



**Voyage de presse**

**« 50 ans du CEA Grenoble »**

***De Mélusine à Minatec***

**9 mai et 10 mai 2006**





## Voyage de presse

### « 50 ans du CEA Grenoble »

#### SOMMAIRE

- Le CEA Grenoble, premier centre technologique en Rhône-Alpes
- Les dates clés de l'histoire du centre
- Petites et grandes inventions issues du CEA Grenoble

#### *Axes de recherche et applications :*

1. Micro et nanotechnologies : du cœur silicium à la nanoélectronique
2. Un acteur majeur des nouvelles technologies de l'énergie
3. Les biotechnologies

#### *ANNEXES :*

- RESTAURE : la plate-forme des cellules photovoltaïques nouvelle génération
- La valorisation au CEA Grenoble
- La plate-forme de nanocaractérisation : un outil de pointe pour l'infiniment petit
- Chimtronique : la recherche fondamentale explore le futur de la microélectronique
- Plan général du pôle Minatec et plan détaillé des nouveaux bâtiments



## CEA Grenoble, premier centre de recherche technologique en Rhône-Alpes



Créé en 1956 par le professeur Louis Néel, prix Nobel de physique, le CEA Grenoble est l'un des 9 centres du CEA et le premier centre de recherche technologique en Rhône-Alpes. Ses thématiques de recherche le placent au cœur des grands enjeux de la société : nouvelles technologies pour l'énergie, information et communication, santé et environnement.

Le CEA est un EPIC (établissement public à caractère industriel et commercial). A la pointe de l'innovation, le CEA est un partenaire majeur du monde industriel et participe au développement économique régional. Initiateur du pôle d'innovation en micro et nanotechnologies Minatec, il en est l'un des principaux partenaires.

A deux pas du centre ville de Grenoble, le CEA Grenoble se développe en ménageant le futur. Il s'est doté en 2003 d'un plan de déplacement d'entreprise.

### Des activités à la pointe de l'innovation technologique



#### Micro et nanotechnologies

- Développement de nouveaux procédés de fabrication des composants électroniques sur silicium, de matériaux avancés et d'assemblages moléculaires pour anticiper les technologies du futur.
- Conception de microsystèmes intégrant de nouvelles fonctionnalités sur les puces (microcapteurs, microcaméras, microsources d'énergie...).
- Mise en œuvre de la chaîne de l'image (imageurs dans le domaine du visible, de l'infrarouge ou X, écrans plats...).
- Recherche sur les télécommunications, les objets communicants pour les réseaux, les terminaux et les services du futur.
- Etudes sur les usages, pour imaginer les futures applications des micro et nanotechnologies.

DR CEA / Ph. Stroppa

*Ces activités sont conduites par le CEA Léti dans le cadre du pôle d'excellence Minatec et du pôle de compétitivité mondial Minalogic.*



#### Nouvelles technologies pour l'énergie

- Développement de la filière hydrogène, de la production, à sa conversion en énergie électrique par des piles à combustible en passant par son transport et son stockage.
- Conception de micro sources d'énergie pour les équipements nomades.

DR ADEME / O. Sebard

- Recherches sur le solaire photovoltaïque et la gestion de l'énergie pour développer le concept d'habitat à « énergie positive » (qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme).

- Elaboration de nanomatériaux pour développer de nouvelles batteries, des objets aux propriétés mécaniques remarquables ou encore des nouveaux colorants pour les verres.

*Les activités solaires sont conduites à l'Institut national de l'énergie solaire (INES) à Chambéry avec le CNRS et le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Une partie des activités NTE s'inscrit également dans le pôle de compétitivité régional TENERDIS.*

### **Biotechnologies**

- Mise au point d'outils miniaturisés – biopuces et microsystèmes – pour un diagnostic précoce, rapide, et proche du patient ainsi que pour la surveillance de l'environnement.
- Conception de systèmes pour la mise au point de nouveaux médicaments (criblage haut débit de molécules candidates) et de « vecteurs » de médicaments spécifiques, moins toxiques.
- Développement de nouveaux outils pour l'étude des mécanismes biologiques fondamentaux, identification de biomarqueurs de maladies.
- Réalisation de systèmes d'imagerie médicale plus performants, moins invasifs et plus économiques notamment pour l'imagerie in vivo.
- Participation au programme national de lutte contre les risques liés notamment au bio terrorisme (programme NRBC).

*Ces activités s'effectuent en étroite synergie avec le pôle NanoBio en partenariat avec l'UJF (Université Joseph Fourier) et le CNRS, et avec le pôle de compétitivité mondial Lyon Biopôle.*



DR CEA / Ph. Stroppa

### **Une recherche fondamentale d'excellence**

- Acquisition de connaissances fondamentales en physique de la matière (magnétisme et la supraconductivité) et en chimie, en biologie cellulaire et moléculaire (en particulier dans le domaine des protéines) et exploration des champs à l'interface de ces disciplines.



DR CEA / Christian Morel

- Etude des phénomènes et procédés physiques, chimiques, biochimiques et biologiques en amont des nouvelles technologies de l'information, de l'énergie et de la santé ; développement des nanosciences.
- Etude du rôle des métaux en biologie, de la radiobiologie et de la toxicologie nucléaire.
- Recherche et développement de technologies pour les froids extrêmes (cryogénie), exploitation de plates-formes technologiques et de grands outils européens (ILL et ESRF).

- Exploration moléculaire des protéines en partenariat avec les instituts européens du site (EMBL, ESRF, ILL).

### Une politique de valorisation industrielle

Le CEA Grenoble est fortement impliqué dans le transfert de ses connaissances et de son savoir-faire vers le monde industriel, par le biais de cessions de brevets, de contrats, etc. Il a donné naissance à 37 start-up, parmi lesquelles EFCIS (à l'origine de l'activité grenobloise de STMicroelectronics), Soitec, Sofradir, Ulis, etc.

Le centre est aujourd'hui partenaire de près de 200 entreprises industrielles, couvrant la plupart des grands secteurs économiques : aéronautique, automobile, défense, électronique et multimédia, télécommunications, santé...

Il intervient également aux côtés d'entreprises appartenant à des secteurs plus traditionnels (textile, papier, bâtiment...) pour les aider à se doter d'avantages compétitifs à travers l'innovation technologique.

#### Le CEA Grenoble en chiffres (2005) :

**4200** personnes sur le site dont 2300 salariés CEA

**3,7%** de la masse salariale consacrée à la formation

**192** thésards, 63 post-doctorants et 33 DRT (diplômes de recherche technologique)

**350** millions d'euros de budget

**63** hectares

**115** laboratoires

**10 000 m<sup>2</sup>** de salles blanches

**200** partenaires industriels,

**20** laboratoires communs

**37** start-up créées

**2100** emplois directs

**225** brevets déposés par an

**1200** dossiers de brevets en vigueur

**376** contrats de vente signés en 2005



## Histoire du CEA Grenoble : repères chronologiques



◀ **1956** : Création du centre d'études nucléaire de Grenoble (CENG) par Louis Néel.

**1957** : Création des premiers laboratoires : physique du solide, résonance magnétique, diffraction neutronique, basses températures, électrochimie, transferts thermiques... et du service des piles atomiques.

**1958** : Entrée en activité de Mélusine, premier réacteur piscine en France.

◀ **1960** : Visite du général de Gaulle à Mélusine.

**1961** : Construction du réacteur expérimental Siloé. La « pile piscine » à cœur ouvert, d'une puissance de 15 mégawatts, entre en activité en 1963.

**1965** : Réalisation du premier circuit intégré français, composé de 10 transistors.

**1967** : Création du Léliot, laboratoire d'électronique et de technologie de l'information

**1968** : Inauguration du laboratoire de cristallogénèse, qui fournit notamment des monocristaux aux industriels de l'électronique.

◀ **1969** : Création d'Arc Nucléart, groupement d'intérêt public culturel spécialisé dans la restauration des œuvres d'art et la conservation du patrimoine.

**1970** : Louis Néel obtient le prix Nobel de Physique pour ses découvertes et l'ensemble de ses recherches sur le magnétisme.

**1971** : Constitution d'un département pour la recherche fondamentale sur la matière condensée, avec un souci de développer des applications avec des partenaires.

**1972** : Création d'EFCIS, première entreprise essaimée du Léliot, spécialisée dans la réalisation de circuits CMOS. EFCIS sera racheté par Thomson CSF qui donnera ensuite naissance à la branche grenobloise de ST Microelectronics.

**1976** : Louis Néel fait ses adieux au CENG, qu'il a dirigé jusqu'en 1970, concluant un chapitre d'une carrière remarquable de physicien.

**1978** : Obtention de la première image d'atomes en microscopie électronique.

◀ **1982** : Le Léliot s'équipe d'un centre de microélectronique, 6000 m<sup>2</sup> de nouveaux bâtiments dont 2000 m<sup>2</sup> de salles blanches. Le nouveau bâtiment sera inauguré par François Mitterrand en 1985.

**1983** : Création du GRETh (groupement pour la recherche sur les échanges thermiques.) cofinancé avec l'ADEME, le GRETh travaille directement avec des industriels et compte aujourd'hui environ 80 adhérents.

**1984** : Michel Bruel (Léliot) met au point le procédé Simox (silicium sur isolat par implantation d'oxygène) à l'origine de la création de la start-up SOITEC.



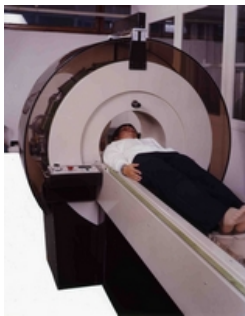
◀ **1985** : Grâce à ses compétences en magnétométrie, le Légi collabore à la découverte de l'épave du Titanic dans l'Atlantique Nord, lors d'une campagne franco-américaine.

**1986** : Le CEA, Thomson-CSF et la SAT créent la société Sofradir (société française de détection infrarouge).

**1986** : Signature de l'accord Jessi (entre le Légi, le CNET et SGS Thomson) dont l'objectif consiste à intégrer 100 millions de transistors par puce.

