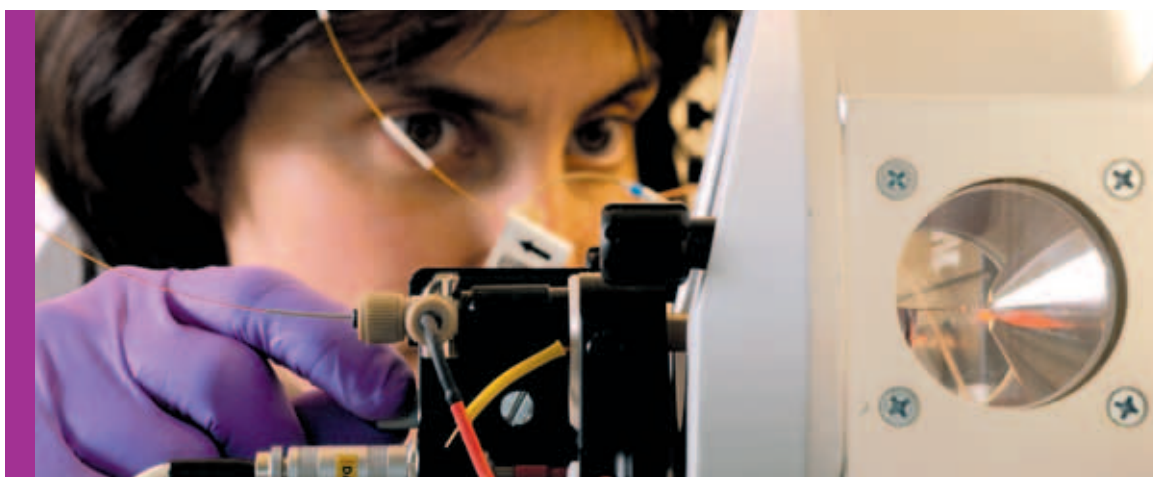




COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE



2008
rapport annuel



2. Entretien avec l'administrateur général et la haut commissaire à l'énergie atomique

6. DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE

Dissuader : armes nucléaires / simulation / protection

- >> Cahier recherche de base
- >> Recherche appliquée



12. ÉNERGIES

Innover : fission / fusion / nouvelles technologies de l'énergie

- >> Cahier recherche fondamentale
- >> Recherche appliquée



22. TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET LA SANTÉ

Inventer : micro et nanotechnologies / technologies logicielles et systèmes

- >> Cahier recherche fondamentale
- >> Recherche appliquée



30. Grandes installations de recherche

32. Bilan scientifique

38. L'accompagnement des programmes

47. Structure du CEA

Le CEA, acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation

— Le CEA intervient dans trois grands domaines : la défense et la sécurité globale, les énergies non émettrices de gaz à effet de serre et les technologies pour l'information et la santé. Pour y répondre, il s'appuie sur une recherche fondamentale de haut niveau.

Le CEA, établissement de recherche scientifique, technique et industriel, relève de la classification des Epic (Établissements publics à caractère industriel et commercial) et constitue à lui seul une catégorie distincte d'établissement public de l'État. Il dépend de quatre ministères : ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire ; ministère de l'Économie, des Finances, et de l'Emploi ; ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ; ministère de la Défense.

Implanté sur neuf centres répartis dans toute la France, le CEA bénéficie d'une forte insertion régionale et de solides partenariats avec les autres organismes de recherche, collectivités locales et universités. Afin de favoriser le transfert des connaissances, il accorde une importance particulière à l'enseignement et à l'information du public.

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.

15 618

salariés

3,5

milliards d'euros
de budget



1 234

thésards accueillis au CEA

339

postdocs accueillis au CEA

109

start-up depuis 1984 dans le secteur
des technologies innovantes

530

dépôts de brevets prioritaires

30

laboratoires de recherche
correspondants (LRC)

51

unités mixtes de recherche (UMR)

3 834

publications en 2007 dans
des revues à comité de lecture

1 498

brevets prioritaires délivrés
en vigueur en portefeuille

55

accords-cadres en vigueur
avec les universités et les écoles

Avant-propos

Bernard Bigot

Administrateur général



S'il est un mot qui marque durement l'actualité, c'est bien celui de crise : crise économique et financière, crise sécuritaire, crise énergétique, crise écologique et climatique... Autant de dérèglements, à la fois conjoncturels et structurels, qui sont susceptibles d'engendrer des conflits potentiellement violents dont notre planète n'a plus que jamais, nul besoin. Face à ces problématiques multiples, la France dispose d'atouts et de ressources que beaucoup lui envient et qui lui confèrent une responsabilité singulière dans la prévention des conflits, et la recherche et la mise en œuvre de solutions adaptées à la préservation de la paix et au développement. Et parmi ces atouts, elle dispose d'un potentiel scientifique et technique considérable, auquel contribue de façon déterminante son savoir faire dans le domaine du nucléaire et de ses applications directes et indirectes, mais aussi dans les énergies renouvelables et les technologies de l'information et de la santé.

Depuis sa création en 1945, le CEA met au service du pays et de sa voix dans le monde les connaissances les plus avancées, qui découlent de ses travaux sur les secrets de la matière, depuis l'infiniment petit jusqu'à l'infiniment grand.

Dans le domaine de la défense et de la sécurité, le CEA permet aujourd'hui à la France de conserver une dissuasion pérenne et crédible, malgré l'arrêt des essais nucléaires : il contribue ainsi à la sécurité ultime des Français et, de facto, à celle de l'Union européenne et de ses alliés de l'OTAN. Et c'est bien l'assurance de cette sécurité ultime qui permet à la France de jouer pleinement son rôle, tout en lui conférant des responsabilités majeures dans le cadre de la lutte contre la prolifération, du désarmement nucléaire et de la lutte contre le terrorisme. Autant de domaines qui sont aussi le quotidien des activités du CEA, depuis la recherche fondamentale et les développements de technologies nou-

velles, jusqu'aux activités opérationnelles de surveillance des essais nucléaires, de sécurisation des grands événements, ou de contribution à la PSI (Proliferation Security Initiative).

Dans les domaines énergétiques et écologiques, le CEA se place à l'avant-garde des recherches destinées à permettre une utilisation toujours plus sûre et plus propre de l'énergie nucléaire de fission, et à terme, de fusion de l'hydrogène, qui constitue la ressource énergétique majeure de l'avenir. Mais aux côtés de l'énergie nucléaire et dans le cadre du Grenelle de l'environnement, le CEA est aussi l'un des premiers contributeurs au profit des nouvelles technologies de l'énergie (production d'hydrogène par électrolyse haute température, piles à combustible, stockage de l'énergie électrique pour le transport, énergie solaire photovoltaïque ou thermique, gestion économe de l'énergie dans l'habitat, biocarburants de deuxième génération...).

Ce panorama des activités du CEA serait incomplet s'il n'évoquait enfin l'ensemble des activités induites et déterminantes dans le domaine des technologies au service de l'homme, de son bien-être et de sa santé, qu'il s'agisse des recherches sur les nanomatériaux, la génomique ou encore l'imagerie médicale...

Fort de seize mille hommes et femmes pour lesquels les notions de métier et de passion se rejoignent le plus souvent, le CEA est fier de sa vocation de mettre chaque jour la science au service de l'homme, du développement responsable, d'une société durable et de la paix dans le monde.

Bernard Bigot
Administrateur général

Catherine Césarsky

Haut commissaire à l'énergie atomique



Ce rapport annuel illustre une fois encore le rôle clé du CEA en tant qu'acteur de recherche de premier plan au niveau mondial.

Fort de la qualité de ses partenariats avec l'industrie et le monde académique, le CEA est reconnu comme un acteur majeur dans les secteurs de l'énergie et des technologies pour l'information et la santé. Le CEA contribue à consolider la stratégie énergétique française en menant des programmes de recherche ambitieux dans les énergies renouvelables, complémentaires au nucléaire dans un mix à bas carbone.

Les avancées réalisées en 2008 dans le domaine de l'énergie nucléaire de fission sont autant d'éléments pour la définition des options du prototype Astrid et pour la gestion des déchets nucléaires, qui concourent à préparer l'échéance 2012 et ouvrent la voie à un nucléaire durable.

Le CEA a aussi confirmé en 2008 son rôle moteur dans le domaine des énergies renouvelables, avec l'INES à Chambéry qui a produit des résultats déterminants dans le photovoltaïque et avec sa participation au projet de démonstration de production de biocarburants de seconde génération à Bure-Saodron.

Dans les technologies de l'information et les nanotechnologies, de grandes alliances mondiales se dessinent et le CEA s'y est activement préparé. Ce domaine de recherche, en perpétuelle mutation, nécessite un couplage fort et rapide de la recherche la plus fondamentale, dans laquelle les compétences du CEA sont particulièrement reconnues, à l'innovation industrielle, objectif du programme « Nano-Innov » autour des centres de Grenoble et de Saclay.

Dans la mission du CEA pour la dissuasion nucléaire, l'avancée remarquable que constitue la garantie de la charge nucléaire TNA est à souligner. Pour la première fois au monde, une telle opération aura été réalisée sans recourir à un essai nucléaire.

Pour réussir ses grandes missions technologiques, le CEA dispose d'un socle de recherche fondamentale de très haut niveau. Dans le domaine des sciences du vivant, je retiens en particulier le lancement, en association avec l'INSERM, de MIRGen qui complète le réseau de plates-formes d'imagerie biomédicale du CEA. Avec ces plateaux d'imagerie et l'Institut de génomique, le CEA dispose d'un large éventail de technologies au service des grands enjeux de santé publique, de biotechnologie et de bioénergie, comme l'illustrent les premiers succès de l'approche biomimétique avec une nouvelle génération de biocapteurs, les avancées de la catalyse fondée sur des modèles enzymatiques, ou encore la voie vers une production bio-inspirée d'hydrogène.

Dans le domaine des sciences de la matière, la moisson est riche ; par exemple, la découverte de la particule Eta b par l'expérience BaBar au SLAC, la mise en évidence d'une émission de photons gamma qui expliquerait l'origine de l'antimatière dans les régions internes du disque de la Galaxie et la maîtrise des impulsions lasers ultra-courtes permettant de "photographier" des nuages électroniques. Dans ce même registre, l'année 2008 a permis de fêter les 20 ans de Tore Supra, premier grand tokamak supraconducteur de l'histoire, qui par sa couverture du champ des « décharges longues » aura été l'un des précurseurs d'ITER. ITER, qui fera une démonstration scientifique de la production d'énergie de fusion, est entré maintenant dans une phase active avec le lancement des premiers appels d'offre et contrats par l'Organisation internationale et les agences domestiques des partenaires.

Pour conclure, je voudrais dire l'immense plaisir que j'éprouve à revenir auprès du CEA en tant que Haut commissaire. Je suis profondément convaincue que cet organisme possède à un niveau exceptionnel l'art de cultiver la diversité des talents de ses chercheurs, ingénieurs et techniciens, source de progrès des connaissances et d'innovation au service de notre société.

Catherine Césarsky
Haut commissaire à l'énergie atomique

Événements

« Nouveaux enjeux de la lutte contre la prolifération » – 15 et 16 juillet

Dans la perspective d'élaborer un plan d'action en complément de la Stratégie européenne de lutte contre les armes de destruction massive de 2003, ce séminaire et ses ateliers thématiques ont permis de faire un bilan de l'action de l'Union européenne dans la lutte contre la prolifération, d'analyser les instruments disponibles et d'en faire une évaluation. De nouvelles pistes pour renforcer et diversifier cette action ont été évoquées afin de prévenir la prolifération, de la contrer et de lutter contre son financement.



Voyage « Recherche » de la Présidence – 3 au 5 septembre

Le CEA et le Comité technique pour Euratom (CTE) ont organisé, au nom du ministère de la Recherche, à Cadarache, deux réunions dans le domaine de la recherche, l'une du groupe conjoint Recherche/Questions atomiques qui traite au Conseil des questions relevant du traité Euratom et l'autre du Comité de la recherche scientifique et technique qui a pour mission d'assister le Conseil et la Commission pour la mise en œuvre des programmes communautaires de recherche et de développement technologique, hors nucléaire.

Conférence et exposition « SRC 2008 » – Recherche en sécurité – 29 et 30 septembre

La 3^e édition de la conférence européenne sur la recherche en sécurité a rassemblé plus de 1 000 participants de 40 nationalités. Ont été examinés le dialogue entre les fournisseurs et les utilisateurs finaux, le besoin de faire émerger un marché européen dans le domaine de la sécurité, l'interopérabilité des systèmes, l'harmonisation des règles et des procédures, le respect des libertés individuelles et l'acceptabilité du public. La stratégie du CEA et les résultats concrets de ses recherches ont été présentés en session et à travers des démonstrations dynamiques réalisées sur un stand spécifique organisé avec les Directions des relations internationales, des affaires européennes et de la sécurité et de la non-prolifération.



Séminaire « Partenariat public-privé dans le domaine de la recherche » – 15 octobre

Ce séminaire, organisé par le Clora, a débattu sur les conditions nécessaires à la réussite d'un partenariat public-privé européen dans le domaine de la recherche. Plusieurs acteurs des initiatives nationales et européennes ont ensuite partagé leurs expériences : pôles de compétitivité français, initiatives technologiques, projets pilotes de la Commission pour l'EIT (dont le projet ComplexEIT porté par le CEA).

Le CEA, un acteur majeur de la présidence française

Une présidence marquée par les questions énergétiques

La prise de conscience de la double problématique de la nécessité d'une fourniture sûre et compétitive de l'énergie et de la préservation du climat révélée lors du sommet de Hampton Court en 2005 a trouvé une première réponse à l'échelle européenne au printemps 2008 quand le Conseil a adopté le paquet énergie et changement climatique. Ses objectifs à l'horizon 2020 peuvent se résumer en quatre points :

- baisse de 20 % des émissions de gaz à effet de serre ;
- amélioration de 20 % de l'efficacité énergétique ;
- 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation de l'Union européenne ;
- 10 % de biocarburants dans la consommation de l'Union européenne.

La réalisation de ces objectifs nécessite la mobilisation de tous les acteurs, ainsi qu'une cohérence et une programmation renforcées de la recherche technologique au niveau européen. C'est ce que cherche à mettre en œuvre le Plan stratégique européen (SET Plan) pour la recherche énergétique présenté par la Commission en novembre 2007. Pour ce faire, ce plan définit les thématiques prioritaires pour atteindre les objectifs 2020 et 2050 et prévoit la gouvernance à mettre en place.

L'importance des enjeux et les défis à relever sont tels que la PFUE a inscrit la thématique énergie/climat parmi ses quatre priorités, installant ainsi le CEA, principal acteur français en la matière, comme interlocuteur privilégié vis-à-vis des organismes de recherche européens et moteur de la mise en œuvre des projets européens.

La recherche, la réponse incontournable

Le CEA, qui possède une expertise reconnue dans presque toutes ces thématiques, a poursuivi ses efforts pour soutenir les défis technologiques qu'ils représentent : énergie photovoltaïque, énergie solaire concentrée, biocarburants de seconde génération, hydrogène, stockage de l'énergie, nucléaire de fission, gestion des déchets nucléaires, fusion thermonucléaire...

Concernant la gouvernance, le CEA a joué un rôle majeur dans la mise en place de l'Alliance européenne de la recherche dans le domaine de l'énergie, réunissant les organismes de recherche européens susceptibles de permettre la mise en œuvre de nouveaux modèles de collaboration sur des programmes opérationnels en lien

de l'Union européenne (PFUE)

avec les priorités du SET Plan et de construire des partenariats durables avec l'industrie. L'organisme a été à l'origine de la signature le 27 octobre 2008, par 10 instituts européens leaders dans le domaine des énergies non polluantes, d'une déclaration formelle sur leur intention de s'engager à construire l'Alliance. Cette signature intervenait en marge de l'événement de la PFUE « Towards a Low Carbon Energy » au succès duquel le CEA a largement participé (voir Colloque et exposition « Vers une énergie bas carbone »).

Des actions riches et diversifiées

Au total, l'organisme s'est impliqué dans 12 événements majeurs de la PFUE qui ont permis de consolider son image et de faire connaître ses programmes auprès d'un public varié allant de scientifiques mondialement reconnus aux jeunes avide de découvrir le monde de la recherche, souvent en présence des représentants au plus haut niveau des instances nationales et européennes.

Il a intensifié ses actions de coordination et de pilotage dans les instances pertinentes telles que les groupes techniques nationaux, les réseaux de points de contact nationaux, les groupes ministériels, les associations telles que l'Agence nationale pour la recherche technologique (ANRT), l'European Association of Research and Technology Organisations (EARTO), le Club des organismes de recherche associés (Clora) dont il a assuré la présidence durant l'année 2008.

Le CEA a accompagné la mise en place des instruments communautaires tels que les plates-formes technologiques, et en particulier celle pour l'énergie nucléaire durable (SNE-TP) dont le président actuel appartient à l'organisme, et les entreprises conjointes.

Il s'est particulièrement impliqué dans le dossier du redémarrage mondial de l'énergie nucléaire que l'Union européenne accompagne grâce aux travaux du Forum européen de l'énergie nucléaire. Celui-ci se réunit tous les six mois alternativement à Prague et à Bratislava avec l'objectif de mettre en place les conditions d'une relance dans les pays de l'Europe qui le souhaitent. Ces conditions visent en particulier la sûreté nucléaire, qui fait l'objet d'une proposition de directive pour laquelle la France a joué un rôle moteur, l'acceptation du public et l'examen de conditions juridiques et financières attractives pour les investisseurs.

Enfin, le réseau de correspondants du CEA en ambassade et les conseillers nucléaires ont joué un rôle majeur durant la PFUE, apportant appui et expertise en matière de recherche et de soutien au nucléaire au sein de leurs ambassades et auprès des institutions européennes.

Colloque et exposition « Vers une énergie bas carbone » – 27 et 28 octobre



Cet événement organisé par le CEA et l'IFP, en réunissant plus de 500 participants, constitue l'une des principales étapes de la mise en œuvre du Plan stratégique européen pour les technologies énergétiques proposé par la Commission européenne et soutenu par le Conseil et le Parlement européen. Ce plan (appelé SET Plan) représente le volet technologique de la politique européenne « énergie et changement climatique » en vue d'une meilleure efficacité de la recherche et de l'innovation en Europe. Cette démarche s'est concrétisée par la signature,

par 10 instituts européens de recherche leaders dans le domaine des énergies non polluantes, d'une déclaration formelle d'engagement de construction d'une Alliance des organismes prévue par le SET Plan.

La Ville européenne des sciences – 14 au 16 novembre

Plus de 40 000 visiteurs ont participé à cet événement à dimension européenne qui visait à montrer l'intérêt de la recherche pour le citoyen et à faire connaître les organismes de recherche et industriels à un public varié. Le CEA avait mis en avant la prévention des risques et de la sécurité des citoyens, entre autres la sécurité des ports maritimes, la cartographie des sols contaminés, la surveillance, la détection des menaces et l'analyse des dangers.

Séminaire « Évaluation et analyse d'impact du PCRD » – 3 décembre

Ce séminaire, qui a réuni plus de 200 participants, a bénéficié du soutien et de la participation de plusieurs députés européens ainsi que de personnalités de haut niveau de la recherche européenne. Sur la problématique de l'évaluation, ont été examinés les outils et la méthodologie, l'évaluation centralisée par les services de la Commission, les analyses d'impact réalisées dans certains États membres pour mesurer l'effet du PCRD sur leur dispositif de recherche national ou le point de vue des acteurs sur les acquis et les lacunes du PCRD.

Conférence « ECRI 2008 - Grandes infrastructures de recherche » – 9 au 11 décembre

Cette 5^e édition de la conférence européenne sur les infrastructures de recherche a mis en valeur le travail mené par le Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche (ESFRI) pour identifier les besoins à l'échelle européenne et pour accompagner le processus de réflexion au sein des États membres et de la Commission. La réactualisation de la feuille de route européenne ESFRI, rendue publique à cette occasion, a permis d'évoquer les difficultés juridiques et financières de la mise en place d'infrastructures de plus en plus coûteuses. La diversité et la richesse des infrastructures du plateau de Saclay ont été présentées.

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE

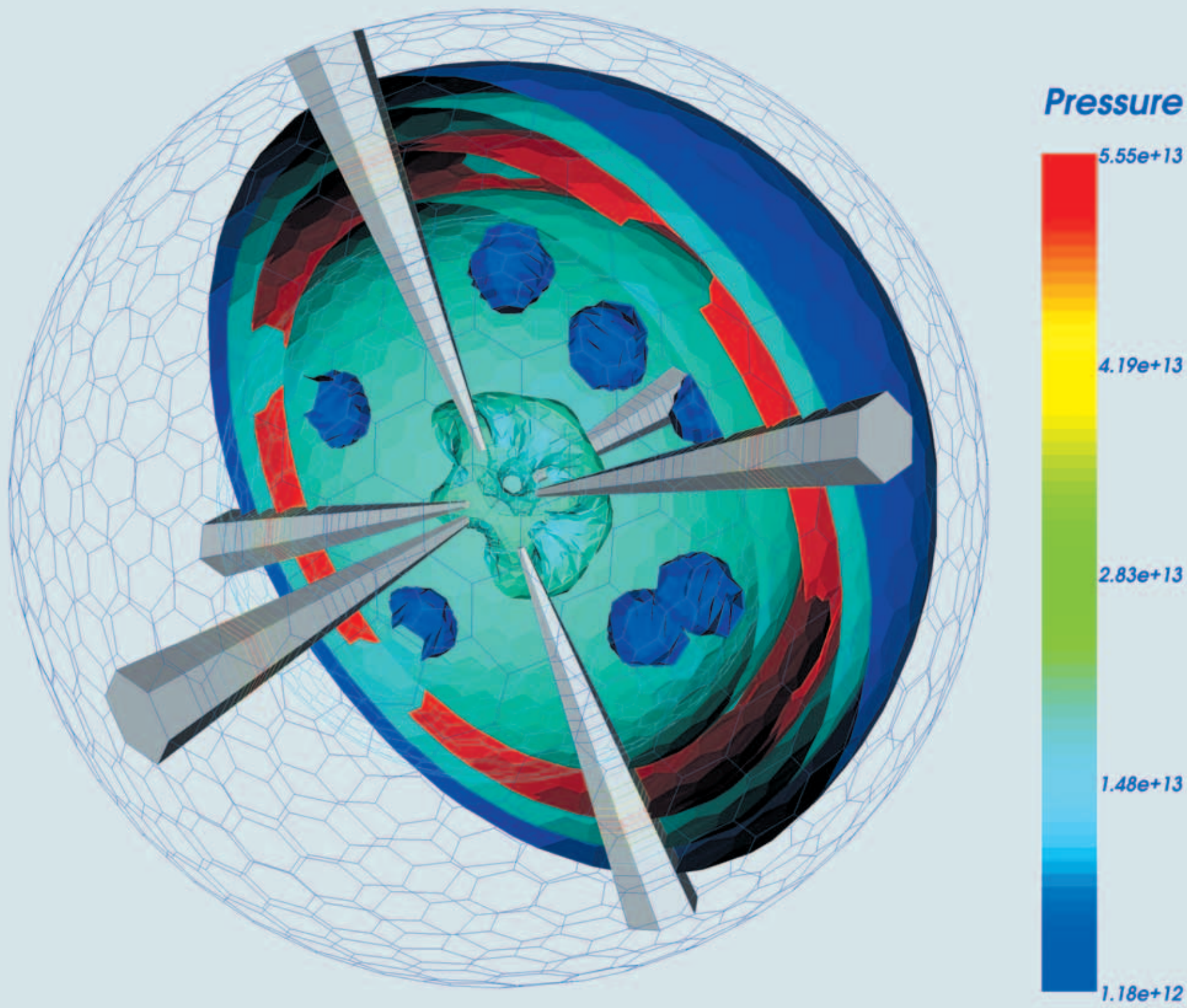
Dissuader

armes nucléaires / simulation / protection

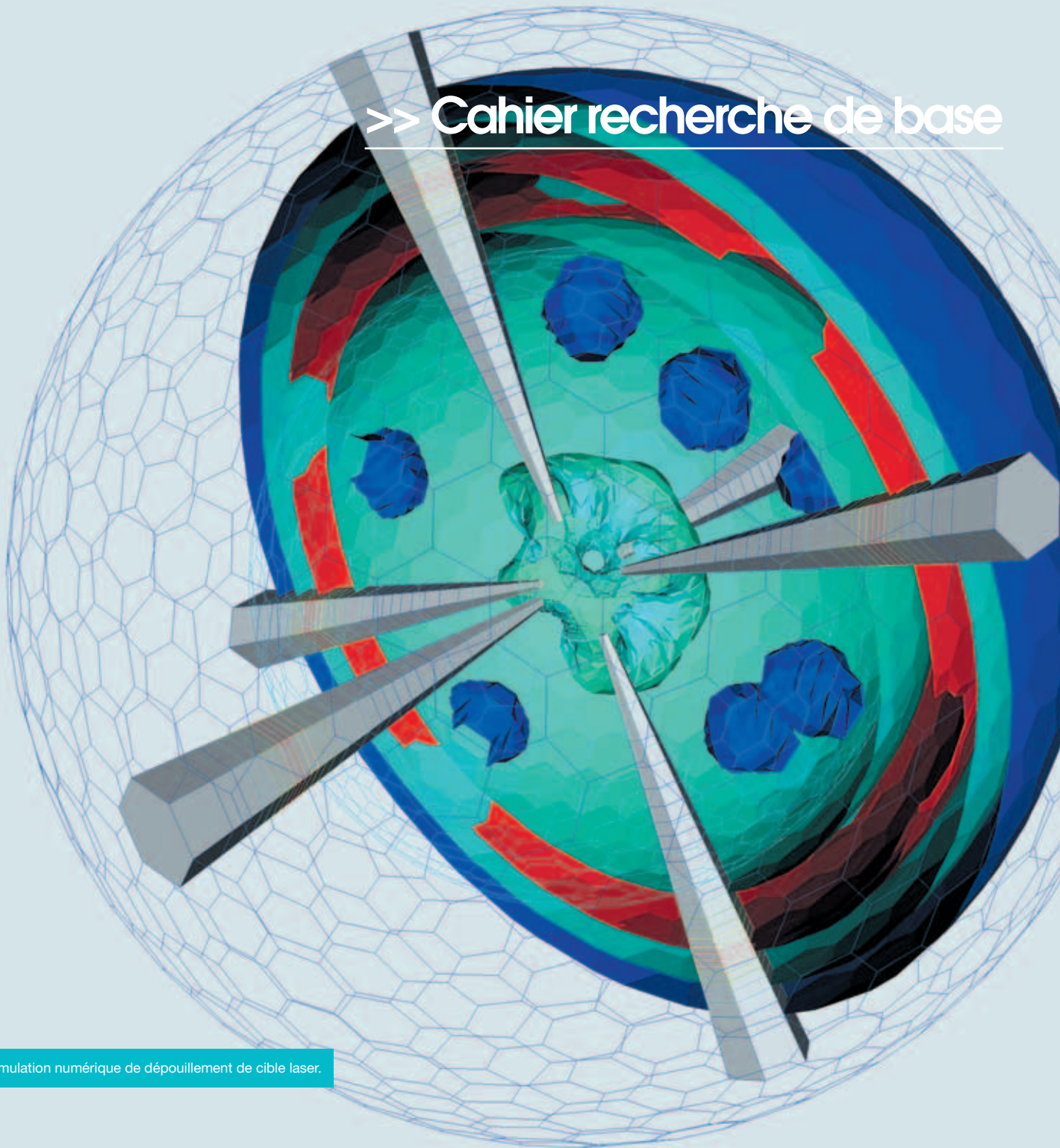
— Dans le cadre des lois de programmation militaire et à la suite de l'arrêt des essais nucléaires, le CEA développe les programmes nécessaires pour garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire française. En matière de propulsion nucléaire, le CEA est notamment responsable de la conception et de la maintenance des réacteurs des sous-marins et porte-avions. Il contribue à la surveillance du respect des traités et participe à la lutte contre la prolifération des armes nucléaires et le terrorisme.



> Réglage d'optique sur la Ligne d'intégration laser.



>> Cahier recherche de base



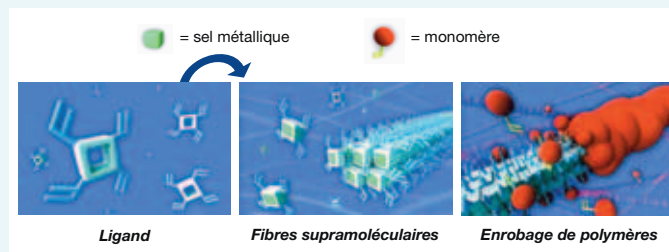
> Simulation numérique de dépouillement de cible laser.

Armes nucléaires, propulsion nucléaire, lutte contre la prolifération et le terrorisme : des recherches très actives

— Le pôle Défense du CEA est responsable des recherches de base liées à ses principales missions, notamment dans les domaines des armes nucléaires (science des explosifs, comportement des matériaux sous forte sollicitation dynamique, neutronique, physique nucléaire, physique des plasmas et hydrodynamique radiative...), de la propulsion nucléaire (neutronique, vieillissement des matériaux sous irradiation), des lasers de puissance, de la surveillance des traités (sismique, infrasons, transport des radionucléides) et de la lutte contre la prolifération et le terrorisme (capteurs).

Procédés innovants et matériaux nouveaux

Les propriétés des matériaux, sous diverses sollicitations, dépendent fortement des méthodes d'élaboration. Les recherches menées dans ce domaine portent sur ce lien entre procédés de fabrication et propriétés. Elles ouvrent une nouvelle voie pour l'étude de la tenue en service des matériaux. Ainsi, la résistance à la corrosion de différentes

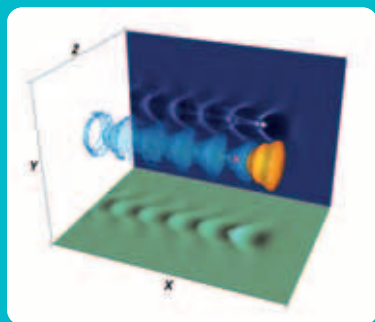


> Processus d'élaboration de fibres supramoléculaires : les ligands, en présence de sels métalliques, s'assemblent pour constituer des fibres dopées par le métal. Les fibres peuvent ensuite être fonctionnalisées par la polymérisation d'un monomère à leur surface (vue d'artiste).

surfaces rectifiées de tantale a récemment été reliée au type d'usinage utilisé. L'utilisation des matériaux énergétiques nécessite un contrôle adéquat de l'amorçage des réactions qui peuvent y être engendrées, thermiquement ou par choc et de leur transformation en détonation établie. Un critère d'allumage fiable, basé sur des simulations numériques fines, a été proposé : il permet d'améliorer encore la sécurité des édifices pyrotechniques.

>

Focus sur...



CALCUL D'ONDES

Les techniques de calcul haute performance et la machine Tera 10 implantée sur le centre DAM Île-de-France permettent de réaliser des simulations toujours plus réalistes de phénomènes complexes. Le calcul d'ondes des sillages créés par laser, nécessitant une centaine de millions de mailles et près d'un milliard de particules, permet de recréer les ondes de densité électronique (en bleu sur l'image) ainsi que le « paquet » d'électrons accéléré à des énergies de l'ordre de la centaine de MeV (en jaune), phénomènes qui ont par ailleurs été observés expérimentalement.

Dans le domaine des réacteurs embarqués, les besoins d'autonomie croissante des navires se traduisent par le développement de combustibles à durée de vie allongée et la conception d'un nouveau principe de générateur de vapeur utilisant un échangeur à plaques plutôt qu'à tubes. La réduction de volume de ce type de générateur permet, à encombrement constant, d'augmenter significativement celui du cœur.

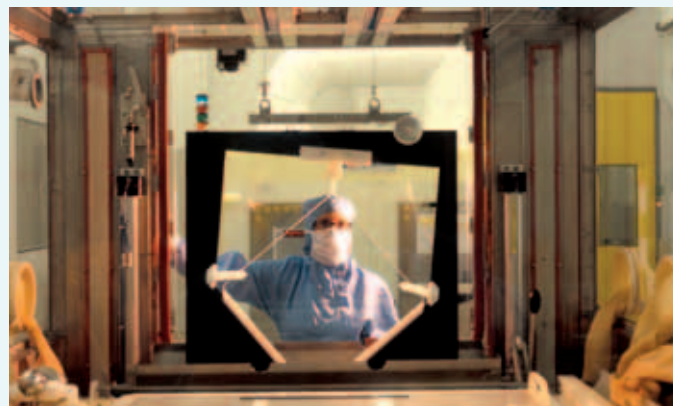
Des fibres supramoléculaires enrobées de polymère, aux propriétés remarquables, viennent d'être élaborées grâce à la réalisation de revêtements nanométriques (schéma page de gauche). Les techniques actuelles de revêtement permettent aussi de réaliser les revêtements optiques (couches Sol-gel) ainsi que les supports de capteurs de molécules cibles (détecteurs). Plus généralement, les propriétés des matériaux sont mieux contrôlées au niveau nanoscopique, c'est-à-dire atomique et moléculaire.

La poursuite du développement de couches actives de capteurs chimiques pour la détection de composés organophosphorés neurotoxiques a notamment conduit à la réalisation de grandes surfaces spécifiques de molécules cibles dont profitera la lutte contre le terrorisme NRBC.

Une céramique transparente d'oxyde de scandium dopée à l'yttrium vient d'être mise au point. Le développement des céramiques à effet laser, de par leur conductivité thermique élevée, ouvre la voie à de nouveaux matériaux amplificateurs pour les futurs lasers de puissance à cadence de tir augmentée.

Autour des lasers

Concernant la réalisation des futures cibles pour le Laser mégajoule (LMJ), dont le diamètre est de l'ordre du millimètre et l'épaisseur voisine de 180 micromètres ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$), de récents progrès technologiques ont permis d'atteindre des rugosités inférieures à 20 nanomètres (1nm

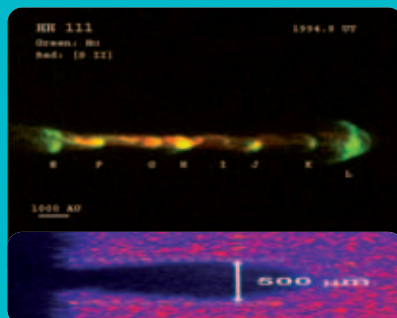


> Traitement Sol-gel d'une optique de la Ligne d'intégration laser.

$= 10^{-9} \text{m}$) pour les modes élevés et de 80 nm pour les modes bas. Ces caractéristiques sont requises pour limiter le développement des instabilités hydrodynamiques durant la phase d'implosion des cibles laser.

Un miroir déformable de nouvelle génération, destiné à renvoyer les faisceaux du LMJ à l'extrémité de la ligne amplificatrice, a été installé et testé avec succès sur la Ligne d'intégration laser (LIL). Concernant les mesures optiques, la mise au point d'un nouveau réflectomètre optique permettant de contrôler des pièces planes de grande précision s'est traduit par le dépôt d'un brevet. Cet appareil est un des plus précis au monde.

L'exploitation des expériences qui seront réalisées sur le LMJ nécessite la mise au point de méthodes de diagnostic particulièrement performantes. Cela se fera en reproduisant par le calcul l'ensemble de la chaîne de mesure du dispositif expérimental et en le confrontant aux observations sur maquettes. Dans le cadre de cette approche, un détecteur de



ASTROPHYSIQUE DE LABORATOIRE

L'astrophysique de laboratoire, profitant des propriétés de similitude en physique des hautes énergies, est en train d'acquies la place qui lui revient, avec les expériences réalisées auprès des lasers de puissance. La dynamique des jets de plasma rencontrés en astrophysique (observation d'un jet d'étoiles jeunes HH111) est un exemple où de telles similitudes s'appliquent (analyse d'un jet, créé par laser au Laboratoire d'utilisation des lasers intenses Luli – laboratoire commun CEA/Polytechnique / CNRS / UPMC –, se propageant dans le vide).



