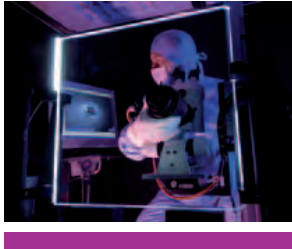




énergie atomique • énergies alternatives



09

RAPPORT ANNUEL

Sommaire

- 02 Entretien avec l'administrateur général
- 04 Entretien avec le haut-commissaire à l'énergie atomique
- 06 **1 – LES PROGRAMMES**
- 08 **DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE**
 - Recherche de base Armes nucléaires, propulsion nucléaire, lutte contre la prolifération et le terrorisme
 - Recherche appliquée
- 10 Dissuasion nucléaire et sécurité nationale et internationale
- 14 **ÉNERGIES DÉCARBONÉES**
 - Recherche fondamentale Sciences de la matière Sciences du vivant
 - Recherche appliquée
- 16 Énergie de fission
- 21 Énergie de fusion
- 22 Nouvelles technologies de l'énergie
- 26 **TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET LA SANTÉ**
 - Recherche fondamentale Sciences de la matière Sciences du vivant
 - Recherche appliquée
- 28 Micro et nanotechnologies
- 32 Technologies logicielles et systèmes
- 34 La recherche et les très grandes infrastructures de recherche (TGR)
- 36 Les programmes transversaux au CEA
- 38 Le calcul intensif
- 40 **2 – LE BILAN SCIENTIFIQUE**
- 48 **3 – L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES**
- 57 **4 – LES STRUCTURES**

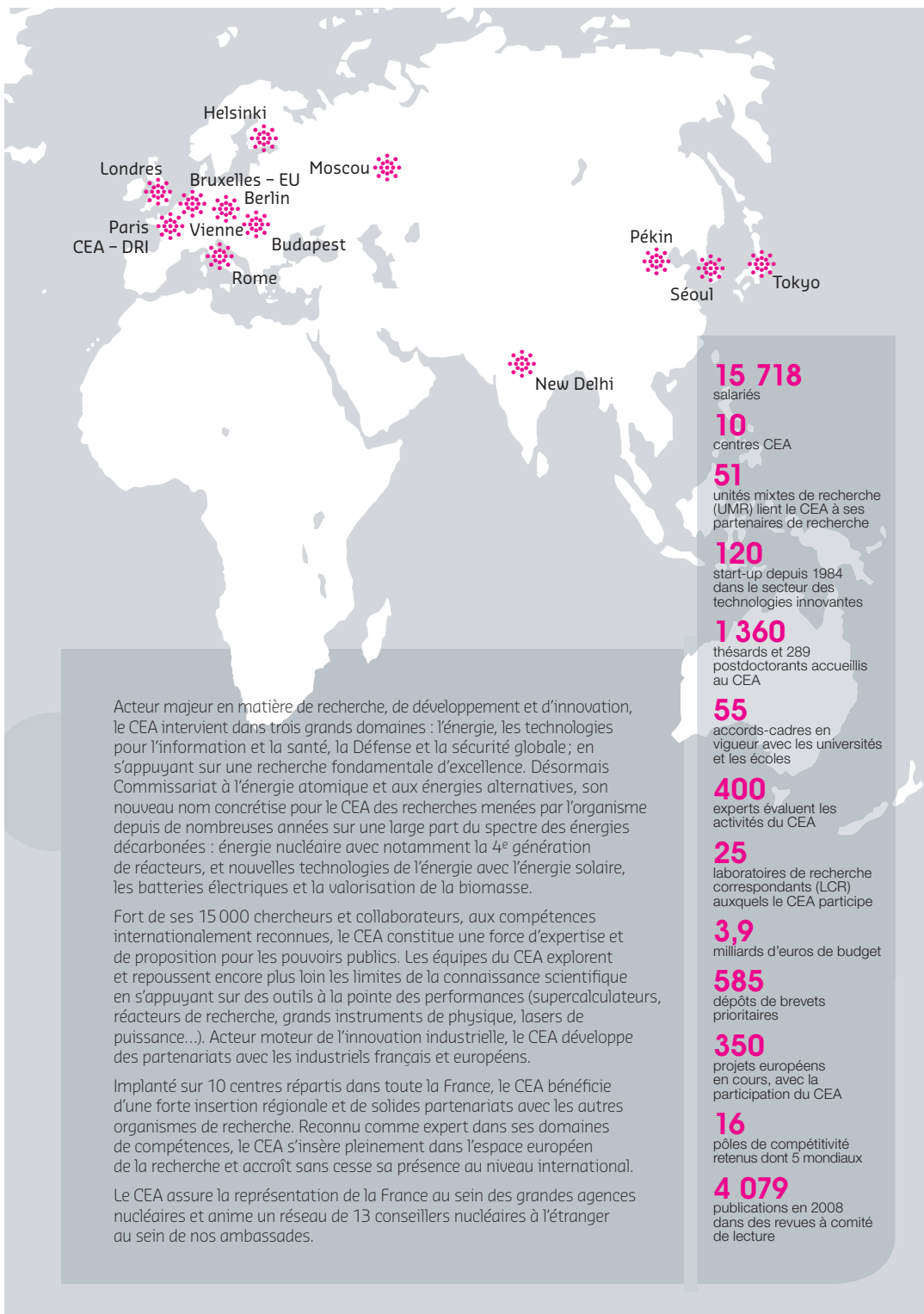


Réseau des
conseillers CEA
en ambassade



Washington

Le CEA
Un acteur clé
de la recherche
et de l'innovation
technologique
en Europe



Acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation, le CEA intervient dans trois grands domaines : l'énergie, les technologies pour l'information et la santé, la Défense et la sécurité globale; en s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence. Désormais Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, son nouveau nom concrétise pour le CEA des recherches menées par l'organisme depuis de nombreuses années sur une large part du spectre des énergies décarbonées : énergie nucléaire avec notamment la 4^e génération de réacteurs, et nouvelles technologies de l'énergie avec l'énergie solaire, les batteries électriques et la valorisation de la biomasse.

Fort de ses 15 000 chercheurs et collaborateurs, aux compétences internationalement reconnues, le CEA constitue une force d'expertise et de proposition pour les pouvoirs publics. Les équipes du CEA explorent et repoussent encore plus loin les limites de la connaissance scientifique en s'appuyant sur des outils à la pointe des performances (superordinateurs, réacteurs de recherche, grands instruments de physique, lasers de puissance...). Acteur moteur de l'innovation industrielle, le CEA développe des partenariats avec les industriels français et européens.

Implanté sur 10 centres répartis dans toute la France, le CEA bénéficie d'une forte insertion régionale et de solides partenariats avec les autres organismes de recherche. Reconnu comme expert dans ses domaines de compétences, le CEA s'insère pleinement dans l'espace européen de la recherche et accroît sans cesse sa présence au niveau international.

Le CEA assure la représentation de la France au sein des grandes agences nucléaires et anime un réseau de 13 conseillers nucléaires à l'étranger au sein de nos ambassades.

15 718
salariés

10
centres CEA

51
unités mixtes de recherche (UMR) lient le CEA à ses partenaires de recherche

120
start-up depuis 1984 dans le secteur des technologies innovantes

1 360
thésards et 289 postdoctorants accueillis au CEA

55
accords-cadres en vigueur avec les universités et les écoles

400
experts évaluent les activités du CEA

25
laboratoires de recherche correspondants (LCR) auxquels le CEA participe

3,9
milliards d'euros de budget

585
dépôts de brevets prioritaires

350
projets européens en cours, avec la participation du CEA

16
pôles de compétitivité retenus dont 5 mondiaux

4 079
publications en 2008 dans des revues à comité de lecture

2009 a été pour le CEA une année particulièrement riche en événements favorables, dans un contexte général difficile, et, d'une certaine façon, une année charnière. Elle fut, en effet, l'année du bilan du contrat d'objectifs signé en 2006 avec l'État pour la période 2006-2009, celle de la préparation du contrat de performances pour les quatre années suivantes et celle du changement de nom, annoncé le 14 décembre 2009 par le Président de la République, à l'occasion de la présentation des priorités financées par l'emprunt national pour les investissements d'avenir.

Avant-propos de Bernard Bigot Administrateur général

“ ... le CEA a atteint plus de 90 % des 63 jalons scientifiques et techniques, souvent très ambitieux, qui étaient répartis sur la durée du contrat ”



C'est en juin 2009, lors de sa visite à l'Institut national de l'énergie solaire (Ines) à Chambéry, que le Président de la République avait souhaité que la dénomination du Commissariat à l'énergie atomique évolue de façon à mieux refléter le périmètre de ses activités actuelles et à traduire au mieux les engagements de l'État à investir, dans les prochaines années, à parts égales dans les recherches pour le nucléaire du futur et pour les énergies renouvelables.

Le CEA est ainsi devenu, par la loi du 10 mars 2010 modifiant l'ordonnance du 18 octobre

1945, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, ces énergies qui représentent, avec le nucléaire, des solutions alternatives aux combustibles fossiles dont il faut réduire l'usage massif pour s'inscrire dans un développement durable indispensable et limiter notre dépendance énergétique. Ce nouveau nom est une reconnaissance des travaux menés par le CEA depuis une dizaine d'années, notamment sur les énergies renouvelables, et affirme son rôle d'opérateur de la recherche scientifique et technologique de premier plan dans le domaine de l'énergie.

Le choix de conserver les trois lettres du sigle CEA atteste la pérennité de l'organisme et la légitimité de la poursuite de ses activités aussi dans les domaines de la Défense et de la sécurité globale, des technologies pour l'information et des technologies pour la santé. L'attachement au sigle historique confirme également le lien essentiel entre recherche fondamentale et recherche technologique que l'organisme a toujours revendiqué.

Même si la thématique de l'énergie est au cœur de la nouvelle appellation du CEA, je tiens, en effet, à insister sur les atouts considérables que constituent les autres domaines, la fertilisation croisée des différentes directions opérationnelles du CEA et notre socle de recherche fondamentale d'excellence. La visite du Président de la République à NeuroSpin le 11 janvier 2010 a clairement illustré, sur l'exemple de l'imagerie médicale, tout ce qu'apporte la collaboration entre la Direction de recherche fondamentale en sciences de la matière, spécialiste reconnue dans le domaine des aimants supraconducteurs capables de produire de très hauts champs magnétiques, et la Direction des sciences du vivant, qui travaille pour imaginer les diagnostics de demain en faveur des malades du cancer, d'Alzheimer ou de Parkinson, en s'appuyant sur son expertise biologique du meilleur niveau mondial et la reconnaissance dont elle bénéficie au sein de la communauté nationale et internationale.

