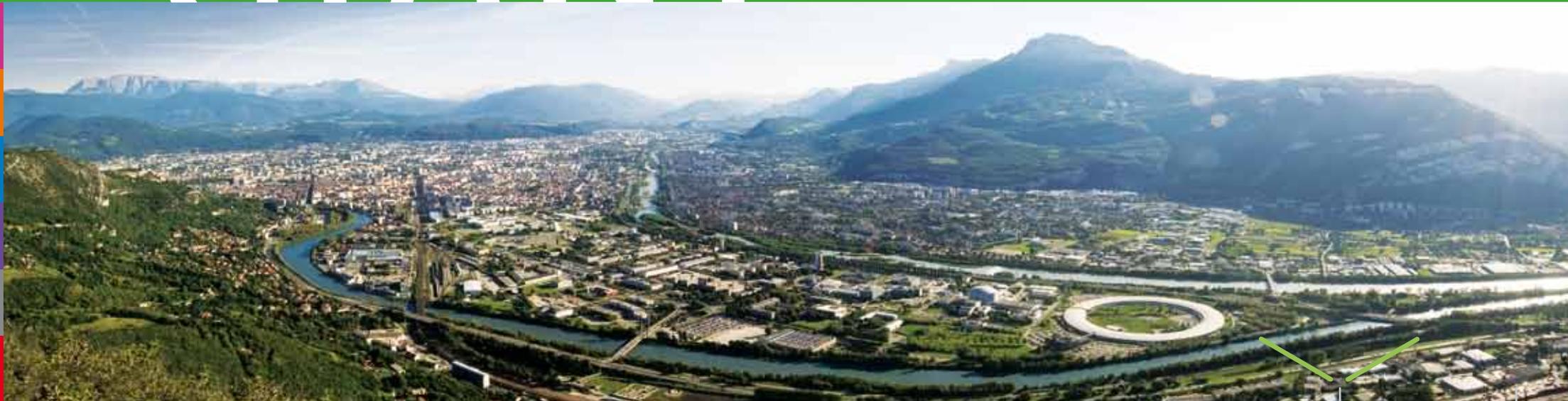
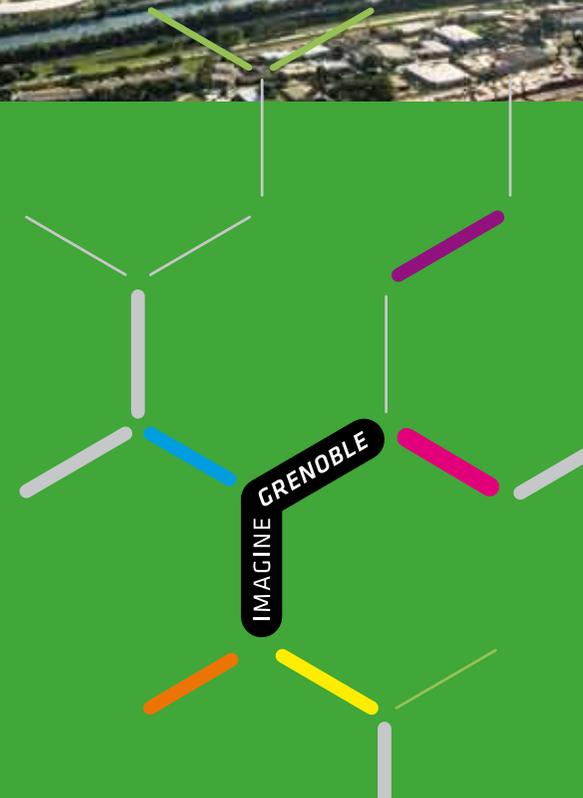


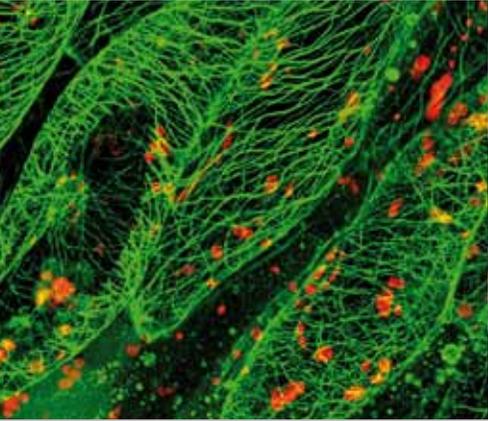
# GIANT

GRENOBLE INNOVATION FOR  
ADVANCED NEW TECHNOLOGIES

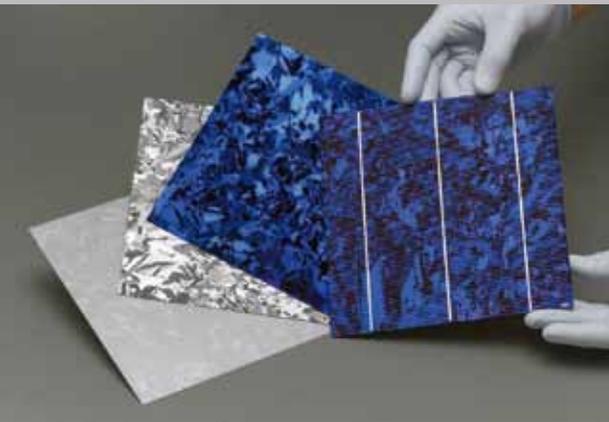


ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES,  
TECHNOLOGIQUES ET  
DE VALORISATION





# GIANT campus d'innovation sur la Presqu'île de Grenoble



## GIANT aujourd'hui

**6 000** chercheurs  
**5 000** emplois industriels  
**5 000** étudiants  
**300** habitants  
**5 000** publications scientifiques par an  
**500** brevets prioritaires par an  
Budget annuel **800 M€**

## GIANT demain

**10 000** chercheurs  
**7 000** emplois industriels  
**10 000** étudiants  
**10 000** habitants  
Investissement **1 300 M€** (2010-2016)

# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>1 ACTIVITES SCIENTIFIQUES</b>	<b>9</b>
<b>1.1 CHEMINS DE LA CONNAISSANCE</b>	<b>12</b>
<b>1.1.1 Grands instruments, caractérisation et instrumentation ultime</b>	<b>12</b>
<i>Le Programme Millenium de l'ILL et l'Upgrade Programme de l'ESRF</i>	<b>14</b>
<i>Le Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI)</i>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Physique des origines et des infinis</b>	<b>17</b>
<b>1.1.3 Théorie et modélisation</b>	<b>19</b>
<b>1.1.4 Le pôle cryogénique grenoblois</b>	<b>21</b>
<b>1.1.5 Matériaux et procédés</b>	<b>23</b>
<b>1.2 NANOSCIENCES</b>	<b>26</b>
<b>1.2.1 Chimie et électronique du futur</b>	<b>26</b>
<i>Plate-forme Technologique Amont</i>	<b>28</b>
<b>1.2.2 Nanoélectronique</b>	<b>29</b>
<i>Plate-forme Nanofab</i>	<b>31</b>
<b>1.2.3 Nanomagnétisme et électronique de spin</b>	<b>32</b>
<b>1.2.4 Photonique</b>	<b>34</b>
<b>1.3 ÉNERGIES</b>	<b>36</b>
<b>1.3.1 Nouvelles technologies de l'énergie</b>	<b>36</b>
<b>1.3.2 Nucléaire du futur</b>	<b>40</b>
<i>Plate-forme PEREN</i>	<b>41</b>
<b>1.4 SCIENCES DU VIVANT</b>	<b>42</b>
<b>1.4.1 Les protéines : acteurs majeurs du monde vivant</b>	<b>42</b>
<b>1.4.2 Une biologie structurale à dimension européenne</b>	<b>44</b>
<b>1.4.3 Protéines et métaux : recherches à l'interface biologie - chimie</b>	<b>46</b>
<b>1.4.4 Biologie des systèmes intégrés : la protéine dans son environnement</b>	<b>48</b>
<i>Plate-forme Protéomique</i>	<b>50</b>

<b>2 LES ACTIVITÉS RECHERCHE-INDUSTRIE, POUR UN TRANSFERT ACCRU VERS LA SOCIÉTÉ</b>	<b>51</b>
<b>2.1 LES PLATES-FORMES TECHNOLOGIQUES RECHERCHE-INDUSTRIE</b>	<b>52</b>
<b>2.1.1 Nanotechnologies</b>	<b>53</b>
La plate-forme Silicium 300 mm	53
La plate-forme Silicium 200 mm	55
Le centre de conception	56
Le Consortium des Moyens Technologiques Communs (CMTC)	57
La Plate-Forme de NanoCaractérisation (PFNC)	58
<i>Le Centre Interuniversitaire de Microélectronique             et de Nanotechnologie (CIME Nanotech)</i>	60
<b>2.1.2 Biotechnologies</b>	<b>62</b>
La plate-forme Nanobio	62
La plate-forme Chimie	63
La plate-forme Clinatéc	64
<b>2.1.3 Nouvelles technologies pour l'énergie</b>	<b>66</b>
La plate-forme batteries	68
La plate-forme piles à combustible	68
Le centre sur l'énergie distribuée Prédís	69
Le Consortium de Recherche pour l'Emergence de Technologies Avancées (CRETA)	70
<i>La plate-forme Nanosécurité</i>	71
<b>2.2 LA VALORISATION</b>	<b>72</b>
<i>Minatec : précurseur de GIANT</i>	73
<b>2.2.1 Partenariats avec les entreprises</b>	<b>74</b>
<b>2.2.2 La création de start-up</b>	<b>79</b>
Le dispositif d'accompagnement GRAVIT-GRAIN-PETALE	79
Financement des start-up	81
Les start-up créées sur GIANT depuis 2000	81
Quelques exemples au fil du temps	84
<b>ACRONYMES ET ABREVIATIONS</b>	<b>86</b>

Louis Néel  
Prix Nobel de Physique, 1970



Klaus von Klitzing  
Prix Nobel de Physique, 1985



Venkatraman Ramakrishnan  
Prix Nobel de Chimie, 2009



Ada E. Yonath  
Prix Nobel de Chimie, 2009



## INTRODUCTION

Louis Néel, prix Nobel de Physique 1970, porteur d'innovations, fut l'architecte du bassin scientifique grenoblois. S'appuyant sur sa démarche, les scientifiques grenoblois ont transformé avec vigueur, intelligence et détermination un polygone d'artillerie en un territoire développant l'excellence scientifique et technologique. Ce site a su attirer des centres de recherche, des grands laboratoires européens et des entreprises innovantes. Mondialement connu, il est aujourd'hui un grand campus de recherche et d'innovation centré autour de la micro et de la nanoélectronique, de l'énergie, du développement durable et des biotechnologies. Un tiers de ses 6 000 chercheurs vient du monde entier, illustrant ainsi son rayonnement et son attractivité.

Avec GIANT, les acteurs, académiques et institutionnels, veulent réaliser un grand campus de recherche et d'enseignement supérieur dans Grenoble rassemblant plusieurs milliers d'étudiants immergés dans l'environnement des laboratoires, des plates-formes technologiques et des entreprises implantées sur le site. Au contact des meilleurs outils de la recherche, ils seront formés aux idées innovantes et aux connaissances nouvelles dans les grands thèmes qui redessinent l'activité scientifique et technologique de cette presqu'île.

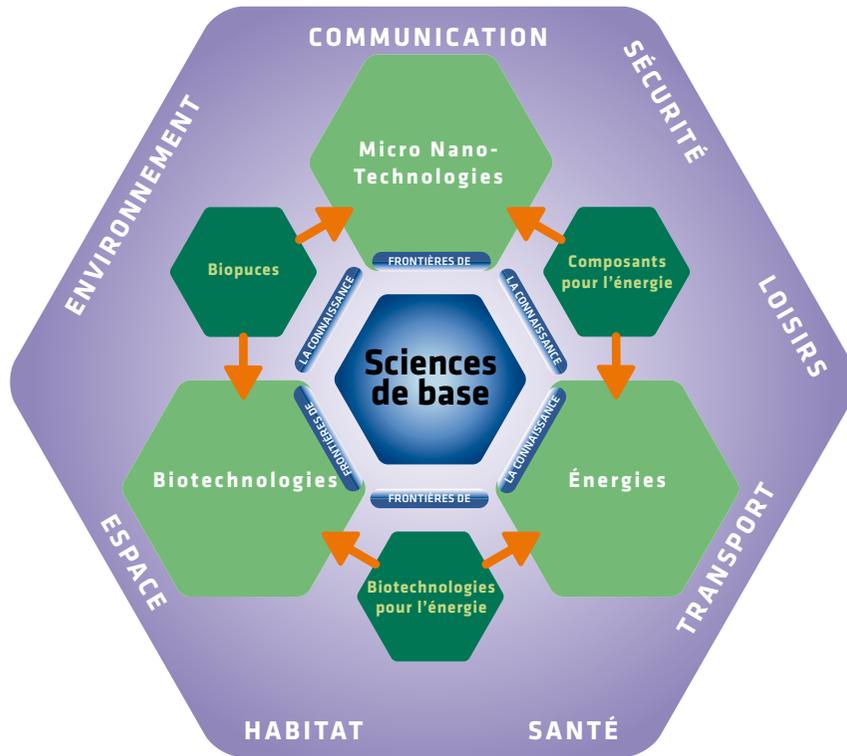
L'ensemble des acteurs évoluera dans un environnement profondément transformé pour le rendre convivial, avec des commerces, des habitations et des accès facilités par des transports collectifs souples et propres.

L'enseignement supérieur s'appuie sur un tissu solide et varié d'équipes de recherche et d'activités de valorisation. Il donne le ton pour la mise en place d'approches scientifiques et d'orientations technologiques bien focalisées structurant l'activité de GIANT. Avec le domaine universitaire de Grenoble, il constitue l'un des deux pôles majeurs du nouveau paysage universitaire de la région grenobloise, Grenoble Université de l'Innovation (GUI).

Cette structuration, proposée par Jean Therme, directeur de la Recherche Technologique au CEA de Grenoble, est au carrefour des lignes de forces qui fondent le projet GIANT. Elle repose sur des enjeux majeurs pour le futur de nos sociétés - circulation de l'information, évolution des transports et de l'habitat, enjeux environnementaux ou de santé - et s'insère dans des projets et des partenariats aux échelles régionale, nationale, européenne et internationale. Elle s'appuie sur la puissance reconnue des compétences scientifiques et technologiques grenobloises.

Ce document est composé de deux parties complémentaires. La première traite de la recherche fondamentale, et la deuxième, en continuité des sciences de base, de la recherche technologique en collaboration étroite avec l'industrie.





Les grands axes de recherche technologique de GIANT

## L'INNOVATION TECHNOLOGIQUE AU SERVICE DU MONDE INDUSTRIEL ET DU DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE

La valorisation et le transfert de technologie reposent historiquement à Grenoble sur trois éléments essentiels et étroitement imbriqués : une recherche fondamentale et technologique au meilleur niveau international, une volonté de travailler avec les entreprises relayée par l'ensemble des responsables, et enfin des équipes professionnelles de valorisation et de transfert technologique, accompagnant les chercheurs qui collaborent avec les industriels et les créateurs de start-up.

Afin de servir au mieux le monde industriel et le développement économique et social, les acteurs de GIANT s'appuient aussi sur l'ensemble de moyens lourds que sont les grandes plates-formes technologiques.

En micro et nanotechnologies, GIANT dispose, avec le centre MINATEC, d'un ensemble unique de plates-formes au meilleur niveau international dédiées aux technologies silicium en 200 mm et 300 mm et à la nano-caractérisation, associé aux grands instruments européens. Ces moyens permettent de traduire les recherches sur les composants du futur en développements allant jusqu'à l'intégration industrielle, tant pour l'électronique que pour les systèmes mécaniques, capteurs et actionneurs, bientôt nanométriques.

Dans le domaine de l'énergie, GIANT dispose aussi d'un ensemble de plates-formes autour des batteries, des piles à combustible et de l'énergie distribuée. Elles sont le lieu d'échange et de collaboration avec les acteurs industriels du secteur énergétique dans toutes ses dimensions.

Les biotechnologies sont en plein essor et s'appuient en particulier sur les moyens du campus d'innovation en micro et nanotechnologies, à travers une approche volontairement très interdisciplinaire et novatrice, allant jusqu'au développement des nanotechnologies pour la biologie et la santé, à l'image du projet CLINATEC.

Les acteurs de GIANT, considérés par les entreprises comme des partenaires stratégiques, sont au cœur des pôles de compétitivité, dont les thématiques sont en parfaite synergie avec les axes stratégiques de GIANT : *Minalogic* (Micro-nanotechnologie et logiciel), *LyonBioPôle* (biotechnologie), *TENERDIS* (énergies renouvelables).

Ce très fort souci de valorisation et de collaboration avec le monde industriel est partagé par tous les acteurs du site. Il se concrétise par des dépôts de brevet en nombre croissant, de nombreux contrats de recherche avec l'industrie, et des créations de start-up. Cet esprit anime tous les partenaires. Cette volonté permanente d'innovation et de valorisation, ces liens avec le monde industriel, sont la garantie pour les étudiants de bénéficier d'une formation qui les prépare au monde de l'entreprise, et à prendre en compte ses évolutions et celles de la société.

Depuis plus d'un siècle la relation étroite et féconde entre sciences et industrie permet la mise au point de technologies à la pointe de l'innovation. Une telle approche, menée en concertation étroite avec les collectivités territoriales et les acteurs économiques, souligne et renforce l'impact original de Grenoble et son agglomération. La transformation du site en véritable campus de recherche et d'innovation permettra d'accompagner encore mieux cette dynamique et d'adresser les grands enjeux sociétaux que sont l'information et la communication, l'énergie et la santé durant les années à venir.

# ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES



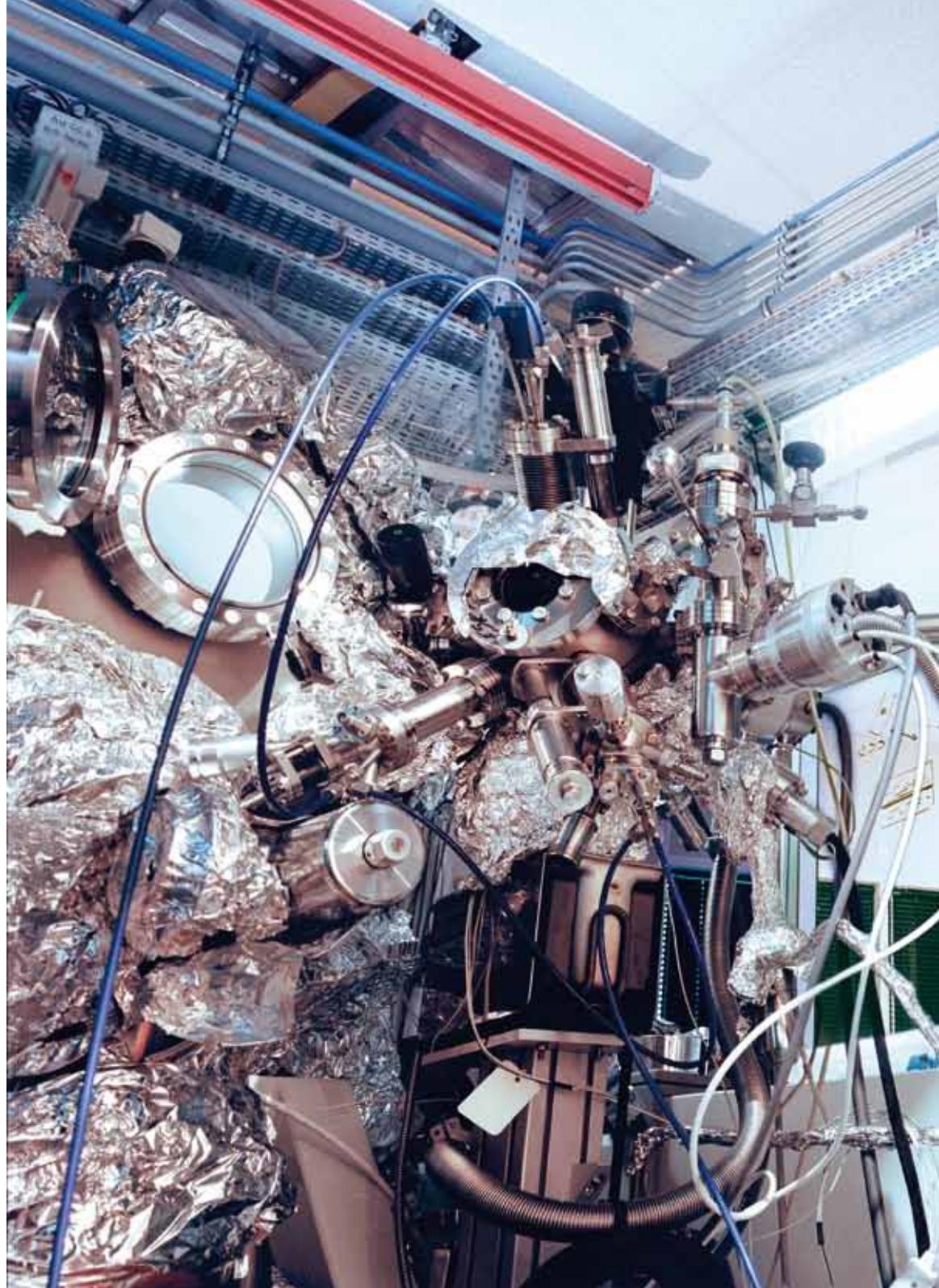
**1.1 CHEMINS DE LA CONNAISSANCE**

**1.2 NANOSCIENCES**

**1.3 ÉNERGIES**

**1.4 SCIENCES DU VIVANT**

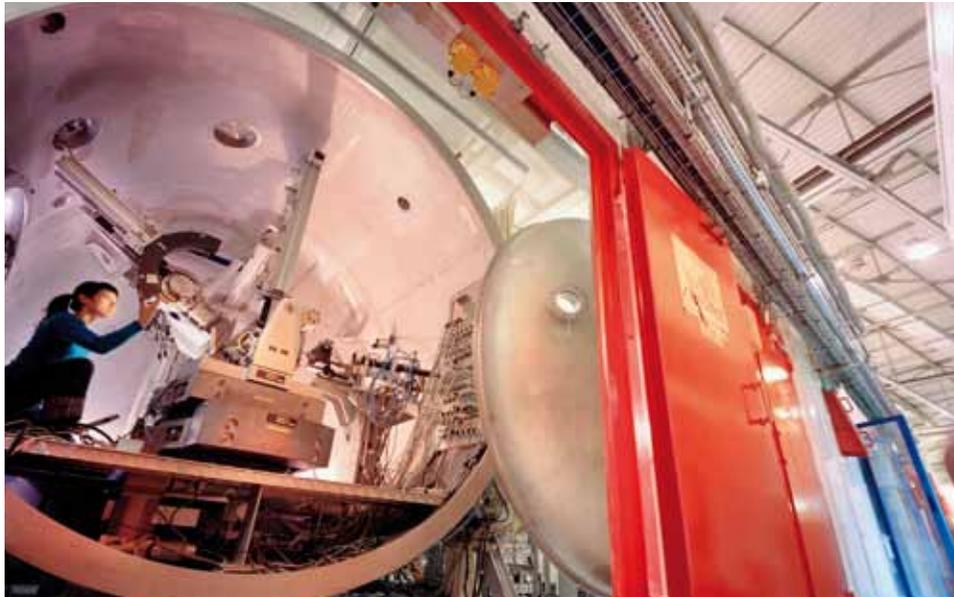
**1** ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES  
CHEMINS DE LA CONNAISSANCE  
NANOSCIENCES  
ÉNERGIES  
SCIENCES DU VIVANT





© P. Cinter / ESRF

Discussion entre scientifiques à l'ESRF



© P. Cinter / ESRF  
Diffractomètre de rayons X de très haute résolution à l'ESRF

## 1.1 CHEMINS DE LA CONNAISSANCE

### 1.1.1 GRANDS INSTRUMENTS, CARACTÉRISATION ET INSTRUMENTATION ULTIME

Grenoble s'est développée et est devenue un centre mondial de physique expérimentale de tout premier plan. Des outils extrêmement performants ont été mis au point portant sur les conditions extrêmes de la matière, les mesures magnétiques et la caractérisation des matériaux à l'échelle nanoscopique. Le point de départ est l'observation de nouveaux états de la matière : il s'agit essentiellement d'observer les matériaux à des conditions extrêmes de température, de pression, de champ appliqué ou d'échelles d'organisation. Les très basses températures jouent un rôle fondamental pour la thermodynamique des procédés, et pour recueillir les informations les plus anciennes issues du « big bang ». Les très hautes pressions sont quant à elles nécessaires pour affiner la connaissance de notre planète et de celles du système solaire, pour l'étude approfondie de la formation de nouveaux matériaux. Les champs magnétiques intenses offrent les conditions pour explorer de nouvelles propriétés de transport électroniques.

Les extrêmes des échelles d'organisation touchent les domaines subatomiques et nanométriques, dans lesquels des phénomènes inconnus d'organisation peuvent apparaître, tout comme les dimensions de l'Univers. Les moyens d'observation impliquent des sondes appropriées à l'échelle atomique et aux nano-objets individuels (rayonnements synchrotrons et neutrons, ainsi que microscopies électroniques en champ proche qui imagent l'atome individuel) mais aussi des méthodes de manipulation. Les divers états de la matière sont explorés : solides, gaz, liquides et solutions, nanoparticules ou assemblages de blocs massifs, nano-gouttes pour la biologie ou écoulement visqueux de verres fondus.

Grenoble se doit de maintenir et de diversifier ce domaine d'excellence. L'accès des chercheurs, des ingénieurs et des étudiants à de nouvelles instrumentations et des équipements de caractérisation de pointe est aujourd'hui un des éléments clés de la réussite scientifique de GIANT. Pour cela, le site, où se côtoient recherche applicative et recherche fondamentale, s'est doté d'un parc exceptionnel d'équipements et de compétences techniques et scientifiques. Le développement pérenne des activités de recherche, en nanosciences et nanotechnologies, en sciences des matériaux, en microélectronique, en physique quantique et des lasers, en cryotechnologies, en biologie, en biotechnologie et dans le domaine des énergies, continuera à dépendre directement de la qualité des outils de caractérisation disponibles et du développement de nouvelles métrologies. Les défis à relever sont de plusieurs natures : continuer à doter le site des équipements les plus performants et poursuivre la démarche d'ouverture des différentes plates-formes de caractérisation à la communauté. L'excellence et la variété des méthodes expérimentales utilisées profite à la valeur de l'enseignement et à l'attractivité du site.

## LES GRANDS INSTRUMENTS EUROPEENS

Grenoble a attiré deux «microscopes» remarquables et d'impact mondial: l'ILL et l'ESRF. L'ILL, la source de neutrons la plus performante au monde, développe des instruments puissants pour l'étude de la matière. L'ESRF, le premier synchrotron de troisième génération, est la source de rayons X la plus efficace, produisant des faisceaux lumineux extrêmement stables, focalisés et polarisés. L'installation de ces outils à Grenoble a créé un saut qualitatif de l'infrastructure scientifique locale qui permet d'envisager de nouveaux développements. La présence d'une implantation de l'EMBL, à côté de l'ILL et de l'ESRF renforce le potentiel grenoblois en biologie structurale. Le LNCMI, laboratoire CNRS reconnu mondialement pour son expertise sur les champs magnétiques, complète la palette expérimentale disponible à Grenoble.

L'observation des arrangements atomiques ou magnétiques dans les nano-objets requiert l'utilisation des faisceaux de rayonnement synchrotron extrêmement brillants et collimatés de l'ESRF, soit pour déterminer les structures par diffraction, soit pour des expériences de microscopie et de spectroscopie. De plus, l'ESRF a développé une large diversité de méthodes d'imagerie X inégalées qui permettent maintenant l'observation de nano-objets même sous des conditions extrêmes.

Les faisceaux de rayonnement synchrotron X et de neutrons permettent des explorations de la matière dans des environnements très variés grâce à leur pouvoir de pénétration : haute pression

jusqu'à 4 Mbar, très basse ou haute température entre 10 mK et 7 000 K, nano-écoulements, ou monocouches atomiques.

L'observation de la structure de la matière sous très haute pression nécessite l'emploi des faisceaux fins de rayons X de l'ESRF. Les méthodes de diffusion inélastique permettent d'appréhender les comportements collectifs des atomes et des électrons. Les méthodes d'imagerie atteignent une résolution nanométrique.

L'instrumentation développée à l'ILL et à l'ESRF est reconnue mondialement pour ses performances et sa qualité. Les deux installations couvrent une palette instrumentale remarquable sans équivalent au monde. Les réalisations instrumentales de l'ILL servent de modèle aussi bien pour la physique des particules que pour les sciences des matériaux : détermination de structures magnétiques, dynamique de moments magnétiques et de polymères, et arrangements de macromolécules biologiques.

Les expériences de neutrons froids à l'ILL permettent d'appréhender des phénomènes de physique subatomique qui sont aussi accessibles aux très hautes énergies (CERN). Des détecteurs sont développés pour le Large Hadron Collider (LHC) et le Jefferson Laboratory, ce qui permet d'étendre le domaine d'investigation de l'infiniment petit à l'infiniment grand (partenariat CNRS-UJF-Grenoble INP).



Spectromètre neutronique avec champ magnétique



Interféromètre de résolution angulaire de  $10^{-9}$  pour la vérification de l'équivalence énergie-matière :  $E = mc^2$



Vue de l'ILL, l'ESRF et l'EMBL

## LE PROGRAMME MILLENIUM DE L'ILL ET L'UPGRADE PROGRAMME DE L'ESRF

L'ILL est doté de la source de neutrons la plus puissante (réacteur de 57 MW) et d'un parc de 40 instruments parmi les plus développés au monde : l'ILL est ainsi devenu le plus important centre de recherche neutronique. L'ESRF est une des sources de rayons X « durs » (6 GeV) les plus brillantes, avec une quarantaine de lignes de lumière, et est aujourd'hui la plus productive (environ 1500 publications avec comité de lecture par an). L'ESRF s'est affirmé comme le leader des installations de rayonnement synchrotron dans le monde.

Les deux instituts ont développé d'ambitieux programmes de renouvellement et de modernisation de leurs méthodes et instruments afin de pouvoir répondre aux questions que se poseront les scientifiques dans les vingt prochaines années.

L'ILL a entrepris d'étendre son parc instrumental et de créer de nouvelles infrastructures autour de sa source de neutrons. Un investissement lourd sur cinq ans a été lancé dans le cadre du Programme Millenium qui comprend de nouvelles sources et de nouveaux guides de neutrons, mais aussi la construction d'instruments originaux et la mise au point de méthodes innovantes. Le Programme Millenium vise les domaines suivants :

- ▶ Les systèmes et composés de matière molle,
- ▶ la dynamique lente des systèmes biologiques,
- ▶ les conditions d'environnement complexes,
- ▶ l'exploitation des propriétés des neutrons ultra-froids.

Pour rester leader dans son domaine, l'ESRF a lancé un « Upgrade Programme » sur sept ans afin de renouveler sa source des rayons X et ses lignes de lumière. Les éléments centraux de ce grand projet sont :

- ▶ Les nanosciences et les nanotechnologies,
- ▶ la biologie structurale et fonctionnelle et la matière molle,
- ▶ les phénomènes de cinétique très rapides,
- ▶ les conditions extrêmes (p, T, H,...),
- ▶ l'imagerie aux rayons X.

La réalisation de ce programme inclut des améliorations importantes aux accélérateurs et la construction de lignes de lumière capables de fournir de nouveaux faisceaux de dimensions nanométriques. Elles seront abritées dans un nouveau hall expérimental.

L'utilisation conjointe de tous ces grands instruments (LNCMI, ILL, ESRF, EMBL) constitue un atout majeur pour les scientifiques européens. Les rayons X et les neutrons "voient" les matériaux de façon unique mais complémentaire. Exploiter les possibilités qui sont ainsi offertes sur le site de GIANT ouvre un champ quasi illimité dans le domaine des matériaux avancés et des nanosciences.

## LES CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES

Avec la température et la pression, le champ magnétique est un des paramètres qui permettent d'explorer de nouvelles propriétés ou de créer de nouveaux états de la matière. Sous l'impulsion de Louis Néel les champs magnétiques continus ou pulsés se sont développés à Grenoble (puis également à Toulouse pour les champs magnétiques pulsés).

Les installations grenobloises uniques ont permis la découverte de l'effet Hall quantique par Klaus von Klitzing (prix Nobel de physique en 1985). Dès 1987, un record mondial de champ magnétique est atteint (31,3 T). Actuellement, des champs magnétiques parmi les plus élevés au monde (35 T) permettent de développer des expériences inégalées au plan international (résonance magnétique nucléaire à très basse température et haute pression, transport électrique ou spectroscopies de l'optique à l'infrarouge lointain) qui attirent les scientifiques du monde entier. Le savoir-faire technologique en construction d'aimants est au meilleur niveau mondial : un nouvel aimant hybride (associant bobine supraconductrice et bobine en cuivre) donne accès à un champ de 43 T. Les thèmes abordés vont de la physique des matériaux (magnétisme, supraconductivité, physique des semi-conducteurs, nanosciences, graphène) à la chimie et aux applications (tests de fils supraconducteurs, élaboration et orientation de nouveaux matériaux sous champ magnétique, lévitation).

Sur cette base, un laboratoire CNRS unique associant les équipes de Grenoble et de Toulouse sur la physique aux champs magnétiques intenses a été créé en 2009, étape vers un Laboratoire Européen des Champs Magnétiques. Ces efforts pour le développement des champs magnétiques permettent de rassembler à Grenoble des outils parmi les plus performants pour l'exploration de la matière. L'association des moyens de rayonnement synchrotron, de neutronique et de physique des particules avec les conditions extrêmes (champs magnétiques intenses, très basses températures, très hautes pressions) représente ainsi une conjonction unique au monde de moyens de recherche ouverts aux thématiques les plus variées dans les domaines de la santé, de l'énergie ou de l'information.



© CNRS Photothèque / D. Morel

Aimant hybride



© CNRS Photothèque / D. Morel

Aimant 35 Teslas du LNCMI : record mondial en 2009 pour un aimant résistif à champ continu

## LABORATOIRE NATIONAL DES CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES (LNCMI)

### **Les aimants produisant les champs magnétiques les plus intenses d'Europe**

Ces machines remarquables sont grenobloises. Proposant des champs magnétiques jusqu'à 35 T, elles sont à la disposition de la communauté internationale des chercheurs et des ingénieurs désireux de développer la science et les procédés sous champs magnétiques intenses. La conception des aimants s'appuie sur un programme de R&D dans des domaines variés : méthodes numériques, transferts de chaleur

à haute intensité, mécanique des matériaux conducteurs et supraconducteurs. Les aimants sont issus d'une tradition de co-développement de plusieurs décennies entre le CNRS et le tissu des PME de la région Rhône-Alpes et de grandes firmes industrielles (Nexans, etc). Les technologies développées ont été brevetées par le CNRS. Les caractérisations de matériels supraconducteurs réalisées au LNCMI permettent de mettre au point les technologies qui seront utilisées dans les grands outils de recherche internatio-

naux (CERN, ITER, ILL, ESRF) et pour le transport, le stockage et la gestion de l'électricité. Le LNCMI se positionne également comme une plate-forme d'essais unique en Europe pour les industriels, en leur permettant de développer les machines d'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou pour la réalisation de machines de stockage de l'énergie électrique.