> Expérience d'endommagement pour améliorer la tenue au flux laser des optiques.

rayons X particulièrement performant a été développé et étalonné. Un nouveau dispositif de mesure de vitesse Visar, très performant par rapport aux précédentes générations, a été conçu et testé sur la LIL.

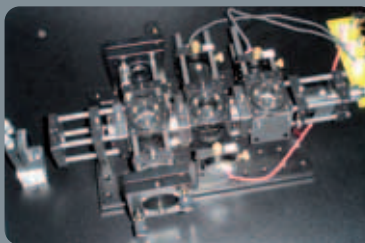
Dans le cadre d'une collaboration avec le Max Planck Institute de Dresde et le Max Born Institute de Berlin, les progrès en physique des lasers ont conduit à la mise au point d'une méthode performante de compression d'impulsion, tirant parti du phénomène de filamentation des faisceaux laser. Ce phénomène se produit pour de très fortes intensités et conduit à un raccourcissement de l'impulsion de 45 à 10 femtosecondes (1 femtoseconde = 10^{-15} seconde).

Un jalon a été franchi dans le domaine des sources micro-ondes de forte puissance avec la réalisation par le CEA d'un premier système de générateur micro-onde à haute cadence de tir testé avec succès au centre de Gramat.

Calcul haute performance et recherche amont

La résolution de problème 3D de diffraction des ondes électromagnétiques par des corps conducteurs est devenue possible grâce au développement du calcul haute performance (CHP). Ces techniques bénéficient non seulement aux domaines de la simulation numérique du fonctionnement des armes, mais aussi à ceux de la furtivité électromagnétique et de la rentrée atmosphérique sans oublier ceux, plus traditionnels, de la physique des plasmas et de l'interaction rayonnement (électromagnétique mais aussi faisceau de particules) matière. Ces progrès, permettant des calculs tridimensionnels complexes, nécessitent l'utilisation intensive des supercalculateurs. Ils rendent possible l'utilisation de nouvelles méthodes numériques qui se révèlent être très performantes (diffraction).

INTERFÉROMÉTRIE ET GÉOPHYSIQUE

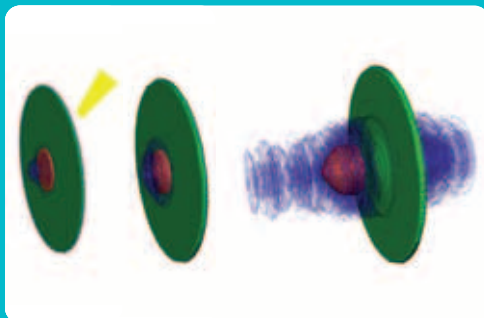


Dans le cadre des activités de surveillance des traités de lutte contre la prolifération, les mouvements de la croûte terrestre doivent être suivis avec une extrême précision.

L'utilisation de techniques d'interférométrie permet la réalisation de capteurs géophysiques capables de mesurer des déplacements inférieurs à 1 picomètre ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$). L'utilisation conjointe de techniques de gravures issues de la microélectronique permet d'envisager leur intégration dans les futures stations sismiques.

>

Focus sur...



IRRADIATION PAR FAISCEAU LASER

L'irradiation par un faisceau laser ultra-court et ultra-intense trouve une de ses applications dans la génération de faisceaux de protons d'énergie de plusieurs MeV, émis en face arrière de la cible. Ces études, financées par l'ANR et réalisées en partenariat entre le CEA et le Laboratoire d'optique appliqué de l'École polytechnique dans le cadre du projet Gospel, devraient déboucher sur des applications en protonographie.

Acteur majeur de la dissuasion nucléaire et de la sécurité nationale et internationale

— Le CEA a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces océaniques et aéroportées.



> Développement et fabrication de composites polymères, céramiques pour constituer l'enveloppe de la tête nucléaire.

Il doit être en mesure de garantir sur le long terme la fiabilité et la sûreté de ces têtes sans recourir aux essais nucléaires définitivement arrêtés depuis 1996. À cette fin, une des priorités de la Direction des applications militaires est de mettre en œuvre le programme Simulation.

Il est chargé de la conception et de l'entretien des réacteurs nucléaires assurant la propulsion des bâtiments de la Marine nationale, sous-marins et porte-avions.

Il est également responsable de l'approvisionnement des matières nucléaires pour les besoins de la Défense, dans le respect des décisions prises par la France d'arrêter la production de matières fissiles destinées aux armes et de démanteler les usines de production.

Enfin, le CEA contribue, pour les instances nationales et internationales, à la surveillance du respect du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires et à la lutte contre la prolifération et le terrorisme.

Les têtes nucléaires

Les activités de maintien en condition opérationnelle des têtes nucléaires actuellement en service – TN81 pour la composante aéroportée et TN75 pour la composante océanique – se sont déroulées conformément aux échéances prévues.

Les TN81 seront remplacées par les têtes nucléaires aéroportées (TNA), qui équiperont les missiles ASMPA à partir de 2009. La TNA sera la première tête nucléaire au monde dont la sécurité et la fiabilité de fonctionnement auront été démontrées sans essai nucléaire, à l'aide du programme Simulation. L'homologation de la TNA a été prononcée en 2008.

Les TN75 seront remplacées par les têtes nucléaires océaniques (TNO) qui équiperont les missiles stratégiques M51 à partir de 2015. L'année 2008 a été marquée par le succès du troisième vol expérimental du missile M51, lancé depuis un pas de tir immergé du centre d'essais de lancement des missiles de Biscarosse de la DGA. Il emportait un objet dont la définition préfigure la TNO.

La propulsion nucléaire

Responsable des chaufferies nucléaires des bâtiments de la Marine nationale, le CEA a assuré tout au long de l'année sa mission de soutien à la flotte en service. Elle était composée en 2008 du porte-avions *Charles-de-Gaulle*, de six sous-marins nucléai-



> Sous-marin nucléaire lanceur d'engins nouvelle génération *Le Triomphant*.

res d'attaque (SNA) et de trois sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération (SNLE NG). Le cœur du quatrième SNLE NG, dont l'admission au service actif est prévue en 2010, a été livré à Cherbourg au printemps. Il a divergé courant septembre. Cette livraison est l'aboutissement de quatre années de fabrication, en parallèle de celles des cœurs livrés à l'automne 2007 à Toulon pour le porte-avions *Charles-de-Gaulle*.

Les opérations d'entretien des chaufferies nucléaires se déroulent sous le pilotage d'une maîtrise d'ouvrage intégrée Marine-CEA, nouvellement mise en place. Le grand carénage (ou lper, indisponibilité périodique pour entretien et réparation) du porte-avions *Charles-de-Gaulle*, démarré en septembre 2007, s'est



> Supercalculateur Bull du Centre de calcul recherche et technologie.

achevé quinze mois plus tard, dans le respect du planning. Les deux chaufferies remises à neuf ont de nouveau divergé.

La réalisation du programme de sous-marins nucléaires d'attaque Barracuda, décidée en décembre 2006, se poursuit. Rappelons que la première tôle du *Suffren*, 1^{er} sous marin de ce type, a été découpée fin 2007.

La réalisation des nouvelles installations d'essai à terre continue à Cadarache. Le programme RES (réacteur d'essai) comprend deux modules : une piscine d'entreposage et d'examen des combustibles, mise en service en 2005, et un réacteur équipé d'une instrumentation poussée. L'année 2008 a vu la poursuite

du chantier du réacteur, avec notamment les opérations de montage (installations électriques, tuyauteries, ventilation...), les travaux de second œuvre et de voirie et de réseaux de distribution.

Le programme Simulation

Les têtes nucléaires, qui vont prendre la relève des armes en service lorsqu'elles arriveront en fin de vie, doivent être garanties sans nouveaux essais nucléaires. Le programme Simulation, lancé en 1996 pour répondre à cet objectif, a été élaboré autour de trois volets :

- le concept des charges robustes, fondé sur un fonctionnement peu sensible aux variations technologiques et testé lors de l'ultime campagne d'essais en 1995-1996 ;
- la validation des écarts dus à la « militarisation » de la charge nucléaire ou susceptibles d'apparaître au cours de la vie opérationnelle de l'arme ;
- la certification de nouvelles équipes chargées de garantir le bon fonctionnement des armes.

L'outil essentiel du programme Simulation est une chaîne de logiciels qui permet de reproduire, par le calcul, les différentes phases de fonctionnement d'une arme nucléaire. Sa réalisation nécessite la mise au point de modèles physiques détaillés et le déploiement de puissants moyens de calculs.

Le supercalculateur Tera 10, mis en service en 2006, est actuellement une des machines les plus performantes d'Europe, avec une puissance crête de plus de 50 téraflops. Le CEA a signé avec Bull, en juillet, un accord de collaboration pour concevoir et réaliser Tera 100 (1 000 téraflops). Ce contrat comporte deux phases.

>

Focus sur...



CINQUANTE ANS

La Direction des applications militaires (DAM) a fêté son cinquantième anniversaire en octobre 2008, à Paris, sous le haut patronage du président de la République. L'occasion pour le chef d'état-major des armées, Jean-Louis Georgelin, de rappeler : « L'histoire de la DAM se confond bien évidemment avec celle de la dissuasion (...). Nous avons su relever un défi qui a permis à la France, non seulement de réaliser son ambition de grande puissance scientifique, mais surtout de retrouver la maîtrise de son destin. En 2008, c'est le défi de la simulation qui prolonge cet engagement ; il fait de la DAM l'un des premiers centres de recherche au monde. »

La première est destinée à valider les nouvelles technologies nécessaires au fonctionnement d'un ordinateur pétaflopique (1 pétaflop = 1 000 téraflops). La seconde permettra l'acquisition et la mise en œuvre du supercalculateur.

La garantie de fonctionnement et de sûreté des armes impose une validation des simulations, obtenue en utilisant les résultats des essais nucléaires passés et les moyens expérimentaux que sont Airix, le laser Mégajoule (LMJ) et son prototype, la Ligne d'intégration laser (LIL).

La machine de radiographie Airix, installée au Polygone d'expérimentation de Moronvilliers (PEM) en Champagne, permet de valider les modèles relatifs au début du fonctionnement de l'arme, dans sa phase non nucléaire. L'année a été notamment marquée par une amélioration des techniques d'acquisition radiographique, permettant d'optimiser le fonctionnement de l'accélérateur et de l'adapter encore mieux aux expériences prévues.

Le LMJ, indispensable pour simuler le fonctionnement nucléaire de l'arme, est en cours de construction au Cesta, près de Bordeaux. La réception du bâtiment LMJ a été prononcée en fin d'année, au terme de cinq années de travaux. Les opérations de montage des infrastructures de la section amplificatrice hors amplificateurs se poursuivent. Le hall n° 1 sera équipé mi-2009.

Les campagnes d'expériences de physique des plasmas continuent sur la LIL. Une importante opération de maintenance du système de conversion de fréquence et de focalisation s'est déroulée en début d'année. Effectuée pour la première fois, elle a conduit à installer de nouveaux réseaux de diffraction, améliorant la maîtrise de l'énergie et les profils temporel et spatial de l'impulsion incidente sur la cible. Cette opération a permis d'atteindre les objectifs visés



> Maintenance et réglage sur l'installation Airix.

par onze tirs d'expériences plasma réalisés en mars et avril 2008. Les premières campagnes d'équation d'état se sont déroulées fin 2008. Dix tirs de puissance sur cible ont été réalisés en attaque directe et indirecte, avec un nouvel ensemble de diagnostics.

L'ouverture des moyens du programme Simulation

Éléments clés du programme Simulation, les supercalculateurs, le LMJ et son prototype la LIL, sont des réalisations exceptionnelles tant par leurs caractéristiques techniques que par leurs performances. Celles-ci sont mises à la disposition de la communauté

scientifique européenne, conformément à la politique d'ouverture approuvée en 2002 par le ministère de la Défense.

La Route des lasers, qui se développe autour de la LIL et du LMJ, fait désormais partie des 39 pôles de compétitivité qui ont atteint les objectifs de la politique nationale dans ce domaine.

Le bâtiment de l'Institut lasers et plasmas (ILP) a été inauguré au Barp, le 16 janvier 2009. Créé en 2003, l'ILP a pour vocation de stimuler, animer et coordonner les recherches dans le domaine des lasers de puissance et des plasmas. Sa principale mission est d'organiser l'ouverture des grandes installations laser du CEA à l'ensemble de la communauté scientifique.

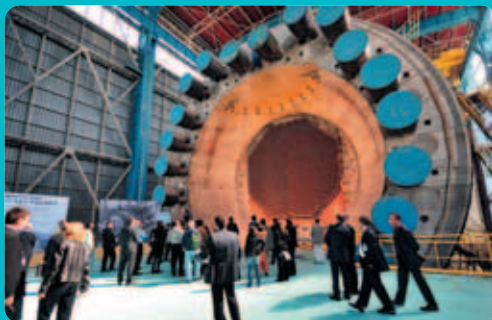
Le bâtiment Sol-gel construit sur la zone de soutien technique et industriel à proximité du LMJ, Laseris 1, a été réceptionné par le CEA mi-mai 2008. Il permettra les traitements réfléchissants et antireflets ainsi que le conditionnement laser (durcissement au flux laser) des composants optiques de grande dimension du LMJ.

Le CEA est fortement impliqué dans le projet Petal. Ce grand instrument destiné à la recherche académique est un laser de très haute puissance à impulsion ultra-courtes ; il sera couplé à la LIL. La première phase relative à la validation des choix technologiques de ce projet s'est achevée en 2008.

Mis en service en 2003, le Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) constitue, avec le supercalculateur Tera 10, le complexe de calcul scientifique du CEA. Implanté sur le centre DAM Île-de-France, à Bruyères-le-Châtel, il est aujourd'hui l'un des premiers centres de calcul européens. Il a vocation à satisfaire les besoins de ses nombreux partenaires (CEA, EDF, Snecma...) en matière de grandes simulations numériques.

>

Focus sur...



VISITE DU 16 SEPTEMBRE 2008

La France a organisé le 16 septembre une visite de ses anciennes installations de production de matières fissiles pour les armes nucléaires de Pierrelatte et Marcoule. Des représentants de plus d'une quarantaine de pays membres de la Conférence du désarmement étaient invités. Cette visite concrétise un engagement pris par le président de la République dans son discours prononcé à Cherbourg le 21 mars 2008 sur la politique de défense, la dissuasion nucléaire et le désarmement. Au cours de cette visite organisée par le CEA et Areva, les participants ont ainsi pu constater le caractère concret et effectif de la décision prise par la France en 1996 de cesser toute production de matières fissiles pour ses armes nucléaires et de démanteler ses installations de Pierrelatte et Marcoule dédiées à cette production.

La communauté de la recherche française bénéficie, via la société Genci (société civile ayant pour mission de promouvoir le calcul intensif et de développer les principaux équipements nationaux), d'environ 20 % des ressources de calcul du CCRT. Ainsi, plus de 80 projets vont se répartir 4 250 000 heures sur le calculateur scalaire Bull et 107 000 heures sur le calcul vectoriel Nec.

Le permis de construire du Très grand centre de calcul (TGCC) a été délivré au CEA fin 2008. Cela constitue un jalon important pour la réalisation, sur le site de Bruyères-le-Châtel, d'une infrastructure qui permettra d'accueillir les nouvelles générations de supercalculateurs à partir de 2010.

L'association Ter@tec, créée pour promouvoir la simulation numérique et développer, autour de l'expertise acquise par le CEA, un écosystème dans le domaine des technologies pour le calcul intensif, regroupe en 2008 près de 60 membres. L'édition 2008 des Journées Ter@tec a été marquée par la participation de Valérie Pécresse, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et du commissaire européen en charge de la science et de la recherche, Janez Potocnik. Ces journées ont rassemblé 400 participants et ont permis de faire le point sur les évolutions très rapides des technologies de la simulation et du calcul haute performance.

Assainissement des installations de la vallée du Rhône

Lancé en 1995, le programme de démantèlement et d'assainissement des installations de production de plutonium et d'uranium enrichi s'est poursuivi en 2008.

Les opérations de mise à l'arrêt définitif de l'usine de retraitement UP1 de Marcoule ont continué. La démolition des bâtiments de commande des anciens réacteurs plutonigènes G2 et G3 à Marcoule a démarré en 2008 ; le futur démantèlement des blocs réacteurs constituera l'étape finale de ce programme.

Le programme Ardemu (arrêt et démantèlement des usines de Pierrelatte) a fait suite à l'arrêt définitif, en 1996, de la production d'uranium fortement enrichi pour les besoins de la Défense. Il concerne le démantèlement des quatre unités constituant l'usine d'enrichissement par diffusion gazeuse, dite « usine militaire », comprenant 4 192 diffuseurs et 9 millions de barrières de diffusion gazeuse. Un atelier spécifique, le « bâtiment diffuseurs », a été construit pour traiter les diffuseurs et leurs barrières. Après l'achèvement de la phase de dépose et de traitement de ces dif-



> Opération de démantèlement, broyage d'un diffuseur.

fuseurs fin 2006, le démantèlement de tous les appareils annexes s'est poursuivi en 2008. Les opérations avancent au rythme prévu, ce qui permet de confirmer que le programme sera achevé fin 2010.

Conformément à la loi du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs, le CEA a fourni en 2008, aux ministres de tutelle, un dossier présentant les solutions d'entreposage des déchets tritiés, avant leur évacuation vers les filières de l'Andra. Le CEA a ainsi franchi le premier jalon prévu par cette loi.

Lutte contre la prolifération et le terrorisme, intervention nucléaire

En raison de ses capacités uniques dans le domaine nucléaire civil et militaire, le CEA assure depuis de nombreuses années une mission d'appui technique auprès des autorités nationales pour les questions de dissuasion, de désarmement et de lutte contre la prolifération nucléaire.

À ce titre, il est directement impliqué dans la surveillance du respect des grands traités (Traité de non-prolifération nucléaire, Traité d'interdiction complète des essais nucléaires).

En 2008, les actions techniques en soutien à l'Otice (Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires) se sont poursuivies avec la certification des stations sismiques auxiliai-



> Analyse d'échantillons par spectroscopie, dans le domaine de la lutte contre le terrorisme.

res de Bolivie et de Madagascar. Les cinq stations sismiques implantées par le CEA sont désormais certifiées.

Un processus international d'évaluation des capacités du futur système de vérification du Tice a été lancé, à Vienne. Le CEA assure la coordination de deux études : l'évaluation des performances du système et l'évaluation de la technologie infrasons.

L'expertise de la DAM a été largement mise à contribution par les autorités pour traiter les nombreux dossiers d'actualité dans le domaine de la non-prolifération. Les études visant à améliorer les moyens d'analyse de la prolifération nucléaire se sont poursuivies, et les collaborations avec l'AIEA se sont renforcées.

Les capacités des équipes d'intervention du CEA en cas de menace terroriste à caractère radiologique ont été démontrées à l'occasion d'exercices tels que Var 2008 qui a réuni 800 intervenants de la sécurité civile de huit pays européens à Canjuers en novembre, ou lors de l'exercice Saint-Fargeau qui s'est déroulé dans les transports parisiens, également en novembre, en présence de Michèle Alliot-Marie, ministre de l'Intérieur.

Des avancées significatives dans le cadre du programme interministériel de R&D confié au CEA dans le domaine de la lutte contre le terrorisme NRBC/E permettent aujourd'hui d'envisager plusieurs transferts technologiques vers l'industrie (balise de détection et identification radiologique...).

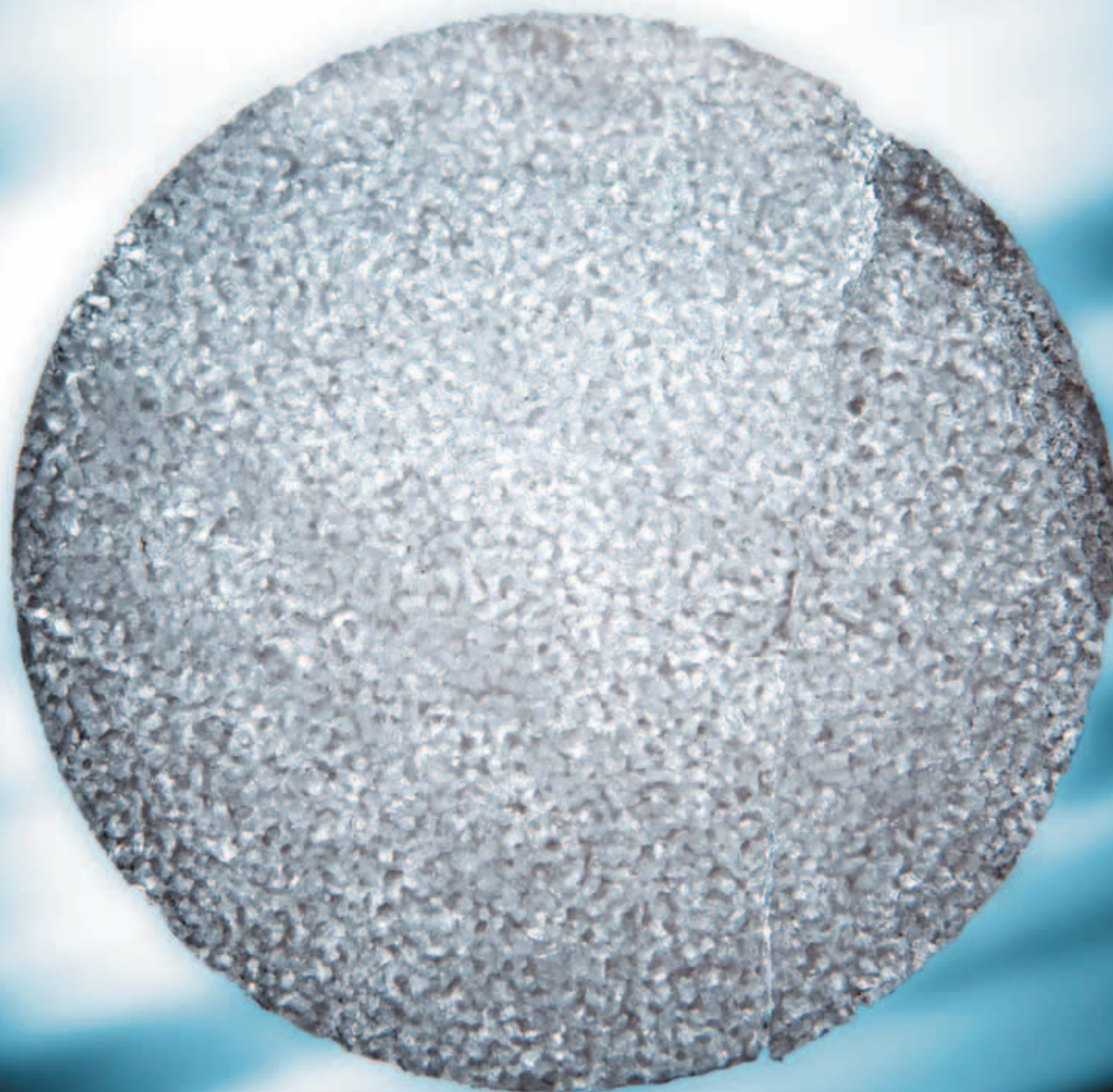
ÉNERGIES

Innover : fission / fusion / nouvelles technologies de l'énergie

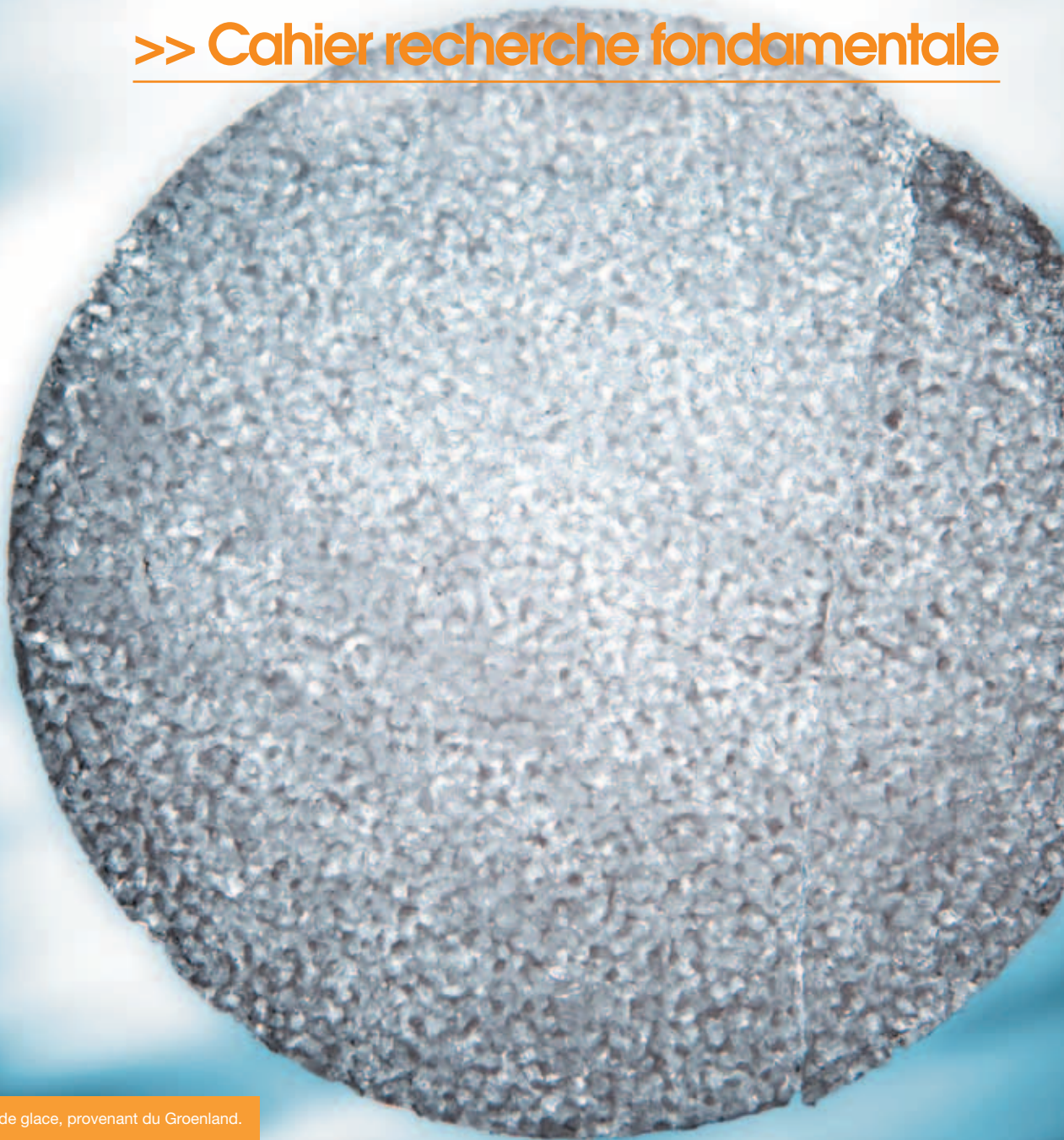
— En appui des industriels, le CEA cherche à optimiser le parc actuel des réacteurs nucléaires, à développer les générations futures et à mettre au point des solutions techniques pour la gestion des déchets radioactifs. Il participe aussi aux programmes de recherche sur la fusion thermonucléaire. Ses recherches soutiennent également l'essor des nouvelles technologies de l'énergie : le photovoltaïque, la biomasse, l'hydrogène...



> Descente de barres de combustible dans le réacteur Masurca.



>> Cahier recherche fondamentale



> Coupe d'une carotte de glace, provenant du Groenland.

Matière et énergie dans l'Univers



> Tunnel du LHC, en Suisse.

— **Les astrophysiciens, physiciens nucléaires et physiciens des particules du CEA**, souvent en liaison avec les instituts du CNRS, contribuent à la conception et à la réalisation des grands instruments qu'ils utilisent ensuite pour contribuer à élargir la compréhension des états, des propriétés et de l'organisation de la matière et de l'énergie dans l'Univers : origine de la masse, forme et organisation de l'Univers, propriétés des composants élémentaires de la matière, etc.

LHC & physique des particules

Le 10 septembre 2008, à 10 h 28, le premier faisceau a parcouru à une vitesse très proche de celle de la lumière les 27 km de l'anneau LHC au Cern à Genève, la plus grande machine scientifique jamais construite par l'homme. Depuis plus de 20 ans, les équipes de l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (CEA Irfu) ont contribué à la conception, au développement et à la construction du LHC et d'Atlas, CMS et Alice, trois des quatre grandes expériences associées. L'Institut nanosciences et cryogénie (CEA Inac) a contribué à la définition du système cryogénique géant de l'accélérateur. Le CEA participe



> Le LHC contribue à la performance de la recherche fondamentale en physique des particules.

aux programmes scientifiques qui tenteront de répondre aux questions actuelles de la physique : le CEA est en particulier engagé dans les expériences du Cern, conçues pour identifier le boson de Higgs et explorer la physique au-delà du modèle standard.

Le CEA associé aux meilleures expériences mondiales

Des chercheurs du CEA sont également associés cette année aux résultats des grandes expériences internationales de physique des particules.

- > De nouvelles analyses des données du Tevatron (au Fermilab à Chicago), auxquelles ont participé des chercheurs de l'Irfu, ont contribué à resserrer l'intervalle des masses possibles pour le boson de Higgs.
- > L'analyse des données accumulées depuis 10 ans par l'expérience BaBar (auprès de l'accélérateur PEP-II au Slac en Californie) a permis de montrer que l'Univers n'a pas de direction privilégiée, se rapprochant conceptuellement de la fameuse expérience de Michelson et Morley qui a démontré l'invariance de la vitesse de la lumière. (*Physical Review Letters*). En 2008, l'expérience BaBar a aussi mis en évidence une nouvelle particule, baptisée η b, recherchée depuis plus de 30 ans dans le cadre du modèle standard.
- > Lors de l'interprétation des données de l'expérience H1 auprès du collisionneur Hera à Hambourg, deux physiciens de l'Irfu et du CPPM (CNRS, Marseille) ont révélé la façon dont les gluons sont organisés à l'intérieur du proton. Cette étude influencera directement la façon dont on interprétera les résultats du LHC (*Physics Letters*).

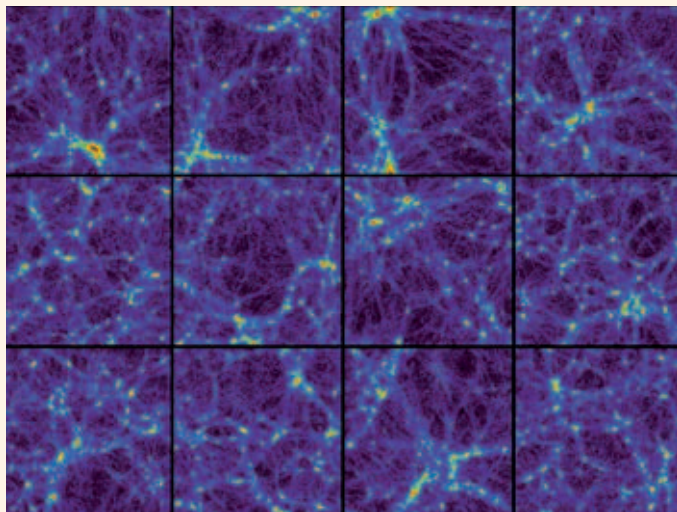
Physique nucléaire

Plusieurs résultats ont été rapportés en 2008 par les équipes du Ganil et de l'Irfu dans *Physical Review Letters*. Ils sont basés sur des expériences menées soit au Ganil, soit dans d'autres installations similaires dans le monde.

- > Deux expériences réalisées au Ganil ont permis de mettre en évidence des modes d'interaction singuliers entre les nucléons du noyau atomique, leur conférant des formes caractéristiques.
- > Deux autres expériences, de collision d'une part et de fusion d'ions lourds d'autre part, ont permis de mieux comprendre le mécanisme de compression de certaines étoiles avant leur explosion et donnent l'espoir de pouvoir un jour synthétiser des noyaux quasiment stables plus lourds que l'uranium.
- > La collaboration Spaladin au GSI à Darmstadt (Allemagne) étudie les modes de désexcitation d'un noyau de fer lors d'une spallation. Les physiciens de l'Irfu ont mis en évidence cinq modes de désexcitation possibles, caractérisés par le nombre de fragments et de particules légères émis.



> Salle d'expériences dans l'installation Ganil.



> Simulation numérique, étudiant la Galaxie et l'évolution de la formation de l'Univers, du projet Horizon.



> Ligne d'Antares prête au déploiement.

Astrophysique & astroparticules

Voir la Voie lactée grâce au télescope spatial gamma Fermi/GLAST

Lancée le 12 juin 2008 depuis cap Canaveral en Floride, la mission spatiale internationale Fermi/GLAST (Gamma-Ray Large Area Space Telescope) a fourni ses premières images quelques semaines plus tard. Cinq équipes françaises de l'IN2P3, de l'Insu (CNRS) et de l'Irfu (CEA) participent au programme scientifique de Fermi/GLAST, qui doit lever le voile sur les nombreux mystères qui entourent les sources connues de rayons gamma et les phénomènes puissants aux abords des trous noirs supermassifs au cœur des galaxies actives, voire découvrir de nouvelles classes de sources de rayons gamma.

Une source d'antimatière identifiée dans la Galaxie

En cumulant l'ensemble des données recueillies depuis cinq ans par le satellite Integral, une équipe européenne incluant des chercheurs de l'Irfu a mis en évidence une émission de photons gamma à une énergie très précise, signature de la présence d'antimatière, dont la morphologie est très proche de la répartition dans le ciel d'un certain type de sources X binaires. Longtemps suspectée de constituer une fabrique efficace de positons, cette classe d'objets expliquerait l'origine de l'antimatière dans les régions internes du disque de la Galaxie (*Nature*).

Expliquer la matière noire

Une équipe associant l'IPhT et l'Université de Pise a proposé une théorie « minimale » qui décrit des particules de matière noire. Leur modèle prédit notamment la quantité d'antiélectrons – issus de l'annihilation de particules de matière noire – présente dans les rayons cosmiques. Cette prédiction a été vérifiée par le satellite Pamela dont les résultats concordent parfaitement avec le modèle.

Antares en Méditerranée

Dans la nuit du 30 mai 2008, les deux dernières lignes de l'expérience Antares ont été mises sous tension, marquant ainsi la fin de la construction du plus grand télescope sous-marin à neutrinos. Immergées à 2 500 m au fond de la Méditerranée, douze lignes de détection permettent de traquer les neutrinos cosmiques, témoins des phénomènes les plus violents de l'Univers. Antares est le fruit d'une collaboration européenne (près de 150 personnes dans sept pays) à laquelle participe l'Irfu.

Cryogénie spatiale

Pour répondre aux besoins des futurs détecteurs embarqués sur deux satellites du projet ESA Cosmic Vision (2015-2025) : Xeus et Spica, l'Inac a développé en 2008 deux prototypes de réfrigérateurs cryogéniques innovants.

Matières et lumières du futur

— **Pour préparer les nouveaux matériaux des technologies futures**, il est essentiel de comprendre le comportement de la matière, surtout lorsqu'elle est soumise à des conditions extrêmes. D'où l'importance des recherches en vue d'utiliser des rayonnements pour sonder la matière à différentes échelles et dans le développement de nouvelles sources, en particulier avec des lasers à impulsions ultra-courtes (femtoseconde).