Dans le domaine de la recherche technologique, le CEA est à l'écoute des questionnements du public dans le champ particulièrement innovant des nanomatériaux et des nanotechnologies, sachant les apports potentiellement fortement bénéfiques de ces nouvelles technologies dans une logique d'économie des ressources naturelles et de fonctionnalités nouvelles.

Concernant le contrat d'objectifs 2006-2009, ce rapport d'activité en présente un premier bilan. Sans en reprendre les détails dans cet avant-propos, il est nécessaire de souligner ici que le CEA a atteint plus de 90 % des 63 jalons scientifiques et techniques, souvent très ambitieux, qui étaient répartis sur la durée du contrat.

Un autre point d'importance, impliquant le CEA en 2009, fut le placement de la recherche au cœur des priorités de l'emprunt national, dont le montant a été fixé

à 35 milliards d'euros, et dont l'objet est le financement des investissements publics ciblés sur des projets à fort potentiel de croissance. Parmi les cinq priorités nationales définies par le chef de l'État, plusieurs concernent très directement le CEA. Ainsi, un milliard d'euros sera directement consacré au nucléaire du futur et 2,5 milliards d'euros aux autres énergies décarbonées. Des financements de l'emprunt national seront aussi accessibles, au-delà des laboratoires et équipements d'excellence, aux opérations Campus qui se développent à Saclay, Grenoble et Montpellier, dans lesquelles le CEA est fortement impliqué.

Nous avons finalisé en 2009 l'accueil du centre de Gramat et de ses personnels dans le Lot, qui devient, depuis le 1^{er} janvier 2010, le 10^e centre du CEA par son rattachement à la Direction des applications militaires. La transition avec la DGA s'est remarquable-

et lui apportera toute sa compétence et son savoir-faire.

À l'international, le CEA contribue activement à renforcer et à dynamiser l'offre nucléaire civile française. Cette ouverture doit impérativement être menée dans le respect des règles de sécurité et de sûreté. Ces thématiques ont été abordées lors de la conférence internationale sur l'énergie dont le Président de la République a souhaité l'organisation au mois de mars 2010. Je ne saurais passer sous silence au plan international nos succès et les défis que cela représente, dans les appels d'offres de l'Institut européen des technologies, avec la participation directe du CEA à deux des communautés de la connaissance sur les trois retenues – celle sur le thème « lutte et adaptation au changement climatique » et celle sur le thème « énergies durables » – et une participation indirecte, via Digiteo et

“ ... le CEA est parfaitement mobilisé au service de la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation et lui apportera toute sa compétence et son savoir-faire ”

ment bien passée, et je souhaite en remercier tous ceux qui ont œuvré au succès de cette entreprise.

Laissant aux chapitres thématiques de ce rapport annuel d'activité 2009 le soin de vous présenter les résultats obtenus par les équipes du CEA dans nos divers domaines d'activité, je veux souligner combien le CEA participe à l'évolution profonde du panorama de la recherche française.

En qualité de membre fondateur des quatre alliances programmatiques créées dans les domaines des sciences de la vie et de la santé (Aviesan), de l'énergie (Ancre), des sciences et technologies du numérique (Allistene) ainsi que celle qui fut créée au début de 2010 pour couvrir les domaines de l'alimentation, de l'eau, du climat et de l'environnement (Allenvi), le CEA est parfaitement mobilisé au service de la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation

System@TIC, sur le plateau de Saclay, à celle sur les « technologies de l'information et de la communication ».

Avec une nouvelle dénomination, des missions clarifiées et étendues, des équipes compétentes et renforcées par des recrutements récents de grande qualité, un rôle moteur d'innovation reconnu, un partenaire actif au sein de coopérations nationales, européennes ou internationales dynamiques, fort d'une exigence constante apportée à la sûreté et la transparence, le CEA est en 2010 comme par le passé entièrement mobilisé au service de ses clients et partenaires, et de la stratégie gouvernementale en faveur de l'innovation et de l'excellence scientifique.



En ma qualité de Haut-commissaire, je suis particulièrement sensible au fait que les activités conduites par le CEA en 2009, en réponse aux missions qui lui sont confiées par le gouvernement, contribuent à illustrer qu'il est l'un des fleurons des organismes de recherche français, voire européen, chargé de préparer l'avenir énergétique de notre pays et de garantir notre sécurité commune.

Avant-propos de Catherine Cesarsky Haut-commissaire à l'énergie atomique



© L. Godard/CEA

Dans le secteur du nucléaire de fission, je retiendrai, pour les réacteurs de 4^e génération, les avancées réalisées en partenariat avec EDF et Areva concernant Astrid, concluant trois années de R&D consacrées aux innovations qui permettront de disposer en 2010 de l'image de référence de ce prototype de RNR-NA. Je me félicite également de l'implication du CEA pour soutenir l'effort européen sur la filière RNR-Gaz, avec le projet Allegro, qui pourra constituer les bases pour une alternative à plus long terme. Dans le domaine du combustible, des résultats importants ont été obtenus en séparation poussée, notamment sur le procédé d'extraction simultanée de l'ensemble des actinides (uranium, plutonium et actinides mineurs) Ganex. L'inauguration de l'Institut de chimie séparative de Marcoule (ICSM) illustre parfaitement la volonté du CEA d'essaimer, au sein du monde académique, l'excellence de ses compétences dans ce domaine.

L'activité « nucléaire de fusion » a été largement dominée par les difficultés que rencontre le projet ITER. La force du soutien, que les équipes du CEA (de la Direction des sciences de la matière, du centre de Cadarache, de l'Agence ITER-France) ont apporté en 2009 au projet (aménagement du site, finalisation du dessin de la machine, projets de l'approche élargie), constitue sans nul doute un atout dont ITER aura besoin pour réaliser son

programme de recherche déterminant pour l'avenir de cette filière.

L'implication déjà ancienne mais qui n'a cessé de monter en puissance du CEA dans le domaine des énergies renouvelables a débouché en ce début d'année sur la nouvelle appellation du CEA. Au rang des succès dans ce domaine, je retiendrai ceux remarquables de la filière photovoltaïque à l'Ines, en particulier le procédé Photosil et les cellules à hétérojonction. Un autre axe prioritaire du CEA dans ce secteur est celui des batteries, qui bénéficie de la proximité de la recherche de base et de la recherche technologique. Je veux à cet égard souligner l'apport de la recherche de base en l'illustrant par les résultats obtenus au Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) sur la simulation de l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température. J'apporte tout mon soutien à la Direction des sciences de la matière et à la Direction des sciences du vivant dans leur démarche visant à déterminer, comme l'ont fait nos collègues du Department of Energy (DOE aux USA), quelques grands axes de R&D de base à promouvoir dans ce domaine.

Enfin, il convient de mentionner que les résultats remarquables de la Direction de la recherche technologique (avec le soutien de la Direction des sciences de la matière) en micro et nanotechnologies irriguent les nouvelles technologies pour l'énergie (éclairage, photovoltaïque, thermoélectricité...).

En micro-nanoélectronique, on notera en particulier les avancées considérables sur la structure technologique de 22 nanomètres, qui sera au cœur des systèmes d'information et de communication de demain.

Les activités dans le secteur de la défense ont été principalement marquées par la confirmation de l'homologation de la tête nucléaire aéroportée (TNA). Elle est ainsi la première arme nucléaire au monde garantie par la simulation.

Dans le domaine des lasers, la phase de mise au point des briques technologiques du laser petawatt développée sous maîtrise d'ouvrage de la région Aquitaine s'est achevée avec la validation du module amplificateur.

Concernant les sciences du vivant, outre son rôle stratégique de valorisation au sein de l'alliance Aviesan, le CEA développe une activité de recherche fondée sur la diversité des compétences, se traduisant par des avancées remarquables en toxicologie, imagerie *in vivo*, ingénierie des biomolécules, génomique et bioénergie. Je considère avec un intérêt tout particulier les travaux sur la visualisation *in vivo* de nanoparticules par marquage isotopique, les résultats de nouvelles approches pour augmenter le rendement de polarisation et en conséquence la sensibilité de la résonance magnétique nucléaire, la caractérisation ou l'utilisation thérapeutique de gènes dans le domaine des grandes causes de santé publique comme le cancer ou les maladies neurodégénératives, et, en combinant nanosciences et chimie bio-inspirée, la mise au point de catalyseurs permettant de produire de l'hydrogène sans consommation de platine.

En sciences de la matière, après avoir souligné les succès éclatants de Herschel et de Planck et les records d'énergie battus par le LHC, je veux témoigner ici de ma confiance la plus scientifique aux chercheurs du CEA travaillant en climatologie. Nous savons tous que la démarche scientifique est de longue haleine, il ne fait cependant aucun doute que sur le long terme les polémiques médiatiques ne résisteront pas à la rigueur de la science.

Je conclurai cet avant-propos en me félicitant de l'excellence scientifique dont ont fait preuve les équipes du CEA, tant en recherche avec par exemple les bourses ERC attribuées à nos chercheurs qu'en formation avec, d'une part, le record d'accueil des doctorants, puisque le CEA forme désormais 1 360 doctorants dans ses laboratoires, et, d'autre part, le renouveau de l'enseignement nucléaire. Cela se traduit en particulier par l'accueil de 118 étudiants (deux fois plus qu'en 2006) dans le cursus « génie atomique » de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) et par la création du master international « énergie nucléaire » (MIEN), dont le CEA assure plus d'un quart des enseignements et qui a accueilli 95 étudiants en 2009.

