



Hors-série

septembre 2005

# Les défis du CEA

BRUXELLES 2005

Les grands  
défis de la

# recherche européenne

## SOMMAIRE

# LES GRANDS DÉFIS DE LA RECHERCHE EUROPÉENNE

4

### ENJEUX PLANÉTAIRES

Ça va chauffer... | Hydrogène, l'énergie qui tombe pile ?

| La gestion des déchets sur la place publique | La meilleure défense, c'est l'anticipation

10

### GRANDS ÉQUIPEMENTS

Le laser européen, un vaste rayon d'action | Regroupement autour de la fission | IRM, la recherche en tête | L'émulation, accélérateur de recherche

18

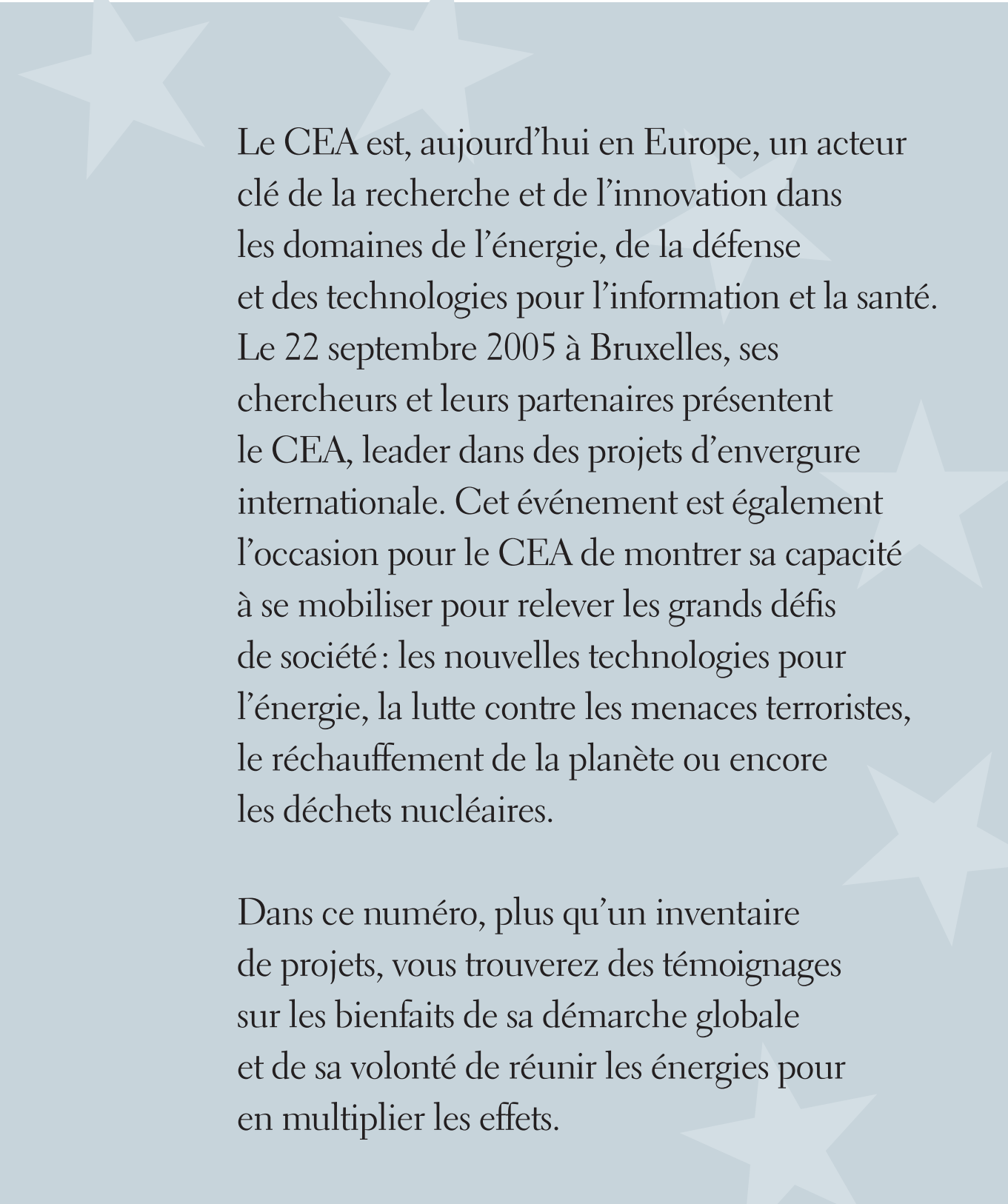
### DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE À LA RECHERCHE APPLIQUÉE : UN CERCLE VERTUEUX

La radioprotection pilotée | Une recherche entreprenante | Leti-Freescale, circuit d'excellence intégré | Comment Alchimer est devenue une réalité



### LES DÉFIS DU CEA

— Éditeur — Commissariat à l'énergie atomique — Directeur de la publication — Philippe Bergeonnau — Rédactrice en chef — Claire Abou — Rédacteur en chef adjoint — Claude Reyraud — Iconographie — Florence Klotz — Ont participé à ce numéro : Pierre Bec, Aude Ganier, Claire Piquet, Clotilde Waltz — Conception et réalisation — Spécifique — Commission paritaire — 2344 ADEP n°ISSN 1163-619X — Tous droits de production réservés.

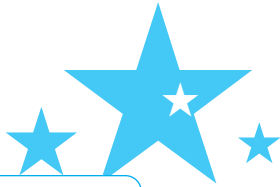


Le CEA est, aujourd'hui en Europe, un acteur clé de la recherche et de l'innovation dans les domaines de l'énergie, de la défense et des technologies pour l'information et la santé. Le 22 septembre 2005 à Bruxelles, ses chercheurs et leurs partenaires présentent le CEA, leader dans des projets d'envergure internationale. Cet événement est également l'occasion pour le CEA de montrer sa capacité à se mobiliser pour relever les grands défis de société : les nouvelles technologies pour l'énergie, la lutte contre les menaces terroristes, le réchauffement de la planète ou encore les déchets nucléaires.

Dans ce numéro, plus qu'un inventaire de projets, vous trouverez des témoignages sur les bienfaits de sa démarche globale et de sa volonté de réunir les énergies pour en multiplier les effets.

# ENJEUX PLANÉTAIRES, AUJOURD'HUI POUR DEMAIN

— L'évolution du climat, la gestion des déchets nucléaires, les carburants de substitution pour les transports ou les menaces terroristes : des enjeux planétaires qui sont autant de défis pressants pour la recherche. En s'y associant, le CEA est partie prenante des débats et des choix qui engagent dès aujourd'hui la société de demain.



CLIMAT

## ÇA VA CHAUFFER...

— En cas d'urgence, briser la glace... La consigne aurait pu présider au programme européen Epica : l'analyse de glaces de l'Antarctique vieilles de 800 000 ans montre que les variations climatiques pourraient être plus brutales et plus importantes que prévu. Le point, à froid.

Lancé en 1995, le projet Epica mobilise une dizaine de pays européens dans le but d'analyser le climat du passé. Les enjeux sont importants. « Il s'agit de mieux comprendre les mécanismes qui pilotent l'évolution naturelle des climats, notamment les relations entre les teneurs en gaz à effet de serre et les températures », résume Valérie Masson-Delmotte du laboratoire des Sciences du climat et de l'environnement (LSCE, CEA-CNRS), qui participe à ce projet. Pour cela, les scientifiques décryptent les indices piégés dans la glace des calottes polaires. Préservées et accumulées parfois depuis des centaines de milliers d'années, les neiges conservent en effet la mémoire des conditions climatiques de leur époque. Epica est le premier programme à remonter aussi loin dans le temps : le

forage du Dôme C dans l'Antarctique (pôle Sud), qui vient de s'achever, a permis de récolter des glaces vieilles de 800 000 ans ! Remonter aussi loin dans le temps est crucial pour étudier la diversité des périodes chaudes (interglaciaires) qui se produisent environ tous les 100 000 ans. L'exploitation des données issues des premiers prélèvements a révélé la plus longue période interglaciaire connue, il y a environ 420 000 ans, une époque où la configuration de l'orbite de la Terre était similaire à celle attendue dans le futur. Il ne faut donc pas compter sur l'évolution naturelle du climat pour compenser le réchauffement en cours, dû aux activités humaines.

### CHANGEMENT DE CLIMAT EN VUE...

De surcroît, l'analyse des bulles d'air emprisonnées dans la glace confirme que les teneurs actuelles en gaz à effet de serre atteignent le plus haut niveau jamais connu au cours des 800 000 dernières années.