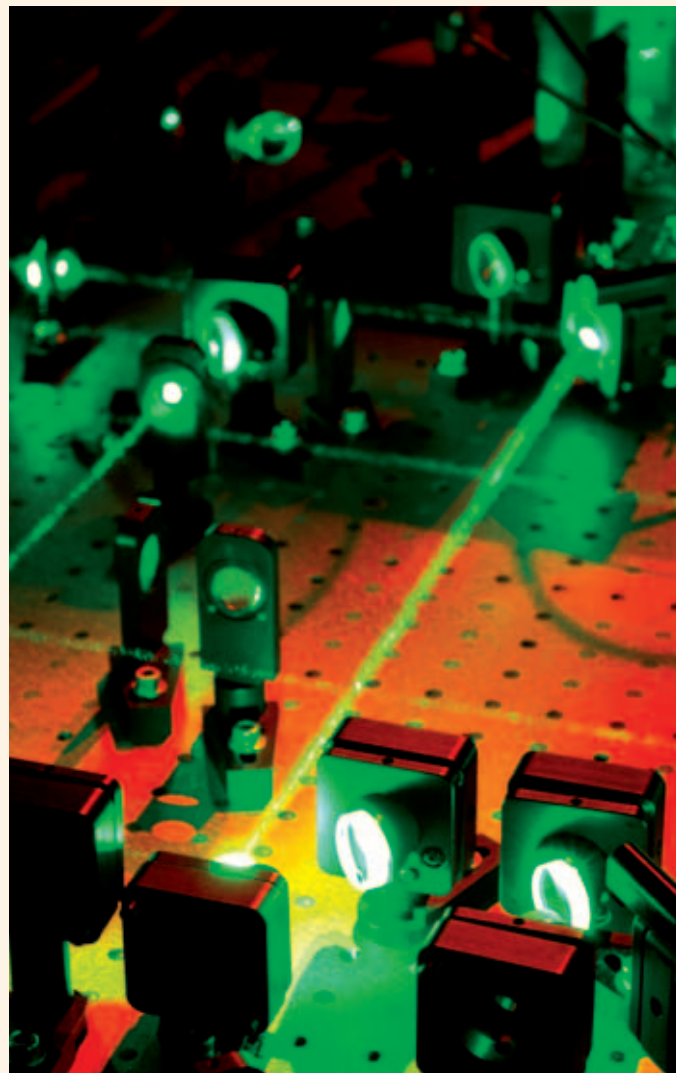
Lasers

Dans le domaine des lasers, les équipes de l'Iramis ont publié plusieurs résultats significatifs dans *Nature Physics* en 2008 :

- > L'utilisation d'un laser à électrons libres pour amplifier plus de 1 000 fois des impulsions laser femtosecondes dans le domaine des rayons X, tout en préservant leurs qualités spectrales et temporelles, en collaboration avec les synchrotrons Soleil (Saclay) et Riken (Japon).
- > La possibilité de façonner et de contrôler des impulsions laser ultra-courtes en vue de « photographier » des nuages électroniques, aussi bien dans un solide que lors d'une réaction chimique ou en électronique moléculaire, avec le CNRS, de l'université Paris 6 et de l'Imperial College de Londres.
- > La mise en œuvre d'un plasma créé par laser qui doit permettre de générer des impulsions beaucoup plus intenses et courtes (à l'échelle de l'attoseconde : 10^{-18} s) qu'avec les sources d'harmoniques dans les gaz ionisés, avec la faculté des sciences et des technologies de l'université de Twente (Pays-Bas) et le Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses (CNRS, École polytechnique).

Chimie

Radiolyse en conditions extrêmes : une cellule de radiolyse en milieu aqueux à haute température (300 °C) et haute pression (10 MPa) a été développée par une équipe du département de physico-chimie et du LSI (Iramis/École polytechnique/CNRS). Cette cellule permet de faire un suivi électrochimique en température sous flux irradiant pour mettre en évidence la radiolyse et ses effets sur l'altération d'une électrode.



> Gros plan sur une chaîne d'amplification laser.

Ces données seront très utiles au développement des modèles électrochimiques du comportement des alliages sous radiolyse à des températures et pressions élevées.

Expertise mondiale sur le climat et l'environnement

— La forte évolution des recherches sur le climat au niveau mondial a fait apparaître une nouvelle demande pour le développement de services climatiques, comme, par exemple, la mise à disposition de données validées pour la recherche et les entreprises. Le CEA a pris l'initiative de jouer un rôle important dans ces services, qui nécessitent entre autres l'industrialisation de technologies innovantes pour la surveillance de l'environnement.

Climat du passé

L'étude des climats du passé permet de comprendre les mécanismes et quantifier la variabilité climatique. Ces données sont absolument indispensables à l'élaboration des modèles numériques pour simuler le climat futur.

- > Les analyses de la glace du forage EPICA en Antarctique central ont permis de reconstituer l'évolution du dioxyde de carbone, du méthane atmosphérique et de la température de l'atmosphère au cours des 800 000 dernières années.
- > Des analyses à très haute résolution de carottes de glace du Groenland ont révélé des bascules climatiques très brutales (de l'ordre de 10 °C en quelques dizaines d'années) lors de la dernière déglaciation. Elles ont été précédées par des changements d'une année à l'autre de la circulation atmosphérique et de l'origine des précipitations du Groenland, identifiées dans l'excès en deutérium.
- > Les études paléoenvironnementales du Sahara, publiées dans *Science*, ont montré que son aridification a été progressive entre 5 600 et 2 700 ans avant aujourd'hui, en relation avec un affaiblissement de la mousson atlantique.
- > Une équipe multidisciplinaire franco-américaine a montré, grâce à la simulation, que l'extinction des néandertaliens ne peut s'expliquer par la détérioration climatique survenue à l'époque.

Observatoires du climat et de l'environnement

Ces recherches fondamentales permettent d'observer les tendances de l'évolution du climat et d'appréhender son impact sur les sociétés humaines.

- > Une équipe du LSCE a développé le premier dispositif capable de collecter et d'analyser en temps réel la quasi-totalité des poussières fines



> Observatoire de mesures du CO₂ à Igivitut, au Groenland.

(submicroniques) afin d'avoir une vision instantanée de leur contribution à la pollution atmosphérique. Ce développement a reçu le prix des « Techniques innovantes pour l'environnement » décerné par l'Ademe en 2008.

- > *Nature* indique que les bilans carbone de la planète doivent prendre en compte les forêts anciennes qui accumulent de grandes quantités de carbone au fil des siècles. Or, leur rôle n'avait pas été inclus dans le protocole de Kyoto.

Modélisation du système Terre

Le LSCE développe des modèles numériques globaux du climat, notamment grâce aux moyens de calcul intensif du CEA.

- > Des travaux publiés dans *Nature* auxquels ont participé les climatologues du LSCE mettent en évidence les interactions fortes (puits et sources de carbone) entre changement climatique et cycle du carbone. Pris en compte par le Giec, ils conduisent à renforcer les exigences de réductions des émissions de gaz à effet de serre.
- > Rapportée dans *Earth and Planetary Science Letters*, une simulation de l'évolution des calottes polaires septentrionales depuis 126 000 ans jusqu'à aujourd'hui a permis de quantifier le rôle du gaz carbonique et de l'insolation lors de la dernière déglaciation.
- > Aux plus grandes échelles de temps, la simulation numérique d'un « super effet de serre » qui a suivi une glaciation intense dite « boule de neige » il y a environ 700 millions d'années a montré que le retour à des conditions « normales » a nécessité plusieurs millions d'années, et non pas en quelques milliers d'années comme cela était supposé jusqu'alors (*Earth and Planetary Science Letters*).

Sciences du vivant

Radiobiologie

La recherche en radiobiologie a pour objectif de progresser dans la compréhension des effets des rayonnements ionisants sur le vivant, à ses différents niveaux d'organisation. Les résultats des recherches des équipes du CEA contribuent à l'évaluation à court et à long termes des risques liés aux activités nucléaires et, par là même, participent à l'élaboration de la réglementation nucléaire internationale,

notamment en radioprotection. Afin de disposer de méthodes de comparaison adaptées en fonction des doses de rayonnement reçues, les laboratoires du CEA adoptent différentes approches, comme la génomique fonctionnelle, la génomique structurale, la protéomique, l'analyse haut débit...

2008 a été marquée par l'aboutissement du projet de recherche européen en biologie cellulaire et moléculaire sur les effets des faibles doses

>> Suite



> Plateau technique d'irradiation permettant d'étudier les effets des rayonnements ionisants sur le vivant, y compris aux faibles doses.

LES TRAITEMENTS HORMONAUX FAVORISERAIENT-ILS LE CANCER DU SEIN ?

Des chercheurs du CNRS et du CEA (IRCM), en collaboration avec une équipe de l'hôpital Saint-Louis, viennent de lever un voile sur l'origine de 50 % des cancers du sein sporadiques. Le gène BRCA1 exprime une protéine qui joue un rôle majeur dans le processus de réparation de l'ADN. Sa mutation est impliquée dans de nombreux cancers du sein héréditaires. Cependant, 85 à 90 % des cas de cancer du sein sont dus à une forme sporadique, non héréditaire, mal connue. Les chercheurs viennent de montrer que l'activation d'une autre protéine, AKT1, surexprimée dans 50 % des cancers du sein sporadiques, peut empêcher BRCA1 de pénétrer dans le noyau et de remplir son rôle dans la réparation de l'ADN. Tout se passe comme si la cellule n'avait pas ce gène sans que celui-ci ne comporte réellement de mutation.

Ces résultats révèlent donc qu'il existe un même lien, jusqu'alors insoupçonné, entre les cancers sporadiques et les cancers héréditaires : le système de réponse aux dommages de l'ADN. Sachant qu'AKT1 est activée par les hormones, ces résultats suggèrent également qu'un traitement hormonal (comme par exemple un traitement d'oestrogènes) pourrait entraîner une dérégulation du gène BRCA1 et, par voie de conséquence, favoriser le développement de cancers du sein.

>> Suite

et faibles débits de dose d'irradiation RISC-RAD (Radiosensitivity of Individuals and Susceptibility to Cancer Induced by Ionizing Radiations). Mené de 2004 à 2008 dans le cadre du volet Euratom du 6^e Programme cadre de recherche et développement de la Commission européenne, ce programme coordonné par le CEA (iRCM) a rassemblé 36 laboratoires de 11 pays européens. Trente millions d'euros ont été investis dans ces recherches, dont 10 millions par la Communauté européenne. Environ 90 chercheurs, 28 postdoctorants et 53 doctorants ont participé au projet. Le fruit de leur recherche a permis la publication de 163 articles dans des revues scientifiques. L'ensemble des résultats est disponible sur www.riscrad.org

Une réflexion a également été menée au niveau européen pour définir les priorités de la recherche dans ce domaine pour les 20 ans à venir. Le HLEG (High Level Group on European Low Dose Risk Research), au sein duquel la Direction des sciences du vivant du CEA est présente, a proposé dans son rapport final la création d'une structure de gouvernance transnationale de la recherche dans le domaine des faibles doses. La mise en place de cette structure, baptisée MELODI pour Multidisciplinary European Low Dose Initiative, sera l'un des enjeux de l'année 2009.

Toxicologie nucléaire

Le programme ToxNuc

Les recherches en toxicologie nucléaire ont pour finalité de comprendre les effets toxiques des éléments utilisés dans la recherche et l'industrie nucléaire (radionucléides, métaux lourds) ainsi que leur mode d'action sur l'homme et l'environnement. Le CEA a fait la preuve de ses compétences dans ce domaine au travers de deux programmes menés en interne et en partenariat avec d'autres établissements de recherche : les programmes ToxNuc et ToxNuc-E menés de 2004 à 2007.

En 2008, un nouveau programme de toxicologie a été défini avec pour objectifs d'évaluer les risques potentiellement associés au développement technologique et aux procédés innovants et de répondre aux nouvelles exigences d'évaluation de la toxicité sur l'homme et l'environnement. Ce programme sera mené dans le cadre des missions du CEA d'appui au secteur nucléaire et au développement des nouvelles technologies de l'information et de la santé, et notamment des nanomatériaux et nanopoudres.



> Salle de culture in vitro, pour les études toxicologiques.



Focus sur...



ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX NANOPARTICULES

En novembre 2008, l'Ineris et le CEA ont signé un accord de collaboration principalement axé sur la connaissance, la prévention et la maîtrise des risques associés aux nanoparticules et aux nanopoudres. Ces matériaux offrent des perspectives d'innovation prometteuses dans les domaines des nouvelles technologies de l'énergie, de la santé et de la protection de l'environnement. L'objectif des deux organismes est de lever les inconnues concernant les éventuels effets nocifs en évaluant leur toxicité tout au long de leur cycle de vie.

Energie de fission

Systèmes nucléaires du futur de 4^e génération

Réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium (RNR-Na)

L'objectif de préparer le déploiement industriel d'un type de réacteur rapide dans le parc français à l'horizon 2040 conduit à privilégier les recherches d'innovations sur le RNR-Na dans l'intention de sélectionner les plus prometteuses en 2012 pour en faire la démonstration à partir de 2020 dans le prototype français ASTRID (Advanced Sodium Test Reactor for Industrial Development).

Afin d'optimiser leur action, le CEA et ses partenaires Areva et EDF ont défini en 2007 un programme de R&D en commun sur le RNR-Na, avec un document-programme tripartite décrivant le programme concerté de R&D RNR-Na jusqu'à 2012, et renforcé leur organisation pour partager leurs efforts et leurs résultats.

La conception d'un cœur de référence à combustible oxyde

À noter en 2008, un cœur de 3 600 MWth (~ 1 500 MWe) a été défini, basé sur un combustible oxyde présentant, par rapport à EFR (concept étudié au niveau européen dans les années 1990), des améliorations sensibles sur le plan de la sûreté (réduction de l'effet de vidange) et de la régénération du combustible (cœur iso-générateur).

Des fluides alternatifs au sodium secondaire

La substitution du sodium par un caloporteur alternatif comme fluide de couplage constitue l'une des approches étudiées pour la suppression, ou la diminution significative, du risque sodium/eau. Une revue exhaustive des candidats potentiels a été faite en 2008 dans le domaine des métaux liquides et des sels fondus.

Le sodium ressort sans ambiguïté comme le meilleur fluide malgré sa réactivité avec l'eau. L'alliage plomb-bismuth (Pb-Bi) est le fluide qui obtient la meilleure évaluation, avec un comportement très équilibré sur l'ensemble des critères d'évaluation, sans failles mais également sans points positifs marqués. Cependant, il a été décidé d'évaluer plus avant le potentiel du Na-Ni, car il bénéficierait d'une part importante de l'expérience acquise sur le sodium.

Vision sur l'instrumentation et l'inspection en service et réparation

L'instrumentation et l'inspection en service sont des axes majeurs d'amélioration des RNR-Na du futur. En 2008, une spécification

des besoins en instrumentation, inspection continue et potentiellement réparation des réacteurs, a été faite, cette analyse s'étant traduite par un cahier des charges élaboré et accepté en tripartite CEA-EDF-Areva.

Réacteur à neutrons rapides refroidi au gaz (RNR-G)

Avec la motivation de ne pas subordonner l'accès aux neutrons rapides à une technologie unique, les recherches sur le RNR-G permettent d'évaluer plus avant les potentialités d'une filière à neutrons rapides qui allie les atouts d'un gaz inerte comme caloporteur, ceux d'un combustible au comportement robuste en cas d'accident, et la perspective d'une fourniture durable de chaleur à haute température pour des applications non électrogènes. Les recherches d'innovations conduites en 2008 concernent notamment le combustible (plaque alvéolée d'une part, crayon de géométrie plus traditionnelle d'autre part) et la technologie du circuit primaire pour optimiser les performances du RNR-G. D'ici 2012, seules des actions de R&D ciblées (principalement sur combustibles et sûreté) se poursuivront sur cette technologie innovante, pour constituer un dossier technique de présentation d'un réac-

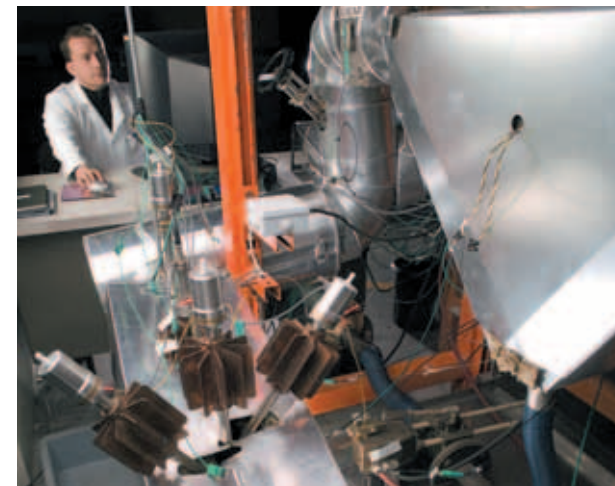
PREMIÈRE ASSEMBLÉE DE LA PLATE-FORME SNE-TP

La plate-forme SNE-TP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform), créée en septembre 2007, sous la présidence du CEA pendant deux ans, a organisé sa 1^{re} assemblée générale le 26 novembre 2008.

La SNE-TP est constituée d'une trentaine d'acteurs de la R&D nucléaire, venant de l'industrie, du monde de la recherche et de la sûreté, et du monde académique.

À l'occasion de l'assemblée générale, l'agenda stratégique de recherche de la plate-forme a été présenté.

La construction des démonstrateurs de filières des réacteurs à neutrons rapides de 4^e génération fait l'objet de l'Initiative industrielle européenne que la plate-forme prépare pour un lancement en 2009.



> Boucle expérimentale de l'alliage Pb-Bi.

teur de recherche, Allegro qui pourrait être cofinancé dans un cadre européen en vue du choix d'une filière alternative de sodium.

D'une puissance thermique de 75 MW (ses premiers cœurs utiliseront l'élément combustible connu du réacteur Phénix) et sans production d'électricité, le réacteur expérimental Allegro devra démontrer la faisabilité de la filière à échelle réduite. Ses principes de sûreté sont ceux proposés pour la filière. Il devra également permettre la mise au point et la qualification du combustible innovant et réfractaire du RNR-G, ce qui est une des clés du développement de la filière. Les neutrons du cœur seront également utilisables pour réaliser des irradiations en flux de neutrons rapides.

Évaluation technico-économique des scénarios

Dans le cadre de la loi de juin 2006, sur la gestion durable des matières et déchets radioactifs, des scénarios électronucléaires prospectifs sont évalués pour participer à l'analyse technique mais aussi à l'analyse multicritère des différentes options de transmutation. Les études effectuées en 2008 considèrent le déploiement des RNR-Na à partir de 2040, selon différents scénarios de recyclage du plutonium (seul ou avec les actinides mineurs). Une analyse économique de ces scénarios a été également conduite, pour permettre leur comparaison. En particulier, les études de sensibilité, associées à une analyse des incertitudes et utilisées en valeurs relatives, permettent d'apprécier l'impact que les choix d'options de gestion de l'aval du cycle peuvent avoir sur l'économie.

Soutien au nucléaire industriel



> Essais sismiques sur une maquette échelle 1/4 d'un bâtiment de type nucléaire.

Réacteurs

Pour les réacteurs, les enjeux consistent principalement à maintenir, voire accroître, le niveau de performances des réacteurs existants, fournir les éléments de justification de comportement des matériaux et structures irradiées relativement à l'objectif de prolongation de la durée de vie.

Tenue au séisme des installations : un essai sur une maquette de bâtiment

Concernant les études sur le comportement sous séisme de structures de génie civil, une campagne expérimentale a été réalisée sur la table vibrante Azalée de la plate-forme Tamaris du CEA, sur une structure unique en son genre : la maquette Smart représentative d'un bâtiment d'une centrale nucléaire.

En parallèle, le CEA a organisé un *benchmark* comparatif international « en aveugle ». Plus de 40 équipes se sont portées candidates et 33 d'entre elles, représentant les trois principaux domaines d'activité de la profession (nucléaire/énergie, universitaire/recherche et industriel), ont fourni les calculs prédictifs sur la réponse de la maquette mise à l'épreuve d'Azalée. L'objectif est d'évaluer et de comparer les méthodes de calcul pour l'étude de la réponse dynamique de la structure et le calcul des spectres de planchers des bâtiments.

Expérience Merci de mesure de la puissance résiduelle

La puissance résiduelle d'un combustible REP irradié est un paramètre qui intervient dans le dimensionnement des circuits et de la piscine de stockage, et qui a un impact sur l'exploitation (durée de déchargement des combustibles, évacuation), le transport et le traitement des combustibles usés. Réduire les incertitudes liées aux données de base utilisées pour ces calculs de puissance résiduelle et qualifier les codes de calcul associés est donc d'une importance majeure en sûreté, en radioprotection mais également en termes d'économies.

Trois phases expérimentales successives caractérisent l'expérience Merci : une phase d'irradiation d'un crayon neuf (UO_2 , 3,7 %) dans le réacteur d'expérimentation Osiris, une phase de transfert du crayon suite à un arrêt programmé du réacteur depuis son emplacement d'irradiation jusqu'en cellule chaude (point clé de l'expérience menée le 17 mars 2008, avec un délai de transfert réduit à 26 minutes), et enfin la mesure de la puissance évacuée



> Travaux en cellules chaudes, dans le réacteur de recherche Osiris.

par le crayon via un calorimètre (Mosaic) de grande précision installé dans une cellule chaude d'Osiris pendant 60 jours.

Combustibles

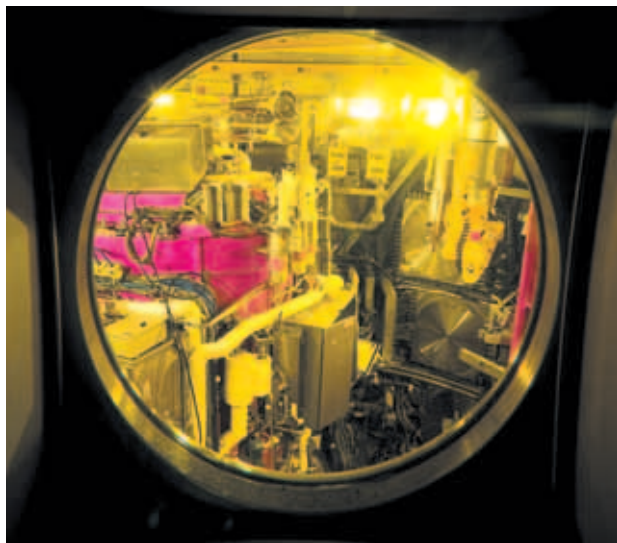
Pour l'assemblage combustible, dans le contexte d'augmentation de la compétitivité du parc électronucléaire, les enjeux sont l'amélioration de la performance, de la robustesse et de la sûreté, en conditions normales et accidentelles.

Des installations expérimentales en support

Suite au problème de pertes d'étanchéité de gaine de crayons combustible (première barrière de sûreté) survenu en 2001 sur le réacteur 1 300 MWe Cattenom 3, une vaste campagne d'expérimentations a été engagée dans l'installation Hermes sur des maquettes d'assemblages combustibles à l'échelle 1 soumises aux excitations hydrauliques induites par l'écoulement, pour caractériser le comportement au fretting⁽¹⁾ des gaines. Elle conduit au renforcement par Areva NP du maintien des crayons par une double grille en bas d'assemblage (conception AFA3GL avec double grille) et à la réduction significative du nombre d'assemblages défectueux.

(1) Le fretting est un mécanisme d'usure sous petits débattements vibratoires pouvant conduire au percement de la gaine (1^{re} barrière de confinement).

>> Energie de fission



> Vue d'un caisson expérimental dans le réacteur dédié aux études sur la sûreté, Phébus PF.

Sûreté des réacteurs

Les programmes dans le domaine de la sûreté concernent l'acquisition de connaissances, entre autres sur le comportement des réacteurs nucléaires en situations incidentelles et accidentelles. Ceux-ci répondent à la volonté d'EDF d'accroître la durée de vie des réacteurs en exploitation. Ils sont menés au CEA en soutien direct à l'exploitant EDF ou dans un cadre de collaboration avec EDF et l'IRSN. Les études et expertises associées se rapportent d'une part aux accidents de dimensionnement (RIA, RTV, APRP...), d'autre part aux accidents graves, et concernent les réacteurs à eau pressurisée de 2^e et de 3^e génération.

Concernant les accidents de dimensionnement, l'année 2008 a été marquée à Saclay par la réalisation des premiers essais mécaniques Prometra sur gaines irradiées à fort taux de combustion en conditions représentatives du RIA, dont l'objectif est de caractériser le comportement à rupture des gaines irradiées.

Concernant les accidents graves, le premier essai a été réalisé pour des projets OCDE-SETH2 (risque hydrogène, sur l'installation Mistra de Saclay) et Serena 2 (explosion de vapeur sur les installations expérimentales Krotos de Cadarache et TROI du KAERI en Corée). Cette dernière installation Krotos ayant permis pour la première fois au monde de visualiser les conditions d'entrée d'un jet de corium⁽¹⁾ à 2 700 °C dans de l'eau à tem-



> Préparation en boîte à gants d'un échantillon pour analyse.

pérature ambiante. Ces programmes ont pour objectif d'acquérir des données expérimentales pertinentes, en vue d'améliorer la modélisation des phénomènes physiques associés aux scénarios accidentels.

Traitement des combustibles usés

Grâce à un partenariat avec le CEA fort de 30 ans d'exploitation industrielle et de R&D conjoints, Areva est aujourd'hui leader dans le domaine du traitement-recyclage du combustible usé. Les enjeux consistent à la fois à garantir le fonctionnement actuel de l'usine de La Hague, tout en optimisant le procédé de façon à rationaliser les consommables, les déchets produits et en l'adaptant à la variabilité de la nature des combustibles à traiter. Il permet aussi de conserver l'avance technologique conséquente acquise dans ce domaine, en maintenant une innovation active et en anticipant les évolutions à venir des parcs de réacteurs et des combustibles associés.

Un creuset froid pour une vitrification à haute température

En raison de ses propriétés structurales particulières et de sa grande stabilité dans le temps, le verre a été retenu par la communauté internationale comme matériau de confinement des produits de fission.



> Prototype de vitrification équipé d'un creuset froid nucléarisé.

Aujourd'hui, à La Hague, après séparation des matières valorisables, la solution liquide de déchets ultimes du procédé de traitement est toute calcinée, puis les cendres sont mélangées à un adjuvant de vitrification (fritte de verre) dans un pot métallique chauffé par induction. Le tout est enfin coulé dans un conteneur métallique. Ce procédé est éprouvé, mais dans un but d'optimisation et d'adaptation aux nouveaux besoins en termes de nature et de quantité de solutions à vitrifier, de nouvelles technologies donnant une souplesse plus importante au procédé sont développées, notamment celle du creuset froid.

Dans ce cas, le chauffage se fait par induction directe dans le verre qui est conducteur électrique à l'état liquide. L'industrialisation de ce procédé à La Hague doit être effective en 2010.

La R&D de qualification du procédé de vitrification en creuset froid est actuellement réalisée à Marcoule sur une plate-forme équipée d'un creuset froid, représentative du futur procédé industriel. Elle a porté notamment sur l'étude des spécifications (relatives aux solutions de différents combustibles, UNGG UMO, UOX à fort taux de combustion...) en vue de l'obtention par l'industriel d'une approbation de l'Autorité de sûreté nucléaire pour mise en exploitation.

(1) Magma issu de la fusion du combustible, des matériaux de gainage et des matériaux de structure lors d'un accident grave.

La gestion durable des matières et déchets radioactifs

La loi du 28 juin 2006 précise les étapes de mise en œuvre des solutions pour la gestion durable des matières et déchets radioactifs et oriente la R&D confiée au CEA selon deux axes complémentaires, la séparation et la transmutation des éléments radioactifs à vie longue.

Les études relatives au traitement des combustibles usés visent à séparer les éléments transuraniens pour les isoler des déchets ultimes. Deux modes de récupération sont étudiés :

- > la séparation poussée des actinides mineurs (Am, Np, Cm) ;
- > la séparation groupée des éléments transuraniens (Pu, Am, Np, Cm) avec le concept Ganex développé dans l'optique d'un recyclage homogène des actinides en réacteur de 4^e génération.

Testé en 2008 à l'échelle du laboratoire sur solutions simulées, le premier mode permettant la récupération sélective de l'américium et du curium en un seul cycle en aval du procédé Purex ou Coex a permis d'atteindre les objectifs, notamment en terme de taux de récupération des actinides (> 99,9 %).

Réalisé dans Atalante sur une solution de dissolution de combustible irradié entre 67 et 77 GWj/tmli, en deux étapes successives (un premier cycle destiné à une extraction préalable de l'uranium, puis un second cycle permettant une récupération conjointe des transuraniens Pu, Am, Cm et Np que l'on sépare des lanthanides et autres produits de fission), l'essai Ganex a été conduit avec succès.

UN RAYONNEMENT SCIENTIFIQUE MONDIAL

Au printemps 2008, la conférence internationale Atalante 2008 organisée à Montpellier a réuni quelque 350 experts mondiaux du cycle du combustible, témoignant de l'intérêt de la communauté scientifique et industrielle pour la chimie du traitement-recyclage dans le contexte de renouveau du nucléaire. L'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (ICSM, UMR CEA-CNRS - Université Montpellier 2 - ENSCM), financé par l'Etat et par la région Languedoc-Roussillon, apportera à la France un pôle d'excellence en chimie séparative, une exigence pour le nucléaire de demain mais aussi la promesse de retombées technologiques au bénéfice de l'industrie chimique non nucléaire.

Un ensemble cohérent d'outils pour la R&D

Les programmes de R&D nucléaire pour le soutien aux systèmes existants, ainsi que pour la préparation des systèmes futurs, nécessitent des outils expérimentaux adaptés et des outils de simulation numérique performants, prenant en compte l'aspect « multiphysique » de l'environnement en réacteurs.

La simulation numérique repose sur un ensemble de plates-formes logicielles polyvalentes, développées en partenariats français et international. Les grands défis de la simulation numérique se déclinent selon ces plates-formes et leur combinaison.

- Une première famille de plates-formes correspond aux cinq grandes disciplines du nucléaire : neutronique, thermohydraulique, comportement des matériaux sous irradiation, mécanique des structures, chimie.
- La deuxième famille de plates-formes est multidisciplinaire. Intégrant des couplages entre les plates-formes de la première famille, elles sont destinées à des applications spécifiques. Enfin, la simulation s'appuie sur des outils génériques qui permettent : l'intégration des logiciels, l'utilisation du calcul intensif si nécessaire, la prise en compte des incertitudes dans les codes.

Une version multifilière de Cathare-2 livrée aux industriels

La nouvelle version du code Cathare, livrée en novembre 2008, intègre d'une part les développements nécessaires aux études de sûreté de l'EPR menées au cours des trois dernières années pour les partenaires Areva, EDF et IRSN et d'autre part des fonctionnalités dites « multifilières » qui étendent notamment le domaine d'utilisation de Cathare aux réacteurs de 4^e génération.

Concernant les développements, et à la demande des partenaires, la robustesse du code, particulièrement pour les calculs de renouveau du cœur lors d'un scénario d'APRP, a été notablement améliorée.

L'extension multifilière de Cathare est le résultat d'une démarche en cours depuis le début des années 2000. La stratégie de déploiement a conduit en effet, comme cela avait été déjà fait pour les applications aux simulateurs, à capitaliser dans une même version les fonctionnalités qui permettent de calculer le comportement normal ou accidentel d'un réacteur à caloporteur gaz ou sodium ou encore à eau supercritique.

Le réacteur Jules Horowitz (RJH)

La première réunion du conseil d'administration du consortium international gérant la construction du réacteur de recherche RJH, en avril 2008, a permis aux partenaires français et européens du CEA d'avoir un bilan détaillé de l'avancement du projet. Les éléments techniques, financiers et l'instruction de sûreté ont été entérinés par le conseil d'administration.

À ce jour, les membres du consortium RJH sont : SCK pour la Belgique, Ciemat pour l'Espagne, NRI pour la République tchèque, VTT pour la Finlande, Vattenfall pour la Suède, EDF, Areva et le CEA pour la France.

Les partenaires associés sont JAEA pour le Japon et DAE pour l'Inde.

Un parc performant de labos chauds

L'objectif de mise à disposition d'un parc d'installations répondant à la fois aux exigences de sûreté et aux évolutions des besoins des programmes de R&D (industriels, recherches propres DEN...) a généré une rationalisation des activités selon les pôles de compétence :

- études de matériaux de structure irradiés à Saclay, avec le Leci et Jannus (Jumelage d'accélérateurs pour les nanosciences, le nucléaire et la simulation). Le premier essai de double faisceau (ions lourds/hydrogène) a été réalisé le 24 septembre 2008 ;
- études sur combustibles à Cadarache avec le Leca/Star, où sont réalisées les caractérisations postirradiatoires sur combustibles irradiés, et le Lefca qui permet le développement de nouveaux combustibles notamment pour les systèmes de 4^e génération ;
- études sur l'aval du cycle à Marcoule avec les installations Atalante, G1, CD confinement déchets et le laboratoire 109 regroupant des moyens de recherche et/ou de qualification technologique relatifs à la chimie de base des actinides, au traitement du combustible irradié (dissolution, séparation), à la fabrication de cibles d'actinides et aux recherches sur la gestion des déchets de haute activité et à vie longue (vitrification) ;
- développement de méthodes ou procédés de caractérisation à Cadarache, des colis de déchets moyennement irradiés et des mesures nucléaires (interrogation neutronique active, imagerie haute énergie, spectrométrie et tomographie gamma...) sur Chicade.

Assainissement et démantèlement



> Démantèlement de l'ancienne salle de dissolution des combustibles d'UP1 à Marcoule.

Conduire la R&D dans le domaine nucléaire implique pour la Direction de l'énergie nucléaire un parc d'installations nécessairement en évolution (besoins nouveaux, procédés plus performants, regroupement de moyens, évolution de la sûreté...). Il importe donc de mener en parallèle des programmes de construction et de rénovation d'installations et des programmes de démantèlement des installations en fin de vie. Gérer ce démantèlement de façon responsable est un des objectifs majeurs du CEA et une exigence pour la renaissance du nucléaire.

Le respect des engagements

Le programme d'assainissement et de démantèlement des centres civils du CEA concerne la gestion des combustibles usés, la reprise et le conditionnement des déchets anciens (RCD) et l'assainissement-démantèlement des installations nucléaires du CEA civil, ainsi que l'usine l'UP1 de Marcoule. Parmi les faits marquants de 2008, on notera :

- l'inauguration des ateliers de désentreposage des fûts plutonifères de l'INB22 Pegase (première installation nucléaire de base construite sur le site de Cadarache et qui a abrité le réacteur expérimental Pegase) ;
- les travaux d'assainissement-démantèlement du site de Marcoule qui se sont poursuivis avec des résultats notables – rinçage de quatre anciennes piscines de MAR 400 qui accueillait, en leur temps, les combustibles UNGG, ou encore démantèlement des cuves « procédés » de dissolution dans l'ancienne usine UP1 ;

– la création du groupement d'intérêt public (GIP) Sources HA entre le CEA et Cisbio en décembre 2008. Le GIP aura pour missions les relations avec les utilisateurs de sources, les opérations de collecte et de transport, de conditionnement en colis de déchets agréés par l'Andra, le démantèlement éventuel des équipements ayant contenu les sources, l'entreposage et l'évacuation vers les sites de stockages de l'Andra ainsi que la gestion administrative et réglementaire associée à ces missions.

Installations et transports

Pour répondre à ses besoins de R&D et d'assainissement-démantèlement, le CEA est amené à renouveler ses installations de traitement de déchets et son parc d'emballages de transport, en fin de vie ou devenus en partie obsolètes en regard des nouvelles exigences de sûreté.