8 DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE

Recherche de base

Armes nucléaires, propulsion nucléaire Lutte contre la prolifération et le terrorisme

Physique nucléaire
Procédés et matériaux innovants
Autour des lasers
Calcul haute performance

10 Recherche appliquée

10 Dissuasion nucléaire et sécurité nationale et internationale

10 Les têtes nucléaires
10 Le programme Simulation
11 Ouverture à la communauté scientifique
12 La propulsion nucléaire
12 Assainissement des installations de la vallée du Rhône
13 Lutte contre la prolifération et le terrorisme

14 ÉNERGIES DÉCARBONÉES

Recherche fondamentale

Sciences de la matière

Une approche intégrée de *mitigation*
Institut européen de technologie
Icos : les flux de gaz à effet de serre
Modèle global pour le Giec
Enregistrement climatique
Imagerie X femtoseconde
Un matériau laser prometteur
S'affranchir du platine dans la filière hydrogène

Sciences du vivant

Radiobiologie
Toxicologie

16 Recherche appliquée

16 Énergie de fission

16 Systèmes nucléaires du futur de 4^e génération
16 Réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium
16 Réacteur à neutrons rapides refroidi au gaz
16 Évaluation technico-économique des scénarios
17 Soutien au nucléaire industriel
17 Réacteurs, combustible et sûreté
17 Traitement des combustibles usés
18 La gestion durable des matières et déchets radioactifs
18 Un ensemble cohérent d'outils pour la R&D
18 Réacteurs expérimentaux et labos chauds
19 Simulation
19 Assainissement et démantèlement

Énergie de fusion

21 Un besoin interdisciplinaire
21 Expérience et modélisation pour les plasmas
21 Développer des technologies pour ITER

22 Nouvelles technologies de l'énergie

22 CEA et Grenelle de l'environnement
22 Énergie solaire et efficacité énergétique
23 Transport innovant électrique
24 Les biocarburants de 2^e génération
25 Nanomatériaux pour l'énergie
25 Les bioénergies

26 TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET LA SANTÉ

Recherche fondamentale

Sciences de la matière

Nanosciences
Nanofil pour l'électronique
Mémoires à faible consommation
Étudier la toxicité des nanotubes
Chimie : start-up Pegastech
Résonance magnétique nucléaire

Sciences du vivant

L'imagerie *in vivo*
Biotechnologies, marquage biomoléculaire, ingénierie et structure
des biomolécules
Génomique
Immunothérapie

28 Recherche appliquée

28 Micro et nanotechnologies

28 Alliance IBM-STMicroelectronics
29 Programme Nanosimulation
29 Nano-Innov
29 Des partenariats amont renforcés
29 Croissance des programmes More than Moore
30 Imagerie : du matériau au traitement de l'information
30 Technologies pour la santé
30 Objets communicants et télécoms
31 Transfert technologique vers les PME
31 Technologies de l'énergie

32 Technologies logicielles et systèmes

34 LA RECHERCHE ET LES TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE (TGIR)

36 LES PROGRAMMES TRANSVERSAUX AU CEA

38 LE CALCUL INTENSIF



01

Les programmes



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. L'année 2009 a été marquée par le succès de la mise en service opérationnelle le 1^{er} octobre à Istres de la TNA, première tête nucléaire garantie par la simulation depuis l'arrêt définitif des essais nucléaires en 1996. Le nouvel enjeu du programme Simulation est maintenant de garantir la nouvelle tête océanique TNO, au travers de standards de calcul validés.

Le CEA 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.

La construction du réacteur à terre RES qui sert d'appui pour tous les programmes de la propulsion nucléaire progresse.

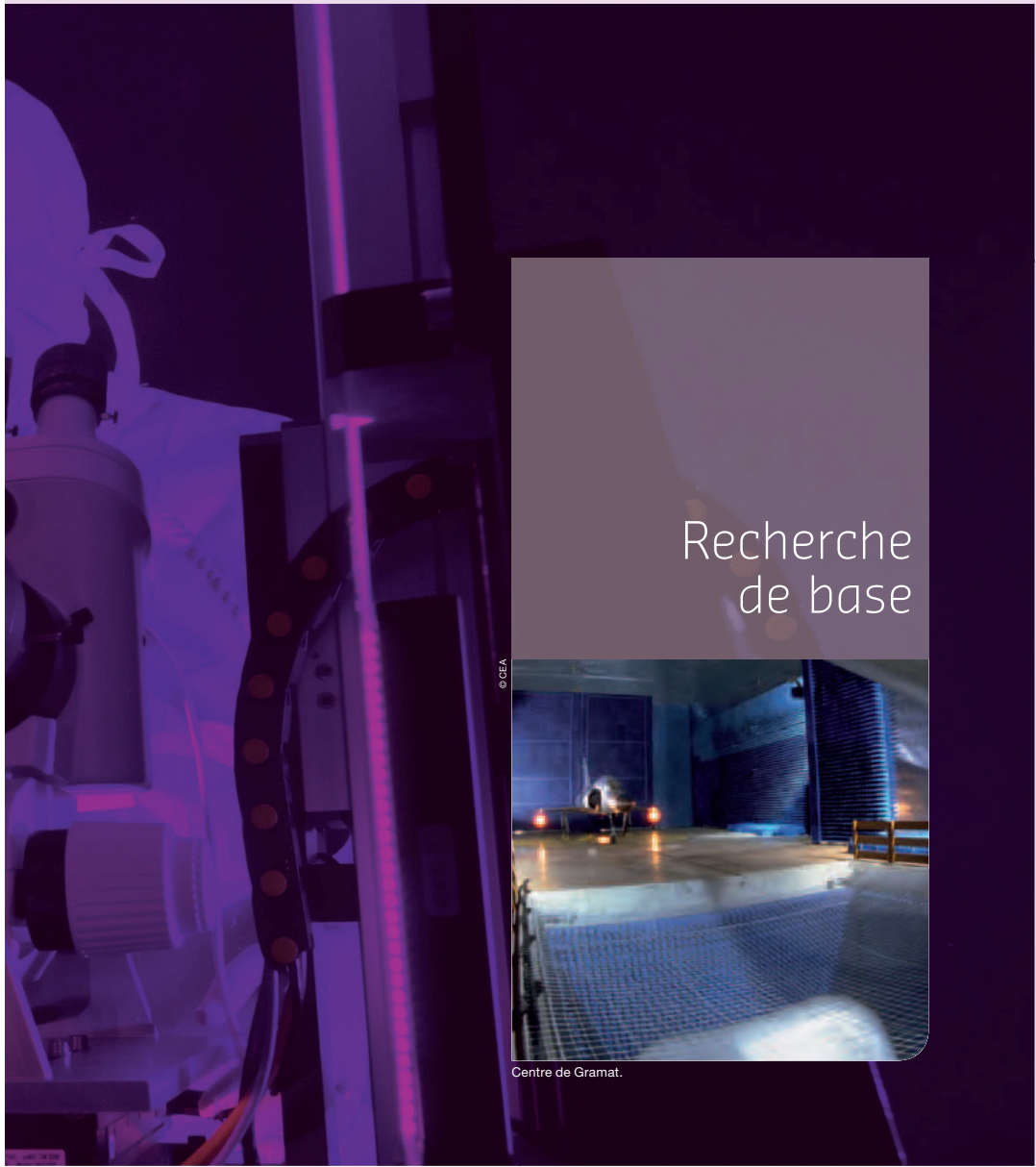
Le CEA est également responsable de l'approvisionnement des matières nucléaires pour les besoins de la Défense, dans le respect des décisions prises par la France d'arrêter la production de matières fissiles destinées aux armes et de démanteler les usines de production. La fin de l'année 2009 a été marquée par la mise à l'arrêt définitif des réacteurs Célestin.

Dans un monde en profonde mutation, le CEA permet à la France de conserver une dissuasion pérenne et crédible, après l'arrêt des essais nucléaires. De façon plus large, il contribue aux enjeux globaux de sécurité au travers de l'appui technique qu'il apporte aux autorités nationales, européennes et internationales pour les questions de désarmement, de lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme.

© H. Raguier/Sciences&Avenir/CEA



Inspection d'un miroir en verre sur le laser Mégajoule.



Recherche
de base

Centre de Gramat.

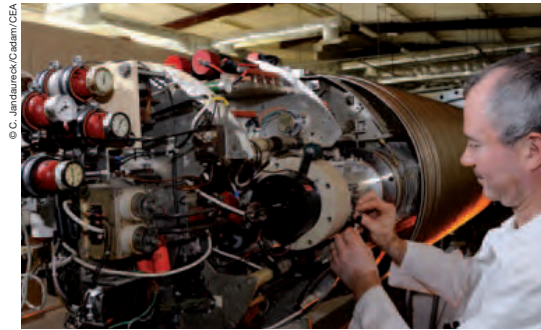
Défense

et sécurité globale



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, lasers de puissance...), de la propulsion nucléaire (neutronique, vieillissement des matériaux sous irradiation), de la surveillance des traités (sismique, infrasons, transport des radionucléides) et de la lutte contre la prolifération et le terrorisme (capteurs).

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



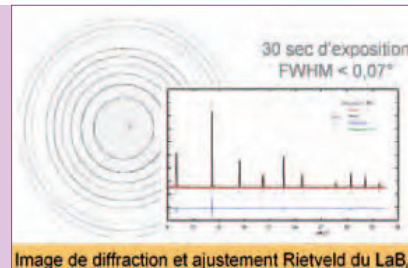
Les accélérateurs de particules sont exploités pour les recherches en physique nucléaire.

Physique nucléaire

L'année 2009 a notamment été marquée par une amélioration de la paramétrisation de l'interaction effective de la force de Gogny, utilisée depuis plus de 30 ans au CEA pour calculer les propriétés structurales des noyaux atomiques. Une expérience-test a été réalisée à l'aide de faisceaux d'ions lourds au laboratoire GSI de Darmstadt. Des détecteurs à scintillations très rapides ont permis de mesurer pour la première fois, simultanément, l'énergie cinétique des fragments avec une grande précision. Ce test constitue une étape importante pour les futures expériences sur la fission nucléaire auprès des installations du GSI (projets SOPHIA et FEIse). Ces éléments de base pour les études de fission contribuent à l'amélioration des modèles utilisés dans le cadre du programme Simulation.

PREMIÈRES EXPÉRIENCES SUR MARS

Une première expérience sur plutonium sur la ligne de lumière Mars du synchrotron Soleil, à Saclay, a été réalisée. Cette démonstration a permis d'obtenir des images de diffraction d'une très grande qualité et une première mesure d'absorption du plutonium. Elle illustre le potentiel de cette ligne pour caractériser la matière radioactive soumise à des conditions extrêmes de pression et de température.



© C. Jandaureck/Cadarm/CEA



Laser Yag utilisé pour mesurer la vitesse à l'intérieur de la matière.

Autour des lasers

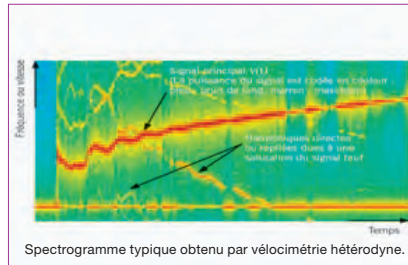
L'élément central des cibles destinées à obtenir la fusion sur le laser Mégajoule (LMJ) est un microballon de taille millimétrique, à géométrie et état de surface contrôlés. Pour mesurer les microdéfauts de surface, les comptabiliser et les cartographier, une technique de caractérisation optique a été retenue. Il s'agit d'un microscope holographique digital, couplé à des axes de rotation motorisés, pour lequel un système d'exploitation a été développé. Celui-ci dénombre les défauts et leurs caractéristiques en couvrant plus de 99,8 % de la surface totale du microballon.

