312) 67 51 20 ; [svg@ipm.sci-nnov.ru](mailto:svg@ipm.sci-nnov.ru)**

Dir.-Adjoint : Vladimir SHASHKIN, Tel : (8312) 67 55 36 ; [sha@ipm.sci-nnov.ru](mailto:sha@ipm.sci-nnov.ru)

Contact privilégié : coordinateur russe du GDRE TeraHertz : Pr. Vladimir Gavrilenko ([gavr@ipm.sci-nnov.ru](mailto:gavr@ipm.sci-nnov.ru)) - Site Internet : <http://www.ipm.sci-nnov.ru>

## **5. Institut de Physique Générale Prokhorov de Moscou (IOFAN- ASR)**

### **Description**

Créé en 1983 par l'académicien A.M. Prokhorov (prix Nobel en 1964 et inventeur des lasers) à partir de la division « A » (laboratoires de physique des plasmas) de l'institut Lebedev (créé lui en 1934), le GPI rassemble aujourd'hui 1300 employés, dont 600 chercheurs au sein de 5 départements très spécialisés et 5 centres ayant une vocation plus transversale, dont en particulier le centre de recherche sur les fibres optiques (FORC), qui possède un équipement unique pour fabriquer et caractériser les fibres optiques et est considéré comme un centre de grande qualité au niveau international.

### **Sujets spécialisés**

Au FORC : lasers à fibre Raman et dopés, effet d'électrostriction, effet de photoréfaction dans les fibres dopées, mécanismes de pertes dans les fibres dopées au germanium et au phosphore, capteurs, fibres pour l'industrie nucléaire, recherche de nouveaux dopants, cristaux non linéaires, fibres recouvertes d'une surface métallique (cuivre, nickel, etc.). Très bonne collaboration avec des équipes françaises (sur les lasers à fibres optiques avec Limoges, les nanotubes avec l'ONERA-CNRS, les surfaces métalliques avec Nancy).

Sur les nanos : production et caractérisation de nanotubes de carbone par différentes méthodes, puis transformation en film ayant des applications simples et nombreuses, hétéro-structures, élaborées sur des substrats de métaux nobles nanostructurés par réaction avec un gaz halogène.

### **Contacts**

Directeur : Ak. Cherbakov, [director@gpi.ru](mailto:director@gpi.ru)

Autres contacts : Konstantin Eltsov, [eltsov@kapella.gpi.ru](mailto:eltsov@kapella.gpi.ru), tél : 8 903 629 59 23 fax : 234 31 90, directeur du Surface Phenomena Laboratory (subdivision du département de Physique des Lasers) et Elena Obratsova, [elobr@kapella.gpi.ru](mailto:elobr@kapella.gpi.ru).

## 6. Institut de Chimie Inorganique « Nikolaev » de Novosibirsk (ASR)

### Description

Créé en 1957, ce laboratoire est un des premiers instituts de la nouvelle branche sibérienne de l'Académie des Sciences de Russie. Il y a aujourd'hui 560 personnes dont 260 scientifiques permanents. C'est le meilleur endroit en Russie pour étudier les propriétés thermodynamiques des matériaux : Hautes pressions (jusqu'à 1,6 GPa), températures extrêmes, diagrammes de phase).

### Sujets spécialisés

Synthèse (et caractérisations) des cristaux de toutes natures : cristaux de BGO (10 à 20 Kg), monocristaux dopés aux terres rares.

Céramiques transparentes nanostructurées, colorées, transparentes à l'IR, systèmes Si (ou B) $N_xC_x:H$  à composition variable. Préparation de métaux (en particulier des terres rares) par réduction de l'oxyde correspondant par l'hydruure de lithium (LiH). Synthèse de borures de lanthanides ( $LnB_6$ ) presque aussi durs que le diamant. Réalisation de super-aimants par métallurgie des poudres.

Chaînes polymériques pour micro et nano-matériaux destinés au: stockage et transport d'hydrocarbures gazeux.

Synthèse à basse température de films nanocristallins de CdS,  $Cd_x Zn_{1-x}$ ,  $Cu_2S$  et PbS en utilisant des dithiocarbonates comme source unique de précurseurs.

Synthèse par décharge à arc et CVD des nanotubes de carbone, possibilité de dopage, structure électronique (métal ou semi-conducteur), chimie, propriétés. Une optimisation des nanotubes de carbone est recherchée pour réaliser des nano-sources de rayons X et l'étude des propriétés magnétiques d'agrégats de Co-Fe (collaboration avec l'École Polytechnique : Alexandre SHARAYA, Hubert PASCARD et Olivier KLEIN ). Supraconductivité.