La gestion des effluents radioactifs

Stella-Opale à Saclay : le nouvel atelier « procédé », Stella (évacuation et cimentation), a été raccordé en actif au reste de l'installation en décembre 2008.

Stema-Ametiste à Marcoule : enclenché sur l'évolution majeure de la Station de traitement des effluents liquides de Marcoule, constituée par le remplacement du procédé d'enrobage par du bitume des boues par une cimentation (projet Stema), le projet a été élargi à l'ensemble des opérations nécessaires à la pérennisation de la fonction « traitement des effluents liquides » à Marcoule (programme Ametiste, aménagement total des installations de la Station de traitement des effluents).

La gestion des déchets solides radioactifs

Arccad à Cadarache : l'optimisation de la gestion des déchets MAVL du CEA a conduit à substituer l'édification de l'unité de traitement envisagée dans la seconde tranche de Cedra par la pérennisation des équipements dédiés au conditionnement des déchets faiblement et moyennement irradiants de l'INB 37. Cette future INB devra accueillir les déchets hautement irradiants déjà produits ou à produire, provenant de l'exploitation des installations, ainsi que ceux issus des opérations d'assainissement et de démantèlement. Les premiers documents de sûreté ont été émis en 2008 et transmis aux autorités, pour examen.

La gestion des matières nucléaires

Magenta à Cadarache : le décret d'autorisation de création de l'INB Magenta (magasin d'entreposage de matières) a été publié, dans sa version consolidée, le 28 septembre 2008. Sur le chantier, le coulage de la dernière dalle de couverture du bâtiment principal a été effectué le 10 octobre 2008. Les premiers essais démarreront avant mi-2009 pour une autorisation de mise en service prévue en 2010.

Le parc des emballages de transport de matières radioactives

Le renouvellement du parc des emballages de transport est indispensable à la fois pour la réalisation des activités de recherche sur matériaux et combustibles irradiés et pour une gestion optimisée des déchets radioactifs. En 2008, les premières poubelles radio-lisibles issues du programme de dénucléarisation de Fontenay-aux-Roses ont été transportées, puis traitées à Cadarache. De plus, le CEA a mis à disposition deux emballages spécifiques aux besoins de la propulsion navale.



LE PROJET ALADIN À FONTENAY-AUX-ROSES

En janvier 2008, le projet Aladin d'assainissement des laboratoires et de démantèlement des installations nucléaires du centre de Fontenay aux-Roses a été créé par la Direction de l'énergie nucléaire et la Direction des sciences du vivant. Fondé sur le retour d'expérience du projet Passage à Grenoble, Aladin vise quatre objectifs majeurs : la maîtrise de la sûreté et de la sécurité, la maîtrise des ressources humaines, la maîtrise des coûts et des délais, le développement de la communication interne et externe.

Énergie de fusion

Énergie du futur : pionniers de la fusion



> Salle de contrôle et de commande de l'installation Tore Supra.

Les expériences pionnières menées depuis plus de 20 ans avec Tore Supra ont permis au CEA de développer une expertise scientifique de premier plan sur la physique et la modélisation des plasmas ainsi qu'une forte expertise technique dans les tokamaks supraconducteurs, les moyens de chauffage et les diagnostics.

Par ailleurs, le CEA est missionné par l'État pour être l'opérateur français de l'approche élargie. Au plan national, l'Institut de recherche sur la fusion magnétique (IRFM), via l'association Euratom-CEA, est le point d'entrée unique pour l'ensemble des activités de fusion (CNRS et universités). Cela concerne aussi bien la recherche conduite avec la Fédération de recherche fusion magnétique que la mise en place d'un master « sciences de la fusion ».

Composants face au plasma

L'analyse des échantillons, prélevés suite à la campagne spécifique de chocs de longue durée pour charger les parois de Tore Supra en deutérium, a permis de fortement progresser dans la compréhension du mécanisme de rétention du deutérium dans les parois carbonées.

Les critères d'acceptation des éléments européens du divertor d'ITER ont été définis à partir de campagnes de tests incluant des essais sous haut flux thermique. Ils ont d'ores et déjà été sui-

vis pour la réception des prototypes d'éléments européens du divertor d'ITER fabriqués par deux industriels européens.

Technologies

L'IRFM a participé activement à la mise en route, au Jet, de l'antenne de chauffage ICRH (Ion Cyclotron Resonance Heating) ITER-like en 2008.

Théorie et modélisation

En 2008, la version 4 de la plate-forme de simulation intégrée Cronos a été intensivement exploitée pour les simulations de scénarios stationnaires pour ITER et Demo.

Le code de magnétohydrodynamique non linéaire Jorek a été mis en œuvre avec la première simulation du phénomène de filamentation observé durant les Edge Localized Modes (ELMs), instabilités magnétiques potentiellement dangereuses pour les composants des dispositifs de fusion. Le concept, développé par l'IRFM, dans l'aptitude de perturbations magnétiques résonnantes à supprimer les ELMs est en voie d'adoption sur ITER.

ITER

Avec la montée en puissance de l'agence Fusion for Energy (F4E) au niveau européen, l'IRFM coordonne les réponses du CEA aux appels d'offres et a poursuivi son support aux études du système cryomagnétique d'ITER en particulier en relation avec l'Irfu et l'Inac, ainsi qu'aux composants face au plasma et aux systèmes de chauffage et de génération de courant.

Au-delà d'ITER, l'approche élargie

Le CEA intervient dans les trois projets constitutifs de l'approche élargie :

- Ifmif-Eveda, la phase préalable du projet Ifmif, dédié à l'étude de la résistance de matériaux soumis à de très hauts flux de neu-

FOCUS : 20 ANS DE RECHERCHE À TORE SUPRA

Premier grand tokamak supraconducteur de l'histoire, Tore Supra a permis d'ouvrir le champ des « décharges longues », dont il détient le record mondial, et de développer des concepts, des systèmes et des matériaux propres à soutenir ce mode de fonctionnement « continu », qui sera l'un de ceux d'ITER. Les équipes de l'IRFM ont conçu, développé et construit Tore Supra et mènent de nombreux programmes de recherche fondamentale et appliquée sur cette machine depuis 20 ans. Elles ont célébré cette aventure les 1^{er} et 2 avril 2008 à Cadarache.



trons, dans le but de valider les matériaux de construction du futur réacteur de fusion industriel Demo (post-ITER) : le chef du projet est issu du CEA, et l'Irfu est chargé de concevoir et réaliser l'accélérateur à haute intensité pour l'installation d'irradiation de matériaux par les neutrons ;

- le CEA est mandaté pour la conception du système cryogénique et pour la moitié des aimants supraconducteurs du futur tokamak japonais JT60-SA ;
- le CEA assure la maîtrise d'ouvrage de la fourniture du calculateur du centre de calcul Iferc qui sera implanté au Japon.

Biomasse – solaire – stockage et hydrogène

Nouvelles technologies de l'énergie

— 2008 a été marquée par le renforcement des partenariats stratégiques du CEA dans le domaine des nouvelles technologies énergétiques bas carbone. Ces initiatives visent à accompagner la politique française, portée par les objectifs du Grenelle de l'environnement, et s'inscrit dans le Plan stratégique européen sur les technologies énergétiques (SET-Plan), aux niveaux régional, national et européen.



> Groupe électrogène à pile à combustible, mobile, EPICEA.

Le CEA a développé de nombreux accords partenariaux et de nouvelles plates-formes expérimentales dédiées. Fort de ces succès, le CEA représente désormais près du quart de l'effort public national dans le domaine des NTE. Au cours de l'année écoulée, les principaux résultats technologiques suivants ont été atteints.

Les biocarburants de 2^e et 3^e génération

Le CEA a développé depuis huit ans une série de plates-formes expérimentales capables de traiter quelques kilogrammes par heure de biomasse : un lit fluidisé haute température (LFHT) pouvant monter jusqu'à 40 bars et 1 000 °C ; un étage de trai-

tement haute température (Pegase) montant jusqu'à 1 600 °C pendant quatre secondes à quatre bars ; un four tournant de pyrolyse et une installation de traitement de la biomasse par torche plasma (Biomap) de 25 kW. En 2008, le LFHT (fonctionnement entre 800 et 950 °C) a été couplé à Pegase (fonctionnement à 1 400 °C) : grâce à ce couplage, le méthane et les hydrocarbures en C2 ont été complètement convertis, les équipes du CEA ont obtenu une réduction de facteur 1 000 de la concentration en goudron dans les gaz. Sur Biomap, le CEA et Europlasma ont montré la faisabilité de l'injection et de la conversion de bio-huile dans un dard plasma.

Concernant la 3^e génération de biocarburants, des recherches se poursuivent sur l'ingénierie métabolique et enzymatique de microalgues et cyanobactéries. Une plate-forme de recherche sur les bioénergies, soutenue par la région, est en cours de mise en place à Cadarache.

La filière hydrogène / piles à combustible

Le CEA consolide en 2008 ses alliances avec des partenaires industriels de rang mondial, notamment Areva, STMicroelectronics et Air Liquide afin de contribuer à la mise en place d'une filière industrielle nationale qui réponde aux applications émergentes de l'économie de l'hydrogène. On peut notamment citer le programme H2E – Horizon Hydrogène Énergie – d'un coût total de 186 M€ de R&D piloté par Air Liquide.

Dans le domaine de la production d'hydrogène, les succès portent principalement sur l'électrolyse haute température.

Concernant les applications nomades, un premier démonstrateur comprenant une micropile à combustible a montré qu'un gramme de cette composition d'hydrogène est capable d'alimenter pendant

24 heures un appareil de puissance équivalente à celle d'un téléphone portable.

Des études ont également été menées sur une autre famille de procédés de production d'hydrogène, les cycles thermochimiques. Les études ont couvert la gamme allant de l'approche fondamentale à la démonstration à l'échelle d'un petit pilote.

Concernant le stockage sous très haute pression (700 bars), est proposée une solution industrielle de réservoir composite de type IV (vessie polymère entièrement renforcée par de la fibre de carbone) répondant aux exigences des normes actuellement en vigueur et même au-delà avec désormais un taux de fuite 20 fois inférieur à la limite réglementaire de 1 cm³/L/h.

Concernant les piles à combustible, le CEA a développé des équipements permettant la fabrication reproductible et fiable de cœurs de pile type PEMFC. Ainsi, le taux de platine a été réduit à 0,3 g/kW tout en préservant la performance électrochimique des cœurs de piles. Des résultats significatifs ont été obtenus sur la conception et la réalisation de membranes composites innovantes pouvant travailler au-delà de 100 °C. Le développement des plaques bipolaires composites a atteint une maturité technologique permettant d'envisager un transfert de technologie auprès d'un partenaire industriel en 2009. Les mécanismes de dégradation lors d'un fonctionnement pour des températures négatives ont été mis en évidence. Ces résultats laissent augurer la possibilité de réaliser à l'horizon 2010 des systèmes PEMFC compatibles avec les objectifs de coûts permettant l'émergence du marché. Le CEA prépare des partenariats avec l'industrie en vue de l'exploitation commerciale de la technologie Genepac.

Concernant l'utilisation de l'hydrogène comme moyen indirect de stockage massif d'énergie électrique produite par les énergies renouvelables intermittentes, une première démarche a été entreprise en 2007-2008 de développement et mise en œuvre de modèles technico-économiques afin de comparer les moyens de stockage disponibles à court, moyen et long termes, sur la base de critères de sécurité d'approvisionnement et de satisfaction client. Le démonstrateur Myrte dont la construction débutera en Corse en 2009 constitue un jalon essentiel de cette démarche de sécurisation d'un réseau électrique qui dans les milieux insulaires verra le déploiement massif de sources d'énergie intermittentes (éolien, solaire). L'installation a été dimensionnée pour étudier le lissage de pointe du réseau électrique corse à partir d'une chaîne hydrogène complète permettant d'injecter à tout moment sur le réseau une puissance électrique de 50 kW et 200 kW en 2012, constituant une première mondiale.



> Plate-forme d'instrumentation d'une voiture électrique.

Le projet Garage, unique en Europe, permet d'évaluer les conséquences d'une fuite d'hydrogène de systèmes à pile à combustible en milieu confiné ou semi-confiné (voiture, groupe électrogène). Cette installation fonctionne sous hélium et les modèles de connaissance développés en regard de cet environnement particulier ont été validés en 2008. Ils sont désormais mis en application pour des besoins externes (véhicule prototype PSA).

Le CEA se mobilise, en partenariat avec les acteurs européens du secteur, pour construire l'Europe de la recherche dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible.

L'association N.ERGHY (New European Research Grouping on Fuel Cells and Hydrogen) rassemblant une cinquantaine de centres de recherche et d'universités travaillant en Europe dans le domaine, a été constituée. Le CEA en assure la présidence et, à ce titre, siège au sein de la JTI. Par ailleurs, le CEA, le DLR (Allemagne), le Ciemat (Espagne) et l'Enea (Italie) ont conclu en décembre 2008 l'accord sur la mise en commun de plates-formes de recherche sur la production d'hydrogène (Sushy-Pro). Il constitue une première étape appliquée au domaine de la production d'hydrogène de programmation conjointe de la R&D.

Dans le domaine des sciences fondamentales, les équipes du CEA poursuivent des travaux sur l'élaboration de nouveaux catalyseurs moléculaires afin de remplacer les catalyseurs à base de nanoparticules de platine. Le CEA a, d'une part, élaboré des photocatalyseurs à base de photosensibilisateurs inorganiques et de cobaloximes comme catalyseurs de réduction des protons, d'autre part, réussi le greffage de catalyseurs bio-inspirés sur des nanotubes de carbone afin de produire des électrodes modifiées, procédé désormais breveté. Ces deux résultats dont les performances se placent au meilleur niveau sont à l'origine du projet pH2oton associant recherche amont et développement et visant à élaborer un démonstrateur de photolyse de l'eau fonctionnant selon ce principe bio-inspiré.



> Évaluation de capteurs solaires sur le banc d'ensoleillement.

Le véhicule électrique

La plate-forme destinée à la recherche autour du suivi et des modifications des véhicules hybride et électrique est opérationnelle. Cette activité dispose d'un espace dédié de 120 m² dont une partie cible les travaux sur les électroniques de puissance des convertisseurs d'énergie et l'assemblage des packs de batteries. Un espace véhicule équipé d'un pont élévateur a été conçu pour réaliser les travaux en sécurité sous la voiture. La plate-forme a déjà permis l'instrumentation d'une première AX électrique qui a fourni un premier retour d'expérience riche sur les batteries NiCd. Un second véhicule électrique a été équipé d'un dispositif de monitoring pour étudier l'influence des profils de recharge « solaires » sur le véhicule.

À côté de ces actions, le CEA a publié dans la revue *Nature Materials* ses résultats de recherche dans le domaine de la compréhension de mécanismes, offrant des perspectives remarquables pour le futur des batteries lithium.

De plus, un accord de transfert de technologie a été signé entre Prayon, leader mondial dans la chimie des phosphates, et le CEA. Il représente un pas majeur pour le développement des batteries amenées à équiper les voitures électriques de demain.

Le solaire et l'habitat

Fruit d'une collaboration structurante entre le CEA, le CSTB et le CNRS pour répondre aux défis du secteur du bâtiment, le projet Simbio 2 a démarré en 2008.

La filière solaire photovoltaïque française connaît une évolution dynamique, menée par un ensemble de PME axées sur la production de silicium et le développement de modules solaires. La plate-forme expérimentale Restaure entend répondre à une attente des entreprises en faveur de nouvelles approches technologiques et d'une électricité photovoltaïque compétitive. Celle-ci a démarré en 2008 dans les bâtiments de l'Institut national de

l'énergie solaire (Ines). Ce déménagement a offert aux équipes des moyens plus importants, dont une salle blanche de 1 000 m² et un ensemble de procédés destiné au traitement des plaques, de formes et de dimensions très variées. Elle s'est aussi enrichie de machines destinées à étudier les cellules à hétérojonctions dans le cadre d'un partenariat avec plusieurs équipementiers (Jusung, Akרון et Adixen) et avec la nouvelle société PV Alliance qui exploitera cette technologie.

Tout cela positionne la plate-forme Restaure comme équivalente aux meilleures plates-formes mondiales sur ce secteur des cellules silicium. Accessible à tout industriel, elle a permis de générer des résultats exceptionnels : des cellules sur du silicium métallurgique entièrement purifié et cristallisé dans l'atelier prototype Photosil, le transfert d'une technologie à l'usine de Phowatt qui leur a permis d'augmenter de manière significative le rendement moyen de leur production.

En 2008, une nouvelle plate-forme expérimentale dédiée au solaire thermique a été installée. Elle est destinée aux études des composants et des systèmes complets et couvre l'ensemble du spectre des applications. Elle est d'ores et déjà dotée de moyens exceptionnels : une centrale d'eau chaude et une centrale d'eau froide, un banc original capable de tester la performance des systèmes solaires combinés (SSC) grâce à des séquences simulant le fonctionnement sur un cycle annuel, un banc d'ensoleillement artificiel et un système de démonstration de froid solaire dans le cadre du projet européen Solera.

Le banc d'ensoleillement artificiel permet de tester en fonctionnement des capteurs et des systèmes thermiques ou photovoltaïques dans toutes les configurations d'irradiation, d'inclinaison et de ventilation et il offre de nouvelles fonctionnalités uniques en Europe. Il s'agit d'un outil déterminant pour le développement de la filière en France.

LA DÉLÉGATION ANR/NTE AU CEA

La délégation ANR/NTE est responsable de la mise en œuvre et du suivi de quatre programmes dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie, en partenariat public privé. Ces programmes financent les recherches nationales dans les domaines hydrogène et piles à combustible, habitat intelligent et solaire photovoltaïque, captage et stockage du CO₂, efficacité énergétique. Au cours des années 2005-2008, 156 projets ont été ainsi financés. Ils représentent 150 M€ d'aide ANR, soit environ 300 M€ de budget total ; la délégation ANR/NTE ayant assuré la gestion de 950 contrats. Dans le cadre de l'animation de ses programmes, elle réunit régulièrement les communautés scientifiques au cours de séminaires de suivi de projets, en lien étroit avec les pôles de compétitivité.

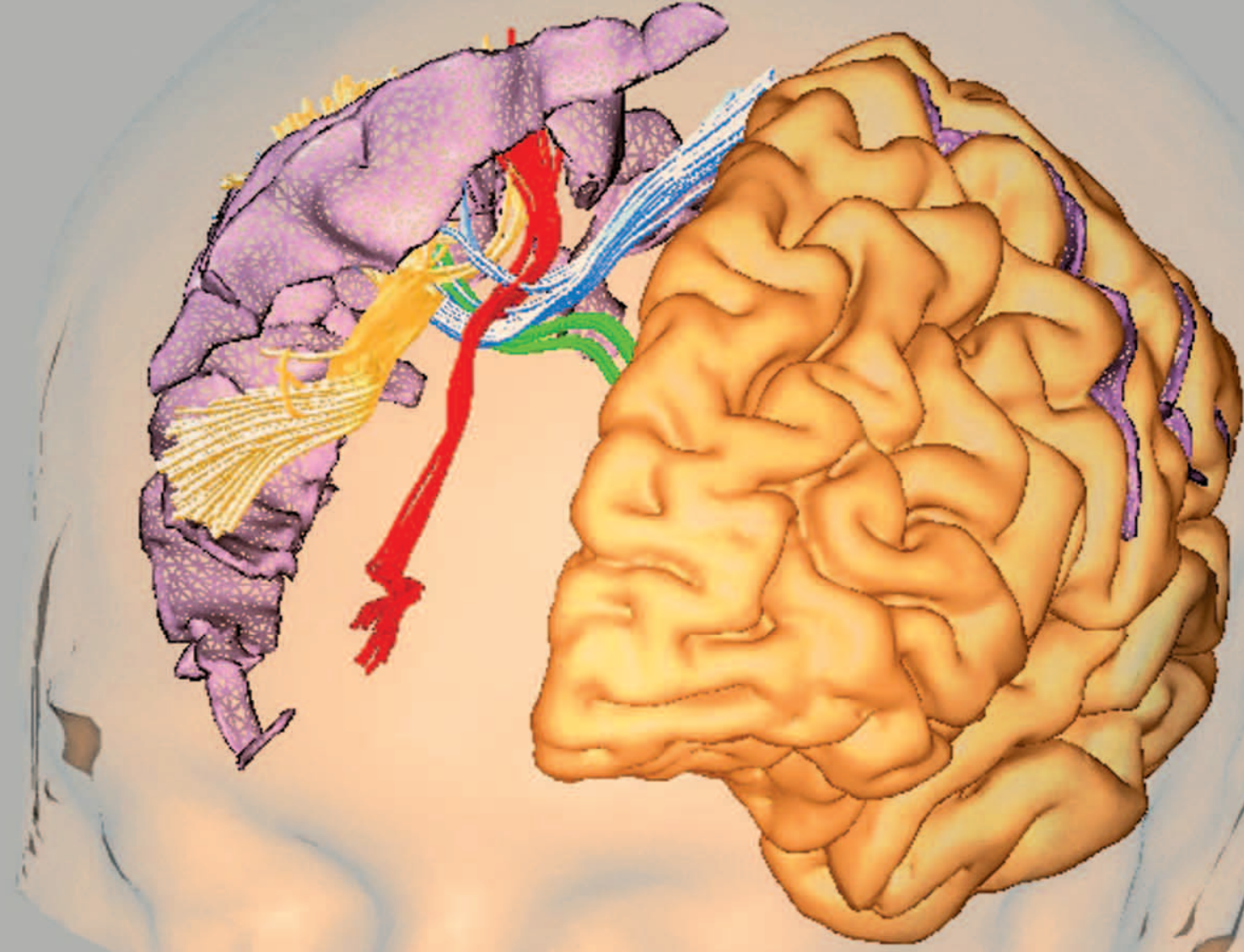
TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET LA SANTÉ

Inventer : micro et nanotechnologies / technologies logicielles et systèmes

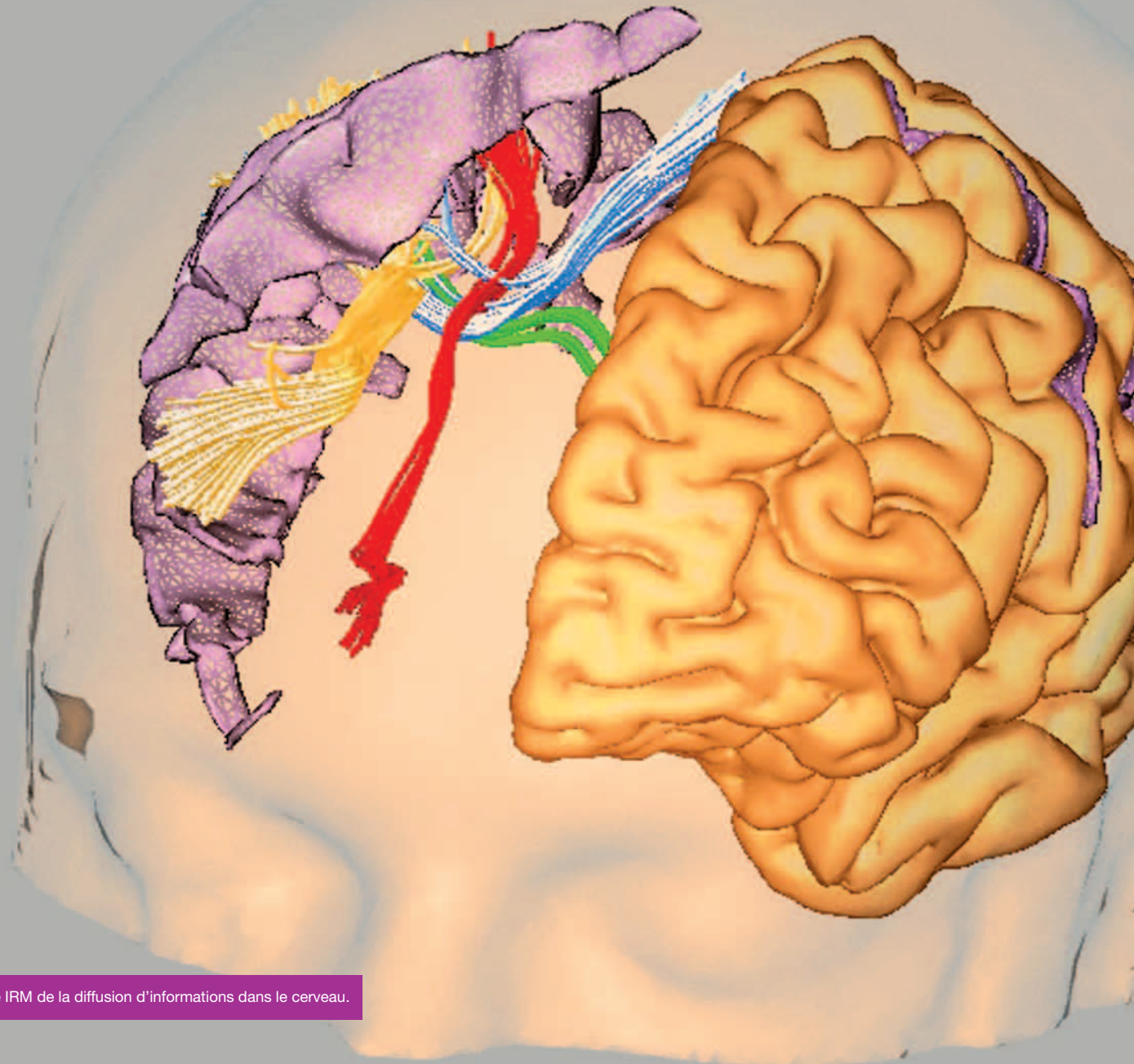
— Afin de favoriser l'innovation industrielle, le CEA dispose d'une recherche technologique de haut niveau dans le domaine des micro et nanotechnologies. Les applications industrielles de ces recherches concernent notamment les télécommunications et les objets communicants. Il exerce ses compétences dans le domaine des technologies logicielles : systèmes embarqués et interactifs, capteurs et traitement du signal.



> Interface d'une microcolonne de chromatographie en silicium à un spectromètre de masse.



>> Cahier recherche fondamentale



> Image IRM de la diffusion d'informations dans le cerveau.

Nanosciences : ruptures pour l'énergie et l'électronique



> Salle blanche de la Plate-forme technologique amont.

— **Dans les domaines des nanosciences, de la matière condensée et de l'interaction rayonnement-matière**, les recherches du CEA se situent en amont des recherches sur l'énergie et sur les technologies de l'information et de la santé. La recherche fondamentale en nanosciences vise à étendre le champs des connaissances des propriétés de la matière à cette échelle. Les concepts nouveaux mis au jour font progresser la recherche technologique pour l'information et la santé.

Nanosciences

Vers un cadre théorique global

Une équipe internationale, à laquelle participent des chercheurs de l'IPhT, des universités de Paris-Diderot et de Karlsruhe, propose un tournant majeur dans la théorie des systèmes mésoscopiques hors d'équilibre, cadre conceptuel des nanosciences. En effet, la présence de courant – même infinitésimal – dans les nano-objets échappe à la mécanique statistique quantique. De plus, à cette échelle, la prédominance des interactions entre nano-objets rend les approches numériques très difficiles et la résolution par le calcul des modèles mathématiques épineuse.

Le modèle théorique proposé, basé sur deux approches distinctes, rend enfin possibles les calculs analytiques ou numériques de grande précision pour ces problèmes (*Physical Review Letters*).

Le CEA au cœur des fondations de coopération scientifique à Saclay et à Grenoble

Deux fondations de coopération scientifique dans lesquelles le CEA joue un rôle moteur ont été inaugurées en 2008 :

- > la fondation Nanosciences, aux frontières de la nanoélectronique à Grenoble. Créée par le CEA, le CNRS, l'université Joseph-Fourier (UJF) et le Groupe Grenoble INP, elle est la première fondation entièrement dédiée aux nanosciences ;
- > la fondation Digitéo-Triangle de la physique dédiée aux programmes dans les domaines des STIC et en physique. Elle constitue également le lieu d'élaboration du plan Campus du plateau de Saclay qui rassemble 23 partenaires de recherche et d'enseignement supérieur.

Électronique

Spintronique

Plusieurs résultats significatifs en spintronique (électronique exploitant les propriétés du spin de l'électron) ont été obtenus par les équipes de l'Inac et de l'Iramis en 2008 :

- > simulation de jonctions tunnels* magnétiques pour la conception et la modélisation de nouvelles architectures ;
- > élaboration d'une jonction tunnel magnétique à aimantation perpendiculaire, dont la configuration permet de diminuer d'un facteur 10 le courant d'écriture pour l'injection de spin.
- > caractérisation, publiée dans *Nature*, des propriétés de « spin collectif » d'une molécule contenant 15 atomes de vanadium, qui constitue ainsi un candidat très prometteur comme *Qbit*, l'unité fonctionnelle de base d'un futur ordinateur quantique.

Science des matériaux

Hybrides semi-conducteurs

En collaboration avec l'Institut Charles-Sadron de Strasbourg (ICS), une équipe de l'Inac a réussi à élaborer un matériau hybride à base de nanocristaux colloïdaux et de polymères, tous deux semi-conducteurs, particulièrement adaptés pour être appliqués au photovoltaïque organique et à l'électronique organique (*Advanced Materials*).

* Jonction tunnel : une jonction tunnel est, sous sa forme la plus simple, une mince barrière isolante entre deux électrodes conductrices.



> Utilisation de matériaux phosphorescents, émettant dans du verre.

Nanocristaux fluorescents

Une équipe de l'Inac a mis au point un procédé original de synthèse de nanocristaux fluorescents en une seule étape. Non seulement le procédé est plus sûr et plus reproductible que ses concurrents, mais il conduit également à des nanocristaux offrant un meilleur rendement de fluorescence (jusqu'à 70 % dans le vert) et une largeur de raie plus fine (50 nm). La gamme de couleurs produites va du bleu à l'orange. Ces travaux ont fait l'objet d'un dépôt de brevet.



> Alignement d'une fibre optique sur un circuit intégré en technologie photonique silicium.

Photonique

Les équipes de l'Inac, au sein de collaborations, rapportent dans *Applied Physics Letters*, la réalisation de plusieurs dispositifs photoniques, en particulier :

- > des piliers semi-conducteurs de quelques microns, réalisés avec l'université de Wuerzburg et le Leti, qui constituent une avancée vers la réalisation de sources de photons uniques pour la cryptographie quantique ou pour la métrologie, et de lasers à seuil ultra-bas, pratiques et compacts (brevet européen) ;
- > une nanocavité dans du silicium monocristallin sur un substrat SOI qui constitue une boîte optique qui pourrait être une des briques de base de la nanophotonique *on chip*, avec le CNRS/LTM, l'Institut Carnot de Bourgogne et l'Institut d'optique.

Diffraction de neutrons

Les chercheurs du laboratoire Léon-Brillouin (Iramis/LLB) ont publié dans les revues *Science & Nature* trois études qui montrent toutes les potentialités des techniques de diffraction de neutrons dans l'étude de nouveaux matériaux :

- > mise en évidence, avec l'Institut de physique de Rennes, dans un système de longues chaînes d'alcane insérées dans les canaux d'un monocristal d'urée, de transition de phase selon la quatrième dimension utilisée pour décrire ce système aperiodique ;
- > diffraction de neutrons polarisée pour l'exploration de l'ordre spatial, des propriétés magnétiques et électroniques de composés de type YBaCuO, en vue de la compréhension fondamentale de leurs propriétés de supraconductivité, avec le Max Planck Institut de Stuttgart ;
- > hypothèse de la généralisation à l'ensemble des cuprates des phénomènes observés dans YBaCuO, en collaboration avec Stanford University (USA).

Systèmes complexes

Un ordre caché dans les verres en refroidissement

Une équipe de l'IPhT propose un modèle de description thermodynamique de la transition vitreuse. En simulant numériquement la surface de verres en formation, les chercheurs ont mis en évidence une augmentation du nombre de régions de la surface acquérant une grande tension superficielle à mesure que le liquide est refroidi. L'équipe postule l'apparition d'une structure en mosaïque dans laquelle le liquide surfondu présente un ordre caché, à des échelles de plus en plus grandes au cours du refroidissement (*Nature Physics*).

Un solide superfluide

Une nouvelle théorie pourrait expliquer les récentes observations expérimentales d'écoulement superfluide au sein de composés solides d'hélium. L'étude, publiée dans *Physical Review B* par un chercheur de l'IPhT et ses collègues de Boston University et de l'ENS, prédit l'existence d'une phase, dite « super-verre », de l'hélium-4 à basse température.

Nanophysique et ingénierie moléculaire

Nouvelle imagerie IRM biologique par utilisation du xénon hyperpolarisé

Une équipe de l'Iramis a démontré la possibilité d'augmenter la sensibilité de l'IRM (et de réduire le temps d'acquisition des données) pour l'imagerie biologique en utilisant du xénon polarisé. L'expérience démontre le principe d'une nouvelle IRM moléculaire sélective.

Des membranes « biomimétiques » pour piles à combustible

Une équipe de l'Iramis/LSI propose un nouveau type de membrane capable de jouer le rôle d'électrolyte solide dans les piles à combustible. L'approche originale consiste à mimer des protéines présentes dans certains organites cellulaires comme les mitochondries.

Sciences du vivant

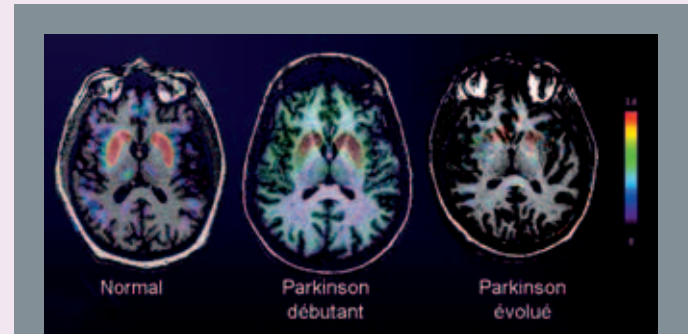
Imagerie fonctionnelle et médecine nucléaire

— **L'imagerie médicale** permet de visualiser des processus biologiques au sein même des organismes vivants. Elle constitue donc un outil d'investigation indispensable à plusieurs domaines de recherche et pour l'exploration clinique.

L'imagerie constitue une méthode unique pour la mise au point d'outils de diagnostic et le développement de stratégies thérapeutiques innovantes, en particulier pour les maladies neurodégénératives (Alzheimer, Parkinson, Huntington...), cancéreuses ou psychiatriques.

Fin 2008, le CEA a inauguré l'installation MIRCen, pour Molecular Imaging research center, une plate-forme d'imagerie préclinique pour accélérer le développement de nouvelles thérapies contre les maladies neurodégénératives, hépatiques, cardiaques et infectieuses. MIRCen vient ainsi compléter les deux autres plate-formes d'imagerie de la Direction des sciences du vivant que sont le Service Hospitalier Frédéric Joliot à Orsay et NeuroSpin à Saclay. Ces trois structures, complémentaires par les outils qu'elles proposent et les domaines de recherche qu'elles investissent, assurent un continuum de la recherche préclinique à la recherche clinique.

Les recherches dans le domaine des technologies de l'imagerie médicale portent sur le développement de nouveaux outils et de nouvelles



Maladie de Parkinson : un essai de thérapie génique

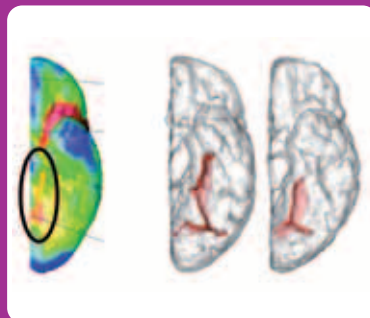
En 2008, pour la première fois, un essai clinique par thérapie génique a été lancé chez des patients atteints de la maladie de Parkinson. Cet essai, aboutissement d'une collaboration entre MIRCen, l'hôpital Henri-Mondor de Créteil et la société Oxford Biomedica Ltd, consiste à transférer, chez des patients atteints de Parkinson, des gènes codant pour la synthèse du neurotransmetteur dopamine (GDNF).