Une campagne d'expérimentation dédiée à l'implosion en attaque indirecte a été réalisée sur le laser Omega de l'université de Rochester (États-Unis), en collaboration avec le Lawrence Livermore National Laboratory et le Massachusetts Institute of Technology. Elle a permis de démontrer l'avantage énergétique significatif offert par la filière de cavité de forme optimisée, dite « rugby », proposée pour le LMJ. Il s'agit d'atteindre des rendements neutroniques jamais obtenus en attaque indirecte pour la fusion de deutérium non cryogénique et de réaliser la première image neutronique dans cette configuration.

* NRBC-E : nucléaire, radiologique, biologique, chimique et explosif.

Procédés et matériaux innovants

Les travaux menés dans le cadre du programme interministériel de R&D NRBC-E* ont démontré l'intérêt du développement d'un dispositif multicapteurs pour la détection de traces d'explosifs. Ce nouveau concept présente un double avantage : un temps d'alerte en regard de la menace de l'ordre de la dizaine de secondes et la caractérisation de la menace dans la minute qui suit.



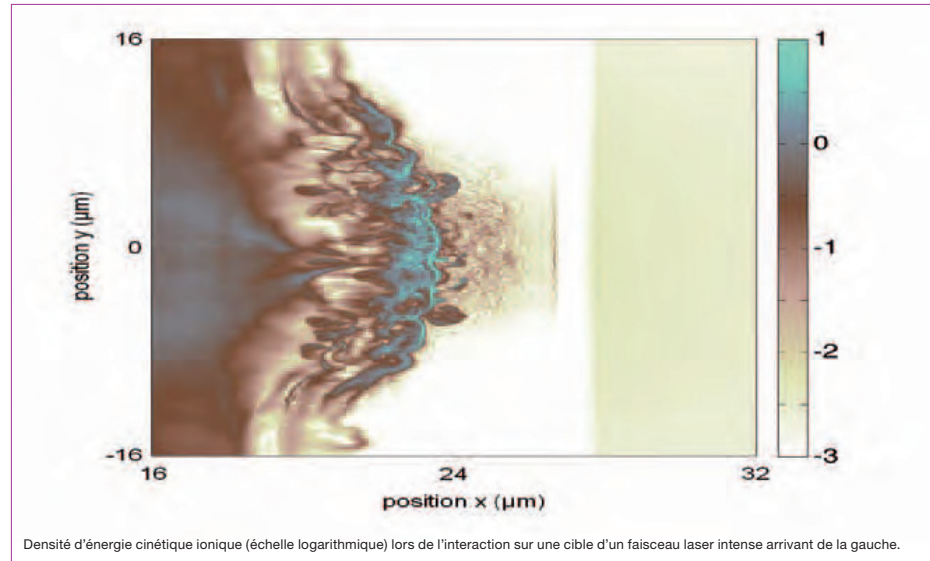
PROCÉDÉS INNOVANTS ET MATÉRIAUX NOUVEAUX



Le principe de vélocimétrie hétérodyne a été testé lors d'une expérience réalisée au Polygone d'expérimentations de Moronvilliers. Dans les études de détonique, cela permet de mesurer la vitesse à la surface d'un matériau soumis à un choc intense. Plus performant que les autres systèmes, ce concept a permis de miniaturiser les dispositifs de mesures et d'accroître le nombre de voies dans un même édifice. Ce type de mesure constitue un saut technologique dans l'expérimentation grande vitesse, indispensable pour la simulation.

Défense

et sécurité globale



Densité d'énergie cinétique ionique (échelle logarithmique) lors de l'interaction sur une cible d'un faisceau laser intense arrivant de la gauche.

Calcul haute performance

Parmi les résultats remarquables de l'année 2009, on peut citer la simulation cinétique de l'interaction laser-plasma. Ce calcul, réalisé au CCRT, a permis la simulation en 3D de la production d'un faisceau

de protons énergétiques par interaction entre un faisceau laser et une cible. Ce type de simulation est indispensable pour mettre au point les applications médicales envisagées avec ces faisceaux de protons.

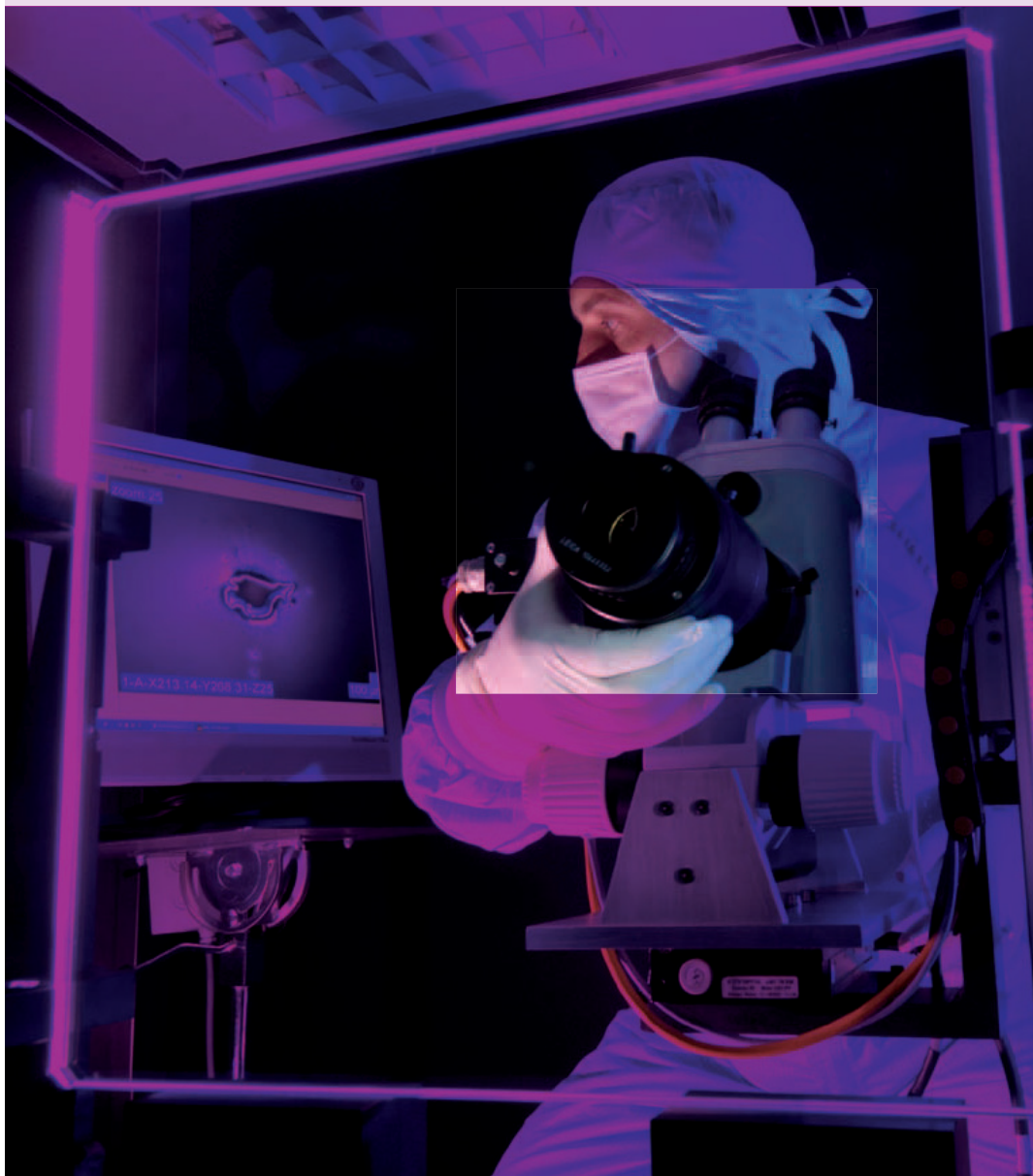


© CEA

GÉNÉRATEUR DE VAPEUR À PLAQUES



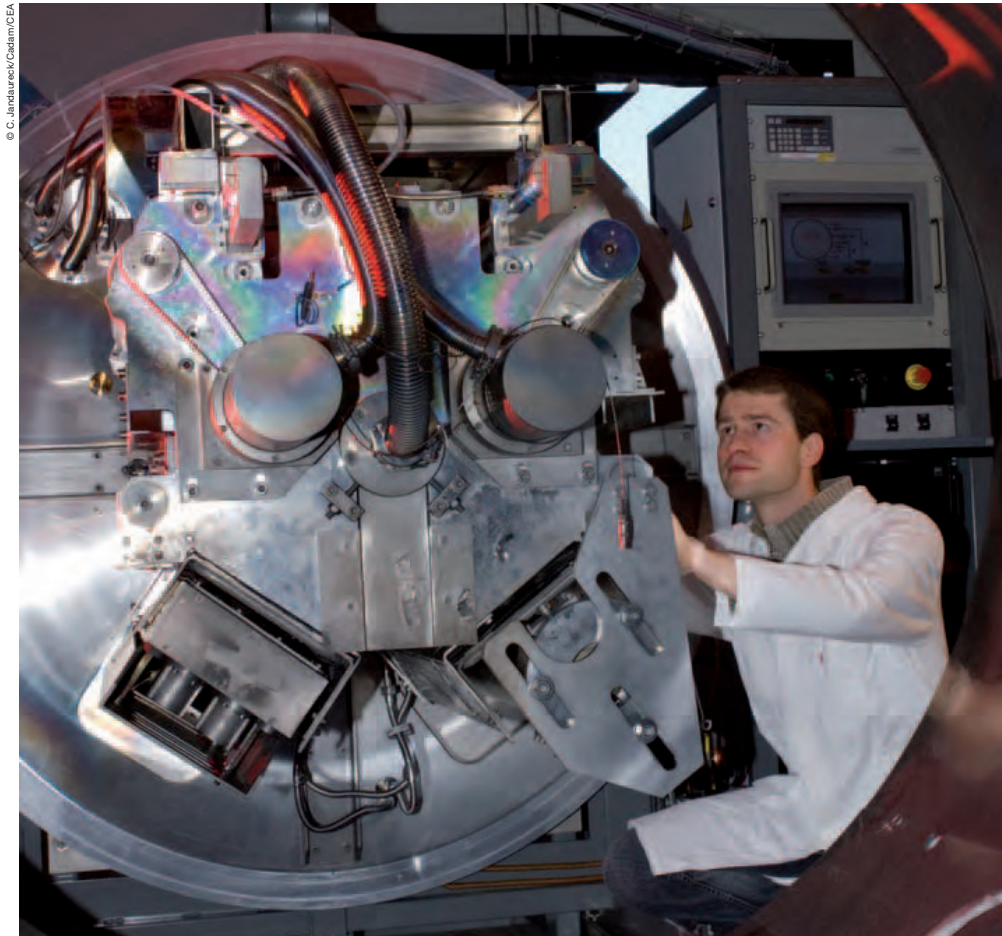
Le développement d'un générateur de vapeur à plaques, pour les futures chaufferies de la propulsion navale, a démarré. Il a fait l'objet d'une définition en partenariat avec Areva TA. Les éléments destinés aux premiers essais permettant de valider le fonctionnement thermique ont été réalisés. Le calendrier des essais doit permettre à la Défense de prendre une décision en 2013 quant à son installation sur le réacteur RES pour une phase de qualification en vraie grandeur. Le développement de ce composant permettra d'accroître la puissance et la durée de vie des cœurs de chaufferies intégrées de propulsion navale et d'en augmenter la compacité.