« Nous sommes en train de faire une expérience grandeur nature sur le climat de la Terre. Si nous ne réduisons pas drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre, nous nous dirigeons inévitablement vers un changement climatique brutal sans précédent », assure Valérie Masson-Delmotte. La température moyenne à la surface de la Terre pourrait s'élever de 6 °C d'ici à la fin du siècle, mais, plus que l'importance de cette élévation, c'est la rapidité prévisible du phénomène qui alarme : la vitesse du changement climatique conditionne l'adaptation des espèces. À moins de modifier nos habitudes, nos enfants et petits-enfants vivront dans un monde très différent du nôtre. Il n'est peut-être pas trop tard pour changer la donne... ■

### COMMENT FAIRE PARLER LA GLACE

Partenaire du projet Epica, le CEA dispose des équipements et du savoir-faire nécessaires pour tirer de la glace les précieux indices qui nous renseignent sur le climat du passé. Grâce à une technologie développée dans les années 1970 pour doser les éléments radioactifs, le LSCE, situé au centre CEA de Saclay, étudie les variations de proportions d'isotopes lourds et légers dans les molécules d'eau glacée. En effet, la composition isotopique de la neige des calottes polaires est à la fois corrélée à la température de l'air au moment de la précipitation neigeuse et à celle de l'eau, au moment de son évaporation. ■



© DR

> **PAUL LUCCHESI,**  
CHEF DE PROJET  
HYDROGÈNE ET PILE  
À COMBUSTIBLE  
À LA DIRECTION DE  
LA RECHERCHE  
TECHNOLOGIQUE DU CEA

TRANSPORT

> PAUL LUCCHESI | INTERVIEW

## HYDROGÈNE, L'ÉNERGIE QUI TOMBE PILE ?

— Pour se substituer aux carburants d'origine pétrolière et réduire les émissions de gaz à effet de serre, l'hydrogène fait son chemin. Avec les piles à combustible, les chercheurs tentent de faire passer les véhicules à hydrogène des circuits d'essai aux autoroutes de demain.

Q:

**Quel est l'impact environnemental des transports dans les pays développés ?**

**R:** Le problème est essentiellement l'émission des gaz à effet de serre (GES), dont le plus important est le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Les constructeurs automobiles sont moins armés que pour les autres polluants car le rejet de ce gaz est intrinsèquement lié à l'utilisation des

carburants d'origine pétrolière. Or ces derniers sont appelés à perdurer encore un certain temps. Pourtant, les normes internationales, établies à la suite de la réunion de Kyoto, sont prêtes: 120 g/km de CO<sub>2</sub> en 2008, puis 100 g/km quatre à sept ans plus tard. Pour atteindre ces niveaux, les constructeurs misent soit sur les moteurs à injection directe, soit sur les véhicules hybrides: un moteur électrique secondé d'un moteur à combus-

tion interne, lequel recharge les batteries du premier, beaucoup plus efficace en ville. La réduction consécutive de 20 à 30 % de la consommation permettra d'atteindre l'objectif.

Il existe pourtant une solution plus radicale: le véhicule tout électrique. Soit il embarque des batteries en grand nombre, soit il dispose d'une source d'électricité comme une pile à combustible (PAC) utilisant l'hydrogène. Si ces véhi-

cules à PAC ne rejettent que de l'eau, la production de l'hydrogène doit, elle aussi, être propre. Il faut donc, dans un premier temps, développer des moyens de production à partir des hydrocarbures qui soient aussi peu polluants que possible.

**Q:**

**Quelles sont les autres difficultés rencontrées dans le développement du véhicule à PAC ?**

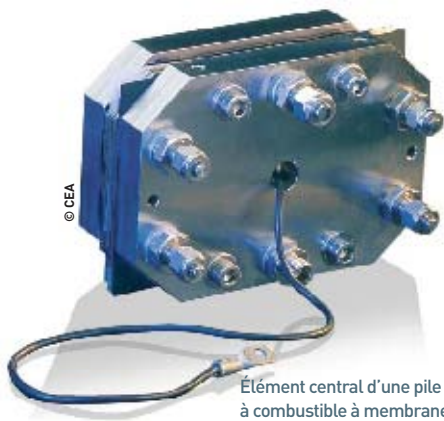
**R:** La plus importante est sans doute la mise en place de la chaîne de distribution du combustible. Distribuer de l'essence est, *a priori*, moins contraignant que de distribuer de l'hydrogène. Ensuite, les PAC sont encore trop chères et leur durée de vie reste inférieure à celle d'une motorisation classique. Cela est dû au prix des composants, mais aussi de tout l'environnement de la pile, encore très complexe : compresseurs, refroidisseurs, contrôle-commande automatique pour piloter ces périphériques, etc. Il faut à la fois simplifier le système et en ralentir le vieillissement, un problème classique des matériaux organiques comme la membrane des piles. De plus, le fonctionnement de cette motorisation peut être difficile à certaines températures : il n'y a pas d'antigel pour les PAC !

**Q:**

**Quels sont les programmes de recherche nécessaires et comment s'organisent-ils ?**

**R:** En France, l'Agence nationale de la recherche (ANR), tout juste créée, a retenu d'emblée le thème de l'hydrogène et en a défini les modalités de développement au sein du Plan d'action national sur l'hydrogène et les piles à combustible (PAN-H)<sup>1</sup>. Ce plan donne le cadre d'un partenariat entre les constructeurs automobiles et des instituts de recherche, notamment l'Institut français du pétrole (IFP).

Dans un premier temps en effet, l'hydrogène devra être produit à partir de gaz naturel ou de produits pétroliers. Dans cette configuration, la PAC sera moins intéressante, du point de vue de



Élément central d'une pile à combustible à membrane, utilisant l'hydrogène pour produire de l'électricité.

**R:** Les investisseurs sont partout les bienvenus. Plus ils développent leurs recherches, plus ils auront besoin de compétences extérieures – celles des laboratoires publics, par exemple –, et donc, meilleur sera le financement. En France, le réseau PACo, puis maintenant l'ANR<sup>4</sup>, diffuse des informations tendant à aplanir cette difficulté en stimulant tous les travaux sur l'hydrogène.

**Q:**

**Quelles seront les sources d'énergie du futur ?**

**R:** Les énergies renouvelables seront sans doute incapables à elles seules de couvrir la totalité des besoins mondiaux. De plus, les constantes de temps en matière de changement de systèmes énergétiques sont très grandes. En effet, s'il existe déjà des maisons autonomes en énergie, au stade expérimental, voire qui produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment, nous ne pourrions instantanément remplacer les habitations existantes par des logements produisant toute l'énergie nécessaire *via* des panneaux solaires. Quelle qu'elle soit, l'évolution de notre couverture énergétique prendra du temps, et dans cette perspective, l'hydrogène jouera sans doute un grand rôle. Bien sûr, une rupture technologique pourrait survenir avec, par exemple, des batteries suffisamment légères et efficaces qui rendraient caduc le développement de la filière hydrogène. Cependant, les recherches longues et massives sur ce sujet sont demeurées stériles en termes de développement industriel.

Il est également possible que, de la même manière, les problèmes rencontrés par l'hydrogène ne trouvent pas de solution ! D'où l'intérêt d'explorer plusieurs voies simultanément et de se regrouper sur de vastes échelles ; c'est la carte que joue le CEA. L'enjeu est à la hauteur des défis technologiques. ■

l'émission des GES, que les motorisations hybrides, voire les moteurs à injection directe. Il serait surprenant qu'en l'absence de cet argument environnemental, les constructeurs proposent des motorisations à base de PAC. Le premier travail sera donc de développer des méthodes propres de production d'hydrogène. En Europe, la plate-forme technologique dédiée à l'hydrogène et aux piles à combustible, baptisée HFP Europe<sup>2</sup>, structure les efforts. Le CEA y participe au sein d'un groupe de trente personnalités, représentants d'institutions ou de groupes industriels, qui élaborent des recommandations en direction des États membres et de la Commission européenne, *via* un groupe-miroir en relation avec les gouvernements nationaux. Des sous-groupes techniques se chargent des normes, de la sécurité, de la production, etc. Au niveau mondial, la collaboration IPHE<sup>3</sup> réunit 17 pays, dont la France. Les orientations y sont différentes, les participants ne se retrouvant pas tous sur les mêmes objectifs. Le CEA participe aux comités techniques.

**Q:**

**Les industriels mènent leurs recherches avec un objectif commercial. N'est-ce pas gênant dans l'avancement de ces programmes ?**

<sup>1</sup> Les projets soumis à l'approbation de PAN-H sont gérés par le CEA et l'Ademe (Agence gouvernementale de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie). Le comité directeur de PAN-H est presque entièrement constitué d'experts issus du CEA. <sup>2</sup> Voir le site <http://www.hfpeurope.org>. <sup>3</sup> International partnership for the hydrogen economy, créée à l'initiative du Department of energy américain. <sup>4</sup> L'Agence nationale de la recherche et sa cellule Nouvelles technologies de l'énergie.

## INFORMATION

## LA GESTION DES DÉCHETS SUR LA PLACE PUBLIQUE

— L'information sur la gestion des déchets nucléaires n'est plus confinée aux spécialistes. Grâce au Visiatome, le grand public y est désormais associé. Et dès cet automne, avant d'être soumis au Parlement, le projet de loi sur ce sujet sera précédé d'un vaste débat public national.

Piégés dans une matrice de verre, les déchets à vie longue sont conditionnés dans des colis en acier.

Dès le choc pétrolier de 1973, la France a fait le choix du nucléaire pour assurer son autonomie énergétique. Près de 80 % de son électricité est aujourd'hui produite par des centrales nucléaires. Depuis sa création<sup>1</sup>, le CEA mène des recherches concernant le nucléaire civil, de la fabrication des combustibles à la gestion des déchets. Il a ainsi acquis un fort niveau d'expertise et s'est doté d'outils performants, tels que l'installation Atalante, ensemble de laboratoires de chimie en milieu radioactif unique au monde. Il a notamment développé des procédés pour recycler à 95 % le combustible nucléaire usé, et confiner les 5 % restants que constituent les déchets ultimes. Ces derniers, et leur gestion définitive, sont au cœur des préoccupations du grand public vis-à-vis du nucléaire.