**1988** : Construction d'une tour à chute libre de 47 mètres de haut pour l'étude de la solidification en microgravité.

**1989** : Pose de la première pierre des nouveaux bâtiments 41 du Légi abritant des salles blanches 200 mm de dernière génération.



**1991** : Création de l'IBS, Institut de biologie structurale, qui réunit le CEA, le CNRS et l'Université Joseph Fourier.

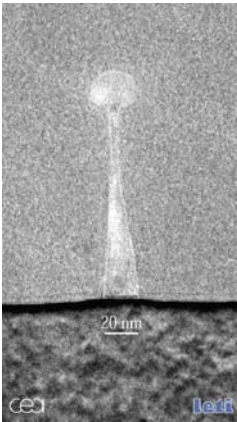
**1992** : Essaimage de Soitec, start-up du CEA Légi, créée à partir du brevet de Michel Briel, devenu le leader mondial du SOI (silicium sur isolant).

◀ **1993** : Le CEA Légi lance le programme Morphomètre 3D (visualisation d'organes en trois dimensions) pour des applications médicales.

**1995** : La fin du « Singe » : le CENG est rebaptisé CEA Grenoble.

**1996** : Un Grenoblois dans l'espace : Jean-Jacques Favier, physicien devenu astronaute participe à la plus longue mission de la navette Columbia (du 20 juin au 7 juillet) où il réalise plusieurs expériences en microgravité.

**1997** : Arrêt de Siloé, les activités de recherche sur les réacteurs seront regroupées sur le site CEA de Cadarache.



◀ **1999** : Le CEA Légi réalise le record du monde du plus petit transistor (20 nanomètres).

**1999** : Lancement de la plate-forme technologique PLATO dans le cadre du programme Microélectronique du futur.

**2002** : Lancement de PASSAGE, programme d'assainissement et de démantèlement des installations nucléaires du centre. Ce projet aboutira, d'ici à 2015, au déclassement et à la réaffectation de l'ensemble des bâtiments concernés.

**2002** : Signature de l'accord de R&D avec les industriels de l'Alliance Crolles 2 : STMicroelectronics, Philips et Freescale Semiconductors.

**2003** : Lancement de la plate-forme Nanotec 300, et du programme de recherches 300 mm avec les industriels de l'Alliance Crolles 2.

**2005** : Signature de la convention du projet NanoBio, centre d'excellence en nanobiotechnologies, lancé en partenariat avec l'UJF et le centre hospitalier universitaire de La Tronche.

**2005** : Labellisation des pôles de compétitivité Minalogic (solutions miniaturisées intelligentes), Lyon Biopôle (vaccin et diagnostic) et TENERDIS (énergies renouvelables) par le gouvernement. Le CEA Grenoble a joué un rôle actif dans la mise en place de ces trois pôles.



◀ **2006** : Inauguration du pôle d'innovation Minatec.



## Petites et grandes inventions issues du CEA Grenoble

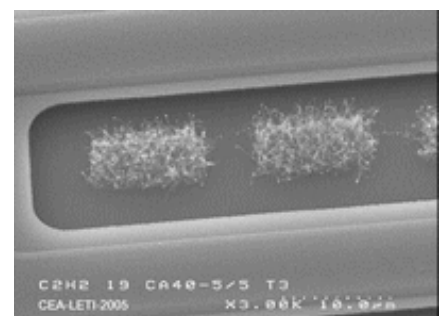
**Du nucléaire aux micro et nanotechnologies, en passant par les nouvelles énergies, les biotechnologies, les matériaux et l'environnement, les chercheurs du CEA Grenoble ont innové et inventé dans tous les domaines. Tour d'horizon de quelques-unes des nombreuses technologies mises au point entre le Drac et l'Isère.**

### Technologies de l'information

**Les capteurs pour airbag®** : saviez-vous que la technologie des airbags n'existerait pas sans une invention du CEA Létì. Un microaccéléromètre en silicium – décrit dans un brevet déposé en 1985 – est à l'origine de la technologie utilisée par tous les constructeurs automobiles. Après une procédure en contrefaçon des licences d'exploitation du procédé ont été cédées aux quatre plus grands fabricants mondiaux : Analog Devices, Bosch, Freescale et Denso.

**Le SOI un substrat silicium révolutionnaire** : inventé par Michel Bruel, chercheur au Létì, ce nouveau « substrat » (matériau) améliore les performances des puces produites : 30% plus rapides, 25% plus écono-mes en énergie. Il est aujourd'hui utilisé par les industriels du monde entier (IBM, AMD, Sony, etc.) et est présent, par exemple, dans les dernières consoles de jeux portables. Cette invention a fait l'objet de la création de la start-up SOITEC, devenue en moins de dix ans le numéro un mondial des substrats innovants pour silicium.

**Des brevets pionniers dans les écrans plats** : le CEA Létì a produit plusieurs technologies importantes pour les écrans plats et l'une d'elle (dite « vertically aligned ») est utilisée aujourd'hui par la plupart des constructeurs. Aujourd'hui, les chercheurs de Grenoble travaillent sur l'utilisation de *nanotubes de carbone* pour la production de nouveaux écrans plats 30% moins cher à produire et consommant 2 fois moins d'électricité. Le remplacement du milliard d'écrans de télévision en service par cette nouvelle technologie ferait économiser 500 mégawatts par an à notre planète.



DR CEA Létì

**Sécurité des cartes à puces :** En collaboration avec la société HEF, le CEA Liten a développé une microbatterie qui alimente la mémoire où sont sauvegardées toutes les



données. Une tentative d'accès frauduleux aux données est immédiatement détectée, les données sont alors totalement effacées. Une protection très efficace !

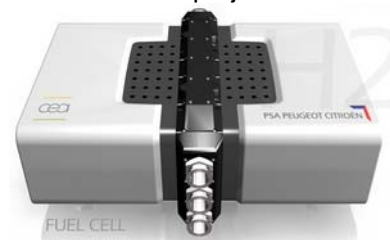
**Tickets sans contact :** les usagers du métro parisien l'ignorent sans doute, mais la technologie qui leur permet d'éviter les files d'attente devant les machines à oblitérer a été imaginée et développée par le CEA Léli. Jetable, hautement sécurisé et produit à très bas coût : le nouveau ticket est implanté progressivement par la RATP depuis 2001. A la clé : plus de confort pour les voyageurs, moins de maintenance et moins de fraude...

**Souris pour navigation 3D :** baisser le poignet et plonger dans une vallée, le relever et grimper une montagne, pousser du pouce un molette et survoler à grande vitesse tout un département, c'est désormais possible sur l'écran de votre ordinateur grâce à une souris sans fil développée par les chercheurs du CEA Léli. La Magic Ball ne se dirige pas sur une table comme le périphérique classique mais dans l'air, grâce à ses trois microaccéléromètres, ses trois micromagnétomètres et son microcapteur de force.

**Localisation des victimes d'avalanche :** Des ingénieurs du Léli travaillant sur les technologies d'émission / réception d'ondes radio ultra large bande pour télécommunications ont imaginé une autre application : la localisation des victimes d'avalanche. Le procédé, baptisé ALVA, permet de visualiser en temps réel la position des personnes ensevelies sous la neige et la progression des secouristes.

### Nouvelles énergies

**GENEPAC, la première pile à combustible française pour automobile :** projet commun CEA / PSA Peugeot Citroën, la nouvelle pile à hydrogène dévoilée en janvier 2006 a rejoint le meilleur niveau de la recherche mondiale. Une technologie qui permet au constructeur de préparer les futurs véhicules de l'après-pétrole.



**Un interrupteur au doigt et à l'œil :** le Liten (Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux) a développé un micro-générateur thermique qui permet d'actionner un interrupteur à distance sans nécessiter aucune source d'énergie embarquée. Cette technologie, imaginée par un chercheur de Grenoble, provoque la transmission d'un signal radio sans aucun autre apport d'énergie que la chaleur du doigt.

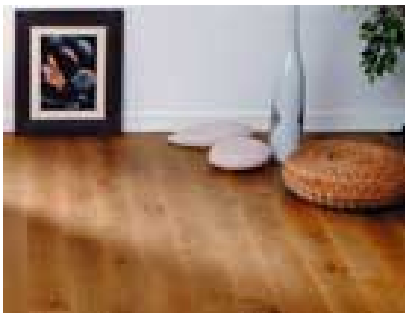


DRC CEA / Totem de Pierre

**Mini pile à combustible pour téléphones portables :** les chercheurs du Liten (Laboratoire d'innovations pour les technologies des énergies) développent actuellement un chargeur pour appareils nomades (PDA, portables, baladeurs MP3, etc.) qui fonctionnera à l'aide d'une pile à combustible rechargeable. Cette pile produit localement l'hydrogène en toute sécurité et est recyclable à 99%. Une solution intéressante face à la demande croissante en batteries à travers le monde.

### Matériaux / nanomatériaux

**Le Pyrocarbone (Pyc) la prothèse idéale :** Inusable, très bien toléré par l'organisme et doté de propriétés semblables à celles de l'os, le Pyrocarbone est une céramique développée dans les années 70 par le CEA de Grenoble pour servir de gainage à certains réacteurs nucléaires. Il est aujourd'hui utilisé par Bioprofile, une start-up hébergée sur le centre de Grenoble qui fabrique des implants orthopédiques (prothèses pour genoux, pieds et rachis).



**Procédés de protection du bois.** Les chercheurs du laboratoire ARC Nucléart du CEA à Grenoble ne se contentent pas de restaurer les œuvres d'art et les vestiges archéologiques. Ils développent également de nouvelles technologies pour protéger le bois. Ainsi, pour un industriel du parquet, ils ont mis au point un procédé de durcissement par imprégnation. Et plus récemment, une technologie réduisant les déformations provoquées par l'humidité.

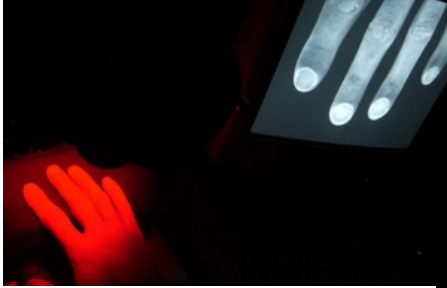
**Des alliages fer/aluminium ultra-légers :** le CEA Liten a élaboré un nouveau procédé pour réaliser un matériau 25% plus léger que l'acier et doté d'excellentes propriétés mécaniques. Ce procédé, transféré à la société Mecachrome a été utilisé par l'industrie automobile pour des tests en formule 1.