**EN BREF**

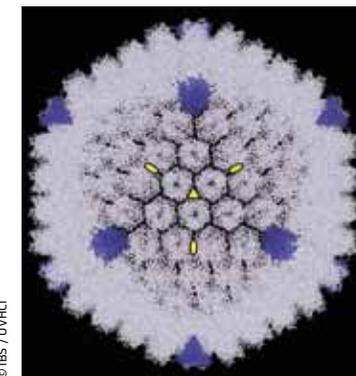
*Le site grenoblois accueille deux installations scientifiques au premier rang mondial (ESRF et ILL), des plates-formes instrumentales de tout premier plan (EMBL, PSB, LNCFI) couvrant une large palette scientifique et technique allant de l'infiniment petit à l'infiniment grand. L'alliance d'acteurs nationaux et internationaux fait de Grenoble un attracteur dans les domaines de la biologie structurale, de la physique, des nano-technologies, et de la valorisation. L'attrait d'un tel lieu ne s'est pas démenti au cours des ans ; tous les acteurs des programmes de recherche et de développement s'accordent pour voir en Grenoble un haut lieu de l'innovation. Né avec l'impulsion de Louis Néel, le site grenoblois a été un centre pionnier en instrumentation car la confrontation de modèles idéalisés aux observations expérimentales toujours plus précises reste le fondement de l'analyse rationnelle.*

**CARACTÉRISATION ET NOUVELLE MÉTROLOGIE**

La caractérisation des matériaux utilise outre les grands équipements ILL et ESRF, les plates-formes développées par les laboratoires :

- ▶ Les plates-formes inter-instituts ou inter-laboratoires visibles au niveau régional et national sont la plate-forme NanoCaractérisation de MINATEC, les Collaborating Research Groups (CEA-CNRS) à l'ESRF et à l'ILL, la plate-forme biologie structurale du PSB (Partnership for Structural Biology : EMBL, ESRF, ILL, UJF, CNRS, CEA), la plate-forme Nanobio située sur le campus universitaire et sur MINATEC, le Centre Grenoblois de Résonance Magnétique, le Centre des Moyens Technologiques Communs (CMTC) rassemblant les moyens de caractérisation de Grenoble INP, les champs magnétiques intenses, les centrales de nanofabrication de proximité (PTA, Nanofab, etc.). La plate-forme de caractérisation cryogénique des matériaux rassemble les moyens du CEA et d'Air Liquide pour caractériser les comportements mécanique et thermique des matériaux entre 1,8 K et 300 K.
- ▶ Les moyens de caractérisation propres aux laboratoires : les laboratoires ont accumulé un parc très riche et diversifié de techniques de caractérisation des objets organiques ou inorganiques et des dispositifs incorporant ces objets. Un ensemble unique de sondes permettant d'étudier et d'analyser la structure des matériaux et des nano-objets à toutes les échelles (du sub-nano au macro) est proposé aux chercheurs sur le site : rayons X de laboratoires, électrons (microscopie électronique), photons (absorption, émission et diffusion de la lumière, ellipsométrie, etc.), sondes locales (AFM, STM, SNOM, etc.) et une diversité d'imageries sensibles à des contrastes d'origine très variée. Dans le domaine des nano-objets, la détection de spins isolés sur des paquets d'atomes ou des molécules uniques est maintenant possible grâce à la mise au point de nanosquids (interféromètres supraconducteurs à nanotubes de carbone).
- ▶ Un exemple de l'interaction de ces moyens extrêmes est donné par le microscope à balayage à effet tunnel à 50 mK qui combine la résolution en énergie directement corrélée aux basses températures et la résolution spatiale du microscope à balayage : ceci en fait un outil formidable pour l'observation des phénomènes électroniques de surface (supraconductivité, effets de jonction, etc.). Les bolomètres, qui mesurent la polarisation et l'anisotropie du rayonnement cosmique en ballon (Archeops) ou satellite (Planck et Herschel lancés le 14 mai 2009), doivent bien sûr fonctionner à froid mais aussi résister aux chocs et aux accélérations. Dans un environnement plus clément, sur terre mais dans des laboratoires souterrains, on cherche à détecter les particules massives élusives interagissant faiblement (WIMPS). Cette entreprise mobilise de nombreux acteurs grenoblois et internationaux qui utilisent des détecteurs bolométriques fonctionnant à 20 mK.

Un des points forts de cette organisation est que les personnels des différents instituts interviennent tant dans l'utilisation que pour la gestion des équipements. Cette structuration permet ainsi de mutualiser efficacement des équipements lourds et coûteux et de les rendre accessibles à toute la communauté.



© IBS / UVHCI

*Structure à résolution quasi-atomique (5 Å) d'un adénovirus humain - cette structure a été obtenue grâce à la combinaison des données obtenues en cryo-microscopie électronique et des données cristallographiques*



© Institut Néel / INAC

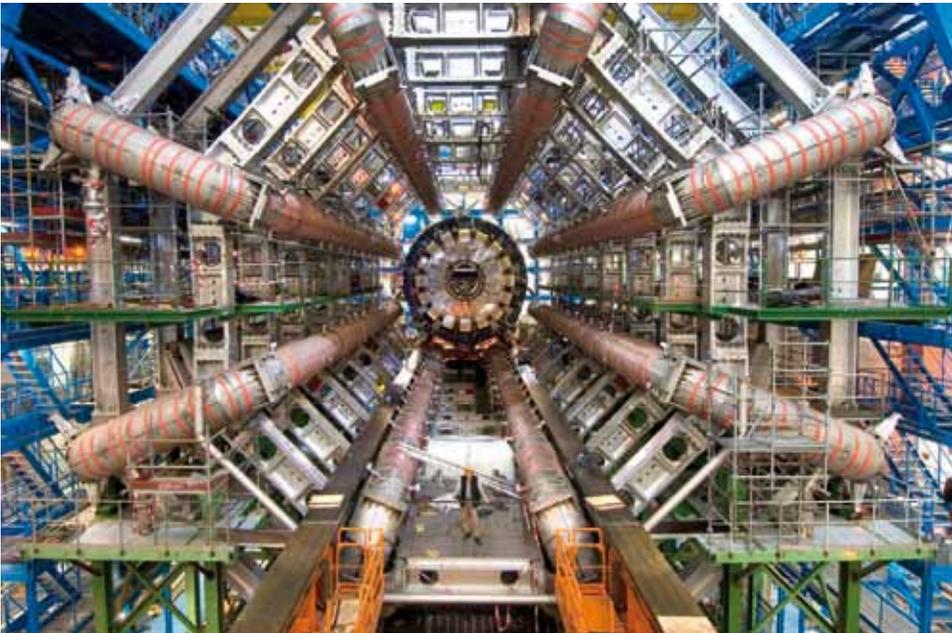
*Microscope à balayage à effet tunnel à 50 mK*

## 1.1.2 PHYSIQUE DES ORIGINES ET DES INFINIS //

Cet axe de recherche est mené à Grenoble au sein de plusieurs laboratoires relevant de diverses tutelles (CNRS, Grenoble INP, UJF) et à l'ILL. Implantés de longue date, ils regroupent plusieurs centaines de personnes : chercheurs et enseignants-chercheurs (CNRS et universitaires), services techniques, doctorants et visiteurs. Ces recherches se situent aux frontières de nos connaissances et l'on retrouve parmi les thèmes étudiés, plusieurs grandes énigmes de la physique. C'est le cas, par exemple, de l'origine de la masse des particules élémentaires, de l'unification des forces, de l'énigme des trous noirs, de l'origine de l'asymétrie matière-antimatière dans l'univers, de la recherche de la matière noire non baryonique et de l'énergie noire, des scénarios de la formation stellaire, de l'origine des planètes et de la vie.

Ces thèmes requièrent l'observation de phénomènes qui couvrent de vastes échelles, à la fois spatiales et temporelles. Elles s'étendent de l'infiniment petit à l'infiniment grand, des origines des étoiles et des planètes, à leurs évolutions futures :

- ▶ À l'échelle de l'infiniment petit, bien plus petit que les noyaux d'atomes, on cherche à comprendre les propriétés des constituants les plus élémentaires de la matière et de leurs interactions, à explorer la structure intime de la matière usuelle (neutrons et protons qui forment les noyaux d'atomes), à étudier des états aux limites de la stabilité de ces noyaux d'atomes. À ces échelles, les lois de la physique quantique et relativiste sont dominantes et certains de leurs aspects les plus pointus sont étudiés.
- ▶ À l'échelle de l'infiniment grand on cherche à comprendre l'organisation des structures de l'univers, des phénomènes extrêmes et violents qu'il abrite, ou de ses tous premiers instants après le big-bang. Cela inclut aussi l'étude du milieu interstellaire froid, des différentes phases de la formation des étoiles et des naines brunes et de leur environnement circumstellaire, ainsi que celle des planètes extrasolaires.
- ▶ Contrairement aux apparences, ces domaines ont beaucoup de points communs. La physique de l'infiniment petit joue un rôle primordial dans les premiers instants de l'univers. La recherche en laboratoire de nouveaux états de la matière nucléaire comme le plasma de quarks et de gluons renvoie à des étapes de l'Univers peu après le big-bang. Les études des noyaux exotiques créés dans la fission des transuraniens nous renseignent sur la création des éléments lourds dans les explosions stellaires qui seront à l'origine des planètes. La durée de vie du neutron détermine l'abondance des noyaux légers créés pendant les premières minutes après le big-bang.



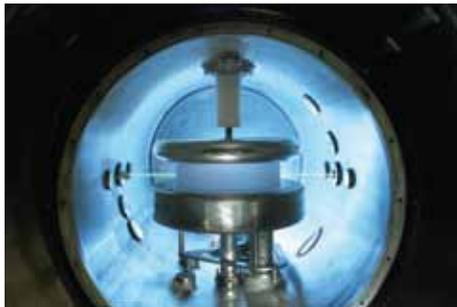
© CERN

Le grand détecteur ATLAS du LHC au CERN

### APPROCHES EXPÉRIMENTALES

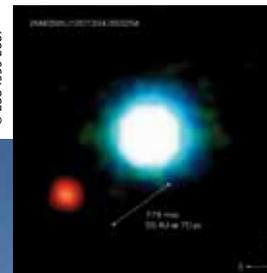
Les équipes observent et étudient des particules créées à l'aide d'accélérateurs, de réacteurs ou celles formées dans l'univers. Elles comparent aussi des résultats d'expériences faites en laboratoire ou de simulations numériques aux rayonnements ou aux particules qui viennent de l'espace. Ces derniers ont été produits à différents moments de l'évolution de l'univers par des phénomènes astrophysiques variés comme les trous noirs et les étoiles en formation. Ces thèmes de recherche s'inscrivent aussi dans le cadre de l'étude de la matière dans des conditions extrêmes, et explorent des environnements connaissant d'énormes gammes de variation (pouvant atteindre des dizaines d'ordres de grandeur) de différentes quantités physiques (densités, températures, échelles d'énergies et de distances, etc.).

Que ce soit en physique subatomique expérimentale ou en astrophysique, ces recherches exigent la mise au point d'appareillages de plus en plus performants et sophistiqués, et nécessitent le développement de technologies innovantes. Pour atteindre les objectifs fixés, une collaboration étroite entre astronomes, physiciens, ingénieurs et techniciens est indispensable. Cette méthodologie se caractérise ainsi par une structuration en projets d'envergure internationale (collaborations, sites d'expériences), par des échelles de temps de réalisation pouvant atteindre la décennie et des investissements atteignant plusieurs millions d'euros.



© ILL

Recherche d'un moment dipolaire électrique du neutron pour tester les symétries fondamentales d'espace et de temps



© ESO 1995-2007



© ESO 1995-2007

À titre d'exemples, les laboratoires grenoblois sont impliqués :

- ▶ Au CERN, à Genève, leader mondial pour la physique des particules. Constructions dans les grands détecteurs (ATLAS, ALICE) du LHC en phase de démarrage,
- ▶ dans le programme expérimental sur la structure nucléaire et la physique fondamentale à l'ILL, centre international. Son réacteur de recherche fournit les faisceaux de neutrons les plus intenses au monde,
- ▶ dans le VLT (et son mode interférométrique, le VLTI) à l'Observatoire Européen Austral (ESO). Des instruments en développement pour les observations à haute résolution angulaire (optique adaptative et interférométrie) équiperont le plus grand télescope de la communauté internationale et permettront, entre autre, de caractériser les planètes extrasolaires,
- ▶ dans le projet de satellite européen Planck, lancé en 2009, et dont l'objectif est de mieux connaître l'univers et son histoire en mesurant avec une précision inégalée le fond diffus cosmologique,
- ▶ dans le développement de nouvelles fenêtres d'observation avec l'astronomie X et l'astronomie gamma,
- ▶ dans le projet SPIRAL2 à l'horizon 2012 qui permettra au GANIL (Caen) de rester un centre mondial à la pointe de la physique nucléaire et de la recherche sur les noyaux exotiques.

Première image d'un objet de masse planétaire hors du système solaire, obtenue au Very Large Telescope au Chili à l'aide de l'instrument NAOS assemblé à Grenoble

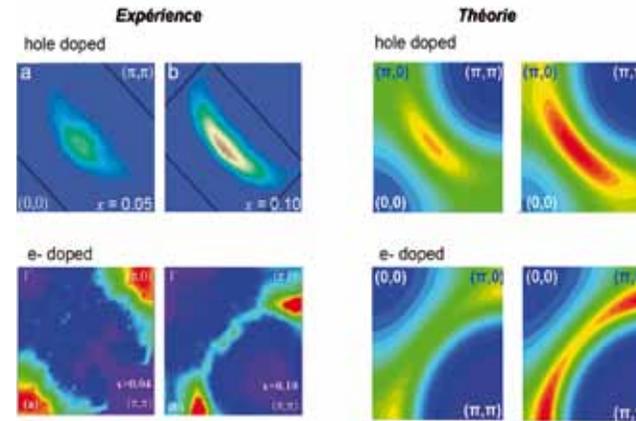
### 1.1.3 THÉORIE ET MODÉLISATION

Ce domaine couvre plusieurs champs disciplinaires. En collaboration avec les expérimentateurs ou les ingénieurs développant des dispositifs, l'apport des théoriciens se situe aux niveaux conceptuel, prédictif ou explicatif.

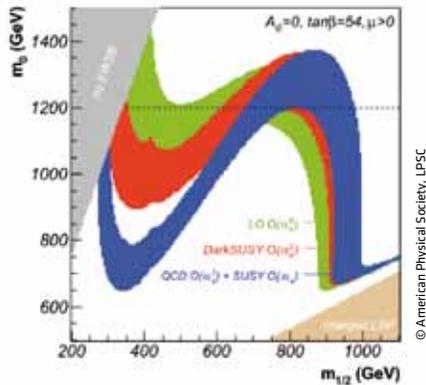
Les modèles de base ne retiennent que les ingrédients essentiels d'un problème physique et deviennent un objet d'étude en soi. Une fois les concepts clarifiés, la modélisation « colle » le plus possible à la réalité à l'aide de méthodes numériques. Concepts, modèles et techniques, qu'ils soient analytiques ou numériques, traversent plusieurs disciplines. Ainsi, les théoriciens, à travers des échanges réguliers, croisent leurs visions et leurs méthodes.

La liste des thèmes scientifiques montre plusieurs lignes de force. À partir de disciplines bien ancrées, de nouveaux objets d'étude ont fait émerger des champs originaux. Ceux-ci s'appuient cependant sur les connaissances accumulées dans les disciplines « historiques » dont l'importance est toujours primordiale.

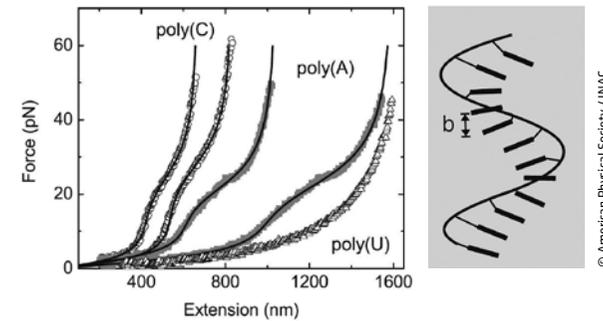
Les travaux en cours concernent les nouveaux matériaux, les nanosciences et nanotechnologies (définies par le diptyque taille réduite/fonction), la physique quantique des systèmes à petit nombre de degrés de liberté et l'information quantique, la matière molle (ou mal ordonnée) et la physique des objets biologiques, les modèles non-standard de la physique des hautes énergies, la propagation des ondes dans les milieux complexes, du nanomètre au kilomètre.



Comparaison entre expérimentation (spectroscopie résolue en angle) et théorie de la structure électronique des supraconducteurs à haut  $T_c$ , mettant en évidence des « poches » de densité électronique



Corrections de supersymétrie à l'annihilation de la matière sombre



Elongation de brins uniques d'ADN, observée par mesures de force. Les modèles permettent de remonter aux paramètres fondamentaux

**EN BREF**

*Une forte activité de recherche en physique théorique et en simulation numérique au sein des laboratoires soutient les expériences et les observations, de leur définition à l'interprétation de leurs résultats. L'environnement exceptionnel de Grenoble, sur le plan expérimental et technologique, intègre naturellement des groupes de théoriciens très actifs chez tous les partenaires. Leur visibilité internationale est excellente : ces laboratoires ou équipes sont reconnus pour leur excellence scientifique avec l'attribution de distinctions et de prix.*

*Ces laboratoires partagent leurs connaissances et leurs avancées avec la société par diverses actions d'enseignement (dont certaines sont spécifiques comme les filières de formation pour l'énergie nucléaire, etc.), la formation par la recherche, la diffusion des connaissances scientifiques.*

*Enfin, les disciplines théoriques à Grenoble ont depuis longtemps établi des liens solides entre la presque île scientifique et le campus de Saint-Martin-d'Hères, à travers séminaires et ateliers regroupés au sein du Centre de Théorie en Physique à Grenoble.*

**DES APPROCHES SPÉCIFIQUES**

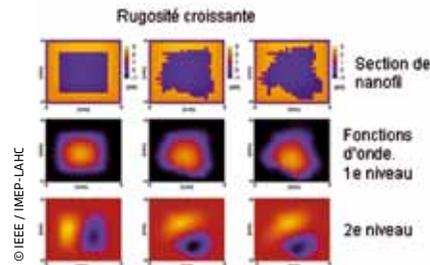
Le développement rapide de méthodes numériques de plus en plus spécifiques et puissantes a permis l'émergence d'une « physique (et chimie) numérique », jouant le rôle d'interface entre une théorie « modèle » et une réalité expérimentale toujours plus complexe. La simulation est devenue un outil incontournable, par exemple comme support aux différentes spectroscopies, aux Grands Instruments grenoblois, ou encore dans le domaine des développements technologiques comme en microélectronique.

D'autres exemples sont fournis par les problèmes de dynamique hors équilibre et non-linéaire ou bien la physique des hautes énergies, pour lesquels les modèles analytiques sont encore insolubles. L'évolution de la microélectronique vers des dimensions toujours plus petites fait entrer l'approche quantique dans un nombre accru d'étapes, associant des concepts et méthodes théoriques issues de la physique dite mésoscopique à des approches plus systématiques et « rodées ».

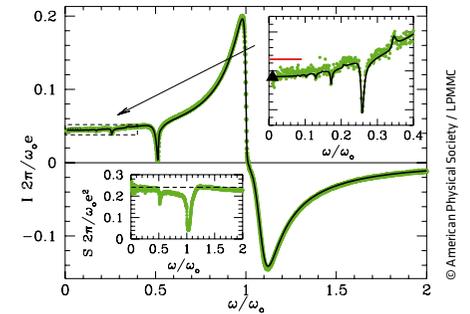
Comme exemples, citons :

- ▶ Le transport électronique dans les nanocircuits ou la spintronique,
- ▶ la photonique et le couplage rayonnement-matière,
- ▶ l'électronique moléculaire, qui nécessite de marier les approches de chimie quantique avec celles décrivant le transport des électrons dans les nanostructures.

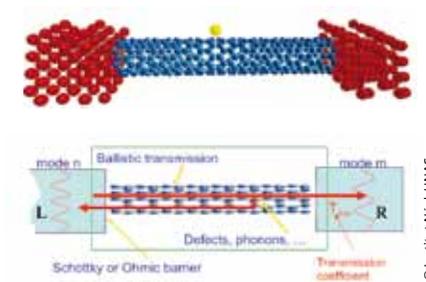
Au niveau fondamental ou appliqué, les nouveaux objets ou dispositifs (électroniques, optiques, mécaniques, hybrides) impliquent de nouvelles approches adaptées à la complexité comme les approches multiphysique ou multiéchelles. Du côté de l'interface avec la biologie, des méthodes issues de la physique statistique des systèmes hors équilibre permettent d'aborder la très grande complexité de l'objet biologique, in vivo ou inséré dans un environnement physique « artificiel ».



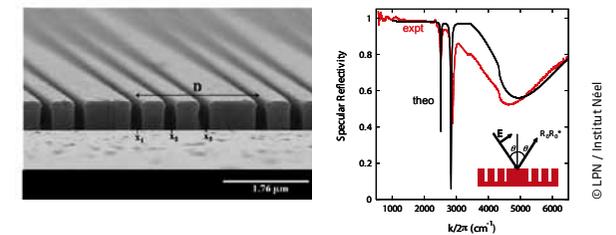
*Transport quantique de charge et de spin dans les composants nanométriques, mobilité de magnétorésistance dans les transistors ultra courts*



*Oscillations électro-mécaniques d'un nanopilier*



*Transport quantique des électrons dans un nanotube ou nanofil : des calculs ab initio aux approches mésoscopiques dans un réseau*



*Plasmonique : amplification sub-longueur d'onde dans un réseau*

## 1.1.4 LE PÔLE CRYOGÉNIQUE GRENOBLOIS //

Une expertise unique se concentre à Grenoble dans le domaine de la cryogénie : de grands utilisateurs (CNRS, CEA, UJF, ILL, ESRF), des fournisseurs (quatre liquéfacteurs au CEA et au CNRS), des laboratoires publics de Recherche et de Développement (CNRS, CEA) et des industriels (avec Air Liquide en première ligne). De nombreux succès, à l'échelle nationale et internationale, sont à mettre au crédit des cryogénistes du polygone scientifique, et d'autres sont en cours dans les domaines de la cryogénie des grands instruments et de la cryogénie spatiale. Cette situation est issue de plus de cinquante ans de recherche sur les très basses températures. Cette recherche a été motivée par le développement à Grenoble de la physique de la matière condensée qui nécessite l'utilisation des basses températures. Aujourd'hui, les températures atteintes permettent l'étude du magnétisme de la phase superfluide de l'hélium 3 (100 microkelvins), le développement de nouveaux détecteurs pour l'étude de l'origine de l'univers, etc. De nombreux succès, obtenus en physique à Grenoble, sont sans aucun doute liés à la cryogénie de pointe ainsi développée.

© Institut Neel / Air Liquide



Réfrigérateur à dilution 10 mK fonctionnant sans fluide cryogénique



© CEA-SBT / Artechnique

Cryoloop (CEA/CNRS/UJF/CERN)

### UNE INFRASTRUCTURE SOLIDE

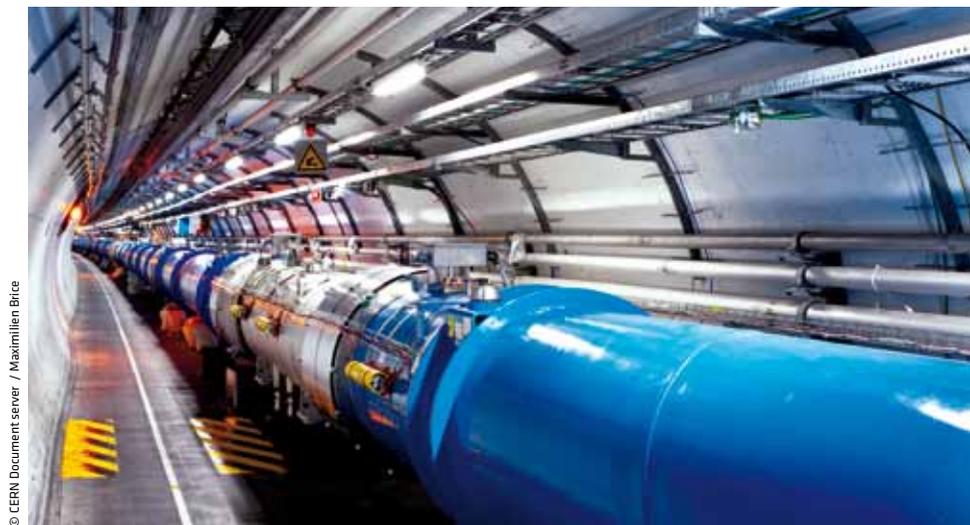
Pour satisfaire les besoins des partenaires, le CNRS et le CEA disposent de 4 liquéfacteurs d'hélium, pour distribuer plus de 600 000 litres d'hélium liquide annuellement, faisant de Grenoble le premier pôle de liquéfaction de l'hélium en France, avec un taux de récupération global d'environ 70 %. A cette infrastructure, indispensable pour un travail quotidien aux très basses températures, s'ajoutent d'autres outils de base telles les plates-formes de caractérisation partagées (caractérisation à froid des matériaux sur la plate-forme CEA-Air Liquide) ou en propre (mesures électriques et thermiques) dans les laboratoires.

### POUR DE GRANDS PROJETS DE RECHERCHE

Au delà de la recherche fondamentale qui a nécessité le développement de cryostats performants et de l'instrumentation associée, de grands projets de recherche pluridisciplinaires ont été développés à Grenoble grâce à l'expertise en cryogénie de la communauté scientifique.

#### ► Au CERN

Après le succès du Tokamak Tore Supra à Cadarache, dont le système cryogénique avait été entièrement conçu par le CEA, les cryogénistes grenoblois ont proposé que le LHC, au CERN, soit refroidi à 1,8 K : 27 km d'aimants supraconducteurs en NbTi refroidis à l'hélium superfluide à 100 m sous terre ! Un tel changement d'échelle ne pouvait se faire sans études de base : d'abord au CEA, puis élargies au CNRS et à l'UJF. Ainsi l'expérience Cryoloop, couplée au grand réfrigérateur 1,8 K du CEA, a-t-elle permis de valider le concept de l'échangeur de chaleur entre le bain pompé et le bain pressurisé.



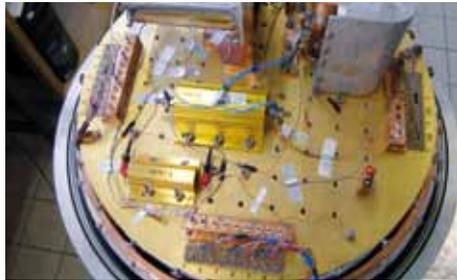
© CERN Document server / Maximilien Brice

Les aimants du LHC en tunnel



© CEA-SBT / Artechnique

La « pince cryogénique » du laser Mégajoule



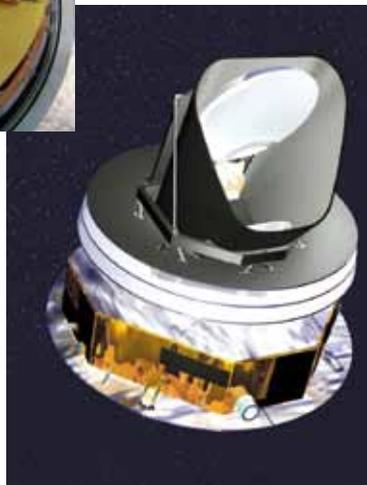
© CEA-SBT

Un prototype de réfrigérateur magnétique 50 mK



© CEA-SBT

Un réfrigérateur à adsorption (Herschel)



© ESA

Le satellite Planck

### ► Herschel et Planck – des yeux puissants pour scruter l'univers

L'expérience des laboratoires grenoblois dans le domaine des cryoréfrigérateurs subkelvin leur a permis de jouer un rôle de premier plan dans la cryogénie des deux satellites européens Herschel et Planck. Expert de niveau mondial en réfrigération à dilution, le CNRS a conçu l'appareil qui refroidit les détecteurs de l'instrument HFI à bord du satellite Planck ; il est réalisé ensuite par Air Liquide. Le CEA est le maître d'œuvre des deux cryoréfrigérateurs à adsorption des Instruments cryogéniques du satellite Herschel qui a été envoyé dans l'espace, avec Planck, par Ariane V en 2009.

### ► Et demain :

- Dans le domaine de la recherche en fusion nucléaire deux voies sont suivies qui toutes deux nécessitent une cryogénie avancée : la fusion inertielle (avec le projet du Laser Mégajoule LMJ à Bordeaux) requiert des cibles solides de deutérium-tritium pour parvenir à l'ignition. Les recherches en cours au CEA démontrent la faisabilité de telles cibles qui doivent être maintenues aux alentours de 18 K avec une précision du mK. Elles font aussi appel à la mise au point d'une pince cryogénique qui permettra de manipuler ces cibles et de les placer au centre de la chambre du LMJ. Dans le domaine de la fusion magnétique, le projet ITER à Cadarache nécessite un système cryogénique de plus de 60 kW à 4K.
- Les satellites d'observation météorologique de demain (Météosat 3<sup>e</sup> génération) verront sans doute embarquer des cryoréfrigérateurs à gaz pulsé, domaine où Air Liquide et le CEA travaillent de concert depuis longtemps. De nouvelles missions scientifiques (satellites Xeus et Spica) nécessiteront des températures encore plus basses (< 50 mK !) pour lesquelles le CEA et le CNRS collaborent déjà en mettant au point une désaimantation adiabatique ultra légère.
- Enfin, on peut ajouter que les laboratoires grenoblois, forts de leur maîtrise des technologies de l'hélium liquide, mettent désormais à la disposition de la communauté des chercheurs en hydrodynamique ce fluide aux propriétés exceptionnelles ; on peut en attendre des avancées fondamentales dans la connaissance de la turbulence qui demeure encore une des grandes énigmes de la science moderne.

Les laboratoires de recherche du CEA et du CNRS, associés à l'UJF, collaborent sur de nombreux sujets tant techniques que fondamentaux, et chacun d'eux valorise les résultats de ses recherches auprès d'industriels (parmi lesquels Air Liquide figure en bonne place). Il faut ajouter la qualité des PME de la région qui sont capables d'élever le niveau technique de leurs réalisations mécaniques, permettant aux développements des laboratoires de se hisser au niveau de la qualité spatiale. Afin d'amplifier encore leur collaboration, le CEA, le CNRS, Grenoble INP, l'UJF et Air Liquide ont décidé de fonder un Groupement d'Intérêt Scientifique autour de leurs activités cryogéniques.

## 1.1.5 MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS //////////////////////////////////////

Tous les objets qui nous entourent, après avoir été conçus par l'esprit sur le papier ou l'écran d'un ordinateur, sont matérialisés sous une forme réalisée dans une matière qui devient ainsi matériau. Par rapport à la matière condensée dont il est formé, la spécificité du matériau réside dans son caractère indissociable de l'objet qu'il constitue, de la fonction d'utilisation de cet objet et du procédé qui a permis de l'obtenir. Toutes les technologies de pointe sont limitées par les matériaux qui servent à les mettre en œuvre et par la manière dont ils sont utilisés. On estime le nombre des matériaux disponibles actuellement aux alentours de 80 000.

Le caractère transversal et interdisciplinaire de la science des matériaux et du génie des procédés, est un défi central que cette discipline doit relever. Il nécessite la richesse de compétences issues des sciences de l'ingénieur, mais aussi de la mécanique, de la physique, de la chimie, de la biologie et des mathématiques appliquées, s'appuyant sur des programmes de recherche et développement mûrement réfléchis.

### ENJEUX

Les enjeux à considérer pour la science des matériaux et le génie des procédés sont de clairement définir leurs évolutions vers une pluridisciplinarité accrue en s'appuyant sur les atouts de GIANT. Un des objectifs est de valoriser ces atouts par la mise en place d'une politique « matériaux » intégrée (recherche et formation). La science des matériaux et le génie des procédés évoluent rapidement vers :

- ▶ Un besoin accru en modélisation, et en particulier en simulations numériques : dans ce domaine les maîtres mots sont les techniques multi-échelles et la modélisation des procédés. Cette demande correspond à un besoin de conception des matériaux à partir de fondements scientifiques, qui tend à remplacer les approches « artisanales ».
- ▶ Un développement des méthodes expérimentales, dans le sens d'une quantification de la caractérisation des structures (aussi nano et microstructures) en relation avec les propriétés physiques des matériaux, et d'une instrumentation des procédés. Dans ce contexte, le rôle des grands instruments, un point fort grenoblois, est particulièrement important.
- ▶ Une avancée vers les échelles ultimes : l'évolution vers les échelles nanoscopiques n'est pas l'apanage des technologies de la micro-électronique. Les aciers à hautes performances, les céramiques techniques sont des domaines dans lesquels les concepts de la physique des matériaux rencontrent leurs limites, du fait même de la réduction des échelles.
- ▶ Une approche pluridisciplinaire : par exemple, la compréhension des structures issues de la solidification requiert des compétences en mécanique (du liquide et du solide), en thermique, en physico-chimie, en génie des procédés.
- ▶ Une approche intégrée des matériaux et des produits et « assemblages » : l'optimisation des matériaux et des produits passe aujourd'hui par une vue intégrée des procédés de fabrication, de mise en forme et de mise en œuvre, ainsi que par un choix optimisé des matériaux et des procédés dans une logique de conception à partir d'un cahier des charges. Cette approche s'appuie sur le concept unificateur de pérennité de la fonction et de fiabilité en cours de fonctionnement.



© SIMAP

*Cartographie d'orientations cristallines obtenue en microscopie électronique en transmission*



© LMCP

Réacteur de dépôt de films minces par OMCVD assistée par rayonnement UV

Laine d'acier pour alléger les structures dans l'industrie automobile



© SIMAP

a) Tomographie X



© SIMAP

b) Tomographie microscope électronique à balayage

Les institutions de recherche et d'enseignement supérieur ont naturellement un rôle actif à jouer dans cette évolution déjà amorcée. Ceci est particulièrement vrai lorsque, sur un même site, la proximité géographique des compétences et des moyens dans toutes les disciplines évoquées ci-dessus, ainsi que celle des structures industrielles concernées, laisse envisager un potentiel de développement important. Ainsi l'originalité des projets structurants, Grenoble Université de l'Innovation et GIANT, est d'offrir un cadre de développement sans précédent pour les études des matériaux au même titre que les domaines applicatifs que représentent les nanotechnologies, l'énergie, et les biotechnologies. L'arrivée sur GIANT de laboratoires spécialisés en science des matériaux et génie des procédés et de la plate-forme technologique Consortium des Moyens Technologiques Communs de Grenoble-INP est un atout supplémentaire.

Les études des matériaux et procédés irriguent les trois axes de GIANT :

#### ► Nanosciences et nanotechnologies

Dans ce domaine, la Fédération des Micro et NanoTechnologies (FMNT : CNRS, Grenoble INP, UJF) en lien avec les activités conduites au CEA, regroupe les compétences de ces laboratoires, particulièrement reconnues dans le domaine des matériaux pour la nanoélectronique et la photonique mais aussi dans le domaine des oxydes multifonctionnels nanostructurés. Les travaux en cristallogénèse sont aussi très importants et les équipes sont reconnues internationalement. Des innovations technologiques majeures ont été apportées pour le développement de matériaux nouveaux pour la nanoélectronique et leur intégration dans des filières nanoélectronique CMOS (matériaux High K et Low K, silicium contraint, SiGe, SiGeC), substrats GeOI. Dans le domaine des technologies, le travail commun des partenaires a permis des avancées au meilleur plan mondial dans un grand nombre de domaines applicatifs comme les technologies de patterning en lithographie ou les technologies de structuration de la matière par plasma. Pour les nanotechnologies, cela concerne tous les matériaux issus des différents procédés comme la synthèse de nano-objets, la croissance directe par CVD, ALD, etc., les techniques de lithographie et de gravure par plasma, le procédé SmartCut™.

#### ► Matériaux pour l'énergie

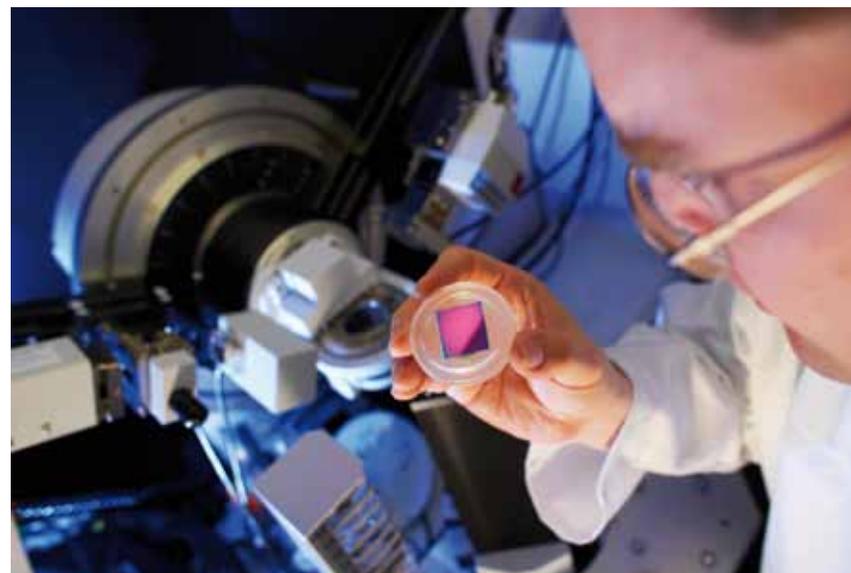
Pour l'énergie, les recherches s'articulent autour de l'Institut Carnot «Energies du Futur », qui associe les laboratoires de Grenoble INP, de l'UJF, du CNRS et du CEA. Symbole d'excellence scientifique et de capacité de transfert vers l'industrie, il a une envergure nationale, regroupant plus de 50 % des forces de l'ensemble des Instituts Carnot dans les énergies renouvelables. Il s'appuie fortement sur les capacités de recherche des laboratoires « matériaux » et leurs partenariats industriels. Les applications couvrent l'optimisation des matériaux à changement de phase, autonettoyants pour la conception des bâtiments, les recherches en durabilité des aciers et des alliages métalliques pour le nucléaire, l'allègement des matériaux dans le transport automobile et aérien, l'implication des matériaux dans le transport et le stockage de l'énergie, la recherche de nouveaux matériaux ou l'optimisation des procédés d'élaboration pour les cellules solaires.

## ► Biotechnologies

Le site de GIANT possède aussi des atouts évidents pour la recherche dans le domaine des biotechnologies : une recherche en biologie structurale reconnue internationalement, capable de produire et de caractériser des protéines fonctionnelles, et des laboratoires variés s'intéressant à l'adhérence cellulaire, à la différenciation, à la formation des tissus. Ces matériaux s'ouvrent aux domaines biomédical, agroalimentaire, ou environnemental (qualité biologique des eaux). On peut citer aussi les matériaux capables de sélectionner des macromolécules d'intérêt, ainsi que le domaine intrinsèquement pluridisciplinaire de l'interaction entre les cellules vivantes et la matière inerte.