En restaurant une neurotransmission normale, cela pourrait entraîner une régression des symptômes moteurs typiques de cette maladie.

>> Suite

>

Focus sur...



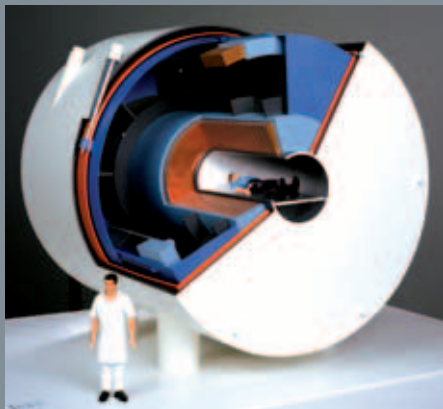
DES AVANCÉES DANS LA CONNAISSANCE DE LA SCHIZOPHRÉNIE DE L'ADOLESCENT

Les chercheurs de l'unité mixte CEA/Inserm U797 – Neuroimagerie et Psychiatrie du Service hospitalier Frédéric-Joliot (I²BM, CEA/Orsay), en partenariat avec l'Institut de Psychiatrie de Londres, viennent de montrer que le cortex du lobe temporal du cerveau d'adolescents atteints de schizophrénie présente des anomalies anatomiques. Cette avancée permettra, en outre, de préciser les régions-cibles pour la recherche de thérapies innovantes. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 47:10, Oct. 2008.

Aide à l'innovation pour Iseult

En novembre 2008, la Commission européenne a approuvé l'octroi par Oseo d'une aide à l'innovation de 54 millions d'euros en faveur d'Iseult, projet d'imagerie moléculaire à très haut champ magnétique. Ce projet, qui sera implanté à NeuroSpin, a pour objectif de mettre au point

un système IRM clinique unique au monde de 11,7 teslas ainsi que des produits de contraste et logiciels associés pour le dépistage précoce et le suivi thérapeutique de la maladie d'Alzheimer, des tumeurs cérébrales et des accidents vasculaires cérébraux.

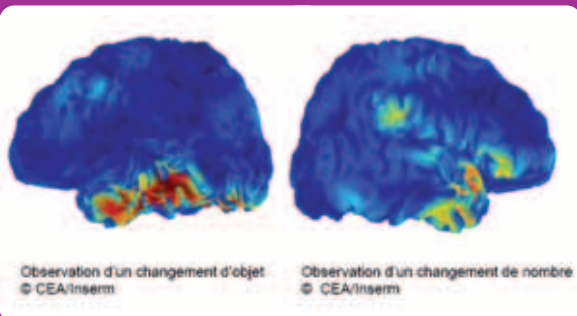


>> Suite

méthodes afin d'accéder à des informations essentielles sur les organes en fonctionnement et notamment le cerveau.

En 2008, NeuroSpin s'est doté d'un équipement de magnéto-encéphalographie (MEG), ce qui porte à quatre le nombre d'appareils de ce type en France. La MEG est une technique non invasive employée en neurologie clinique et dans le domaine des neurosciences cognitives. Elle permet de suivre le fonctionnement du cerveau en temps réel lors de la réalisation

de différentes tâches. Les chercheurs peuvent ainsi visualiser la chronologie des opérations mentales ou la dynamique des phénomènes cérébraux dans des pathologies comme l'épilepsie. La MEG de NeuroSpin est d'ores et déjà au cœur d'un programme de recherche (DSV-DSM-Elektra) visant à faire évoluer cet outil pour réaliser des appareils portables et à faible coût pouvant être couplés à un appareil d'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou un appareil d'électroencéphalographie (EEG).



DÈS 3 MOIS, LE NOURRISSON A LE SENS DES NOMBRES

Le Laboratoire de neuro-imagerie de NeuroSpin (CEA-unité Inserm 562) a, pour la première fois, mis en évidence les zones cérébrales engagées dans le traitement des nombres chez des nourrissons de 3 mois. Obtenus grâce à l'électroencéphalographie (EEG), ces résultats montrent que le développement du sens du nombre se fait de façon continue. C'est en se fondant sur le sens des quantités que les enfants pourraient ensuite comprendre des concepts mathématiques plus élaborés, tels que l'arithmétique.

PLOS Biology, février 2008.

Marquage biomoléculaire, ingénierie et structure des biomolécules

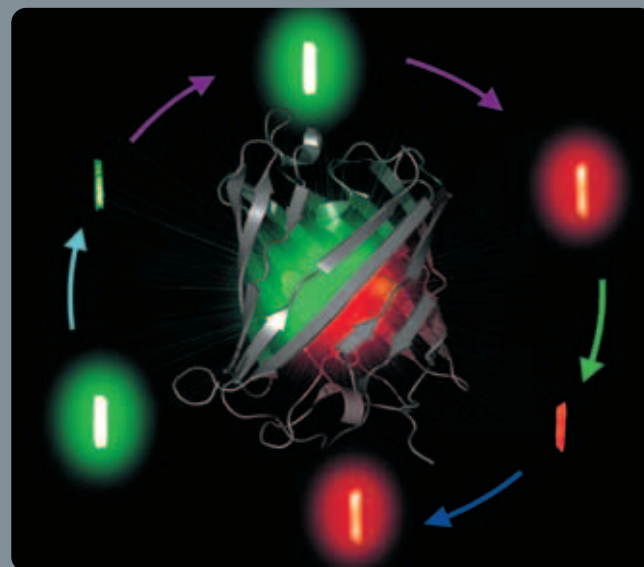
Les recherches dans le domaine de l'ingénierie des biomolécules visent à élucider les structures des macromolécules biologiques, telles que les protéines. L'enjeu est de parvenir à comprendre leur fonctionnement afin de les modifier pour des applications biomédicales ou biotechnologiques.

Les marquages de molécules restent une spécialité des équipes du CEA, appliqués aujourd'hui aux nano-objets. De nouvelles méthodes biophysiques innovantes permettent également de raffiner notre connaissance des macromolécules, en particulier dans leur dynamique de repliement et/ou changement de configuration.

UN COMMUTATEUR BIOLOGIQUE AU SERVICE DE L'IMAGERIE

Des chercheurs de l'IBS (CEA/Grenoble) et de l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble) viennent de développer une nouvelle protéine fluorescente dérivée de la GFP (Green Fluorescent Protein). Cette protéine Iris-FP possède la propriété d'être photocommutable, c'est-à-dire qu'elle peut être « allumée » ou « éteinte » sur commande. Elle est également capable de photoconversion : elle peut changer de couleur de façon contrôlée quand elle est excitée par la lumière d'un laser. C'est un marqueur très flexible et un outil qui, fusionné par génie génétique avec une protéine donnée, va permettre de suivre avec une très haute résolution des mouvements de cette protéine dans la cellule, dans l'espace et au cours du temps. Au-delà de son utilisation en microscopie, le développement de cette nouvelle sonde fluorescente ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine des nanotechnologies. Des applications novatrices peuvent ainsi être envisagées comme, par exemple, la conception de mémoires de stockage basées sur le changement de couleur de cristaux de ces protéines.

Proceedings of the National Academy of Sciences.
(2008), 105(47):18343-8



NANOTECHNOLOGIES BIOMIMÉTIQUES : UN NOUVEAU TYPE DE BIOCAPTEUR

Des chercheurs de l'IBS (CEA/CNRS) et de l'iRTSV ont développé une nouvelle génération de biocapteurs combinant deux fonctions : la reconnaissance d'un signal chimique et sa traduction en un signal électrique. Ceux-ci pourraient former la brique de base de systèmes de détection miniaturisés utilisables pour le criblage de médicaments, le diagnostic, ou la détection d'agents toxiques. Il s'agit de l'un des premiers succès de l'approche biomimétique en nanotechnologie.

Nature Nanotechnology, (2008), 3(10):620-5.

La génomique

Les recherches en génomique du CEA s'appuient sur deux plates-formes nationales : le Genoscope-Centre national de séquençage (CNS) et le Centre national de génotypage (CNG), toutes deux intégrées au sein de l'Institut de génomique de la Direction des sciences du vivant. Ces plates-formes ont pour mission de produire des données au service de la communauté

scientifique et de développer leurs propres programmes concernant notamment la recherche de capacités microbiennes d'intérêt industriel pour la chimie et l'environnement, la recherche d'interactions entre gènes et environnement dans le cadre du développement de cancers ou de maladies neurodégénératives afin d'évoluer vers une médecine personnalisée.



> Étude du cancer du poumon, au Centre national de génotypage d'Évry.

>

Focus sur...

IDENTIFICATION DES MARQUEURS GÉNÉTIQUES DE PRÉDISPOSITION AU CANCER DU POUMON

Deux ans après le lancement du plan cancer, les premiers résultats obtenus dans le cadre du programme national en génomique du cancer, financé par l'Institut national du cancer, ont été publiés. Un consortium international de chercheurs regroupant notamment le Centre national du génotypage (Institut de génomique, CEA/Évry), la Fondation Jean-Dausset/Centre d'études du polymorphisme humain à Paris, et le Centre international de recherche sur le cancer (Lyon) a identifié des marqueurs génétiques de prédisposition aux cancers bronchiques. Parmi ces gènes situés sur une région de petite taille sur le chromosome 15, les chercheurs ont mis en évidence l'implication de gènes codant pour les récepteurs nicotiniques, déjà identifiés dans les phénomènes de dépendance au tabac. L'intérêt majeur de ce type de découvertes est d'identifier des gènes de prédisposition au cancer, de comprendre les mécanismes impliqués dans le cancer et de proposer de nouvelles thérapeutiques.

Nature (2008), 452:633-637.

Micro et nanotechnologies

— L'institut Leti est un laboratoire de recherche technologique, dont l'activité est focalisée sur les micro et nanotechnologies et les nouvelles applications qu'elles permettent au travers de composants miniaturisés. Dans la chaîne de l'innovation, allant des concepts en rupture, fréquemment issus du domaine public, aux nouveaux produits, qui sont du domaine propriétaire des industriels, l'institut Leti contribue à favoriser un lien étroit entre ces deux extrêmes.



> Dépôt électrolytique 300 mm de cuivre.

Créer de l'innovation et la transférer à l'industrie

L'ambition du Leti vise à être un laboratoire de référence au niveau mondial dans le domaine de la recherche intégrative en technologies silicium, un laboratoire de recherche pionnier et reconnu dans l'emploi de technologies de miniaturisation qui apporte des éléments de différenciation aux entreprises françaises et européennes pour renforcer leur compétitivité et leur croissance.

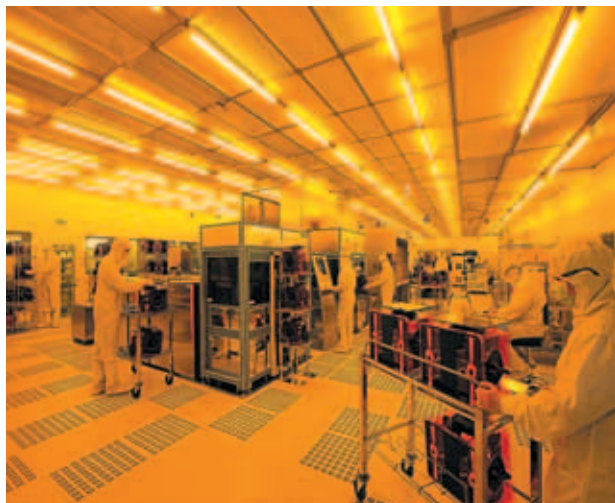
Cela impose de conduire la quasi-totalité des projets de recherche en coopération, tant avec des équipes de recherche publique positionnées en amont qu'avec un large ensemble d'industriels.

La stratégie de l'institut Leti basée sur la consolidation d'infrastructures de recherche de premier rang joue un rôle important dans ces collaborations. Elle permet à une large communauté scientifique de bénéficier de capacités qui ne sont usuellement pas accessibles au monde académique. La coopération avec les entreprises est évidemment celle qui permet au Leti d'atteindre sa mission de création de valeur au profit de l'industrie.

En termes de modèle de partenariat avec les industriels, le Leti développe essentiellement des coopérations bilatérales, couvrant la R&D, le prototypage et les transferts de technologie, en gardant la propriété des brevets pour garantir une large diffusion, et des conditions favorables d'exploitation des résultats à ses partenaires. Privilégiant la relation à long terme, le Leti pratique un modèle de laboratoire commun.

S'allier et se repositionner

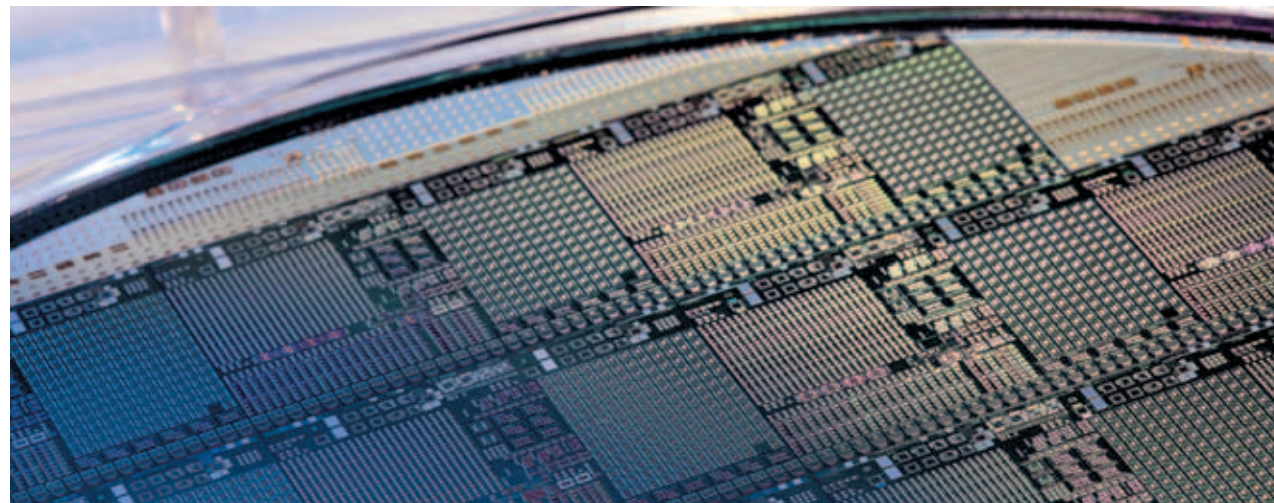
Les évolutions récentes du secteur de la microélectronique ont profondément modifié le paysage industriel et la façon de conduire la R&D, induisant un repositionnement fort du Leti en 2008. Au



> Zone de lithographie de l'Institut Leti.

niveau de la R&D, la logique d'alliance a été le maître mot des 10 années passées et la situation s'est considérablement épurée ces derniers temps.

Fin 2006 et courant 2007, Freescale et STMicroelectronics se sont successivement engagés dans une alliance ouverte avec IBM. Parallèlement, ST continue de développer sur Crolles ses technologies dérivées, pour lesquelles ST souhaite proposer un partenariat sur un modèle ouvert symétrique à celui d'IBM. L'enjeu est clairement de faire de Crolles le centre mondial de développement « ouvert » des technologies dérivées, à l'image du centre IBM de Fishkill aux USA pour les technologies CMOS.



> Puce pour application MEMS.

Dans ce nouveau contexte, l'objectif de l'institut Leti vise à renforcer la compétitivité de STMicroelectronics par des travaux permettant d'accélérer l'impatriation des technologies CMOS issues d'IBM sur le site de Crolles tout en confortant le partenariat ST-IBM et sa compétitivité, au travers d'actions de recherche conduites dans un cadre tripartite.

Le Leti est le premier institut de recherche technologique à intégrer le partenariat ST et IBM. Les bénéfices de cette coopération sont, outre la consolidation du lien entre IBM et l'écosystème de Crolles-Grenoble, l'amplification de la visibilité du Leti et l'ouverture à des acteurs industriels de premier rang. Au-delà, des

opportunités seront induites à ses autres partenaires industriels ou académiques.

Le repositionnement du Leti a conduit à recentrer ses efforts de recherche en technologies CMOS sur les activités de composants à base de substrats SOI (Silicium On Insulator, technologie développée par l'entreprise SOITEC, émanation du CEA), sur la nano-caractérisation et sur la lithographie e-beam.

Ainsi, un centre d'expertise en lithographie par faisceaux électroniques, e-beam, a été mis en place au Leti. Il regroupe tous les moyens-équipements dont l'e-beam 300 mm Vistec avec lequel une résolution inférieure à 30 nm a été atteinte en salle blanche. Par ailleurs, le Leti démarre, avec la société européenne Mapper, un programme international sur la lithographie sans masque à faisceaux multiples pour la production de circuits CMOS 22 nm et installera en 2009 une plate-forme de cette société au sein de sa ligne pilote.

En parallèle, le Leti bénéficie d'un renforcement des recherches sur les technologies pour les microsystèmes et technologies embarquées ainsi que d'une forte croissance, relative à l'intégration 3D de filières hétérogènes.

Dans les domaines applicatifs, il faut souligner le soutien des collectivités locales pour lancer de nouvelles initiatives structurantes.

Dans le domaine des imageurs, la technologie « Through Silicon Via » a été transférée à un industriel, et un premier lot présentant

>

Focus sur...



DESIGN KIT

Un premier environnement de conception Design Kit (DK) est disponible pour la technologie « film mince de silicium sur isolant » (SOI) de type Fully Depleted (FDSOI). Le DK est le lien nécessaire entre la technologie et le concepteur pour la réalisation d'un circuit. Les travaux de recherche en cours visent à mettre à disposition de la communauté du SOI un modèle original, développé à l'institut Leti, plus proche de la physique. L'objectif final est de démontrer les performances de la technologie FDSOI.

>> Suite



> Capteur de mouvement développé par la société Movea, start-up de l'Institut Leti.

un bon niveau de maturité industrielle a été réalisé en cinq jours sur la ligne de production. Cette brique technologique constitue la première étape indispensable à la réalisation de structures 3D, considérées comme la révolution technologique dans la filière « More than Moore ».

Le Centre de recherche biomédicale Clinatéc initié avec le CHU de Grenoble, sous la direction scientifique du professeur Alim Louis Benabid, a pour objectif de permettre l'expérimentation clinique de nouveaux protocoles thérapeutiques utilisant des micro et nanotechnologies.

Le projet Cimalpes, initié avec l'INP-Grenoble, vise à offrir aux PME des compétences et des moyens d'action adaptés pour introduire les micro et nanotechnologies dans leurs produits. Dans ce cadre, les travaux du B2I, Bâtiment des industries intégratives, ont démarré début 2009.

Créer de la valeur

La génération de start-up est un mode efficace de création de valeur, tant pour l'économie que pour l'institut Leti. De même, la création de propriété intellectuelle est une dynamique qui a été relancée en 2008. Après un palier à 100 dépôts par an dans les années 1998-2002, puis à 170 dans les années 2004-2006, 245 brevets ont été déposés par les personnels du Leti en 2008.

Par ailleurs, Le Leti est un acteur majeur du pôle de compétitivité Minalogic, en participant à plus de 20 projets coopératifs avec des grands groupes et des PME financés par le ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi et les collectivités locales et territoriales. Ces actions contribuent à dynamiser le tissu industriel local et à aider à la diffusion des micro et nanotechnologies dans des industries traditionnelles.

Développer une stratégie amont

L'institut Leti, se situant à la croisée entre recherche académique et développement industriel, a besoin pour définir sa stratégie amont de connaître les défis scientifiques qui mobilisent la communauté académique ainsi que l'évolution des secteurs d'activités qu'il adresse. Un tour d'horizon des grands programmes menés par les pays leaders procure les indications sur les priorités de leurs politiques de recherche.

BALISE DE DÉTECTION

La balise de détection d'agents pathogènes chimiques et biologiques utilise un système miniaturisé à base de biocapteurs. Elle a été validée avec un échantillon réel d'eau du robinet et, comme agent toxique, l'aflatoxine B1, une mycotoxine produite par un groupe de champignons microscopiques se développant dans des graines d'arachides, le maïs ensilé, les céréales. Cette toxine est connue comme étant le plus puissant cancérigène naturel. Ces premiers résultats démontrent que le système Defi peut travailler en continu à partir d'échantillons réels et représentatifs d'une vraie situation.



>

Focus sur...



IMAGEUR INFRAROUGE

L'intégration des fonctions optiques d'imagerie au voisinage d'un plan focal infrarouge pour obtenir des capteurs ultra-compacts a été effectuée dans le cadre d'une collaboration qui lie la DGA, l'Onera et le CEA/Leti. La démonstration d'une fonction focus obtenue sur un imageur infrarouge intéresse les fabricants français d'équipements à base de détecteurs infrarouges, pour permettre, avec des composants à optique intégrée, une diminution de la taille et du poids des caméras embarquées.

La stratégie amont du Leti repose sur des projets structurants, des infrastructures performantes et des partenariats forts.

Les projets structurants sont construits autour des trois thèmes technologiques : More-Moore (cœur CMOS), More than Moore (technologies différenciantes sur CMOS), Beyond CMOS (au-delà du mur du CMOS) et des quatre axes applicatifs qui sont :

1. la biologie et la santé ;
2. les télécoms et les applications des capteurs autonomes ;
3. les composants pour l'optique et la photonique ;
4. les nanotechnologies pour l'environnement et l'énergie.

La performance de la recherche amont menée depuis 2006 dans le cadre du financement Carnot s'est traduit par la création de start-up ou accords de licence pour six projets, le dépôt de 160 brevets, la signature de 20 contrats de collaborations externes et l'accueil de 107 nouveaux thésards et 55 postdocs.

Les infrastructures performantes de recherche sont un élément clé de la stratégie amont de l'institut Leti. Elles contribuent à l'attractivité du site de Grenoble par une ouverture aux projets de la communauté scientifique comme aux projets industriels et par un couplage avec les grands instruments.

- La plate-forme de nanocaractérisation développée grâce aux financements de la RTB et opérée conjointement par trois instituts du CEA (Inac, Leti et Liten) a permis de mettre au point des techniques de caractérisation adaptées aux nouveaux matériaux à l'échelle nanométrique et leur intégration dans des dispositifs. Ces investissements ont servi l'ensemble de la communauté scientifique via des projets menés avec les autres centrales technologiques et les laboratoires amont, avec la mise en place d'un *workshop* annuel CEA/CNRS.



> Plate-forme de nanocaractérisation.

- Opérée par l'Inac et la FMNT (Fédération des micro et nanotechnologies, CNRS/INPG/UJF), la Plate-forme de technologie amont (PTA), du site Minatoc à Grenoble, est une salle blanche de classe 1000 équipée pour réaliser des assemblages technologiques complexes multimatériaux afin de structurer la matière dans une gamme de résolution nanométrique.

Des partenariats forts avec les laboratoires académiques et les instituts de recherche sont inscrits dans le continuum amont-aval et basés sur la complémentarité des moyens et des compétences.

Dans le domaine des NEMS, le démarrage réussi de la collaboration entre Caltech et le Leti a induit l'exploration d'autres sujets



> Salle blanche.

qui pourraient bénéficier de la même complémentarité. Le Leti a aussi signé un MoU (Memorandum of Understanding) avec l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne), qui est classée parmi les meilleures universités mondiales.

Dans un contexte international très concurrentiel, le Leti a défini une stratégie de recherche amont qui lui permet de focaliser ses ressources sur ses axes stratégiques tout en explorant les opportunités de développement technologique aptes à ouvrir de nouveaux champs d'applications.

>

Focus sur...

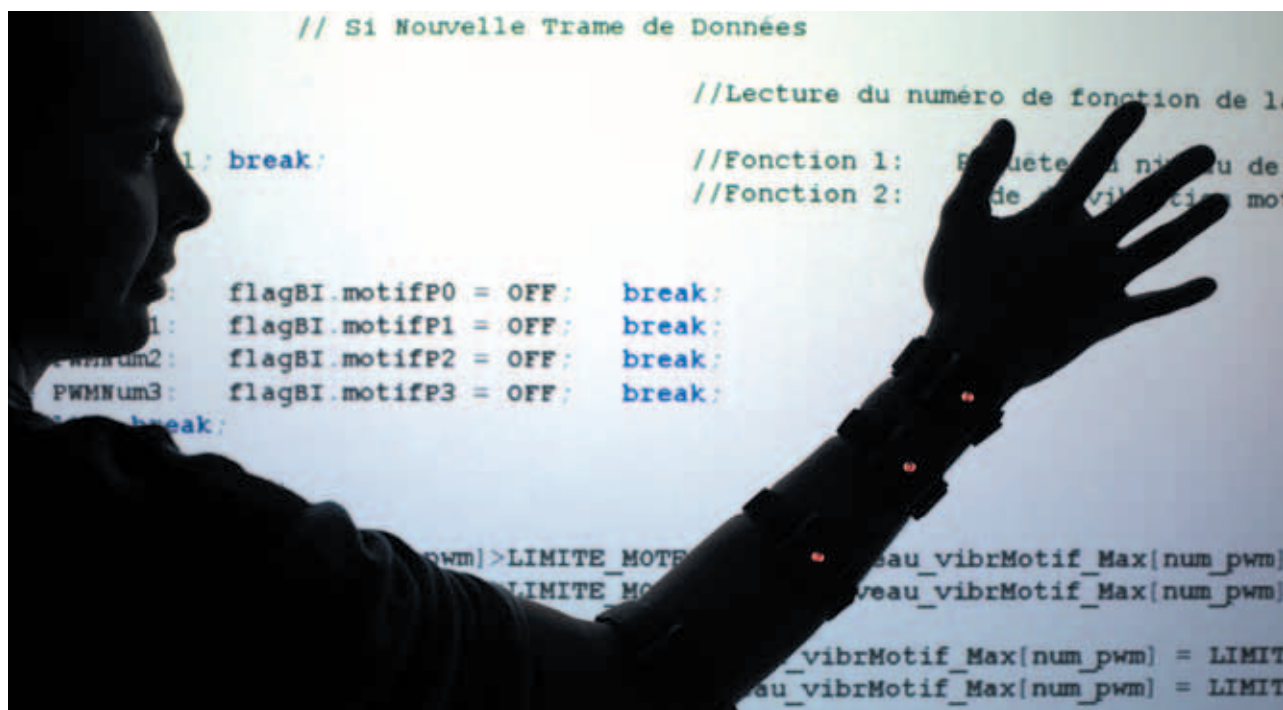


OLED BLANCHES SUR SUBSTRAT DE SILICIUM

La start-up française Microoled a développé avec l'institut Leti le premier écran WVGA (800 x 480) exempt de défauts, basé sur l'assemblage de couches OLED blanches déposées sur un substrat de silicium actif et de filtres colorés. La formation de défauts (points noirs résultant d'une contamination particulaire importante ou/et d'une contamination atmosphérique oxydante) a été évitée grâce à des développements technologiques n'altérant pas les performances lumineuses des OLED. La taille du pixel ($10 \times 10 \mu\text{m}^2$) engendre une résolution importante de l'écran, ce qui correspond à une résolution record pour ce genre de composant.

Technologies logicielles et systèmes

— L'institut List focalise ses recherches sur les systèmes à logiciel prépondérant, présents dans des secteurs applicatifs de plus en plus nombreux. Ce domaine couvre notamment les systèmes interactifs, les systèmes embarqués et les systèmes instrumentaux. L'Institut Carnot CEA List s'intègre dans l'écosystème de recherche du plateau de Saclay comme membre fondateur du RTRA Digiteo et partenaire de plusieurs pôles de compétitivité, dont System@TIC Paris-Région. L'institut développe ainsi une recherche technologique de pointe, au niveau national comme au niveau européen, grâce à son implication forte dans les projets de recherche partenariale avec les acteurs industriels.



> Interfaces sensorielles.

Systèmes interactifs

Les recherches dans ce domaine portent sur les interfaces homme-système pour améliorer la communication et la convivialité des interfaces. Elles intègrent matériel, mécanique et logiciel, avec une complexité à la hauteur de la difficulté des tâches à accomplir. Pour rendre leur utilisation la plus intuitive possible, leurs interfaces doi-

vent disposer de capacités de dialogue multimodal avec l'homme et d'un niveau d'intelligence suffisant pour communiquer avec lui au bon niveau d'abstraction. Pour relever ce défi, le List propose des technologies innovantes dans les domaines de l'ingénierie de la connaissance, de la robotique interactive et de la réalité virtuelle.

L'année 2008 a notamment permis deux avancées majeures :

- **Développement de l'interface rotative MR-Drive**, capable d'émuler le comportement des commandes d'un véhicule. Destinée à améliorer l'interaction homme-machine dans l'habitacle, cette nouvelle interface sensorielle à retour d'effort est basée sur l'utilisation de fluides magnéto-rhéologiques. Cette technique permet d'associer diverses « textures » aux fonctionnalités de l'habitacle (autoradio, GPS...).
- **Démonstration de navigation automatique d'un drone miniature** par fusion des informations capteurs GPS/inertiel/vision. Elle constitue une première validation des travaux du List sur l'autonomie de localisation et de navigation des systèmes mobiles. L'objectif principal est le développement des fonctions de perception pour la localisation *indoor/outdoor* à l'aide de solutions robustes et industrialisables. Le potentiel de valorisation de ces recherches est particulièrement important dans le domaine de la sécurité, mais leur caractère générique offre des perspectives d'applications dans de nombreux autres domaines (transports autonomes, assistance robotique, logistique...).

Systèmes embarqués

Les recherches menées ont pour objectif de fournir à l'industrie les méthodes et les outils dont elle a besoin pour développer les logiciels embarqués compétitifs, tout en garantissant leur sûreté et leur sécurité, ainsi que les logiciels systèmes et les architectures de calcul embarqué haute performance.

Pour être autonomes, les systèmes embarqués, équipements intelligents capables d'interagir avec l'environnement, intègrent une part de plus en plus importante de logiciel, souvent « enfoui » dans les constituants les plus élémentaires. C'est le cas des systèmes mobiles communicants utilisés dans les téléphones mobiles, les transports, l'habitat ou les équipements de santé. La forte augmentation du volume de données à traiter localement dans ces systèmes nomades conduit à des densités de calcul importantes. Les systèmes les plus critiques doivent de plus offrir une garantie de sûreté de fonctionnement et d'intégrité.

Pour répondre à ces enjeux, l'institut List propose des solutions optimisant l'intégration, l'innovation système et le génie logiciel. La conception d'un processeur de traitement d'images a permis de supporter les applications de vision pour l'assistance aux conducteurs dans les transports. Ce développement a été effec-



> Processeurs de traitement d'images appliqués à la conduite automobile.

tué en collaboration avec STMicroelectronics dans le cadre de la plate-forme eVision (embedded Vision) du List, qui couvre l'ensemble de la « chaîne de l'image ». Les applications ciblées sont le suivi de ligne pour la surveillance de la conduite (inattention, somnolence...), la détection des véhicules dans l'angle mort et la détection des piétons en situation dangereuse.

Capteurs et traitement du signal

Ce domaine couvre trois axes de recherche : le contrôle industriel, l'instrumentation et le traitement du signal pour la santé et la sécurité, ainsi que la métrologie des rayonnements ionisants. Pour interagir avec leur environnement, les systèmes intelligents



> Système de vision intelligent.

intègrent de plus en plus de capteurs leur permettant d'appréhender le monde physique qui les entoure. L'innovation est guidée par le fort besoin de miniaturisation et d'intégration des chaînes de mesure, l'accroissement important du nombre de paramètres à mesurer et la demande d'outils numériques pour la simulation et le développement des systèmes d'instrumentation complexes.

Les recherches de l'institut List sont centrées sur la conception de nouveaux capteurs pour les secteurs du nucléaire, de l'industrie manufacturière, de la santé et de la sécurité, sur le développement d'une instrumentation intelligente associée et d'architectures matérielles et logicielles performantes pour traiter en temps réel de grands volumes d'informations.

CRÉATION DE DEUX LABORATOIRES COMMUNS AVEC L'INDUSTRIE

- **Vision Lab, avec Thalès**, sur la vidéo protection, pour répondre aux enjeux de surveillance des environnements complexes (aéroports, gares, zones urbaines et sites industriels), notamment pour augmenter la sécurité des personnes et des biens.
- **Laboratoire commun avec la start-up Kalray**, pour développer la future génération d'architectures multicœurs, en réponse aux besoins importants de puissance de calcul des systèmes embarqués.

L'année 2008 a été jalonnée par plusieurs avancées technologiques :

- **Inauguration de la plate-forme Gerim** (Grand ensemble de recherche en instrumentation multicapteurs) en février 2008 : dotée d'une instrumentation et de capteurs multiéléments (contrôles par ultrasons et courants de Foucault) ainsi que d'un robot permettant les acquisitions sur différents types de pièces, Gerim constitue un équipement unique en Europe grâce à la mutualisation des moyens du List et de ses partenaires industriels (Dassault Aviation, EADS, EDF, M2M, Renault, SNCF, Safran...). Cette plate-forme permet notamment d'étudier de nouvelles technologies de capteurs : capteurs magnétiques à haute sensibilité, transducteurs ultrasonores souples intelligents, de développer de nouvelles techniques de contrôle et de valider les outils de traitement associés.
- **Premiers résultats du projet européen Computis**, qui vise à développer et valider de nouvelles méthodes d'analyse biochimique basées sur l'imagerie moléculaire par spectrométrie de masse. Deux techniques très complémentaires ont été mises en œuvre, adaptées à la masse atomique des molécules à détecter : la spectrométrie de masse des ions secondaires (SIMS) et la spectrométrie de temps de vol par désorption-ionisation par laser assistée par matrice (MALDI-TOF). Dans les deux cas, l'échantillon est une coupe de matériel biologique localement ionisée, pixel par pixel, et l'image obtenue par spectrométrie renferme, pour chaque pixel, des dizaines ou centaines de milliers de canaux indépendants constituant un spectre de masse complet. Une telle image permet potentiellement d'identifier et de localiser simultanément des dizaines ou des centaines de molécules différentes, sans aucun marquage préalable, le volume de données pouvant atteindre plusieurs gigaoctets par image.

>

Focus sur...



RÉALISATION D'UN DOSIMÈTRE DIAMANT INNOVANT

Issu d'une technologie particulièrement innovante, un premier démonstrateur basé sur un détecteur en monocristal de diamant a permis de valider une nouvelle solution pour le traitement des tumeurs par radiothérapie externe. Basée sur l'utilisation d'un cristal de diamant de grande pureté, cette innovation permet de répondre à la fois à la dosimétrie passive (par thermoluminescence) et à la dosimétrie active (par ionisation).

Grandes installations de recherche

— **Les très grandes installations (TGI) d'observation ou d'analyse,** comme les accélérateurs, les synchrotrons, les sources intenses de neutrons, les tokamaks, sont devenues incontournables pour le développement de la recherche fondamentale comme de la recherche appliquée.

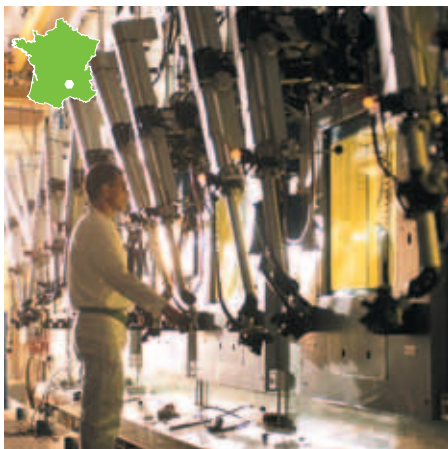
Ces TGI sont construites et exploitées dans le cadre de collaborations internationales par de vastes communautés d'utilisateurs qui, souvent elles-mêmes à leur initiative, apportent leurs expertises scientifique et technologique, de la conception à la mise en œuvre.