### Santé / Environnement

#### Le premier scanner français

C'est dans les locaux du CEA Grenoble que fut mis au point le premier scanner à rayons X, en 1972, en partenariat avec le CHU de Grenoble et la Compagnie générale de radiologie (CGR). Depuis lors, le Liten n'a cessé de perfectionner cette technologie et d'imaginer de

nouvelles pistes pour l'imagerie médicale. Il a notamment réalisé en 1993 une première mondiale avec le « morphomètre » à rayons X qui ouvrira la voie à la tomographie tridimensionnelle. Le Létis a également développé le premier ostéodensitomètre, appareil de mesure de la densité des os, en partenariat avec la société DMS.



DRC CEA / P. Stroppa

**Des molécules fluorescentes :** les chercheurs du CEA Grenoble ont mis au point une nouvelle technique d'imagerie par fluorescence qui permet de localiser in vivo la position des molécules fluorescentes, une technique précieuse pour la mise au point d'un médicament. Une application qui pourrait concerner bientôt le diagnostic et la lutte contre le cancer.

**Une puce contre la grippe aviaire :** dans le cadre d'un projet commun avec STMicroelectronics, le CEA Létis a développé l'architecture de la puce utilisée dans la nouvelle plateforme de détection moléculaire rapide qui permettra bientôt (fin 2006) de diagnostiquer en temps record le virus de la grippe aviaire à partir d'un simple échantillon biologique. Les équipes du Létis ont également développé le système de lecture optique des résultats d'analyse et la validation biologique.

**Capteurs de pollution automobile :** Les chercheurs du département optronique du Létis travaillent à la mise au point d'un capteur de pollution à base d'infrarouge. Installé à proximité du pot d'échappement, ce capteur détecte les gaz polluants et évalue leur concentration. Une technologie qui devrait intéresser tous les industriels européens qui devront, à partir de 2008, équiper tous les véhicules neufs d'un dispositif de mesure de la concentration des polluants dans les gaz d'échappement.

**Dessalement de l'eau de mer :** Produire de l'eau potable à partir de l'eau de mer, ce vieux rêve a été rendu possible par une technologie développée au CEA Grenoble par des chercheurs spécialisés dans les échanges de chaleur. En 2003, le Greth (Groupement pour la recherche sur les échanges thermiques), a réalisé un prototype révolutionnaire au Portugal en collaboration avec neuf partenaires européens. Construite entièrement en matériaux polymères, cette petite unité résiste à la corrosion et produit de l'eau directement buvable après reminéralisation.



## AXES DE RECHERCHE ET APPLICATIONS

### 1. Micro et nanotechnologies : du cœur silicium aux industries traditionnelles

Les programmes de recherche de Minatec s'inscrivent dans la continuité des travaux menés depuis 40 ans par les chercheurs du CEA Léti dans le domaine de la microélectronique. Mais les scientifiques ont progressivement élargi leurs domaines de recherche, passant des composants électroniques sur silicium (transistors, mémoires, etc.) à leur intégration dans des systèmes de plus en plus complexes. Ils travaillent aujourd'hui avec une grande variété d'industriels : automobile, aéronautique, télécommunications, multimédia grand public, imagerie médicale, etc.

#### De la microélectronique à la nanoélectronique : le CEA Grenoble dans la course mondiale à la miniaturisation



DR CEA / Philippe Stroppa

Le développement de nouvelles technologies pour les composants électroniques sur silicium constitue le cœur des thèmes de recherche de Minatec (70% des programmes) et le principal débouché actuel des micro et nanotechnologies.

Dans ce domaine, les chercheurs poursuivent la course à la miniaturisation qui vise à produire sur des plaques de silicium de plus en plus grandes (actuellement 300 mm), un

nombre croissant de puces, réduisant ainsi leur coût de production de manière exponentielle. C'est la fameuse loi de Moore, énoncée en 1965 et toujours vérifiée depuis, qui prévoit un doublement, tous les 18 mois, du nombre de composants gravés sur une surface donnée.

Pour rester dans cette course, les technologues du pôle Minatec développent de nouveaux procédés de fabrication des puces, de nouveaux matériaux avancés (nouveaux substrats pour la microélectronique) et anticipent, avec l'aide des physiciens et chimistes, les technologies du futur comme l'électronique moléculaire. Les chercheurs travaillent également à l'ajout de nouvelles fonctionnalités sur les puces en intégrant de l'intelligence (logiciels), des capteurs, des composants passifs radiofréquence ou des microsources d'énergie embarquées.

Les recherches de Minatec en micro et nanoélectronique sont aujourd'hui orientées principalement dans trois directions :



DR CEA / Pascal Conche

### ***Le programme Nanotec 300, cœur du partenariat avec l'Alliance***

En 2003, le pôle Minatec s'est doté d'une plateforme de recherche dédiée au 300 mm, le nouveau standard mondial de production de semi-conducteurs. Développée en partenariat avec les industriels de l'Alliance Crolles 2 (ST Microelectronics, Freescale Semiconductors et Philips Semiconductors),

Nanotec 300 vise à franchir les prochaines étapes de la course à la miniaturisation : les 45, 32 et 22 nanomètres et au-delà. La plateforme fonctionne 24 heures sur 24 et sept jours sur sept. Elle utilise le principe des « boucles courtes », développé par le CEA Léti et STMicroelectronics durant les années 80, qui consiste à faire circuler des plaques de silicium entre les chercheurs du site Minatec – pour les procédés innovants – et ceux de Crolles – pour les opérations technologiques stabilisées. Cette organisation optimise l'utilisation des ressources et réduit les temps de développement.

### ***Matériaux avancés : un champ d'innovation stratégique***

D'ores et déjà, le silicium pur ne répond plus aux exigences croissantes des applications électroniques en termes de vitesse et de consommation d'énergie. Ajoutés au silicium, de nouveaux matériaux permettent de réaliser des substrats dits « hétérogènes » plus performants. Ils constituent donc un champ d'innovation stratégique pour Minatec. En partenariat avec la start-up grenobloise Soitec, issue de ses laboratoires et leader mondial du SOI (silicium sur isolant), le CEA-Léti a décidé de créer un centre d'innovation et d'ingénierie des matériaux qui permettra au pôle de maintenir et d'accroître son avance dans ce domaine.

### ***La recherche fondamentale et l'électronique moléculaire***

Les techniques actuelles de production des semi-conducteurs, basées sur une miniaturisation extrême (approche « descendante » des nanotechnologies), ont des limites physiques prévisibles. Le passage à de nouveaux modes de production à partir d'assemblage d'objets de taille nanométrique (approche « ascendante »)



DR CEA / Philippe Stroppa

doit être envisagé. La recherche fondamentale – en physique, chimie et biologie – joue un rôle essentiel dans ce domaine. Il s'agit de développer une technologie radicalement nouvelle, l'électronique moléculaire, qui construira par auto-assemblage dans les trois dimensions des nano objets multifonctionnels. A l'échelle de ces nano objets seront mis en œuvre les effets surprenants de la physique quantique, de la spintronique. Avec des applications parfois déjà bien identifiées comme les mémoires non volatiles conçues dans le laboratoire Spintec, qui utilisent déjà les effets de l'électronique de spin.

*\* Les mémoires non volatiles (type Flash) sont utilisées aujourd'hui dans les appareils nomades (assistant numérique personnel, baladeurs et appareils photos numériques, etc.). Elles remplaceront demain les disques durs des ordinateurs.*



Le premier prototype du microscope atomique Titan est installé au CEA Grenoble.  
DR CEA / Christian Morel

### **Une plateforme de nanocaractérisation unique en Europe**

Pour étudier les objets de taille nanométrique sous toutes leurs coutures, les scientifiques ont besoin de différents microscopes, extrêmement puissants, mais également d'équipements de diffraction par rayon X, de « nano scalpels » pour découper des tranches de quelques atomes, etc.

Courant 2006, le pôle Minatec disposera de la première plateforme de nanocaractérisation en Europe, qui regroupera une quarantaine d'équipements de pointe. Ces machines, qui intéressent autant les scientifiques de la recherche fondamentale (CNRS, INPG, etc.) que les chercheurs appliqués du Léti et les industriels, seront gérées et opérées par la société Serma Technologies, chargée d'optimiser l'utilisation de cette plateforme.

Les acteurs du pôle Minatec bénéficient également de la présence de grands équipements sur le Polygone scientifique de Grenoble, dont le Synchrotron.

## Principaux débouchés industriels des micro et nanotechnologies

La filière microélectronique, qui réunit notamment les fabricants de semi-conducteurs (ST Microelectronics, Freescale Semiconductors, Philips) a fait la renommée du site isérois et représente toujours le premier débouché industriel des recherches menées au sein de Minatec. D'une manière indirecte, les composants électroniques développés par les chercheurs de Minatec se retrouvent aujourd'hui dans une multitude de secteurs : informatique, télécommunications, automobile, aéronautique, électronique grand public, etc.

Aujourd'hui, trois autres grandes filières industrielles constituent un débouché stratégique pour les travaux de recherches menés au sein de Minatec :

### Chaîne de l'image : du visible à l'invisible



Prototype d'écran souple.  
DR CEA / CEA Léti

De petits appareils photo sont maintenant embarqués sur tous les appareils nomades, la qualité d'image étant préservée malgré la réduction drastique du volume et du coût grâce aux microtechnologies.

Initialement développés pour les besoins de la Défense, les capteurs infrarouges connaissent aujourd'hui de nombreux débouchés civils comme la mesure de la pollution automobile par les gaz d'échappement, la conduite automobile ou la détection des malades atteints du SRAS dans les aéroports.

Produit phare de l'électronique grand public, l'écran plat est également une application des recherches menées au sein du pôle Minatec. Les chercheurs ont notamment développé une technologie alternative aux écrans plasma et à cristaux liquides en utilisant les propriétés conductrices des nanotubes de carbone.