Ces divers éléments expliquent la situation particulière de la science des matériaux et du génie des procédés à Grenoble avec une continuité entre recherche fondamentale et recherche appliquée, des laboratoires centrés sur cette discipline et d'autres où il ne s'agit que d'une partie de l'activité, un partenariat industriel fort avec un volant remarquable de contrats et enfin des plates-formes technologiques au meilleur niveau international en termes d'élaboration et de caractérisation.

Avec la venue de nouveaux laboratoires sur GIANT, le site disposera d'un regroupement de fonctions rassemblant les matériaux de structure aussi bien que les matériaux fonctionnels, l'élaboration aussi bien que la caractérisation, la modélisation aussi bien que l'expérimentation. Un tel regroupement, pensé dans une identification clairement affichée de la science des matériaux et du génie des procédés comme discipline à part entière, s'avèrera indiscutablement très productif pour des domaines applicatifs affichés ou à venir sur le site grenoblois et constituera un pôle particulièrement attractif pour des applications industrielles très variées.



© LMGP

Analyse par diffraction X de nouvelles phases de matériaux en films minces obtenus par dépôt OMCVD

### EN BREF

*L'activité des laboratoires « Science et Génie des Matériaux » confère à cette discipline une position centrale sur le site grenoblois qui doit permettre l'émergence rapide d'une dynamique structurante sur le site, rendant visible un ensemble d'activités largement reconnues sur le plan national et international et drainant aussi une forte activité en liaison avec les secteurs industriels.*

## 1.2 NANOSCIENCES

### 1.2.1 CHIMIE ET ÉLECTRONIQUE DU FUTUR //

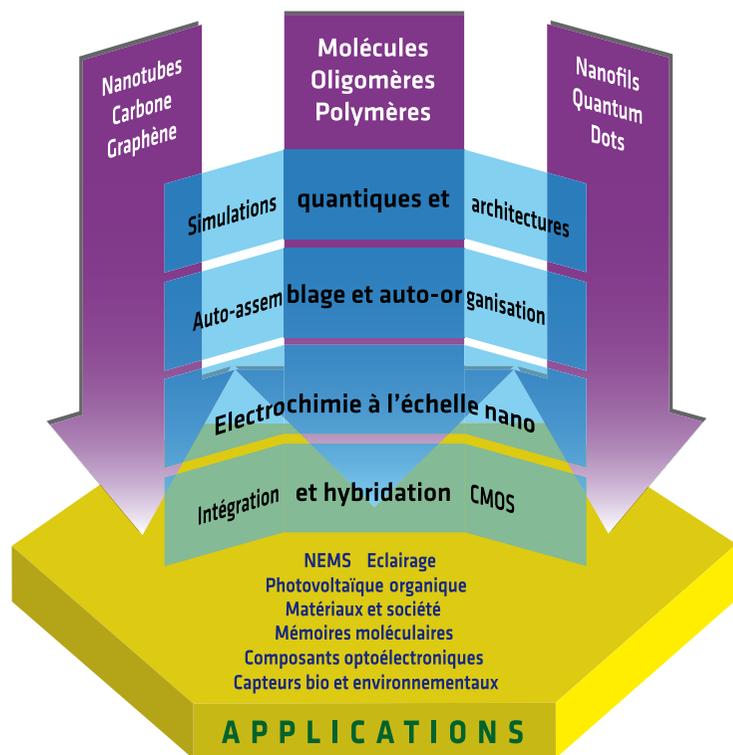
Le domaine de l'électronique du futur est à l'interface entre la nanochimie et la nanoélectronique. Il s'est structuré ces dernières années autour des procédés de synthèse de nanomatériaux et d'organisation de ces matériaux en vue de leur conférer des propriétés particulières. La fonctionnalisation de ces matériaux permet d'envisager des applications telles que les capteurs, actuateurs ou des composants divers comme les mémoires ou des composants hybrides pour la spintronique. Ce domaine aborde ainsi des composants à base de nanotubes de carbone, de graphène, de boîtes quantiques ou de nanofils semi-conducteurs ainsi que diverses molécules ou polymères électro ou photoactifs à l'échelle submicronique. La simulation prédictive, les architectures, l'intégration, la synthèse de molécules uniques, l'autoassemblage et la fonctionnalisation sont essentiels pour la recherche à la fois sur l'électronique post CMOS (à l'horizon 2015 en particulier, l'électronique moléculaire) mais aussi sur les électroniques complémentaires (électronique «more than Moore», avec ses fonctions capteurs, NEMS, RF, spintronique) et électronique souple ou organique via les applications telles qu'écrans plats OLED, étiquettes RFID, papier électronique, photovoltaïque ou capteurs.

Environ 140 personnes sont concernées par ces activités sur le site de GIANT. Grâce à elles, deux domaines applicatifs et économiques relativement étanches, celui de la microélectronique et celui en émergence de l'électronique organique, sont mis en relation. Ces « vecteurs » que sont les nanotubes de carbone, les nanofils, les oligomères, le graphène, et les molécules, portent en eux à la fois un potentiel important de découvertes mais aussi d'innovations dans le domaine des TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) dont l'Europe pourra bénéficier.

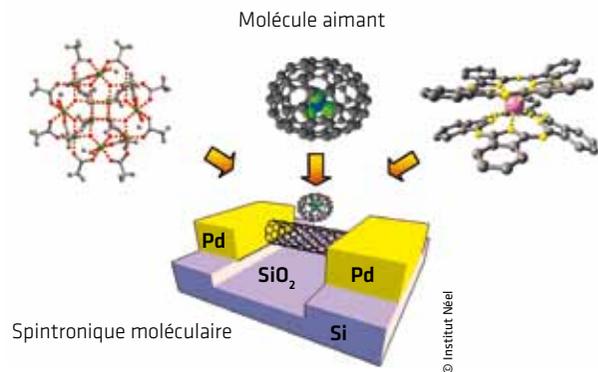
#### STRUCTURATION ET ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Sur le site de GIANT, l'activité est portée par plusieurs équipes du CEA, du CNRS, de l'UJF et de Grenoble INP. Cet aspect collaboratif s'inscrit dans un mouvement initié depuis plusieurs années dans le cadre de projets régionaux, nationaux et européens.

Cette activité est très largement développée sur le plan fondamental en voisinage fort avec la nanoélectronique quantique, la physique mésoscopique et l'électronique/ spintronique moléculaires. Elle inclut une attraction vers les applications technologiques : le CEA a initié en 2003 un grand programme interne sur cette thématique de chimtronique, afin de mobiliser tous ses laboratoires de recherche fondamentale en chimie et en physique et ses laboratoires de microélectronique, en structurant ses équipes sur des objectifs communs. Cette activité est également soutenue par la fondation « Nanosciences aux limites de la nanoélectronique » dont l'électronique moléculaire est un des axes identifiés.



Activités au sein du programme ChimTronique



Dispositif de transduction à nanotube de carbone pour la détection de molécules magnétiques

Des aspects fondamentaux connaissent actuellement un fort développement, en particulier dans les domaines de la simulation numérique, de la spintronique et du transport moléculaire, avec la participation des grands instruments européens.

Des simulations quantiques semi empiriques sont développées par plusieurs équipes et dans divers axes concernant la chimtronique et l'électronique moléculaire :

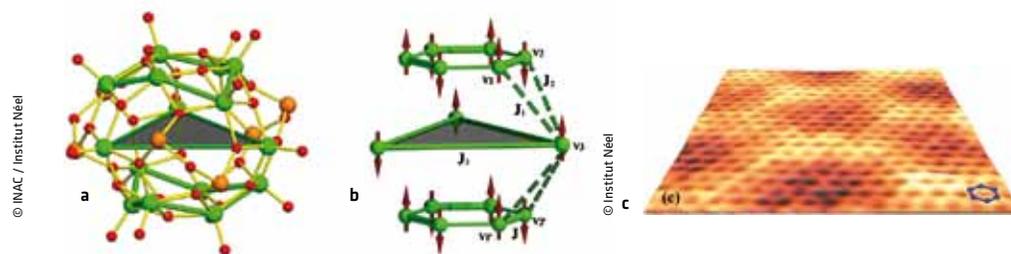
- ▶ Le transport électronique pour l'étude des propriétés structurales et électroniques de systèmes nanostructurés tels que les nanotubes, les nanofils, et plus récemment le graphène dont l'intérêt est motivé principalement par ses propriétés exceptionnelles de transport qui permettent d'envisager la réalisation de nouveaux dispositifs pour la nanoélectronique,
- ▶ l'étude des propriétés de transport quantique ou d'effet Hall,
- ▶ l'étude des propriétés optiques des nanofils et des nanotubes dopés ou fonctionnalisés.

Les objets d'études sont des systèmes modèles (un atome, une molécule, une nanoparticule, une chaîne de spin, des systèmes 2D, etc.) suffisamment simples pour permettre l'émergence de phénomènes nouveaux issus des premiers principes. À titre d'exemples, on peut citer l'étude et le contrôle de la dynamique quantique cohérente de l'aimantation dans les systèmes moléculaires, ou la réalisation et l'étude de composants à base de graphène.

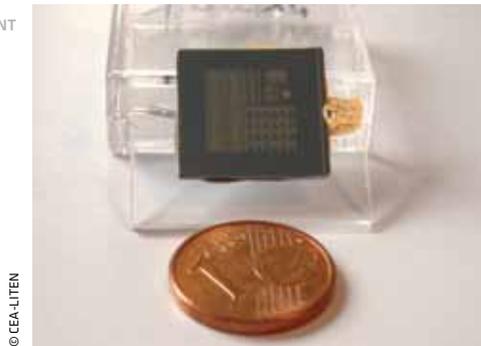
Parallèlement aux domaines de recherche présentés ci dessus, les mécanismes de structuration et d'adressage des nanomatériaux sont explorés en utilisant conjointement les voies ascendantes (« bottom up ») et descendantes (« top down ») de la technologie : lithographies non orthodoxes, localisation de colloïdes, etc.

Le programme ChimTronique s'est adossé sur des équipes pionnières. Des macromolécules conjuguées, modèles de semi-conducteurs moléculaires, sont à la base du photovoltaïque

organique ou, à l'échelle d'une chaîne macromoléculaire (oligomère), de l'électronique organique et moléculaire. La convergence thématique impulsée par le programme ChimTronique s'est concrétisée par le développement de matériaux hybrides nanostructurés associant des mélanges des matériaux polymères et de nanofils ou de nanoparticules photoluminescents ou de nanotubes de carbones. Cette hybridation nécessite une ingénierie moléculaire pour rendre compatible des nano objets de natures différentes ; cela implique aussi de maîtriser le positionnement et la fonctionnalisation des divers composants. Une électrochimie maîtrisée de longue date des complexes métalliques de terres rares, intrinsèquement électroactives, contribue au développement d'une photonique moléculaire originale. Cette expertise a débouché sur la conception de mémoires rédox, jalon de l'électronique hybride incluant des molécules dans des dispositifs CMOS. L'électrochimie moléculaire intervient aussi dans la conception de capteurs bioélectrochimiques. L'évolution vers les tailles nanométriques dans des systèmes électromécaniques à l'échelle micrométrique (MEMS) et nanométrique (NEMS) nécessite la fonctionnalisation de nano-objets par des composants biochimiques (ADN, anticorps, etc.). Là aussi, une nécessaire pluridisciplinarité a été rendue possible par la collaboration entre plusieurs équipes. Ces efforts se concrétisent aujourd'hui par un volant important de R&D et de transferts.

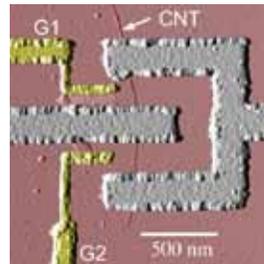


(a) et (b) structures cristallographique et magnétique de bits quantiques (qbit) réalisés à partir d'aimants moléculaires à base de vanadium ; (c) graphène épitaxié sur SiC.



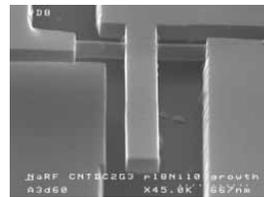
© CEA-LITEN

Transistors à base de mats de nanotubes de carbone



© Institut Néel

NanoSQUID à nanotube de carbone



© CEA

Capteur à nanocantilever piézorésistif pour la spectrométrie de masse



© FMNT

Masqueur électronique

Un point fort de GIANT est la mise au point de techniques d'élaboration originales de nano objets (boîtes quantiques, nanofils, nanotubes de carbone, etc.).

La plate-forme Nanofab du CNRS développe depuis plusieurs années des techniques de nanofabrication sur des matériaux non conventionnels. La plate-forme technologique amont (PTA) mise en place par le CEA, le CNRS, l'UJF et Grenoble INP, est une salle blanche flexible de haute technologie, permettant aux idées innovantes de se matérialiser. Toutes deux sont accessibles à tous les chercheurs du polygone désireux de concevoir et fabriquer des composants nanométriques et hétérogènes. Enfin la nouvelle plate-forme de chimie au CEA est conçue pour le transfert de solutions innovatrices vers l'industrie dans le respect des réglementations des substances chimiques REACH et AFSSAPS.

La tradition des acteurs de GIANT de développement d'une instrumentation spécifique de haut niveau s'applique tout particulièrement à ce domaine : mesures résolues spatialement, résolues en temps, de sensibilité extrême, à très basse température pour le domaine fondamental, capteurs, systèmes à récupération d'énergie, bio-instrumentation, etc.

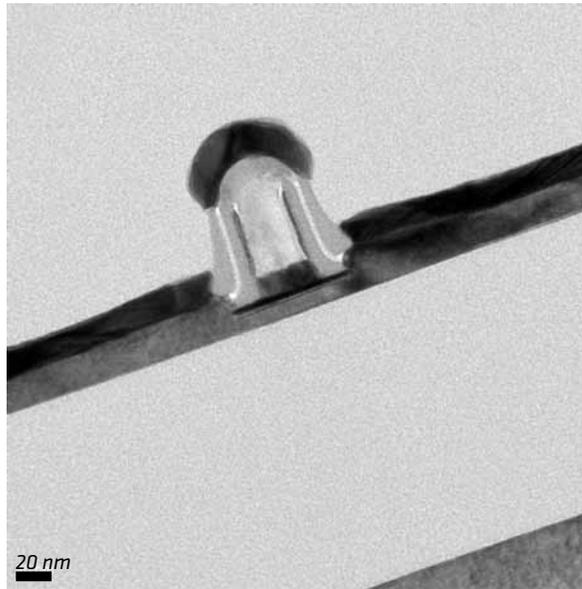
### PLATE-FORME TECHNOLOGIQUE AMONT

La Plate-forme Technologique Amont (PTA), dispose d'une salle blanche de 700 m<sup>2</sup> (classe 1000) issue de la mutualisation des moyens techniques et humains du CEA, du CNRS, de Grenoble INP et de l'UJF. Reconnue « grande centrale » au niveau national, elle répond aux besoins spécifiques de la recherche amont grenobloise en termes de ressources technologiques, dédiées au domaine des micro-nano-technologies. Elle permet ainsi de réaliser l'intégration de nano-objets et nano-matériaux ou encore de structurer les couches minces dans une gamme de dimension nanométrique grâce à diverses méthodes et outils de lithographie, de dépôt ou encore de gravure. Les aspects multi-matériaux et multi-surfaces sont les points clé de la PTA. Pour cette raison, la plate-forme accueille tous types de substrat, depuis l'échantillon de 5x5 mm<sup>2</sup> jusqu'au disque de 100 mm de diamètre.

Les thématiques qui sont développées sur la PTA sont nombreuses: nanoélectronique, MEMS et NEMS, magnétisme et spintronique, intégration de nano-matériaux et nano-objets, photonique, la plate-forme a pour vocation d'accompagner les chercheurs non seulement dans les développements technologiques qui sont nécessaires à leurs recherches, mais aussi de promouvoir les collaborations et partenariats avec des laboratoires extérieurs au niveau national et international.

La flexibilité, la souplesse d'accès et d'utilisation, sont au cœur de l'activité de la PTA. Ce modèle de mutualisation des moyens entre les acteurs majeurs de la recherche amont sur Grenoble, a nécessité la mise en place d'un système original de gestion et d'administration de la plate-forme géré par les partenaires.

## 1.2.2 NANOÉLECTRONIQUE //////////////////////////////////////



© CEA-LETI

Observation en microscopie électronique  
d'un transistor SOI

La nanoélectronique constitue une activité importante de GIANT couvrant les trois domaines principaux de la microélectronique que sont le « CMOS ultime », la « diversification du CMOS » et la nanoélectronique « au-delà du CMOS ».

Les activités de recherche dans ces trois domaines sont motivées par une miniaturisation de la taille des composants élémentaires, un accroissement du nombre de fonctions sur ou dans la puce, et la recherche de nouvelles fonctionnalités reposant sur des nouveaux matériaux ou des concepts de composants en rupture avec le CMOS classique.

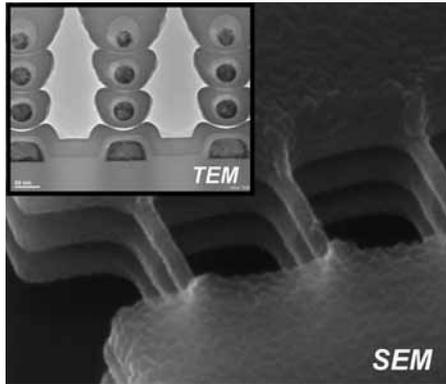
### THÉMATIQUES

L'activité de recherche dans le « CMOS ultime » est fortement liée aux partenariats privilégiés que le CEA et les laboratoires académiques de GIANT entretiennent avec les acteurs industriels des semi-conducteurs implantés dans la région grenobloise (STMicroelectronics, SOITEC, etc). Les équipes de recherche se concentrent principalement sur le développement des technologies 32 nm, 22 nm et sub 22 nm (largeur du transistor unitaire). Les activités de recherche couvrent les procédés de lithographie, de gravure, de dépôt et d'implantation ionique, entrant dans la fabrication des nouveaux dispositifs logiques et les mémoires. Les recherches concernent aussi la modélisation, la simulation et la caractérisation électrique des nouvelles architectures des composants CMOS avancés des filières silicium à film ultra mince (silicium sur isolant).

Les équipes travaillent également sur les micro-nanosystèmes, les mémoires embarquées et les technologies de report de couches, qui leur donnent aujourd'hui une capacité particulière pour appréhender les enjeux de la diversification du CMOS. L'intégration hétérogène de nouvelles fonctions est traitée suivant les approches élémentaires, embarquées ou au-dessus des circuits intégrés. Les fonctions visées s'adressent aux applications dans les domaines de l'électronique, de l'automobile, de l'énergie, des biotechnologies, de la défense, des cartes à puces et de la grande distribution.

En ce qui concerne la nanoélectronique « au-delà du CMOS », les laboratoires et instituts ont engagé des actions de recherche dans trois directions :

- ▶ L'une, dans la continuité du CMOS de type « top-down », avec l'introduction de ruptures dans les matériaux ou les mécanismes de fonctionnement des portes logiques (nanofil de silicium, transistor à multi-canaux, etc.),
- ▶ l'autre de type « bottom-up » partant des nanomatériaux et de leur organisation collective pour réaliser des fonctions logiques et des mémoires (nanofils, nanodots, etc.),
- ▶ et la troisième basée sur le codage granulaire ou quantique de l'information (charge élémentaire et qbit).



© CEA-LETI

Coupe d'un transistor multi-nanofils

En effet, avec la miniaturisation des composants, les zones actives des dispositifs ne contiennent plus que quelques électrons. Les effets coulombien et quantique deviennent pertinents et modifient radicalement le fonctionnement des dispositifs. Les granularités de la charge et du spin de l'électron sont observables tout comme la phase et l'intrication des fonctions d'ondes. Dans ce régime, de nouveaux dispositifs basés soit sur des effets de charge ou de spin, soit sur des effets quantiques permettent de coder et de traiter l'information de façon nouvelle. Ce nouveau champ de la nanoélectronique utilise le bit quantique comme brique élémentaire et l'information est traitée directement à partir de ces objets. La réalisation de dispositifs élémentaires reposant sur ces quanta comme les transistors monoélectroniques pour le quantum de charge ou les SQUIDs pour le quantum de flux progresse très rapidement. Les systèmes supraconducteurs hybrides apportent une grande variété de fonctionnalités possibles. Des implémentations à base de semi-conducteurs, de nanotubes de carbone, de graphène ou de composants magnétiques sont également des pistes prometteuses.

Le couplage de plusieurs éléments, nécessaire à la manipulation quantique, doit préserver l'intégrité vis-à-vis des perturbations et s'effectuer avec un contrôle rigoureux de l'environnement électromagnétique et des matériaux de base. L'information manipulée dans ces dispositifs doit être recueillie puis traitée par des éléments plus conventionnels, obligatoirement intégrés « on-chip ». Les étapes-clés sont donc la fabrication de plusieurs fonctions élémentaires couplées, (un petit groupe de bits quantiques en est un exemple qu'il s'agisse de charge, de spin, ou de flux), puis l'intégration de ce dispositif quantique dans une filière de composants classiques.

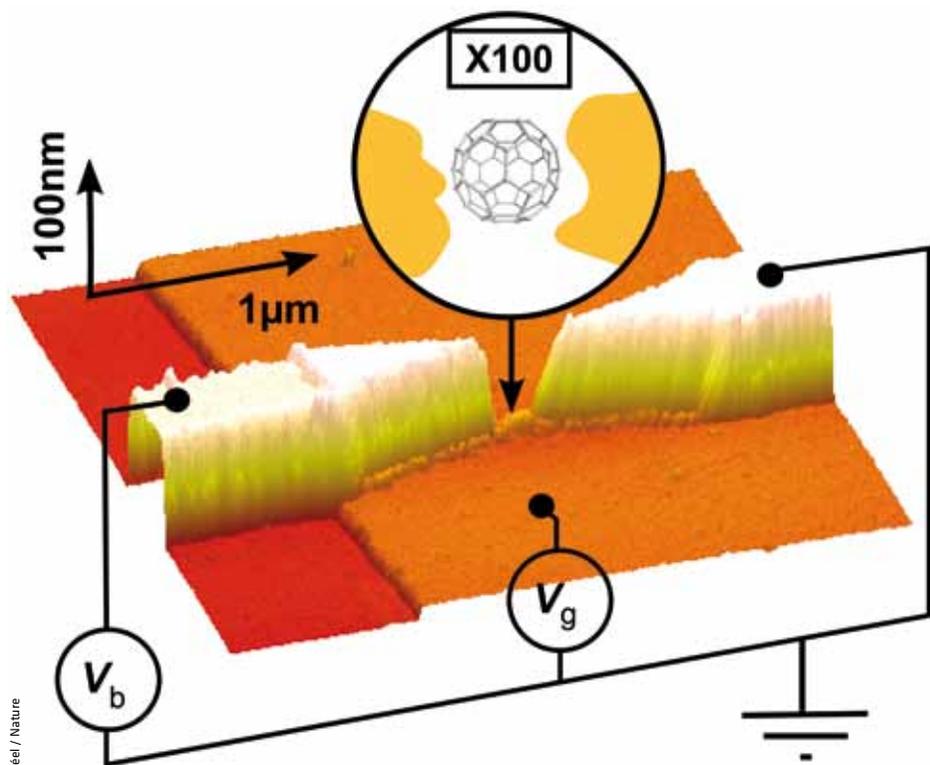
Trois plates-formes technologiques soutiennent les recherches dans ces thématiques :

- ▶ Une plate-forme silicium 300 mm équipée pour supporter tous les développements de modules technologiques relatifs aux générations CMOS 45-32-22 nm,
- ▶ une plate-forme silicium 200 mm permettant d'une part de valider de nouvelles architectures et l'intégration de nouveaux matériaux dans ces architectures, et supportant d'autre part, tous les développements technologiques relatifs aux micro et nanosystèmes jusqu'à leur prototypage,
- ▶ une plate-forme amont ouverte sur des matériaux exotiques et destinée à tester de nouveaux concepts.

L'expertise en élaboration de matériaux et nanofabrication, en cryogénie et instrumentation, en modélisation et théorie, permet ainsi de réaliser des expériences pionnières en nanoélectronique quantique : mesure de la décohérence quantique, manipulation de bits quantiques à base de circuits supraconducteurs, manipulation de quanta de charge dans les points quantiques silicium, spectroscopie tunnel de circuit hybride supraconducteur-normal, observation de la granularité de la charge par des mesures de bruit en courant.

## EN BREF

*Les laboratoires et instituts de GIANT sont des acteurs majeurs de la microélectronique européenne voire mondiale. Ils participent à plusieurs projets européens en nanosciences, parfois en coordonnateurs (par exemple : STREP Atomic Functionalities on Silicon Devices) et microélectronique en collaboration avec les industriels du secteur (STMicroelectronics, IBM, SOITEC, Infineon, Quimonda, NXP, etc.). Leurs chercheurs sont reconnus au plan international et sont membres des comités techniques des conférences les plus prestigieuses du domaine. Ils sont également éditeurs ou éditeurs associés des revues majeures en microélectronique. D'autre part, il est important de noter que ces recherches en micro-nano-électronique de GIANT s'inscrivent naturellement dans les thématiques de la Fondation Nanosciences aux limites de la nanoélectronique (RTRA) et du pôle de compétitivité mondial MINALOGIC.*



© Institut Néel / Nature

Nanodispositif réalisé pour la caractérisation d'une seule molécule, ici un fullerène

## PLATE-FORME NANOFAB

Intégrée à l'Institut Néel-CNRS sur le site de GIANT, la plate-forme Nanofab, labellisée « centrale de proximité » et soutenue par le Ministère de la recherche, est ouverte à toute la communauté scientifique qui a ainsi accès à un ensemble important d'équipements et de procédés.

La souplesse de fonctionnement de la plate-forme permet d'accueillir des chercheurs et des étudiants d'horizons divers et d'accompagner technologiquement des programmes de recherches, souvent fondamentaux, dans le domaine des nanosciences mais aussi de la chimie ou de la biologie. Les salles de lithographies électronique et optique ou de dépôts métalliques sont autant de lieux de rencontres et d'échanges pour ces communautés scientifiques variées.

En ouvrant ses portes aux étudiants des masters de formation de l'UJF et de Grenoble INP, de l'école européenne ESONN, en formant nombre de doctorants ou de stagiaires, Nanofab participe à l'enseignement des nanosciences et au développement d'une culture nanotechnologique dans les laboratoires de recherches.

## 1.2.3 NANOMAGNÉTISME ET ÉLECTRONIQUE DE SPIN //

Les activités qui relèvent de la thématique Nanomagnétisme et électronique de spin au sein de GIANT couvrent l'ensemble de la chaîne depuis la compréhension fondamentale des phénomènes physiques jusqu'à la réalisation de démonstrateurs fonctionnels. La communauté est déjà fortement structurée avec de nombreuses interactions entre les divers laboratoires concernés. Plus de la moitié des projets (ANR, Europe, etc.) qui impliquent un des laboratoires du polygone en associent au moins un second, ce qui a déjà conduit à un grand nombre de publications communes.

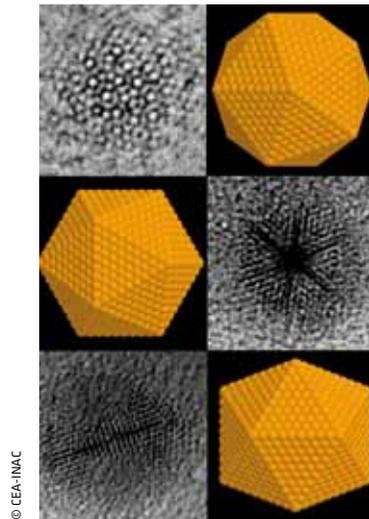
### STRUCTURATION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Les activités de recherche de GIANT en nanomagnétisme et électronique de spin couvrent les domaines suivants :

- ▶ Théorie du magnétisme et du transport magnétique,
- ▶ Magnétisme de nano-objet (nanoparticules, parois de domaine),
- ▶ Nouveaux matériaux fonctionnels,
- ▶ Spintronique dans les nanopiliers et les objets uniques,
- ▶ Imagerie (Kerr, microscopie Lorentz, MFM, PEEM...),
- ▶ Modélisation et simulation numérique,
- ▶ Physique des milieux complexes, objets biologiques,
- ▶ Transfert de spin et composants RF,
- ▶ Physique des composants magnétiques.

L'électronique de spin permettrait d'adjoindre de nouvelles fonctionnalités aux composants électroniques classiques, jusqu'à introduire à long terme de nouveaux paradigmes basés sur une électronique sans courant de charge promettant une très faible dissipation d'énergie et une rapidité proche du THz. L'utilisation de ces nouveaux concepts pour les applications futures est menée à Grenoble en proximité forte avec nos partenaires industriels. Ces études s'appuient sur un socle de recherches amont dans le domaine des nano-objets magnétiques et du transport dépendant du spin. Les études menées au sein de GIANT peuvent être structurées dans les axes suivants :

- ▶ Comprendre et maîtriser la dynamique d'aimantation aux échelles sub-nanoseconde/nanomètre : visualisation et dynamique d'objets magnétiques élémentaires (parois, vortex, etc.) dans des couches magnétiques nanostructurées et dans des systèmes modèles (plots, fils auto-organisés) ; manipulation de ces objets (effets au voisinage de la surface et effets d'interfaces ; renversement d'aimantation par transfert de spin, assisté thermiquement ou par propagation de parois magnétiques) ; connaissance indispensable pour assurer la miniaturisation des composants spintroniques (mémoires, composants logiques et RF, NEMS).



© CEA-INAAC

Agrégats magnétiques icosédriques de cobalt

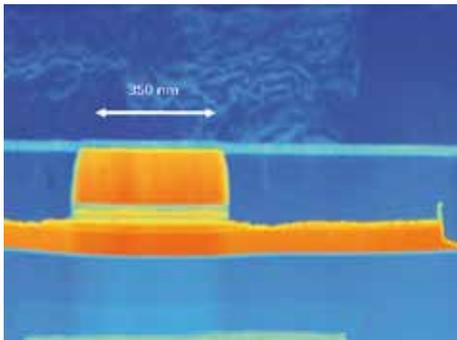
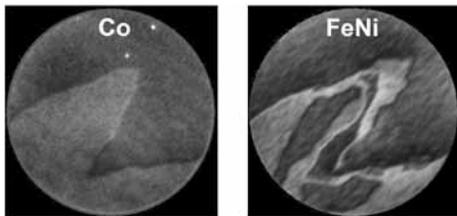


Image par microscopie électronique d'une mémoire non volatile à base de jonction tunnel



Imagerie des domaines magnétiques dans la couche de Co et de permalloy et de la tricouche Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeNi grâce à la sélectivité chimique du PEEM et à sa sensibilité à l'orientation du moment magnétique

► Comprendre et maîtriser les courants de spin et imaginer de nouvelles fonctionnalités : les barrières tunnel ou de nouvelles méthodes ainsi que la manipulation de courants de spin dans des semi-conducteurs (particulièrement de type IV) permettent de créer une nouvelle électronique post-CMOS, plus riche en fonctionnalités (non volatile, reprogrammable).

► Etendre le transport dépendant du spin à des nanostructures ultimes en conjuguant transport et spectroscopie / manipulation optique ou hyperfréquence : magnétisme quantique et transport dans les aimants moléculaires jusqu'à la molécule magnétique individuelle ; manipulation du spin et de l'aimantation dans des nanostructures 2D (puits quantiques), 1D (nanofils), 0D (boîtes quantiques) incorporant des semi-conducteurs magnétiques ou des spins individuels.

► Optimiser la combinaison des technologies CMOS et magnétiques : inventer de nouvelles architectures de composants tirant le meilleur parti des deux technologies (circuits logiques reprogrammables, mémoires à décalage, décodeurs, interconnexions RF).

► Développer les techniques d'imagerie magnétique : les études des déplacements de parois par des courants polarisés s'appuieront sur les compétences en imagerie magnétique (MFM, imagerie Kerr, imagerie Lorentz, PEEM, localisation par effet de magnéto-transport), fortement développées dans les trois laboratoires et utilisant aussi d'autres moyens grenoblois (grands instruments européens, etc.).

► Développer les outils indispensables que sont la simulation et la modélisation, pour obtenir une meilleure compréhension de l'interaction locale entre le transport et le spin des électrons, et de l'action du spin des électrons sur l'aimantation locale. Un renforcement de l'aspect modélisation/simulation de ces effets aux laboratoires grenoblois est souhaitable.

Par ailleurs, l'évolution vers des dimensions toujours plus petites fait émerger le besoin de nanofabrication des échantillons. Pour le développement de nanostructures innovantes ainsi que pour la réalisation de démonstrateurs, les équipes de recherche en nanomagnétisme et électronique de spin sont de grandes utilisatrices des plates-formes grenobloises de nanofabrication.

## EN BREF

*L'expertise des équipes de GIANT en magnétisme est depuis longtemps reconnue internationalement. Plus récemment, Grenoble est aussi devenu un site incontournable dans la thématique de l'électronique de spin. Ce positionnement est le résultat de la mise en place des outils nécessaires à la fabrication et à la caractérisation des nanostructures magnétiques, de la grande synergie entre les différents acteurs : les activités couvrent un large domaine depuis les actions les plus fondamentales jusqu'à des préoccupations applicatives.*

*GIANT a ainsi la taille critique pour pouvoir couvrir tous les thèmes actuels de la recherche dans ce domaine avec, pour chacun, des équipes reconnues au plus haut niveau international, tout en bénéficiant de la proximité des grands instruments.*

## 1.2.4 PHOTONIQUE

D'une façon générale, les recherches en photonique visent à améliorer le contrôle de la génération, propagation et détection de la lumière à l'aide de matériaux innovants ou de micro et nanostructures. La recherche sur les matériaux pour l'optique (cristaux, couches minces et multicouches, structures hybrides organiques/inorganiques) a été et reste un très important vecteur d'innovation dans le domaine des sources laser ou à génération paramétrique.

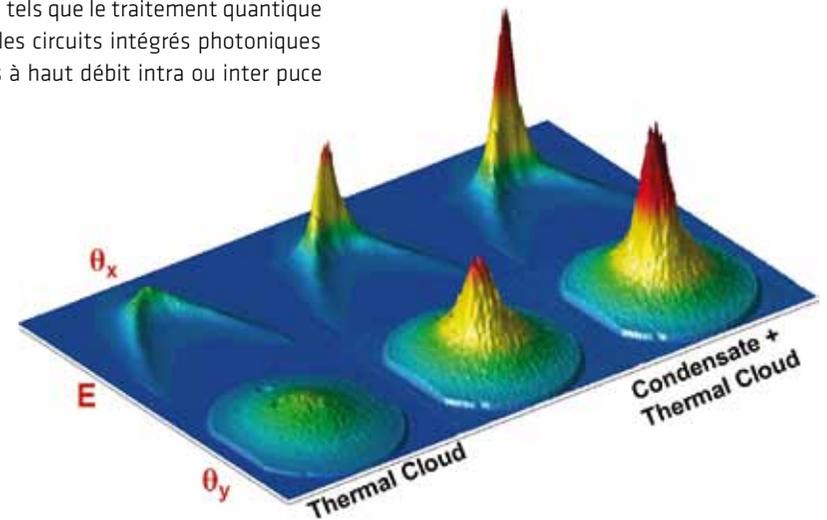
Le sous-domaine de la « nanophotonique » s'est quant à lui développé très rapidement depuis le début des années 90, en s'appuyant sur l'introduction des cristaux photoniques, des microcavités optiques et des boîtes quantiques semiconductrices. En exploitant le confinement des électrons à l'échelle du nanomètre, et/ou celui des photons à l'échelle de la longueur d'onde, de nombreux effets physiques fondamentaux ont pu être mis en évidence pour la première fois dans un système solide. On citera ici à titre d'exemple la génération d'états quantiques de la lumière par une molécule ou une boîte quantique isolée, l'exaltation ou l'inhibition de l'émission spontanée d'émetteurs en microcavité, l'oscillation de Rabi du vide pour des puits quantiques et des boîtes quantiques isolées, ou encore la conversion de fréquence de la lumière dans des microcavités accordables.

Ces effets originaux permettent de développer des composants optoélectroniques présentant une fonctionnalité nouvelle ou des performances fortement améliorées (sources de photons uniques, lasers à très bas seuil, diodes électroluminescentes à fort rendement, etc.). Ainsi on ouvre des perspectives d'application prometteuses dans de nombreux domaines tels que le traitement quantique de l'information et les communications quantiques, l'éclairage, les circuits intégrés photoniques pour les télécoms et les datacoms, les interconnexions optiques à haut débit intra ou inter puce électronique, ou encore la biophotonique.