Le 30 décembre 1991, une loi, dite Loi Bataille, fixe trois axes de recherche destinés à explorer l'éventail des solutions pour la gestion des déchets à vie longue: le premier concerne la séparation-transmutation, le second, le stockage en profondeur, et le troisième, le conditionnement entreposage. Cette loi a donné une nouvelle impulsion aux recherches déjà en cours au CEA, notamment sur le premier et le troisième axe dont il a la charge. Avec l'Andra<sup>2</sup>, qui pilote des recherches sur le second axe, le CEA a présenté au gouvernement en juin dernier les résultats de ses travaux: un ensemble de solutions à partir desquelles le gouvernement, à l'issue d'un débat public commençant ce mois de septembre, proposera début 2006 un projet de loi au Parlement pour une gestion durable des déchets radioactifs. Dès lors, comment informer une opinion publique qui, en majorité, est non spécialiste? En 2002, le CEA crée le Centre d'expertise sur le conditionnement et l'entreposage des matières radioactives (Cecer) à Marcoule. Objectif: capitaliser et donner une visibilité aux résultats et solutions proposés dans le cadre de la loi Bataille.

Pour privilégier la dimension pédagogique à l'égard du grand public, le Cecer ouvre en avril 2005 le Visiatome, espace d'information, de réflexion et d'échanges sur la radioactivité et l'énergie nucléaire. Son exposition permanente propose un parcours interactif et ludique, permettant de s'approprier les connaissances de base utiles sur plusieurs thèmes, dont le traitement des déchets radioactifs et ainsi comprendre les enjeux associés à la production nucléaire d'électricité. Une dimension pédagogique inédite, où l'on apprend, par exemple, comment 90 % des déchets nucléaires (les moins radioactifs) connaissent déjà une gestion industrielle définitive, que leur volume a été réduit d'au moins un facteur six en dix ans grâce à la collaboration entre la recherche et les industriels. Le Visiatome est également un espace de débat où les experts, les professionnels et les associations pourront venir confronter leurs expériences. ■

<sup>1</sup> En 1945, le CEA a été créé par le général de Gaulle pour doter la France de la maîtrise de l'atome en vue de son utilisation dans divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. <sup>2</sup> Agence nationale de gestion des déchets radioactifs.

**95 %**  
des déchets nucléaires sont liés à la production d'électricité (5 % : industrie, hôpitaux, recherche...).



> **LAURENT OLMEDO,**  
CHEF DU PROJET, LUTTE  
CONTRE LES MENACES  
NRBC À LA DIRECTION  
DES APPLICATIONS  
MILITAIRES DU CEA

© CEA



de recherches scientifiques à effectuer pour aboutir au déploiement opérationnel de nouveaux dispositifs.

**Q:**  
Comment s'organiseront ces recherches ?

**R:** Face à la diversité des besoins, le programme interministériel a l'ambition de structurer et fédérer la recherche en France. Le CEA est un acteur de premier plan, car il réunit l'ensemble des compétences qui permet une approche globale du risque NRBC<sup>1</sup>. Pour cette raison, il a été désigné, en lien avec la DGA<sup>2</sup>, pour mener et coordonner les travaux, en y associant d'autres organismes nationaux, comme le CNRS, l'INRA<sup>3</sup> ou l'Institut Pasteur. Il sera bien sûr nécessaire, le moment venu, d'associer les industriels pour mener à bien les transferts technologiques.

**Q:**  
Ces recherches sont-elles exportables à d'autres pays ?

**R:** Les frontières n'étant pas imperméables, les véritables réponses s'inscrivent également dans le cadre d'actions concertées au niveau international. Ainsi, ce programme se mène en cohérence avec les projets européens du 6<sup>e</sup> PCRD<sup>4</sup>, en particulier le PASR<sup>5</sup>.

Adopter les mêmes standards, c'est aussi harmoniser les efforts de lutte. Si les pays européens ne se dotent pas d'une politique volontariste et cohérente, nous nous verrons imposer des standards extérieurs, notamment américains. Or, qui dit norme, dit instrumentation associée. Le déploiement de ces nouveaux moyens est donc un enjeu commercial nécessitant de mobiliser suffisamment tôt nos partenaires industriels. Tous les acquis scientifiques du CEA en matière de sécurité permettront de contribuer à la mise en œuvre de nouveaux moyens tant au niveau national qu'euro-péen. ■

<sup>1</sup> Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique. <sup>2</sup> Direction générale pour l'armement. <sup>3</sup> Institut national de la recherche agronomique. <sup>4</sup> Programme-cadre de recherche et développement. <sup>5</sup> Preparatory Action in Security Research.

**SÉCURITÉ**

> **LAURENT OLMEDO | INTERVIEW**

# LA MEILLEURE DÉFENSE, C'EST L'ANTICIPATION

— La réponse aux attentats du 11 septembre 2001 a été massive outre-Atlantique : plusieurs milliards de dollars investis et 180 000 experts déployés par le Département à la sécurité. L'Europe développe elle aussi d'importants moyens de lutte contre les menaces terroristes.

**Q:**  
La menace terroriste est-elle clairement définie ?

**R:** Les événements récents ont été l'occasion d'une prise de conscience, non pas seulement de l'imminence d'un danger, mais aussi de sa complexité en raison du caractère diffus de la menace. Il faut désormais compter avec l'emploi non seulement de toxiques de guerre – nous l'avons vu avec l'attentat au gaz sarin à Tokyo et ses milliers de victimes –, mais aussi de toxiques chimiques industriels susceptibles d'être employés, en particulier dans les concentrations urbaines. De plus, face à la menace d'agents pathogènes tels que bactéries ou virus, peu de réponses efficaces existent à ce jour

en matière de détection et d'outils thérapeutiques associés.

**Q:**  
Quelles sont les réponses envisagées dans ce programme ?

**R:** Elles se situent à trois niveaux : la détection, l'intervention elle-même et la remédiation. C'est le déploiement de moyens techniques sur ces trois points qui peut apporter une réponse efficace et dissuasive. Ainsi, la détection nécessite de développer un ensemble de méthodes très diverses sur le plan scientifique pour rechercher matières radioactives, toxiques chimiques, explosifs ou agents pathogènes, à l'état de traces. Il y a donc un travail considérable

# GRANDS ÉQUIPEMENTS, LES MOYENS DE SES AMBITIONS

— En réalisant des synergies à l'échelle européenne, les grands équipements font affluer les compétences.

Avec les exemples d'un consortium européen des lasers, de la plate-forme technologique fission, d'un grand complexe d'imagerie par résonance magnétique nucléaire ou encore du Cern, la preuve en action des bienfaits de la mise en commun des moyens, des savoirs et des expériences.



> **WOLFGANG SANDNER,**  
DIRECTEUR DU CONSORTIUM  
LASERLAB EUROPE ET  
DU MAX-BORN INSTITUT  
(BERLIN)

© MBI



**R:** L'optique et la photonique, avec leurs applications dans tous les champs des sciences et de l'industrie, sont de véritables clés pour les technologies du XXI<sup>e</sup> siècle. Les lasers et leurs déclinaisons en sont les outils. Nous sommes loin d'avoir atteint leurs limites en termes de puissance, précision, durée des impulsions, pureté spectrale, pour ne citer que ces quelques aspects.

La recherche technologique de base sur les lasers et leurs applications est donc d'une importance cruciale pour confirmer la position européenne de chef de file. Comme une partie de ces recherches doit être menée à l'échelon des laboratoires nationaux – qui gardent une indépendance dans leurs investissements et leurs prises de risques –, Laserlab Europe trouvera aisément son équilibre entre compétition et coopération au niveau européen. Cette situation devrait optimiser les résultats, tout en minimisant les risques – cette coopération,

notamment dans le cadre du programme d'accès extérieur, assurant une large diffusion des recherches.

**Q:** Dans quel sens Laserlab Europe rejoint-il le concept de grand équipement européen ?

**R:** Comme un grand équipement, Laserlab Europe sera ouvert à la communauté scientifique internationale, hors laboratoires participants, avec près de 4 000 jours d'expériences offerts<sup>2</sup>. Il crée ainsi une véritable plate-forme réseau constituant une solution tout-en-un pour réaliser la totalité du champ des activités du consortium. Plutôt que de rejoindre le concept de grand équipement, il ouvre une voie inédite de collaboration entre ces derniers, lorsqu'ils seront eux-mêmes appelés à grandir au travers de collaborations plus vastes. ■

<sup>1</sup> Dans le 6<sup>e</sup> Programme-cadre européen, Laserlab Europe forme une « Initiative d'infrastructures intégrées ». <sup>2</sup> Notamment dans le contexte du 6<sup>e</sup> Programme-cadre.

**LASER**

> **WOLFGANG SANDNER | INTERVIEW**

# LE LASER EUROPÉEN, UN VASTE RAYON D'ACTION

— Le consortium Laserlab Europe couvre un large champ d'application, de l'amélioration des lasers à l'industrie et à la biologie. C'est aussi une plate-forme en réseau singulière ouverte sur la communauté des chercheurs européens.