### Remarques

Institut tourné vers l'extrême orient (Japon, Corée, Chine) par manque de collaborations avec les laboratoires occidentaux.

### Contacts

Institute of Inorganic Chemistry, 3, Ac. Lavrentyev, Novosibirsk 630090 (Russia)

Directeur : Prof. Vladimir Fedin.

Directeur-Adjoint : Dr. Igor K. IGOUMENOV, tel : (38 32) 30 94 87. e-mail : [igumen@che.nsk.su](mailto:igumen@che.nsk.su)

Site Internet : <http://www.che.nsk.su>

## 7. L'Institut de Cristallographie "Shubnikov" de l'Académie des Sciences de Russie (ASR)

### Description

L'Institut a été fondé en 1943 par l'éminent physicien, Aleksey V. SHUBNIKOV (1887-1970) sous l'égide de l'Académie des Sciences d'URSS. Il est composé du bâtiment principal situé au 59, Leninsky Prospekt, d'une annexe au sud de Moscou (17a, Butlerov Ul.) et d'une division de recherche sur les matériaux destinés à l'espace, à Kalouga. Son effectif total d'environ **750 personnes** comprend 51 Docteurs d'Etat, 174 Docteurs de 3<sup>ème</sup> cycle et 20 de ses chercheurs ont été couronnés du prestigieux prix Lénine pour leurs travaux scientifiques.

Ce grand Institut, spécifiquement dédié à la Cristallographie, est **unique au monde**. D'essence multidisciplinaire, il est né des études géologiques et minéralogiques en intégrant les aspects chimiques, puis a évolué vers des investigations plus fondamentales sur les cristaux (structure, propriétés, etc.), grâce aux puissantes méthodes de la physique, en particulier des rayons X. Il a également mis au point de nombreux procédés de **croissance de cristaux synthétiques** de différente

nature et de toute taille lui conférant le statut de fournisseur national de cristaux de qualité, non seulement en Russie, mais également sur le marché mondial (Investissement en 2005 : 40 M\$).

De nos jours, grâce à sa **tradition multidisciplinaire**, l'Institut s'est rapidement tourné vers des sujets modernes : croissance de cristaux spéciaux hors gravité (en orbite), cristaux liquides (dispositifs optoélectroniques), croissance de cristaux piézoélectriques (téléphones portables) ou biologiques et surtout, **nanotechnologies**. Dans ce domaine, l'Institut joue un rôle de leader et de **coordonnateur national** : il a été nommé "Point de contact national" pour la participation des équipes russes aux programmes du 6ème PCRD européen.

### Sujets spécialisés

Croissance cristalline et technologies associées (caractérisations par Rayons X, par Rayonnement Synchrotron, spectroscopies, microscopies, propriétés mécaniques, optiques, électriques, etc..), Couches Minces, Fabrication de nano-pointes, Cristaux organiques, membranes, nanobiotechnologies, ultrafiltration, Cristaux Liquides, cristaux technologiques (ferro-électriques, piézo-électriques, magnétiques, semi-conducteurs, quartz, saphirs, oxydes, etc ...)

### Remarques

Tout en restant l'un des leaders dans sa spécialité, il est fortement concurrencé par beaucoup d'autres unités de recherche plus petites et plus dynamiques. Il présente en effet la difficulté des gros instituts de l'ère soviétique à la bureaucratie lourde, un personnel vieillissant et manquant de dynamisme. Malgré les efforts de son Directeur, M. KOVALCHUK, qui déploie beaucoup d'énergie à trouver du financement (avec succès) et à développer un secteur technologique innovant, cet institut manque surtout de nouvelles idées, de théoriciens de talent et ses collaborations internes en Russie sont insuffisamment développées (l'opinion générale dans les autres instituts est que cet institut est prédateur d'argent mais pas de cerveaux !).