### EN BREF

*L'ensemble des moyens grenoblois d'élaboration et d'étude des matériaux et nano/microstructures photoniques est aujourd'hui essentiellement rassemblé au polygone. Des collaborations solides existent entre les laboratoires et instituts de GIANT et ceux du Domaine universitaire, les deux piliers du projet Grenoble Université de l'Innovation, autour des applications de la photonique, en particulier en biologie (application des marqueurs luminescents pour des études in vitro ou in vivo sur le petit animal) et en astronomie.*

*Grenoble a acquis depuis plusieurs décennies une expertise reconnue en optique et en optoélectronique, sur laquelle de grandes réussites industrielles se sont construites (Sofradir, Ullis, etc.). Avec le soutien du RTRA Nanosciences, la collaboration étroite de laboratoires de recherche fondamentale et de laboratoires à finalité appliquée est un atout majeur pour explorer puis exploiter tout le potentiel de la photonique dans ses nombreux domaines d'application potentiels.*

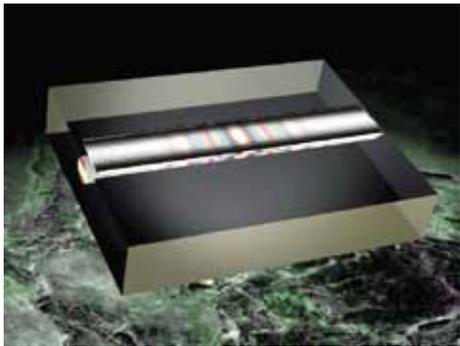


Microcavités semiconductrices :  
condensation de Bose-Einstein de polaritons

## LES THÉMATIQUES

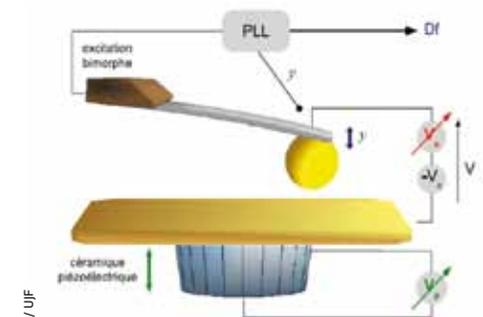
Les principaux axes de recherche de la communauté grenobloise de la photonique sont les suivants :

- ▶ Ingénierie, synthèse et étude expérimentale de cristaux pour les lasers et les sources paramétriques,
- ▶ nanostructures semiconductrices innovantes pour l'UV, le visible et l'infrarouge : boîtes quantiques et nanofils à base de GaN/AlN ou de semi-conducteurs II-VI; dispositifs optoélectroniques aux longueurs d'ondes télécoms exploitant des transitions intrabandes dans les nanostructures de GaN,
- ▶ nanoparticules pour les biosciences : ingénierie des nanocristaux semi-conducteurs et de leur surface, nouvelles sondes bimodes optiques et magnétiques à base de lanthanides, nanocristaux organiques pour puces à ADN,
- ▶ production, manipulation et détection d'états quantiques de la lumière : génération de photons uniques et de paires de photons par des boîtes quantiques semi-conductrices, de triplets de photons enchevêtrés dans des cristaux optiques non linéaires; développement d'une source monomode de photons uniques « pratique » pour la cryptographie quantique, détecteurs supraconducteurs capables de résoudre le nombre de photons ; portes logiques quantiques optiques fonctionnant à l'échelle du photon unique,
- ▶ condensation de Bose-Einstein des excitons-polaritons dans les microcavités semi-conductrices, laser à polaritons,
- ▶ photonique silicium : génération de lumière par des matériaux ou nanostructures « compatibles microélectronique » (boîtes quantiques et nanofils de Si et de SiGe, silice dopée aux terres rares), microcavités en silice à facteur de surtension géant, guides et microcavités à base de cristaux photoniques Si, circuits intégrés photoniques sur SOI,
- ▶ structures et composants hybrides : assemblages polymère/semi-conducteur pour le photovoltaïque, intégration 3D de fonctions optiques passives dans le verre, lasers hybrides verre/polymère à blocage de modes,
- ▶ plasmonique : génération et propagation de plasmons de surface THz, transmission de rayonnement THz à travers des réseaux métalliques; exaltation de la diffusion Raman et autres processus non-linéaires dans le visible par des nanoparticules ou des réseaux métalliques, application au spectromètre à transformée de Fourier intégré à ondes stationnaires,
- ▶ nouvelles techniques d'imagerie en champ proche (nanosonde fluorescente), influence d'effets optiques fins tels que la force de Casimir sur les nanosystèmes électromécaniques.



Spectromètre intégré à ondes stationnaires

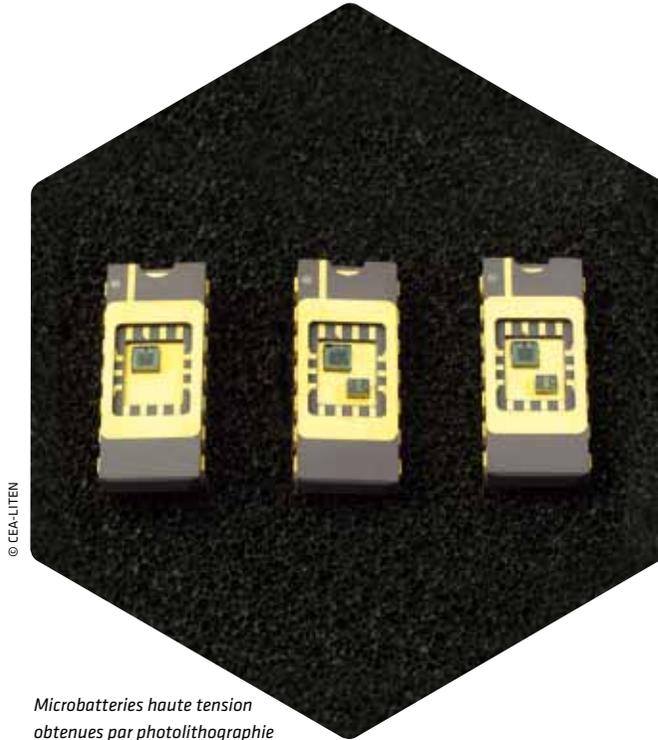
Ces activités s'appuient sur une expertise très solide des laboratoires grenoblois dans la synthèse "bottom-up" de nanostructures par voie chimique ou par épitaxie, et dans la synthèse de cristaux, films minces et multicouches pour l'optique. A contrario, l'accès à des moyens de nanofabrication « top-down » au meilleur niveau n'a été possible jusqu'à une époque récente que pour les structures à base de silicium. Cette situation a radicalement évolué en 2007 avec le lancement de la nouvelle plateforme technologique amont (PTA). Grâce à ses équipements de lithographie électronique et de gravure ionique réactive à l'état de l'art, la PTA permettra de satisfaire durablement dans l'avenir les spécifications très pointues associées à la fabrication des microstructures photoniques. Cette plateforme est et sera un atout clef pour permettre à la communauté grenobloise de tenir toute sa place dans ce domaine scientifique, où la compétition internationale est particulièrement relevée.



Nanosystèmes électromécaniques : mesure de la force de Casimir

## 1.3 ÉNERGIES

### 1.3.1 NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE



© CEA-LITEN

*Microbatteries haute tension  
obtenues par photolithographie*

Le défi énergétique est un enjeu socio-économique et environnemental majeur pour les prochaines décennies. Les enjeux stratégiques, économiques et financiers pour la France sont énormes : maîtrise de la dépendance énergétique, équilibre de la balance commerciale au regard des investissements prévus dans les prochaines années, répercussions en termes d'emplois. Le site de Grenoble possède de nombreux atouts dans les nouvelles technologies de l'énergie et a l'ambition de devenir un centre d'expertise mondiale sur ce domaine. Les laboratoires et instituts de GIANT couvrent les grandes thématiques scientifiques et technologiques dans le domaine des énergies du futur :

- Production d'énergie en privilégiant les énergies renouvelables, avec le photovoltaïque, la biomasse, l'éolien et l'hydraulique,
- stockage de l'énergie avec la filière hydrogène et les piles à combustibles.

Ils proposent des solutions fiables et performantes en rapport avec le développement des énergies renouvelables. Ces énergies souvent intermittentes nécessitent le développement d'une gestion du réseau électrique afin de permettre l'insertion massive de centres de production délocalisés tout en maintenant la sécurité d'approvisionnement. Une telle approche concerne principalement les problématiques du bâtiment et du transport, l'impact environnemental et l'adoption des nouvelles technologies.

#### COMPÉTENCES

GIANT rassemble les forces pluridisciplinaires nécessaires au domaine des nouvelles technologies de l'énergie. La physique des matériaux, l'électrochimie, l'électromagnétisme sont autant de connaissances nécessaires à la fabrication de matériaux à propriétés adaptées aux besoins de l'énergie. L'intégration de ces matériaux dans des composants (comme une pile à combustible, un accumulateur, une micro-turbine) fait appel à des connaissances en assemblage, génie électrique, génie thermique et thermohydraulique. Ces composants sont eux-mêmes insérés dans des dispositifs ou des démonstrateurs. Tous ces développements s'appuient sur des modélisations et des simulations numériques allant de l'échelle atomique (par exemple calcul ab-initio pour prévoir la structure d'un catalyseur bimétallique pour pile à combustible) à des macro-systèmes (par exemple gestion d'un réseau de distribution électrique comprenant des éoliennes, des centrales solaires photovoltaïques, des bâtiments, etc.)

La conception, la fabrication et les tests de démonstrateurs sont rendus possibles grâce à la présence de nombreuses plates-formes technologiques sur le site.

## STRUCTURATION DES ACTIVITÉS

Les équipes interagissent sur de nombreuses thématiques :

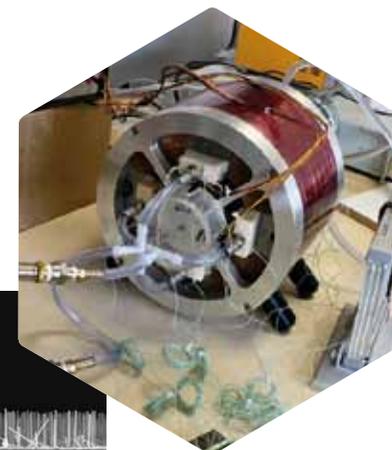
- ▶ Production d'énergie solaire photovoltaïque (PV) : matériaux pour les cellules, procédés, cellules hétérojonctions, cellules à colorants, cellules organiques et inorganiques, optimisation des modules PV, mesure de performances de panneaux,
- ▶ filière hydrogène : stockage sur hydrures, réservoirs, électrolyse, piles à combustibles,
- ▶ stockage : batteries, super capacités, matériaux et durée de vie, stockage supraconducteurs
- ▶ gestion de l'énergie, efficacité énergétique : génération d'énergie distribuée, impact des énergies renouvelables sur les réseaux d'énergie, conversion d'énergie par électronique de puissance, éclairage,
- ▶ composants et procédés pour l'énergie : systèmes pour la production de froid et chaud, échangeurs, procédés industriels efficaces, chaîne de conversion électrique,
- ▶ micro sources et énergie nomade : micro batteries et micro piles à combustibles, batteries souples, sources à récupération d'énergie,
- ▶ énergie dans l'habitat : modélisation, gestion des flux, solaire thermique,
- ▶ véhicules électriques et hybrides : filière hydrogène, chaîne de traction, conversion et gestion de l'énergie, stockage, convergence transport / habitat.

Quatre exemples d'activité de recherche sont développés ci-après :

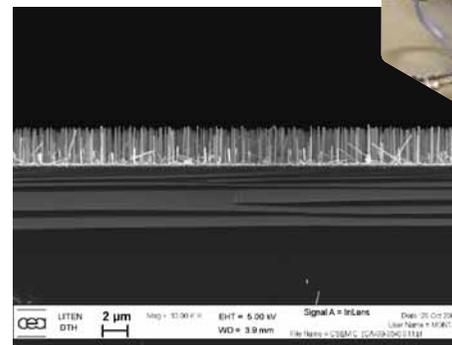
### ▶ Énergie solaire

L'énergie solaire se décline selon deux grands axes : le photovoltaïque et le solaire thermique. Le solaire photovoltaïque permet de générer du courant électrique alors que le solaire thermique génère uniquement de la chaleur ou du froid.

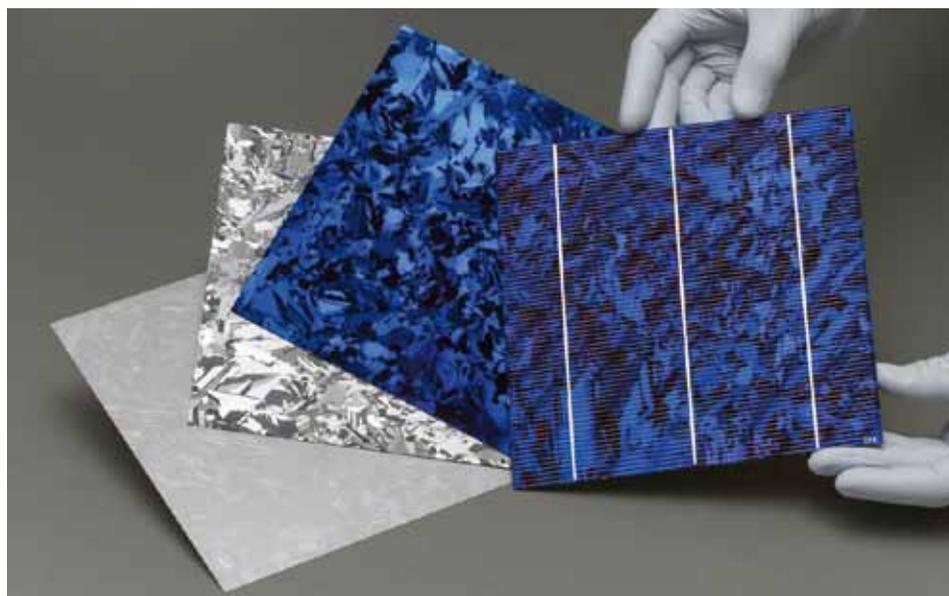
- ▶ Les travaux en cours dans le domaine du PV ont pour objectifs d'une part de diminuer les coûts de production des cellules PV en silicium déjà disponibles sur le marché en développant une filière de production de silicium métallurgique adapté au PV, et d'autre part de développer des cellules à plus haut rendement en utilisant des procédés bas coûts. Parmi ces cellules de nouvelles générations, nous pouvons citer les cellules de type couches minces (CIGS, CdTe), ou plus originales, les cellules utilisant des nanomatériaux (cellules à colorant, cellules avec des nanofils ou des nanocristaux de matériaux semi-conducteurs). L'emploi de nanomatériaux doit permettre d'atteindre des rendements supérieurs à 30% tout en respectant un coût acceptable par le marché, soit un euro du watt. L'intégration de ces cellules en modules puis en panneaux fait également l'objet de recherches pour optimiser la totalité du système PV.
- ▶ Concernant le solaire thermique, les efforts portent essentiellement sur le développement de capteurs performants garantissant de longues durées d'usage, de systèmes de stockage performants et sur l'optimisation de composants permettant de délivrer aussi bien du froid solaire que de la chaleur.



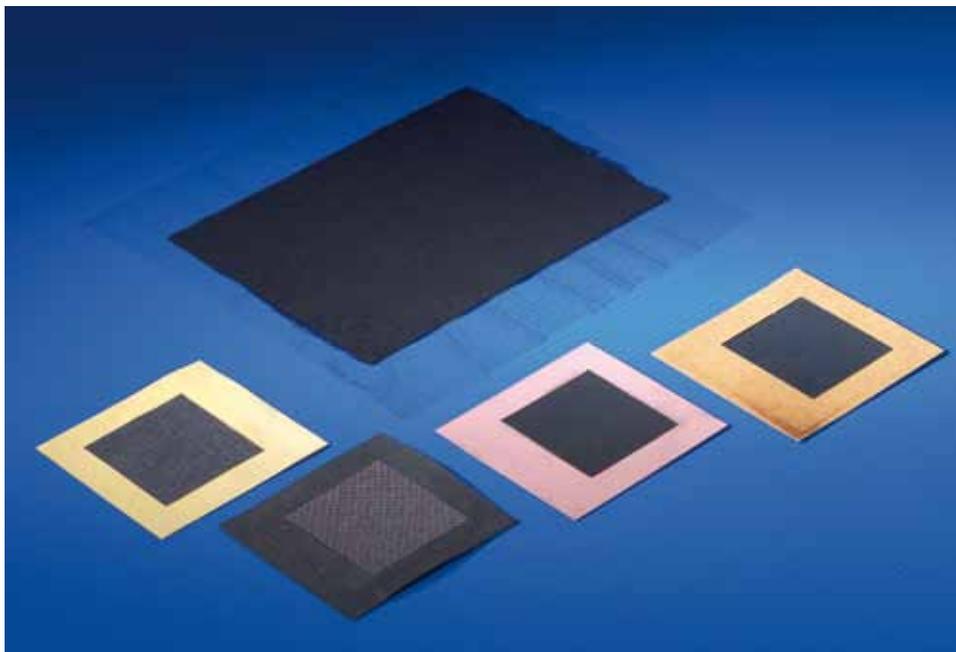
Dispositif de réfrigération par effet magnétocalorique



Nanofils de silicium pour cellule photovoltaïque



Cellules photovoltaïques à différentes étapes de fabrication



© D. Michon, Artechnique / CEA-LITEN

Ensemble membrane-électrode d'une pile à combustible

### ► Filière hydrogène

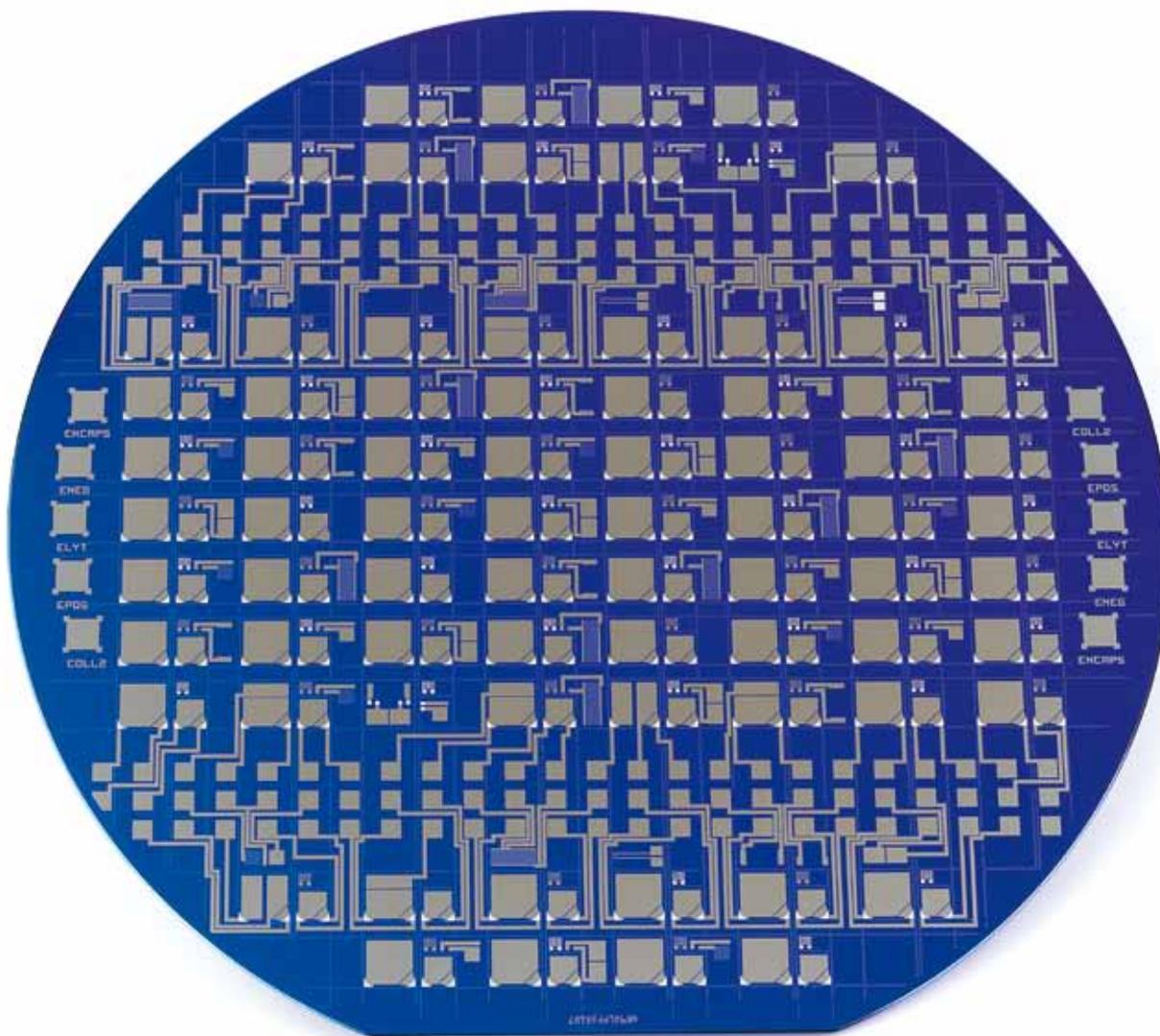
L'hydrogène apparaît comme un futur vecteur énergétique clé et disponible à partir de technologies non émettrices de gaz à effet de serre. Les recherches dans ce domaine sont très variées. La production de l'hydrogène est étudiée par électrolyse de l'eau (électrolyseur alcalin fonctionnant à basse température, et électrolyseur haute température nécessitant l'usage d'électrolytes céramiques fonctionnant dans la gamme 700-900 C) ou à partir de biomasse. Différentes solutions de stockage de l'hydrogène sont ensuite étudiées : sous forme d'hydrures solides, ou sous haute pression. Le développement de matériaux performants ainsi que leur intégration dans des réservoirs permettent de tester des systèmes de stockage complet. Enfin, des systèmes de conversion de l'hydrogène en électricité par différentes technologies de piles à combustibles sont examinés. Ces systèmes complexes nécessitent des compétences en électrochimie, corrosion, assemblage, thermohydraulique et thermomécanique. Des premières piles à combustibles de type PEM (Proton Exchange Membrane) ont été fabriquées. Les enjeux à venir concernent la diminution de la quantité de platine nécessaire à la réaction d'électrolyse inverse, et l'augmentation de la durée de vie de ces piles qui aujourd'hui présentent des mécanismes de dégradation mal maîtrisés et des cinétiques incompatibles avec une utilisation dans un véhicule par exemple.

### ► Microsources d'énergie

Les microsources d'énergie ou encore sources d'énergie miniatures fournissent quelques watts et sont destinées à des applications nomades comme par exemple le téléphone portable, l'ordinateur... Leur développement permettra de disposer de sources autonomes fiables et de durée d'autonomie supérieure aux batteries actuellement disponibles sur le marché. La réduction de taille demandée pour ces applications a nécessité de développer des technologies différentes de celles utilisées pour les applications standard. Par exemple une micropile à combustible sera fabriquée à partir de techniques issues de la microélectronique comme la gravure et la sérigraphie. Les enjeux sont de développer des systèmes performants ( $1000 \text{ mW/cm}^2$ ) à bas coût.

### ► Efficacité énergétique

La gestion de l'énergie s'applique à des domaines très différents comme les véhicules, les procédés industriels, les bâtiments, le réseau électrique, etc. Il s'agit ici de développer des modèles de simulation permettant d'optimiser les systèmes énergétiques en adaptant l'offre à la demande. Par exemple l'utilisation d'énergies intermittentes comme l'éolien ou le photovoltaïque nécessite des systèmes de stockage pour répondre aux besoins des usagers qui suivent un rythme totalement différent. Cette approche de modélisation s'accompagne du développement de composants performants comme des pompes à chaleurs, des systèmes de stockage thermique ou électrochimique.



Microbatteries

### EN BREF

A Grenoble, la recherche dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie s'articule autour de l'Institut Carnot « Energies du Futur ». Symbole d'excellence scientifique et de capacité de transfert vers l'industrie, il a une envergure nationale et associe les laboratoires du CEA, du CNRS, de Grenoble INP et de l'UJF.

En accueillant le futur pôle GreEn (Grenoble Energies Nouvelles), le site GIANT concentrera la majorité des acteurs de l'Institut Carnot. Il dispose d'une couverture scientifique remarquable : des matériaux aux grands réseaux d'énergie en passant par les composants et procédés pour l'énergie, sans oublier les vecteurs électrique, thermique et les recherches sur la filière hydrogène.

La complémentarité du site est une richesse en terme :

- ▶ d'objectifs et de moyens entre les partenaires de l'Institut Carnot,
- ▶ d'échelle entre les laboratoires et les grands équipements de la physique,
- ▶ de thématiques enfin avec les micro et nanotechnologies de Minatec, les systèmes intelligents et les logiciels du pôle Minalogic.

## 1.3.2 NUCLÉAIRE DU FUTUR

Un des grands enjeux auquel le monde du XXI<sup>e</sup> siècle doit répondre est celui de son approvisionnement énergétique. Compte tenu de l'accroissement démographique prévisible (8 à 9 milliards d'êtres humains à l'horizon 2050) et de l'aspiration légitime des pays émergents à vivre mieux, une forte hausse de la demande énergétique est attendue. Même si les ressources en énergies fossiles étaient inépuisables, ce qui n'est pas le cas, cette hausse interviendra dans un contexte où il faudra de toute façon en limiter l'usage pour garantir la stabilité climatique de la planète. « Sortir du tout fossile » est bien le véritable défi à relever.

Pour cela, il faut mettre en œuvre la nécessaire conjugaison des trois moyens d'action complémentaires que sont les économies d'énergie, les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire : c'est en termes d'addition, et non pas d'opposition, qu'il faut raisonner pour espérer être à la hauteur de l'enjeu.

### PHYSIQUE DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Pour faire de l'énergie nucléaire une énergie « durable », deux axes sont à privilégier :

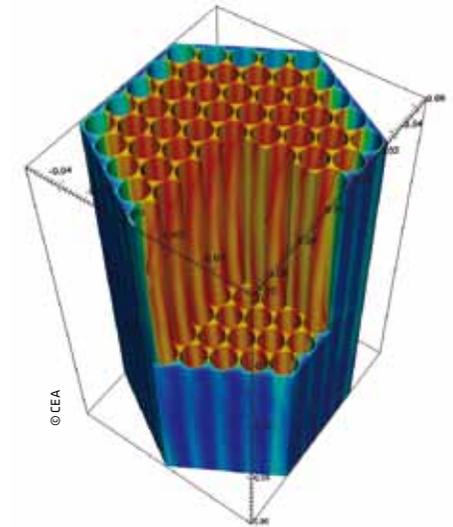
- Optimisation de l'utilisation des ressources naturelles en uranium et thorium
- minimisation de l'impact environnemental et sociétal des déchets de l'industrie nucléaire



© LPSC

L'accélérateur GENEPI-3C du projet GUINEVERE

Les deux axes de recherche évoqués ci-dessus sont abordés par les partenaires grenoblois (CNRS, Grenoble INP, UJF) au sein du groupe de physique des réacteurs : la filière Thorium - Uranium, régénératrice de matière fissile, y est étudiée. Cette solution innovante faisant appel à un combustible à base de sels fondus, est un des concepts de réacteur retenu par le forum international « génération IV » pour le nucléaire du futur. La possibilité de transmutation des actinides mineurs, produits par la génération actuelle de réacteurs, est également étudiée en réacteur sous critique piloté par accélérateurs. Ces études sont menées en collaboration avec les grands acteurs de l'industrie nucléaire (Areva, EDF), les laboratoires nationaux (CNRS et CEA) et internationaux (programmes cadres européens).



© CEA

Simulation de la température du sodium dans un assemblage à aiguilles avec Trio\_U

## SIMULATION EN THERMOHYDRAULIQUE

Le CEA conçoit, développe et qualifie des logiciels de simulation pour l'étude des réacteurs nucléaires. Il réalise grâce à ces logiciels des études, principalement dans le domaine nucléaire à la demande de ses partenaires (AREVA, EDF, IRSN, etc.). Parmi les codes développés, on citera :

- ▶ Le code système CATHARE, permettant de simuler l'ensemble des circuits d'un réacteur pour étudier les régimes en situation normale ainsi que les transitoires incidentels ou accidentels. Ce logiciel a subi une validation poussée. Il est fortement utilisé par les partenaires et pour les dossiers de sûreté des installations,
- ▶ le code Trio\_U (de type - Computational Fluid Dynamics), disposant de fonctionnalités avancées pour l'analyse fine de la turbulence et le suivi d'interfaces, ainsi que plus récemment pour les écoulements réactifs. Il peut être utilisé de façon massivement parallèle et peut être couplé avec Cathare,
- ▶ le logiciel GENEPI, spécialisé dans la simulation des générateurs de vapeur, à l'aide de modèles dits « milieu poreux »,
- ▶ le logiciel Neptune\_CFD, co-développé avec EDF, pour la modélisation tridimensionnelle des écoulements diphasiques.

La qualification de ces logiciels est menée à l'aide d'installations expérimentales et d'instrumentation dédiées. L'ensemble de ces compétences place le CEA en pointe pour les études thermohydrauliques dans la conception, l'analyse du fonctionnement et les études de sûreté des réacteurs nucléaires, à toutes les échelles depuis celle de la bulle jusqu'à celle du système complet.

## LA FORMATION

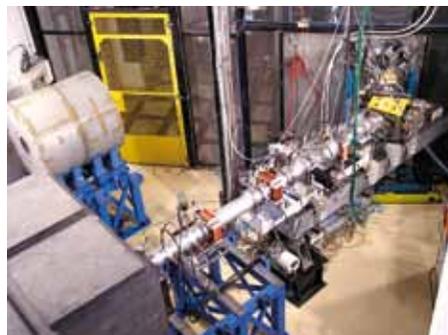
Le pôle grenoblois, avec le tandem UJF - Grenoble INP, est l'un des 3 pôles de formation nucléaire français, avec l'Île de France et le « grand Ouest ». Grenoble INP, par la filière nucléaire de l'école PHELMA, forme chaque année plus de 40 ingénieurs spécialisés dans la physique du cœur du réacteur, ingénieurs qui pour la plupart se retrouvent dans les départements RGD et Exploitation-Sûreté des grands groupes nucléaires. L'UJF propose depuis plusieurs années des masters spécialisés fournissant des ingénieurs à l'énergie nucléaire dans les domaines de radioprotection, de gestion des déchets radioactifs, d'assainissement/démantèlement et de sûreté nucléaire. Les 50 diplômés annuels intègrent des postes d'ingénieur dans l'industrie.

Depuis 2005, Grenoble INP et l'UJF ont créé une plate-forme commune, la plateforme PEREN, dédiée à la formation expérimentale en instrumentation nucléaire

## PLATE-FORME PEREN

Installée au LPSC (CNRS, Grenoble INP, UJF), la plate-forme PEREN (Plate-forme d'Etude et de Recherche sur l'Energie Nucléaire) est constituée de plusieurs installations :

- ▶ PEREN Neutronique qui est basée sur un accélérateur de deutons (250 keV) permettant de générer des neutrons de 14 MeV par la réaction de fusion D-T. Ces neutrons sont utilisés dans des massifs ralentisseurs pour la mesure de sections efficaces de capture, de fission ou de diffusion élastique d'intérêt pour les réacteurs nucléaires du futur,
- ▶ PEREN Chimie qui comprend un système de 3 boîtes à gants couplé à un four permettant la préparation de sels fluorés utilisés aussi bien dans PEREN Neutronique que dans la boucle de sels fondus,
- ▶ une boucle de circulation en convection forcée de sels fondus fluorés qui est en cours de construction et qui devrait être opérationnelle fin 2010. Cette boucle a pour objectif, d'une part, de valider des technologies de mise en œuvre des caloporteurs (sels fondus) à hautes températures et, d'autre part, d'étudier le processus de nettoyage « en ligne » de ces liquides par la circulation de bulles d'hélium.



© LPSC

PEREN Neutronique : Massif de graphite avec ses canaux permettant l'insertion de différents matériaux

## 1.4 SCIENCES DU VIVANT

### 1.4.1 LES PROTÉINES, ACTEURS MAJEURS DU MONDE VIVANT

Le déchiffrement des génomes a permis ces dernières années des avancées considérables. Ainsi, en permettant la caractérisation de modifications de la séquence de certains gènes, modifications qui sont à l'origine de nombreuses maladies, la connaissance du génome humain a eu des retombées majeures dans le domaine de la santé. L'analyse comparée des séquences des divers génomes permet, quant à elle, d'aborder des questions fondamentales, comme l'évolution des organismes vivants.

Les gènes renferment l'information nécessaire à la synthèse des protéines. Les protéines sont les macromolécules qui assurent la grande diversité des fonctions cellulaires, de la catalyse de réactions enzymatiques à la structuration de la matière vivante. Parallèlement à l'étude à grande échelle des gènes, des champs nouveaux se sont récemment ouverts dans le domaine de l'analyse des protéines et de leurs fonctions.

#### LES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Les équipes de biologie sur le site GIANT (relevant de divers organismes internationaux, nationaux et/ou universitaires : CEA, CNRS, EMBL, ESRF, ILL, INSERM, INRA, UJF) ont placé l'étude des protéines au cœur de leurs préoccupations, ce qui les positionne actuellement à la pointe dans ce domaine. À travers ces questions, les projets d'analyse de la diversité et de la complexité du vivant qui sont menés visent à disséquer les processus biologiques à l'échelle moléculaire en cherchant à élucider les architectures fines des protéines impliquées dans ces processus, à suivre leurs interactions dynamiques avec d'autres partenaires, à comprendre leur réactivité. Ces travaux, qui nécessitent la mise en œuvre et le développement d'outils technologiques de pointe, sont poursuivis selon 3 axes majeurs :

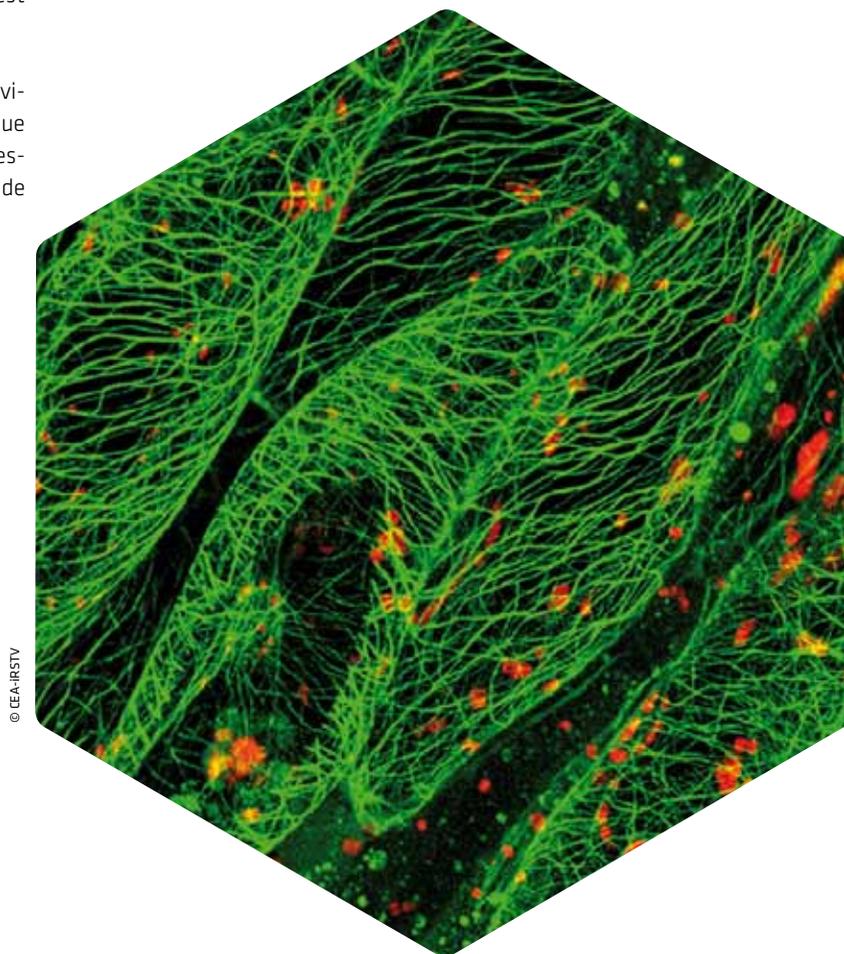
- Comprendre la structure et la dynamique des protéines : une biologie structurale à dimension européenne,
- comprendre la « chimie du vivant » et développer une « chimie à partir des molécules du vivant », essentiellement autour de la problématique des métaux en biologie,
- intégrer les informations moléculaires à plus grande échelle, et les relier aux fonctions biologiques : biologie des systèmes intégrés.

Cet engagement est stratégique dans la mesure où il permet d'alimenter des travaux plus finalisés en biotechnologies et technologies pour le vivant et la santé. En interagissant avec les équipes de nanotechnologies afin de développer des outils innovants pour l'analyse du vivant ou la production d'énergie, les équipes du campus ouest constituent un ensemble original qui a su mettre en place un continuum entre recherche fondamentale et recherche finalisée. La connaissance qui découle de ces travaux de recherche contribue à répondre à des enjeux majeurs pour la société dans les domaines de la santé, de l'environnement, des biotechnologies, de l'énergie et de l'agriculture.

Les recherches en biologie effectuées sur le site de GIANT s'inscrivent en cohérence avec la vision stratégique globale de l'ensemble grenoblois :

- ▶ Sur le site de GIANT, la recherche en biologie structurale et fonctionnelle des protéines, qui bénéficie fortement des grands instruments européens, et de l'interface entre recherche fondamentale et recherches technologique et biotechnologique,
- ▶ sur le Domaine Universitaire, les opérations structurantes réalisées sur le pôle Santé et le projet Biologie intégrative et systémique (BISy). En synergie avec GIANT, l'objectif du projet BISy est d'organiser le futur de la recherche et de la formation en sciences de la vie à Grenoble.