**Q:** Comment fonctionne un consortium de 17 institutions réparties sur 9 pays européens ?

**R:** Comme notre principal outil est le travail en réseau, l'un des participants importants de Laserlab Europe<sup>1</sup> est spécialisé dans l'Internet et les technologies de bases de données. Il jouera un rôle essentiel dans la création d'une véritable « infrastructure virtuelle » européenne basée sur les échanges de résultats et sur la collaboration. Cette voie de développement s'est imposée car nos par-

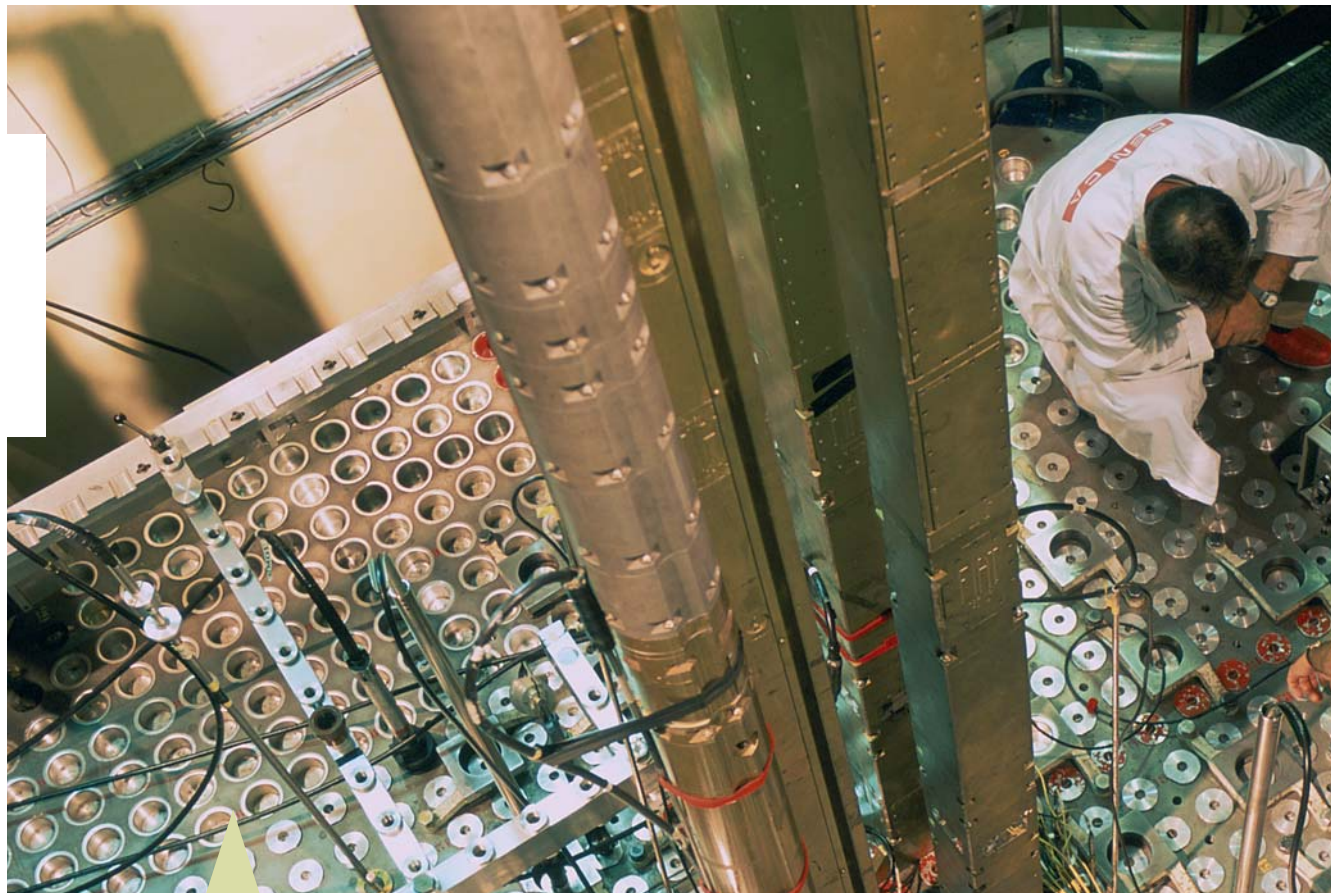
tenaires avaient atteint chacun dans leur domaine un niveau d'excellence, au plan national. Laserlab Europe travaille non seulement sur l'amélioration des lasers eux-mêmes, mais aussi sur la diversification des applications un aspect qui sera favorisé par ce fonctionnement.

**Q:** En quoi ce consortium pourra-t-il aider les activités de recherche dans le domaine des lasers ?

**Le CEA participe au consortium Laserlab Europe au travers de ses centres de Saclay (avec le SLIC<sup>1</sup>) et du CESTA<sup>2</sup> près de Bordeaux, où une installation de grande puissance, le laser Mégajoule (LMJ), est en cours de construction. En concentrant sur une micro-bille l'énergie de ses 240 faisceaux, le LMJ permettra, à partir de 2012, de réaliser la fusion thermonucléaire de quelques dixièmes de milligrammes de matière. La LIL<sup>3</sup>, prototype du LMJ mis en service en 2002, a récemment obtenu ses premiers résultats expérimentaux avec 4 faisceaux.**

<sup>1</sup> Saclay Laser-Matter Interaction Center. <sup>2</sup> Centre d'études scientifiques et techniques d'Aquitaine. <sup>3</sup> Ligne d'intégration laser.

**LA FUSION BILLE EN TÊTE**



L'énergie est un facteur clé du développement économique, social et sanitaire. D'ici à 2050, la population mondiale passera probablement à 9 milliards d'habitants et la consommation annuelle d'énergie devrait doubler pour atteindre 24 GTep<sup>1</sup>. Comment satisfaire cette demande? Et comment le faire sans accroître massivement les émissions de gaz à effet de serre? S'il est manifeste

que toutes les sources d'énergie devront être mises à contribution, un enjeu essentiel est de développer le « bouquet énergétique » optimal. Dans ce contexte, l'énergie nucléaire peut apporter une contribution décisive, et plusieurs groupes de réflexion ont entrepris de définir les systèmes qui pourraient être déployés dans le monde. Parmi ceux-ci, le plus actif est le Forum international Génération IV lancé en 2000 par le ministère américain de l'Énergie (DOE), auquel la France participe activement, et qui comprend onze pays membres aujourd'hui<sup>2</sup>.

PLATE-FORME

## REGROUPEMENT AUTOUR DE LA FISSION

— En créant des synergies entre recherche, industrie et finance, les ambitions des plates-formes technologiques européennes s'appliquent aux défis énergétiques de demain.

### L'AVANTAGE DE L'EXPÉRIENCE

Dans ce cadre, six filières de réacteurs font l'objet d'études en vue d'un déploiement industriel à l'horizon 2040. Toutes ont pour objectif la compétitivité économique, une sûreté et une fiabilité optimisées, une meilleure valorisation du minerai d'uranium et la réduction du volume et de la radiotoxicité des déchets produits. Celles qui font intervenir les réacteurs à neutrons rapides occupent une place prépondérante.



Vue de dessus d'un réacteur de recherche au centre CEA de Cadarache.

© P. Stroppa / CEA

Dans ce domaine, la France, qui a construit Phenix et Superphénix, dispose d'une expérience importante.

Toutes, enfin, répondent aux impératifs d'une politique de « développement durable », économe des ressources et attentive aux équilibres environnementaux.

Les travaux du Forum Génération IV ont ainsi permis d'établir une feuille de route définissant, pour chaque filière concernée, les programmes de recherche et développement ainsi que le calen-

drier à respecter. Si les perspectives d'une telle entreprise sont d'ordre mondial, chaque pays, ou ensemble de pays, entend en maîtriser les enjeux industriels. C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet de mise en œuvre d'une « plate-forme technologique » fédérant les savoir-faire, les expériences et les instruments de recherche des différents acteurs du nucléaire européen : SNF-TP (*Sustainable Nuclear Fission Technology Platform*).

### UN RÉSEAU EUROPÉEN

Un tel outil répond aux recommandations formulées au mois de mars 2000 par le Conseil européen à Lisbonne et que Janez Potočnik, le commissaire européen à la Science et à la Recherche, rappelait au mois de décembre dernier<sup>3</sup>. Évoquant la nécessité d'agir « à l'échelle européenne » de manière à « rassembler les ressources en une masse critique », il exprimait « le besoin urgent de créer une meilleure synergie entre les investissements européens et les investissements nationaux, entre les efforts publics et les efforts privés ». Dans cette perspective, estimait-il, « les plates-formes technologiques sont appelées à jouer un rôle essentiel ».

« À l'intérieur d'une telle structure, explique Gérard Cognet, chef de projet "Coopérations européennes" au sein de la direction de l'Énergie nucléaire (DEN) du CEA, tous les projets concourent à un objectif commun, ce qui évite le saupoudrage des crédits et la dispersion en termes de travail et d'énergie. En outre, la création de la plate-forme technologique SNF ne peut que ren-

forcer le rôle de l'Europe au sein du Forum Génération IV. »

Une plate-forme technologique européenne fonctionne selon un mode de gouvernance aujourd'hui bien établi, qui associe les organismes de recherche, les acteurs industriels et financiers aux autorités nationales et européennes. Ainsi structurée, elle inscrit ses objectifs et ses besoins dans les programmes-cadres européens<sup>4</sup>. Elle ne s'incarne pas en un lieu particulier, mais s'apparente plus à un réseau dont l'ambition, pour atteindre l'objectif commun, est de tirer le meilleur parti des moyens de chaque partenaire au travers de collaborations formalisées. Ainsi, pour la plate-forme SNF, des installations, comme le RJH<sup>5</sup>, à Cadarache, ou Atalante<sup>6</sup>, à Marcoule, seront appelées à jouer un rôle de premier plan dans les synergies qui se mettront en place à l'échelle européenne. Pour reprendre la formule utilisée par Janez Potočnik, les plates-formes technologiques peuvent s'imposer comme les « champions » du défi que s'est fixé l'Europe : faire de la « connaissance » le moteur d'une croissance maîtrisée et respectueuse des grands équilibres planétaires. ■

1 Giga tonnes équivalent pétrole. 2 L'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la Corée du Sud, la France, le Japon, le Royaume-Uni, la Suisse, les États-Unis et la Communauté des États signataires du traité Euratom. 3 Discours prononcé à Bruxelles le 15 décembre 2004 lors du Séminaire des leaders industriels des plates-formes technologiques. 4 Programme-cadre de recherche et développement (PCRD). 5 Réacteur Jules-Horowitz, futur réacteur expérimental qui sera construit à Cadarache. 6 Laboratoire consacré aux études du cycle du combustible.