Défense

et sécurité globale

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



© C. Jandaureck/Cadarm/CEA

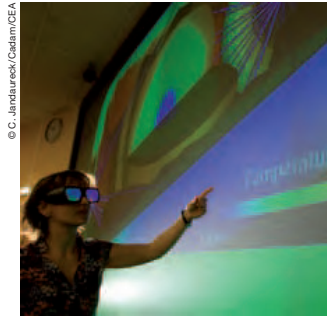
Développement et fabrication de composites, polymères, céramiques... indispensables pour constituer l'enveloppe de la tête nucléaire.

Les têtes nucléaires

Fait marquant de l'année pour le pôle Défense : les premières TNA (têtes nucléaires aéroportées) opérationnelles ont été livrées à la Défense en 2009. La TNA, qui va remplacer la TN81, est la première arme nucléaire garantie par la simulation.

Elle équipe les missiles ASMPA depuis octobre 2009. Un essai en vol dans le cadre du programme ASMPA/TNA s'est déroulé avec succès en mars 2009. Ce jalon était dédié à la validation du fonctionnement global, en environnement opérationnel, d'une tête expérimentale inerte instrumentée, représentative de la charge réelle.

La maintenance des têtes nucléaires actuellement en service – TN81 pour la composante aéroportée et TN75 pour la composante océanique – se poursuit conformément aux échéances prévues. Corrélativement à la mise en service opérationnel de la TNA, les premières TN81 ont été retirées du service et leur démontage a débuté.



Mur d'images haute résolution de l'installation Tera 10.

La TN75 va être remplacée par la tête nucléaire océanique (TNO), qui équipera les missiles stratégiques M51 à partir de 2015. Le dossier de lancement en développement du projet TNO a été transmis à la Défense fin 2009 et approuvé début 2010. La garantie de fonctionnement et des performances de cette nouvelle charge robuste s'appuiera sur les avancées les plus récentes de la simulation.

Le programme Simulation

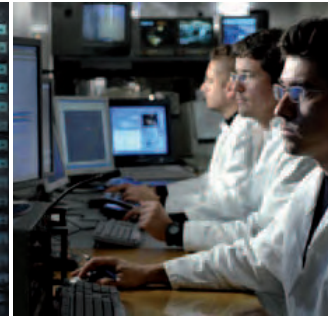
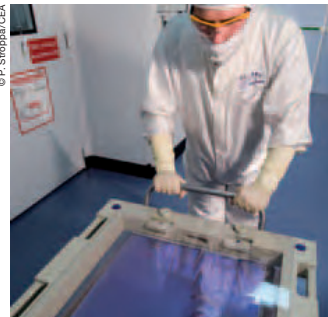
Les têtes nucléaires, qui prennent progressivement la relève des armes en service lorsqu'elles arrivent en fin de vie, doivent être garanties sans nouveaux essais nucléaires. Le programme Simulation, lancé en 1996 pour répondre à cet objectif, a été élaboré autour de trois volets :

- 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 l'efficacité et la sûreté des armes.

Le programme Simulation repose sur de grands équipements : supercalculateurs, laser Mégajoule (LMJ) et grands moyens de caractérisation.

L'un des outils essentiels est une chaîne de logiciels qui permet de reproduire, par le calcul, les différentes phases de fonctionnement d'une arme nucléaire. Sa mise en œuvre nécessite la mise au point de modèles physiques détaillés et le déploiement de puissants moyens de calculs.

Le supercalculateur Tera 10 de Bull est actuellement une des machines les plus performantes d'Europe, avec une puissance crête de 60 téraflops (1 téraflops = mille milliards d'opérations par seconde). Le démonstrateur Tera 100 a été livré en juin 2009, conformément au contrat signé avec Bull en juillet 2008. Il permet de valider



De gauche à droite : unité de stockage de Tera 10 – poste de pilotage Airix – procédé sol-gel pour les optiques du laser Mégajoule – test sur banc d'un optique en verre après plusieurs tirs laser.

les nouvelles technologies nécessaires au fonctionnement d'un ordinateur petaflopique. La seconde phase du contrat permettra l'acquisition et la mise en œuvre du supercalculateur, premier ordinateur petaflopique jamais conçu et réalisé en Europe. Le standard de calculs 2010 a été défini en 2009 et sera livré en 2010. Exploité sur la machine Tera 100, il constituera un élément clé dans le cadre du processus de garantie du fonctionnement et des performances de la charge nucléaire de la TNO.

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 et son prototype, la Ligne d'intégration laser (LIL).

La machine de radiographie Airix, installée sur le Polygone d'expérimentation

de Moronvilliers (PEM) en Champagne-Ardenne, permet de valider les modèles relatifs au début du fonctionnement de l'arme, dans sa phase non nucléaire.

Le LMJ, indispensable pour simuler le fonctionnement nucléaire de l'arme, est en cours de construction au Cesta, près de Bordeaux. Les opérations de montage des infrastructures de la Section amplificatrice hors amplificateurs (SAHA) se poursuivent dans les quatre halls. Le hall numéro 1 est entièrement monté (cinq chaînes SAHA, soit 40 faisceaux); l'équipement du hall numéro 2 a débuté. Le plancher équatorial du hall d'expérience a été monté.

Les campagnes d'expériences se poursuivent sur la LIL, pour les besoins de la physique des armes et pour ceux de l'atteinte de l'ignition sur le LMJ. Les miroirs déformables de fond de cavité de nouvelle génération ont été réalisés et installés. Grâce à

CRÉATION D'UN CENTRE D'ALERTE AUX TSUNAMIS



Le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire et le ministère de l'Intérieur, de l'Outre-mer et des Collectivités territoriales ont confié au CEA le développement et l'exploitation d'un centre d'alerte aux tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée occidentale. La création de ce centre, basé à Bruyères-le-Châtel, va nécessiter le développement d'outils de traitement de données géophysiques dédiées et la mise en œuvre d'une permanence 24 heures/24. Il sera opérationnel fin 2011. La secrétaire d'État chargée de l'écologie s'y est rendue le 9 octobre 2009.

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE

un traitement sol-gel de haute qualité, leurs performances optomécaniques obtenues avant tir de puissance sont conformes aux spécifications, et le pilotage simultané des quatre miroirs a été validé sur la chaîne laser de la LIL.

Ouverture à la communauté scientifique des moyens du programme Simulation

LMJ et Route des lasers

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 approuvée par le ministère de la Défense en 2002.

Le bâtiment de l'Institut lasers et plasmas (ILP) a été inauguré en janvier 2009. Cet institut 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.

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

Les campagnes d'expériences de physique des plasmas se poursuivent sur la LIL. Des expériences d'interaction réalisées pour l'ILP ont été menées en février 2009, faisant suite à une première campagne menée en 2007 qui avait conduit à valider l'efficacité d'une mousse de faible densité pour lisser les faisceaux laser dans les premiers instants de l'impulsion. Dans cette deuxième série de tirs, des variations paramétriques ont été réalisées sur la densité de la mousse ainsi que sur le niveau de lissage longitudinal du laser et son énergie.

Moyens de calculs et Teratec

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 Ile-de-France, à Bruyères-le-Châtel, il est aujourd'hui un des premiers centres de calculs européens. Il a vocation à satisfaire les besoins de ses nombreux partenaires (CEA, EDF, Snecma...) en matière de grandes simulations numériques (voir aussi pages 38-39).

Seize grands challenges scientifiques ont été réalisés à l'été 2009 sur le nouveau calculateur Bull Titane du CCRT. Trois d'entre eux ont utilisé la partition GPU (Graphics Processing Unit) de ce calculateur hybride et ont ainsi démontré le caractère opérationnel de ces technologies innovantes pour le calcul intensif. Le campus Teratec accueillera le laboratoire Bull/CEA-DAM Extreme Computing ainsi que le laboratoire Intel/CEA/Genci/UVSQ Exatec.

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.

Cette flotte était composée en 2009 du porte-avions *Charles-de-Gaulle*, de six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) et de trois sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération (SNLE NG). L'année 2009 a été plus particulièrement marquée par la réalisation des opérations liées à l'Iper (indisponibilité pour entretien et réparation) du SNA *Perle*. Le CEA a suivi, par délégation de la Marine, tous les travaux concernant la chaufferie en élargissant ainsi son périmètre de responsabilité par rapport aux Iper réalisées précédemment. Cette intervention s'est accompagnée, pour le SNA, du remplacement par un cœur neuf, fabriqué à Cadarache, préalablement livré et équipé au printemps 2009 à Toulon. Ce rechargement permettra de fournir l'énergie nécessaire au navire pendant au moins 10 ans.

La réalisation du programme Barracuda (renouvellement des SNA de la chaîne Rubis), lancée fin 2006, se poursuit. La soudure des deux premiers tronçons de la coque du *Suffren* a démarré en juin. La tranche conditionnelle lançant la réalisation du deuxième sous-marin, le *Duguay-Trouin*, a été signée par les industriels également en juin. La revue de fin de phase de conception détaillée de la chaufferie s'est déroulée avec succès en novembre.

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 2009 a vu la poursuite du chantier, notamment les opérations de montage (installations électriques, tuyauteries, ventilation...). Le générateur de vapeur a été transféré à Cadarache et sera posé sur la cuve mi-2010. Tous les composants principaux et capacités des circuits primaires et secondaires sont installés.