Cet ensemble s'appuie sur une large communauté dans un continuum chimie-biologie-santé-environnement, sur les interfaces de la biologie fondamentale avec la chimie, la pharmacie, la physique et les mathématiques, sur la recherche appliquée (santé, environnement, énergie), sur les plateformes technologiques, sur le centre universitaire de biologie expérimentale et sur l'intégration de la valorisation et du transfert technologique (Nanobio, Biopolis ...).



© CEA-IRSTV

Visualisation, par microscopie confocale à l'aide la protéine fluorescente verte, des réseaux de protéines du cytosquelette dans des cellules végétales. Les chloroplastes sont visibles grâce à la fluorescence rouge de la chlorophylle.

## 1.4.2 UNE BIOLOGIE STRUCTURALE À DIMENSION EUROPÉENNE

Le rôle de la biologie structurale est de comprendre la structure des protéines et d'autres macromolécules du vivant (ADN, lipides, sucres) à l'échelle atomique, et d'intégrer ces connaissances à leurs propriétés dynamiques. En lien avec les données biochimiques, enzymatiques et fonctionnelles, la biologie structurale permet des avancées déterminantes dans la compréhension de la fonction des protéines. Une fois les mécanismes biologiques disséqués au niveau moléculaire, le puzzle du vivant doit être reconstitué en passant par la compréhension des assemblages supramoléculaires vers l'échelle cellulaire et au-delà.

Les enjeux des prochaines années sont d'innover dans les approches expérimentales permettant l'étude de protéines non-structurées souvent impliquées dans des maladies neurodégénératives, de protéines membranaires véritables portes d'entrée des cellules, de grands assemblages tels que les virus et, de manière plus générale, des processus de reconnaissance et d'intégration des pathogènes par une cellule hôte. L'ensemble de ces développements devra aboutir à une véritable imagerie moléculaire de l'échelle nanométrique à celle du micron. En termes d'enjeux finalisés, ces recherches constituent autant de questionnements originaux qui conduisent à des développements dans les domaines de l'environnement, de l'énergie, de la santé et de l'agriculture :

- ▶ Les études fonctionnelles et structurales des protéines impliquées dans les interactions bactérie pathogène-hôte ouvrent la voie à de nouvelles stratégies de lutte contre les bactéries,
- ▶ la compréhension des virus (assemblage, reconnaissance et entrée dans la cellule hôte, mécanismes de réplication...) est un atout majeur en infectiologie,
- ▶ les nano-machines provenant d'organismes vivant dans des conditions extrêmes sont étudiées pour leur capacité à fournir des matériaux ou machineries utilisables en nano et microtechnologies.

### DES OUTILS POUR COMPRENDRE STRUCTURES ET DYNAMIQUES

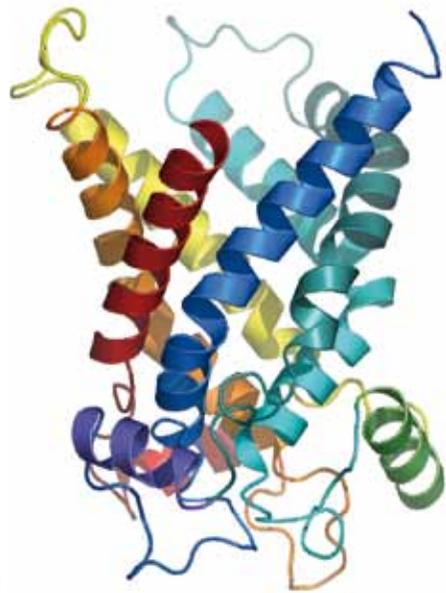
La force du site repose sur la présence de sources de rayonnement synchrotron et de neutrons. Autour de ces grands instruments se sont développés des expertises et des moyens complémentaires permettant d'étudier les structures de protéines isolées, d'assemblages supramoléculaires, de comprendre la dynamique de ces molécules, de mettre en évidence les interactions. Peuvent être cités : cristallographie, diffusion aux petits angles, microscopie électronique (coloration négative et cryomicroscopie), RMN du liquide à haut champ (800 MHz avec cryosonde), suivi de réactions enzymatiques à l'échelle atomique

et études d'interactions par méthodes biophysiques (AUC, SPR, ITC). Les équipes du site développent des outils nouveaux pour étudier des protéines difficiles (non structurées, membranaires, etc.) ou des particules virales composées d'un grand nombre de protéines et acides nucléiques :

- ▶ Les protéines membranaires sont les cibles d'environ 60% des médicaments. Un développement autour de la production et de la cristallisation de ces protéines, combiné avec les progrès en micro-cristallographie a permis des avancées importantes.
- ▶ Les protéines naturellement non structurées, impliquées dans des maladies neurodégénératives, se retrouvent sous forme

agrégée lors de la pathologie. La RMN est un outil unique pour étudier la dynamique de ces protéines. Nos compétences en RMN ont permis d'identifier, au niveau de la structure des protéines impliquées dans de telles maladies, des sites servant de nucléation pour la formation d'agrégats.

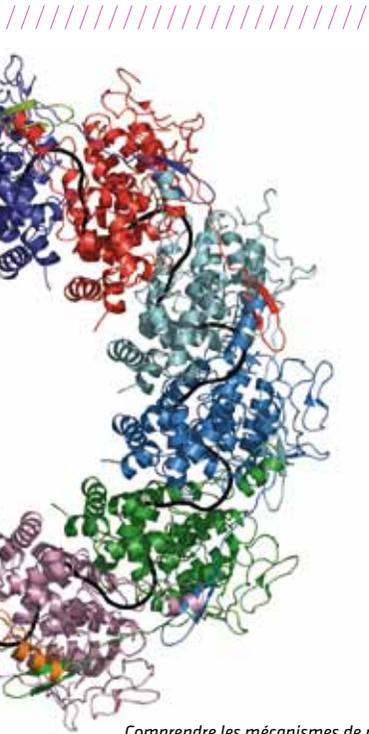
- ▶ Les particules virales sont des objets de grande taille qui peuvent être visualisés par microscopie électronique. Une parfaite maîtrise de la cryo-microscopie ainsi qu'un savoir-faire en analyses d'images a permis de représenter le virus entier. En ajoutant les résultats partiels de la cristallographie, le traitement permet de visualiser le virus à une échelle quasi-atomique.



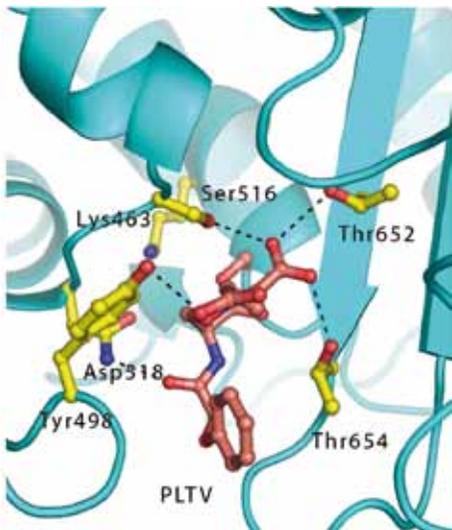
© IBS  
Structure d'une protéine assurée le transport de nucléotides à travers la membrane d'une mitochondrie



© UvHHC



Comprendre les mécanismes de réplication des virus dans la cellule hôte (en haut) ou les mécanismes de résistances aux antibiotiques (en bas) est important pour aider à la conception de nouveaux médicaments



© IB5

## AXES THÉMATIQUES

Deux principaux axes thématiques sont abordés sur le site.

### ► Infectiologie structurale

L'émergence de nouveaux pathogènes et l'apparition de mécanismes de résistance des bactéries aux antibiotiques sont des phénomènes très préoccupants pour la santé humaine. Le combat contre ces phénomènes se situe à tous les niveaux et nécessite en particulier la conception de nouveaux traitements plus ciblés. Les actions de ces traitements se font à l'échelle moléculaire, par exemple en bloquant une pompe d'efflux dont l'activité permet de rejeter l'antibiotique hors de la bactérie, en empêchant une interaction entre virus et récepteur à la surface de la cellule, ou encore en inhibant une enzyme virale déterminante pour la réplication du virus. Les connaissances fondamentales sur les organismes pathogènes, leurs interactions avec les cellules hôtes, les mécanismes d'entrée dans ces cellules ainsi que les réponses immunitaires de l'organisme hôte sont donc essentielles.

Cette spécificité en « infectiologie structurale » développée au fil des années a été renforcée par la création du RTRA Finovi qui permet d'appuyer les activités moléculaires et cellulaires de Grenoble sur un contexte de recherche médicale à Lyon. Le site est reconnu pour ses activités de virologie structurale, en particulier par des approches de cryo-microscopie électronique. La compréhension des mécanismes d'interaction entre virus et cellules hôtes implique des récepteurs à la surface de la cellule ainsi que des oligosaccharides très particuliers. Le cycle de vie des bactéries pathogènes permet de trouver des mécanismes essentiels à leur croissance ou encore à leur pathogénicité. Les protéines impliquées ainsi mises en évidence, sont donc de nouvelles cibles d'antibiotiques potentielles.

### ► Compréhension de la vie dans des conditions extrêmes

Pour certains organismes comme les *archae*, vivant dans des sources chaudes sous-marines, les conditions optimales de vie se passent à très haute température, à forte pression, ou encore dans des concentrations de sel élevées. D'autres organismes se sont adaptés à des conditions extrêmes et sont capables de résister à de fortes radiations ou des concentrations de métaux élevées. La biologie structurale couplée à la chimie permet de comprendre le mécanisme d'action d'enzymes fonctionnant dans des conditions proches de l'origine de la vie. Elle permet aussi de disséquer de nouvelles machineries enzymatiques. Ces nanomachines protéiques inventées par le monde du vivant, et perfectionnées au cours de l'évolution, pourraient être détournées à des fins technologiques. La force de cette thématique repose sur l'expertise à l'interface chimie-biologie présente sur le site. Les liens forts avec la recherche technologique à l'échelle nanométrique permettent un transfert rapide entre la connaissance des nanomachines et leurs applications éventuelles.

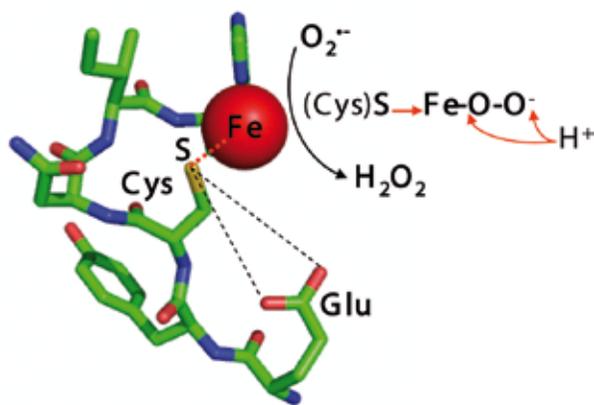
## EN BREF

*L'intégration de tous les acteurs de la biologie structurale dans le partenariat PSB (Partnership for Structural Biology) et la présence de grands instruments fait que le site est un centre de biologie structurale unique au niveau européen. L'expertise des équipes présentes permet de comprendre les machineries moléculaires dans leurs détails les plus intimes. L'évolution des prochaines années est de lier les connaissances à l'échelle moléculaire à celles à l'échelle cellulaire. L'enjeu est de décrire une molécule à l'échelle quasi atomique (structure, dynamique, association..) dans le contexte de la cellule (voie de signalisation...).*

*Ce contexte unique a d'ailleurs attiré dès sa mise en place des scientifiques de tout premier plan, comme les Professeurs Ada Yonath et Venkatesan Ramakrishnan, tous deux Prix Nobel de Chimie 2009. Ada Yonath travaille depuis plus de 20 ans avec des chercheurs grenoblois et, en particulier, elle a fréquenté l'ESRF dès le démarrage des lignes de lumière dans le but d'étudier la structure fine des ribosomes. De plus, elle enseigne depuis 10 ans au cours Hercules. Venkatesan Ramakrishnan conduit également une partie de sa recherche dans le même domaine scientifique à l'ESRF, dont il est utilisateur régulier depuis plusieurs années.*

**EN BREF**

*A l'interface chimie, biologie, physique et mathématiques (en particulier modélisation), la recherche sur les métaux en biologie bénéficie à Grenoble de la proximité immédiate de tous les acteurs de la biologie structurale et de la biologie des systèmes intégrés permettant ainsi de replacer les connaissances moléculaires sur les métaux en biologie au niveau cellulaire et plus globalement à celui de l'organisme. Dans les années à venir, cet environnement unique devrait être à l'origine de nouvelles connaissances fondamentales et favoriser le développement de recherches à visée plus technologique dans les domaines de l'énergie, de l'environnement et de la santé.*



© IBS / IRTSV

Une technologie unique a permis de « photographier » les états intermédiaires d'une réaction nouvelle de détoxication du radical superoxyde

**1.4.3 PROTÉINES ET MÉTAUX : RECHERCHES À L'INTERFACE BIOLOGIE - CHIMIE** //

La tradition grenobloise de la *chimie à l'interface avec la biologie*, qui s'est affirmée avec force au cours des vingt dernières années dans le domaine de la chimie de l'ADN et de la chimie bio-organique, s'est tout particulièrement développée dans le domaine de *la chimie et biologie des métaux*. La chimie bioinorganique, à l'interface de la biologie, de la chimie et de la physique, permet l'étude de la structure et de la réactivité des sites métalliques biologiques qui participent à une grande diversité de processus vitaux. En utilisant les outils de la chimie pour étudier des mécanismes fondamentaux du vivant, en particulier pour analyser en détail la structure et la réactivité des molécules naturelles, il devient possible de :

- ▶ Comprendre la « chimie du vivant » : mécanismes moléculaires impliqués dans les processus biologiques
- ▶ développer une « chimie à partir des molécules du vivant » pour l'élaboration de nouveaux réactifs comme par exemple des catalyseurs biomimétiques pour la chimie de synthèse, l'énergie, l'environnement, etc.
- ▶ donner aux biologistes de nouveaux outils dans le domaine d'une « chimie pour le vivant » appliquée à la santé.

En biologie, les métaux représentent un paradoxe : ils sont à la fois essentiels et toxiques. Certains métaux sont vitaux pour la cellule parce qu'ils participent directement aux processus biologiques : ainsi, beaucoup de protéines possèdent au sein de leur site actif un métal qui est le principal agent de leur fonction et qui leur confère des propriétés physicochimiques caractéristiques reflétant directement l'environnement du métal et ses changements. D'autre part, la toxicité naturelle des métaux fait que ceux qui s'accumulent dans l'environnement peuvent devenir hautement dangereux. Aussi, dans les deux cas, le contrôle de l'homéostasie des métaux est essentiel à la survie des organismes vivants. L'homéostasie est un processus physiologique permettant de maintenir certaines constantes du milieu intérieur de l'organisme (ensemble des liquides de l'organisme) nécessaires à son bon fonctionnement (entre les limites des valeurs normales).

L'ensemble de ces questions constitue le fondement des recherches développées sur le site et qui concernent d'une part la structure et la réactivité des sites métalliques biologiques (pour la conception de nouveaux catalyseurs et biocatalyseurs) et d'autre part la détoxication et homéostasie des métaux. Les enjeux de ces recherches, qui s'intéressent aussi bien au monde des microorganismes qu'au monde végétal ou animal, sont extrêmement variés :

- ▶ faire émerger de nouveaux concepts en chimie-biologie, notamment dans le domaine de l'activation de petites molécules ( $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $H_2O_2$ , etc.) en cherchant à comprendre les mécanismes moléculaires et la place des métaux dans des processus vitaux en biologie,
- ▶ identifier de nouveaux domaines d'utilisation en biotechnologie dans les domaines de l'énergie, de la santé, de l'agriculture ou de l'environnement. On peut citer par exemple les applications dans le domaine de la production d'hydrogène, la mise au point de nouveaux antioxydants, la biodégradation des hydrocarbures aromatiques et la détoxication des métaux lourds.

## AXES THÉMATIQUES

Deux principaux axes thématiques sont abordés sur le site :

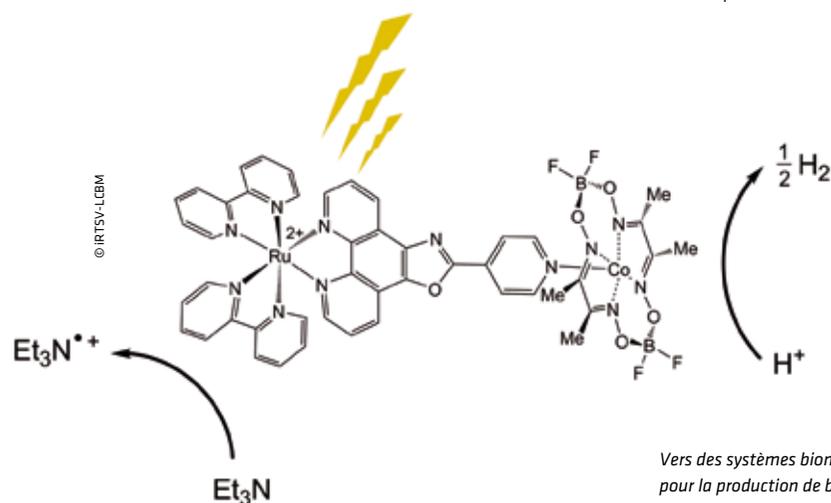
### ► Structure et réactivité des sites métalliques biologiques : vers de nouveaux catalyseurs et biocatalyseurs

Pourquoi mimer le site actif des enzymes ? Du point de vue de leurs sélectivités et de leurs rendements, bon nombre de réactions biologiques n'ont pas d'équivalent en chimie. Mieux comprendre les solutions moléculaires trouvées par le vivant à un problème chimique complexe permet de les mettre en œuvre dans des procédés chimiques originaux (biocatalyseurs biomimétiques, complexants, senseurs). Cette approche bioinspirée est au cœur des recherches actuellement réalisées. Ainsi, l'étude des systèmes enzymatiques bactériens d'oxydation impliqués dans la biodégradation d'hydrocarbures résistants à l'oxydation (catéchols, pyrène, chrysène, etc.) vise au développement de complexes métalliques susceptibles d'oxyder les hydrocarbures. D'une manière plus générale, il s'agit d'étudier des réactions difficiles à contrôler (oxydation d'alcane en alcool et plus généralement oxydation de liaisons C-H, hydrolyse des liaisons P-O au sein de phosphodiesteres, etc.). Enfin, il est nécessaire de mettre au point de nouveaux catalyseurs « verts », non polluants pour l'environnement. Les travaux portant sur les hydrogénases et la mise au point de modèles chimiques bioinspirés reproduisant leur activité visent à terme l'utilisation de l'énergie solaire, renouvelable, pour produire l'hydrogène et mimer ainsi le couple hydrogénase/photosystème présent dans les microorganismes photosynthétiques producteurs d'hydrogène. En effet, la production d'hydrogène par réduction de protons et utilisation de l'énergie de la liaison H-H par oxydation (pile à combustible) apparaît comme une solution particulièrement séduisante.

### ► Détoxication et homéostasie des métaux

Les métaux libres in vivo sont très toxiques. C'est pourquoi ils sont essentiellement présents dans la cellule à l'état complexé et que la concentration de leur forme libre est faible et finement régulée. Certaines régulations modulent les entrées et sorties des métaux. C'est le cas du cuivre qui, chez les mammifères, est assimilé via des transporteurs spécifiques du système digestif et dont l'excédent est excrété dans la bile par une ATPase membranaire. Cependant pour bien des métaux, il existe aussi un type de régulation amont qui influe sur la biosynthèse de protéines gouvernant l'homéostasie de ces métaux. L'étude des divers mécanismes conduisant à des résistances multiples et variées des organismes vivants permet d'analyser la relation entre spécificité ionique et toxicité, de comprendre les mécanismes fondamentaux liés à l'homéostasie des métaux lourds (régulation des concentrations relatives de part et d'autre des membranes) et enfin d'identifier les processus de bioremédiation (dépollution par voie biologique). Ces travaux sont réalisés chez les microorganismes (bactéries, levures), les plantes et les mammifères. Par exemple, une analyse différentielle du protéome d'*Arabidopsis thaliana* montre que plus de la moitié des enzymes de biosynthèse des acides aminés dépend de métaux, soit en tant que métaux de structure soit en tant que régulateurs. D'une manière générale, les mécanismes de contrôle impliqués dans la régulation de l'homéostasie des métaux concernent des systèmes aussi divers que :

- L'expression inductible de gènes codant pour les protéines assurant le métabolisme des métaux,
- le passage des métaux à travers les membranes grâce à des protéines de transport (ATPases, protéines ABC, canaux ioniques),
- l'implication de petites protéines navettes véhiculant les métaux vers tel ou tel partenaire dans les phénomènes de signalisation ou au cours de leur homéostasie.



Vers des systèmes biomimétiques pour la production de biohydrogène.



© IRTSV-LPV  
Système biomimétique protéique pour étudier la motilité cellulaire

#### 1.4.4 BIOLOGIE DES SYSTÈMES INTÉGRÉS : LA PROTÉINE DANS SON ENVIRONNEMENT

Gènes, ARN, protéines et métabolites sont les composants élémentaires des systèmes biologiques complexes gouvernés par des propriétés physiques et chimiques non réductibles à celles de ces composants élémentaires. L'étude des systèmes biologiques cherche à intégrer différents niveaux d'informations pour tenter de proposer des modèles de fonctionnement de la totalité du système. L'objectif est donc de comprendre les interactions entre différentes parties du système (cellules, organites, réseaux de protéines, de gènes, métabolites, etc.) permettant la communication au sein d'une cellule ou entre les cellules constituant l'organisme. Cette recherche met à l'épreuve de l'expérience concepts et mécanismes potentiellement transversaux dans le vivant ; pour cela, elle choisit les systèmes expérimentaux les plus appropriés, et interagit avec d'autres disciplines pour adapter aux problématiques abordées les outils des physiciens et des chimistes (spectrométrie de masse, imagerie, etc.), comme ceux des mathématiciens et des informaticiens (modélisation).

La biologie des systèmes intégrés commence donc avec l'étude des gènes et des protéines d'un organisme, en cherchant à suivre la dynamique de l'expression des gènes, des protéines ou des métabolites en réponse à une perturbation donnée. Ensuite, il s'agit de passer d'un niveau d'organisation élémentaire à un niveau d'organisation spatial ou temporel plus complexe. Les systèmes biologiques étudiés appartiennent à des microorganismes (bactéries, levures, amibe *Dictyostellium*), à des végétaux (*Arabidopsis thaliana*) ou des animaux (drosophile, souris, etc.). Les thèmes de recherche concernent l'intégration des réseaux de régulation de l'expression génique, les mécanismes de défense et réponses cellulaires aux stress, la signalisation et compartimentation cellulaire.

À côté des enjeux fondamentaux propres à chaque question biologique abordée, les enjeux technologiques des prochaines années concernent des domaines variés :

- ▶ En bioinformatique : la production, à des niveaux moléculaires, de très grandes quantités de données expérimentales et de connaissances implique désormais le développement d'outils afin d'intégrer l'ensemble de ces données et de leur donner du sens au niveau biologique,
- ▶ en biotechnologie : l'étude de la signalisation et des interactions entre cellules ou compartiments intracellulaires alimente une série de travaux dans des domaines aussi divers que la santé et l'agronomie,
- ▶ à l'interface biologie-technologie : les protéines qui s'auto-assemblent ou qui se structurent naturellement sont étudiées pour leur capacité à fournir des matériaux ou machineries utilisables en nano et microtechnologies.

## DES OUTILS POUR ÉTUDIER LA DYNAMIQUE DES SYSTÈMES BIOLOGIQUES

À partir des compétences historiques grenobloises dans le domaine de la biochimie des protéines, des expertises technologiques nouvelles ont été développées, afin d'étudier les protéines dans leur contexte fonctionnel, qu'elles soient isolées, ou présentes au sein de complexes ou de compartiments subcellulaires :

- ▶ La plate-forme de protéomique développe des outils informatiques pour l'analyse haut débit et la gestion des données de protéomique et l'annotation des génomes, ainsi que des méthodes innovantes basées sur la spectrométrie de masse pour l'analyse dynamique des protéomes
- ▶ le plateau d'imagerie cellulaire met en œuvre des stratégies d'imagerie optique (TIRF), de microscopie confocale et de microscopie électronique pour l'étude structurale et moléculaire de la dynamique des processus cellulaires et des assemblages moléculaires dans la cellule
- ▶ le Centre de criblage pour molécules bioactives vise à la découverte de molécules actives et de cibles pharmacologiques en explorant les fonctions physiologiques des protéines dans leur environnement cellulaire.

Les recherches effectuées bénéficient très largement des outils et expertises développés sur le site afin d'étudier les structures des protéines et des complexes supramoléculaires ainsi que leurs interactions. Elles impliquent aussi la transgénése qui permet de replacer le fonctionnement d'une protéine dans le contexte de l'organisme.

## AXES THÉMATIQUES

Deux principaux axes thématiques sont abordés sur le site.

### ▶ Réponse intégrée des organismes aux modifications de leur environnement

Les organismes vivants sont capables de percevoir les modifications de leur environnement et de moduler l'expression de leurs gènes afin de mettre en place une réponse adaptée, par exemple des mécanismes de défense lors d'un stress abiotique ou de l'agression par un agent pathogène. Les recherches effectuées sur le site concernent les deux phases de cette réponse intégrée. Dans un premier temps, les régulateurs (protéiques ou nucléiques) de l'expression génique agissent au niveau transcriptionnel ou traductionnel et forment des réseaux interconnectés qu'il faut caractériser pour comprendre la modification rapide du « paysage » protéomique. Sur le site, cet axe de recherche met en œuvre des approches multidisciplinaires couplant chimie des protéines et caractérisation structurale à la biologie cellulaire et à la génétique afin de comprendre des phénomènes biologiques aussi divers que la mise en place de la fleur chez les végétaux supérieurs, le contrôle de l'homéostasie des métaux, ou la mise en place des machines macromoléculaires d'export des toxines chez les bactéries pathogènes. Dans un second temps, il s'agit d'identifier les acteurs de la réponse à des stress variés. Par exemple, la réponse immunitaire innée constitue une première ligne de défense contre la présence d'agents pathogènes. D'autre part, les systèmes vivants mettent en œuvre une chimie redox complexe et induisent la synthèse d'enzymes spécifiques pour produire, signaler ou contrôler la production d'espèces réduites de l'oxygène et de l'oxyde nitrique.



La protéine BMP9 contrôle la circulation sanguine du tissu entourant l'embryon de poulet (CTL=expérience de contrôle)

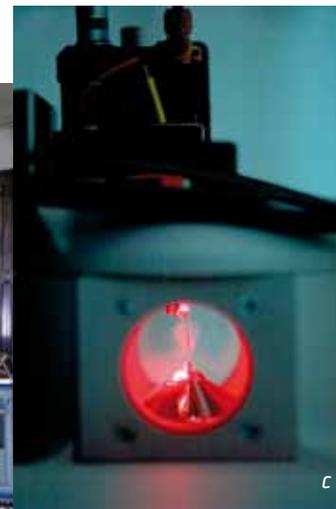
### ▶ Signalisation et compartimentation cellulaire

La compréhension des lois fondamentales qui gouvernent l'organisation de la cellule (division et morphogénèse cellulaires, biogénèse des compartiments cellulaires et fonctions associées) est essentielle pour comprendre la façon dont les fonctions normales se dérèglent. Une originalité du site est de faire reposer ces travaux sur des stratégies expérimentales innovantes (microsystèmes). Grâce à la mise en œuvre d'outils d'analyse protéomique très performants, l'inventaire et la dynamique des protéines présentes dans de nombreux compartiments subcellulaires ont été étudiés ouvrant ainsi la porte à des analyses fonctionnelles ciblées, comme l'étude de la compartimentation des voies métaboliques, celle de l'adressage des protéines dans les compartiments cellulaires ou de la régulation de la signalisation par l'endocytose de récepteurs. De la même manière que des mutations sont utilisées en génétique, le criblage cellulaire est utilisé pour explorer, au sein même de la cellule, le protéome à l'aide de molécules chimiques afin de déterminer la fonction des protéines ciblées par ces ligands. Enfin, des approches de transgénése, d'extinctions de gènes ou de microinjections permettent de replacer les observations dans les processus physiologiques au niveau de l'organisme entier. Couplées à de l'imagerie, ces approches expérimentales permettent d'analyser les principales voies de signalisation intracellulaire et leur régulation et les mécanismes moléculaires contrôlant, par exemple, la prolifération cellulaire et la vascularisation dans les tissus sains et tumoraux.

Partant de la connaissance fine, au niveau moléculaire, de la protéine et de ses partenaires, l'enjeu de ce champ thématique sera de décrire les réseaux d'interactions pour comprendre la fonction des systèmes biologiques à des niveaux d'intégration supérieurs, offrant ainsi un support de connaissances fondamentales au développement de nouveaux champs de recherche, en particulier en biotechnologie et dans le domaine des technologies pour le vivant et la santé.



© F. Rhodés/CEA



© F. Rhodés/CEA

Les diverses étapes de l'analyse protéomique. (a) Découpe de bandes de gel contenant les protéines d'intérêt qui ont été séparées par électrophorèse. Ces protéines sont ensuite analysées par spectrométrie de masse. (b) Spectromètre de masse de haute précision et chromatographie liquide « nano-débit ». (c) Les fragments de protéines (peptides) à analyser sont nébulisés dans la source « electrospray » du spectromètre de masse.

### PLATE-FORME PROTÉOMIQUE

La plate-forme protéomique du CEA a pour vocation de contribuer à la compréhension de processus biologiques par le développement de méthodologies de pointe dans le domaine de la spectrométrie de masse appliquée à l'analyse des protéines. Les missions de la plate-forme sont :

- ▶ La mise au point de nouvelles approches méthodologiques et leur application à des problématiques fondamentales et appliquées, en particulier dans le domaine de la santé et de l'environnement,
- ▶ l'ouverture au monde académique et au monde industriel,
- ▶ l'animation scientifique et la formation dans le domaine de la Protéomique.

Les recherches sont centrées sur :

- ▶ L'identification et la quantification de marqueurs de pathologies dans les fluides biologiques,
- ▶ les contrôles qualité de l'eau, de l'air et des aliments,
- ▶ l'analyse de la dynamique des protéomes cellulaires dans un contexte de biologie intégrative et systémique.

Les techniques utilisées incluent :

- ▶ Utilisation de la spectrométrie de masse à très haute résolution pour l'analyse quantitative et à haut débit d'échantillons biologiques complexes,
- ▶ quantification absolue de protéines « cibles » dans des échantillons biologiques complexes,
- ▶ caractérisation et quantification des modifications post-traductionnelles des protéines,
- ▶ développement de logiciels pour la gestion et l'analyse des données issues des spectromètres de masse.

LES ACTIVITÉS  
RECHERCHE-INDUSTRIE,  
POUR UN TRANSFERT  
ACCRU VERS LA SOCIÉTÉ



**2.1 LES PLATES-FORMES**

**TECHNOLOGIQUES**

**RECHERCHE-INDUSTRIE**

**2.2 LA VALORISATION**

## 2.1 LES PLATES-FORMES TECHNOLOGIQUES RECHERCHE-INDUSTRIE

Le développement de nouveaux produits et services dans les domaines de l'information, de la communication, du transport, de l'habitat et de la santé suppose que soient intégrés dans les composants et les systèmes des fonctions de plus en plus nombreuses et de plus en plus diversifiées.

Seuls des centres pluridisciplinaires et dotés de moyens technologiques lourds peuvent aujourd'hui jouer un rôle international.

- ▶ Multidisciplinarité : l'intégration concerne aussi bien des composants électroniques (traitement de l'information), électromagnétiques (communication), électro-optiques (chaîne de l'image) que des dispositifs chimiques (capteurs), biologiques (diagnostic, thérapie). Au côté de ces objets hétérogènes sont embarqués les logiciels qui permettent aux produits et systèmes de remplir leur fonction.
- ▶ Moyens technologiques lourds : l'intégration de composants matériels nanométriques requiert des moyens de fabrication et de caractérisation de plus en plus sophistiqués et coûteux. La conception de ces composants nécessite des moyens de CAO puissants.

Le CEA, le CNRS, l'UJF et Grenoble INP ont mis en place des plates-formes d'intégration dans le domaine de l'électronique au sens large et des nouvelles technologies de l'énergie (NTE). Ces plates-formes sont le lieu d'une intense collaboration recherche-industrie.

Grenoble dispose, avec le CEA-LETI, du seul centre public au monde offrant à la fois une centrale d'intégration complète en 300 mm (c'est-à-dire, capable de mettre en œuvre des disques de silicium de 300 mm de diamètre) pour le CMOS ultime et un centre d'intégration hétérogène en 200 mm pour l'activité « more than Moore ».

Les plates-formes sont les points de passage et souvent d'aboutissement de nombreux projets européens (Joint technology Initiatives ou European Technology Platforms par exemple) impliquant les grandes fonderies de la microélectronique : STMicroelectronics, SOITEC, IBM, Infineon, Quimonda, NXP, Freescale ou NEC, ainsi que les équipementiers Applied Material, TEL, FEI ou Mapper Lithography. Au côté de ces capacités d'intégration de premier plan en nanotechnologies, le site de GIANT rassemble aussi des capacités d'intégration en biotechnologies et en NTE.

GIANT peut donc promouvoir l'intégration des nouvelles technologies sans barrière entre les nanomatériaux, les nanotechnologies, les biotechnologies, les énergies renouvelables, en embarquant l'intelligence nécessaire dans les composants et systèmes. Tous ces développements sont réalisés en prenant en compte les contraintes de durabilité et de respect de l'environnement : économie des matières premières, maîtrise des risques associés à la synthèse de nano-objets, remplacement progressif de la chimie traditionnelle par de la « chimie verte » ou analyse des cycles de vie. Il se place ainsi comme un plein acteur des pôles de compétitivité Minalogic, TENERDIS et LyonBioPôle.

## 2.1.1 NANOTECHNOLOGIES //

### LA PLATE-FORME SILICIUM 300 MM

La plate-forme technologique 300 mm du LETI place GIANT parmi les 6 sites de R&D de rang mondial en nanoélectronique aux côtés d'Albany et de Sematec aux USA, d'AIST au Japon, de l'IMEC et du FhG-CNT en Europe. La plate-forme 300 mm du site grenoblois permet de réaliser des dispositifs nanométriques intégrant les dernières générations de matériaux et mettant en œuvre les méthodes de fabrication les plus avancées afin de répondre aux spécifications des générations technologiques 22 nm et 16 nm. Elle a été labellisée par les grands sites industriels comme ceux de STMicroelectronics à Crolles et d'IBM à Albany pour valider l'intégration de nouvelles briques technologiques dans des circuits fabriqués par ces sites. Une cellule complète de lithographie 300 mm a été installée afin d'atteindre des résolutions de 10 nm et d'explorer de nouvelles architectures aptes à limiter l'influence de la variabilité des procédés et à poursuivre la miniaturisation.



© CEA-LETI / Ph. Stroppa

Salle blanche 300 mm



© CEA-LETI / G. Cottet

Cellule lithographie 300 mm

## 2 LES ACTIVITÉS RECHERCHE-INDUSTRIE, POUR UN TRANSFERT ACCRU VERS LA SOCIÉTÉ

LES PLATES-FORMES  
TECHNOLOGIQUES  
RECHERCHE-INDUSTRIE

LA VALORISATION



© C CEA-LETI

Écran miniature haute résolution



© CEA-LETI / Ph. Stroppa

Salle blanche 200 mm

La plate-forme 300 mm du CEA permet de mener les programmes de R&D dans le cadre des partenariats stratégiques avec STMicroelectronics, IBM, SOITEC et avec les principaux équipementiers impliqués dans le développement de nouvelles méthodes de fabrication ou de métrologie.

Les 4 programmes majeurs des technologies « more than Moore » tirées par la miniaturisation concernent

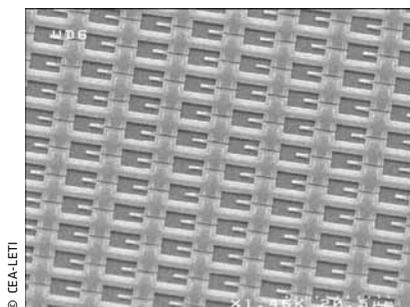
- ▶ La lithographie sub 32 nm en technologie optique (193 nm) et en technologie sans masque, la plate-forme 300 mm sera le seul site de R&D permettant aux fabricants de circuits intégrés, de masques et de résine, et aux sociétés d'outils logiciels d'évaluer un nouveau système de lithographie basée sur une technique de multi faisceaux d'électrons développée par une start-up Européenne, MAPPER,
- ▶ les dispositifs de silicium sur isolant (SOI). Le partenariat stratégique entre le CEA et SOITEC, premier fabricant mondial de substrats SOI et l'excellence des partenaires de GIANT sur toute la chaîne de développement des technologies SOI confèrent à GIANT une spécificité incontestée dans ce domaine par rapport aux centres de R&D mondiaux et place le CEA en position de proposer une solution viable pour les technologies 22 nm et au-delà,
- ▶ les architectures en rupture basées sur l'intégration de nanofils et sur de nouveaux concepts de logique et de mémoire, bénéficiant de la pluri-disciplinarité des partenaires de GIANT, de la complémentarité de ses plateformes, notamment en caractérisation et en technologie avancée, et de la proximité de l'ESRF,
- ▶ les matériaux et les technologies d'intégration associées tels que les nouvelles générations de substrats développées avec SOITEC intégrant des propriétés de contrainte, de dissipation thermique et d'isolation électrostatique, l'épitaxie de SiGe, les dépôts par couches atomiques, gravure par couches atomiques, préparation de surface.