Elles ont un effet structurant pour les laboratoires, car elles sont non seulement des lieux de croisement des disciplines et de rencontre entre chercheurs, mais aussi des lieux de formation. À la demande de l'État, le CEA représente la France, souvent aux côtés d'organismes partenaires, dans les instances de pilotage des équipements d'envergure internationale.

ATALANTE (Marcoule)

Cycle du combustible

Les objectifs de l'installation nationale Atalante, au CEA Marcoule, sont de trouver les meilleurs procédés pour recycler uranium et plutonium, matières énergétiques valorisables présentes dans le combustible usé, réduire la radiotoxicité des déchets de haute activité et à vie longue, et les confiner de manière sûre et durable.



MIRCEN (Fontenay-aux-Roses)

Imagerie préclinique

La nouvelle plate-forme d'imagerie préclinique MIRCen, qui accélère le développement de nouvelles thérapies contre les maladies neurodégénératives, hépatiques, cardiaques et infectieuses, a été inaugurée le 24 novembre 2008. À proximité des grands hôpitaux d'Île-de-France et de centres de recherche de l'industrie pharmaceutique, MIRCen développe et évalue l'efficacité de nouvelles stratégies thérapeutiques, géniques, cellulaires, chirurgicales et médicamenteuses.



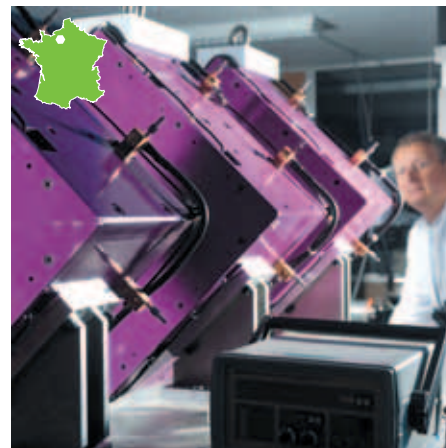
GANIL/SPIRAL 2 (près de Caen)

Physique nucléaire

Le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) est un des cinq plus grands laboratoires de recherche en physique nucléaire au monde. Le Ganil, Spiral 1 et bientôt Spiral 2, contribuent à l'amélioration des connaissances des noyaux exotiques pour la physique, l'astrophysique nucléaire et l'étude des matériaux sous irradiation, pour le domaine médical et celui de l'énergie.

LES CAVITÉS ACCÉLÉRATRICES DE SPIRAL 2 FONT MIEUX QU'ATTENDU

Le 8 décembre 2008, une équipe de l'Irfu a testé la tenue en puissance des cavités accélératrices supraconductrices de qualification qu'il a développées (avec l'IN2P3) pour le futur accélérateur du Ganil Spiral 2 à Caen. Le gradient accélérateur atteint par cette cavité est plus de 50 % supérieur à la valeur spécifiée de 6,5 MV/m.



LIL & LMJ (Cesta)

Lasers

La Ligne d'intégration laser (LIL) est ouverte à la communauté scientifique internationale pour des études de matériaux sous conditions extrêmes, d'astrophysique et de physique nucléaire. Cette installation nationale est le prototype du futur laser Mégajoule (LMJ) en construction sur le même site.

PORTE-ÉCRAN THERMIQUE POUR LE LASER MÉGAJoule

Conçu et fabriqué par l'Inac, le porte-écran thermique de la cible du LMJ a été transféré en juin au Cesta et testé en décembre. La cible cryogénique du LMJ, une microsphère de deutérium-tritium solide maintenue dans une membrane polymère à une température de 18 kelvins $\pm$ 2 mK, est entourée de son écran thermique. Celui-ci la protège du rayonnement infrarouge provenant de la chambre à vide.



CONFÉRENCE EUROPÉENNE FINALE D'ERIDWATCH

Le projet européen ERIDWatch (European Research Infrastructure Development Watch) a examiné la problématique des interfaces entre l'industrie et les infrastructures de recherche, notamment l'amélioration de l'implication des PME dans des partenariats de développement et les modalités d'aménagement des structures organisationnelles des infrastructures de recherche. Le résultat de ce travail a été présenté durant la conférence européenne finale d'ERIDWatch à Prague les 15 et 16 octobre 2008.



ITER (Cadarache)

Réacteur de recherche (fusion)

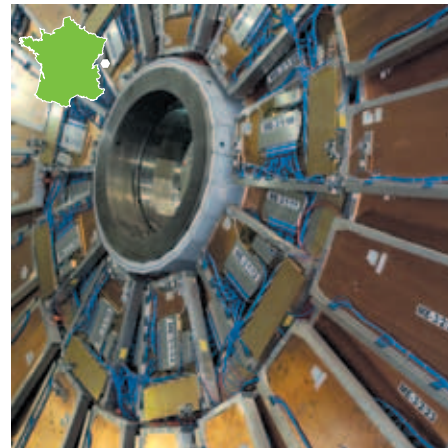
En construction, ITER sera un réacteur expérimental de fusion par confinement magnétique. Il vise à montrer la faisabilité scientifique et technologique de la fusion nucléaire contrôlée. Son enjeu est de maîtriser l'énergie de fusion qui produira de l'électricité à échelle industrielle d'ici à la fin du siècle. Le CEA mène des recherches sur la fusion depuis 20 ans, en particulier avec le tokamak Tore Supra.



ESRF (Grenoble) & Soleil (Saclay)

Synchrotrons

Parmi les synchrotrons de 3^e génération, source de photons X, deux installations : Soleil et ESRF. Soleil, instrument national à Saint-Aubin, ouvre de nouvelles perspectives pour étudier la matière avec une résolution de l'ordre du milliardième de mètre. Ses applications concernent notamment la physique, la chimie, les sciences de l'environnement, la médecine et la biologie. ESRF est une installation européenne de rayonnement synchrotron. Implanté à Grenoble, il permet d'étudier une large gamme de matériaux avec des applications en nanosciences, dans les semi-conducteurs et en biologie.



LHC (Genève/Suisse)

Physique des particules

Le LHC (Large Hadron Collider), implanté au Cern, est le plus puissant collisionneur proton-proton du monde. Mis en route en 2008, cet instrument international est dédié à la découverte du boson de Higgs et à l'exploration d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard telle que la supersymétrie, le nouvel état de la matière ou la violation de CP.

GRIF, UNE GRILLE DE CALCUL PARTAGÉE

Les scientifiques du CEA participent à l'exploitation et à l'interprétation des données récoltées dans les expériences du Cern, qui sont dirigées sur la grille de calcul au service de la recherche d'Île-de-France (Grif). Faisant partie du réseau mondial d'exploitation informatisée des données, la Grif associe des ressources informatiques de l'Irfu, de laboratoires du CNRS IN2P3 ainsi que du laboratoire APC à Tolbiac.

FUTURES TGI DE RECHERCHE EUROPÉENNES

Démarré en 2008, Icos est le projet européen de grande infrastructure piloté par le LSCE et financé dans le cadre du 7^e PCRD. Il est dédié à l'observation et à la mesure du gaz carbonique dans l'atmosphère, dans le cadre des recherches sur le changement climatique. En parallèle, ont été lancés 10 autres projets de recherche européenne dont Spiral 2, Prace (Calcul intensif) et la « grille de recherche ».



RJH (Cadarache) Orphée-LLB (Saclay), Osiris (Saclay) & ILL (Grenoble)

Réacteurs de recherche (fission) et source de neutrons

Le réacteur Jules Horowitz (RJH) sera un outil international de recherche appliquée en cours de construction à Cadarache. Il sera destiné à étudier le comportement des matériaux et des combustibles sous flux, dans les différents environnements physiques et chimiques de tout type de réacteurs.

Le réacteur de recherche national Orphée produit des neutrons destinés à l'étude de la matière. Le laboratoire Léon-Brillouin (LLB) exploite la grande majorité des lignes de neutrons d'Orphée et les met à disposition de la communauté internationale pour des applications en sciences des matériaux, magnétisme, supraconductivité...

Le réacteur de recherche national Osiris a pour but principal d'irradier sous haut flux de neutrons des éléments combustibles et des matériaux de structures des centrales électronucléaires de puissance. Il est engagé dans de nombreux programmes de recherche dans le domaine de l'électronucléaire et de production de radio-isotopes pour le médical et l'industrie pharmaceutique.

L'Institut Laue-Langevin (ILL) est un instrument européen. Douze pays européens sont membres de l'ILL. C'est la source de neutrons de référence en Europe pour étudier la structure et la dynamique de la matière. L'ILL est précurseur dans les recherches sur les nouveaux matériaux polymères, magnéto-résistants ou supraconducteurs.

CCRT (Bruyères-le-Châtel)

Calcul haute performance



Le Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) est équipé de différents types de calculateurs, parallèles et vectoriels, il est aujourd'hui un des premiers

centres de calcul européen, avec une puissance totale de plus de 50 téraflops. Il répond aux besoins de ses partenaires en matière de grandes simulations numériques et favorise les échanges et les collaborations scientifiques. Ses partenaires sont les pôles du CEA (énergie nucléaire, sciences du vivant, sciences de la matière, défense), Genci (Grand équipement national pour le calcul intensif) depuis fin 2007, des organismes de recherche et des industriels.

NEUROSPIN (Saclay)

Imagerie



NeuroSpin, au CEA Saclay, est un centre national de neuro-imagerie cérébrale par résonance magnétique nucléaire (IRM) en champ intense. Il vise à repousser les limites actuelles de l'imagerie cérébrale pour observer le cerveau et ses pathologies.

Valoriser :

expertise / brevets / formations

— **Le bilan scientifique s'appuie sur trois domaines complémentaires au CEA.** Les programmes de recherche sont régulièrement évalués par des experts de renommée internationale. Dans le cadre de ses missions, le CEA effectue le transfert de certaines technologies et est le premier organisme de recherche français dépositaire de brevets. Les offres de formations initiales ou continues sont proposées par l'Institut national des sciences et techniques nucléaires.



Évaluation scientifique du CEA

— Le dispositif d'évaluation mis en place par le CEA comporte deux niveaux se consacrant respectivement à la politique scientifique sur les grands thèmes de recherche de l'établissement et aux unités de recherche.



> Utilisation d'un spectromètre de masse.

L'évaluation de la politique scientifique est assurée par le Conseil scientifique du CEA, instance statutaire, et par un Visiting Committee, instance exceptionnelle dont le CEA s'est doté il y a huit ans afin d'apporter un regard international complémentaire sur ses stratégies et ses orientations scientifiques. Des personnalités scientifiques de rang mondial y examinent chaque année une thématique du CEA. En 2008, l'évaluation par le Conseil scientifique du CEA a porté sur la recherche fondamentale en chimie ; l'impression générale est très positive et le Conseil encourage le CEA à poursuivre sur sa lancée. Le Visiting Committee évaluera la même thématique au cours du printemps 2009.

La nouvelle Agence pour l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES) prend progressivement en charge l'évaluation des unités du CEA, dans le même esprit de conformité aux meilleures pratiques internationales qui prévaut dans l'établissement depuis plus de vingt ans. L'ensemble des activités de

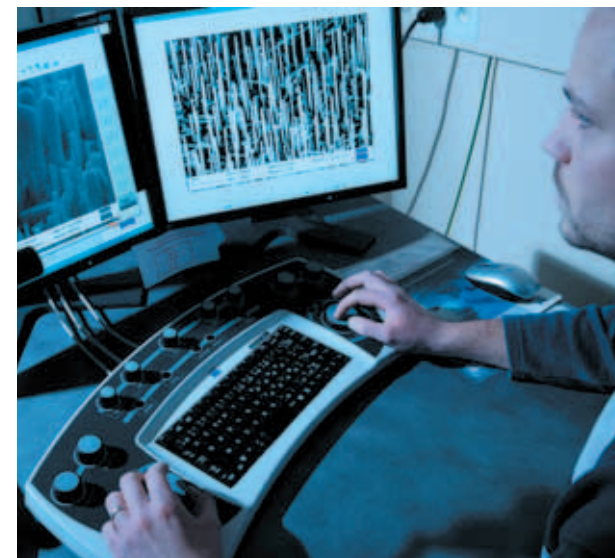


> Cellule du Laboratoire d'étude et de fabrication du combustible avancé.

recherche du CEA reste ainsi évalué sur une base quadriennale par des instances composées d'experts internationaux en quasi-totalité extérieurs au CEA.

Élément indispensable des dispositifs de recherche modernes, l'évaluation a pour vocation première de recueillir des avis et des recommandations sur la qualité de la recherche, sur sa pertinence et sur son positionnement national et international. Le dispositif CEA, en place jusqu'à fin 2009, comporte une trentaine de conseils scientifiques ou comités d'évaluations des unités du CEA et fait appel à près de 400 experts internationaux dont un tiers sont étrangers et moins de 3 % issus du CEA.

Conformément au calendrier prévisionnel, 15 thèmes du dispositif CEA ont reçu une évaluation en 2008. La Direction de la recherche technologique a procédé à l'évaluation de six thèmes : « Systèmes embarqués », « Systèmes interactifs », « Métrologie des rayonnements ionisants et traceurs »,



> Microscope électronique à balayage, utilisé pour les nanomatériaux.

« Photovoltaïque, stockage de l'énergie et efficacité énergétique », « Nanomatériaux et nanostructuration, matériaux, énergies nomades » et « Instrumentation pour la biologie ». Six thèmes du domaine « Réacteurs à eau légère » de la Direction de l'énergie nucléaire ont été évalués : « Combustibles avancés et modélisation », « Physique des réacteurs et expérimentation MTR », « Simulation », « Allongement du temps de vie et matériaux », « Sécurité » et « Aval du cycle ». Le Laboratoire des solides irradiés de la Direction des sciences de la matière, unité mixte CEA/CNRS/École polytechnique, a été examiné par l'AERES. Enfin, deux comités ont évalué le domaine « Détonique » de la Direction des applications militaires. Les unités de la Direction des sciences du vivant, qui furent toutes évaluées en 2005, le seront de nouveau en 2009. De plus, au cours de cette période, l'AERES a évalué 10 unités mixtes de recherche auxquelles le CEA est associé.

Le CEA : une vision unique de la valorisation de la recherche

— L'accélération des activités de transfert de technologie du CEA s'est poursuivie en 2008, grâce notamment aux synergies entre les unités opérationnelles et les services de valorisation (veille technologique, études marketing, propriété intellectuelle, négociation des contrats et création d'entreprise).

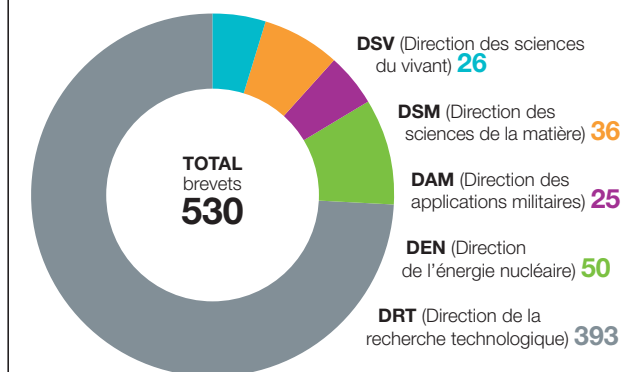


> Réglage du cryojet pour l'analyse d'échantillons contenus dans une plaque de cristallisation.

Elle s'est traduite notamment par une augmentation du nombre :

- > De nouveaux dépôts de brevets prioritaires du CEA en 2008 : 530 brevets ont été déposés (contre 431 en 2007). Dépassant ainsi pour la première fois la barre des 500 brevets déposés dans l'année, l'objectif défini en 2006 a donc été largement franchi. Une gestion au plus près des portefeuilles de brevets a été mise en place afin d'appuyer la stratégie de structuration des axes de recherche en vue du transfert de technologie et consolider ainsi les relations partenariales du CEA avec les industriels.
- > D'accords de collaboration signés en 2008 avec plus de 450 accords signés, dont :
 - plus de 70 accords de partenariat bilatéraux avec les industriels ;
 - plus de 300 accords de consortium sur programmes institutionnels financés par des agences de programme publiques (ANR, PCRD, FUI, Ademe...).
- > De start-up créées par le CEA en 2008 : ce sont huit nouvelles sociétés qui ont été créées en 2008 à partir de technologies du CEA, portant à 109 son nombre total. Parmi ces start-up, on peut citer notamment Kalray qui ambitionne de mettre sur

Répartition des brevets par pôle



le marché, dans les trois ans, une nouvelle génération de circuits intégrés programmables haute performance ou Cytoo développant un nouveau concept de puces à cellules.

- > D'expertises CEA Technologie-Conseil : 75 expertises ont été réalisées par des salariés CEA en 2008 contre 54 en 2007, en majorité pour des PME.
- > D'études marketing réalisées : elles sont passées de 26 en 2007 à 31 en 2008. De plus, pour renforcer le support aux unités dans le domaine de l'optimisation de leurs actions de valorisation et d'aide à la recherche des informations les plus pertinentes, le site de Grenoble a innové en regroupant les activités de marketing et de veille scientifique et technologique.

Par ailleurs, certaines activités de fond ont été menées parmi lesquelles l'information sur les technologies développées en interne à travers la revue *CEA-Technologies*, diffusée largement aux entreprises. Le CEA a également renforcé ses actions de collaboration avec les PME, par exemple avec sa participation au projet « École de l'innovation » de l'ANRT.

Enfin, une réflexion a été lancée sur la place des normes dans le cadre des activités de recherche avec l'AFNOR.

Focus sur...

CRÉATION DU LABORATOIRE IMPULSE

L'Iramis et la société Amplitude-Technologies annoncent en 2008 la création d'un laboratoire commun dont l'objectif est de développer de nouveaux concepts, ainsi que des techniques et des appareils de diagnostics innovants dans le domaine des lasers femtoseconde intenses.

CRÉATION DE L'ALLIANCE GRAFTFAST

L'Iramis a développé une nouvelle technologie de revêtement des surfaces, faiblement consommatrice en énergie et préservant l'environnement. Ce procédé fait l'objet d'un projet de start-up, Pegas-Tech, et d'un réseau technologique dédié, l'Alliance Graftfast. Il s'adresse à des marchés tels que le biomédical, les textiles, la métallisation des polymères... Pegas-Tech a été primé au concours 2008 d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes.

Enseignement et formation

— **Établissement d'enseignement supérieur, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN)** contribue à transmettre les savoirs et savoir-faire du CEA. Il accompagne ainsi les besoins du nucléaire en personnels qualifiés, tant dans le secteur de l'énergie que celui de la santé.



> Exercice d'intervention en milieu radioactif.

Des effectifs étudiants en hausse

Face aux besoins aigus de recrutement dans le domaine de l'ingénierie nucléaire, l'INSTN a revu à la hausse ses effectifs et développé de nouveaux cursus. S'agissant de la formation d'ingénieur de spécialisation en génie atomique, la promotion 2008 compte plus de 90 élèves civils – contre 50 en 2006 –, répartis entre Saclay et Cadarache, ainsi que 18 officiers navals à l'EAMEA (École des applications militaires de l'énergie atomique) de Cherbourg. La spécialité de master « Nuclear Engineering », cohabilitée avec l'université Paris-Sud 11, a démarré en septembre 2008 avec 19 étudiants. Elle constituera, en 2009, l'une des options du master « Nuclear Energy », en cours d'habilitation avec des écoles ParisTech, Centrale Paris, Supélec et Paris 11. L'« International School in Nuclear Engineering » a connu, pour sa seconde édition, une montée en puissance significative avec près de 90 auditeurs, pour la moitié des doctorants et étudiants.

Un enjeu national de santé est celui de la radiothérapie. Il a conduit, dès 2007, à accroître les effectifs du diplôme de qualification en physique radiologique et médicale. En 2008, ils ont été portés à 55 étudiants, à proportion des offres de stage dans les services hospitaliers agréés. Ce même enjeu a en outre pré-

sidé au lancement, en 2008, du projet Doséo, plate-forme d'innovation pour les technologies de la radiothérapie, dont l'INSTN sera partenaire. 2008 a par ailleurs vu le démarrage du programme européen de master en « imagerie moléculaire » (EMMI).

2008, un bon cru pour la formation continue

670 sessions ont été organisées, réunissant 7 760 participants, soit une hausse de fréquentation d'environ 4 %. Plus de 35 800 hommes x jours de formation ont ainsi été réalisés, dont

46 % en « exploitation des installations nucléaires et radioprotection », 27 % en « recherche et ingénierie nucléaires » et 14 % en « maîtrise des risques ». 40 % de l'activité a été consacrée au CEA, 30 % aux grands comptes (Areva, EDF, ASN, IRSN, CNRS) et 30 % à des PME nucléaires.

Parmi les actions « sur mesure » initiées en 2008, il faut citer la conception et la mise en œuvre de formations à l'anthropogammamétrie et la métrologie destinées aux personnels de santé des CNPE d'EDF. Par ailleurs, un accord-cadre a été signé avec la Direction générale de l'armement pour la réalisation de formations à la radioprotection, aux mesures radiologiques et aux rayonnements ionisants.

Enfin, il faut souligner le succès croissant des formations nucléaires en langue anglaise qui concrétisent le rôle émergent de l'INSTN à l'international.



> Cours de génie atomique.

Prix et distinctions

Prix

• **Neuf projets de chercheurs du CEA primés au 10^e concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes** organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Dans la catégorie création-développement :

- le projet Kalray, société en cours de création dirigée par Joël Monnier associé à **Michel Harrand** (DRT/List) et **Benoît Neyret** de la Direction de la valorisation (circuits intégrés programmables) ;
- la société Cytoo, dirigée par **François Chatelain** et **Alexandra Fuchs** du laboratoire Biopuces de la DSV et Michel Bornens de l'Institut Curie (supports de culture cellulaire *high-tech*) ;
- le projet d'entreprise Fluoptics porté par **Odile Allard**, **Philippe Rizo** (DRT/Leti) et Jean-Luc Coll (UJF-Inserm) (traceur fluorescent ciblant les tumeurs et instrument optique).

Dans la catégorie émergence :

- le projet NatX, piloté par **Nathalie Ferrer** et **Jean-Luc Ferrer**, issu de l'Institut de biologie structurale à Grenoble (systèmes robotisés intégrés) ;
- le projet Pegas-Tech porté par **Sébastien Roussel** (DSM/Iramis) (procédé de traitement de surfaces Graffast®) ;
- le projet Promise, porté par **Virginie Brun** et **Lauriane Kuhn** de la DSV (analyse protéomique) ;
- la société Asygn créée par **Nicolas Delorme** (DRT/Leti), Daniel Saias, Loïc Joët et Joël Monnier (logiciels et services pour systèmes analogiques et mixtes) ;
- le projet Nanomakers piloté par **François Ténégal** de la DEN (procédés sécurisés de production et d'intégration de nanopoudres) ;
- le projet Rosao porté par **Daniel Beysens** (DSM/Inac) (systèmes de condensation d'humidité atmosphérique).

• Treize Advanced Grants de l'ERC (European Research Council) ont été obtenus par la France, toutes disciplines confondues, dont trois au CEA (à la DSM, l'IPhT, l'Iramis et l'Irfu) :

- **David Kosower** (DSM/IPhT) est un des pionniers des calculs de précision en physique des particules élémentaires ;
- **Christian Glattli** est responsable du groupe nanoélectronique au service de physique de l'état condensé (DSM/Iramis/Spec) et a créé le groupe de physique mésoscopique du laboratoire Pierre-Aigrain (ENS Paris). Il s'intéresse à la physique quantique des gaz électroniques et à celle des nanotubes de carbone et du graphène ;

– **Jean-Luc Starck** (DSM/Irfu/Sedi). Ses recherches concernent le traitement des images et les méthodes statistiques en astrophysique et la cosmologie.

• Prix du meilleur papier de l'AFRV dans la conférence VRIC 2007 décerné à **Margarita Anastassova** (DRT/List) pour « User-Centered Design and Evaluation of Augmented Reality Systems for Industrial Applications: some Deadlocks and Breakthroughs ». Anastassova, M., Burkhardt, J.-M. & Mégard, C. (2007).

• **Karim Ben M'Barek**, étudiant en master 2 « biologie du vieillissement », a été récompensé par la Société française de radioprotection (SFRP) pour son projet de recherche concernant les effets des radiations ionisantes sur la division et la migration des cellules souches et progéniteurs nerveux qu'il développe au sein du laboratoire de radiopathologie (DSV/LRP/IRCM).

• **Luc Bergé**, directeur de recherche à DIF/DPTA, a été élu Fellow de la Société américaine d'optique pour ses travaux sur l'autofocalisation optique, en particulier le collapse d'ondes, la filamentation et la compression d'impulsions ultracourtes.

• La thèse de **Joël Bergé** (DSM/Irfu), sur l'utilisation des lentilles gravitationnelles faibles pour la mesure à haute précision de paramètres cosmologiques, vient d'être récompensée par le prix Perrissin-Pirasset/Schneider de la Chancellerie des universités de Paris.

• **Lucien Besombes** (équipe mixte Institut Néel/CNRS/Inac) a reçu le prix Herbrand de l'Académie des sciences. Il a contribué de façon essentielle au développement des études de spectroscopie optique sur les structures nanométriques que sont les boîtes quantiques, selon la citation du palmarès.

• **Jérôme Boisbouvier** (IBS-CEA) est lauréat de la médaille de bronze CNRS pour l'année 2008.

• Le Groupe français de la céramique a attribué pour la 2^e année consécutive à **Anne-Cécile Bravo** (DAM/DMAT) le prix du meilleur poster (concours ouvert aux doctorants) pour son étude *Élaboration de céramiques transparentes de Yb:Sc2O3 pour application laser à partir de poudres préparées par voie céramique traditionnelle ou par chimie douce*.

• L'exposé technique de **C. Cabet** (DEN/Lecna) dans la session Matériaux et composants (Corrosion Issues of HTR Structural Materials) s'est vu décerner le prix de la meilleure communication à un chercheur confirmé lors du 4^e congrès HTR (4th International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology).

• « Le Défi de l'apprentissage » a été décerné au **CEA/DIF** par la chambre de commerce et d'industrie de l'Essonne dans le cadre du dispositif « L'apprentissage en quatre étapes ».

• Le projet Gallimed, sur le développement et la validation de nouveaux radiopharmaceutiques, impliquant une **équipe du Ci-Naps** (DSV/I²BM, CEA/Caen) a reçu le label Eureka. Ce label est une initiative intergouvernementale de soutien à la coopération technologique européenne.

• La Société de mathématiques appliquées et industrielles (Smai) a décerné deux prix pour des travaux sur le transfert radiatif, dont l'un à **Jean-François**

Clouët (DAM/DCSA). Ce prix récompense une série de publications dans des revues scientifiques sur la modélisation physico-numérique du transport des photons.

• **Dai Aoki**, chercheur japonais à l'Inac, a été primé par la Commission de physique des basses températures de l'Union internationale de la physique fondamentale et appliquée (IUPAP). Ses travaux portent sur la supraconductivité non conventionnelle dans les systèmes électroniques fortement corrélés dits « fermions lourds ».

• L'Académie royale néerlandaise des sciences a décerné à **Stanislas Dehaene** (DSV/NeuroSpin, I²BM) l'un de ses grands prix scientifiques, le Dr A.H. Heineken Prize for Cognitive Science, pour ses recherches visant à élucider les bases cérébrales des opérations les plus fondamentales du cerveau humain : lecture, calcul, raisonnement, prise de conscience.

• **Gaël de Paepe** (DSM/Inac) est lauréat d'une chaire d'excellence ANR 2008, pour le développement d'une nouvelle méthodologie de RMN.

• Le grand prix SFEN 2008 a été accordé pour la nouvelle version validée et qualifiée du code neutronique Apollo2, répondant aux exigences d'Areva-NP et d'EDF. Ce travail de plusieurs années est mené en collaboration entre **DM2S/Serma, DER/SPRC, Areva-NP** et EDF.

• **Marc Dhenain** (DSV/I²BM/MIRCen) a été l'un des lauréats de l'association France-Alzheimer pour son projet intitulé *Évaluation des effets d'une immunothérapie anti-amyloïde chez les primates et développement d'un nouveau modèle primate de la maladie d'Alzheimer*.

• Le projet Descartes, auquel participe la **DAM/DASE**, a été labellisé par la Direction générale des entreprises (ministère de l'Industrie) pour entrer dans le pôle de compétitivité System@tic Paris-Région. Ce projet a pour but de concevoir une plate-forme d'outils logiciels de simulation physique, de modélisation comportementale et de cartographie, qui sera mise à la disposition des autorités pour prévoir et gérer des crises en cas de catastrophe naturelle, d'attentat ou d'accident.

• La 37^e conférence internationale Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry (CALPHAD), à Saariselkä (Finland), a rassemblé de nombreux spécialistes de la thermochimie appliquée au calcul de diagramme de phase. La présentation (**DPC/SCP** en collaboration avec **DEN/DEC, DEN/DTEC**) qui portait sur la présentation de la base FUELBASE, développée pour les combustibles nucléaires, a obtenu le prix du meilleur poster.

• **Bérangère Dubrulle** (DSM/Iramis/Spec) a reçu le grand prix François-Victor Noury de l'Académie des sciences, encourageant le développement de la science, pour ses travaux sur la turbulence et applications à la géophysique et l'astrophysique.

• **Marion Duclercq**, doctorante au (DEN/SEMT/Emsi), a reçu le 3^e prix du poster scientifique décerné lors des Doctoriales® 2008 de la DGA et de l'École polytechnique. Le poster présentait ses travaux de recherche de thèse sur le comportement sismique de cœurs de réacteurs nucléaires avec prise en compte de l'interaction fluide-structure.

• **Le projet européen EPICA** (European Project for Ice Coring in Antarctica), auquel participe le **LSCE**, a reçu le prix Descartes pour la recherche, décerné à Bruxelles par l'Union européenne. Le projet EPICA, mis sur pied sous l'égide de la Fondation européenne de la science et conduit par 12 partenaires de 10 pays différents, a permis de reconstruire des enregistrements climatiques exceptionnels à partir de deux carottages réalisés en Antarctique.

• **Véronique Ferlet-Cavrois, Jacques Baggio et Philippe Paillet** (DAM/DCRE) ont obtenu pour la quatrième fois consécutive le prix du meilleur papier à la conférence NSREC 2008 (Nuclear and Space Radiation Effects Conference).

• **Gérard Gebel** (DSM/Inac/SPRAM) reçoit le prix Emilia Valori de l'Académie des sciences. Il dirige le groupe « Polymères conducteurs ioniques » qui travaille sur la structure, le transport et le vieillissement des membranes polymères pour pile à combustible.

• Le prix Quantum Device Award a été décerné à **Michel Gérard** (DSM/Inac) pour ses « Contributions to the physics of quantum dots, in particular the demonstration of the Purcell effect in semiconductors ».

• Le projet **INNOVIA** (plate-forme d'apprentissage de geste technique en réalité augmentée), porté par Renault et l'Institut CEA List, a remporté le prix Laval Virtual 2008 dans la catégorie Aéronautique, Automobile et Transport.

• Best Paper Award à la conférence IEEE International Symposium on Micromechatronics and Human Sciences (MHS 2003) à Nagoya au Japon pour le papier intitulé : « Electromagnetically Driven High-Density Tactile Interface Based on a Multi-Layer Approach ». Les auteurs/Benali-Khoudja **M. Hafez, J-M. Alexandre**, et **A. Kheddar** (DRT/List).

• **Gergely Katona** a été récompensé par l'Académie des sciences pour son travail à l'IBS (CEA/Grenoble) sur la superoxyde réductase.

• Le prix de la Jeune Équipe du 7^e Festival des sciences et technologies a été décerné à l'équipe « sécurité » du **Laboratoire de mesures nucléaires** qui s'est formée récemment autour du projet européen Euritrac (2004-2008). Celui-ci vise à développer un système de détection d'explosifs dans des conteneurs de marchandises.

• Le prix la Recherche 2008, mention Énergie, décerné par le magazine *La Recherche*, a été attribué conjointement à **Erik Lefebvre**, chef du Laboratoire interaction rayonnement matière du centre CEA/DIF, **Victor Malka**, directeur de recherche au CNRS, et à **Jérôme Faure**, chargé de recherche au CNRS, deux chercheurs du Laboratoire d'optique appliquée, pour leurs travaux sur les accélérateurs laser-plasma.

• **Hélène Lesueur** (DSM/Iramis) a reçu le prix Madeleine Lecoq de l'Académie des sciences pour sa thèse *Un AFM-STM cryogénique pour la physique mésoscopique*. Ce prix est décerné à une femme venant de soutenir sa thèse, inscrite dans un laboratoire propre ou associé du CNRS ou de l'Inserm.

• Best IEEE/ASME Student paper Award à la conférence IEEE/ASME International Conference on Advances Intelligent Mechatronics AIM 2007, Zurich, Switzerland, Septembre 2007, intitulé du papier « A Novel Haptic Interface for Musical

Keyboards » auteurs : **José Lozada, Moustapha Hafez** (DRT/List) et **Xavier Boutillon**.

• Le **LSCE** a reçu le prix des Techniques innovantes pour l'environnement décerné par l'Ademe, lors du salon Pollutec, pour la mise au point du premier dispositif d'analyse chimique des aérosols en continu.

• Un projet impliquant le **LR/DMAT** a été récompensé par le prix spécial du jury lors des journées Prebat (Programme de recherche sur l'énergie dans le bâtiment de l'Agence nationale pour la recherche). Ce projet porte sur la modélisation des propriétés radiatives de matériaux très poreux pouvant constituer les futurs isolants thermiques des bâtiments.

• **Guillaume Martin** (DEN/DEC/SESC) a reçu le prix SFEN Jacques Gaussens pour ses travaux de thèse sur l'étude et la simulation de la diffusion de l'hélium dans l'UO₂.

• Le prix Aymé Poirson 2008 de l'Académie des sciences, dans le domaine des applications des sciences à l'industrie, a été décerné à **Myriam Pannetier-Lecœur et Claude Fermon** (DSM/Iramis/Spec) pour leurs travaux de développement de capteurs magnétiques ultra-sensibles.

• Le prix Science et Défense a été attribué à **Jean-Paul Périn** pour ses travaux sur la cryogénie réalisés dans le cadre du projet laser Mégajoule. Jean-Paul Périn est directeur de recherche à la Direction des sciences de la matière et assistant du directeur du programme Simulation de la DAM.

• Le prix de la meilleure communication étudiant reçu lors de la conférence ISOM (International Symposium on Optical Memories) a récompensé la présentation de **Joseph Pichon**, thésard Cifre-MPO, pour la non-linéarité exceptionnelle du matériau InSb développé dans le cadre d'un projet Eurimus en partenariat avec Thomson.

• **Paul-Henri Roméo** (DSV/IRCM/ADM) a reçu le prix Raymond Rosen 2008 de la Fondation pour la recherche médicale. Ce prix est décerné à un chercheur dont les travaux et les études sont orientés sur le cancer et sa guérison.

• Le projet **SAS-VH** (Système d'accès sécurisé aux véhicules ferroviaires pour les personnes à mobilité réduite), auquel participe l'Institut CEA List, financé par la Drast et porté par la SNCF a été primé lors du Carrefour du PREDIT les 5 et 7 mai 2008.

• Le projet **SEEDS** (Smart Embedded Electronic Diagnosis System) a reçu le prix « Intégration des Systèmes d'information et de communication » coordonné par l'Institut CEA List lors du Carrefour du PREDIT 3 le 6 mai 2008.