L'imagerie médicale passe au numérique, ce qui constitue un autre débouché important pour les chercheurs du CEA-

Léti, créateurs du premier scanner français en 1976. Les micro et nanotechnologies sont et seront à l'origine d'innovations de rupture dans ce domaine : réduction des coûts de composants, optimisation du traitement de l'information, développement de nouvelles voies pour l'imagerie in vivo, etc.



Les nanotubes de carbone sont utilisés pour les écrans plats. Cette nouvelle technologie pourrait succéder au LCD et au plasma. DR CEA / CEA Léti

### **Télécommunications et objets communicants**

L'industrie des télécommunications est fortement consommatrice d'innovations technologiques pour améliorer les performances des réseaux et des terminaux mais également pour proposer de nouveaux services. Les progrès conjugués de la microélectronique, de l'informatique et des transmissions sans fil permettent désormais de développer de multiples applications dans ce secteur. La localisation en temps réel des victimes d'avalanche, les billets électroniques ou le suivi médical à distance des personnes âgées dépendantes constituent quelques exemples des applications futures étudiées au sein du pôle Minatec.

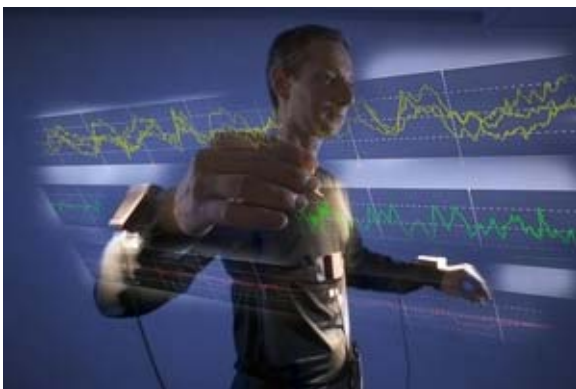
Les chercheurs du pôle apportent non seulement leur contribution dans le domaine technique mais également dans l'analyse de la valeur des nouveaux services envisagés auprès des utilisateurs potentiels. Les questions de sécurité sont essentielles, les questions d'usages aussi. Le laboratoire MINATEC IDEAs Laboratory®, créé à l'initiative du CEA en 2003, réunit des technologues et des chercheurs en sciences humaines pour imaginer et tester ces innovations, et évaluer si celles-ci sont acceptables par la société.



La Magic Ball, conçue par le laboratoire MINATEC IDEAs Laboratory® est une souris de navigation 3D.  
DR CEA / Christian Morel

### **Microsystèmes pour le vivant (biologie, santé et environnement)**

Le rapprochement des sciences du vivant et des micro / nanotechnologies révolutionne les technologies pour la santé. Il permet le développement de nouveaux outils pour la recherche de nouveaux médicaments, le diagnostic ou la prévention des risques pour la santé et l'environnement.



Les capteurs de mouvement permettent d'envisager de nombreuses applications comme le monitoring médical à domicile.  
DR CEA / Christian Morel

Les chercheurs spécialisés dans les microsystèmes pour le vivant travaillent en étroite synergie avec le pôle NanoBio, situé à proximité de Minatec. Leurs travaux concernent, entre autres, le développement de biopuces, de laboratoires sur puces et de capteurs identifiant la présence d'un agent pathogène dans un organisme ou dans l'environnement (grippe aviaire, légionellose, etc.). Ils sont également impliqués dans le programme national de lutte contre les risques liés notamment au bioterrorisme (programme NRBC).

## **L'innovation au service des industries traditionnelles**

Depuis une dizaine d'années, le développement des micro et nanotechnologies a encore accru les champs d'applications possibles. Les chercheurs de Minatec – qui ont développé de fortes compétences dans la recherche sur les nanomatériaux et les microsources d'énergie – sont donc amenés à travailler pour tous les secteurs économiques, y compris pour les industries traditionnelles.

L'industrie du textile, particulièrement bien implantée dans le département et la région, constitue l'un des nouveaux débouchés identifiés : l'intégration de capteurs, de système de récupération de l'énergie, ou encore l'utilisation de revêtements hydrophobes et de nouvelles fibres permettant de lutter contre les contrefaçons figurent parmi les recherches du pôle Minatec en particulier au sein du projet Métis, initié par le Département.

Le développement des nanomatériaux représente enfin un autre débouché industriel majeur. Les procédés de fabrication, de dépôt, de mise en œuvre des nanomatériaux sont un champ de recherche technologique majeur, avec des retombées industrielles dans le domaine de l'électronique, de l'énergie, mais aussi de la sidérurgie, l'industrie automobile, aéronautique ou le bâtiment.



## AXES DE RECHERCHE ET APPLICATIONS

### 2. Le CEA Grenoble, un acteur majeur des Nouvelles Technologies de l'Énergie

**Le centre CEA de Grenoble pilote un programme de recherche technologique national qui vise à répondre aux grands enjeux énergétiques actuels. Deux grands axes d'innovation sont poursuivis : la filière « hydrogène » pour les transports et la filière « solaire photovoltaïque, stockage et maîtrise de l'énergie » pour l'habitat. Ces deux secteurs sont en effet responsables des deux tiers de l'émission des gaz à effet de serre dans notre pays.**

Répondre aux besoins croissants en énergie tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, tels sont les grands enjeux économiques et environnementaux auxquels doit faire face la communauté internationale. En France, où la consommation en énergie primaire reste encore majoritairement d'origine fossile (58% fossile, 34% nucléaire, 8% renouvelable). Le nucléaire fournissant 80% de l'électricité en France, les secteurs du transport et de l'habitat sont les principaux consommateurs d'énergie fossile. Le développement d'énergies de substitution pour ces deux secteurs revêt donc un enjeu considérable.

Fort de son expérience, le CEA assure la maîtrise d'ouvrage déléguée pour le compte de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans les domaines de l'hydrogène et des piles à combustible, du solaire photovoltaïque et de l'efficacité énergétique. Le pilotage de ces programmes est assuré par le *Laboratoire d'Innovations pour les Technologies des Energies nouvelles et les Nanomatériaux* (Liten), basé à Grenoble. Celui-ci regroupe aujourd'hui près de 500 chercheurs, ingénieurs et techniciens travaillant en collaboration avec les autres pôles du CEA.

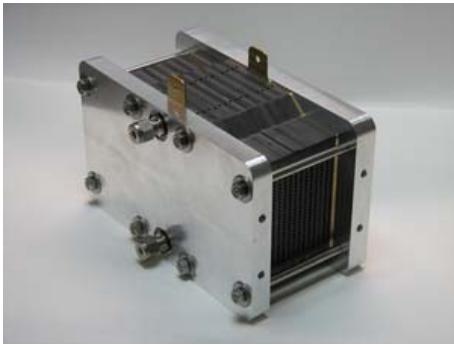
Le centre CEA de Grenoble est parallèlement impliqué dans la mise en place de l'Institut national de l'énergie solaire (INES) à Chambéry. Il est également l'un des porteurs du pôle de compétitivité régional TENERDIS (énergies renouvelables en Rhône-Alpes Drome, Isère, Savoie). Il contribue enfin, d'une manière générale, au développement de l'ensemble de la filière économique des nouvelles technologies de l'énergie.



Maquette des futurs bâtiments l'INES à Chambéry.

## Hydrogène et Pile à Combustible

Non polluant, sous réserve d'être produit à partir de filières technologiques propres, et doté d'une forte capacité énergétique, l'hydrogène représente un formidable vecteur de substitution au pétrole. Néanmoins, de nombreux « verrous » technologiques doivent être levés pour amener cette nouvelle filière à des niveaux de coûts et de performance acceptables.



Le CEA Grenoble développe des « piles à combustible » qui utilisent l'hydrogène pour le transformer en énergie électrique. DR CEA

Principal acteur de la recherche en France dans ce domaine, le CEA travaille sur l'ensemble de la filière hydrogène : production, transport, stockage, réglementation... Il s'implique de manière très active dans les grands programmes de recherche européens et participe à de nombreux projets internationaux. L'hydrogène est ensuite converti en électricité dans des piles à combustible. A Grenoble, les équipes du CEA Liten, aidés par les physiciens du DRFMC, se concentrent essentiellement sur la pile à combustible (PAC) basse température pour des applications liées au transport.



L'équipe commune CEA Liten / PSA Peugeot Citroën a développé la première pile à combustible française pour l'automobile. DR CEA

Les travaux du Liten font l'objet de divers partenariats avec des industriels comme Peugeot PSA associé au projet GENEPAC, qui vise la mise au point d'une PAC de puissance voisine de 70 kW pour l'automobile. En janvier 2006, un premier prototype a été présenté à la presse, d'une puissance de 80 kilowatts, cette pile présente

des performances et une compacité du meilleur niveau mondial.

Parallèlement, le Liten travaille sur le développement d'une micropile à combustible qui permettra d'alimenter des appareils électroniques nomades (appareil photo, baladeur numérique, etc...). Cette micro-pile à combustible est élaborée par des techniques issues de la microélectronique. Elle est composée d'un cœur de pile en silicium et d'une cartouche



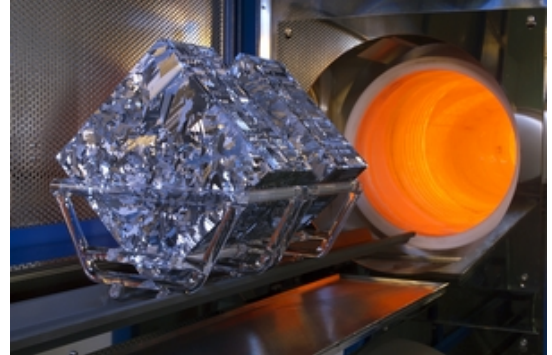
capable de produire de l'hydrogène, et donc de l'énergie, à la demande. Son atout réside essentiellement dans l'énergie stockée dans la cartouche qui est cinq fois supérieure à une batterie lithium conventionnelle pour un volume équivalent.