Cette plateforme supporte également le développement de technologies différentiantes à partir de la maîtrise de technologies d'empilement et de connexions, plaçant les partenaires de GIANT au cœur des développements de produits basés sur des technologies embarquées .

#### LA PLATE-FORME SILICIUM 200 MM

La plate-forme 200 mm du CEA permet de réaliser des composants hétérogènes, sur la puce ou dans un système, à partir de techniques d'intégration 3D, de report 2D et d'interconnexions. Cette flexibilité permet de développer plusieurs filières technologiques avec des partenaires industriels intégrateurs ou fabricants de microsystèmes, provenant de secteurs traditionnels ou du secteur du semi-conducteur.

La plate-forme 200 mm dispose de moyens de conception, de fabrication, de suivi de qualité et de test permettant de réaliser des dispositifs en petites séries. Cette phase de « prototypage » permet de devancer le transfert industriel et de tester le marché.



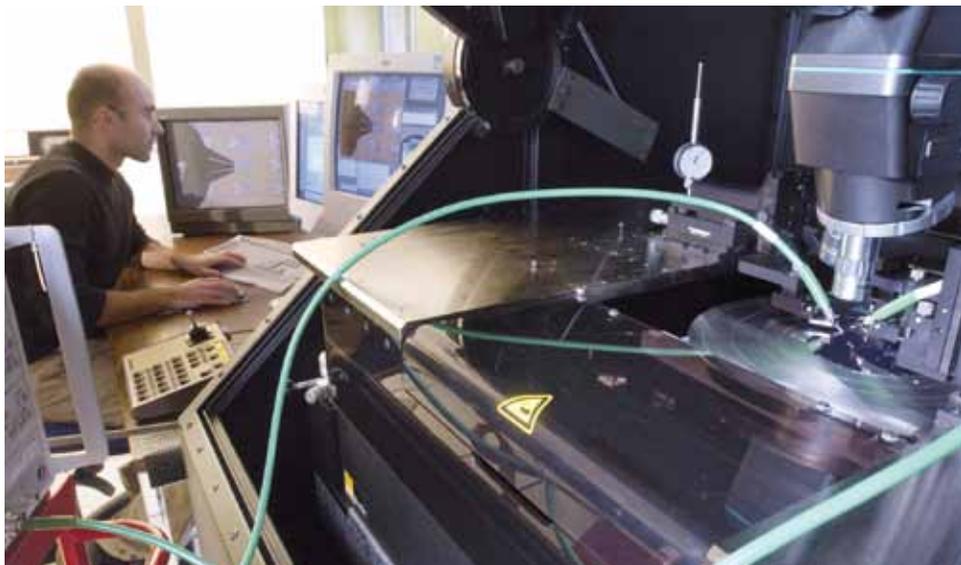
Réseau de nanorésonateurs (NEMS)

De nombreuses filières sont disponibles : capteurs inertiels (capteurs magnétiques), capteurs d'image visibles, micro bolomètres (infrarouge), MEMS RF, micro display OLED, photonique sur silicium, et spintronique. Elles mettent en œuvre des technologies génériques d'intégration 3D, de report sur couches (puce sur plaque ou plaque sur plaque) et de « packaging ».

La plate-forme 200 mm est ouverte dans le cadre de la HTA (Alliance sur les Technologies Hétérogènes entre CSEM, FhG, VTT et le CEA) aux partenaires industriels européens qui ont besoin d'accéder à un large éventail de technologies qu'aucune plate-forme technologique ne peut offrir à elle seule.

Des partenariats stratégiques sont par ailleurs conclus en amont des activités menées au CEA-LETI. Concernant les NEMS par exemple, un partenariat avec CALTECH a démarré fin 2007 permettant 6 mois plus tard de sortir les premiers lots constitués de millions de NEMS. Des résultats montrant un gain en sensibilité de 30 % ont été atteints en 2008 avec des réseaux de NEMS ouvrant la porte à des systèmes complexes de détection ultra sensible de gaz basés sur le changement de fréquence de résonance de nanorésonateurs. Un programme de commercialisation commun entre le CEA et CALTECH devrait permettre de valoriser ces résultats.

L'essentiel de l'activité de la plate-forme 200 mm s'effectue dans le cadre de coopération Industrie - recherche. Les transferts récents concernent des capteurs inertiels (produits par Freescale Japan), un filin d'assemblage 3D pour capteurs d'image (produits par STMicroelectronics), une filière micro-bolomètre (produite par SOFRADIR) ou des composants passifs intégrés RF (produits par STMicroelectronics).



© CEA-LETI

Mesures sous pointes radio-fréquence

## LE CENTRE DE CONCEPTION

Le centre de conception du CEA réunit plus de cent concepteurs. Il permet de modéliser, de concevoir, de faire fabriquer (lien avec les plates-formes 200 mm / 300 mm et accord avec des fondeurs) et de tester des circuits intégrés complexes. Ce centre de conception est impliqué dans des collaborations avec de nombreuses entreprises parmi lesquelles des systémiers comme Thales, Nokia, des fabricants de modules et de logiciel comme Fujitsu, la start up Movea, et des fabricants de circuits intégrés tel que STMicroelectronics, Freescale ou la start up Kalray. Il permet d'avoir accès à des fonderies comme celle de STMicroelectronics à Crolles ou celle d'IBM à Fishkill pour valider de nouveaux design. Ses travaux portent d'une part sur la conception de systèmes tirant le meilleur parti des technologies en ruptures développées au CEA-LETI, d'autre part sur des développements de fonctions à partir des technologies actuelles accessibles dans les fonderies. Le triangle conception - fabrication - caractérisation permet de valider des solutions innovantes et réalisables industriellement dans les domaines suivants :

- ▶ Maîtrise de la consommation, tolérance à la variabilité, redondance,
- ▶ circuits hétérogènes - design 3D,
- ▶ circuits CMOS et RF (bruit / crosstalk),
- ▶ nouveaux dispositifs (FDSOI, multi-grille, MEMS RF, électronique organique),
- ▶ circuits de lecture pour imagerie médicale, infrarouge et visible,
- ▶ circuits de commande pour électronique proche capteur.



Microscope électronique  
à balayage haute résolution



Salle rayons X



Spectromètre Raman

## CONSORTIUM DES MOYENS TECHNOLOGIQUES COMMUNS (CMTC)

Créé en 1977 au sein de Grenoble INP, le CMTC est une plate-forme de caractérisation physico-chimique et microstructurale. Elle joue un rôle fondamental de soutien scientifique et technique à la recherche (pôles matériaux, énergie et micro-nano technologies de Grenoble INP) et à la formation. Le CMTC est également prestataire de services pour d'autres établissements et centres de recherche publics ou privés. Il est doté de moyens de caractérisation répartis dans quatre centres de compétences : la microscopie électronique et les techniques d'analyse associées, l'analyse par rayons X, la caractérisation optique et la préparation d'échantillons. Le CMTC propose plusieurs approches pour répondre à la demande de ses partenaires ou clients dans le domaine de la caractérisation :

- ▶ Assurer la caractérisation nécessaire à l'avancement des programmes de recherche de Grenoble INP et de ses partenaires,
- ▶ développer des compétences et des savoir-faire, expertise,
- ▶ former aux techniques de caractérisation,
- ▶ permettre l'accès aux équipements de caractérisation après formation,
- ▶ réaliser des prestations de caractérisation : la plate-forme CMTC propose ses services à plus d'une centaine d'entreprises du bassin grenoblois et de la région Rhône-Alpes,
- ▶ développer de nouvelles techniques de caractérisation.

Les axes de développement sont :

- ▶ Le développement de la spectrométrie Raman dans l'UV profond pour la caractérisation de nano-objets en partenariat avec le CEA,
- ▶ le développement des techniques de préparation par faisceau d'ions (FIB) en partenariat avec les plates formes PFNC (Plate-Forme de Nano-Caractérisation) et PTA (Plate-forme Technologique Amont),
- ▶ le développement de la microscopie électronique à balayage à pression contrôlée.

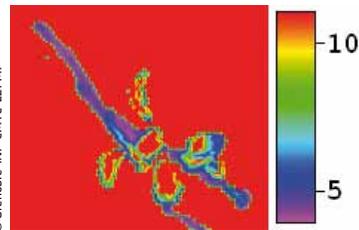
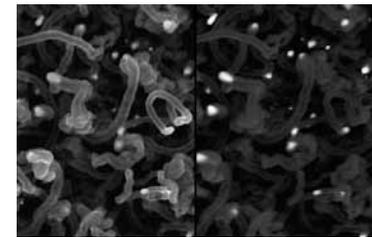


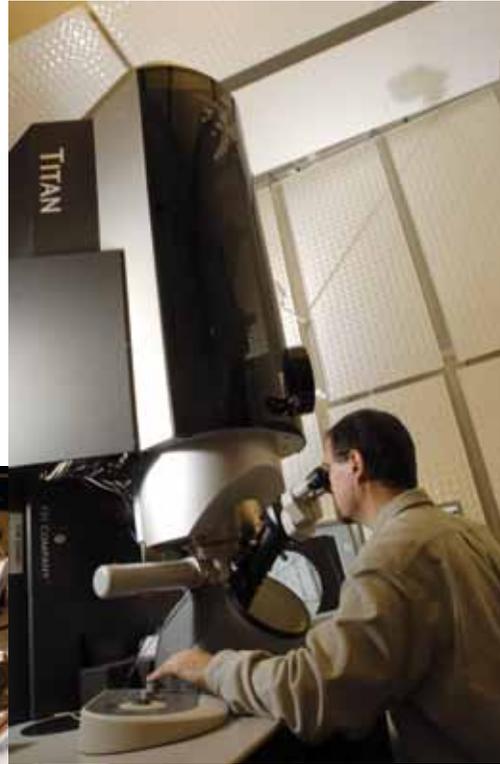
Image Raman de microfils de silicium



Images de nanotubes de carbone

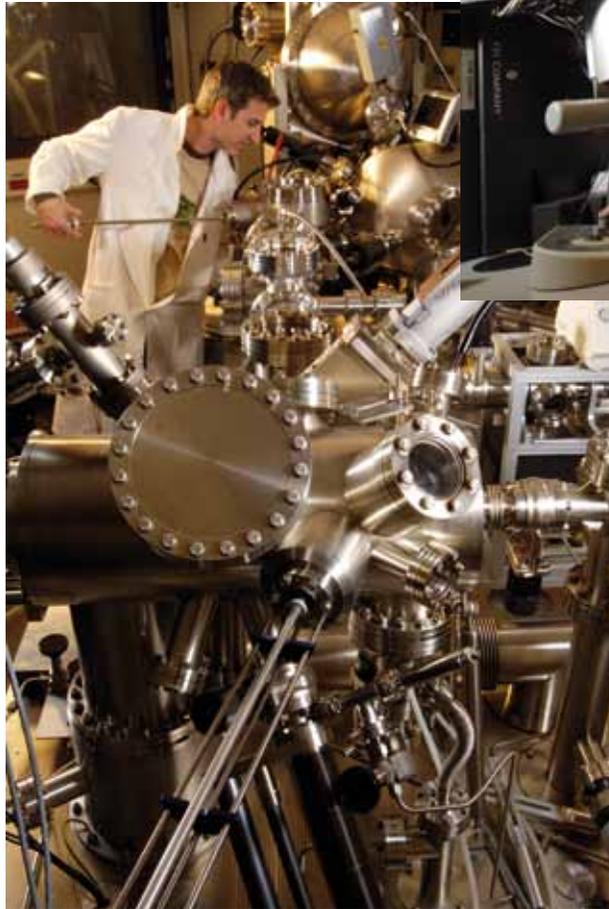


Etude par diffraction X de la texture cristallographique  
d'une couche mince d'oxyde de Ce



Microscope électronique à transmission

© CEA-LETI / P. STROPPA



Spectroscopie électronique pour analyse chimique

### LA PLATE-FORME DE NANOCARACTÉRISATION (PFNC)

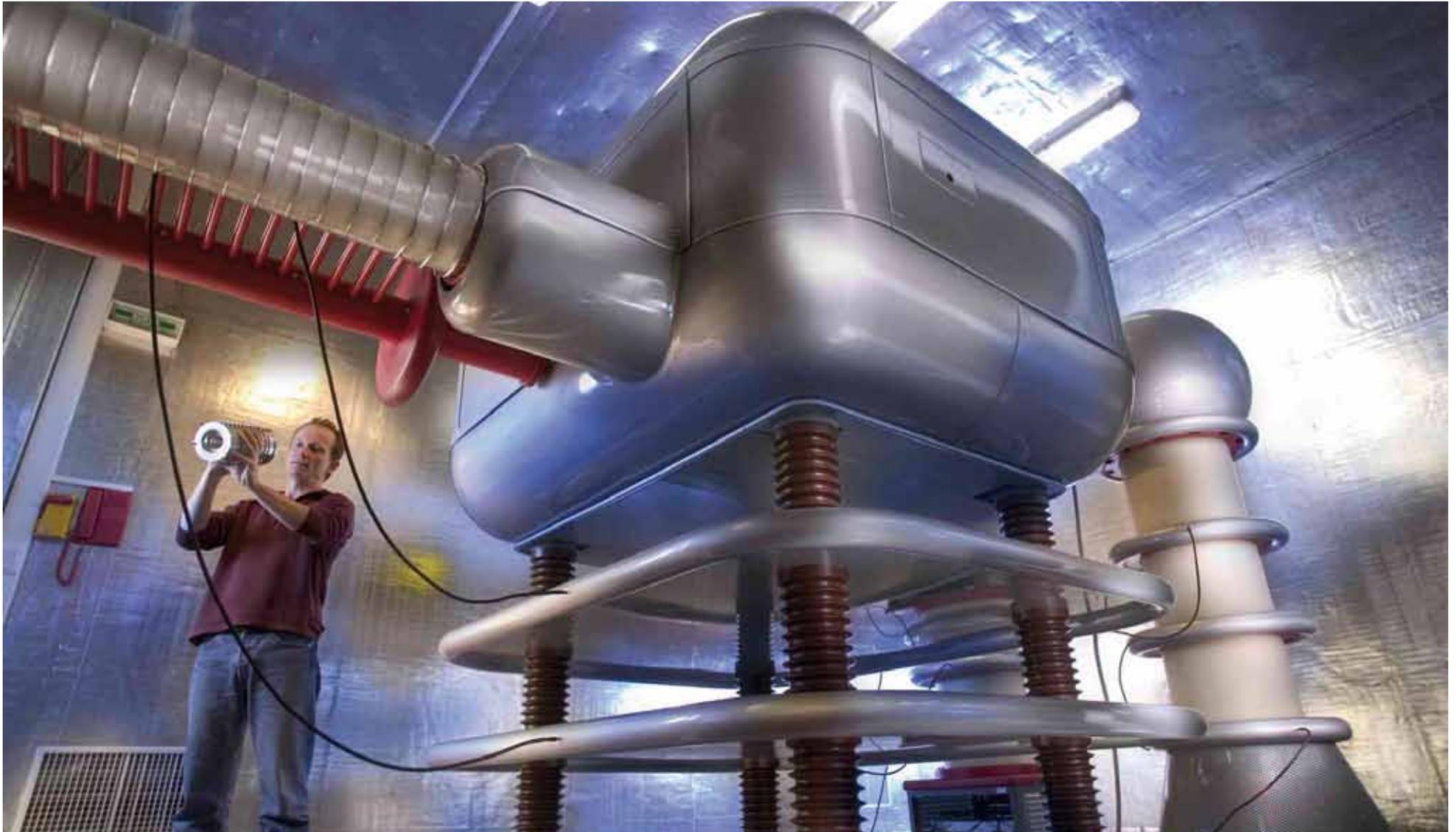
Créée en 2004 au sein de Minatec, la PFNC regroupe les moyens de caractérisations lourds des instituts grenoblois du CEA. Cet outil, unique en Europe, développe les nouvelles techniques de caractérisation physico-chimiques autour de divers domaines scientifiques : micro et nanotechnologies, nanomatériaux, matériaux pour l'énergie ou biotechnologies.

La PFNC est dotée de moyens de caractérisation répartis dans huit centres de compétences : l'analyse par faisceaux d'ions, l'analyse par rayons X, l'analyse de surface, la microscopie électronique, la microscopie en champ proche, la caractérisation optique, l'analyse des propriétés mécaniques et la préparation d'échantillons. La PFNC propose plusieurs approches pour répondre à la demande de ses partenaires ou clients dans le domaine de la nanocaractérisation physique :

- ▶ Développer de nouvelles techniques de caractérisation,
- ▶ mettre en œuvre des programmes conjoints nationaux ou internationaux pour financer les développements de techniques de caractérisation,
- ▶ assurer une expertise sur un domaine ou une technique dont le partenaire a besoin,
- ▶ permettre l'accès aux équipements de caractérisation après une formation,
- ▶ réaliser des prestations de caractérisation standard avec des partenaires du CEA,
- ▶ former les partenaires aux techniques de caractérisations,
- ▶ optimiser l'utilisation des équipements par une collaboration avec un prestataire de service en caractérisation (SERMA Technologie).

Les axes de recherches et de développement de la caractérisation sont :

- ▶ La visualisation des dopants des jonctions ultra fines des CMOS en microscopie électronique en transmission par holographie (STMicronics, IBM),
- ▶ la mise au point de nouvelles techniques d'analyse par rayons X (ESRF, XENOCs),
- ▶ le développement des techniques de préparation conventionnelle et par faisceau d'ions (SERMA Technologie),
- ▶ la caractérisation des nanotubes de carbone par imagerie photoélectronique XPEEM et des nanofils par microscopie électronique à balayage et par spectroscopie RAMAN (Grenoble INP).



© CEA-LET / Christian MOREL

Microscope à diffusion d'ions de moyenne énergie

### LE CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE MICROÉLECTRONIQUE ET DE NANOTECHNOLOGIE (CIME NANOTECH)

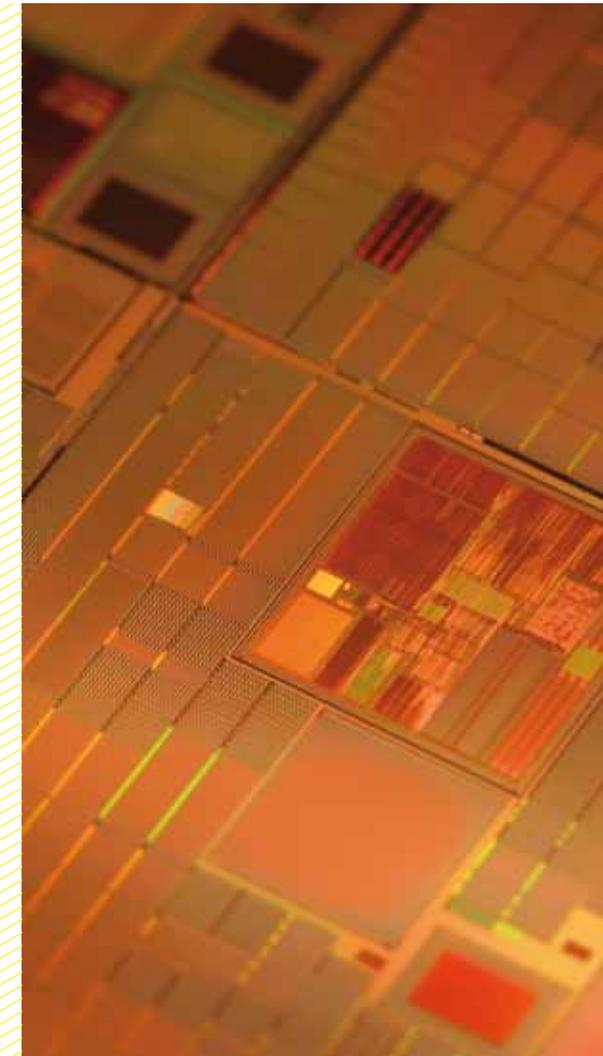
*CIME Nanotech est une plate-forme de ressources pour les micro- et nanotechnologies avec une triple mission formation-recherche-valorisation. Ce centre est géré conjointement par Grenoble INP et l'UJF et ouvert aux universités françaises dans le cadre du réseau CNFM (Coordination Nationale de la Formation en Microélectronique). Il a été créé en 1981 et il est localisé depuis 2006 au pôle Minatec.*

*CIME-Nanotech est constitué aujourd'hui d'un ensemble de huit plates-formes tournées vers la micro et nano-électronique, les bio-technologies, l'hyperfréquence et l'optique guidée, les objets communicants, les microsystèmes et les capteurs. Cet ensemble, coordonné aux plates-formes de recherche du site, offre un service unique et met à la disposition des filières d'enseignements et des laboratoires de recherche des moyens et des équipements de toute première qualité. CIME Nanotech dispose d'une surface de 3 000 m<sup>2</sup> et d'une salle blanche de 750 m<sup>2</sup>. La plate-forme « salle blanche » est mutualisée avec la Plateforme Technologique Amont (PTA) et le laboratoire IMEP-LAHC.*

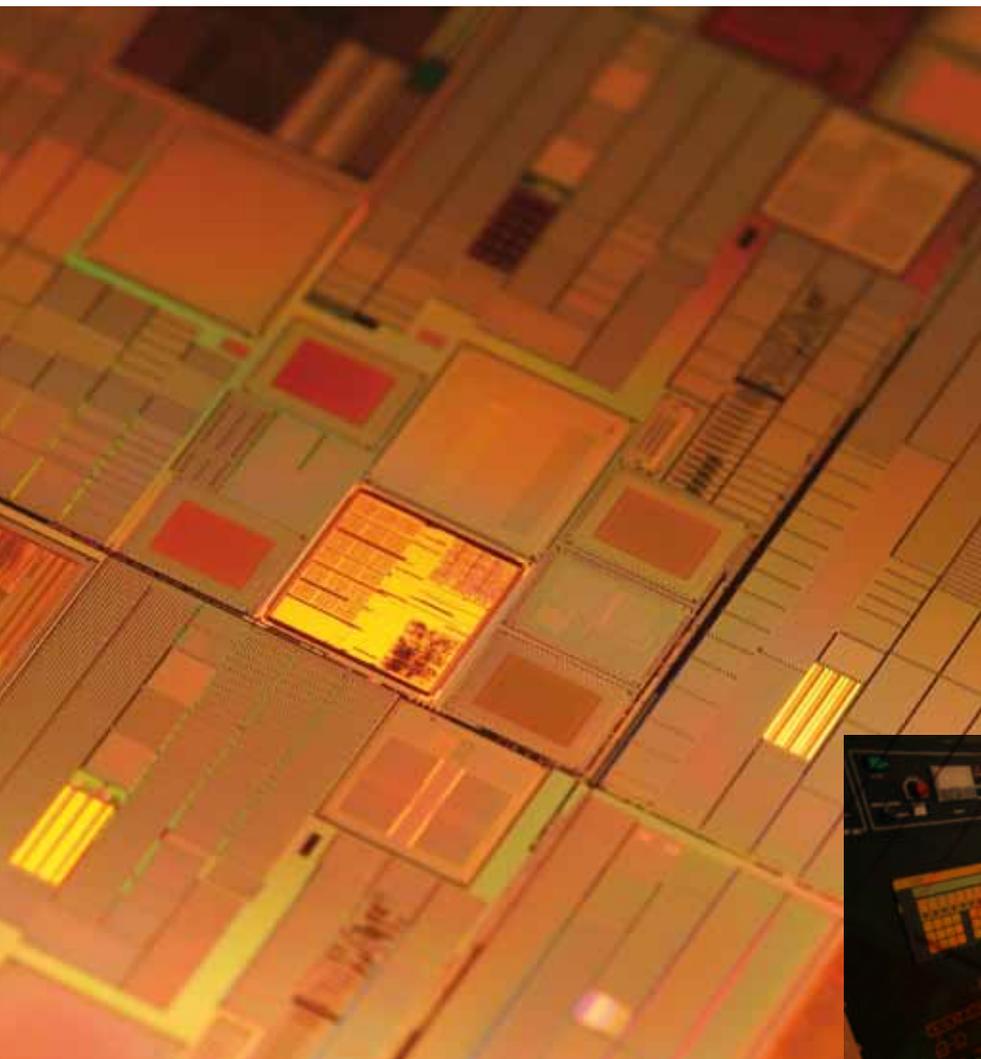
*Les huit plates-formes de CIME-Nanotech, ouvertes aux chercheurs et aux industriels, sont :*

- ▶ *Salle blanche constituée de toutes les briques de la filière d'élaboration de circuits intégrés (bâti de dépôts, gravure, traitements thermiques, photolithographie, implantation ionique, gravure profonde...),*
- ▶ *caractérisation électrique de composants intégrés : mesure en courants (continu, transitoire, alternatif), mesures d'impédance, stations sous pointe,*
- ▶ *nanomonde : caractérisation aux échelles nanométriques en champ proche (AFM, STM, profilomètre-vibromètre),*
- ▶ *conception et test : outils CAO de conception des circuits intégrés pour la microélectronique (analogiques et/ou numériques) et les microsystèmes / outils techniques pour prototypage (cartes FPGA, station de test...)*
- ▶ *objets communicants : outils permettant la mise en œuvre des technologies et méthodologies dans le domaine des télécommunications (systèmes embarqués, réseaux, systèmes sur puce...),*
- ▶ *hyperfréquence et optique guidée : développement et caractérisation de systèmes radiofréquences et d'optique guidée (logiciels de simulation et conception, bancs de test et équipements de mesure associés),*
- ▶ *biotechnologies : techniques de base des biotechnologies et de préparation de matériels biologiques (160 m<sup>2</sup> de salles dédiées à la biologie moléculaire, aux cultures cellulaire et bactérienne),*
- ▶ *microsystèmes et capteurs : développement et caractérisation de micro-capteurs, micro-actionneurs, micro-sources d'énergie, micro-antennes (caractérisations multiphysiques).*

*CIME-Nanotech maintient aussi une importante activité de formation continue (conception, caractérisation, technologie en salle blanche...) auprès d'industriels.*



Circuit intégré développé au CIME-Nanotech



© CIME Nanotech



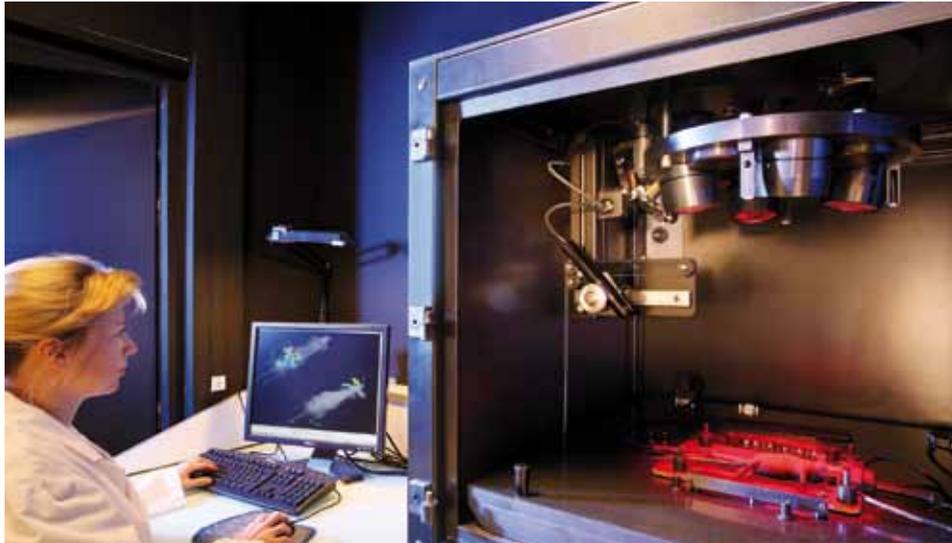
© CIME Nanotech

Gravure profonde en salle blanche



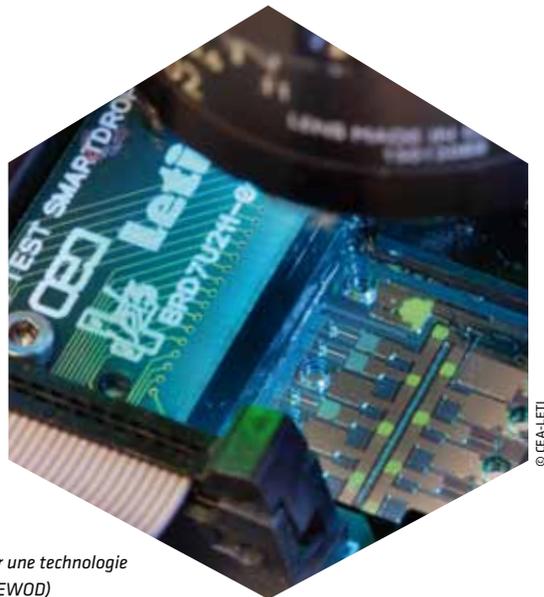
© CIME Nanotech

Nanomanipulateur à retour d'effort



© Gérard Cortier / CEA-LETI

Instrumentation pour l'imagerie optique moléculaire



© CEA-LETI

Détection biologique basée sur une technologie  
de microfluidique sur goutte (EWOD)

## 2.1.2 BIOTECHNOLOGIES

### LA PLATE-FORME NANOBIO

Le projet NanoBio a été initié par le CEA, l'UJF et le CHU de Grenoble. Il regroupe des plates-formes sur le Domaine Universitaire et sur le site GIANT, et dispose ainsi de moyens de conception, de fabrication et de test de dispositifs associant biotechnologies et nanotechnologies.

Sur le site de GIANT, la plate-forme NanoBio s'appuie sur les compétences et les moyens des laboratoires dans les domaines de l'imagerie médicale, de l'imagerie moléculaire optique, des microsystèmes, de l'instrumentation et du traitement de l'information, tournés vers les applications dans les domaines de la biologie, du diagnostic in vivo et in vitro, et de la santé. La recherche amont en biologie s'appuie également sur les moyens de cette plate-forme. Les thématiques de recherche abordées sont les suivantes :

- ▶ Les nanomatériaux et nanostructures pouvant être interfacés avec le vivant et la vectorisation/délivrance de molécules in vivo,
- ▶ les microsystèmes et la chimie pour la détection et l'analyse biomoléculaire in vitro,
- ▶ les outils d'analyse moléculaire et d'imagerie.

Les produits et services issus des recherches et développements de NanoBio sont orientés vers l'amélioration de la qualité de vie dans les domaines de la santé, de l'environnement et de la sécurité :

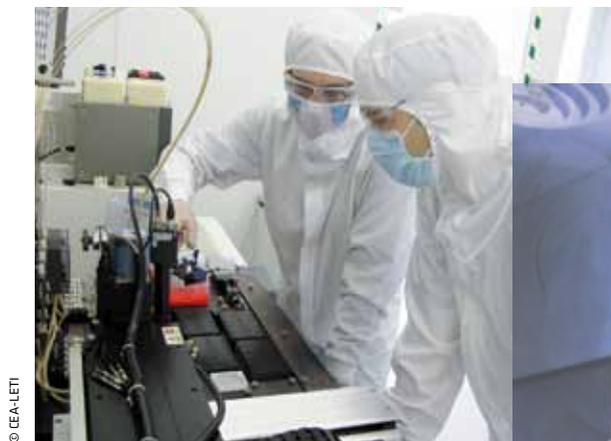
- ▶ Diagnostic biologique au moyen de biopuces ou microsystèmes permettant une analyse des paramètres biologiques proches du patient et des systèmes d'imagerie permettant la détection précoce des maladies,
- ▶ thérapie par des « vecteurs » de médicaments plus spécifiques de l'organe visé et des systèmes d'intervention chirurgicaux moins invasifs pour le patient,
- ▶ mise au point de systèmes permettant un « criblage » de médicaments candidats,
- ▶ surveillance de l'environnement et contrôle de la qualité des processus agroalimentaires par des systèmes miniaturisés détectant des traces des substances pathogènes,
- ▶ recherche médicale et en sciences de la vie : nouveaux concepts et instruments pour repousser la frontière de la connaissance (mécanismes biologiques à l'échelle de la cellule, identification des protéines impliquées dans une maladie...).

Pour les validations précliniques et cliniques des solutions innovantes développées, la plate-forme Nanobio est étroitement connectée aux CHU de Grenoble et de Lyon.



© CEA-LETI / Gilles Galoyer

Laboratoire sur puce: Puce ADN



© CEA-LETI

Robot dépôt piézoélectrique



© P. Avavian / CEA-LETI

Émulsion lipidique pour imagerie optique

## LA PLATE-FORME CHIMIE

La plate-forme Chimie, financée également dans le cadre du projet Nanobio, dispose des moyens d'études, de réalisation et de caractérisation pour réaliser l'interface chimique entre un objet et son environnement, soit pour immobiliser des molécules, soit pour programmer des fonctions, tout en prenant en compte les contraintes de fabrication et de reproductibilité afin de préparer les transferts industriels. Elle dispose des moyens nécessaires aux différentes compétences développées :

- ▶ Fonctionnalisation de surface sur substrats inorganiques et organiques de l'échelle macroscopique à l'échelle nanométrique,
- ▶ synthèse organique en milieux solvants et aqueux,
- ▶ chimie des colloïdes.

Les compétences développées s'articulent autour de deux grands axes :

- ▶ La chimie 2D qui conduit à des architectures chimiques intégrées dans des microsystèmes, des circuits électroniques, des batteries, etc.,
- ▶ la chimie 3D qui conduit à des architectures chimiques autonomes construites à partir de nanostructures. Les domaines d'applications couvrent la microélectronique, les capteurs, les biotechnologies et les énergies nouvelles.

### LA PLATE-FORME CLINATEC®

En partenariat avec le CHU et l'INSERM, le CEA-Grenoble a démarré le projet CLINATEC®, nouveau centre de recherche biomédicale dédié aux applications des micro-nanotechnologies pour la santé rassemblant en un lieu unique des équipes pluridisciplinaires. Le centre se développe, dans un premier temps, autour de trois axes de recherche identifiés :

- ▶ Neuroprothèses pour la suppléance fonctionnelle,
- ▶ dispositifs médicaux pour la neurostimulation,
- ▶ dispositifs pour la délivrance localisée de médicaments.

Ce centre est complémentaire du plateau technique NEUROSPIN à Saclay, en neuroimagerie par résonance magnétique à très haut champ pour comprendre le cerveau humain, son fonctionnement, son développement et ses dysfonctionnements, et du centre de recherche préclinique MIRCEN à Fontenay aux Roses, pour concevoir, mettre en œuvre et valider des thérapies innovantes contre les maladies neurodégénératives, cardiaques, hépatiques et infectieuses.

Le concept de base de CLINATEC® est de rassembler en un lieu unique, des équipes pluridisciplinaires composées de cliniciens, biologistes, chercheurs, technologues, ingénieurs, pour accélérer le transfert de la recherche technologique et biomédicale vers le patient. Cette plate-forme est destinée à pouvoir réaliser des implantations de prototypes technologiques innovants chez des sujets patients porteurs de pathologies diverses, sous le couvert du Comité de Protection des Personnes du CHU de Grenoble et de l'AFSSAPS.

Il s'agit d'un hôtel à projets, un lieu où se rassembleront des cliniciens, des chercheurs en neurosciences et des biologistes, pouvant interagir sur place avec des experts en micro-nanotechnologies, dotés des équipements de recherche les plus avancés, qui mettent à leur disposition leur savoir-faire et leur inventivité. Le plateau technique devra ainsi permettre aux médecins et chirurgiens de développer leurs propres procédures médicales et chirurgicales tout en participant, par leur compétence de soins, à l'amélioration des équipements techniques nécessaires aux avancées de leurs pratiques. Le principe du lieu unique regroupant toutes les disciplines de recherche permet cette réduction du temps entre le concept médical et la mise à disposition des patients des nouveaux traitements. Dans cette perspective, CLINATEC® s'appuie également sur une collaboration étroite avec l'industrie pour une mise en application rapide.



Vue d'artiste du bâtiment CLINATEC®

Un nouveau bâtiment sur le site de GIANT comprendra :

- ▶ Une zone technologique : définition et intégration des briques technologiques réalisées dans MINATEC en réponse aux besoins des cliniciens,
- ▶ une zone de mise en œuvre préclinique : première phase d'évaluation des prototypes, études de toxicologie, biocompatibilité et fonctionnalités des dispositifs.
- ▶ une zone de mise en œuvre clinique des dispositifs chez l'homme, dont l'exploitation est réalisée conjointement avec le CHU Grenoble. Cette zone comporte une salle d'opération du futur avec une IRM à 1,5 Tesla intraopératoire mobile, un robot stéréotaxique, une installation radiologique bidirectionnelle, ainsi que des moyens d'imagerie fonctionnelle dont une MEG, des chambres dédiées à ce type de recherche techno-clinique et une salle de mise en œuvre chez le malade de ces dispositifs,
- ▶ une zone de communication avec un amphithéâtre et des moyens d'information des associations de patients, des fondations, des étudiants, et des industriels.

Le fil directeur unissant ces projets est le développement de thérapies et de modalités diagnostiques efficaces fondées sur une action locale aussi peu invasive que possible. La complémentarité des équipes médicales, technologiques et biologiques réunies dans un même site est un atout unique d'efficacité et de sécurité pour valider les approches médico-technologiques innovantes.