## POUR UN NUCLÉAIRE DURABLE

**L'objectif prioritaire de la future plate-forme SNF-TP est le développement de réacteurs à neutrons rapides** permettant à la fois l'optimisation de la consommation des ressources en uranium, la minimisation des déchets à vie longue – on tend vers la fermeture du cycle du

combustible – et la production d'électricité. SNF-TP vise également à élargir le champ d'application de l'énergie nucléaire, notamment à la production de chaleur pour l'industrie et d'hydrogène pour les transports. Ces applications, qui nécessitent de hautes températures (850 °C et au-delà), se concentrent dans le projet de réacteur VHTR<sup>1</sup>. Elle s'attachera aussi à améliorer les performances des réacteurs actuels (Génération II) et des réacteurs à eau en cours de déploiement (Génération III), tout en étudiant la faisabilité et l'intérêt des réacteurs à eau supercritique (SCWR). Enfin, elle assurera les formations nécessaires au maintien des compétences et optimisera l'utilisation des infrastructures en veillant à leur renouvellement.

<sup>1</sup> Very High Temperature Reactor.



**L**a première pierre d'un énorme complexe dédié à l'exploration du cerveau vient d'être posée sur le plateau de Saclay. Il hébergera une série de machines d'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) aux performances inégalées à ce jour. D'ici à 2009, il deviendra sans doute la première place mondiale dans ce domaine de recherche. De fait, NeuroSpin pourrait bien

s'inscrire dans la lignée des grands équipements scientifiques européens accueillant des équipes de tous pays et suscitant des partenariats, dont le premier est celui des constructeurs allemands Siemens et Bruker pour les machines d'IRM, et des groupes Guerbet et Shering pour les traceurs et agents de contraste. Une douzaine de lettres d'intentions d'équipes américaines, britanniques ou japonaises annoncent déjà leur désir d'utiliser les futurs équipements de Saclay. Elles confortent Denis Le Bihan, directeur de recherche au CEA et directeur scientifique du projet: pour lui et pour les neurobiologistes du SHFJ d'Orsay, service de

#### IMAGERIE MÉDICALE

## IRM, LA RECHERCHE EN TÊTE

— Un vaste complexe dédié à l'exploration du cerveau est en construction à Saclay. Baptisé NeuroSpin, il hébergera des machines d'imagerie par IRM aux performances inégalées, riches d'avancées en neurobiologie et en génétique.



Patient dans une installation IRM au SHFJ.

la direction des Sciences du vivant du CEA, les progrès des neurosciences sont étroitement liés aux performances de ces nouvelles machines. Il est devenu nécessaire aujourd'hui de décupler la précision de l'IRM afin d'étudier, sans traumatisme, des ensembles de moins de 5 000 neurones, épais de quelques centaines de microns. « *C'est, en effet, à cette échelle que l'on distinguera les véritables constituants élémentaires du fonctionnement cérébral, et dont l'organisation spatiale, capable d'évoluer dans le temps et de s'adapter, serait au cerveau ce que le code génétique est à la cellule* », explique Denis Le Bihan. Ces petites populations, situées entre la poignée et le million de neurones, constitueraient les briques d'un « code neural » capable d'élucider différents domaines du fonctionnement cérébral : langage, raisonnement, mémoire, perceptions ou actions physiques.

### DES APPLICATIONS TRÈS VARIÉES

Les enjeux sont multiples. L'exploration du cerveau pourrait propulser toutes les neurosciences, avec de nombreuses répercussions dans leurs applications, que ce soit pour l'enseignement, pour la conception des cockpits d'avion, des tableaux de bord automobiles ou pour le pilotage de robot. Cette compréhension intime du fonctionnement cérébral pourrait améliorer le diagnostic et le traitement de pathologies telles que tumeurs, maladies neurodégénératives comme celles de Parkinson ou d'Alzheimer, ou encore la schizophrénie ou l'autisme. L'IRM et la tomographie par émission de positons (TEP)<sup>1</sup> avaient ainsi permis à deux équipes, l'une au Japon et l'autre au service hospitalier Frédéric Joliot-Curie d'Orsay, de mettre en évidence, chez de très jeunes autistes, un déficit d'activité dans de minuscules zones des sillons temporaux<sup>2</sup>. On le voit, cette extrême spécialisation du tissu cérébral ne peut être efficace-

ment explorée que par de nouvelles générations de scanners d'IRM.

Pour former leurs images tridimensionnelles, ils cartographient propriétés magnétiques des tissus biologiques du corps placé dans un gigantesque aimant. Leurs performances augmentent avec l'intensité du champ magnétique de cet aimant.

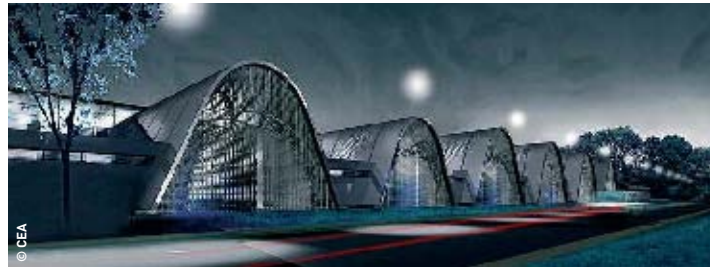
La plupart des scanners actuellement utilisés dans les services hospitaliers de pointe mettent en œuvre des champs compris entre un et trois teslas (T)<sup>3</sup> et ont une précision de quelques millimètres, correspondant à des régions de plusieurs millions de neurones. Or, la plupart des processus cognitifs n'impliquent que quelques milliers d'entre eux à la fois. Voilà pourquoi il faut gagner en précision dans nos images, ce qui nécessite d'augmenter les champs magnétiques. « *C'est dans ce changement d'ordre de grandeur que réside tout l'intérêt de NeuroSpin* », souligne Denis Le Bihan.

caractéristiques d'homogénéité et de stabilité nécessaires à l'IRM.

### LE GÉNOME SUR UN « PLATEAU »

Les neurobiologistes se sont donc tournés vers les ingénieurs de la direction des Sciences de la matière du CEA dont l'expérience a été acquise notamment au travers de leurs collaborations pour l'équipement des accélérateurs et des détecteurs du Cern, expérience mise en commun avec celle de Siemens. La précision de ses instruments et l'observation sur l'animal devraient permettre à NeuroSpin de relier neurosciences et expression génétique. L'immense gisement que constitue la connaissance du génome sera ainsi traduit en informations directement utilisables par le praticien. « *Le lien étant fait avec les observations chez l'homme, des diagnostics précoces pourront être établis, même avec des machines plus courantes*<sup>5</sup> », espère Denis Le Bihan.

Vue d'artiste du bâtiment NeuroSpin, actuellement en construction.



Destinées aux études cliniques, les premières machines installées à Saint-Aubin, près de Saclay, généreront des champs de 3 et 7 T. Une autre de taille plus réduite, mais d'un champ de 17 T, sera réservée aux études chez la souris. On attend surtout pour 2009 une machine de 11,7 T destinée aux études sur l'homme : elle surpassera les records actuels (9,7 T aux États-Unis).

Ces très hauts champs ne sont obtenus qu'avec des électro-aimants utilisant des matériaux supraconducteurs<sup>4</sup>. Or, aucun industriel n'est à même de construire de tels « monstres magnétiques » à l'échelle d'un corps humain, soit d'un mètre de diamètre interne, avec les

À terme, NeuroSpin sera un véritable plateau technique composé de cinq machines d'IRM servies par une collaboration de 150 scientifiques de plusieurs disciplines, neurobiologistes, médecins, physiciens, mais aussi informaticiens et mathématiciens, une pluridisciplinarité indispensable pour transformer les signaux IRM en images. ■

<sup>1</sup> La TEP permet de mettre en évidence l'activité physiologique neuronale grâce à l'émission d'anti-électrons (les positons, de même masse que l'électron, mais de charge opposée) dans des conditions particulières. <sup>2</sup> Travaux du Dr M. Zilbovicius (Inserm V 316 Tours et hôpital Frédéric Joliot-Curie d'Orsay). <sup>3</sup> Unité de champ magnétique : à Paris, le champ magnétique terrestre est de 0,00005 T. <sup>4</sup> D'une résistance électrique nulle lorsqu'ils sont correctement refroidis, ici dans de l'hélium liquide. <sup>5</sup> Environ 10 000 machines courantes d'IRM sont actuellement en service dans le monde.