Une étude de faisabilité d'adaptation de la définition d'un second porte-avions à propulsion nucléaire a été lancée. Elle a pour objet d'apporter des éléments techniques, financiers et calendaires pour une éventuelle décision de réalisation en 2011-2012.

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 2009.



De g. à dr. : Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) – sous-marin nucléaire lanceur d'engins nouvelle génération (SNLE NG) *Le Triomphant* – au cœur de l'enceinte de confinement du réacteur RES en construction.

© P. Dumas/CEA



De g. à dr. : démantèlement d'une salle dans l'usine UP1 – la balise Dirad est un système de détection gamma automatisé, développé par le CEA dans le cadre de ses recherches NRBC.

Les opérations de mise à l'arrêt définitif de l'usine de retraitement UP1 de Marcoule ont continué. Conformément au calendrier, la démolition des bâtiments de commande des anciens réacteurs plutonigènes G2 et G3 s'est achevée en novembre 2009. Ces bâtiments étaient inactifs depuis 2006, date à laquelle le système de surveillance avait été transféré dans un nouveau poste de commande construit à proximité des bâtiments réacteurs. La phase ultime de démantèlement portera sur les blocs réacteurs encore en place ; elle commencera en 2022, après l'ouverture par l'Andra du site de stockage de déchets de graphite. 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 les barrières. Après l'achèvement de la phase de dépose et de traitement de ces diffuseurs fin 2006, le démantèlement de tous les équipements annexes s'est poursuivi en 2009, et l'achèvement du programme à fin 2010 est confirmé. Le démantèlement de ces installations est un des points forts de l'action de la France en faveur du désarmement nucléaire. Le Président



© C. Jandrussek / CEA

de la République avait mis ce point en exergue lors de son discours de Cherbourg le 21 mars 2008, invitant la communauté internationale à venir constater le caractère irréversible de ce démantèlement. Deux nouvelles visites ont été organisées en 2009, au bénéfice d'experts et de journalistes internationaux. Après 42 ans de fonctionnement, les réacteurs Célestin de Marcoule ont été mis à l'arrêt définitif le 23 décembre 2009. Ils seront assainis puis démantelés jusqu'au niveau 3 AIEA (hors génie civil).

Lutte contre la prolifération et le terrorisme, intervention nucléaire

En raison de ses capacités uniques dans le domaine nucléaire et civil, le CEA assure depuis de nombreuses années une mission d'appui technique auprès des autorités nationales pour les questions de dissuasion, 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). L'explosion détectée en Corée du Nord le 25 mai constitue un des faits marquants de 2009 : les moyens nationaux de cette surveillance ont permis d'annoncer très rapidement les caractéristiques de cette explosion.

Sur le plan technique, des actions importantes de remise à niveau des systèmes de surveillance ont été menées. Le déploiement de moyens de télécommunication de secours destinés à prévenir toute perte de transmission a été engagé. La première version industrielle du Système modulaire d'acquisition de données (Smad) a été déployée avec succès à Tahiti. Les actions de soutien à l'Otice (Organisation du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires) se sont poursuivies tout au long de l'année, avec notamment l'installation de la station de mesure du xénon FRX29 à la Réunion. L'année a également été marquée par l'annonce de la création à Bruyères-le-Châtel d'un centre d'alerte aux tsunamis (cf. fait marquant). L'actualité internationale, très importante en matière de prolifération nucléaire, a nécessité de nombreuses contributions du CEA aux actions nationales dans ce domaine. Des progrès significatifs ont été réalisés dans les méthodes de détection et de caractérisation d'indices de prolifération nucléaire. Enfin, le CEA a poursuivi son soutien au Département des garanties de l'AIEA au travers du Programme français de soutien aux garanties. Dans le cadre de sa mission au profit du ministère de la Défense, le CEA a participé à différents exercices d'intervention nucléaire, en particulier à un exercice national de sécurité nucléaire sur la base aérienne de Mont-de-Marsan en avril 2009. Tous ces exercices ont confirmé la qualité de son dispositif et sa bonne intégration dans l'Organisation nationale de crise de Défense (ONCD). 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⁽¹⁾ ont été réalisées. Par exemple, un accord de licence a été signé avec la société Saphymo pour la balise Dirad développée par la Direction des applications militaires. Ce système automatisé de détection radiologique gamma permet l'identification en temps réel d'une anomalie radioactive et son interprétation en termes de niveaux de risques.

(1) NRBC/E : nucléaire, radiologique, biologique, chimique – explosifs.

© CEA



UN NOUVEAU CENTRE POUR LE CEA

Le centre d'études de Gramat de la Direction générale de l'armement (DGA) a rejoint le CEA le 1^{er} janvier 2010. L'administrateur général du CEA et le délégué général pour l'armement ont signé le 6 janvier 2010 la convention de transfert du centre. Fort de ses 250 salariés, Gramat développe la physique, l'expérimentation et le calcul numérique nécessaires à l'expertise en matière d'efficacité des armements et de protection des systèmes d'armes contre les agressions nucléaires et conventionnelles. Le rattachement de cette expertise au CEA permettra d'y constituer un pôle d'excellence en détonique et électromagnétisme.





Le CEA apparaît comme un opérateur essentiel de la puissance publique pour relever les deux défis liés à l'énergie et à l'environnement : la sécurité de l'approvisionnement énergétique et la lutte contre le changement climatique. La réponse à ces enjeux s'appuie sur un mix énergétique composé de trois secteurs clés : le nucléaire de fission, la fusion nucléaire contrôlée, les nouvelles technologies de l'énergie.

- Le nucléaire de fission : le CEA soutient, dans le cadre d'accords de collaboration, les demandes de R&D des industriels concernant le nucléaire de 2^e et 3^e générations (accroissement de la durée de vie et des performances des réacteurs dans les meilleures conditions de sûreté, amont et aval du cycle). Il étudie la faisabilité des systèmes industriels de 4^e génération, avec un effort important sur la filière des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium.

- La fusion nucléaire contrôlée : le projet international ITER sera implanté sur Cadarache. Le CEA participe au développement, à la construction et à l'exploitation, avec les coopérants du projet international et en s'appuyant sur les compétences scientifiques et techniques de ses équipes.

- Les nouvelles technologies de l'énergie : le CEA développe des bases technologiques pour la mise en place, à court terme, d'ambitieuses filières industrielles d'énergies nouvelles dotées d'une efficacité énergétique accrue. Celles-ci sont en phase avec les engagements du Grenelle de l'environnement, la stratégie de Lisbonne et la construction de l'Espace européen de la recherche. Les programmes du CEA ciblent les secteurs les plus consommateurs d'énergie (bâtiment et transports) en priorité sur les domaines du photovoltaïque et du stockage de l'énergie électrique, se déclinent selon une approche systémique visant des innovations de rupture et la réalisation de démonstrateurs.



Boîte à gants d'étude de composés d'actinides.



Recherche
fondamentale

Cultures et manipulations de cyanobactéries.

Énergies décarbonées



Recherche fondamentale pour l'énergie



De g. à dr. : dépouillement de données météorologiques dans le cadre du projet CarboOcean – salle d'analyse de l'interaction rayonnement-matière sur des échantillons métalliques.

Avec la conférence de Copenhague sur le climat en 2009, et au cours des derniers mois, la protection du climat, la remédiation (dite aussi *mitigation*), occupe une place croissante dans l'agenda politique. Plusieurs secteurs sont concernés, en premier lieu l'énergie et les transports, mais aussi le bâtiment, l'agriculture... Cet effort généralisé pour une gestion bas carbone des ressources s'accompagne d'une nécessaire préparation à un climat différent et ses conséquences, notamment les événements extrêmes. Il s'agit de l'*adaptation*.

Le CEA mène des recherches amont nécessaires aux développements de nouvelles sources d'énergie, non seulement dans le domaine de la fusion par confinement magnétique, mais aussi dans ceux de la chimie et des interactions rayonnement matière, en soutenant les nouvelles technologies de l'énergie ainsi qu'en définissant des concepts innovants pour les technologies bas carbone. Ces recherches sont complétées par une compétence reconnue à l'échelle mondiale sur les sciences du climat et de l'environnement.

Le climat et la société

Le positionnement international très fort du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), unité mixte CEA/CNRS/UVSQ⁽¹⁾, a été souligné en 2009 par l'évaluation de l'AERES⁽²⁾. Ses chercheurs participent aux travaux du Groupement intergouvernemental d'experts sur le climat et la préparation du prochain rapport du Giec est une de ses priorités. Parmi ses objectifs scientifiques majeurs figurent l'intégration de la contribution des aérosols au modèle global, la mesure et la compréhension des cycles biogéochimiques et en particulier celui du carbone (projet Icos), et l'obtention d'enregistrements à haute résolution du climat du passé pour des périodes clés. Avec le LSCE et le projet de pôle Climat-environnement-énergie, la recherche fondamentale pour l'énergie au CEA est particulièrement gréée pour répondre aux engagements du Grenelle de l'environnement.

Une approche intégrée de la mitigation

Basé sur le plateau de Saclay, le pôle Climat-environnement-énergie est fondé sur la qualité des équipes de recherche fondamentale et finalisée ainsi que sur des échanges féconds entre l'enseignement supérieur, la recherche et l'innovation. Il porte l'ambition européenne et mondiale des partenaires du plateau de Saclay sur ces thématiques. En 2009, le pôle a commencé à structurer son action en organisant ses premiers séminaires interdisciplinaires sur des thèmes comme les réseaux électriques intelligents, la physique et la chimie pour la régénération du carbone ainsi que l'évaluation environnementale et économique des filières de bioénergies.

(1) UVSQ : université Versailles Saint-Quentin.

(2) AERES : Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur.



Connexion des dernières lignes (air et standard de calibration) sur l'instrument de mesure en continu du CO₂.

© C. Moner/Our Polar Heritage

Énergies décarbonées



SCIENCES DE LA MATIÈRE LE CLIMAT ET LA SOCIÉTÉ

© C. Menel/Our Polar Heritage



Base Neem, dans
le nord-ouest du Groenland.

Modèle global pour le Giec

La collaboration internationale Margo, pilotée par le LSCE, a mis au point, en 2009, une reconstitution des températures de l'océan au cours du dernier maximum glaciaire, survenu il y a environ 20 000 ans, avec une fiabilité et une précision sans précédent. Grâce à cet ensemble unique de données, Margo va permettre de raffiner les modèles climatiques et mieux anticiper les changements à venir.