• La Société française de chimie thérapeutique a décerné le prix Paul Ehrlich 2008 au **Service de chimie bio-organique et de marquage** (iBiTec-S, CEA/Saclay), pour sa contribution importante dans le domaine de la chimie thérapeutique.

• Lors du congrès Euromar 2008 (Saint-Petersbourg), **Guisepppe Sicoli**, post-doctorant à l'Inac a été récompensé pour ses travaux sur les changements de conformation de l'ADN grâce la résonance paramagnétique électronique pulsée.

• **Renaud Sirdey** (DRT/List) a reçu le prix de thèse « Guy Dénélou » 2008 décerné par l'école doctorale de l'université de technologie de Compiègne.

• Lors de la Winter Conference on Plasma Spectrochemistry qui s'est tenue à Temecula (USA), **Sylvain Topin**, doctorant à la DAM/DASE, a reçu le prix du meilleur poster décerné par la revue *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. Ses travaux portent sur la spéciation du plutonium en milieu environnemental par le couplage électrophorèse capillaire – torche à plasma – spectrométrie de masse.

• Le grand prix thématique Aniuta Winter-Klein de l'Académie des sciences, récompensant des travaux contribuant à la connaissance des sciences physiques et de leurs applications, a été attribué à **Éric Vincent** (DSM/Iramis/Spec), pour ses travaux sur les verres de spin et les systèmes désordonnés.

• **Jean Weissenbach**, chef de l'Institut de génomique de DSV, a reçu la médaille d'or du CNRS. Il est le pionnier de l'exploration et de l'analyse des génomes et en particulier de celles du génome humain.

• Le grand prix Michel Gouilloud Schlumberger de l'Académie des sciences, récompensant un chercheur de moins de 40 ans dans le domaine des sciences de l'Univers (géologie ou géophysique) appliqué à l'industrie pétrolière, a été attribué à **Jean-Marc Zanotti** (DSM/Iramis/LLB) pour ses travaux sur la dynamique de l'eau sous confinement nanométrique et aux interfaces.

• Le prix SFEN Jacques Gaussens, décerné chaque année à un chercheur de moins de 35 ans pour un travail approfondi dans un domaine scientifique ou technique, a été attribué à **Béatrice Zoppé** (DER/SSTH/LMDL) pour ses travaux sur la modélisation d'écoulements à surface libre et surface solide mobiles rencontrées en génie chimique.

Distinctions

• **Élisabeth Bouchaud**, physicienne (DSM/Iramis), a été nommée au sein du Collège des membres représentatifs des communautés scientifiques et techniques et des différents secteurs de la recherche.

• **Laurent Bourgois**, du Département analyse, surveillance, environnement (DAM/DASE), a été nommé, par le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), membre du Groupe permanent d'experts en radioprotection des travailleurs et du public pour les applications industrielles et de recherche des rayonnements ionisants, ainsi que pour les rayonnements ionisants d'origine naturelle (GPRAD).

• **Jean Jouzel**, climatologue, directeur de l'Institut Pierre Simon Laplace et chercheur au LSCE, est membre au Comité de pilotage de la stratégie nationale de recherche et d'innovation, aux côtés d'industriels et d'universitaires.

• **Patrick Soukiasian** (DSM/Iramis) est élu membre de l'Académie des sciences d'Arménie.

• **Catherine Vuilleumard**, de DSV/I²BM/SHFJ, a été nommée par l'ASN membre du Groupe permanent d'experts en radioprotection des professionnels de santé, des patients et du public pour les applications médicales et médico-légales des rayonnements ionisants (GPMED).

L'accompagnement des programmes

Accompagner :

coordination / assistance / support

— Le CEA est implanté sur neuf centres de recherche. Fort de ses 15 618 techniciens, ingénieurs, chercheurs et administratifs, il coordonne et met en place des actions communes pour mener à bien les recherches, les partenariats nationaux et internationaux. Il tisse un réseau de relations et de diffusion tant en interne qu'en externe pour animer et fédérer son personnel.



Le pilotage du CEA

— **Les programmes civils du CEA sont définis dans le cadre du contrat pluriannuel entre l'État et le CEA**, signé par les ministres de tutelle et l'administrateur général du CEA en 2006. Ce contrat fixe les orientations et les objectifs pour les programmes du CEA pour la période 2006-2009 et constitue un référentiel commun permettant d'être plus lisible, plus légitime et plus efficace dans les choix stratégiques de l'établissement. Fruit d'un long processus de concertation entre les pouvoirs publics et le CEA, il est une déclinaison du Plan à moyen et long terme (PMLT) à 10 ans, expression de besoins consolidée du CEA. Ce dernier est actualisé régulièrement pendant la durée du contrat en fonction des évolutions de la recherche et de son contexte pour adapter la vision de l'avenir.



> Vue extérieure du bâtiment Minatéc à Grenoble.

Le contrat conforte les deux axes de recherches stratégiques du CEA : d'une part les énergies non-émettrices de gaz à effet de serre, dont le nucléaire (fusion et fission) et les nouvelles technologies de l'énergie (solaire, hydrogène et piles à combustible, batteries), d'autre part les technologies pour l'information et la santé. Le troisième axe, Défense et sécurité globale, n'est pas intégré dans le document et fait l'objet d'une procédure distincte. Dans ces trois domaines essentiels pour le pays, le CEA joue un rôle unique en assurant une bonne articulation entre la recherche, l'innovation et l'industrie, porteuse de développement économique et de création d'emplois. Par ailleurs, y est réaffirmée une des spécificités du CEA qui comprend une forte composante de recherche fondamentale, à laquelle est affecté un tiers des moyens.

Face à ces enjeux, l'action du CEA s'appuie notamment sur les nouveaux outils mis en place par le gouvernement pour améliorer le système de recherche et d'innovation (ANR, Oseo, labellisation Carnot, pôles de compétitivité...) et sur son intégration dans l'environnement européen (European Research Council, 7^e PCRD) et international. Enfin, la mise en place de jalons et d'indicateurs de performance permet de rendre compte régulièrement des grandes étapes franchies dans la réalisation des objectifs de ce contrat.

Le pilotage interne de l'établissement s'est poursuivi en s'appuyant sur les différents outils créés pour une meilleure efficacité globale du dispositif. Ainsi, pour le suivi scientifique et technique des programmes, des « réunions-programmes » ont

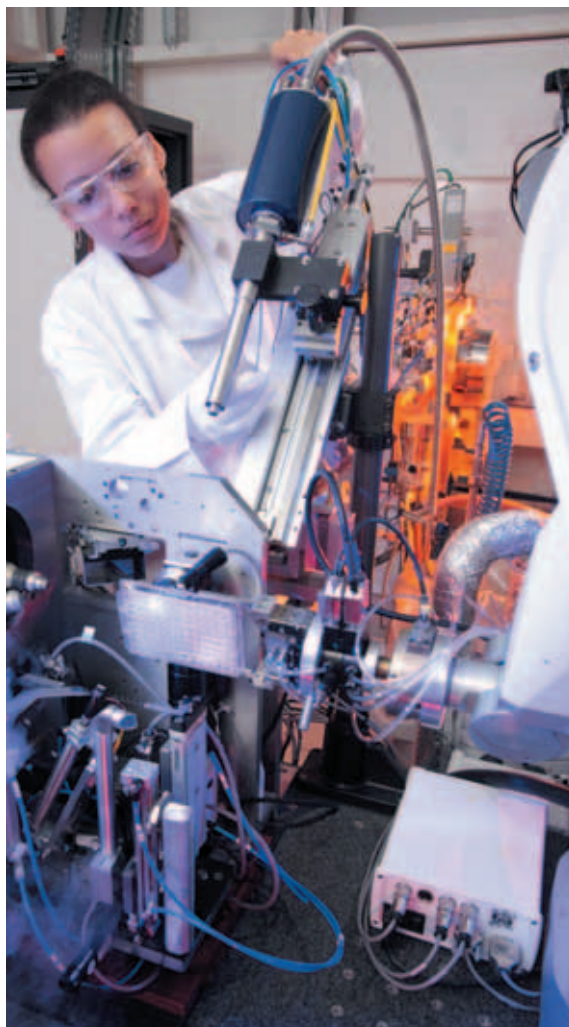
été consacrées à des domaines variés comme les systèmes nucléaires du futur, la nanoélectronique, les mathématiques, les développements logiciels et les systèmes complexes, l'enseignement, ainsi qu'aux cinq programmes transversaux : technologies pour la santé, sécurité globale et non-prolifération, nanosciences, nouvelles technologies de l'énergie, matériaux. Présidées par l'administrateur général, ces réunions regroupent le haut-commissaire à l'énergie atomique, l'administrateur général adjoint, le directeur des programmes, les directeurs des pôles opérationnels et des experts invités en fonction du programme abordé et sont suivies de « comités d'orientations stratégiques » en comité restreint au cours desquels sont prises les décisions afférentes. Cette année encore, ces réunions ont été l'occasion de constater la bonne dynamique créée par les programmes transversaux et les synergies qu'ils entraînent à l'intérieur du CEA.

Parmi les outils de pilotage financier, le « comité d'investissement » permet d'examiner les grands investissements liés aux programmes de recherche, d'assainissement et de démantèlement ainsi que ceux liés aux opérations patrimoniales. Au cours de l'année 2008, les séances du comité ont été principalement consacrées à l'analyse des projets d'installations de gestion des déchets Ametiste et Arccad, du renouvellement des restaurants du centre de Marcoule, du renforcement de l'installation Star, et de plusieurs projets majeurs de grandes installations de R&D, le Très Grand Centre de calcul à Bruyères-le-Châtel, le Bâtiment des industries intégratives sur le site de Minatéc à Grenoble et le projet d'imagerie à haut champ Iseult sur le site de NeuroSpin à Saclay. Présidé par l'administrateur général adjoint et réunissant la Direction financière, la Direction des achats et des ventes et la Direction des programmes, ce comité contribue à une meilleure harmonisation des décisions d'investissements sur les centres, à l'optimisation de la gestion financière des grands projets du CEA et ainsi à la conduite d'une véritable politique d'entreprise.

Par ailleurs, des « conseils de direction restreints » et des « conseils de direction opérationnels » se réunissent régulièrement autour de l'administrateur général pour prendre les décisions afférentes aux orientations et au fonctionnement de l'établissement. De plus, un « séminaire de direction » réunit régulièrement toute la hiérarchie du CEA pour mener une réflexion d'ensemble sur des sujets d'intérêts communs.

Les ressources humaines

— Au 31 décembre 2008, le CEA comptait 15 618 salariés permanents se répartissant entre 55,6 % de cadres et 44,4 % de non-cadres. Ils étaient 11 135 salariés dans le domaine civil et 4 483 à la DAM. Le taux d'emploi féminin s'élevait à 30,1 %. Par ailleurs, le CEA a employé 1 115 doctorants et post-doctorants, 375 apprentis ainsi que 1 767 stagiaires.



> Plate-forme Restaure de caractérisation de plaques et de cellules solaires.



> Dispositif d'échantillons biologiques.

Accord sur la gestion des emplois et des compétences (GPEC) et mise en place de l'intéressement

Durant l'année 2008, 493 recrutements ont été réalisés, dont 38 % de femmes. 61 % ont concerné les métiers scientifiques et techniques et 24 % l'assistance technique aux programmes et les domaines de la sécurité/sûreté/qualité.

Dans le même temps, 589 salariés ont quitté le CEA, dont 49 % de départs en retraite ou en cessation anticipée d'activité et 51 % de sorties externes d'autre nature, correspondant notamment à des évolutions professionnelles hors du CEA.

L'année 2008 a été marquée par la signature d'un accord sur la gestion des emplois et des compétences (GPEC) au CEA. Cet accord – conclu pour une durée de trois ans – constitue un engagement du CEA en matière de méthode et d'information. La GPEC concilie une approche collective, fondée sur l'analyse des besoins actuels et futurs du CEA et une approche individuelle, qui doit favoriser l'adéquation entre ces besoins et les projets professionnels des salariés. Les données quantitatives et qualitatives sur la situation de l'emploi et une vision prospective sur les évolutions de métiers, sur les compétences jugées critiques, ainsi que sur les installations, programmes ou activités pouvant connaître des évolutions significatives seront présentées annuellement en Commission économique et de l'emploi du Comité national. L'approche individuelle de la GPEC, quant à elle, repose sur l'entretien annuel, les revues de personnel et le nouvel entretien d'évolution professionnelle.

Un autre événement marquant est à relever : la signature d'un accord d'intéressement pour les années 2008 à 2010. Dépendant de critères quantifiables, l'intéressement repose sur les résultats atteints collectivement par les salariés. Ils traduisent la dynamique de recherche et d'innovation et la rigueur de gestion de l'organisme. Cinq critères principaux ont été retenus au CEA, complétés par deux critères additionnels. Le montant distribué au titre de l'intéressement est proportionnel au résultat obtenu. La prime individuelle d'intéressement sera versée aux salariés bénéficiaires en juillet 2009, pour l'intéressement au titre de l'année 2008.

Les relations internationales

— Le CEA assure, à travers sa **Direction des relations internationales (DRI)**, les rôles de conseiller du gouvernement pour la politique nucléaire extérieure (et plus spécifiquement par la mise en place opérationnelle de la politique dynamique de coopération), de gouverneur à l'AIEA, de secrétariat du Comité technique Euratom, ainsi que la promotion des collaborations dans les domaines du nucléaire et de la recherche fondamentale et technologique.



> Conférence ministérielle GNEP à Paris.

Coopérations bilatérales renforcées avec ses partenaires historiques

Europe⁽¹⁾

Les relations bilatérales européennes ont été marquées par le renforcement du partenariat avec l'Allemagne. C'est ainsi que le rapprochement du CEA et l'association Helmholtz s'est concrétisé par la signature de deux accords de partenariat avec les centres de Jülich (FZJ) et de Karlsruhe (FZK). Les thématiques suivantes font l'objet d'actions spécifiques : calcul intensif, simulation, nanotechnologies, santé et biotechnologies. Les partenariats stratégiques signés en 2008, par la France, avec les États nouvellement entrés dans l'Union européenne comportent tous un important volet « Énergie » ; le CEA a participé à leur préparation et est impliqué dans leur mise en œuvre.

Amériques

Le CEA a conclu un protocole d'entente avec le CNRC (Canada) sur les thèmes de la lutte contre la maladie d'Alzheimer, le développement d'énergie sans émission de gaz à effet de serre, les carburants de substitution, la physique attoseconde, notamment. Avec le Brésil, un plan d'action pour le partenariat stratégique global a été adopté fin 2008. Le volet nucléaire prévoit, entre autres, une coopération accrue dans les domaines de la formation et de la recherche.

Grands pays du Sud

Le Département de l'énergie atomique indien (DAE) devient le huitième partenaire du CEA pour le projet du réacteur Jules Horowitz (RJH) ; DRI a bien sûr contribué à la finalisation de coopération nucléaire intergouvernementale. Avec l'Afrique du Sud, un accord

de coopération dans les domaines de la recherche fondamentale, des techniques du nucléaire, de la responsabilité civile, de la formation, et de la communication vers le public a été signé par le directeur de Necsa et par l'administrateur général du CEA.

Extrême-Orient

Au Japon : on notera, la déclaration conjointe sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire par le Premier ministre, accompagné de l'Administrateur général du CEA lors de la visite de l'usine de retraitement RRP (transfert de technologie de La Hague) en avril 2008. Par ailleurs, le CEA a maintenu des relations et négociations à haut niveau en Chine et en Corée avec la tenue des comités de coordination correspondants.

Nouveaux développements nucléaires à l'international : création de l'Afni

L'Agence France nucléaire international (Afni) a été créée au sein du CEA afin de soutenir la politique de coopération nucléaire visant à mettre à disposition des technologies éprouvées dans un cadre garantissant la non-prolifération et la sûreté. L'intervention de l'Afni se situe après la phase diplomatique (qui aboutit à un accord intergouvernemental) où est impliquée la DRI et avant toute phase commerciale. Elle a pour mission de conseiller, dans le plus strict respect des règles et engagements internationaux, les pays émergents au nucléaire civil dans la mise en œuvre des infrastructures (aspects techniques, institutionnels, formation des personnels), deux zones d'action prioritaires, Afrique du Nord - Moyen-Orient et Asie du Sud-Est, étant déjà engagées.

Partenariats multilatéraux : GIF et GNEP

La Chine devient un membre actif du Forum international génération IV (GIF, sous présidence française depuis 2006) avec la signature de l'arrangement système du réacteur très haute température.

Le CEA a participé activement à l'initiative américaine Global Nuclear Energy Partnership (GNEP), avec l'organisation par le CEA de la conférence ministérielle d'octobre 2008 à Paris (25 pays membres), sous la présidence de M. Borloo, ministre de l'écologie et du développement durable (www.gneppartnership.org).

Le CEA a pris en 2008 la présidence d'un des deux comités de l'accord international sur l'hydrogène, l'IPME (International partnership on Hydrogen Economy).

(1) À l'occasion de la présidence française de l'UE, les affaires communautaires sont présentées cette année en pages 4 et 5 du présent rapport.

Communication et diffusion de l'information

— La Direction de la communication a pour mission de relayer vers le grand public, les décideurs et les médias l'engagement du CEA à se mobiliser sur des sujets cruciaux en ce début de XXI^e siècle : énergies bas carbone, défense et sécurité globale, technologies de l'information et de la santé. Organisme public, le CEA se doit d'informer nos concitoyens sur les enjeux de ses recherches et les résultats scientifiques et techniques obtenus, mais également sur les valeurs et la stratégie qui guident son action.



> Exposition « Grand récit de l'Univers » à la Cité des Sciences et de l'Industrie.

Information du public, diffusion des connaissances, événements

Le CEA met à disposition du plus large public ses résultats de recherche et les outils pédagogiques permettant de mieux en comprendre le fondement scientifique et les enjeux pour notre société. Le magazine *Les Défis du CEA* a poursuivi son rythme mensuel. Un numéro spécial a traité de la sécurité des citoyens, thème du stand CEA à la Ville européenne des sciences. Un numéro thématique de la revue *Clefs du CEA* a été publié sur le thème « Omniprésent magnétisme » et un numéro *Terre et environnement* a été réalisé et diffusé au tout début de l'année 2009.

Deux nouveaux livrets pédagogiques (*Les Séismes* et *Le Nanomonde*) ont été publiés, et le partenariat avec les éditions Spécifique a été finalisé en publiant le dernier ouvrage de la série « On se bouge » intitulé *Le Nucléaire, quel intérêt pour la planète ?*



> Exposition photos du personnel CEA au Batiment Siège.

Le magazine international *CEA News* a poursuivi son rythme trimestriel de publication.

En mars, l'exposition « Le grand récit de l'Univers » a été inaugurée à la Cité des sciences et de l'industrie (dont le CEA est le partenaire scientifique pour cette opération), elle a attiré 180 000 visiteurs.

Le site internet www.cea.fr maintient son attractivité avec une augmentation de sa fréquentation (+ 5,7 % à 1,5 million de visites). Cela résulte d'un effort croissant sur les contenus multimédias par la mise en valeur de ceux déjà présents sur le site du CEA (création de « chaînes » vidéo thématiques : actualité, dossiers, expériences, métiers et conférences) et par la mise en ligne de 38 nouvelles vidéos et animations pédagogiques. Les rapports *Transparence et sécurité nucléaire* de chacun des centres du CEA sont accessibles sur le site.

Dans le cadre de la présidence française de l'Union européenne (PFUE), le CEA et l'IFP ont organisé, au Carrousel du Louvre, la première conférence européenne « Vers une énergie bas carbone ». En novembre, la fête de la science s'est inscrite dans le contexte de la PFUE pour ouvrir au grand public la Ville européenne des sciences au Grand Palais. Le CEA y a présenté ses activités dans le domaine de la sécurité des citoyens et a reçu plus de 250 jeunes dans des ateliers pédagogiques.

Presse et médias

Huit petits déjeuners ou conférence de presse et six voyages de presse ont été organisés, ils ont conduit à une centaine de reprises dans les médias et intéressé chacun une dizaine de journalistes en moyenne. Ces actions ont concerné entre autres thèmes : le cycle du combustible, les énergies bas carbone, la valorisation, les nanos, le calcul intensif, les sciences du vivant et le bilan « maîtrise des risques ». Ce dernier a été réalisé à Saclay et permis de faire visiter aux journalistes l'installation nucléaire INB 72. Le lancement de l'exposition « Grand Récit de l'Univers », le LHC, la conférence européenne sur les énergies bas carbone et l'inauguration de MIRcen ont également fait l'objet d'opérations de presse. 72 communiqués de presse ont été produits, conduisant à plus de 160 reprises dans les médias, 51 étaient consacrés aux résultats scientifiques.

Communication interne

Talents a maintenu son rythme de 10 numéros, diffusés chacun à 18 000 exemplaires environ. Une nouvelle maquette a été élaborée et mise en place à l'occasion du numéro 100. Ce numéro, spécial 10 ans, a été coédité avec un album de 100 photos mettant à l'honneur les personnels du CEA. Ces photos ont fait l'objet d'une exposition déployée sur tous les centres du CEA.

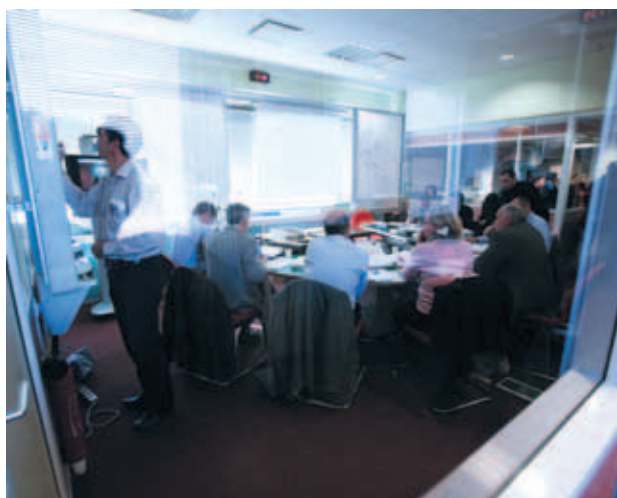
Un nouveau portail intranet institutionnel a été mis en ligne en septembre. Il permet de donner l'accès en temps réel à une information mieux ciblée par la personnalisation de la page d'accueil et des échanges d'informations avec les intranets des centres et des pôles via des flux RSS.

126 communiqués internes ont été diffusés par mail, par intranet et par affichage, permettant aux personnels du CEA d'être informés rapidement de l'ensemble des faits importants qui les concernent : actualité scientifique et technologique, domaines fonctionnels, vie de l'organisme. Deux séminaires d'information interne à destination de la hiérarchie du CEA ont été organisés.

Maîtrise des risques

Management de la sûreté

— Pour ses recherches et activités de développement des programmes nucléaires civils ou de défense, mais aussi pour la recherche fondamentale et l'enseignement, le CEA exploite des installations nucléaires du type installations nucléaires de base, installations individuelles d'INBS ou installations classées pour la protection de l'environnement.



> Exercice de crise sur le centre CEA de Cadarache.

Ces installations sont d'une grande variété : réacteurs de recherche, laboratoires, installations de traitement de déchets et d'effluents... ; elles doivent pouvoir évoluer assez rapidement et leurs conditions d'utilisation être suffisamment flexibles pour s'adapter à l'évolution des programmes.

L'exploitant a pour responsabilité majeure la maîtrise de la sûreté et de la radioprotection dans ses installations. Il en est l'initiateur et le garant. La sûreté est une priorité inscrite dans les contrats État/CEA successifs. Dans cet objectif, le CEA a mis en place un cadre clair pour le management de la sûreté au sein de l'établissement. Ce cadre comporte des exigences bien définies spécifiant les responsabilités et les activités nécessaires pour garantir la sûreté et pour respecter les exigences légales et réglementai-



> Laboratoire d'expertises et de caractérisation destructive Chicade.

res. Par exemple, une circulaire définit précisément le rôle et les missions du chef d'installation, acteur clé de la sécurité dans l'organisation mise en place.

Une politique claire de sûreté est développée et notifiée à tous les niveaux. Pour venir en appui à cette politique, des standards constituant le référentiel de sûreté du CEA ont été mis en place et des objectifs, décrits dans les plans triennaux successifs d'amélioration de la sûreté et de la sécurité, ont été fixés, de même que les ressources nécessaires pour y parvenir.

Cette politique vise à assurer la cohérence des objectifs de sûreté avec les dispositions techniques prises en s'appuyant sur un référentiel intégrant les exigences de l'arrêté du 10 août 1984 et de la norme ISO 9001.

Facteurs humains & organisationnels

L'administrateur général du CEA a indiqué que la prise en compte des facteurs humains et organisationnels (FH&O) était une priorité pour l'année 2008.

En 2008, l'amélioration a notamment porté sur la définition et la mise en place d'une organisation dédiée en matière de facteurs humains et organisationnels (FH&O) qui a été formalisée. Elle précise les missions respectives des différents acteurs du CEA concernés et instaure la mise en place de relais FH&O dans les installations. On trouve désormais dans les centres un réseau FH&O comprenant, chacun avec un rôle bien précis, des spécialistes situés dans les unités de soutien en sécurité et sûreté aux installations, des correspondants situés dans les cellules de contrôle

de sûreté des centres et les relais situés dans les installations, au plus près du terrain.

Le CEA a par ailleurs engagé la réalisation d'autoévaluations de la sûreté dans ses installations. Celles-ci visent à développer une approche structurée pour identifier et évaluer les forces et les faiblesses du système de management de la sûreté de l'installation et mesurer périodiquement les progrès réalisés. Cette approche repose sur l'implication du personnel aux différents niveaux dans l'évaluation du système de management de la sûreté et dans son amélioration. Elle permet d'identifier et de partager les bonnes pratiques développées au sein de l'installation et d'intégrer les différentes initiatives en matière d'amélioration dans le management au quotidien.

Elle constitue un outil de dialogue interne qui identifie les efforts prioritaires à effectuer dans chaque installation. Cette démarche est proposée aux chefs d'INB pour les aider à évaluer la situation dans leurs installations, en impliquant leurs collaborateurs par le biais d'un questionnaire.

L'exploitation des résultats permet de mesurer les performances et d'identifier les questions notables. À l'issue de la démarche, le chef d'INB met en place les actions d'amélioration nécessaires. Huit autoévaluations ont été déjà réalisées, à l'issue desquelles les participants ont pu mettre en évidence des pistes de progrès.

Sécurité au travail

Depuis une vingtaine d'années, le CEA s'attache à réduire les accidents du travail et améliorer la gestion de la sécurité dans ses installations, à travers la mise en place et le suivi de plans d'amélioration de la sécurité.

Le plan triennal, engagé début 2006, est arrivé à son terme. Les principaux résultats sont obtenus sur la réduction des taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt sur trois ans, le renforcement du fonctionnement des commissions locales de sécurité et la clarification des interfaces avec les partenaires et entreprises extérieures.

En 2008, 113 accidents du travail avec arrêt ont été déclarés à la Sécurité sociale, le taux de fréquence* s'élève à 3,8 accidents par million d'heures travaillées comme en 2007. Le taux 2008 est inférieur à celui de la branche professionnelle à laquelle appartient le CEA (7,1 en 2007 – dernier chiffre connu) et à celui de la moyenne nationale (25,7 en 2007 – dernier chiffre connu).



> Manipulation par une biologiste.

Ces 113 accidents de travail ont entraîné 3 469 journées d'arrêt de travail (y compris les journées d'arrêt de travail avec rechute). Le taux de gravité* qui en résulte est de 0,12, identique à celui de 2007.

En ce qui concerne les accidents du travail survenus à des salariés d'entreprises extérieures intervenant dans les installations du CEA, le taux de fréquence est de 12,7 en 2008, pour 159 accidents avec arrêt de travail. Après une décroissance constante depuis 2004, cet indicateur augmente légèrement en 2008. Les résultats sécurité des entreprises extérieures qui interviennent au CEA demeurent bien meilleurs que ceux enregistrés au niveau national par leurs branches professionnelles respectives.

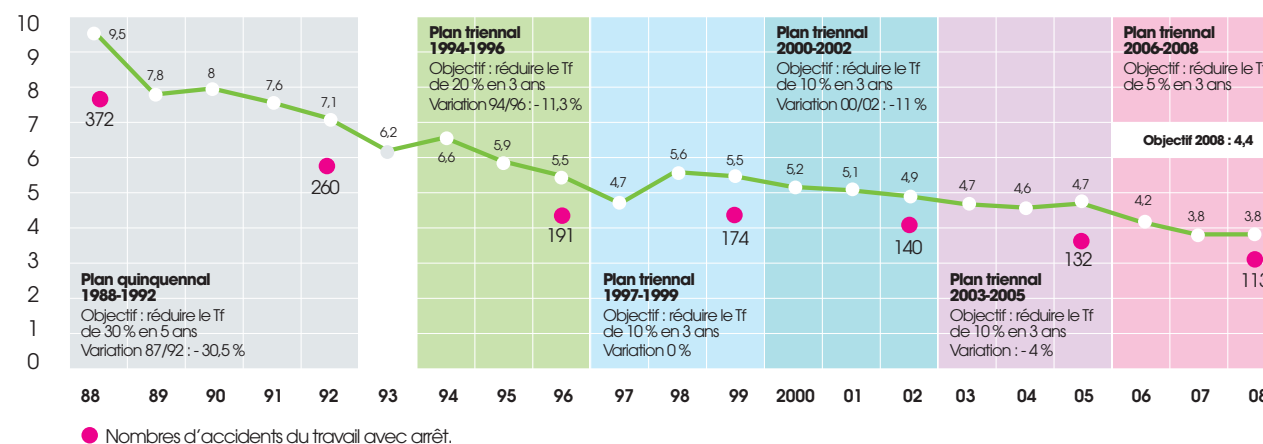
Des actions notables ont été menées en 2008 :

Plan triennal 2006-2008 : Les résultats chiffrés

Taux de fréquence	Moyenne du plan 2003-2005	Objectifs du plan 2006-2008	Moyenne du plan 2006-2008
Accidents CEA avec arrêt	4,67	4,4 [- 5 %]	3,9 [- 16 %]
Accidents entreprises extérieures avec arrêt	15,4	14,6 [- 5 %]	12,2 [- 21 %]

- dans le domaine du management, la mise en place d'une formation de l'ensemble des chefs de laboratoire, afin de développer une culture commune exigeante en matière de prévention des risques ;
- dans le domaine de la prévention des risques professionnels, la rédaction d'un guide de recommandations vis-à-vis du risque lié aux nanomatériaux et la mise à jour du guide de prévention des risques liés aux atmosphères explosives ;
- dans le domaine de la communication, des campagnes de sécurité thématiques à l'attention des salariés du CEA et des responsables des entreprises extérieures, notamment pour la clarification des interfaces avec les partenaires et entreprises extérieures ;

Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt – salariés CEA



* La Caisse nationale d'assurance maladie a défini deux indicateurs nationaux : le taux de fréquence correspond au nombre d'accidents du travail avec arrêt par million d'heures travaillées et le taux de gravité correspond au nombre de jours d'arrêt par millier d'heures travaillées.

- dans le domaine de la prévention du risque électrique, le CEA a mis en place un plan d'action pour réaffirmer la volonté de détecter toute dérive par rapport aux règles établies et éviter la sous-évaluation des risques électriques par leur banalisation.

Dosimétrie du personnel CEA

Comme pour les années précédentes, le bilan des expositions professionnelles sur l'ensemble des sites CEA affiche une relative stabilité.

Ainsi, la dose moyenne pour les travailleurs du CEA effectivement exposés est passée à 0,67 mSv en 2008 (contre 0,60 en 2007).

En 2008, 6 430 salariés du CEA ont fait l'objet d'une surveillance. Parmi eux, 94 % n'ont pas reçu de dose. La dose maximale reçue par un salarié du CEA est égale à 4,9 mSv.

Contrôle environnemental

Les recherches réalisées au CEA utilisent des substances radiologiques, chimiques ou biologiques. Les effluents des installations sont traités et contrôlés avant rejet et maintenus au niveau le plus bas possible. Ces conditions garantissent que l'impact des activités reste négligeable sur les populations riveraines et leur environnement.

Chaque site met en place une surveillance environnementale détaillée et adaptée aux activités exercées et aux caractéristiques locales. Elle représente en 2008 près de 25 000 échantillons prélevés dans l'environnement et environ 45 000 analyses radiologiques pour l'ensemble des sites.



> Analyse de prélèvements atmosphériques.

Depuis le changement d'exploitant en avril 2006, la surveillance de l'environnement du site de Marcoule est assurée par le CEA.

De l'expertise à l'information

Près de 150 spécialistes sont chargés de surveiller, mesurer et interpréter l'impact du fonctionnement des installations sur les sites et leurs alentours. Leurs laboratoires déjà accrédités Cofrac depuis de nombreuses années pour les principales analyses disposent début 2009 de 155 agréments délivrés par l'ASN pour les mesures de radioactivité dans l'environnement. Ils sont ainsi des producteurs majeurs des données destinées à alimenter le réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement, dont les résultats seront accessibles au public dès début 2010.



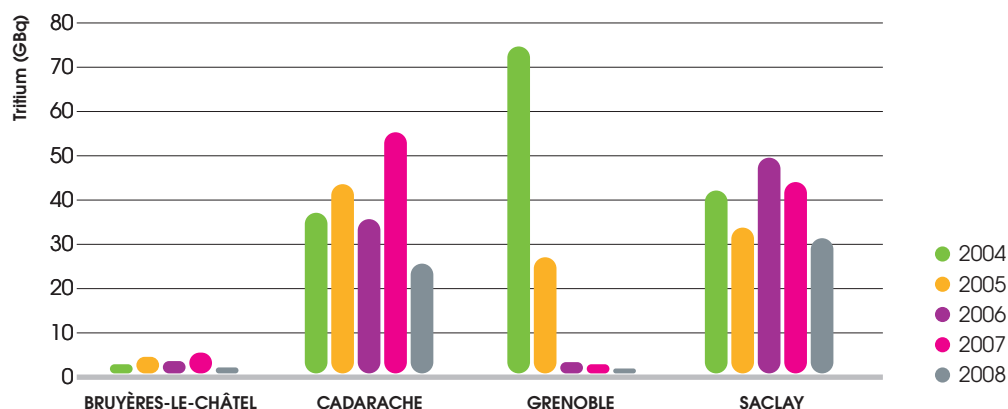
> Prélèvement d'eau pour analyses.

Tous les résultats sont communiqués aux autorités et largement diffusés en interne comme à l'externe.

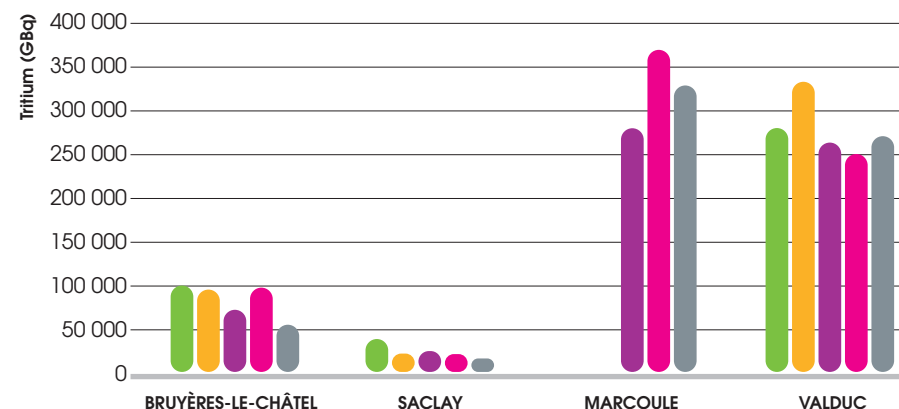
Des résultats satisfaisants

L'amélioration continue des performances des installations et des procédés permet de diminuer depuis de nombreuses années les rejets gazeux et liquides dans l'environnement. À l'échelle quinquennale par exemple, cette baisse régulière se confirme et les rejets restent très inférieurs aux limites autorisées sur chaque site. À Marcoule, les principaux rejets liquides qui ne figurent pas dans les histogrammes ci-dessous correspondent à l'exploitation des INBS du centre (34 419 GBq de tritium en 2008). Sur les autres sites, les rejets radioactifs liquides et gazeux en 2008 sont partout assez stables par rapport aux années passées, voire globalement en baisse.