GRAND ÉQUIPEMENT

> ROBERT AYMAR | INTERVIEW

## L'ÉMULATION, ACCÉLÉRATEUR DE RECHERCHE

— Le Cern fait figure de pionnier en matière de grand équipement européen. Son directeur livre la clef de cette réussite humaine et scientifique : une collaboration placée sous le double signe de la confiance collective et de l'émulation.

**Q:**

**Pourriez-vous définir, en quelques mots, ce que l'on entend par grand équipement européen ?**

**R:** Un grand équipement représente une valeur d'investissement ou de fonctionnement d'au moins 50 millions d'euros. Le fait qu'il soit européen peut avoir deux origines : soit il entre dans la stratégie scientifique de l'Union – c'est le cas, par exemple, des programmes portant sur la fusion nucléaire, dont le lancement date de 1959 ; soit il s'agit d'un équipement qui, à la demande de la communauté des

chercheurs, doit passer à l'échelle supérieure ou être créé de toutes pièces, comme ce fut le cas pour la construction de l'*European Synchrotron Facility*, décidée à un moment où l'Europe était en retard sur l'utilisation de la lumière synchrotron.

De même, un saut technologique peut nécessiter la création d'un nouvel instrument dont le coût ne peut être supporté par un seul État : le VLT de l'ESO<sup>1</sup>, au Chili, avec son optique adaptative, est dans ce cas. Le Cern, qui a été créé afin de minimiser la « fuite des cerveaux » dont souffrait l'Europe d'après-

guerre, est issu d'un choix politique dont nous nous félicitons aujourd'hui.

**Q:**

**Quels sont, selon vous, les points essentiels garantissant leur bon fonctionnement et leur efficacité ?**

**R:** Regrouper les scientifiques autour d'un grand équipement ou d'un projet commun n'est pas une garantie suffisante d'efficacité pour son fonctionnement ou sa réussite. Pas plus que la motivation des personnes recrutées,

Les collisions entre particules accélérées créent des gerbes de nouvelles particules qu'il faut identifier.



> **ROBERT AYMAR,**  
DIRECTEUR  
GÉNÉRAL DU CERN

“ Dans chaque équipe, il y a compétition pour les idées, mais collaboration pour leur mise en œuvre. ”

l'excellence de leurs compétences, leur ouverture d'esprit ou encore le fait que leurs cultures soient complémentaires. Ces atouts sont tous subordonnés à la volonté de chaque participant de faire passer l'intérêt collectif avant le sien propre ou celui de sa « famille », nationale ou scientifique. Mon expérience montre que si cette condition est réalisée, les expériences des participants, au lieu de simplement s'additionner, se multiplient. Grâce à cette combinaison productive, on parvient parfois à l'innovation qui tiendra à distance les équipes concurrentes. Dans de tels groupes, les indivi-

dualités se fondent, estompant parfois la paternité des idées émises; c'est pourquoi la confiance collective me paraît être un facteur essentiel de réussite.

**Q:**

**Le travail de recherche au sein de ces grands ensembles est-il plus productif que celui effectué dans des équipes plus petites ?**

**R:** L'émulation dans la recherche vient de la compétition. Les projets se définissent à la fois comme des collaborations compétitives et des compétitions collaboratives, des mots inséparables en réalité: l'émulation, en particulier dans le travail de recherche, est une compétition. Tout le monde est en compétition avec tout le monde sur le plan des idées, sachant que le groupe ne gardera que la meilleure. L'innovateur ne gagne que du respect au sein du groupe, mais reste souvent introuvable au bout des discussions qui développent et finalisent son idée. Il y a donc une compétition à chaque pas, alors que la collaboration englobe tous ces pas. Voilà le vrai moteur d'une équipe qui avance. Nous avons la chance d'avoir, au sein même de notre collaboration du LHC<sup>2</sup>, deux équipes en compétition: celles des détecteurs Atlas et CMS, qui comportent toutes deux un millier de physiciens. Cette compétition reste sereine dans la mesure où les atouts de chacun des détecteurs sont différents. Dans chaque équipe, il y a compétition pour les idées, mais collaboration pour leur mise en œuvre. Dans ce cas, l'efficacité est proche du maximum.

**Q:**

**Quelle sera la place de ces grands équipements dans le futur paysage européen de la recherche ?**

**R:** Le regroupement des ressources matérielles et humaines comporte un avantage immédiat évident, même au sein d'un pays, mais l'avantage décisif est au-delà de la simple juxtaposition de ces ressources. En effet, c'est lorsque les expériences mises en commun sont réellement différentes que l'efficacité augmente: de sa culture, on oublie ce qu'elle porte de contraignant pour n'en garder que les atouts. C'est là l'un des avantages formidables de l'Europe, avec son mélange de nationalités, culturellement voisines, mais relevant de systèmes éducatifs particuliers, et dont on peut prédire que les collaborations compétitives seront des sources d'innovations véritablement efficaces.

**Q:**

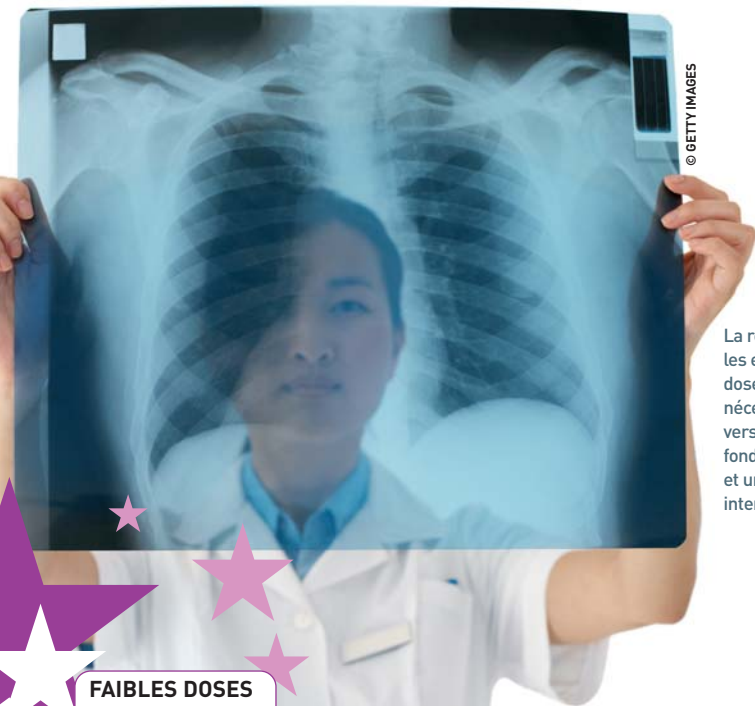
**Dans ce panorama, quels sont les atouts des institutions nationales ?**

**R:** Les structures qui me semblent les plus performantes sont peu bureaucratiques, avec peu de règles intangibles concernant l'administration d'un projet, la façon de le gérer ou d'en rapporter les résultats. Elles doivent garder la possibilité de se restructurer en fonction des projets. En contrepartie, cette flexibilité peut nécessiter des réajustements abrupts, mais qui sont sans doute préférables à ce qui se passe dans un cadre bureaucratique. Certes, ce cadre est protecteur, mais il est moins dynamique, car il limite les innovations à celles qui sont déjà engagées par la hiérarchie. En arrivant au Cern, je n'ai conservé que 3 directions sur les 9, et sur les 14 départements, il n'en reste que 7. C'était une modification inédite au bout d'un demi-siècle de fonctionnement. Néanmoins, cela a permis à ces directions d'assumer, non seulement la responsabilité de leur propre activité, mais aussi une part plus importante de celle de l'ensemble. ■

1 Le Very Large Telescope de l'European Space Organization.  
2 Large Hadron Collider.

# RECHERCHE FONDAMENTALE ET RECHERCHE APPLIQUÉE : UN CERCLE VERTUEUX

— Si la recherche appliquée se nourrit de la recherche fondamentale, l'inverse est également vrai. C'est ainsi que le CEA favorise depuis longtemps les échanges de l'une à l'autre. Il valorise le résultat de ses recherches en structurant sa propriété intellectuelle et en donnant un droit d'usage à des industriels, ou encore en aidant à la création de start-up. Le CEA met ainsi en place une synergie féconde, et instaure un continuum d'échanges et d'avancées mutuels entre les recherches fondamentale et appliquée.



© GETTY IMAGES

La recherche sur les effets des faibles doses d'irradiation nécessite un retour vers les disciplines fondamentales et une collaboration internationale.

FAIBLES DOSES

## LA RADIOPROTECTION PILOTÉE

— Depuis 2002, le CEA coordonne, aujourd'hui à travers le projet RISC-RAD, un réseau d'une trentaine d'institutions européennes axées sur la recherche en radioprotection. Une collaboration multidisciplinaire pour des applications médicales très attendues.

**B**ad Honnef, Allemagne, le 24 avril 2005. Venus de onze pays d'Europe, 75 chercheurs et chercheuses impliqués dans le projet RISC-RAD (*Radiosensitivity of individuals and susceptibility to cancer induced by ionizing radiations*) sont réunis en congrès. Un an après le lancement du projet, ils échangent leurs premiers résultats et clarifient la stratégie à suivre. Qu'ils étudient les mécanismes de la réparation de l'ADN ou

la susceptibilité génétique au cancer, qu'ils soient expérimentateurs ou modélisateurs, leurs recherches concourent au même objectif: apporter les connaissances scientifiques qui permettront, à terme, de baser la radioprotection sur une quantification du risque individuel.