Enregistrement climatique fiable par un forage à grande profondeur

La saison de forage 2009 sur le site de Neem, dans le nord-ouest de la calotte de glace groenlandaise, constitue un nouveau record mondial en termes de rapidité de forage glaciologique : plus de 1 750 mètres de profondeur dans le glacier ont été atteints en seulement 110 jours effectifs. Le projet Neem implique des laboratoires de 14 nations dont le LSCE. Le forage, qui devrait atteindre dans les années à venir le socle rocheux à 2 545 mètres sous le glacier, fournira un enregistrement climatique fiable de la précédente période interglaciaire (entre moins 120 000 et moins 130 000 ans). Les chercheurs pourront, entre autres, affiner leurs modèles de l'évolution future possible du niveau des mers en période climatique chaude.

<http://neem.nbi.ku.dk/>

Institut européen de technologie

L'Institut européen de technologie (IET) a sélectionné le 16 décembre 2009 deux communautés de la connaissance et de l'innovation (Knowledge and Innovation Community, KIC) dans lesquelles le CEA est impliqué : Climate-KIC sur la lutte et l'adaptation au changement climatique et InnoEnergy sur l'énergie durable. Ces structures ont pour objectif d'accroître le potentiel d'innovation en Europe grâce à une vision cohérente d'une économie « durable », qui intègre la recherche et les éco-innovations, la formation à l'entreprenariat et l'émergence d'entreprises de technologie innovante.

Icos : les flux de gaz à effet de serre

Le projet européen Icos (projet d'infrastructure européenne dédié à la mesure précise des flux de gaz à effet de serre) s'est poursuivi en phase préparatoire avec en 2009 la définition du cahier des charges du futur réseau de stations de mesure. Publié sur internet, le Carboscope fournit les flux de surfaces en CO₂ et CH₄ dérivés par trois équipes en Europe, calculés à l'aide des mesures atmosphériques, et permet une visualisation spatio-temporelle de ces flux.

<http://www.icos-infrastructure.eu/>



© F. Rhodes/CEA

Station météo installée dans le cadre de la campagne Megapoli.

Chimie & interaction rayonnement-matière

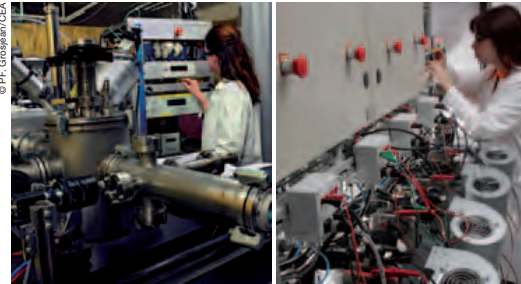
Préparer des nouveaux matériaux est une des clés des technologies futures de l'énergie. Dans ce but, il est essentiel d'explorer le comportement de la matière, notamment lorsqu'elle est soumise à des conditions extrêmes. D'où l'importance des recherches en vue d'utiliser des rayonnements pour sonder la matière à différentes échelles et dans le développement de nouvelles sources, en particulier avec des lasers à impulsions ultra-courtes (femtoseconde).

Imagerie X femtoseconde à l'échelle du nanomètre

Des chercheurs du CEA ont obtenu, pour la première fois, des images en rayons X à l'échelle nanométrique avec un seul tir femtoseconde (10^{-15} s) issu d'un dispositif laser compact de laboratoire. Cette première avec ce type d'instrument ouvre la voie à des études dynamiques, telles que la dynamique d'aimantation ou la réactivité chimique à l'échelle nanométrique et femtoseconde.

Un matériau laser prometteur

Dans le but d'augmenter les performances des lasers de puissance, une équipe d'un laboratoire mixte CEA-CNRS-EnsiCaen-université de Caen a montré qu'en refroidissant à température cryogénique des cristaux de fluorine (CaF_2) dopée Yb^{3+} , des performances inédites peuvent être atteintes : rendement lumineux supérieur à 80 % et tenue en flux record, tout en autorisant une large accordabilité en longueur d'onde. Les résultats obtenus intéressent plusieurs sociétés et organismes de recherche, en particulier dans la perspective des projets européens HIPER (European High Power Laser Energy Research Facility) et ELI (Extreme Light European Infrastructure).



De g. à dr. : enceinte de génération du rayonnement harmonique du laser PLFA – banc de test pour les piles à combustible.

S'affranchir du platine dans la filière hydrogène

Les équipes du CEA ont obtenu des résultats expérimentaux et en modélisation significatifs dans la mise au point de molécules catalytiques sans platine. Leur but est de développer un matériau capable de catalyser sans platine aussi bien la production d'hydrogène que son utilisation dans les piles à combustible. Le remplacement du platine, métal rare et précieux, dans ces procédés offrirait la perspective d'une économie de l'hydrogène plus compétitive.

Un nouveau composé à base de nickel a été synthétisé en combinant nanosciences et chimie bio-inspirée. Le matériau se révèle stable et capable de fonctionner en milieu très acide, ce qui lui permet d'être compatible avec les membranes échangeuses de protons, utilisées de manière quasi universelle dans les piles à combustible fonctionnant à basse température.

Quant à la modélisation, elle a permis de dégager des pistes pour modifier la molécule de façon à ce que toutes ses formes géométriques présentent une activité catalytique optimale. Ces travaux ont été brevetés et publiés dans la revue *Science*.

Énergies décarbonées



La radiobiologie

Connaître les effets des rayonnements sur le vivant

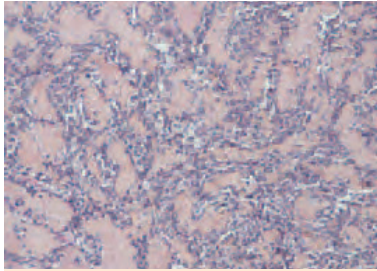


À Fontenay-aux-Roses, le CEA dispose d'un plateau technique d'irradiation optimisé pour les très faibles doses et offrant un large spectre de débit de dose.

Les recherches en radiobiologie visent à connaître les effets des rayonnements ionisants sur le vivant, à ses différents niveaux d'organisation. Les résultats des recherches des équipes du CEA dans ce domaine 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.

Un effort particulier est porté sur l'évaluation des effets des faibles doses de rayonnement pour lesquels de nombreuses questions restent en suspens, notamment celle de l'influence de la susceptibilité individuelle sur le développement d'une maladie radio-induite. Dans ce contexte, le CEA a participé à la création d'un groupe européen des experts de haut niveau (HLEG) pour établir une feuille de route commune concernant la recherche sur les faibles doses. Ces travaux se sont concrétisés par l'organisation, en octobre 2009, d'un premier *workshop* européen à Stuttgart et par la mise en place d'une structure de gouvernance transnationale de la recherche dans le domaine des faibles doses, baptisée Melodi pour Multidisciplinary European Low Dose Initiative.

© F. Rhodes/CEA



IDENTIFICATION D'ANOMALIES GÉNÉTIQUES DANS LES OSTÉOSARCOMES RADIO-INDUITS

L'ostéosarcome est le cancer des os le plus répandu chez l'enfant. Il semble provenir d'un dérèglement des ostéoblastes, cellules permettant la formation du tissu osseux. Des études montrent qu'il apparaît fréquemment après une exposition aux rayonnements ionisants. Afin de mieux comprendre les bases moléculaires à l'origine du développement de ces cancers radio-induits, des chercheurs de l'Institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire ont comparé l'expression génique de tumeurs et d'ostéoblastes chez le rat. Les résultats montrent une variation significative de l'expression de 72 gènes. Certains sont impliqués dans les processus d'adhésion et de différenciation cellulaire; d'autres sont des gènes suppresseurs de tumeurs. Une autre altération génétique concerne le processus de régulation de la β caténine, une protéine connue pour contribuer à la prolifération tumorale et pour stimuler la transcription de gènes impliqués dans la cancérogenèse.

Ces travaux ouvrent des perspectives d'identification de nouveaux marqueurs moléculaires pour améliorer le diagnostic, le pronostic ou le traitement de ces cancers chez l'homme.

© F. Rhodes/CEA



Analyse par chromatographie couche mince pour le programme Toxicologie nucléaire.

La toxicologie est une science importante au CEA, directement liée à ses responsabilités en tant que producteur ou utilisateur de nouveaux procédés technologiques dont l'impact sur l'environnement et la santé n'est pas ou peu connu.

La toxicologie nucléaire, en particulier, a pour objet de comprendre les effets toxiques des éléments utilisés dans la recherche et l'industrie nucléaire (radionucléides,

Énergies décarbonées



SCIENCES DU VIVANT LA TOXICOLOGIE

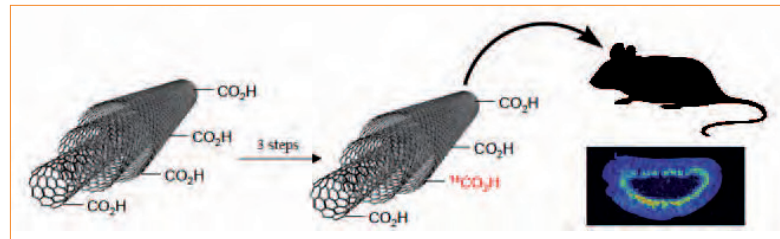
© F. Rhodes/CEA



métaux lourds) ainsi que leur mode d'action. 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 1 et 2 menés de 2004 à 2007. Cette compétence s'est élargie à d'autres domaines de recherche, comme les nanomatériaux. En 2009, une nouvelle étape a été franchie avec la création au sein du CEA d'un programme transverse entièrement dédié à la toxicologie dont le pilotage a été confié à la Direction des sciences du vivant (cf. page 36).

Dans le domaine des sciences du vivant, les études de toxicologie se concentrent principalement sur les rayonnements ionisants, les radionucléides (effets chimiques et radiologiques) et les nanomatériaux afin d'acquérir les connaissances fondamentales

Cultures et manipulations génétiques de cyanobactéries.



LOCALISATION *IN VIVO* DE NANOTUBES DE CARBONE MARQUÉS



Les nanotubes de carbone suscitent de nombreux espoirs industriels mais, comme tous les objets de taille « nano », la question de leur toxicité reste posée. Des chercheurs du CEA (iBiTec-S, Iramis : Institut de biologie et de technologies de Saclay et Institut rayonnement-matière de Saclay) ont développé un procédé permettant de marquer des nanotubes de carbone avec des atomes radioactifs de carbone (^{14}C), sans altérer leur structure et leurs propriétés. Grâce à des imageurs capables de détecter et de quantifier ce radioélément, il est désormais possible de localiser *in vivo* ces nano-objets et de déterminer leur persistance au sein de l'organisme; persistance qui peut conduire à long terme au développement de pathologies. Cette méthode a été appliquée à des rats. L'analyse de leur biodistribution a montré que ces nano-objets s'accumulent principalement dans le foie et les poumons et qu'ils sont lentement éliminés de l'organisme.