Le prototype de micropile à combustible développée par le CEA Liten produit de l'hydrogène à la demande. Ce système pourrait être utilisé comme recharge pour les appareils nomades. *DR CEA.*

L'explosion du marché des appareils nomades, de plus en plus gourmands en énergie suscite une consommation exponentielle de batteries au lithium et autres microsources d'énergie. Pour répondre à ce besoin, le CEA Liten consacre une partie de ses recherches au développement de nouvelles solutions de stockage et de récupération de l'énergie pour ces applications de faible puissance. L'objectif consiste à réduire la taille et le poids des batteries tout en améliorant leurs performances (électriques, thermiques, fiabilité...) et en réduisant les coûts de fabrication.

## Solaire photovoltaïque et énergie dans le bâtiment

Dans ce domaine, le CEA travaille sur l'ensemble de la filière : cellules, modules et systèmes, stockage de l'énergie, gestion intelligente de l'énergie dans le bâtiment. Les enjeux : améliorer le rendement de conversion de l'énergie solaire et abaisser le coût de fabrication des cellules photovoltaïques, réduire le coût du stockage, intégrer le photovoltaïque dans le bâtiment, gérer l'ensemble des sources et des charges d'énergie tant électriques que thermiques. Les principaux partenaires industriels du CEA Liten sont Photowatt, EDF, Ténésol (Total Energie), Accus Clément, etc.

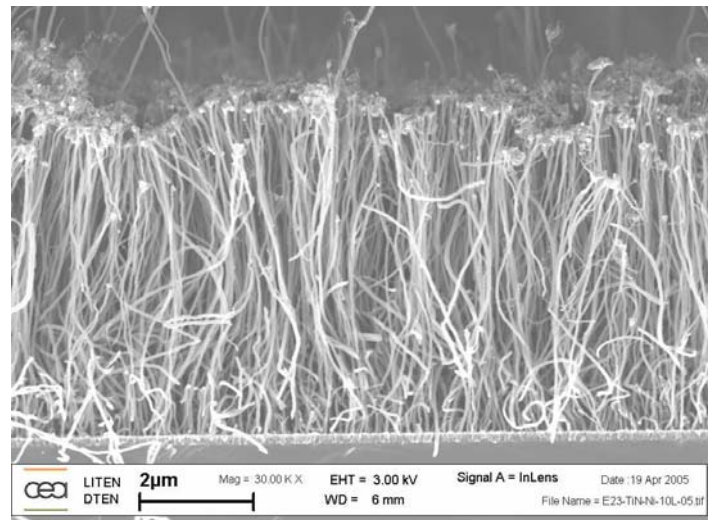


La plate forme RESTAURE du CEA Grenoble doit permettre de développer le rendement des cellules solaires photovoltaïque sur silicium.  
*DR CEA - Art Technique*

Pour améliorer l'efficacité de la R&D dans l'énergie solaire, jusque-là trop dispersée, et créer les conditions d'une nouvelle dynamique dans ce secteur en France, le CEA en partenariat avec le CNRS et en liaison avec le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), a appuyé la création de l'Institut National de l'Energie Solaire (INES) à Chambéry. Signe de sa très forte implication, le CEA y a déjà transféré une soixantaine de chercheurs. Il y concentrera, d'ici la fin de l'année 2006, la plus grande partie de ses équipes et moyens technologiques concernés par le solaire et l'efficacité énergétique.

## Les nanomatériaux : une voie prometteuse

Pour les chercheurs du monde entier, l'utilisation des nanomatériaux représente une piste prometteuse dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie. Les nanomatériaux structurés à l'échelle du nanomètre permettront de réaliser de véritables « sauts technologiques » en réduisant, par exemple, les quantités de matière nécessaires pour produire des piles ou des cellules photovoltaïque. Ainsi, le CEA Liten étudie l'utilisation de nanoparticules pour réduire la quantité de platine utilisé comme catalyseur dans une pile à combustible. Or, le platine est une



Les nanotubes de carbones pourraient être utilisés pour augmenter la surface des électrodes d'une batterie.  
*DR CEA Liten*

matière précieuse qui entre pour une bonne part dans le coût de production des piles.

Les nanotubes de carbones constituent également des matériaux intéressants pour l'énergie : excellents conducteurs, ils peuvent être utilisés pour augmenter la surface des électrodes d'une batterie et doubler ainsi sa capacité de stockage, et donc son autonomie.

Les nanomatériaux peuvent aussi rendre les cellules photovoltaïques plus performantes : l'utilisation de nanoparticules de silicium permettrait à une cellule solaire d'utiliser mieux les photons de forte énergie (UV et bleu) de la lumière solaire.



## AXES DE RECHERCHE ET APPLICATIONS

### 3. Les biotechnologies au CEA Grenoble

**Organisme de recherche à vocation principalement technologique, le CEA, dont l'un des axes fort porte sur les technologies pour la santé, s'attache, depuis sa création en 1945, à faire bénéficier les secteurs de la biologie et de la santé des avancées fondées sur les technologies nucléaires.**

**Les recherches en biotechnologie, menées le plus souvent en partenariat avec l'industrie, ont pour objectif de mettre à profit les compétences générées par les technologies nucléaires, pour développer des outils technologiques innovants pouvant donner lieu in fine à une valorisation industrielle. De plus, ces développements fournissent de puissants outils pour la lutte contre le bioterrorisme, la production de bio-hydrogène ou encore pour les recherches sur la toxicité des métaux lourds et les effets des rayonnements sur le vivant et l'environnement.**

#### **Un couplage entre recherche fondamentale et technologique et de nombreux partenariats**

Le CEA Grenoble réunit des compétences tant en biologie, biologie cellulaire, moléculaire, biochimie, chimie, physique, micro et nanotechnologies ou encore en bio-informatique. Les programmes et plates-formes développées lui permettent de lier les recherches fondamentales en biologie cellulaire, en biochimie et en chimie aux développements technologiques (imagerie, détection, puces...).

Par ailleurs, les équipes du CEA Grenoble sont impliquées dans de nombreux partenariats. Deux départements de recherche sont des **unités mixtes avec l'Université Joseph Fourier et l'Inserm ou le CNRS**. Des partenariats fort existent par ailleurs avec d'autres organismes tels que l'Institut Albert Bonniot, le CHU de Grenoble, l'ENS Lyon, l'Inria, l'EMBL, l'ESRF, l'ILL,... Ces interactions se traduisent par une forte implication du CEA Grenoble à de nombreux pôles et réseaux de recherche parmi lesquels :

- **Le pôle régional d'innovation nanobio**, qui vise à développer de nouveaux outils miniaturisés pour l'analyse, le diagnostic et la thérapie de nombreuses maladies, notamment le cancer.

- **Le pôle de compétitivité Lyon Biopole** sur le diagnostic et le vaccin au service d'un bouclier sanitaire. Ce pôle vise à conforter/renforcer le rôle de la région comme leader mondial sur les thèmes du vaccin et du diagnostic mais aussi de développer des briques technologiques pour accélérer et sécuriser la sortie de nouveaux produits biologiques.
- **Le PSB** - partenariat pour la biologie structurale – réunit l'EMBL (European molecular biology laboratory), l'ESRF (European synchrotron,radiation facility) l'IBS (Institut de biologie structurale) et l'ILL (Institut Laue Langevin) et offre une plate-forme inégalée de production d'échantillons pour la biologie structurale pour l'étude de la structure des molécules biologiques, particulièrement des protéines et de leurs fonctions au sein de la cellule, dans l'objectif d'ouvrir de nouvelles voies à la conception de médicaments.
- **Le réseau européen d'excellence NANO2LIFE**, sur les nanobiotechnologies. Coordonné par le CEA, Nano2life est le premier réseau d'excellence européen en nanobiotechnologies reconnu par la Commission européenne dans le cadre du 6ème PCRD, visant à intégrer l'expertise européenne existante dans le domaine des nanobiotechnologies et à rendre l'Europe plus concurrentielle dans ce domaine, y compris dans le transfert industriel.
- **La Cancéropôle Lyon Auvergne Rhône-Alpes**, visant à fédérer et valoriser les forces universitaires, académiques, hospitalières et industrielles des régions Auvergne et Rhône-Alpes en oncologie afin de favoriser l'industrialisation des innovations, de catalyser l'activité économique, et cela, pour le bénéfice du patient.
- **La Génopôle Rhône-Alpes** qui permet la mise en œuvre d'un projet scientifique, du gène au fonctionnement du vivant, à travers le développement de plates-formes de haut niveau technologique dans le domaine du post-génome.

## Des plates-formes technologiques

**En outre, les équipes de Grenoble disposent de plusieurs plates-formes technologiques ouvertes, élément clé pour favoriser cohérence et synergie entre les unités de recherche et permettre une utilisation optimale des moyens intellectuels et matériels pour développer des projets scientifiques fédérateurs.**

- **une plate-forme protéomique de la Génopole Rhône-Alpes**, développant de nouvelles approches méthodologiques pour la micro-analyse des protéines et assurant des travaux de protéomique au travers de nombreuses collaborations locales, régionales et nationales (programmes Génoplante et GenHomme).
- **un centre de criblage des molécules bio-actives** à Grenoble. Il constitue la première plate-forme académique française de criblage à haut débit dédiée à l'étude des systèmes cellulaires. Il a pour objectif de découvrir, à partir de collections de molécules chimiques (chimiothèques) et de cibles pharmacologiques originales, de nouvelles molécules biologiquement actives.
- **une plate-forme pour la biologie structurale**, l'Institut de Biologie Structurale Jean-Pierre Ebel (IBS, unité Mixte de Recherche CEA - CNRS – Université Joseph Fourier de Grenoble) associant plateau technique et développements méthodologiques en cristallographie, RMN, spectrométrie de masse, microscopie électronique, méthodes optiques ou encore simulation moléculaire. En association avec l'ERSF, l'ILL et l'EMBL, l'IBS contribue à l'organisation de la communauté scientifique européenne au sein du « Partnership for Structural Biology » (PSB). L'IBS dispose notamment d'une station de **marquage isotopique**, une station de **production des protéines et contrôle qualité des protéines produites**, **une plate-forme de cristallogénèse** assurant la surveillance automatique par microscopie de l'apparition de cristaux. Elle est complétée par **la ligne de lumière FIP** de l'ESRF, dédiée à l'analyse structurale des biomolécules par rayons X et entièrement automatisée (réglage et optimisation de l'énergie, montage du cristal, enregistrement et analyse des données).
- **Une plate-forme d'imagerie cellulaire** équipée notamment de vidéo microscopie, microscopie confocal. Cette activité est destinée à se développer dans les années à venir.