### Contacts

**Institut Shubnikov de Cristallographie (ASR), Leninski Prospekt, 59, 117 333 Moscow**

Directeur: Michail Valentinovitch KOVALCHUK, Tel : 135 65 41 (65 00), [koval@ns.crys.ras.ru](mailto:koval@ns.crys.ras.ru)

Svetlana Ivanovna ZHELUDEVA, Dir.-Adjoint, Tel : 135 89 96, [zheludeva@ns.crys.ras.ru](mailto:zheludeva@ns.crys.ras.ru)

Site Internet : <http://ns.crys.ras.ru>

## 8. Institut de Macrocinétique structurale (ISMAN) de Chernogolovka (ASR)

### Description

Fondé dans les années 70 sur la base d'une découverte de son Directeur, l'Académicien Alexandre MERZHANOV, cet Institut fondateur d'une nouvelle branche de la chimie des matériaux, est spécialisé dans la synthèse de nouveaux matériaux par les réactions « SHS » (*Self propagating High Temperature reactions*). Son dynamisme et son ouverture sur les applications lui ont déjà permis d'obtenir quelques succès industriels (usine SHS à Salamanque, en Espagne)

### Sujets spécialisés

Synthèse de matériaux (où la plupart des éléments de la classification de Mendéléiev ont été utilisés avec succès), revêtements protecteurs, anti-corrosion, matériaux ultra-durs, résistants aux chocs thermiques, poudres abrasives, matériaux de filtration, etc.). Fabrication de céramiques par SHS sous haute pression de gaz, élaboration de nouveaux alliages par SHS mécaniquement activée, formation de nano-couches et de multicouches par le procédé SHS.

### Remarques

Peu soutenu par l'agence gouvernementale russe, cet Institut a été amené à développer lui-même des relations avec le secteur privé, ainsi qu'à l'international. Sa coopération avec la France est très prometteuse.

## Contacts

Institute of Structural Macrokinetics and Material science ou ISMAN (ASR), Chernogolovka 142 432  
Directeur: Alexandre G. MERZHANOV, Tel : (095) 962 80 00 ; [head@ism.ac.ru](mailto:head@ism.ac.ru)  
Dir.-Adjoint : Alexandre E. SYTSHEV, Tel : (095) 962 80 35, [sytshev@ism.ac.ru](mailto:sytshev@ism.ac.ru)  
Site Internet : <http://www.ism.ac.ru>

## 9. Institut de Chimie de Catalyse « Borekov » de Novossibirsk (ASR)

### Description

Créé en 1958, c'est le plus gros institut de chimie de l'est de la Russie. Il comprend environ 1000 personnes (dont 2 membres de l'Académie des Sciences et 4 correspondants) avec plus de 60 doctorants et plus de 200 post-doctorants. Vivant largement des revenus qu'il perçoit des compagnies étrangères qui exploitent ses brevets, cet institut dispose de moyens permettant de passer de l'échelle de laboratoire à l'échelle de pilote industriel (équipements performants : XPS, ESCA, ..). Environ le tiers de son budget vient de contrats, surtout avec des compagnies chinoises et sud-coréennes.

### Sujets spécialisés

Fabrication de TiO<sub>2</sub> photocatalytique (poudres Pt modifiées), de carbone fibreux (nanofibres et nanotubes à raison de 2,5 kg/jour), des nanofibres de SiC recouvertes de carbone amorphe, des nanodiamants pour polissage, du carbone (graphite) poreux pour filtration, des matériaux mésoporeux à base de silice, des aérogels de SiO<sub>2</sub>-NiO, etc.. Spécialisés dans les nanotubes de carbone (NTC), de diamètre nanométrique (5 nm), les chercheurs ont de nombreuses collaborations (onion like carbon ). Ils étudient aussi les procédés de réalisation de nanopointes pour microscopes à effet tunnel. Mise au point de nouveaux catalyseurs (Fe-Mn pour la synthèse de whiskers SiC...).

### Contacts

Borekov Institute of Catalysis, 5, Ac. Lavrentyev, Novosibirsk 630090 (Russia)  
Directeur : Prof. Valentin N. PARMON, de l'ASR (38 32) 34 32 69. [PARMON@catalysis.nsk.su](mailto:PARMON@catalysis.nsk.su)  
Contacts : Dr. Vladimir L. KUZNETSOV Tel : (383 2) 34 37 65 e-mail : [kuznet@catalysis.nsk.su](mailto:kuznet@catalysis.nsk.su)  
Prof. Dr. Valery I. BUKHTIYAROV Tel : (383 2) 34 17 71 e-mail : [vib@catalysis.nsk.su](mailto:vib@catalysis.nsk.su)  
Site Internet : <http://www.catalysis.nsk.su>

## 10. Institut de Chimie du Solide et de Mécano-chimie de Novossibirsk (ASR)

### Description

Créé en 1944 (en tant que «Chemical Metallurgical Institute»), il accueille aujourd'hui environ 200 personnes dont 95 chercheurs permanents et 56 PhD en cours, 15 docteurs en science. L'Institut est organisé selon trois grands domaines d'investigations, touchant à la chimie de l'état solide, la conception de nouveaux matériaux, la mécano-chimie et l'activation chimique, l'électro-chimie de nouveaux matériaux et les bases de nouvelles technologies.