Bilan 2004-2008 des rejets d'effluents liquides des principaux centres CEA



Bilan 2004-2008 des rejets d'effluents gazeux des principaux centres CEA



Systèmes d'information :

Poursuivre la démarche de progrès

— Suite à la réorganisation de la Direction des systèmes d'information fin 2007, la ligne fonctionnelle système d'information (SI) a fonctionné avec des processus et des architectures redéfinis, un dispositif de pilotage des évolutions conforté, des effectifs et des compétences renforcés.



> Supercalculateur Tera 10.

Un système d'information d'entreprise fiable

Le maintien en condition opérationnelle du SI a été satisfaisant avec un taux moyen de disponibilité de 98,8 %.

Pour le périmètre applicatif, le taux de résolution moyen des incidents est resté inférieur à la journée et la disponibilité du périmètre réseaux et services atteint 99,7 %.

Une gouvernance confortée

Les rôles de chacun et les processus ont été décrits dans un référentiel organisationnel, et une cartographie applicative a été réalisée pour permettre d'alimenter une démarche d'amélioration progressive des systèmes d'information visant à mieux prendre en compte les besoins « métier ».

- > Une Direction de projet « optimisation des systèmes d'information » est venue compléter notre organisation pour identifier les pistes d'optimisation sur les projets transverses entre la DSI et les Services des technologies de l'information et de la communication (Stic) dans une démarche de mutualisation de moyens.
- > La filière SI a souhaité s'inscrire dans une démarche « d'alignement stratégique » et, dans ce cadre, le schéma directeur des systèmes d'information pour la période 2009-2011 a été élaboré en étroite collaboration avec les pôles fonctionnels et opérationnels.

Des études et des projets d'évolution

De nombreux projets ont été lancés ou menés à bien dans tous les domaines, pour répondre en priorité aux besoins exprimés par :

- les programmes de recherche (PubliCEA...) ;
- les grands projets (SI du réacteur Jules Horowitz...) ;



> Classement d'archives.

- l'informatique scientifique (outils de calcul...) ;
- les installations (Astree pour la surveillance radiologique de l'environnement...) ;
- la formation (Opale, système de gestion des formations de l'INSTN).

Le nécessaire renforcement de la sécurité s'est traduit par la mise en place d'outils d'authentification forte sur les accès nomades (Mobi) et le lancement de nouvelles études pour la sécurisation des accès et des données.

Calcul haute performance

En ce qui concerne le calcul haute performance, une implication forte du CEA a permis au projet PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe) de produire d'excellents résultats, devant déboucher sur l'installation d'un supercalculateur européen pétaflopique dans le futur TGCC (Très Grand Centre de calcul) à Bruyères-le-Châtel à partir de 2010.

Les archives – pour pérenniser la connaissance

- > Plus de 100 mètres linéaires (ml.) de nouveaux documents d'archives ont été reçus, portant à 4,4 km. les archives historiques du CEA et à 89 % la capacité de stockage du bâtiment dédié à leur conservation.
- > La poursuite du projet d'informatisation de la gestion des archives intermédiaires et historiques (Arcadi) permettra en 2010 à tous les gestionnaires d'archives de disposer d'un même outil de gestion.

Structure du CEA

Diriger :

gouvernance / reconnaissance /
expertise

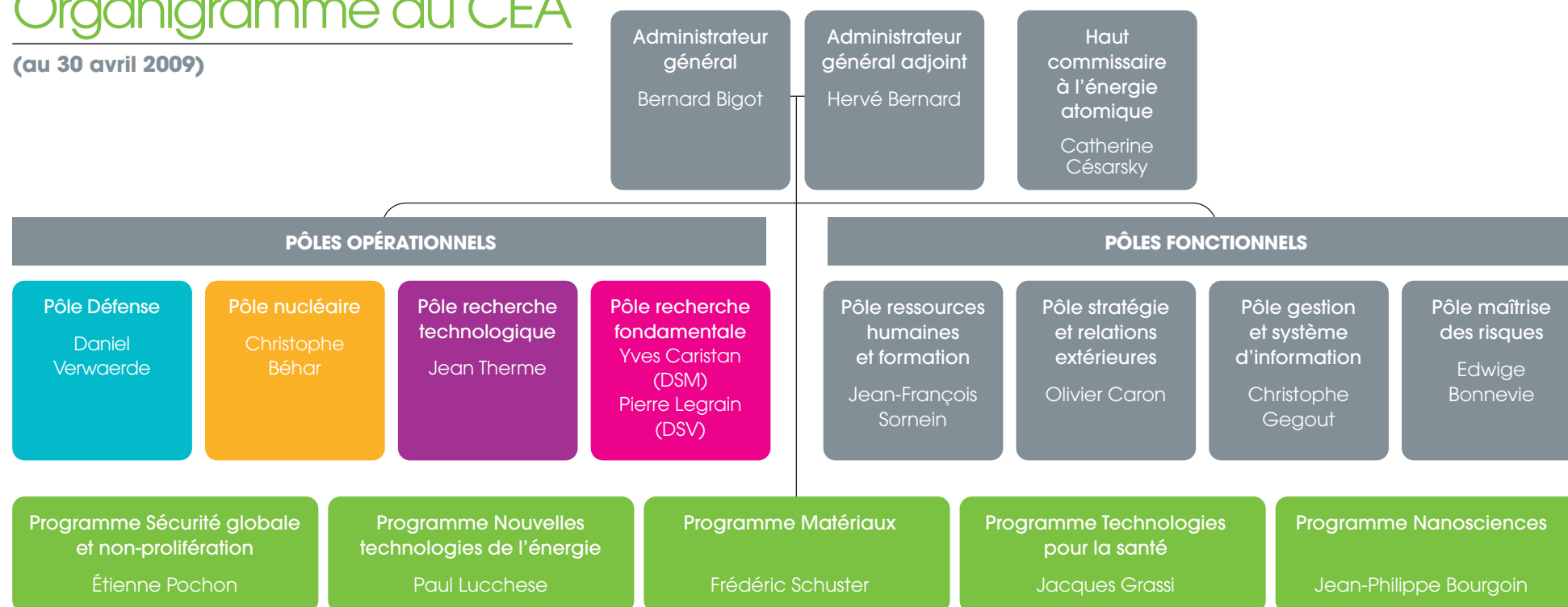
— Le CEA est un organisme public de recherche, dépendant de quatre ministères. Il s'allie avec d'autres organismes de recherche publics ou privés, et des industriels, dont l'objectif commun est de rester compétitif tant au niveau national qu'international. Dans les instances qui gouvernent le CEA, tous sont représentés : personnels, organismes, industriels et ministères.



Organisation du CEA

Organigramme du CEA

(au 30 avril 2009)



Gouvernance d'entreprise (au 31 décembre 2008)

Un statut juridique clarifié

Avec la publication de la partie législative du Code de la recherche (ordonnance n° 2004-545 du 11 juin 2004 qui a abrogé l'ordonnance constitutive du 18 octobre 1945 portant création du Commissariat à l'énergie atomique), le CEA a vu son statut clarifié. En tant qu'établissement de recherche à caractère scientifique, technique et industriel, il constitue à lui seul une catégorie distincte d'établissement public de l'État, relevant de la classification des Epic (établissements publics à caractère industriel et commercial). Son statut et ses missions sont désormais définis par les articles L. 332-1 à L. 332-7 du Code de la recherche.

Gouvernance d'entreprise

Tout en disposant d'un statut d'établissement public, le CEA veille à respecter les règles et bonnes pratiques du gouvernement d'entreprise. Cette politique se traduit par une attention accrue portée au fonctionnement de ses organes de gestion et à la mise en place de systèmes d'évaluation des risques et de contrôle interne.

>> Charte des administrateurs

Une charte des administrateurs a été mise en place par le conseil d'administration lors de la première séance de son nouveau man-

dat, le 21 juillet 2004. Cette charte précise les droits et obligations des administrateurs. Chaque administrateur s'engage à maintenir son indépendance de jugement et à participer activement aux travaux du Conseil, grâce notamment aux informations transmises par l'établissement public. Il informe le Conseil des situations de conflit d'intérêts dans lesquelles il peut se trouver. Il exprime clairement son opposition éventuelle aux projets discutés en Conseil. Chaque administrateur a l'interdiction d'effectuer des opérations sur les titres des sociétés du groupe CEA/Areva ou de toute valeur mobilière s'y rattachant, ainsi que sur des opérations de même type, relatives à des sociétés sur lesquelles il détient des informations du fait de sa qualité d'administrateur du CEA.

Le CEA est ainsi le premier établissement public dont le Conseil est doté d'une telle charte.

Conseil d'administration

>> Ses missions

Le Conseil d'administration est appelé à délibérer sur les grandes orientations stratégiques, économiques et financières ou technologiques de l'activité de l'Établissement, et en particulier sur le contrat pluriannuel avec l'État. Le budget annuel, l'arrêt des comptes sociaux et des comptes consolidés du groupe CEA, le rapport annuel d'activité et de gestion, ainsi que le rapport relatif au financement des charges de démantèlement des installations nucléaires et de gestion des combustibles irradiés et des déchets radioactifs sont soumis à son approbation. Il approuve également les programmes de recherche du CEA et les budgets nécessaires à leur réalisation.

>> Ses travaux en 2008

Au cours des sept séances intervenues durant l'année 2007, le Conseil d'administration a adopté, par voie de délibération, plusieurs décisions et orientations importantes :

- renouvellement du GIE Intra ;
- constitution de Joint Technology Initiatives sous forme d'entreprises communes auxquelles le CEA participe ;
- création au sein du CEA de l'Agence France nucléaire internationale (Afnl) ;
- acquisition indirecte de titres STMicroelectronics par le CEA ;
- devenir des installations Phénix et Brennilis : responsabilité et financement du démantèlement, de la gestion des combustibles irradiés et déchets associés ;
- renouvellement du GIP Renater ;
- adhésion du CEA à l'association Lasers et Plasmas ;
- mise en place d'un accord d'intéressement au CEA ;
- création du GIP Sources ;
- renouvellement du GIE commun de microélectronique de Crolles (CCMC) ;
- rapport relatif au dispositif de contrôle interne pour la sécurisation du financement des opérations de démantèlement.

Il a, en outre, été informé de l'évolution de projets scientifiques et techniques majeurs :

- jalons et indicateurs du contrat d'objectifs 2006-2009 ;
- mise en place au CEA d'indicateurs en matière de développement durable ;

- état d'avancement des programmes d'assainissement et de démantèlement du CEA ;
- structures de recherche ayant la personnalité morale et auxquelles le CEA participe ;
- bilan de la maîtrise des risques ;
- rattachement du Centre d'études de Gramat au CEA ;

>> Ses membres

N.B. : le CEA est soumis aux dispositions de la loi n° 83-675 du 26 juillet 1983 relative à la démocratisation du secteur public (loi DSP) ; le mandat de l'ensemble des membres du Conseil est de cinq ans, de date à date, à compter du 21 juillet 2004.

>> Représentants de l'État

- M. Alain Bugat, administrateur général du CEA, président ;
- M. Emmanuel Caquot, chef du Service des industries manufacturières et des activités postales – Direction générale des entreprises – ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi ;
- M. Gilles Bloch, directeur général de la recherche et de l'innovation – ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ;
- M. Henri Guillaume, inspecteur général des finances – Inspection générale des finances – ministère du Budget, des Comptes publics et de la Fonction publique ;
- M. Guillaume Gaubert, sous-directeur à la 3^e Sous-direction – Direction du budget – ministère du Budget, des Comptes publics et de la Fonction publique ;
- M. Bruno Sainjon, adjoint au directeur des systèmes d'armes – Direction des systèmes d'armes – Délégation générale pour l'armement – ministère de la Défense ;
- M. Cyrille Vincent, sous-directeur de l'industrie nucléaire – Direction générale de l'énergie et du climat – ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire.

>> Personnes nommées ès qualités

- M. Bernard Bigot, haut-commissaire à l'énergie atomique ;
- M. Francis Hardouin, délégué régional à la recherche et à la technologie pour la région Aquitaine, puis M. Paul Jacquet, administrateur général de l'Institut polytechnique de Grenoble ;
- M. Albert Ollivier, conseiller auprès du secrétaire général – Caisse des dépôts et consignations ;
- M. Claude Jablon, ex-directeur scientifique – Total ;
- M. Laurent Stricker, conseiller du président – Activités nucléaires – EDF.

>> Représentants élus du personnel

- M. Paul Auguste, puis M. Guy LUMIA, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire – CEA/Marcoule (CFDT) ;
- M. Jean-Charles Bellot, ingénieur à la Direction des programmes/traitement et conditionnement des déchets – Areva NC/La Hague (CFDT) ;
- Mlle Clarisse Bourdelle, ingénieur à la Direction des sciences de la matière – CEA/Cadarache (CGT) ;
- Mme Martine Dozol, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire – CEA/Cadarache (FO) ;
- M. Dominique Ghaleb, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire – CEA/Marcoule (CGT) ;
- M. Bernard Verrey, ingénieur à la Direction des applications militaires – CEA/Valduc (CFE-CGC).

>> Assistent aux séances avec voix consultative

- M. Christophe Lafon, secrétaire du Comité national ;
- M. Jean-Marie Rossinot, contrôleur d'État, membre du Service du contrôle général économique et financier près le CEA.

>> Secrétaire

- Mme Nathalie Moulet, chef de service à la Direction juridique et du contentieux.

>> Invités permanents

- M. Jean-Pierre Le Roux, puis M. Hervé Bernard, administrateur général adjoint ;
- M. Olivier Caron, directeur du pôle Stratégie et relations extérieures ;
- M. Olivier Pagezy, directeur du pôle Gestion et systèmes d'information ;
- M. Jean-François Sornein, directeur du pôle Ressources humaines et formation ;
- M. Marc Léger, directeur juridique et du contentieux, conseiller juridique auprès de l'administrateur général.

>> Les Centres CEA

- CEA/Cadarache, pôle Nucléaire : Serge Durand, directeur ;
- CEA/Cesta, pôle Défense : Pierre Bouchet, directeur ;
- CEA/DAM Île-de-France, pôle Défense : Christophe Behar, directeur ;
- CEA/Fontenay-aux-Roses, pôle Recherche fondamentale sciences du vivant : Roger Genet, directeur ;
- CEA/Grenoble, pôle Recherche technologique : Jean Therme, directeur ;

- CEA/Le Ripault, pôle Défense : Serge Dufort, directeur ;
- CEA/Saclay, pôle Recherche fondamentale sciences de la matière : Yves Caristan, directeur ;
- CEA/Valduc, pôle Défense : Régis Baudrillart, directeur ;
- CEA/Marcoule, pôle Nucléaire : Christian Bonnet, directeur ;
- INSTN, Institut national des sciences et techniques nucléaires : Laurent Turpin, directeur.

Comité d'audit

>> Ses missions

Le Comité d'audit a pour missions :

- d'examiner du point de vue comptable et financier les projets de budget et de comptes annuels du CEA, le projet de contrat pluriannuel avec l'État ainsi que le projet de plan stratégique, le bilan du contrat avec l'État ;
- de réaliser des études ponctuelles à la demande du Conseil ou de sa propre initiative ;
- d'examiner et de donner un avis au Conseil sur le rapport d'activité établi par la Commission consultative des marchés ;
- de contribuer à la définition des normes comptables, financières et déontologiques, compte tenu de la spécificité des règles applicables au CEA, et de s'assurer de la pertinence et de l'efficacité de ces normes ;
- de donner un avis au Conseil sur l'efficacité des procédures de contrôle interne ;
- de donner un avis au Conseil lors du renouvellement du mandat du commissaire aux comptes.

>> Ses travaux en 2008

Le Comité d'audit s'est réuni pour sa part à quatre reprises et a procédé, notamment, à l'examen des points suivants :

- arrêté des comptes et rapport des commissaires aux comptes ; arrêté des comptes consolidés du groupe CEA ;
- évolution du périmètre et de l'organisation de l'audit interne ;
- projet de budget annuel et prévisions semestrielles ;
- jalons et indicateurs du Contrat d'objectifs 2006-2009 ;
- projet de plan annuel d'audit ;
- cartographie des risques.

>> Ses membres

- M. Albert Ollivier ;
- M. Cyrille Vincent ;
- M. Guillaume Gaubert ;

- M. Dominique Ghaleb ;
- M. Paul Auguste, puis M. Guy Lumia ;
- M. Gilles Bloch ;
- Mme Nathalie Moulet, secrétaire.

Invité permanent

- M. Jean-Marie Rossinot.

Assistent aux réunions en tant que de besoin

- MM. Thierry Blanchetier et Laurent des Places, commissaires aux comptes.

Comités de suivi de la couverture des charges d'assainissement et de démantèlement des installations civiles et de défense

Placés au sein du conseil d'administration, ces comités ont pour mission de contribuer au suivi du portefeuille d'actifs dédiés, constitué par le CEA pour couvrir les charges futures d'assainissement et de démantèlement des installations civiles et de défense de l'Établissement. À ce titre, ils proposent au conseil d'administration le cadre d'une politique de constitution et de gestion des actifs de couverture, en respectant l'objet des actifs et les principes de prudence et de répartition des risques.

Pour exercer leur mission, ils examinent chacun, pour avis :

- la charte de gestion du fonds dédié aux dépenses d'assainissement et de démantèlement des installations (civiles, pour l'un, et de Défense, pour l'autre) ;
- le plan pluriannuel à cinq ans d'exécution des travaux d'assainissement et de démantèlement ainsi que le budget annuel ;
- les perspectives d'équilibre financier du fonds sur la totalité de sa durée de vie ;
- le devis des opérations couvertes par le fonds et leur échéancier temporel ainsi que les incertitudes associées aux évaluations du passif ;
- les éventuelles évolutions du périmètre ;
- les comptes annuels du fonds ;
- les modalités de constitution, de fonctionnement et de contrôle du fonds ;
- la politique de gestion des actifs financiers du fonds ;
- le dispositif de contrôle interne ;
- et, d'une façon générale, toutes questions relatives à l'application, par l'exploitant, des dispositions législatives et réglementaires relatives à la sécurisation du financement des charges

nucléaires. Ils donnent un avis sur le rapport annuel d'activité et de gestion du fonds, sur le rapport triennal relatif au financement des charges d'assainissement et de démantèlement, sur la note d'actualisation annuelle relative à ces charges ainsi que sur le rapport annuel relatif au contrôle interne du fonds.

>> Leurs travaux en 2008

Les comités de suivi des fonds dédiés civil et Défense se sont réunis quatre fois en 2008. Ils ont notamment examiné les points suivants :

- analyse de l'exécution du budget 2008 ;
- rapport sur le contrôle interne ;
- projet de budget 2009 ;
- examen de la politique de gestion des actifs.

>> Leurs membres

Comité de suivi de la couverture des charges d'assainissement et de démantèlement des installations civiles :

- M. Henri Guillaume, inspecteur général des Finances, président ;
- M. Philippe Jurgensen, président de l'Acam ;
- M. Guillaume Gaubert, Budget ;
- M. Cyrille Vincent, DGEC ;
- M. Rodolphe Chevalier, Agence des participations de l'État ;
- M. Philippe Saint-Raymond, conseil général des Mines, puis M. Emmanuel Caquot, Direction générale des entreprises – ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi ;
- M. Jean-Marie Rossinot, Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA ;
- M. Olivier Pagezy, directeur financier du CEA ;
- Mme Martine Dozol, ingénieur au CEA/Cadarache.

Comité de suivi de la couverture des charges d'assainissement et de démantèlement des installations de Défense :

- M. Henri Guillaume, président ;
- M. Philippe Jurgensen, président de l'Acam ;
- M. Guillaume Gaubert, Budget ;
- M. Philippe Saint-Raymond, conseil général des Mines, puis M. Emmanuel Caquot, Direction générale des entreprises – ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi ;
- M. Jean-Baptiste Gillet, puis M. Bruno Sainjon, ministère de la Défense ;
- M. Cyrille Vincent, DGEC ;
- M. Frédéric Bioche, Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA ;

- M. Olivier Pagezy, directeur financier CEA ;
- M. Bernard Verrey, ingénieur au CEA/Valduc. Comités, conseils et commissions (au 31 décembre 2007).

Comité de l'énergie atomique

S'apparentant à un comité interministériel, le Comité de l'énergie atomique, dont le CEA assure le secrétariat, contribue principalement à la définition de la politique nucléaire de la France. Ses délibérations peuvent concerner directement les activités du CEA, comme celles de ses filiales nucléaires ou d'EDF ou de l'Andra.

>> Président du Comité

Le Premier ministre ou un ministre ayant délégation et, à défaut, l'administrateur général du CEA.

>> Membres de droit

- M. Alain Bugat, administrateur général du CEA ;
- M. le général d'Armée Jean-Louis Georgelin, chef d'état-major des Armées ;
- M. Gérard Errera, secrétaire général du ministère des Affaires étrangères et européennes ;
- M. Laurent Collet-Billon, délégué général pour l'armement ;
- M. Christian Piotre, secrétaire général pour l'administration du ministère de la Défense ;
- M. Pierre-Franck Chevet, directeur général de l'énergie et du climat ;
- M. Luc Rousseau, directeur général des entreprises ;
- M. Philippe Josse, directeur du budget ;
- M. Marcel Jurien de la Gravière, délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense ;
- M. Gilles Bloch, directeur général de la recherche et de l'innovation ;
- Mme Catherine Brechignac, présidente du Centre national de la recherche scientifique.

>> Personnalité choisie par le Premier ministre

- Mme Jacqueline Lecourtier, directrice générale de l'Agence nationale de la recherche.

>> Personnalité choisie par le ministre chargé de l'Environnement

- M. Jean-François Lacronique, conseiller auprès du directeur général de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

>> Personnalités qualifiées dans le domaine scientifique et industriel

- M. Bernard Bigot, haut-commissaire à l'énergie atomique ;
- M. Pierre Turq, professeur de chimie à l'université Paris-VI ;
- M. Pierre Gadonneix, président du conseil d'administration d'EDF.
- Mme Anne Lauvergeon, présidente du directoire d'Areva.

>> Assiste au Comité avec voix consultative

- M. Bruno Rossi, chef de la Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA.

>> Assiste au Comité

- M. Hervé Bernard, administrateur général adjoint du CEA.

>> Secrétaire du Comité

- M. Jean-Claude Petit, directeur des programmes du CEA.

Conseil scientifique

Un Conseil scientifique assiste le haut-commissaire à l'énergie atomique dans l'évaluation des activités de recherche du CEA et en proposant des orientations scientifiques.

>> Président

- M. Bernard Bigot, haut-commissaire à l'énergie atomique.

>> Personnalités extérieures

- Mme Hélène Bouchiat, CNRS/LPS, Orsay ;
- Mme Marie-Françoise Debreuille, Areva NC, Paris ;
- M. Roland Douce, université de Grenoble ;
- M. Bernard Dubuisson, DGA, Paris ;
- M. Olivier Joubert, CNRS, LTM, Grenoble ;
- Mme Christine Petit, Institut Pasteur ;
- M. Jean-Pierre Sauvage, université de Strasbourg.

>> Membres du CEA

- Mme Élisabeth Bouchaud, DSM/Iramis ;
- M. Bernard Boullis, DEN/DDIN ;
- Mme Hélène Bulet, DRT/Liten ;
- M. Franck Carré, DEN/DDIN ;
- M. Denis Juraszek, DAM/DIF ;
- Mme Vanina Ruhlmann-Kleider, DSM/Irfu.

>> Représentants du personnel

- M. Jean-Pierre Bruhat, CGC – DAM/Dir ;
- M. Jean-Paul Crocombette, CGT – DEN/DMN ;
- M. Jean-Éric Ducret, CFDT – DSM/Irfu ;
- M. Mohamed Eid, CGT FO – DEN/DM2S ;
- M. Jean-Louis Gerstenmayer, CFTC – DRT ;
- M. Nicolas Parisot, SPAEN – DEN/DRSN.

Visiting Committee

À côté du Conseil scientifique a été créé il y a six ans un Visiting Committee, constitué d'experts internationalement reconnus et chargé de fournir un point de vue sur les stratégies et les orientations de la recherche du CEA.

- M. David Andelman, université de Tel Aviv, Israël ;
- M. Giovanni Ciccotti, université de Rome La Sapienza, Italie ;
- M. Thomas Ebbesen, université Louis-Pasteur, Strasbourg ;
- M. Antoine Georges, École polytechnique, Palaiseau ;
- M. Serge Haroche, Collège de France, École normale supérieure, Paris ;
- M. Jacques Livage, université Pierre-et-Marie-Curie, Paris ;
- M. Krishnaswamy Ravi-Chandar, université du Texas, Austin, États-Unis ;
- M. Burton Richter, Prix Nobel 1976, Stanford Linear Accelerator Center, États-Unis ;
- M. Marshall Stoneham, University College, Londres, Royaume-Uni ;
- M. Horst Stormer, Prix Nobel 1998, université de Columbia, États-Unis ;
- M. Sune Svanberg, université de Lund, Suède.

Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA

Elle a pour mission de suivre la gestion financière et comptable de l'organisme. Composition :

- Mme Anne-Dominique Fauvet, puis M. Bruno Rossi, chef de la Mission de contrôle ;
- M. Frédéric Bioche, contrôleur général des Armées ;
- M. Tony Cavatorta, administrateur civil hors classe ;
- M. Daniel Métayer, puis M. Bernard Abate, contrôleur d'État ;
- M. Jean-Marie Rossinot, contrôleur d'État.

Glossaire

A

AERES : Agence pour l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur

AFNI : Agence France Nucléaire International

ALICE : A Large Ion Collider Experiment – expérience pour étudier l'évolution de la matière de la naissance de l'Univers à nos jours. (LHC)

ALLEGRO : concept de réacteur à neutron rapide refroidi au gaz expérimental d'étude et de développement technologique (CEA)

ANDRA : Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANRT : Association nationale de la recherche et de la technologie

ARCCAD : Atelier Rénové de Conditionnement de Cadarache (CEA)

APRP : Accident de Perte de Réfrigérant au Primaire

ASN : Autorité de Sûreté Nucléaire

ASMPA : Missile nucléaire aéroporté à vocation stratégique et d'ultime avertissement

ASTRID, prototype français : Advanced Sodium Test Reactor for Industrial Development

Atlas : A Toroidal LHC ApparatuS – détecteur dédié à la recherche du boson de Higgs et la quête des particules pouvant constituer la matière noire. (LHC)

AZALEE : table vibrante sur 6 mètres de longueur et de largeur pour 2 mètres d'épaisseur, pour simuler des séismes de forte puissance et embarquer des structures pesant jusqu'à 100 tonnes (CEA)

C

CCRT : Centre de Calcul Recherche et Technologie

CEDRA : Conditionnement et Entreposage de Déchets Radioactifs (CEA)

CERN : Organisation européenne pour la recherche nucléaire

CHP : Calcul Haute Performance

CLORA : Club des Organismes de Recherche Associé

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor

CMS : Compact Muon Solenoid

CNG : Centre National de Génotypage

CNS : Centre National de Séquençage

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CTE : Comité Technique pour Euratom

COEX™ : Coextraction simultanée d'uranium et de plutonium

D

DAM : Direction des Applications Militaires (CEA)

DEN : Direction de l'Énergie Nucléaire (CEA)

DGA : Direction Générale pour l'Armement

DSM : Direction des Sciences de la Matière (CEA)

DSV : Direction des Sciences du Vivant (CEA)

DRI : Direction des Relations Internationales (CEA)

DRT : Direction de la Recherche Technologique (CEA)

E

EARTO : European Association of Research and Technology Organisation

EDF : Electricité de France

EEG : Électro-encéphalographie

EFR : European fast reactor

EIT : Institut Européen de Technologie

ELMS : Edge Localized Modes

EPR : Réacteur européen à eau pressurisée

ESA : Agence spatiale européenne

ESRF : European Synchrotron Radiation

ESFRI : European Strategy Forum Research Infrastructures (Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche)

G

GANEX : Group Actinides Extraction, procédé de traitement du combustible usé pour en extraire l'uranium, le plutonium et les actinides mineurs de manière groupée (CEA)

GANIL : Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (CEA/CNRS)

GARAGE : Installation expérimentale de 40 m² pour les tests sur la sécurité hydrogène

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GIF : Forum international Generation IV

GIP : Groupement d'Intérêt Public

GNEP : Global Nuclear Energy Partnership

H

HERMES : Installation pour l'étude hydromécanique du combustible REP (CEA)

HLEG : High Level Group on European low dose risk research

I

IBITEC'S : Institut de biologie et de technologies de Saclay (CEA)

IBS : Institut de biologie structurale (CEA)

I²BM : Institut d'Imagerie Biomédicale (CEA)

ICS : Institut Charles Sadron

ICRH : Ion Cyclotron Resonance Heating

IFMIF-EVEDA : International Fusion Materials Irradiation Facility - Engineering Validation Engineering Design Activities, outil prototype d'irradiation qui vise à qualifier des matériaux avancés résistant aux conditions extrêmes, spécifiques des réacteurs de fusion qui succéderont à ITER

IFP : Institut Français du Pétrole

ILL : Institut Laue-Langevin

ILP : Institut Lasers et Plasmas

INAC : Institut Nanosciences et Cryogénie (CEA)

INB : Installation Nucléaire de Base

INBS : Installation Nucléaire de Base Secrète

IN2P3 : Institut National de Physique Nucléaire et de physique des Particules

INES : Institut National de l'Énergie Solaire

INSTN : Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires

IPhT : Institut de Physique Théorique (CEA)

IRAMIS : Institut RAYonnement Matière de Saclay (CEA)

IRCM : Institut de Radiobiologie Cellulaire et Moléculaire (CEA)

IRFM : Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique (CEA)

IRFU : Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers (CEA)

IRM : Imagerie par résonance magnétique nucléaire

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

IRSTV : Institut de Recherches en Sciences et Technologies pour le Vivant

ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor

J

JANNUS : Jumelage d'Accélérateurs pour les Nanosciences, le Nucléaire et la Simulation

K

KROTOS : Installation dédiée à l'étude des interactions entre le combustible et le fluide réfrigérant (explosions de vapeur) (CEA)

L

LECA : Laboratoire d'Etude de la Corrosion Aqueuse (CEA)
LECI : Laboratoire d'Etude des Combustibles Irradiés (CEA)
LEFCA : Laboratoire d'Exploitation des Installations de Fabrication des Combustibles (CEA)
LETI : Laboratoire d'Électronique et de Technologies de l'Information
LFHT : Lit Fluidisé Haute Température
LHC : Large Hadron Collider
LIL : Ligne d'Intégration Laser
LIST : Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies
LITEN : Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Energies Nouvelles et les nanomatériaux
LLB : Laboratoire Léon Brillouin
LMJ : Laser Mégajoule
LRC : Laboratoire Commun de Recherche
LSCE : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

M

MAGENTA : Magasin d'entreposage de matières
MAVL : Déchets radioactifs de Moyenne Activité et Vie Longue
MEG : Magnéto-encéphalographie
MELODI : Multidisciplinary European Low Dose Initiative
MERCI : Expérience réalisée dans le réacteur OSIRIS pour qualifier le calcul de la puissance résiduelle aux temps courts
MIRCEN : Molecular Imaging Research Center (CEA)
MISTRA : Installation pour l'étude de la thermohydraulique enceinte et du risque hydrogène
Mox : Mixed oxydes, mélange d'oxydes d'uranium (naturel et appauvri) et de plutonium.

N

NEMS : Micro & Nano ElectroMechanical System
N.ERGHY : New European Research Grouping on fuel cells and Hydrogen
NRBC : Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique
NRBC/E : Nucléaire, Radiologique, Biologique, Chimique et Explosif
NTE : Nouvelles technologies de l'énergie

O

OSIRIS : Réacteur nucléaire expérimental (CEA)
OTICE : Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires

P

PCRD : Programme Cadre de Recherche et Développement
PEGASE : Installation destinée à la purification thermique du gaz de synthèse issu de la gazéification de la biomasse (CEA)
PEM : Polygône d'Expérimentation de Moronvilliers
PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PFUE : Présidence Française de l'Union Européenne
PMLT : Plan Moyen et Long Terme
PROMETRA : programme expérimental d'essais mécaniques sur gaines irradiées
PTA : Plate-forme Technologique Amont
PUREX : Plutonium Uranium Refining EXtraction, procédé de séparation des radionucléides à vie longue présents dans les produits de fission (CEA)

R

RCD : Reprise et conditionnement des déchets anciens
REP : Réacteur à eau sous pression
RES : Réacteur d'essai
RIA : Accident d'injection de réactivité correspond à un accident de dimensionnement lors de l'éjection brutale d'une barre de commande sous l'effet de la pression, dans les REP
RISC-RAD : Radiosensitivity of Individuals and Susceptibility to Cancer Induced by Ionizing Radiation
RJH : Réacteur Jules Horowitz
RNR-G : Réacteur à neutrons rapides refroidis au gaz
RNR-Na : Réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium
RTB : Recherche Technologique de Base
RTV : Accident de refroidissement résultant d'une Rupture de Tuyauterie de Vapeur

S

SET Plan : Plan Stratégique Européen pour les technologies énergétiques

SMART : Seismic design and best-estimate Methods Assessment for Reinforced concrete building subjected to Torsion and non-linear effects

SNA : Sous-marin nucléaire d'attaque

SNE-TP : Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, plate-forme technologique dédiée à l'énergie nucléaire durable

SNLE NG : Sous-marin nucléaire lanceur d'engins de nouvelle génération

SOI : Silicon On Insulator

SSC : Systèmes Solaires Combinés

STAR : Station de traitement, d'assainissement et de reconditionnement (CEA)

STELLA : Station de Traitement des Effluents Liquides Actifs

STEMA-AMETISTE : Station de Traitement des Effluents liquides de Marcoule – AMEnagement Total des Installations de la STE

STIC : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

T

TGCC : Très Grand Centre de Calcul

TICE : Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires

TNA : Tête Nucléaire Aéroportée

TNO : Tête Nucléaire Océanique

TNP : Traité de Non-Prolifération nucléaire

U

UJF : Université Joseph Fourier

UMR : Unité Mixte de Recherche

UMO : Uranium allié au molybdène, combustible métallique

UNGG : Uranium Naturel, Graphite et Gaz

UOX : Combustible constitué d'oxyde d'uranium enrichi en U235



COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE
91 191 Gif-sur-Yvette Cedex
www cea fr



Imprimé avec des encres végétales sur papier issu de forêts gérées durablement.

Crédits photos : Artechnique – P. Avavian – Cadam – CEA-Leti/G. Cottet – E. De Lavergne – DR – M. Delmotte – P. Dumas – C. Dupont – L. Fabre – L. Godard – A. Gonin – P. Grosjean – C. Jandaureck/Cadam – F. Jannin – C. Landmann/Gamma – J-F Mangin, V. El Kouby, M. Perrin, Y. Cointepas, C. Poupon – C. Moirenc – C. Morel/Our Polar Heritage – C. Pichon, D. Aubert – Photodisc – F. Rhodes – SHFJ – P. Stroppa – F. Vigouroux – F. Vignault/CEA.