## Les recherches

Ces activités réunissent près de 800 personnes issues de plusieurs départements de recherche du CEA Grenoble de la Direction des sciences du vivant, des sciences de la matière et du Leti. Le CEA Grenoble concentre cet ensemble de compétences autour des domaines suivants :

- **L'ingénierie et la structure des biomolécules** qui trouvent leur application dans le développement de biomarqueurs, la création de mini-protéines, d'enzymes ou d'anticorps, utiles dans le domaine du diagnostic, l'étude des interactions des complexes protéiques et l'analyse de la structure ;
- **Le développement de nouveaux outils et méthodes d'analyse globale** comme la bio-informatique et les outils de calcul ;
- **Les micro et nano-technologies** permettent le développement de biopuces (puces à ADN, « laboratoire sur puce », « cellule sur puce » ...) et de biocapteurs. Les domaines d'application sont très larges et intéressent de nombreux secteurs tels que la recherche biologique (et notamment la **génomique<sup>1</sup> fonctionnelle**), la recherche pharmaceutique, le génotypage, le diagnostic, les contrôles agro-alimentaires et industriels, la sécurité civile ;
- **Les systèmes embarqués** visent à proposer de nouveaux outils intégrés au vivant, de façon la moins invasive possible, en associant le développement de matériaux susceptibles d'être en contact avec le vivant et des microsystèmes implantables comprenant microélectronique, capteurs et traitement numérique associé (fibres optiques pour des mesures de températures, chimiques, biochimiques, de vibration ou de chocs).
- **La réalisation de détecteur pour l'imagerie et de nouveaux systèmes d'imagerie pour l'imagerie optique.**
- **Le développement de nouveaux outils, vivants ou inspirés du vivant, destinés à promouvoir l'hydrogène comme source d'énergie à la fois performante et respectueuse de l'environnement.**

---

<sup>1</sup> La génomique est l'étude de l'ensemble des gènes de organismes vivants, de leur disposition sur les chromosomes, de leur séquence et de leur fonction. L'objectif est de réaliser l'inventaire des gènes qui s'expriment dans un type cellulaire donné, à un instant donné et dans un environnement donné.



## RESTAURE : la plate-forme de développement des cellules photovoltaïques

### Domaine de recherche

Cette nouvelle plate-forme offre aux industriels et aux chercheurs du secteur solaire un outil unique en France pour développer des cellules photovoltaïques performantes. RESTAURE permet de tester les innovations issues des laboratoires de recherche et d'amener les innovations jugées utiles au niveau des industriels. L'objectif final consiste à accroître la compétitivité de la filière énergie solaire en limitant les coûts de production et en augmentant le rendement énergétique des cellules. Les recherches permettront également de limiter les rejets produits par les industriels. Cette plate-forme a bénéficié du support financier de l'Ademe.



### Objectifs à court terme

En partenariat avec l'ANR (Agence nationale de la Recherche), Restaure vise deux objectifs parallèles :

- L'augmentation du rendement énergétique des cellules photovoltaïques en silicium<sup>1</sup>, actuellement de 15%, qui devrait atteindre 20% d'ici à 2009 ;
- La réduction du coût de revient de l'énergie photovoltaïque, actuellement de 3 à 4 €/ watt, qui devrait être réduit de moitié d'ici à 5 ans.

Ainsi les travaux de recherche menés au sein de Restaure permettront à la filière énergie solaire de devenir plus concurrentielle face aux autres modes de production de l'énergie.

<sup>1</sup> Les cellules à base silicium constituent actuellement - et pour plusieurs années encore - le standard industriel au niveau mondial. En parallèle le CEA travaille sur d'autres matériaux, en particulier les polymères (plastiques), et s'est vu confier dans ce domaine la coordination du programme de recherche européen Molycell.

## Equipements

La plate-forme se déploie sur une surface de 300 m<sup>2</sup> de laboratoire dont 200 m<sup>2</sup> de salle blanche. Comme toute salle blanche, cette zone est dans un environnement étroitement contrôlé (par filtrage de l'air, contrôle de l'hygrométrie, etc.) dont le but est d'éviter que des particules de poussière ne viennent endommager les cellules et ainsi affecter leurs performances.

Principaux équipements : four de diffusion pour le dopage des plaques de silicium, matériel de dépôt de couches antireflets, sérigraphie, traitement thermique rapide en ligne, simulateur solaire pour la mesure des rendements de conversion, banc de réponse spectrale pour évaluer l'efficacité des cellules, etc.



Ces équipements sont proches de ceux utilisés par l'industrie pour assurer un transfert technologique dans les meilleures conditions. Ainsi, ils permettent la réalisation de plaquettes de silicium de 200 X 200 mm. L'augmentation de la taille des plaquettes constitue un des moyens majeurs pour réduire les coûts de production.

Enfin, l'aménagement de la plate-forme prévoit la possibilité d'ajouter des équipements complémentaires dans le cadre de futurs projets spécifiques, notamment sur le site d'Ines-Chambéry.

## Partenariats

Restaure est une plate-forme de recherche technologique « ouverte », c'est-à-dire ayant vocation à multiplier les partenariats avec les industriels, mais également avec l'ensemble des laboratoires français ou européens effectuant des recherches sur le solaire photovoltaïque.

Les principaux partenaires sont actuellement le CNRS et l'industriel Photowatt International. Des accords spécifiques définissent précisément les termes de chaque collaboration ainsi que la propriété intellectuelle. La gestion pratique de la plate-forme est assurée par un comité de pilotage.

## Financement

Le coût global de la construction de la plate-forme Restaure s'élève à 2,6 millions d'euros dont le financement se répartit comme suit :

CEA	1,2 M€
ADEME	1 M€
Région Rhône-Alpes	0,4 M€
<b>Total</b>	<b>2,6 M€</b>



## La valorisation au CEA Grenoble

**Tourné très tôt vers les applications industrielles de ses recherches, le centre CEA de Grenoble est devenu – en particulier grâce au CEA Léti – l'un des champions français du transfert technologique. La création au CEA, en 2003, d'une direction de la valorisation, principalement localisée à Grenoble, a permis de renforcer cette démarche. Cette direction intervient auprès de l'ensemble des centres du CEA.**

L'innovation technologique est aujourd'hui l'une des clés de la compétitivité des entreprises et de la création d'emplois. Cette innovation repose sur la capacité de valorisation, c'est-à-dire de mettre – rapidement – à la disposition des industriels les connaissances produites par le monde de la recherche. Dans ce domaine la France ne brille que faiblement comparée aux autres grands pays industriels : dans un récent rapport (2006), le cabinet américain spécialisé Lux research positionne ainsi la France dans la catégorie des pays retranchés dans leur « tour d'ivoire ».

Le centre CEA de Grenoble a cependant su se distinguer dans ce domaine grâce aux relations étroites qu'il a développé dès le départ avec le monde industriel. En tant que centre de recherche technologique, il veille en permanence à l'application de ses travaux dans les trois grands domaines où il concentre aujourd'hui ses recherches : les micro et nanotechnologies, les nouvelles technologies de l'énergie et les biotechnologies.

Un chiffre illustre bien cette démarche : les deux tiers du budget du centre (350 millions d'euros en 2005, en croissance de 15% par rapport à 2004) proviennent aujourd'hui de sources « externes » : contrats avec les industriels, programmes supranationaux et européens, concession de brevets ou de licences, etc. La gestion et le développement de ces activités de transfert technologique sont assurés par la direction de la valorisation.

### **Identifier, positionner et promouvoir l'offre technologique**

En amont de la stratégie de valorisation, une démarche de type marketing a été établie, elle vise tout d'abord à mieux connaître et à positionner les technologies disponibles au sein du centre, technologies qui seront au cœur des accords de transfert technologique ou de la création de start-up. Les centres de recherche technologiques sont en effet en situation de concurrence internationale de plus en plus forte, tant vis-à-vis de leurs clients industriels que dans le cadre des appels d'offres lancés par les différents acteurs institutionnels, Français ou Européens. Dans ce cadre, des études des modèles de développement économique des principaux centres de recherche internationaux sont menées, et par exemple en 2005 –

2006, une étude a permis de comparer le pôle Minatec avec les principaux autres clusters spécialisés en micro et nanotechnologies à travers le monde.

Pour réaliser ces analyses de marché et ces études de positionnement le CEA dispose d'un bureau d'études marketing qui a effectué une vingtaine d'études de fond en 2006. Ses équipes utilisent les techniques les plus récentes d'analyse d'opportunité technologique, comme les « focus groups », organisés avec des industriels, pour valider les applications potentielles d'une technologie. En 2005, des analyses menées auprès des consommateurs finaux ont ainsi permis d'évaluer leur intérêt pour différents modes de stockage de l'hydrogène dans une automobile.

Une meilleure visibilité de l'offre technologique du CEA Grenoble passe par une série d'actions et d'outils, réalisés à la fois par ses deux principaux laboratoires de recherche technologique (Léti<sup>1</sup> et Liten<sup>2</sup>) et par la direction de la valorisation : participation aux conférences et aux grands salons spécialisés à travers le monde, tournées de présentation à l'étranger, réalisation de documents sur les différentes plateformes technologiques ouvertes aux industriels, édition d'une revue spécialisée, accès à un panel d'experts qualifiés, etc.

### **Différents modes de collaboration**

Le centre de Grenoble travaille avec près de 300 partenaires académiques et industriels, de la start-up locale aux grands groupes nationaux et internationaux. Cette collaboration peut prendre différentes formes : de la participation à un programme de recherche multi-partenarial à la vente d'un brevet ou d'une licence, le mode le plus accompli pour un transfert technologique réussi étant la création d'un laboratoire commun où l'industriel détache des membres de son personnel. Le CEA lui offre alors la possibilité de piloter lui-même le laboratoire pour s'assurer que ses travaux répondent bien aux objectifs qu'il a fixé.