À l'heure actuelle, les normes de protection contre les faibles doses, moins de 100 mSv<sup>1</sup> ponctuels, sont basées sur l'extrapolation des risques connus et

**UN ENGAGEMENT  
EUROPÉEN  
ÉPROUVÉ**

**Coordonner RISC-RAD** est, pour le Laboratoire de radiobiologie et d'oncologie (LRO) du CEA, le fruit d'un engagement européen de longue date. Depuis 1992, le laboratoire a participé à 7 projets des différents Plans-cadres pour la Recherche et le Développement. Successivement partenaire de projets comme RADINSTAB, puis coordinateur de TELOSENS et TELORAD, le LRO détient l'expérience qui légitime son leadership d'un projet de l'envergure de RISC-RAD.

quantifiés liés aux fortes doses. Cette méthode a atteint ses limites. En effet, non seulement la linéarité de la courbe effet/dose est contestée, mais, de plus, la réponse de l'organisme aux rayonnements diffère selon les individus. Certains sont plus radiosensibles que d'autres. Il existe donc vraisemblablement des prédispositions génétiques qui ont une incidence sur les conséquences pour la santé de l'exposition aux radiations. À la suite d'une exposition à de faibles doses, ces prédispositions pourraient-elles faire toute la différence quant au risque de développer un cancer? Quels mécanismes sont mis en jeu? Quels individus sont plus à risque? Telles sont les questions auxquelles RISC-RAD tente d'apporter des éléments de réponses.

### DES ÉQUIPES DE HAUT NIVEAU

Dès 2002, Laure Sabatier, directrice du Laboratoire de radiobiologie et oncologie au sein de la direction des sciences du vivant, met en place le réseau réunissant les équipes européennes les plus brillantes du domaine. Le projet RISC-RAD naît de cette collaboration, dont la coordination est confiée au CEA. Au milieu de l'année 2003, la Commission européenne approuve son financement à hauteur de 10 millions d'euros dans l'activité "radioprotection" d'EURATOM. D'une durée de quatre ans, le projet est lancé en janvier 2004. Son champ de recherches va des lésions complexes de l'ADN provoquées par les radiations, jusqu'au développement des cancers radio-induits, en passant par la transmission des aberrations chromosomiques observées dans les cellules irradiées.

Avec près de trente institutions partenaires, comment réaliser une intégration des recherches à l'échelle de l'enjeu scientifique du projet? C'est le véritable défi relevé par le CEA et RISC-RAD tant sur le plan de la science que du management. À l'heure de la structuration de l'Espace européen de la recherche, c'est aussi celui de toute la recherche européenne. ■

<sup>1</sup> Unité de radioprotection mesurant les effets biologiques des rayonnements sur l'organisme exposé. L'exposition naturelle est en moyenne de 2,4 mSv/an/personne.



MICRO ET NANOTECHNOLOGIES

## UNE RECHERCHE ENTREPRENANTE

— Depuis plus de trente ans, le CEA Grenoble est le point de jonction entre la recherche publique et les industriels. Échange de savoirs, formation, encouragement à la création de start-up, valorisation industrielle : l'histoire d'une synergie inventive.



© CEA

> **JEAN THERME,**  
DIRECTEUR DE LA RECHERCHE  
TECHNOLOGIQUE DU CEA  
ET DIRECTEUR DU CENTRE  
CEA GRENOBLE

**Q:** Selon vous, la recherche appliquée est-elle nécessaire pour faire avancer les recherches de base ?

**R:** Bien évidemment. Albert Einstein s'est lancé sur la découverte de la relativité restreinte par son travail au Bureau fédéral de la Propriété intellectuelle où il examinait les nombreux brevets sur la synchronisation des horloges, un enjeu pour améliorer la ponctualité sur le réseau ferroviaire alors en plein déve-

loppement. D'autres exemples moins exceptionnels jalonnent le développement de la microélectronique, à commencer par le transistor, dont l'invention et le développement découlent du besoin d'alléger les systèmes de transmission. Bien sûr, il faut des personnes dotées d'une grande culture pour faire de telles percées en réponse aux verrous rencontrés par les développements industriels.

**Q:** Comment se sont tissés les liens entre le CEA et les industries de la microélectronique ?

**R:** EFCIS<sup>1</sup> a été la première société essayée du CEA Leti, en 1971, et a constitué l'un des germes de ce qui est devenu ST Microelectronics à travers une longue histoire et plusieurs regroupements (voir encadré ci-contre). Cette histoire de plus de trente ans a permis de construire des liens durables, fruits d'une construction progressive entre

À l'interface avec les sciences du vivant, les puces à ADN mélangent des éléments recevant des liquides avec des dispositifs microélectroniques pour des analyses automatiques.



© P. STROPPIA/CEA

la recherche publique – autour du CEA Leti – et les industriels – ST Microelectronics d'abord, mais aussi toutes les sociétés qui ont rejoint le site, jusqu'à Philips et Freescale (Motorola). Les nombreuses start-up issues du CEA Leti contribuent fortement à ce vivier d'entreprises. Le CEA s'est employé à valoriser les résultats de ses recherches en structurant sa propriété intellectuelle et en donnant un droit d'usage à des industriels existants ou en aidant à la création de start-up. Il a été le premier organisme public français à mettre au point un dispositif encourageant les chercheurs à la création d'entreprise, dispositif qui a inspiré la loi sur l'innovation. Ainsi, dans le secteur des micro et nanotechnologies, 15 000 emplois directs et 30 000 indirects ont pu se développer en Isère.

**Q:**

La « recette » de ces bienfaits économiques est-elle similaire à celle de la réussite scientifique ?

**R:** Aujourd'hui, les percées se font plus à l'interface entre les disciplines qu'à l'intérieur d'une discipline. Cela est manifeste avec les découvertes au croisement de la biologie, de la chimie et de la physique et les nombreuses applications envisagées pour la santé. Pour le diagnostic et la thérapie, les microtechnologies ouvrent de vastes champs d'innovation. La synergie est aussi nécessaire pour tisser le continuum de recherche entre des chercheurs fondamentaux et des chercheurs répondant à des enjeux applicatifs. Le pôle Minatec met en place toutes ces synergies en réunissant sur un même site différentes disciplines et styles de recherche, la formation et la valorisation industrielle des résultats. Situé à l'interface avec les sciences du vivant, le projet NanoBio a commencé à nous structurer. Ainsi, nos partenaires européens ont spontanément proposé que l'on assure l'animation du réseau Nano2Life. ■

## MINATEC, LA SAGA INDUSTRIELLE DE L'ÉLECTRONIQUE GRENOBLOISE

Dès les années 1960, le centre CEA de Grenoble développe ses propres circuits intégrés afin d'étudier leur résistance aux rayonnements. Pour diversifier ses ressources financières, le CEA crée le Leti, en 1967, alors que le « Plan calcul », lancé trois ans plus tôt par le ministère de la Recherche et de l'Industrie, fait gonfler la demande nationale en composants électroniques. Engagé dans une voie que beaucoup considèrent alors comme irréaliste, le CEA-Leti crée EFCIS pour fabriquer des circuits MOS, dans lesquels s'empilent les couches métalliques et d'oxyde de silicium. En 1972, 80 chercheurs du Leti rejoignent cette start-up. Le « Plan circuit intégré » voit l'arrivée des joint-ventures avec Matra-Saint Gobain et les Américains Harris et National SC. La Direction générale des Télécommunications et son centre d'étude, le CNET, ouvre un laboratoire grenoblois sur les MOS, mais celui-ci reste indépendant du CEA.

L'électronique grand public tire les prix de la R&D vers le bas, obligeant à de nouvelles alliances. Le CEA-Leti se charge de la recherche amont de Thomson, qui a pris des parts dans EFCIS. Cependant, le Japon, passé en tête du marché, investit à contre-cycle ; ce qui met à mal ces alliances nationales. C'est le début des projets européens avec les programmes Euréka. En 1989, un accord avec le CNET permet la création de Grenoble 92, qui prend forme avec les premiers bâtiments de Crolles. Le GRESSI<sup>1</sup> organise la collaboration entre les deux organismes : le CNET réalise les transistors, le CEA-Leti, les interconnexions et Crolles, les travaux standard. Le pari est risqué à cause des contaminations possibles des plaques durant leurs transferts d'un centre à l'autre, mais il s'avère productif. Alors que SGS Thomson devient ST Microelectronics et accède au rang de leader mondial, la recherche fondamentale bénéficie d'une plate-forme, créée en 1992, qui lui ouvre l'accès aux moyens lourds du CEA-Leti et qui préfigure ce que sera le projet fédérateur Minatec. Initié par le CEA et l'INPG<sup>2</sup> en 2002, il s'articule autour de trois plates-formes : la formation, portée par l'INPG, avec ses deux écoles d'ingénieurs, et le CIME<sup>3</sup> ; la recherche, portée par le CEA-Leti ; et la valorisation industrielle, portée par les collectivités territoriales, qui ont mis à la disposition des industriels travaillant en partenariat avec les laboratoires de Minatec, un bâtiment de haute technologie. La Maison des micro nanotechnologies complète le dispositif, en assurant l'animation interne du pôle et son ouverture à la collectivité et à l'international. Minatec est aussi un projet immobilier sous la maîtrise d'ouvrage du département de l'Isère. La première pierre a été posée en septembre 2004 et les bâtiments, en cours d'aménagement intérieur, seront inaugurés le 1<sup>er</sup> juin 2006. ■

1 Étude et fabrication des circuits intégrés.