### 2.1.3 NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR L'ÉNERGIE



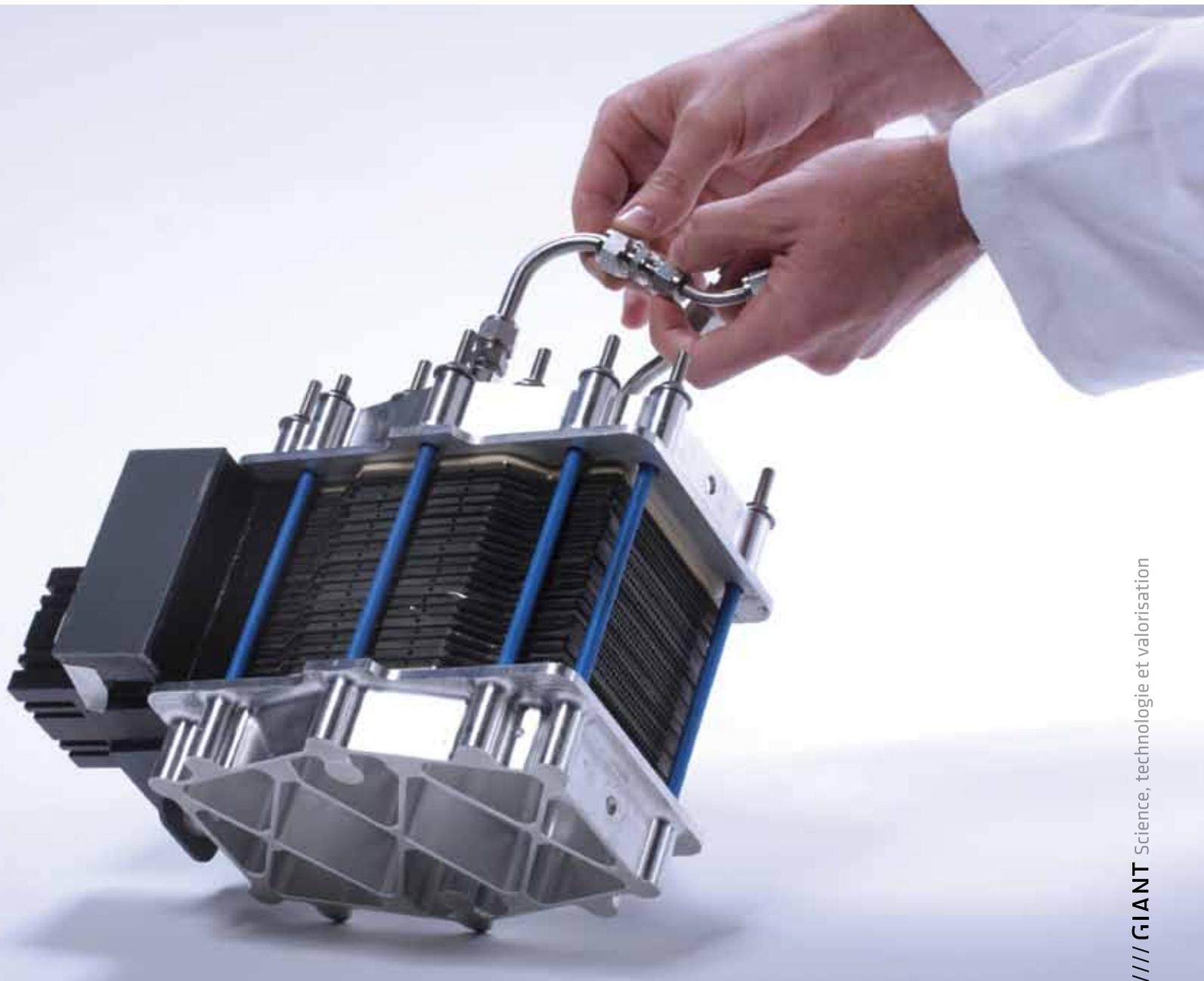
© PF Crosjean / CEA-LITEN

*Machine d'enduction permettant de déposer les matériaux d'électrode*

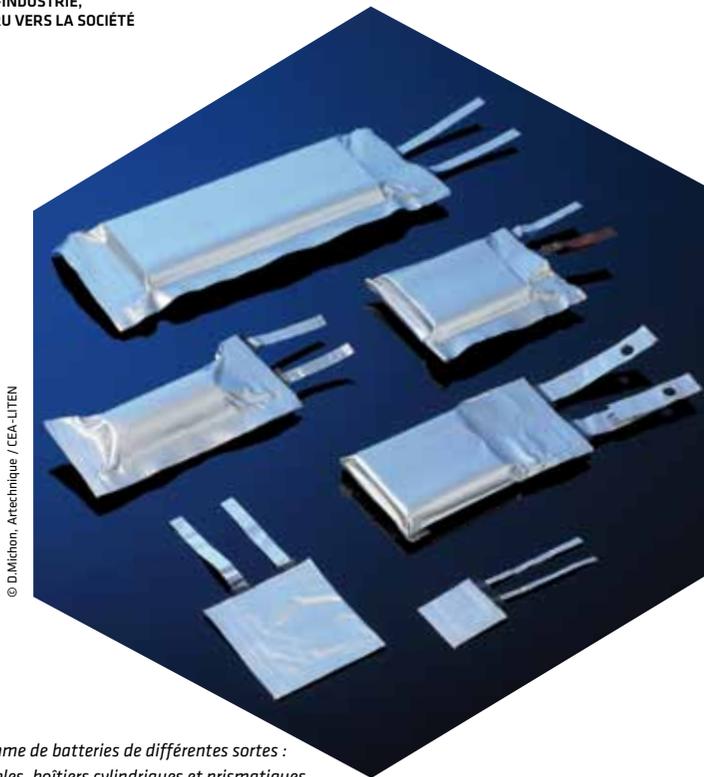


© PF Grosjean / CEA-LITEN

*Bobineuse pour accumulateur Li-ion*



*Pile à Combustible de 250W ayant équipé le véhicule participant à la course Eco-marathon Shell*



© D.Michon, Artechnique / CEA-LITEN

Gamme de batteries de différentes sortes :  
souples, boîtiers cylindriques et prismatiques

## LA PLATE-FORME BATTERIES

La plate-forme batteries se compose d'un atelier de prototypage fonctionnant sous condition anhydre. Elle permet de fabriquer à façon des prototypes d'accumulateurs de quelques mAh à plusieurs dizaines d'Ah. Une ligne d'équipements de tests évalue les performances de tous types de batteries. Les batteries fabriquées par la plate-forme s'adressent aux marchés des systèmes portables et du transport.

Elle dispose des moyens nécessaires à la fabrication :

- ▶ De poudres pour les électrodes, en particulier de nanopoudres à dispersion contrôlée,
- ▶ d'anodes / cathodes,
- ▶ de cellules packagées,
- ▶ de packs batterie composés de plusieurs cellules,
- ▶ de moyens de tests (en lien avec la plate-forme INES de Chambéry) électriques et électrochimiques, dans des conditions d'usage représentatives (cycles / température / puissance de charge et décharge).

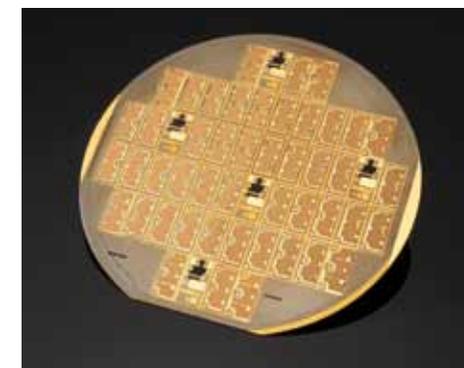
Une technologie lithium-fer-phosphate développée par la plate-forme et protégée par des brevets, est en particulier prometteuse pour les véhicules électriques et hybrides. Elle a donné lieu récemment à un transfert technologique vers la société PRAYON.

## LA PLATE-FORME PILES À COMBUSTIBLE

La plate-forme piles à combustible propose une filière complète de fabrication et de test de piles à membranes à transfert de proton (PEM). La technologie GENEPAC développée sur cette plate-forme en partenariat avec PSA présente l'avantage d'être « évolutive », des piles de quelques kW à plusieurs dizaines de kW pouvant être réalisées par assemblage de modules. Les piles fabriquées selon cette technologie équipent déjà des véhicules de démonstration de PSA, avec un rapport poids/puissance très compétitif. La plate-forme travaille également sur des prototypes pour équipements agricoles, drones ou bateaux.

La plate-forme propose aussi une filière originale de micropiles à combustible. Réalisée avec des moyens de fabrication relevant à la fois de la technologie PEM conventionnelle et des micro-technologies, elle permet de réaliser des kits stockage hydrure - microPEM pour des produits nomades. Ces développements sont menés avec de grands industriels européens.

Des travaux sont enfin menés sur des piles à combustible à échange d'ions (SOFC) et sur des systèmes d'électrolyse haute température pour la production d'hydrogène.



Micropiles à combustible sur une tranche de Si

© D.Michon, Artechnique / CEA-LITEN

## LE CENTRE SUR L'ÉNERGIE DISTRIBUÉE PRÉDIS

Prédis, centre d'innovation, de formation et d'expérimentation sur l'énergie distribuée, propose une infrastructure de moyens expérimentaux pour la gestion intelligente de l'énergie. Il s'agit d'un outil de démonstration représentant des réseaux de puissance reconfigurables au plus près des réseaux réels, reliant, au travers d'un système expert de supervision, différents modes de production d'énergie destinés à un habitat tertiaire.

Les principaux équipements installés dans Prédis sont :

- ▶ Différents moyens de production (panneaux photovoltaïques multisites, pile à combustible, turbine à gaz avec cogénération),
- ▶ un simulateur hybride temps réel pouvant émuler des moyens de production (éolienne, hydrolienne, turbine, etc.),
- ▶ un réseau de puissance industriel d'environ 200 kVA à échelle 1/10<sup>e</sup>,
- ▶ un réseau de distribution à échelle 1/1000<sup>e</sup> composé de 3 postes sources et 3 zones de consommation d'environ 30 MW,
- ▶ des charges pilotables,
- ▶ un habitat tertiaire, d'efficacité énergétique très performante, totalement instrumenté et représentant une salle informatique ouverte aux usagers du site,
- ▶ un système de supervision assurant la conduite des différentes installations.

Le centre Prédis fait partie des moyens d'envergure dont disposent Grenoble INP et l'UJF, pour la formation des étudiants et le développement de leurs recherches. Les principaux projets de recherche concernent les hydroliennes, la qualité de l'énergie, le couplage multisources, la centrale virtuelle et l'auto cicatrisation, les réseaux flexibles, les nouvelles fonctionnalités de conduite de réseaux, et la gestion des flux énergétiques dans l'habitat.

Ces développements sont menés en partenariat avec les grands industriels de la filière, avec le Groupement d'Intérêt Économique IDEA (EDF, Schneider Electric et Grenoble INP). Une extension du centre Prédis est envisagée, en partenariat avec les industriels, permettant des essais à grande échelle et à distance.

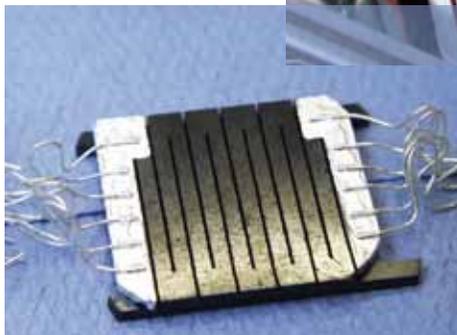


*Banc de simulation hybride (machines virtuelles et réelles) temps réel, en test sur des modèles d'éoliennes*

© Grenoble INP



Hall expérimental du CRETA



Limiteur de courant supraconducteur

### CONSORTIUM DE RECHERCHE POUR L'ÉMERGENCE DE TECHNOLOGIES AVANCÉES (CRETA)

Le CRETA est une unité propre de services du CNRS pour soutenir les partenariats entre les équipes de recherche des laboratoires de physique grenoblois et le monde industriel. Les chercheurs des laboratoires associés et les partenaires industriels trouvent au CRETA un lieu de convergence pour conduire ensemble leurs projets, dans un contexte de dialogue équilibré, d'ouverture, tout autant que de confidentialité. Il met à la disposition des équipes, des locaux et des plates-formes originales d'élaboration et de caractérisation, souples et en continuelle innovation pour anticiper les nouveaux enjeux.

Les principales applications concernent les matériaux pour l'énergie et la magnéto-science, c'est-à-dire l'utilisation des champs magnétiques intenses dans les procédés d'élaboration. Les projets reposent sur une démarche qui intègre tous les aspects scientifiques et technologiques de la synthèse des matériaux : la conception de procédés d'élaboration innovants, l'instrumentation et la modélisation de l'élaboration elle-même, la mesure des propriétés physiques et les études fondamentales associées, la mesure des propriétés fonctionnelles qui guide rétroactivement les conditions d'élaboration, ainsi que dans la plupart des projets la réalisation de démonstrateurs.

Le cadre de fonctionnement pluridisciplinaire du CRETA attire de nombreux étudiants pré-doctorants et leur permet d'approfondir leurs connaissances fondamentales, de bénéficier d'équipements originaux dans les plates-formes et de développer leur sens critique vis à vis de l'objectif recherché. Au niveau doctoral, ils sont au cœur des projets qui associent souvent un travail de thèse à la collaboration industrie/recherche.

## LA PLATE-FORME NANOSÉCURITÉ

Le site de GIANT est le premier en Europe à avoir mis en place de façon systématique un plan d'action visant à :

- ▶ Protéger les personnes travaillant dans les domaines de nanomatériaux d'une exposition au poste de travail,
- ▶ développer une expertise opérationnelle permettant de qualifier l'environnement vis-à-vis d'un risque de dispersion de poudre nanométrique,
- ▶ poursuivre le développement des technologies de synthèse des nanomatériaux en environnement maîtrisé.

Toutes les plates-formes de GIANT bénéficient de ce plan d'action. Sur le site du CEA, une série d'opérations ont d'ores et déjà été systématiquement réalisées : identification de la source de danger, recensement des différentes nanoparticules élaborées, mode de manipulation et expositions potentielles au cours des différentes étapes du procédé, etc.

La plate-forme rassemble des programmes de recherche et de formation sur :

- ▶ Les équipements de mesure des taux de nanoparticules, aux limites de la technologie (1 nm),
- ▶ les détecteurs spécifiques avec un mode opératoire associé (choix de l'emplacement par simulation numérique du risque de dispersion dans l'atmosphère, méthode de prélèvement, traitement des échantillons),
- ▶ la traçabilité des nanoparticules (nanotraceurs),
- ▶ la mise en place de tests d'abrasion mesurant le risque de relargage de nanocharges en condition d'usage,
- ▶ la mise en place d'un site internet NanoSmile ouvert de formation et d'information, destiné aux chercheurs, ingénieurs, médecins, étudiants comme au grand public, piloté par l'UJF.

La plate-forme a vocation à s'ouvrir vers des partenaires industriels et universitaires et à participer à la définition des futures normes ISO sur la synthèse et la manipulation des nanomatériaux. L'ensemble de ces activités est regroupé au sein de différents projets européens (Integrisk, Nanohouse, Nanex, Nanocode). L'approche en nanosécurité de Grenoble joue un rôle original et central au sein du programme national Nanolnnov.



Analyse de nanoparticules

© CEA-LITEN



Véhicule de 1<sup>re</sup> intervention sur les risques nano

© CEA

## 2.2 LA VALORISATION

Une valorisation réussie s'appuie sur une recherche d'excellence mais aussi sur une volonté stratégique de transfert technologique collaboratif entre la recherche et l'industrie.

Exemplaire sur ce sujet depuis plus de 100 ans, Grenoble est le berceau d'une synergie entre les industriels et la recherche publique. L'interaction féconde entre les environnements universitaire, technologique et industriel permet aux grands groupes et PME présents en Isère d'être aujourd'hui leaders sur les marchés mondiaux. Ayant vécu les différents stades de croissance, certains de ces grands groupes sont d'ailleurs directement issus de start-up grenobloises.

L'activité de valorisation se décline au plus près des chercheurs selon différents modes d'action complémentaires :

- ▶ Stimuler la créativité et renforcer la protection des résultats par le dépôt de brevets,
- ▶ accompagner les laboratoires dans la mise en place de projets collaboratifs tant avec les industriels qu'avec les autres organismes et universités, dans une vision internationale,
- ▶ promouvoir le transfert direct à une entreprise existante des travaux de recherche,
- ▶ susciter et concrétiser les créations d'entreprises dans le cas d'innovations de rupture,
- ▶ assurer aux laboratoires et inventeurs un juste retour du transfert de connaissances.

Les acteurs de GIANT ont donc mis la valorisation et le transfert de technologie au cœur de leur stratégie. Avec près de 500 brevets prioritaires déposés par an, GIANT est le premier déposant public français. Il abrite des laboratoires renommés dans le monde pour leur modèle partenarial avec l'industrie. Le pôle grenoblois a été salué en 2007 par le gouvernement pour son dynamisme au regard des créations de start-up.

Les acteurs de GIANT ont su recréer en permanence les conditions d'un nouvel essor technologique et industriel pour rester parmi les sites internationaux majeurs. Ils ont su imaginer et fédérer leur action pour donner corps à de nouveaux environnements favorables à la génération d'innovation. L'un des exemples les plus parlants est la création du campus d'innovation MINATEC.

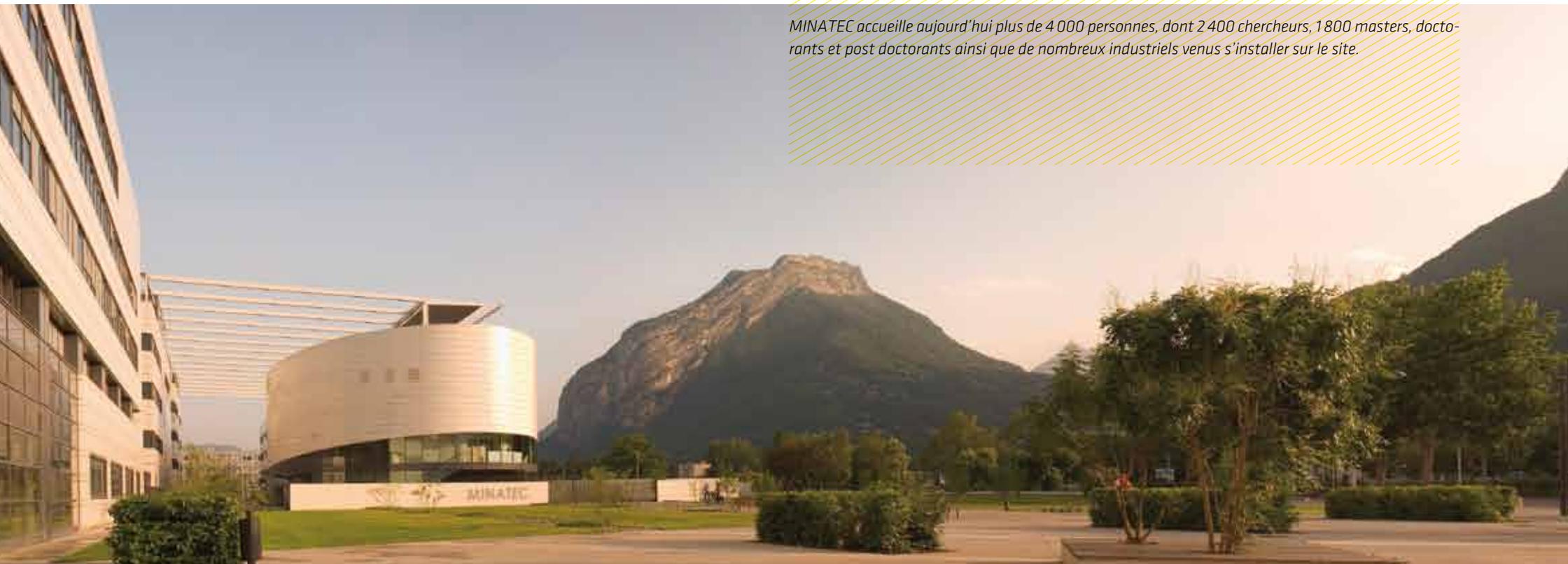


### **MINATEC : PRECURSEUR DE GIANT**

*Une initiative montre bien la démarche originale des acteurs de GIANT : la création du campus d'innovation MINATEC en micro et nanotechnologies (initié en 2000 et inauguré en 2006) que les acteurs de GIANT souhaitent développer à plus grande échelle. Il regroupe en un même lieu le triptyque « Enseignement, Recherche et Valorisation Industrielle » :*

- ▶ *Les industriels bénéficient d'espaces dédiés tels que le « Bâtiment des Hautes Technologies », le « Bâtiment des Industries Intégratives » ainsi que de plates-formes collaboratives recherche/industrie.*
- ▶ *MINATEC Ideas Lab offre une approche complémentaire et novatrice à ses partenaires industriels en s'appuyant sur le croisement d'approches à la fois technologiques, sociales et culturelles.*
- ▶ *Un ensemble de services de soutien à la valorisation (veille brevets, marketing, PI, contrats, soutien aux start-up, financements, ...) sont accessibles dans la « Maison MINATEC ».*
- ▶ *Afin de rapprocher les acteurs de la recherche fondamentale et ceux de la vie socio-économique, MINATEC héberge l'Observatoire des Micro et Nanotechnologies (CEA-CNRS). Cet observatoire regroupe à l'échelle nationale chercheurs, financeurs et industriels. Il a pour rôle de décrypter et d'évaluer au plus tôt les signaux précurseurs des innovations de ruptures, avec l'objectif d'accélérer la chaîne de l'innovation.*

*MINATEC accueille aujourd'hui plus de 4 000 personnes, dont 2 400 chercheurs, 1 800 masters, doctorants et post doctorants ainsi que de nombreux industriels venus s'installer sur le site.*

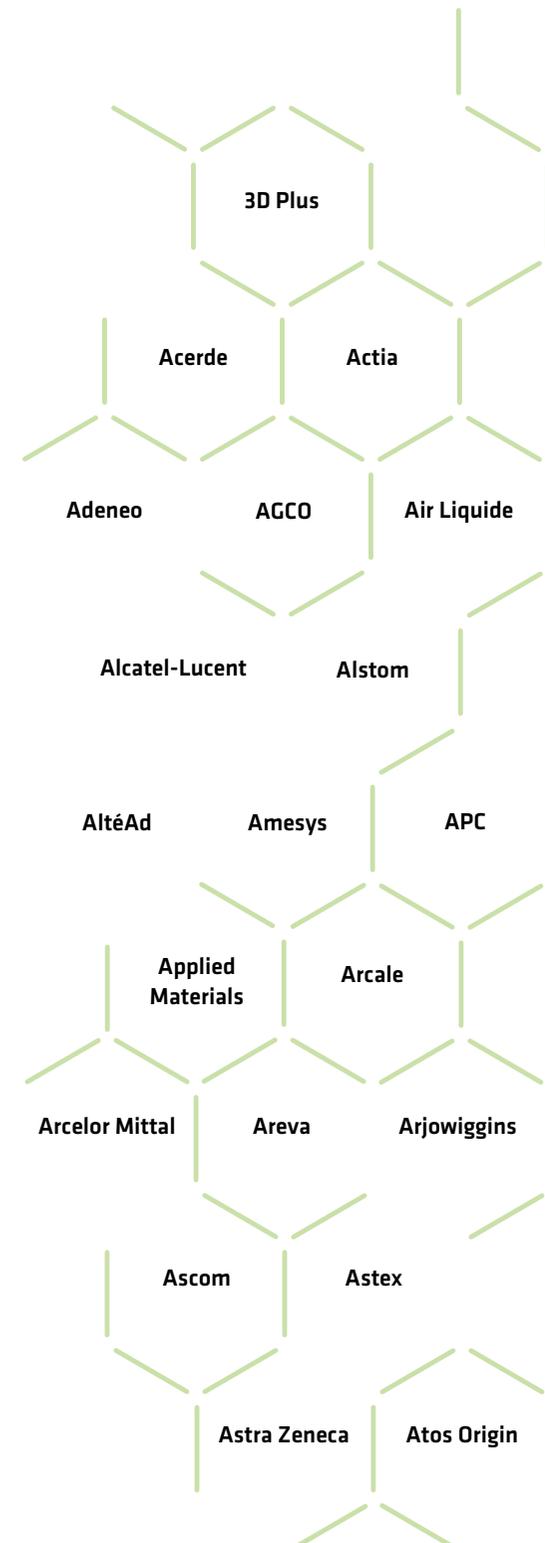


## 2.2.1 PARTENARIATS AVEC LES ENTREPRISES

Les acteurs de GIANT ont développé au fil des années un éventail de modes de partenariats avec l'industrie, allant de la formation de jeunes talents jusqu'à la mise en place de laboratoires communs entre les laboratoires de recherche et les industriels.

- ▶ Ils forment les jeunes (masters, doctorants et post-docs) à l'état de l'art scientifique et technologique, et les sensibilisent aux meilleures pratiques de transferts de technologies et d'entrepreneuriat. Cette formation par la recherche a montré son efficacité, tant au regard du développement de la recherche technologique que des rapprochements entreprises-universités et favorise l'emploi des jeunes. Des modules innovants de formations sont également proposés par Grenoble INP, l'UJF, Grenoble Ecole de Management et le CEA-INSTN sur le management de la technologie.
- ▶ Ils offrent aux grandes entreprises comme aux PME l'accès à l'expertise des laboratoires et des plates-formes.
- ▶ Ils participent activement à des consortiums recherche publique/industrie pour répondre à des appels à projets régionaux, nationaux et européens. Considérés par les entreprises comme des partenaires incontournables, ils sont notamment membres fondateurs des pôles de compétitivité, dont les thématiques sont en parfaite synergie avec les axes stratégiques de GIANT : Minalogic (Micro-nanotechnologies et logiciel), LyonBioPôle (biotechnologies), TENERDIS (énergies renouvelables). Ces pôles facilitent la mise en réseau des entreprises, de la recherche et de l'enseignement. Ils exploitent les relations de proximité pour tisser ces réseaux et former de véritables écosystèmes de croissance, dont profitent pleinement les PME.
- ▶ Ils proposent aux industriels des modalités de partenariat au plus près de leurs besoins (des briques technologiques aux applications) à travers des contrats de recherche et développement bilatéraux, pouvant aller jusqu'au montage d'équipes mixtes industrie - laboratoire de recherche sur un même site.

Le dynamisme des acteurs de GIANT en termes de recherche partenariale a été salué au niveau national par l'attribution de labels Carnot au consortium de laboratoires CEA, CNRS, Grenoble INP et UJF sur l'énergie du futur ainsi qu'au CEA-LETI. GIANT travaille aujourd'hui avec de nombreux industriels, dont un nombre croissant de grandes entreprises, ainsi qu'avec des PME. Quelques-uns de ces partenaires sont présentés ci-contre.





## UNE COLLABORATION AVEC TOYOTA SUR LES ÉNERGIES NOUVELLES DANS LES TRANSPORTS

Cette action de collaboration initiée par la société Toyota vise au développement d'aimants permanents de haute performance pour les moteurs électrique de voitures de type hybride. La densité d'énergie obtenue dans ces moteurs est bien supérieure à celle des moteurs classiques à rotor bobiné. Ces aimants entraînent une diminution significative de l'aimantation rémanente, source en retour d'une diminution du produit énergétique maximum. Le CNRS développe des matériaux modèles sous forme de couches magnétiques dures. Ces matériaux exploitent en particulier le concept de superferrimagnétisme, développé et breveté par l'Institut Néel. Les premiers développements ont été intégrés sur un moteur de PRIUS.

Partenaires: Toyota Motor Company, Institut Néel CNRS/UJF, IFW Dresden, Université de Sheffield, 9 laboratoires et centres de recherche japonais.



Moteur et générateur électriques d'une PRIUS  
(source T. Shoji et H. Okajima, Toyota Moteur Company)

## NANOÉLECTRONIQUE DU FUTUR : L'ALLIANCE CEA-LETI, IBM ET STMicroelectronics

Le CEA-Léti a rejoint, depuis début 2008, l'Alliance de Développement sur les semi-conducteurs d'IBM. Il la renforce en apportant ses compétences spécifiques, notamment en matière de technologies CMOS basse consommation (filiales SOI), de lithographie e-beam et de caractérisation aux échelles nanométriques. Dans le cadre de l'accord tripartite IBM/CEA-LETI/STMicroelectronics, les travaux communs portent principalement sur trois domaines :

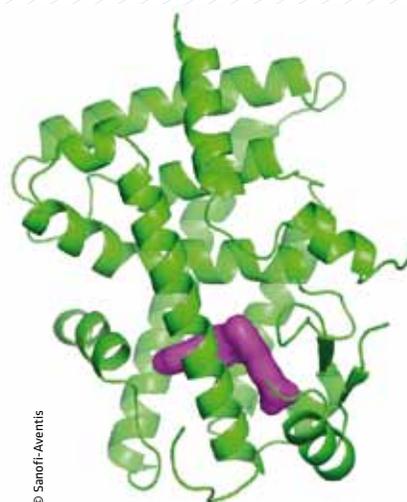
- ▶ La lithographie avancée pour le prototypage rapide et pour la technologie 22 nm,
- ▶ les technologies CMOS et les architectures de transistors basse consommation pour les filières 22 nm et au-delà;
- ▶ les outils et méthodes de caractérisation aux échelles nanométriques permettant de maîtriser le développement des technologies ainsi que le contrôle en fabrication.

Les travaux de recherche sont menés à la fois sur la plateforme silicium 300 mm du CEA/Léti de Grenoble, sur celle du College of Nanoscale Science and Engineering de l'Université d'Albany (New-York, Etats-Unis), sur le site de STMicroelectronics à Crolles et dans l'usine de production de tranches 300 mm d'IBM à Fishkill (New-York, Etats-Unis).

« Les partenariats de recherche publics - privés sont de formidables accélérateurs de projets. Ils permettent de transformer plus rapidement les résultats des chercheurs en bénéfices pour améliorer notre vie quotidienne » précise Daniel Chaffraix, Président d'IBM France.

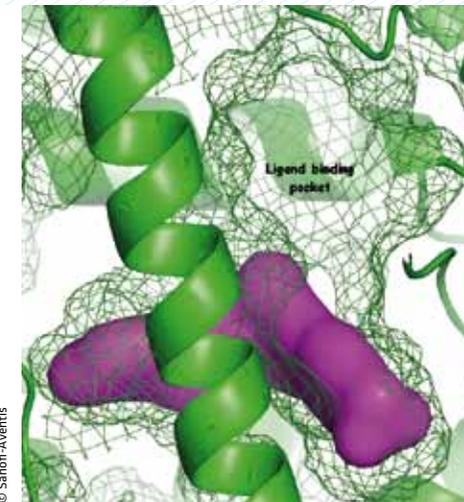
## DES DÉVELOPPEMENTS EN CRISTALLOGRAPHIE RÉPONDANT AUX BESOINS DE L'INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE

Les études cristallographiques de protéines, natives ou complexées avec leurs ligands naturels (comme les médicaments ou des candidats médicaments), sont aujourd'hui une étape centrale dans le processus de découverte de nouveaux médicaments. Ce besoin de produire des données de haute qualité sur la structure tridimensionnelle des protéines a nécessité l'automatisation des lignes de lumière MX de l'ESRF dédiées à la cristallographie de macromolécules, et la mise en place du service « MXpress ». Lancé en 2002 avec Aventis (aujourd'hui Sanofi-Aventis), MXpress s'appuie sur le savoir-faire et les moyens technologiques de l'ESRF pour produire des données de très haute qualité sur les cristaux de protéines que font analyser les entreprises pharmaceutiques. Le haut niveau d'automatisation rendu nécessaire pour répondre aux demandes croissantes de ses partenaires, permet désormais d'analyser environ 80 000 échantillons par an sur les lignes de lumière MX.



© Sanofi-Aventis

Représentation schématique de la structure d'une protéine cible (en vert) de Sanofi-Aventis, avec son ligand naturel (en magenta), obtenue grâce au service MXpress de l'ESRF



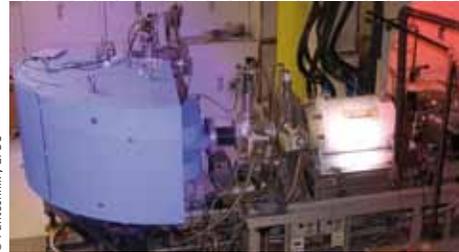
© Sanofi-Aventis

Zoom sur la poche de fixation du ligand (grille verte) au sein de la protéine (en vert) montrant que le ligand naturel (en magenta) n'occupe qu'une partie de la poche laissant ainsi de l'espace libre qui peut être utilisé pour le design d'inhibiteurs

### **PANTECHNIK – LEADER MONDIAL POUR LES SOURCES D'IONS**

La société PANTECHNIK a été créée en 1991 en vue de la valorisation des technologies issues de la R&D accélérateurs de l'IN2P3/CNRS et du GANIL. Elle a une longue tradition de collaboration avec les équipes de recherche de GIANT qui ont développé les sources d'ions fonctionnant à la résonance cyclotronique électronique.

PANTECHNIK est maintenant le leader mondial dans le domaine des sources d'ions ECR et fournit aux nouveaux centres de hadron-thérapie (thérapie du cancer avec des ions). Des développements pour une source à haute intensité de protons, destinée aux nouveaux implantateurs d'ions et à d'autres techniques de pointe, se fait en étroite collaboration avec le LPSC (UJF, CNRS/IN2P3, Grenoble INP). Comptant aujourd'hui 12 personnes, PANTECHNIK réalise aussi des équipements sur mesure pour de nombreux laboratoires de recherche, par exemple en Allemagne, Inde, Italie ou Pologne.



© Pantechnik / LPSC

Source PHOENIX Booster ECR



© Pantechnik / LPSC

Développement de sources protons haute intensité

### **CYBERSTAR – VERS DES MATERIAUX NOUVEAUX**

La société Cyberstar est une entreprise de la région grenobloise, leader mondial dans le développement d'équipements de croissance cristalline (silicium photovoltaïque, oxydes, fluorures, II-VI, III-V et les matériaux « exotiques »). Depuis plus d'une dizaine d'années, cette société collabore avec le CNRS sur des développements instrumentaux relatifs à la synthèse des matériaux et tout particulièrement dans le domaine de la cristallogénèse.

Le développement d'un four à image a marqué le début de cette collaboration. Un deuxième exemple de cette collaboration est le développement d'un « micro-puller-multifonction ». Cet équipement original permet différentes géométries de croissance cristalline : Czochralski, Bridgman et « micro-pulling down ». Il ouvre de nouvelles voies pour le développement de matériaux spécifiques. Un nouveau projet est en cours sur la valorisation d'un four à arcs de croissance cristalline. Parmi les secteurs concernés par ces travaux on peut citer l'énergie, les communications, le stockage de l'information, la sécurité ou l'optoélectronique.



© Institut Néel / Cyberstar

Four à images

### BIOMÉRIEUX - UNE COOPÉRATION QUI A FAIT SES PREUVES

Acteur mondial dans le domaine du diagnostic in vitro depuis plus de 40 ans, la société lyonnaise bioMérieux offre des solutions de diagnostic (réactifs, instruments et logiciels) qui déterminent l'origine d'une maladie ou d'une contamination pour améliorer la santé des patients et assurer la sécurité des consommateurs.

Depuis 1997, des chercheurs, ingénieurs et techniciens de bioMérieux et du CEA-Leti travaillent ensemble sur des systèmes innovants de diagnostic in vitro, au sein d'une équipe pluridisciplinaire mixte de 10 personnes, hébergée dans les locaux du CEA. Afin de se rapprocher encore plus des compétences et outils de GIANT, bioMérieux a par ailleurs transféré un centre de recherche sur le site début 2005 dans les locaux de Polytec, qui comptera bientôt plus de 200 personnes.

« En plus de l'expertise sur les micro-technologies que bioMérieux était venu chercher au Leti, nous y avons trouvé beaucoup plus. En étant sur place nous accédons aussi aux compétences développées par les experts du Leti autour des microsystèmes : fluidique, optique, traitement du signal... Cette mixité et cette richesse du milieu scientifique nous permet à la fois d'analyser avec plus de finesse les bases scientifiques qui font les forces et les faiblesses de nos systèmes existants et d'imaginer des solutions innovantes proches des besoins industriels de bioMérieux » dit Frédéric Mallard, qui dirige le laboratoire commun pour bioMérieux.



© BioMérieux/CEA

Carte eLab - carte fluidique permettant l'automatisation complète d'un protocole complexe d'analyse génomique sur puce ADN à lecture optique

### IRELEC - UNE INSTRUMENTATION À LA POINTE DE LA TECHNOLOGIE

IRELEC est une entreprise de haute technologie filiale du groupe ALCEN, réalisant des équipements scientifiques pour le monde de la recherche et de l'industrie : optiques X, accélérateurs de particules, diagnostics plasma, ligne de lumière synchrotron, expériences neutrons. L'entreprise exporte aujourd'hui partout dans le monde.