Une vingtaine de laboratoires communs existent actuellement sur le centre de Grenoble, impliquant des grandes entreprises comme STMicroelectronics, Soitec, BioMérieux etc. Les industriels s'engagent en moyenne pour une durée de 5 ans, souvent renouvelables.

Quel que soit le mode de collaboration envisagé, le CEA veille dès le départ à définir très clairement la répartition de droits sur la « propriété intellectuelle » issue des connaissances produites. Avec 220 brevets déposés en 2005, le centre de Grenoble figure parmi les 10 premiers déposants français. Le CEA Léti était à l'origine de 175 brevets, tandis que le CEA Liten en a déposé 49.

La direction de la valorisation mène de plus des actions en contentieux pour défendre cette propriété industrielle, comme illustré récemment par les accords avec des industriels majeurs japonais autour de la technologie des écrans plats LCD.

---

<sup>1</sup> *LETI : Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information*

<sup>2</sup> *LITEN : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux*

### **Une politique d'essaiage efficace**

Au-delà des opérations de transferts technologiques vers le monde industriel, qui visent à renforcer la compétitivité des industries françaises et européennes, le CEA Grenoble mène une politique volontariste en faveur de la création de nouvelles entreprises et, là encore, de nouveaux emplois. Un dispositif complet d'incitation et d'accompagnement a ainsi été mis en place, qui couvre toutes les étapes du lancement d'une entreprise : de l'envie à l'idée, l'incubation, l'essaiage, le pré-amorçage, l'accès aux fonds d'amorçage, etc.

Les résultats de cette politique sont remarquables : 37 start-up créées, dont 12 depuis l'an 2000, soit une moyenne de 2 par an. Le taux d'échec (arrêt total des activités sans reprise) n'est que de 15% (contre environ 50% habituellement) tandis que 10% des entreprises créées ont atteint le meilleur niveau mondial. C'est le cas de EFCIS (racheté par Thomson CSF et devenu ST MICROELECTRONICS à la suite d'une fusion) de SOFRADIR - ULIS, leader des équipements pour la vision infrarouge, et de SOITEC, leader mondial des substrats avancés pour la microélectronique.

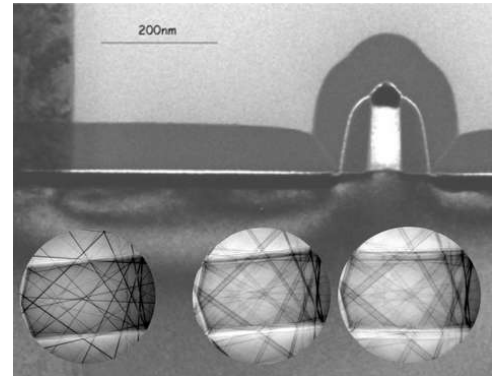
L'ensemble de ces entreprises, issues du CEA Grenoble, est à l'origine de la création de plus de 2200 emplois directs.



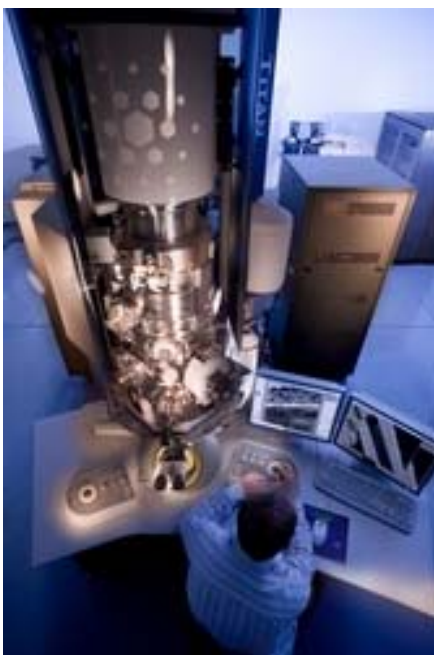
## La plate-forme de nanocaractérisation : un outil de pointe pour scruter l'infiniment petit

**Scruter à l'échelle du nanomètre la composition d'un matériau, sa structure cristalline ou les interfaces d'un empilement de couches, c'est ce que propose la plate-forme de nanocaractérisation de Minatec. Celle-ci rassemble une quarantaine d'équipements scientifiques constituant un outil de recherche unique en Europe.**

L'ambition première de la plate-forme de nanocaractérisation (PFNC) est scientifique. Il s'agit d'observer et de mesurer à l'échelle nanométrique toutes les caractéristiques physiques et chimiques d'un matériau : géométrie, structure cristalline, contraintes, contamination, composition, surface, interface... Il s'agit aussi de mettre au point différentes techniques pour préparer des échantillons et manipuler des objets nanoscopiques. Ces techniques de pointe exigent des équipements coûteux, de l'ordre du million d'euros, et nécessitent beaucoup de temps en développement.



Mesure de déformation du substrat de silicium d'un transistor par diffraction locale d'électrons. Trois images ont été ici superposées pour mesurer les déformations avec une précision de  $10^{-3}$  nanomètres. DR CEA



Microscope électronique en transmission de dernière génération fonctionnant en mode holographique. DR CEA / C. Morel

### Un parc d'équipements au meilleur niveau international

Installée sur 1500 m<sup>2</sup> au cœur du pôle d'innovation, la plate-forme de nanocaractérisation de Minatec regroupe un parc d'une quarantaine d'équipements – pour la plupart des prototypes – dont la diversité et le niveau de performance sont aujourd'hui inégalés en Europe : microscopes électroniques, sondes ioniques, usineurs d'échantillons d'épaisseur sub micronique, etc. La plate-forme s'appuie également sur la présence, à proximité, de deux autres grands instruments scientifiques grenoblois : le réacteur à flux de neutrons de l'ILL et le Synchrotron (ESRF).

Tous ces équipements intéressent autant la recherche fondamentale que la recherche appliquée. Ils sont répartis dans huit centres de compétences : analyse par faisceaux d'ions, analyse par rayons X, analyse de surface, microscopie

électronique, microscopie en champ proche, caractérisation optique, analyse des propriétés mécaniques et préparation d'échantillons.

### Plusieurs techniques innovantes déjà en cours d'installation

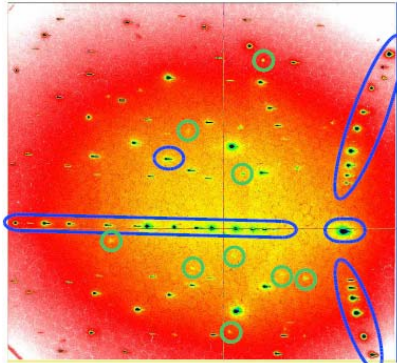


Diagramme de Laue (20s de pose)

Diagramme de diffraction de rayons X en faisceau blanc focalisé sur  $500 \times 700 \text{ nm}^2$  réalisé à l'ESRF (Synchrotron) sur une ligne de cuivre unique.  
Collaboration CEA-CNRS.  
DR CEA

quantification des éléments contaminants ; de l'utilisation d'un MEIS (Medium energy ion scattering) pour analyser des éléments lourds dans les transistors MOS de dernière génération ; de l'évolution des techniques d'analyse par spectroscopie de photoélectrons grâce à l'acquisition d'un nouvel équipement ; enfin, de la mise en place d'un microscope électronique à transmission haute résolution, permettant d'atteindre des résolutions subnanométriques en analyse chimique.

Enfin, le centre de préparation d'échantillons dispose de près d'une dizaine de techniques spécifiques et complémentaires, pour préparer à l'analyse, des matériaux et des objets. A l'échelle submicronique cette étape s'avère en effet très délicate : les échantillons sont fragiles, difficiles à manipuler et

susceptibles d'être modifiés par la préparation.

Plusieurs techniques étudiées ces dernières années au sein des différents laboratoires de Minatec (CEA, CNRS et INPG) sont en cours de développement ou d'investissement. Il s'agit en particulier d'une technique de microdiffraction en faisceau blanc sur une ligne de l'ESRF (taille du spot  $0,5 \times 0,7 \mu\text{m}^2$ ) ; de l'utilisation d'un TOF-SIMS (Time of flight – Secondary ion mass spectrometry) pour augmenter la sensibilité de la

quantification des éléments contaminants ; de l'utilisation d'un MEIS (Medium energy ion scattering) pour analyser des éléments lourds dans les transistors MOS de dernière génération ; de l'évolution des techniques d'analyse par spectroscopie de photoélectrons grâce à

l'acquisition d'un



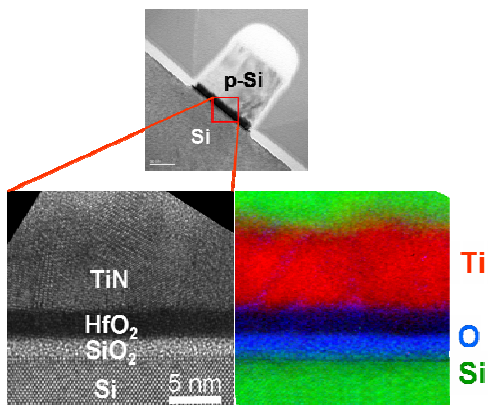
Analyse par diffusion d'ions (MEIS : Medium Energy Ion Scattering).  
DR CEA / C. Morel

### De nombreux modes de collaboration

La PFNC propose à ses partenaires, laboratoires de recherche ou industriels, des modes de collaboration allant du simple devis à la création d'un laboratoire commun. Elle peut ainsi réaliser des prestations de caractérisation standard ou des expertises, assurer de

l'enseignement ou de la formation continue, mener des études de faisabilité, initier des programmes conjoints de recherche sur le développement de nouvelles techniques...

En complément, une société spécialisée dans la caractérisation avancée, Serma Technologies, proposera son support en utilisant des moyens de la PFNC. La confidentialité sera garantie aux clients de Serma grâce au strict cloisonnement entre les activités de recherche et les activités de R&D industrielle. Les industriels concernés sont non seulement issus du domaine des semi-conducteurs, mais aussi de différents secteurs (automobile, spatial, transport, etc.). Ils sont intéressés par des prestations à court temps de cycle afin d'améliorer leurs étapes de fabrication actuelles ou de développer des procédés novateurs.