1 Grenoble Silicium Submicronique, un groupement d'intérêt économique 2 Institut national polytechnique de Grenoble 3 Centre interuniversitaire de microélectronique destiné à la formation continue.



Grâce aux investissements de Freescale (100 M€/an) dans les salles blanches de Crolles 2, les chercheurs travaillent sur des machines dernier cri (ici, insolation/gravure pour plaques 300 nm).

## SEMI-CONDUCTEURS

# LETI-FREESCALE, CIRCUIT D'EXCELLENCE INTÉGRÉ

— La collaboration du CEA-Leti avec Freescale, spécialisée dans les semi-conducteurs, assure l'échange fructueux du savoir-faire scientifique et des exigences de l'industrie. Un pôle d'excellence breveté...

**S**éduite par le Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information et son « écosystème » industriel, la société Freescale utilise son savoir-faire en matière de semi-conducteurs et crée des marchés pour ses capteurs intelligents. Freescale, ancienne division semi-conducteur de Motorola, fournit trois marchés principaux : les téléphones mobiles, les infrastructures réseaux et les systèmes embarqués pour l'automobile. « Depuis les années 1990, nous travaillons main dans la main avec le CEA-Leti », se félicite Denis Griot, vice-président de la société. Les termes de cette collaboration sont étroits et stratégiques. Aujourd'hui, elle passe par deux voies : un contrat de R&D au travers de l'alliance « Crolles 2 » et un accord

bilatéral, signé l'année dernière pour quatre ans. À Crolles 2, près de Grenoble, ST Microelectronics, Philips et Freescale se sont associés pour construire un centre de recherche piloté d'une ligne de production pilote de circuits intégrés, afin de rester dans la course à la miniaturisation. Le Leti y fait la jonction entre recherche académique et recherche appliquée. Il intervient en amont de la chaîne pilote, au travers de « modules avancés » qui représentent les phases les plus délicates de la fabrication. C'est ce pôle d'excellence scientifique qui a convaincu Freescale d'investir à Crolles 2, à hauteur de 100 millions d'euros par an. Résultat : les chercheurs travaillent sur des équipements dernier cri, tandis que

## FICHE ENTREPRISE

### > DATE DE CRÉATION

JUIN 2004, APRÈS PLUSIEURS ANNÉES D'EXPÉRIENCES AU SEIN DE MOTOROLA.

### > CHIFFRES

22 000 COLLABORATEURS / 5,7 Md\$ DE CA EN 2004

### > PARTENAIRES

LES 100 PLUS IMPORTANTS FABRICANTS D'ÉLECTRONIQUE

© FREESCALE



> DENIS GRIOT, VICE-PRÉSIDENT SENIOR DE FREESCALE

Freescale obtient l'assurance d'être au meilleur niveau mondial. La collaboration bilatérale répond à une autre stratégie : pour certains capteurs développés par le Leti, Freescale a les moyens de créer des marchés. Dotés de calculateurs, ces capteurs de position, d'accélération et de pression, deviennent des microsystèmes intelligents qui, dans les voitures, pourraient offrir une assistance au stationnement, contrôler et corriger la trajectoire, etc. Freescale travaille avec les constructeurs automobiles pour introduire ces technologies. Au Leti, les études qu'il finance dans ce domaine représentent 5 à 10 millions d'euros par an.

## EXIGENCES ET SAVOIR-FAIRE

Ces deux types de coopération passent par un échange de personnel : une dizaine d'ingénieurs Freescale travaillent actuellement au Leti, tandis que cinq chercheurs ont rejoint les laboratoires de la société américaine. Les uns apportent leur connaissance des exigences de l'industrie, les autres leur savoir-faire. Ce dernier se traduit souvent par des brevets, mais pas toujours, ce qui explique sans doute la relative discrétion de Denis Griot. « Freescale exploite une dizaine de brevets du Leti et souhaite en acheter quelques-uns, qui concernent des applications dans l'automobile. » Quoi qu'il en soit, les deux partenaires semblent engagés dans une coopération au long cours, puisqu'elle offre des débouchés aux recherches du CEA-Leti et un meilleur retour sur investissement à l'industriel. ■

## ÉLECTRO-GREFFAGE

## COMMENT ALCHIMER EST DEVENUE UNE RÉALITÉ

— La société Alchimer, essaimée du CEA, a réussi une greffe exemplaire : une identité forte et le positionnement sur deux marchés stratégiques (électro-greffage et semi-conducteurs) ont convaincu les investisseurs.

Fondée il y a quatre ans, la société Alchimer, essaimée du CEA, est un modèle du genre : une propriété industrielle forte et deux marchés stratégiques ont convaincu les investisseurs. Le fond de commerce d'Alchimer, c'est l'électro-greffage : ce procédé permet d'accoler des couches de polymères à des objets conducteurs ou semi-conducteurs. Il est issu de vingt ans de recherches au Laboratoire de chimie des surfaces et des interfaces du CEA Saclay. Christophe Bureau, ex-directeur de ce laboratoire, imagine pour la première fois de l'exploiter au travers de sa propre société en 1998, lorsque le CEA organise un concours d'idées de start-up : « Réalisés par électro-greffage, les revêtements de stents<sup>1</sup> qui relarguent des médicaments antirejet ont des avantages concurrentiels – qualité du dépôt, tenue dans le temps », explique-t-il. Un marché est identifié, encore faut-il le protéger. Le CEA dépose alors une quinzaine de brevets qui délimitent un périmètre, où seule la société Alchimer en gestation pourra se développer.

## TROUVER SON CRÉNEAU

Entre-temps, notre chercheur s'est pris au jeu : grâce à sa rencontre avec François Breniaux, son futur associé, professionnel du marketing au CEA, et son passage à HEC pour se former à la création d'entreprise, il a compris pourquoi les industriels ont jusqu'ici refusé ses avan-

Films fins de polymères électro-greffés pour la microélectronique (image) ou la médecine. L'infrastructure en nitrure de titane comporte des stries espacées de 200 nm. (Microscopie électronique à balayage).

## FICHE ENTREPRISE

> DATE DE CRÉATION  
AOÛT 2001

> CHIFFRES  
32 COLLABORATEURS  
1500 M<sup>2</sup> DE BUREAUX DONT  
1/3 EN SALLES BLANCHES.

> PARTENAIRES  
CEA VALORISATION, AGF  
EQUITY, ROTHSCHILD, INTEL...

> CHRISTOPHE  
BUREAU, PDG  
D'ALCHIMER

© ALCHIMER

ces : « Ils voulaient utiliser la technologie, pas la développer », rôle qui reviendra à Alchimer. Christophe Bureau a aussi trouvé ce que seront ses produits : au lieu de faire les revêtements, Alchimer vendra des cartouches de précurseurs chimiques à ses clients, pour qu'ils les réalisent eux-mêmes. Une fois ce « business model » ficelé, la société démarre en 2001 à Saclay, dans les locaux du CEA. Alchimer dispose de 450 000 euros (premier prix du concours national d'aide à la création d'entreprises technologiques innovantes). Le CEA n'hésite pas à parier sur cet « enfant prodige » en lui cédant les brevets d'applications de l'électro-greffage, contre des parts dans son capital. Le CEA-Valorisation devient ainsi actionnaire de la jeune société. Les investisseurs<sup>2</sup> ne tardent pas à suivre : fin 2002, 4,8 millions d'euros sont levés. Aujourd'hui, Alchimer occupe 1 500 m<sup>2</sup> à Massy, emploie 32 personnes et livre

ses premiers produits cet été. Un second marché, aux potentialités énormes, a été identifié : celui des semi-conducteurs, car l'électro-greffage permet également de déposer des couches de cuivre de moins de 10 nanomètres, indispensables à la miniaturisation croissante des microprocesseurs. Pour cette nouvelle activité, 11 millions d'euros supplémentaires ont été levés en 2004<sup>3</sup>.

Quand il s'est lancé, Christophe Bureau était loin de s'imaginer ce qui l'attendait. Pour lui, « il faut tout de suite intégrer quelqu'un du marketing dans la boucle, qui connaisse les réalités de l'industrie ». Il recommande aussi « d'avoir les nerfs solides et le soutien inconditionnel de ses proches ». ■

1 Prothèse en forme de ressort, placée à l'intérieur d'une artère que l'on vient de dilater, pour éviter qu'elle ne revienne à son diamètre initial. 2 Les fonds d'investissement des AGF, la banque Rothschild et Natexis-Banques Populaires. 3 Autrés des investisseurs historiques et de trois nouveaux partenaires : Auriga Partners, Partech International et FCJE.

# Le CEA au cœur des grands défis européens

## Énergie

Disposer d'énergies plus compétitives, non émettrices de gaz à effet de serre et respectueuses de l'environnement



## Défense et Sécurité

Garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire et la sécurité



## Technologies pour l'information et la santé

Valoriser l'industrie grâce à la recherche technologique



## Recherche fondamentale

S'appuyer sur une recherche fondamentale d'excellence pour développer les programmes de recherche technologique

Acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique intervient dans trois grands domaines : l'énergie, la défense et les technologies pour l'information et la santé, s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence. À travers la diversité de ses programmes, le CEA poursuit deux objectifs majeurs : devenir le premier organisme de recherche technologique en Europe et garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire. Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'Espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international.



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)