Installée près de Grenoble, elle tire profit depuis plus de 20 ans de liens privilégiés avec les acteurs de GIANT. Ces collaborations ont permis à IRELEC de développer des instruments toujours plus performants, comme en témoigne son PDG, Jean-Loup Rechatin : « Quand votre métier est de réaliser des équipements scientifiques sur mesure, vous ne pouvez pas disposer en interne d'une expertise couvrant toutes les facettes de votre activité. Pour le volet cryogénie d'un développement de produit destiné à la manipulation par robot d'échantillons de cristaux de protéine à -196°C, notre collaboration avec les équipes de GIANT nous a permis de développer des outils permettant la manipulation de plus de 1000 échantillons tout en assurant leur parfaite intégrité »



© IRELEC

Vue de l'intérieur du Cryostat avec les échantillons baignant dans l'azote liquide.

## 2.2.2 LA CRÉATION DE START-UP //

Les activités de recherche technologique développées par les différents partenaires de GIANT sont à l'origine de plusieurs sociétés devenues des leaders mondiaux dans leur domaine.

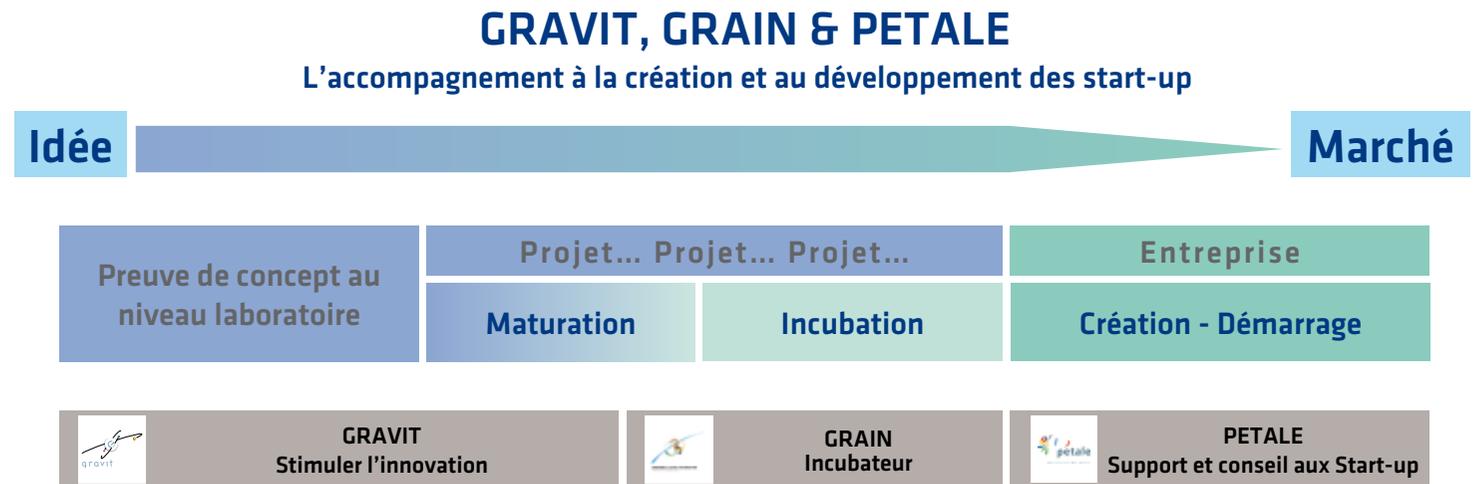
L'histoire a vraiment débuté en 1972 avec la création par le LETI de la société EFCIS pour industrialiser les transistors MOS. EFCIS comptera 900 employés dix ans plus tard et constituera en 1987 l'une des pièces maîtresses du groupe SGS Thomson. Devenu STMicroelectronics en 1998, c'est actuellement le 5<sup>e</sup> producteur mondial de semi-conducteurs avec un chiffre d'affaires de 1,5 Md€ en 2008. Une nouvelle société à très fort potentiel, CROCUS Technology, a été créée en 2004 pour exploiter les recherches effectuées au laboratoire SPINTEC dans le domaine de la spintronique. Elle a déjà levé 22 M€ de fonds et ambitionne de devenir le leader mondial de la mémoire MRAM (Magnetic Random Access Memories).

D'autres réussites peuvent également être citées : Sofradir et sa filiale Ulis, SOITEC, PX'Therapeutics...

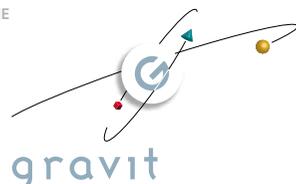
### LE DISPOSITIF D'ACCOMPAGNEMENT GRAVIT-GRAIN-PETALE

Aujourd'hui plus que jamais il est nécessaire de maintenir et d'amplifier cette dynamique. Avec cet objectif, les acteurs de GIANT mettent en commun, à travers leur participation au dispositif GRAVIT-GRAIN-PETALE, des moyens mutualisés de soutien et d'accompagnement à la création et au développement de nouvelles entreprises à fort potentiel économique.

Ainsi, le dispositif GRAVIT-GRAIN-PETALE permet un accompagnement depuis l'idée de laboratoire jusqu'au démarrage commercial et industriel des nouvelles sociétés. Ce dispositif mutualisé apporte des moyens complémentaires aux structures internes de valorisation propres aux différents établissements présents sur GIANT.



*Un environnement propice au développement de start-up*



### GRAVIT

GRAVIT a été créé en 2006 par le CEA, le CNRS, Grenoble INP, l'INRIA, l'UPMF et l'UJF. Ce dispositif se focalise sur les aspects liés à la détection et à la maturation de nouveaux projets dans les laboratoires, à la concertation sur la propriété industrielle entre les différents organismes partenaires, et à la promotion des développements technologiques auprès du monde industriel.

GRAVIT permet d'identifier environ 50 projets de valorisation par an, dont le tiers est soutenu financièrement pour une phase maturation, c'est-à-dire la phase de développement qui correspond au passage du résultat de laboratoire à un démonstrateur suffisamment avancé pour envisager une création d'entreprise ou un transfert vers un partenaire industriel.

Les partenaires de GRAVIT ont mis en place une charte commune des bonnes pratiques de la gestion des droits de propriété industrielle, un comité de suivi et de coordination se réunissant mensuellement.

### GRAIN

Né à l'initiative de quatre partenaires de GIANT (CEA, CNRS, Grenoble INP, UJF) et de l'UPMF, GRAIN est le premier incubateur public d'entreprises créé en France fin 1999. Son action est ouverte à l'ensemble des organismes de recherche présents sur le territoire de l'académie de Grenoble.

En aval de GRAVIT, la mission de GRAIN est de détecter et d'accompagner des projets de créations de sociétés innovantes et à fort potentiel économique, qui mettent en œuvre ou qui s'appuient sur des technologies développées dans les laboratoires. GRAIN permet de « structurer » les projets par des actions très concrètes portant, notamment, sur la constitution des équipes, la formation, les études de marché, les études juridiques, etc. L'objectif, à l'issue de la phase d'incubation (18 mois maximum), est d'obtenir un plan d'affaires le plus réaliste possible pour la future société. La centième société accompagnée par GRAIN a été créée au printemps 2009, pour un total de plus de 150 projets accueillis.

### PETALE

Créé en 2007, PETALE accompagne, en 2009, 25 jeunes entreprises à fort potentiel souhaitant s'implanter et se développer dans le bassin grenoblois.

PETALE intervient en aval de l'action de GRAIN pour le suivi des sociétés, c'est-à-dire en phase de démarrage (ou phase de post-incubation), à un moment où les sociétés sont les plus fragiles, souvent par manque de marché mature ou de financements suffisants.

La seconde vocation de PETALE est d'accueillir et d'accompagner les sociétés technologiques souhaitant s'implanter sur le bassin grenoblois, en particulier les jeunes sociétés étrangères à la recherche de compétences technologiques disponibles localement.

Bien que toujours dans une phase de consolidation, le dispositif mutualisé GRAVIT-GRAIN-PETALE a déjà montré toute sa pertinence : une dizaine de nouvelles sociétés exploitant des technologies développées sur GIANT ont vu le jour depuis un an (Cytoo, Kalray, Fluoptics, Natx-Ray, CMDL Manaslu, Prollion, McPhy Energy, Eveon, Kapteos, Elena, BeeZik).

## FINANCEMENT DES START-UP

Les start-up créées sur GIANT ont accès à des sources de financements variées, allant des subventions publiques attribuées par les différentes collectivités pour la maturation technologiques des projets, aux financements privés apportés par les sociétés d'investissement et les investisseurs individuels.

GRAVIT, GRAIN et PETALE apportent, aux côtés des structures de valorisation des organismes, un appui précieux aux nouvelles sociétés pour les diriger vers les meilleures sources de financement. Parmi celles-ci, notons les aides financières apportées en propre par GRAVIT et GRAIN et les aides octroyées dans le cadre du concours national de création d'entreprise organisé conjointement par le Ministère de la Recherche et OSEO. Coté investisseurs, notons la présence locale des sociétés d'investissement Emertec, Rhône-Alpes Création et CEA Investissement, ainsi que l'association GRENOBLE Angels et son fonds d'investissement Grenoble Angels Participations. Organisé chaque année en mai, le Forum 4I permet de mettre directement en relation les nouvelles sociétés à la recherche de financements avec une trentaine de sociétés d'investissement nationales et internationales.

Société en activité

Société reprise par une autre société

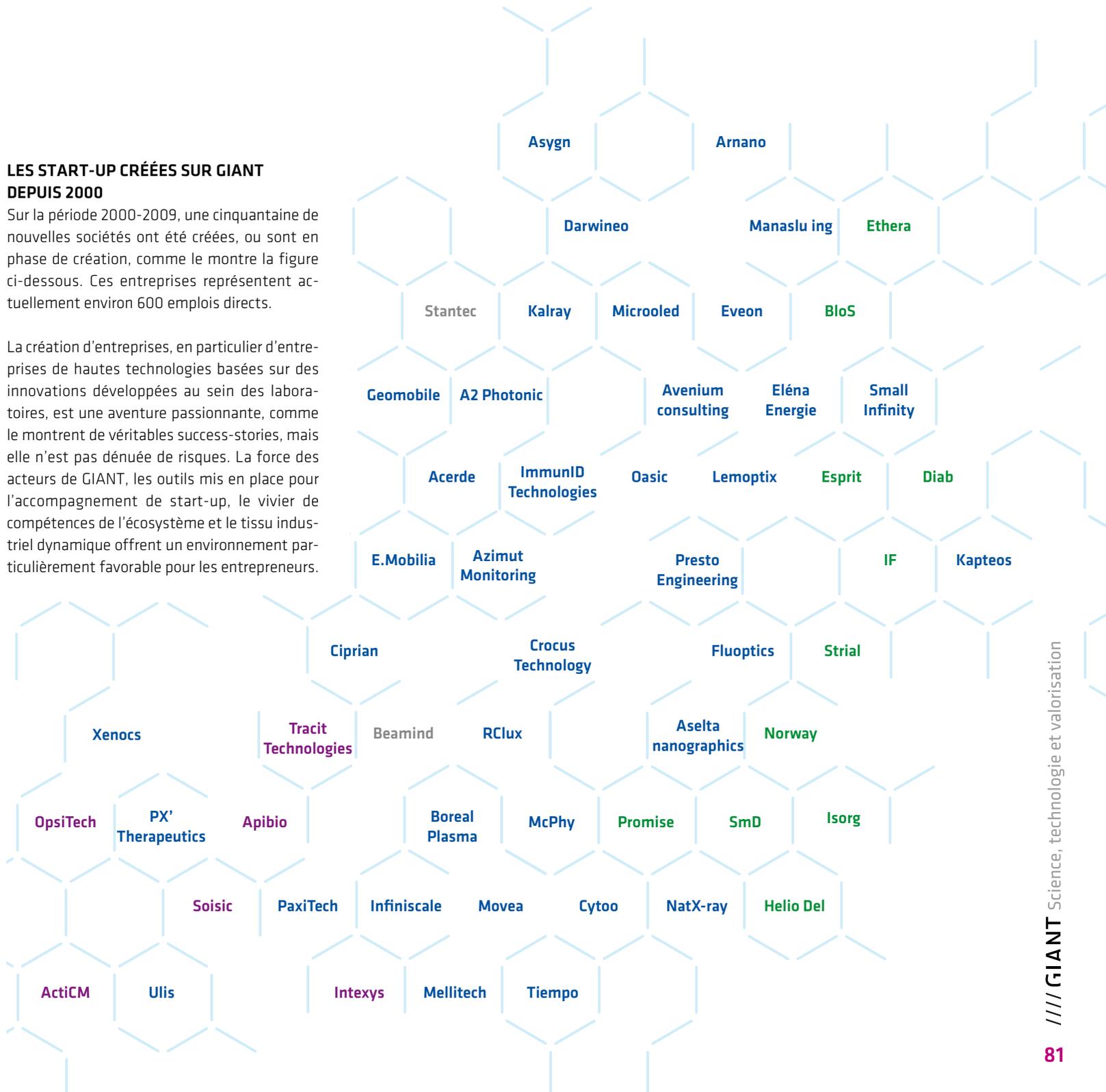
Projet en phase de maturation

Société qui n'existe plus

## LES START-UP CRÉÉES SUR GIANT DEPUIS 2000

Sur la période 2000-2009, une cinquantaine de nouvelles sociétés ont été créées, ou sont en phase de création, comme le montre la figure ci-dessous. Ces entreprises représentent actuellement environ 600 emplois directs.

La création d'entreprises, en particulier d'entreprises de hautes technologies basées sur des innovations développées au sein des laboratoires, est une aventure passionnante, comme le montrent de véritables success-stories, mais elle n'est pas dénuée de risques. La force des acteurs de GIANT, les outils mis en place pour l'accompagnement de start-up, le vivier de compétences de l'écosystème et le tissu industriel dynamique offrent un environnement particulièrement favorable pour les entrepreneurs.



<b>A2 Photonic</b>	Micro-capteurs et instruments de mesure optique laser dédiés à la caractérisation des écoulements	<a href="http://www.a2photonicsensors.com">www.a2photonicsensors.com</a>
<b>Acerde</b>	Elaboration et mise en forme de matériaux réfractaires de haute qualité chimique et cristallographique et prestations en caractérisation et analyse multi-échelles des matériaux	<a href="http://www.acerde.com">www.acerde.com</a>
<b>Acticm</b>	Systèmes de mesure tridimensionnelle, dont la mesure 3D sans contact robotisée, la mesure optique à contact et la capture de mouvement. Société maintenant intégrée au groupe Créaform	<a href="http://www.acticm.com">www.acticm.com</a> <a href="http://www.creaform3d.com">www.creaform3d.com</a>
<b>Apibio</b>	Instrumentation et outils d'analyse (biopuces) pour les industries biologique, pharmaceutique et agroalimentaire. Société maintenant intégrée au groupe Biomérieux.	<a href="http://www.biomerieux.fr">www.biomerieux.fr</a>
<b>Arnano</b>	Procédé de gravure microscopique et inaltérable pour différentes applications. Projet de société en incubation	En cours
<b>Aselta Nanographics</b>	Outils de correction des effets de proximité pour la lithographie E-Beam Sub 32 nm.	<a href="http://www.aselta.com">www.aselta.com</a>
<b>Asygn</b>	Outils logiciels pour accélérer la conception analogique	<a href="http://www.asygn.com">www.asygn.com</a>
<b>Avenium Consulting</b>	Conseil en stratégie et management de droits de propriété industrielle	<a href="http://www.avenium-consulting.com">www.avenium-consulting.com</a>
<b>Azimut Monitoring</b>	Solutions environnementales pour le contrôle et le suivi continu des nuisances, des consommations de ressources et des rejets en milieu naturel	<a href="http://www.azimut-monitoring.com">www.azimut-monitoring.com</a>
<b>Boreal Plasma</b>	Équipements et outillages pour toutes applications par plasmas froids générés à partir de micro-ondes	<a href="http://www.borealplasma.com">www.borealplasma.com</a>
<b>Ciprian</b>	Étude et développement de systèmes d'instrumentation scientifique, en particulier des générateurs et multiplexeurs de pulses	<a href="http://www.ciprian.com">www.ciprian.com</a>
<b>CMDL – Manaslu</b>	Activité de service dans le domaine du diagnostic énergétique	<a href="http://www.manaslu-ing.com">www.manaslu-ing.com</a>
<b>Crocus Technology</b>	Mémoires magnétiques MRAM de nouvelle génération pour les applications microélectroniques	<a href="http://www.crocustechology.com">www.crocustechology.com</a>
<b>Cytoo</b>	Développement des supports de culture high-tech pour l'analyse cellulaire et le criblage haut contenu sur cellules.	<a href="http://www.cytoo.com">www.cytoo.com</a>
<b>Darwineo</b>	Service de plateforme d'accompagnement de l'évolution des entreprises	<a href="http://www.darwineo.com">www.darwineo.com</a>
<b>Eléna Energie</b>	Eolienne carénée pour la production d'énergie électrique dans l'habitat. Projet de société en incubation	<a href="http://www.elena-energie.com">www.elena-energie.com</a>
<b>E.Mobilia</b>	Service d'accompagnement à la mobilité géographique des personnes	<a href="http://www.e-mobilia.com">www.e-mobilia.com</a>
<b>Eveon</b>	Fabricant de dispositifs médicaux d'injection automatisés intégrant des microsystèmes	<a href="http://www.eveon.eu">www.eveon.eu</a>
<b>Fluoptics</b>	Système d'imagerie de fluorescence pour l'aide à la chirurgie des cancers	<a href="http://www.fluoptics.com">www.fluoptics.com</a>
<b>Geomobile</b>	Équipements et services de géolocalisation pour personnes vulnérables (personnes âgées et personnes handicapées)	<a href="http://www.whereru.eu">www.whereru.eu</a>
<b>ImmunID Technologies</b>	Tests d'immuno-monitoring destinés à l'industrie pharmaceutique et au marché du diagnostic personnalisé	<a href="http://www.immunid.com">www.immunid.com</a>

<b>Infiniscale</b>	Solutions logicielles pour la modélisation comportementale, la synthèse et le rendement paramétrique des circuits intégrés	<a href="http://www.infiniscale.com">www.infiniscale.com</a>
<b>Intexys</b>	Développement et fabrication de composants électroniques actifs pour les systèmes de communication à très haut débit. Actifs repris par la société Photonera	<a href="http://www.intexysphotonics.com">www.intexysphotonics.com</a>
<b>Kalray</b>	Développement d'une nouvelle génération de processeurs multi-cœurs destinés à des applications embarquées	<a href="http://www.kalray.com">www.kalray.com</a>
<b>Kapteos</b>	Conception et fabrication de systèmes électro-optique de mesure des champs électriques. Projet de société en incubation	En cours
<b>McPhy Energy</b>	Solutions de stockage de l'hydrogène sous forme solide en utilisant les hydrures de magnésium	<a href="http://www.mcphy.com">www.mcphy.com</a>
<b>Mellitech</b>	Développement de candidats médicaments pour le traitement de diabète type II à partir de l'exploitation d'un transporteur de zinc	<a href="http://www.mellitech.com">www.mellitech.com</a>
<b>Movea</b>	Solutions de capture du mouvement humain pour les marchés de l'électronique grand public et de la santé	<a href="http://www.movea-tech.com">www.movea-tech.com</a>
<b>Microoled</b>	Conception et fabrication de micro écrans OLED pour la vidéo mobile	<a href="http://www.microoled.net">www.microoled.net</a>
<b>NatX-Ray</b>	Développement de robots et services pour la cristallographie des protéines. Société en cours de création	<a href="http://www.natx-ray.com">www.natx-ray.com</a>
<b>Opsitech</b>	Composants optiques intégrés pour les télécommunications. Société maintenant intégrée au groupe Memscap	<a href="http://www.memscap.com">www.memscap.com</a>
<b>Oasic</b>	Développement d'outils de conception pour la microélectronique	<a href="http://www.oasic-da.com">www.oasic-da.com</a>
<b>Paxitech</b>	Étude et production de piles à combustible (PAC) et de systèmes pour PAC dans la gamme de quelques watts à quelques dizaines de watts	<a href="http://www.paxitech.com">www.paxitech.com</a>
<b>Presto Engineering Europe</b>	Développement de solutions complètes de test et d'analyse pour l'industrie du semi-conducteur	<a href="http://www.presto-eng.com">www.presto-eng.com</a>
<b>Prollion</b>	Cellules et pack batteries utilisant différentes technologies de stockage électrochimique de l'énergie	<a href="http://www.prollion.com">www.prollion.com</a>
<b>Promise</b>	Services à haute valeur ajoutée dans le domaine de l'analyse protéomique. Projet de société en incubation	En cours
<b>PX'Therapeutics</b>	Développement de protéines thérapeutiques et d'anticorps monoclonaux des phases de R & D à la production de lots cliniques	<a href="http://www.px-therapeutics.com">www.px-therapeutics.com</a>
<b>RClux</b>	Développement de lampes ultraviolettes compactes et à très longue durée de vie pour la destruction de bactéries et la stérilisation de l'eau aux points d'usage.	<a href="http://www.rclux.com">www.rclux.com</a>
<b>Scanlight Imaging - Lemoptix</b>	Développement de micro-scanners optiques MEMS et de modules de projection vidéo miniatures utilisant ces scanners	<a href="http://www.lemoptix.com">www.lemoptix.com</a>
<b>Small Infinity</b>	Développement et production de microscope champ proche	<a href="http://www.smallinfinity.com">www.smallinfinity.com</a>
<b>Soisic</b>	Conception de circuits intégrés sur technologie SOI. Société maintenant intégrée au groupe ARM	<a href="http://www.arm.com">www.arm.com</a>
<b>Tiempo</b>	Solutions de développement de composants électroniques asynchrones (sans horloge) à très faibles consommation et niveau de bruit.	<a href="http://www.tiempo-ic.com">www.tiempo-ic.com</a>
<b>Tracit</b>	Solution industrielle pour le TRANSfert de CircuiT dans l'industrie de la microélectronique. Société maintenant intégrée au groupe Soitec	<a href="http://www.soitec.com">www.soitec.com</a>
<b>Ulis</b>	Développement et production de détecteurs infrarouges non refroidis	<a href="http://www.ulis-ir.com">www.ulis-ir.com</a>
<b>Xenocs SA</b>	Composants optiques pour rayons X, neutrons et extrême ultra-violet	<a href="http://www.xenocs.com">www.xenocs.com</a>

## QUELQUES EXEMPLES AU FIL DU TEMPS

### SOITEC

[www.soitec.com](http://www.soitec.com)

Issue du CEA, SOITEC a été créée en 1992 pour industrialiser un nouveau matériau destiné à l'industrie microélectronique : le SOI (silicium sur isolant). Produit à partir du procédé Smart Cut™ breveté par le CEA, ce matériau entre dans la fabrication des puces les plus performantes qui révolutionnent notre quotidien. SOITEC, leader mondial dans son domaine, a réalisé un chiffre d'affaires de 300 M€ sur le dernier exercice et emploie près de 1000 personnes sur ses sites de Bernin et Singapour. De très importants partenariats de R&D sont conduits avec le CEA, permettant à SOITEC de conserver son leadership en proposant à ses clients des matériaux innovants pour la réalisation de circuits à faible consommation et haute performance.

*Fondateurs :*

**Jean-Michel Lamure et  
André-Jacques Auberton-Hervé**

### TRONICS

[www.tronics.eu](http://www.tronics.eu)

Egalement issue du CEA, TRONICS Microsystems est créée en 1997 pour répondre au besoin exprimé par le marché de disposer de microsystèmes à l'échelle de petites et moyennes séries. Les microsystèmes développés et produits par TRONICS ont des applications dans des domaines aussi variés que l'exploitation pétrolière, la santé (suivi du rythme cardiaque et capteurs de pression implantables) ou les composants radiofréquence pour les télécommunications.

TRONICS est leader national dans son domaine et un des principaux acteurs européens. La société a réalisé un chiffre d'affaires supérieur à 10 M€ sur l'exercice 2008 et compte une soixantaine de collaborateurs sur son site de Crolles.

*Fondateur :*

**Stéphane Renard**

### TEEMPHOTONICS

[www.teemphotonics.com](http://www.teemphotonics.com)

Créée en 1998 et toujours dirigée par ses fondateurs, Teem Photonics est issue d'un essaimage technologique du GIE regroupant Grenoble INP, Schneider et Radiall.

Dans une première phase, entre 1998 et 2005, Teem Photonics a développé une gamme de composants basée sur la technologie de guide d'onde planaire pour le marché des télécommunications, entre autres des diviseurs monomodes pour les réseaux d'accès à grande bande passante (100Mb/s bidirectionnel).

Depuis 2005, Teem Photonics développe également une activité de conception et production de lasers pulsés. Ces lasers sont utilisés dans des applications telles que le micro usinage, le marquage, la mesure de distance, les capteurs distribués sur fibre optique. Les savoir-faire technologiques associés à ces lasers sont issus des travaux du CEA-LETI de Grenoble et du MIT aux USA.

*Fondateurs :*

**Antoine Kévorkian et Denis Barbier**

### XENOCS

<http://www.xenocs.com>

Issue des activités du laboratoire d'optique de l'Institut Laue-Langevin (ILL), la société Xenocs a été créée en 2000. Xenocs conçoit et commercialise des systèmes et composants optiques multicouches nanométriques pour rayons X, neutrons et EUV, ainsi que des produits pour l'analyse des matériaux, la fabrication de semi-conducteurs et la cristallographie des protéines.

Fort de sa trentaine de collaborateurs et de ses technologies uniques, Xenocs développe une très intense activité de R & D dans le cadre de partenariats avec des institutions prestigieuses telle que l'European Space Agency par exemple.

*Fondateurs :*

**Peter Hoghoj et Frédéric Bossan**

## PX'THERAPEUTICS

[www.px-therapeutics.com](http://www.px-therapeutics.com)

Issue des travaux du CNRS, Protein'Expert est créée en décembre 2000 pour développer une offre privée d'ingénierie, de développement et de production de protéines recombinantes complexes. Cette activité s'est étendue à la production de lots précliniques de protéines thérapeutiques avec la création en 2004 de PX'Pharma. Créée en 2007, PX'Monoclonals propose quant à elle des services de développement d'anticorps. Le regroupement stratégique de ces entités en 2008 a donné naissance au groupe PX'Thérapeutics qui compte une soixantaine de collaborateurs sur le site de Minatec. PX'Thérapeutics collabore étroitement avec plusieurs laboratoires de GIANT.

### Fondateurs :

**Tristan Rousselle et Nicolas Mouz**

## ULIS

[www.ulis-ir.com](http://www.ulis-ir.com)

Basée sur des technologies du laboratoire infrarouge du CEA, ULIS a été créée en 2001. ULIS développe et industrialise des détecteurs infrarouges non refroidis (microbolomètres) et bas coût destinés à une large gamme d'applications civiles (sécurité, imagerie médicale, vision de nuit, maintenance préventive...).

Aux cotés de sa « grande sœur » SOFRADIR, créée en 1986 et leader mondial des détecteurs refroidis, le groupe SOFRADIR - ULIS réalise aujourd'hui un chiffre d'affaires voisin de 100 M€ et emploie près de 500 personnes dans le bassin grenoblois. De nombreux contrats de collaboration, en particulier dans le cadre des laboratoires communs, lient toujours ces sociétés à leur laboratoire d'origine.

### Fondateurs :

**Jean-Pierre Chatard, Jean-Luc Tissot et Philippe Bensussan**

## CROCUS TECHNOLOGY

[www.crocus-technology.com](http://www.crocus-technology.com)

Créée en 2004 à partir de technologies issues du CEA et du CNRS, CROCUS Technology ambitionne de devenir un leader mondial des mémoires MRAM (Magnetic random access memories). Sa technologie unique a été développée et brevetée par le laboratoire de spintronique SPINTEC, unité commune CEA/CNRS. La mémoire MRAM est souvent considérée comme la mémoire « idéale » alliant rapidité, débit, capacité et non volatilité, ce qui lui ouvre un champ d'application immense (microprocesseurs, téléphonie, appareils nomades...).

La société a déjà levé une trentaine de M€, emploie 25 personnes sur les sites de GIANT et Sunnyvale en Californie, et poursuit des collaborations très étroites avec les laboratoires partenaires de GIANT.

### Fondateurs :

**Jean-Pierre Nozières, Christian Marc et Jean-Pierre Braun**

## TIEMPO

[www.tiempo-ic.com](http://www.tiempo-ic.com)

Tiempo a été créée en juillet 2007 à partir de travaux menés à Grenoble INP. Tiempo développe et commercialise des « core-IP » (propriété intellectuelle) pour la conception de systèmes intégrés de très faible consommation énergétique, très faible bruit, fonctionnant à faible tension et sécurisés. La technologie innovante de conception asynchrone (sans horloge) industrialisée par Tiempo est extrêmement performante et permet la conception de composants tolérants aux variations des paramètres des processus de fabrication nanométriques, un problème critique pour les technologies 65 nm, 45 nm et au delà.

Tiempo a levé 1,1 M€ en janvier 2008, emploie 14 personnes sur son site de Montbonnot-Saint-Martin et poursuit le développement de ses produits ainsi que le développement de ses ventes en France et à l'international.

### Fondateurs :

**Marc Renaudin et Serge Maginot**

## MCPHY

[www.mcphy.com](http://www.mcphy.com)

Issue de travaux du CNRS, McPhy Energy SA a été créée en janvier 2008 pour industrialiser les procédés de stockage de l'hydrogène sous forme d'hydrures de magnésium développés au CNRS en partenariat avec l'Université Joseph Fourier. McPhy Energy développe, conçoit, fabrique et vend des réservoirs de stockage d'énergie sous forme d'hydrogène solide. Les domaines d'application sont très vastes. Ils couvrent en fait tous les domaines nécessitant un stockage massif d'hydrogène : le transport, la maison, certaines applications des TIC...

McPhy Energy SA a levé 1,7 M€ en 2009 et a mis en place plusieurs partenariats de R & D avec les laboratoires de GIANT.

### Fondateurs :

**Bruno Wiriath et Michel Jehan**

# ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

**ADN** : Acide DésoxyriboNucléique

**AFSSAPS** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

**AFM** : Microscope à Force Atomique (acronyme anglais)

**ANR** : Agence Nationale de la Recherche

**ARN** : Acide RiboNucléique

**AUC** : Ultracentrifugation analytique (acronyme anglais)

**BISy** : Biologie Intégrative et Systémique

**CALTECH** : Californian institute of Technology

**CAO** : Conception Assistée par Ordinateur

**CEA** : Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives

**CERN** : Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

**CHU** : Centre Hospitalier Universitaire

**CIGS** : Séléniure cuivre-iridium-gallium (acronyme anglais)

**CIME Nanotech** : Centre Interuniversitaire de MicroElectronique et de Nanotechnologie

**CMOS** : Semi-conducteur complémentaire métal-oxyde (acronyme anglais)

**CMTC** : Consortium des Moyens Technologiques Communs

**CNFM** : Coordination Nationale de la Formation en Microélectronique

**CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique

**CRETA** : Consortium de Recherche pour l'Emergence de Technologies Avancées

**CVD** : Dépôt chimique en phase vapeur

**EDF** : Electricité De France

**EMBL** : Laboratoire européen de biologie moléculaire (acronyme anglais)

**ESO** : Observatoire européen austral (acronyme anglais)

**ESONN** : Ecole européenne de nanosciences et nanotechnologies (acronyme anglais)

**ESRF** : Installation européenne de rayonnement synchrotron (acronyme anglais)

**EUV** : Ultraviolet extrême (acronyme anglais)

**FD SOI** : Silicium sur isolant "fully depleted"

**FET** : Transistor à effet de champ (acronyme anglais)

**FIB** : Faisceau d'ions focalisé (acronyme anglais)

**FMNT** : Fédération des Micro et Nano Technologies

**FPGA** : Circuit intégré programmable (acronyme anglais)

**FSOI** : Interconnexion optique d'espace ouvert (acronyme anglais)

**GANIL** : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds

**GeOI** : Germanium sur isolant (acronyme anglais)

**GIANT** : Grenoble Innovation for Advanced New Technologies

**GRAIN** : GRenoble Alpes Incubation

**GRAVIT** : GRenoble Alpes Valorisation Innovation Technologies

**Grenoble INP** : Grenoble Institut National Polytechnique

**GUI** : Grenoble Université de l'Innovation

**HFI** : Instrument haute fréquence (acronyme anglais)

**ILL** : Institut Laue Langevin

**INRA** : INstitut de Recherche Agronomique

**INSERM** : INstitut National de la Santé et de la Recherche Médicale

**INSTN** : Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires

**IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique

**IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

**ITC** : Calorimétrie de titration isotherme (acronyme anglais)

**ISO** : Organisation internationale de normalisation (acronyme anglais)

**ITER** : International Thermonuclear Experimental Reactor

**LETI** : Laboratoire d'Électronique des Technologies de l'Information

**LHC** : Grand collisionneur de hadrons (acronyme anglais)

**LMJ** : Laser Mégajoule

**LNCMI** : Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses CNRS

**MEG** : Magnéto encéphalographe

**MEMS** : Systèmes électromécaniques micrométriques (acronyme anglais)

**MFM** : Microscope à Force Magnétique

**MOS** : Semi-conducteur métal-oxyde (acronyme anglais)

**MRAM** : Mémoire magnétique à accès direct (acronyme anglais)

**NEMS** : Systèmes électromécaniques nanométriques (acronyme anglais)

**NTE** : Nouvelles Technologies de l'Energie

**OLED** : Diode électroluminescente organique

**OMCVD** : Dépôt chimique en phase vapeur d'organo-métallique (acronyme anglais)

**PEEM** : Microscopie électronique par photoémission (acronyme anglais)

**PEM** : Membrane à transfert de proton (acronyme anglais)

**PEREN** : Plate-forme d'Etude et de Recherche sur l'Energie Nucléaire

**PETALE** : PEpinière Technologique ALpine d'Entreprises

**PFNC** : Plate-forme de NanoCaractérisation

**PME** : Petites et Moyennes Entreprises

**PSB** : Partenariat pour la biologie structurale (acronyme anglais)

**PTA** : Plate-forme Technologique Amont

**PV** : Photovoltaïque

**REACH** : Enregistrement, évaluation et autorisation des produits chimiques (acronyme anglais)

**R&D** : Recherche et Développement

**RF** : Radio Fréquence

**RFID** : Identification radiofréquence (acronyme anglais)

**RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire

**RTRA** : Réseau Thématique de Recherche Avancée

**SNOM** : Microscopie optique champ proche a balayage (acronyme anglais)

**SOI** : Silicium sur isolant (acronyme anglais)

**SPR** : Résonance plasmonique de surface (acronyme anglais)

**STM** : Microscopie tunnel à balayage (acronyme anglais)

**STREP** : Projet de recherche ciblé spécifique (acronyme anglais)

**TIC** : Technologies de l'Information et de la Communication

**TGE** : Très Grands Equipements

**TIRF** : Fluorescence par réflexion totale interne (acronyme anglais)

**UJF** : Université Joseph Fourier

**UPMF** : Université Pierre Mendès France

**UV** : Ultra Violet

**VLT** : Très grand télescope (acronyme anglais)

**VLTI** : Interféromètre du très grand télescope (acronyme anglais)

**WIMP** : Particule massive faiblement interagissante (acronyme anglais)

**XPEEM** : Microscopie électronique de photoémission excitée par rayonnement X (acronyme anglais)

# REMERCIEMENTS ET CONTRIBUTIONS

Les partenaires de GIANT souhaitent remercier les nombreuses personnes qui ont contribué à la réalisation de ce document, tout particulièrement :

L. Aeschelmann	P. Gandit	JL. Martínez Peña
R. Baptist	J. Garin	C. Mestais
A. Barbara	J.M. Gérard	E. Mitchell
B. Barbara	G. Chibaudo	E. Molva
P. Bayle-Guillemaud	A. Girard	J.L. Monin
E. Beaugnon	D. Givord	R. Morel
P. Besesty	J.C. Guibert	J.P. Nozières
J.X. Bourcherle	A. Harrison	A. Pasturel
A. Briand	B. Hébral	E. Pebay-Peyroula
P. Brincard	D. Heuer	J.P. Perin
R. Brissot	A. Ibanez	A. Pervès
H. Burlet	M.R. Johnson	J.L. Rechatin
J. Chabbal	O. Joubert	I. Rivat
J. Chevrier	J. Joyard	M. Rodriguez-Castellano
J. Cibert	J. Kasprzak	R. Ruigrok
J.F. Clerc	E. Kats	G. Schoehn
K. Clugnet	S. Kox	A. Schuhl
L. Daudeville	T. Lamy	M.N. Séméria
F. Debray	F. Lartigue	R. Sousa
S. Decossas	A. Lebouc	W.G. Stirling
N. Dempsey	P. Lejay	J.L. Tholence
N. Farouki	R. Madar	T. Thuillier
D. Feinberg	F. Mallard	C. Vettier
A. Fontaine	L. Maniguet	F. Vinet
M. Fontecave	Y. Maréchal	C. Voillot
T. Fournier	H. Mariette	O. Zimmer

ainsi que tous les administratifs, ingénieurs, scientifiques et techniciens qui font GIANT tous les jours...



[giant.info@cea.fr](mailto:giant.info@cea.fr)

17, rue des Martyrs  
38054 Grenoble Cedex 09

Contact : Stéphane Siebert  
Tel (33) 4 38 78 05 21