### Sujets spécialisés

Travaux fondamentaux très intéressants pour comprendre les phénomènes se produisant pendant les réactions de synthèse par mécano-chimie d'oxydes nanostructurés tels Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et ZrO<sub>2</sub>. Etude de l'influence de l'activation mécanique sur l'agglomération de poudres céramiques d'oxydes à grains nanométriques: 20-25 nm (moins de 0.5% Fe) et 40-45 nm (moins de 0.02%Fe). Etude fondamentale du procédé SHS (Self propagated High temperature Synthesis), avec des investigations sur le Synchrotron voisin, pour accéder à des mesures diffractométriques suffisamment rapides pour suivre la cinétique des réactions. Le procédé SHS, couplé à de l'activation mécanique (broyage à haute énergie) est utilisé pour synthétiser des poudres nanométriques (à bas coût !). Frittage des poudres nanométriques conduisant à des céramiques bien densifiées dans lesquelles la nanostructuration est préservée, par la technologie SPS (Spark Plasma Sintering) avec des coréens.

Elaboration de dépôts nanostructurés TiB<sub>2</sub>/Cu par électroérosion (arc électrique), pour électrode.  
Bonne maîtrise du dépôt de revêtements protecteurs (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>) sur des nanograins de C ou de SiC.

Institut tourné vers l'extrême orient (Japon, Corée, Chine) par manque de collaborations avec les laboratoires occidentaux.

### **Contacts**

Institut of Solid State Chemistry and Mechanochemistry (ASR), 18 Kutateladze, Novosibirsk, 630128

Directeur : Prof. Nikolai LYAKHOV, Mbre-corr. de l'ASR (38 32) 32 96 00. [lyakhov@solid.nsk.su](mailto:lyakhov@solid.nsk.su)

Site Internet : <http://www.solid.nsk.ru>

## **11. Institut de Physique des Lasers de Novosibirsk (ASR)**

### **Description**

Fondé en 1991, cet Institut reste l'un des meilleurs dans le domaine des lasers en recherche fondamentale et développe depuis peu de nombreuses applications, en particulier dans le médical.

### **Sujets spécialisés**

**Spectroscopie à très haute résolution, stabilisation de fréquence (He-Ne / CHn), système d'horloge optique femtoseconde et de synthétiseur de fréquence, refroidissement d'atomes, etc.**

En marge avec ces études fondamentales, l'Institut développe de nombreux éléments : standards de fréquence optique, synthétiseurs femtosecondes, lasers pour la médecine, la biologie et l'écologie, des lasers accordables monofréquences, des horloges optiques femtosecondes, des spectromètres à fluorescence, des instruments laser pour mesurer de petits déplacements, des lasers à excimères, etc.

Cet Institut est en cours de délocalisation vers Moscou et Saint-Pétersbourg et les orientations futures de ses recherches ne sont pas clairement visibles malgré de fortes attaches avec l'Université de Paris Nord-Villetaneuse (il fait partie d'un GDRE franco-russe) et d'autres fortes collaborations internationales, principalement avec l'Allemagne, la Grande Bretagne, le Japon et la Corée.

### **Contacts**

Institute of Laser Physics SB RAS, 13/3, Ac. Lavrentyev, Novosibirsk 630090 (Russia)

Directeur : Prof. Sergei N. BAGAYEV, de l'ASR (38 32) 33 24 89. [bagayev@laser.nsk.ru](mailto:bagayev@laser.nsk.ru)

Directeur-Adjoint : Prof. Alexander K. DMITRIYEV Tel : (38 32) 30 89 21. [dak@laser.nsk.ru](mailto:dak@laser.nsk.ru)

Site Internet : <http://www.catalysis.nsk.su>

## **12. Institut de Physique de la Résistance mécanique et des Matériaux de Tomsk (ASR)**

### **Description**

Fondé en 1991, cet Institut est probablement le meilleur dans le domaine de la mécanique des matériaux, tant en recherche fondamentale que pour les nombreuses applications dans la synthèse de nouveaux matériaux à hautes caractéristiques mécaniques et fonctionnelles. Très actif, ayant d'étroites collaborations avec les autres centres de Tomsk, l'ISMAN de Chernogolovka et l'Institut de Chimie du Solide de Novosibirsk, cet Institut attire beaucoup de jeunes chercheurs de qualité.