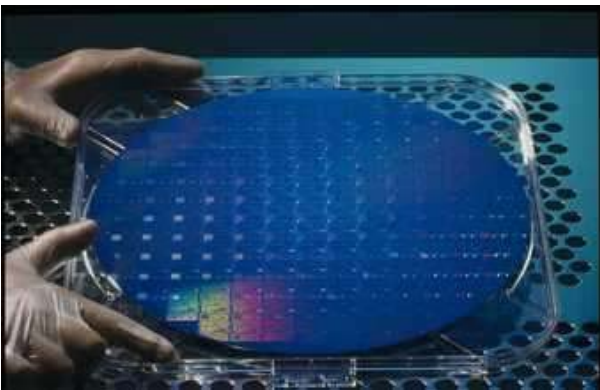
Ti  
O  
Si

Mesure d'épaisseur et analyse chimique à l'échelle nanométrique par microscopie électronique en transmission dans une structure étudiée pour les nouvelles générations de transistors sur silicium.  
DR CEA



## Chimtronique : la recherche fondamentale explore le futur de la microélectronique

Depuis plus de quarante ans, l'industrie de la microélectronique s'est développée conformément à la « Loi de Moore<sup>1</sup> » qui prédisait une augmentation exponentielle du nombre de transistors gravés sur une surface donnée. Jusqu'en 1995, ce nombre doublait tous les ans. La progression n'a depuis que légèrement ralenti, ce nombre doublant actuellement tous les dix-huit mois.



Plaque de silicium 300 mm réalisée par les industriels de l'Alliance Crolles 2. Illustration de la démarche actuelle de miniaturisation (**approche descendante**) de la microélectronique.  
*DR CEA / Art Technique*

Cette course à la miniaturisation est ainsi passée du monde des microtechnologies à celui des nanotechnologies (un nanomètre = un milliardième de mètre). Les scientifiques du CEA Léti ont largement contribué à cette évolution, en réalisant par exemple le plus petit transistor du monde en 1999 (20 nanomètres). Mais les techniques de production actuelles, approche dite descendante – basées notamment sur la lithographie qui permet de graver sur silicium des motifs d'une finesse extrême – se heurteront à une limite physique d'ici une quinzaine d'années, quand les éléments

composant un transistor ne seront constitués que de quelques centaines d'atomes. La fiabilité des circuits deviendra alors très difficile à maîtriser, en raison notamment des risques de fuite et de déperdition électrique.

C'est pour dépasser cette limite prévisible que le CEA a lancé, à la mi-2005, le programme Chimtronique qui doit imaginer de nouvelles approches pour la nanoélectronique en explorant aussi la voie « ascendante » des nanotechnologies. Cette voie consiste à construire des objets de taille nanométrique en assemblant des atomes ou des molécules comme dans un jeu de Légo®. Mais pour reproduire cette construction à une échelle industrielle, il conviendra de développer des technologies d'auto-assemblage des atomes, de greffage des molécules, etc. Une approche qui nécessite de nouvelles compétences, en particulier en chimie. Le CEA a donc commencé par identifier et recenser toutes les compétences existantes dans le domaine des nanosciences : électronique moléculaire et quantique, chimie, nanobiologie, nanomagnétisme, nanophotonique, architectures d'ordinateurs, etc.

---

<sup>1</sup> *Gordon Moore, fondateur d'Intel*

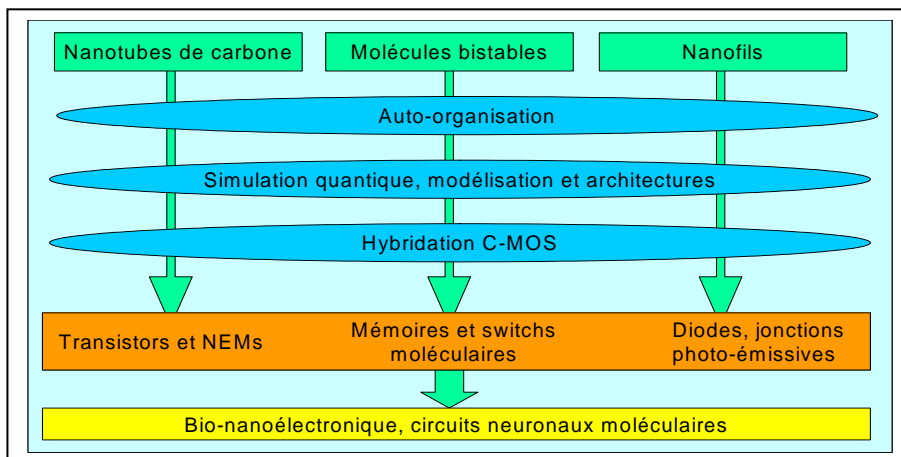
### Une organisation globale pour rapprocher les compétences



Provenant de différentes disciplines (physique, chimie, biologie, micro-électronique...) les scientifiques participant au programme Chimtronique doivent apprendre à parler le même langage. DR CEA / Ph. Stroppa

Afin de décloisonner tous ces spécialistes et les inciter à travailler ensemble, chercheurs « amont » et technologues réunis, les responsables du programme Chimtronique ont mis en place une organisation matricielle, construite autour de :

- Trois pôles verticaux s'intéressant aux principaux nano-objets, « boîte à outils » de la chimtronique : les nanotubes de carbone, les molécules bistables et métallées, et les nanofils semiconducteurs ;
- Trois plates-formes transversales chargées de développer les technologies clés : la visualisation et la manipulation à l'échelle nanométrique avec les concepts d'auto-assemblage « spontané » et localisé de nano-objets, les modèles et la simulation de nanocomposants quantiques ainsi que ceux d'architectures à base de composants moléculaires et enfin l'hybridation des futurs circuits moléculaires avec les transistors réalisés en technologie traditionnelle (CMOS).



Une organisation matricielle pour décloisonner les spécialistes.

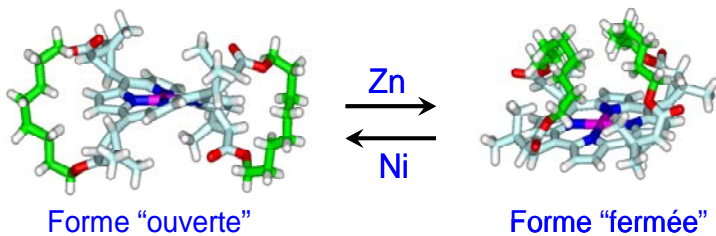
Pour aider les différents spécialistes à mieux se comprendre et à parler le même langage, le CEA monte également de nouvelles formations interdisciplinaires, en particulier en accroissant fortement les formations doctorales et post-doctorales.

L'organisation de Chimtronique favorise enfin le transfert de l'amont (recherche scientifique) vers l'aval (recherche technologique) : les chimistes et les physiciens de la Direction des Sciences de la Matière travaillent sur le moyen et le long terme (10 - 15 ans) en relation avec le monde académique (Université, CNRS...). Quant aux chercheurs de la Direction de la Recherche Technologique (Léti et Liten), ils travaillent sur les procédés faisant suite à ces

nouveaux concepts, permettent aux chercheurs de l'amont de disposer des nanotechnologies clefs et participent au transfert des connaissances vers l'industrie.

### Un large spectre d'applications potentielles

Chimtronique éveille un intérêt croissant auprès des industriels de tous horizons (chimie, microélectronique, électronique grand public,..). En effet, son objectif ne se limite pas à poursuivre la miniaturisation des puces mais aussi à les doter de nouvelles fonctionnalités. Il s'agit de concevoir une nouvelle génération de molécules et de composants capables de réaliser des fonctions complexes, en associant par exemple des transistors à des nanocapteurs chimiques ou biologiques, des nanosources d'énergie à des nanocomposants communiquant par radiofréquence, etc. Le champ des applications est extrêmement vaste même si des axes prioritaires vont progressivement se dégager.

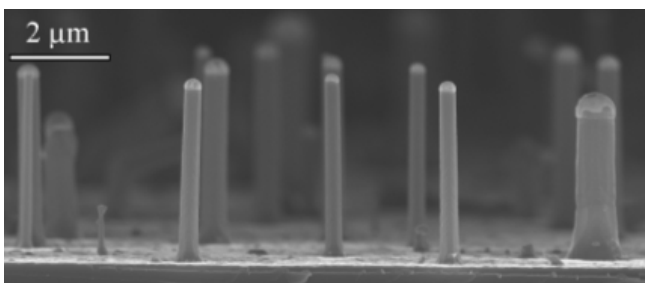


Exemple de molécules bistables à base de porphyrine. L'échange du volumineux ion Zn au centre de la porphyrine par l'ion Ni oblige la molécule l'encageant à changer de conformation. Le déclenchement de ce changement de conformation par simple échange d'électrons vient d'être réalisé au DRFMC/SCIB.

Déjà des actions transverses associant le Léli et le DRFMC sont engagées comme les phototransducteurs à nanotubes de carbone greffés par des molécules

photosensibles, ou les mémoires moléculaires potentiellement très denses. Les premiers résultats scientifiques sont plus qu'encourageants : ainsi un

laboratoire du CEA Grenoble associant le Léli, la Direction des Sciences de la Matière et le CNRS, a-t-il réalisé la première croissance organisée de nanofils de silicium entre des tranchées lithographiées peu de temps après le lancement de l'action « nanofils semiconducteurs » au sein de Chimtronique. Ces nano-objets pourraient donc rentrer dans l'architecture des puces du futur mais également dans la réalisation de nanosources de lumière ou de nanocapteurs de (bio)molécules et de gaz.



Une équipe associant le CEA/DRFMC le CEA/Leti/DOPT et le CNRS/LTM a réalisé une première en France : la croissance contrôlée de « nanofils » de silicium localisés à l'aide de gouttelettes d'or. Ces objets pourraient être utilisés demain pour construire des transistors encore plus petits selon l'approche *ascendante* des nanotechnologies.