### **Sujets spécialisés**

Travaux fondamentaux sur les nanomatériaux : calculs thermodynamiques et mécaniques sur les joints de grains dans les nanomatériaux par comparaison avec les mêmes matériaux mais à grains micrométriques. Expérimentation et modélisation.

Elaboration de matériaux massifs nanostructurés par PSD (Plastic Severe Deformation). Application au titane: le titane pur obtenu par PSD peut être utilisé, à la place de ses alliages, pour les prothèses (pas d'éléments d'alliages toxiques)

Matériaux nanostructurés: traitements de surface, réalisation de revêtements superdurs ( $\text{Ni}_3\text{Al}$ ) pour des outils de coupe ou des pièces de machines (Microduretés de 35 à 55 GPa). Traitements de surface sur les bandes de roulement de roues de chemin de fer, revêtements internes de moules.

Revêtements nanostructurés super-durs :  $\text{AlTiO}$ ,  $\text{ZrTiNC}$ ,  $\text{AlTiON}$ ,  $\text{AlTiNC}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{TiCN}$ ,  $\text{TiBCN}$ ; jusqu'à 20  $\mu\text{m}$  d'épaisseur; dureté jusqu'à 50 Gpa. Revêtement par électro-plasma en solution y compris de métaux légers (Ti, Al) pour renfort et protection ( $\text{Y}_2\text{O}_3$  sur Al semble possible).

Synthèses de nanopoudres d'oxydes par méthode plasma ( $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$  de 9 nm,  $\text{ZrO}_2$ , 3% $\text{Y}_2\text{O}_3$  de 20 nm) et de nanofibres d'alumine (applications pour l'ultra-filtration)

Elaboration de nanocéramiques, ( $\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  composites) à porosité contrôlée entre 10% et 70%

Elaboration de céramiques très denses pour des outils de coupe.

### **Contacts**

Institute of Strength Physics and Material Sciences SB RAS, Akademicheskii pr., 2/1 634021 (Russia)

Directeur : Prof. Sergey Grigorievich PSAKHIE (38 22) 49 18 81. [sp@ms.tsc.ru](mailto:sp@ms.tsc.ru)

Chargé des projets innovants Dr. Gennady RUDENSKIY: Tel : (38 22) 28 69 28. [rudenski@ms.tsc.ru](mailto:rudenski@ms.tsc.ru)

Site Internet : <http://www.ispms.ru>

## **13. Autres centres de qualité ayant des activités en Nanotechnologies et en Matériaux**

### Moscou :

Université Lomonosov

Université MISIS

Université Mendéléiev

Université MIPHY

General Physics Institute (RAS) et son Fiber Optics Research Center (FORC)

### Région de Moscou :

Zélénograd : Société NT-MDT

Chernogolovka : Institut des Problèmes de Chimie Physique et Institut de la Technologie Microélectronique et des Matériaux de Haute Pureté

Troïtsk : Institut de Physique des Hautes Pressions, Institut de spectroscopie

### Saint-Pétersbourg :

Université Technologique d'Etat : Matériaux inorganiques, céramiques et vitreux, hybrides métaux/céramiques, monocristaux fibreux.

Centre Svetlana-Optoelectronics : Diodes électroluminescentes

### Ekaterinbourg :

Institut des Métaux

Institut d'Electrophysique

### Nizny-Novgorod :

Université « Lobatchevski » : Nanostructures semi-conductrices, épitaxie d'îlots de GeSi sur monocristaux de Silicium, Nanocristaux de Si inclus dans une matrice de silice amorphe sur Silicium (luminescence).

Institut de Chimie des Substances Pures

Tomsk :

Tomsk Polytechnic University : Céramiques nanostructurées transparentes, en poudre ou compactées avec assistance ultrasonore, nanométaux.

Institute of High Current Electronics : Revêtements nanostructurés de haute dureté et résistance à l'usure (décharge plasma sous vide assisté par faisceaux d'électrons).

« Equipment & Technology of Electrochemistry » Center : Revêtements électrolytiques sur outils