Journal of the American Chemical Society, sept. 2009.



Énergies décarbonées

Systemes nucléaires du futur de 4^e génération



© P. Stroppa/CEA

Étude sur les matériaux pour la génération IV de réacteurs.

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

Le réacteur rapide refroidi au sodium (RNR-Na) est la filière de référence pour le programme sur les réacteurs de 4^e génération. Le prototype Astrid, Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration, a un objectif de démonstration des avancées à l'échelle industrielle en qualifiant des innovations majeures. Ses capacités de transmutation de déchets radioactifs permettront de poursuivre la démonstration de faisabilité de cette technique de réduction du volume et de la dangerosité des déchets ultimes, à l'échelle industrielle. Il devra enfin permettre de réaliser des irradiations expérimentales en spectre de neutrons rapides.

En 2009, dix synthèses tripartites sur le RNR-Na ont été produites, concluant trois années de R&D consacrées aux innovations. Les orientations des études et de la R&D sont proposées en vue du choix, en 2010, de l'image de référence d'Astrid et des options qui resteront ouvertes. Ces dix synthèses concernent les options de chaudière (réacteur à boucle, intégré, autres concepts, modularité), certains systèmes (la manutention, l'ISIR), la conception du cœur, les matériaux pour le cœur et les structures.

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

Le réacteur rapide refroidi au gaz (RNR-G) constitue la filière alternative à long terme. L'objectif est d'en démontrer la faisabilité dans un contexte de collaboration européenne. La recherche se concentre sur la mise au point du combustible réfractaire du

RNR-G et les études de sûreté associées. Par ailleurs, les études conceptuelles sur un réacteur expérimental de quelques dizaines de MWth (Allegro) se poursuivent dans un cadre européen, pour une construction dans un pays de la Communauté à partir de 2025.

Les principaux sujets abordés en 2009 concernent les matériaux, la technologie liée au caloporteur hélium, le design et la sûreté. Concernant les études de cœur, il apparaît qu'une puissance de 75 MWth avec un cœur chargé en MOx permettrait d'atteindre des performances suffisantes pour évaluer le concept et qualifier les combustibles innovants envisagés.

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 2009 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. Une série de rapports de synthèse sur les études techniques de scénarios ont été émis en 2009.



Crayons combustibles.

© P. Stroppa/CEA

Soutien au nucléaire industriel



© P. Alard/REA/CEA

© F. Riviere/CEA

© A. Gamin/CEA

De g. à dr. : manutention en piscine du réacteur Osiris – préparation d'un programme de mesures dimensionnelles sur des combustibles irradiés – boîte à gants de soudage laser de gaines contenant les pastilles.

Réacteurs, combustible et sûreté

Les programmes de recherche en soutien au nucléaire industriel, aussi bien dans le cadre de l'exploitation du parc existant que pour la 3^e génération, répondent prioritairement aux besoins des partenaires industriels (EDF, Areva, GDF Suez) et des organismes de recherche (Andra, IRSN). Le CEA développe une R&D de premier plan pour contribuer à la justification de l'aptitude au service des grands composants (cuves, internes, enceintes) au-delà de 40 ans de fonctionnement, à l'amélioration des performances du parc nucléaire et de sa sûreté. En 2009, une synthèse de l'ensemble des résultats acquis dans le cadre de l'expérience Diva (action coopérative CEA-Areva-EDF) a notamment été réalisée. Cette expérience, qui

s'est déroulée dans le réacteur expérimental Osiris à Saclay, est la première permettant d'accéder au comportement mécanique de l'acier de cuve à une fluence représentative de 60 ans de fonctionnement. Les résultats de mécanique obtenus sur les différentes microstructures montrent que les règles de conception et de construction (RCC-M) restent conservatrices pour des fluences bien supérieures à leur domaine de qualification. 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. Une expérience d'irradiation de combustible, Merci, a été réalisée en 2009 dans le réacteur Osiris à Saclay pour conforter les valeurs de puissance résiduelle utilisées par EDF pour la gestion du combustible. Le

bilan scientifique de cette expérience inédite a été tout à fait satisfaisant, que ce soit en termes de validation des principes de base, de fonctionnement de l'instrumentation et de précision des mesures calorimétriques. Un autre fait marquant pour l'année 2009 a été le résultat des calculs d'intercomparaison obtenus avec l'outil de simulation Cathare 2, dans le cadre du programme ROSA-2 de l'OCDE. Un transitoire d'accident de perte de réfrigérant primaire a été calculé avant la réalisation expérimentale du même transitoire sur l'installation japonaise LSTF de JAEA. Parmi les six participants et les quatre codes utilisés, seul le CEA a mis en évidence, avec Cathare, un phénomène de remontée de la pression primaire et a su prédire l'échauffement du cœur. Les calculs du CEA se sont trouvés en très bonne adéquation avec les résultats expérimentaux. Des développements complémentaires ont été réalisés pour améliorer la portabilité du code sur les machines de calculs et les simulateurs utilisés par les industriels. Les modifications ont été livrées aux industriels en novembre 2009.

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. Dans le cadre du projet « vitrification 2010 » conduit par Areva pour l'augmentation de capacité des chaînes de vitrification et pour l'implantation d'un creuset froid à la Hague, les essais inactifs du creuset froid implanté dans la chaîne B de l'atelier R7 se sont déroulés avec succès en 2009 grâce aux résultats des nombreux essais sur maquettes réalisés à Marcoule. Le développement du nouveau procédé de traitement de combustible usé COEX™ s'est poursuivi; ce procédé évite la séparation du plutonium purifié et produit directement un oxyde mixte (U, Pu) O₂. En 2009, plusieurs lots de poudres ont été produits dans l'installation Atalante à Marcoule, puis transférés à Cadarache et à la chaîne LCT de Melox, et les pastilles de combustible finalement obtenues respectent parfaitement les spécifications.

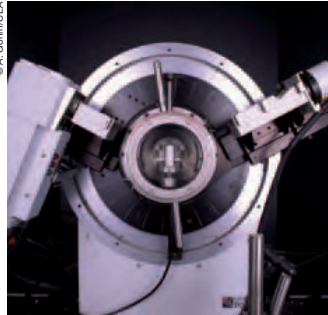
La gestion durable des matières et déchets radioactifs

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 dans deux domaines 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 :

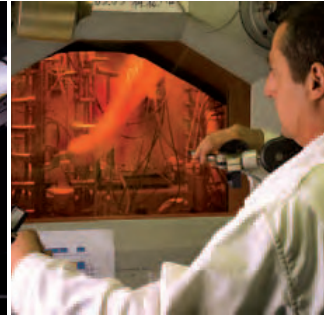
- la séparation poussée des actinides mineurs (Am, Np, Cm) ;
- la séparation groupée des éléments transuraniens (Pu, Am, Np, Cm) avec le concept Ganex développé dans l'optique d'un recyclage homogène des actinides en réacteur de 4^e génération.

Les principales réalisations de 2009 concernent la mise au point de procédés de séparation adaptés aux diverses options de recyclage des actinides : la consolidation du procédé Ganex d'extraction globale de l'ensemble des



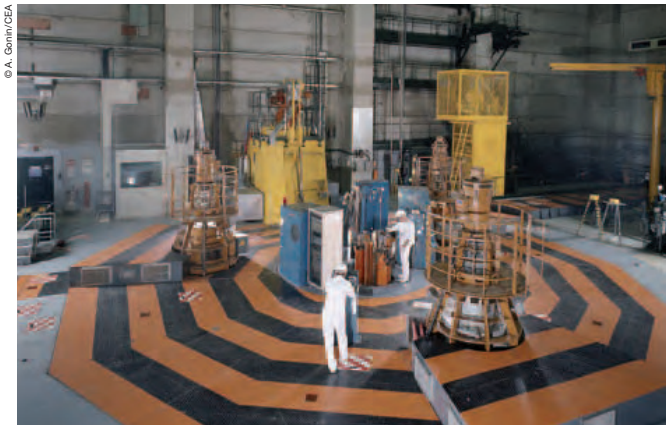
De g. à dr. : appareil de diffraction X pour la fabrication par voie sèche de combustibles - chaîne blindée permettant d'étudier le retraitement des combustibles irradiés.

actinides s'est poursuivie ainsi que le développement d'un schéma de procédé visant à la récupération du seul américium, principal contributeur à la radiotoxicité à long terme et à la charge thermique des colis de stockage. Le procédé ExAm (pour extraction de l'américium) mis au point au CEA à Mar-



coule a fait l'objet de deux dépôts de brevet en 2009. Un essai de ce procédé innovant a été réalisé en 2009 avec succès dans le laboratoire L17 d'Atalante. L'américium a été récupéré quantitativement (> 97 %), avec un facteur de décontamination notablement supérieur à 1 000.

Un ensemble cohérent d'outils pour la R&D



Hall du réacteur Phénix.

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.

Réacteurs expérimentaux et labs chauds

Pour le soutien aux systèmes réacteurs existants comme pour la préparation des systèmes futurs, les programmes de R&D s'appuient sur un ensemble d'outils expérimentaux, principalement les réacteurs de recherche et les labs chauds.

Dans le domaine de l'étude du comportement des matériaux et des combustibles

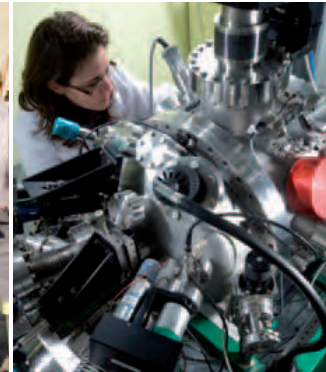
sous irradiation, le réacteur Jules Horowitz (RJH) est destiné à prendre la suite du réacteur Osiris de Saclay. En début d'année 2009, la construction de l'îlot nucléaire a débuté : coulée du premier béton, bétonnage du fond de fouille, ferrailage et bétonnage du radier inférieur, mise en place des plots parasismiques et pose de leurs appuis. Le 12 octobre 2009, le Premier ministre a signé sa création par décret n° 2009-1219. L'exploitation de Phénix a pris fin en 2009. Un programme d'essais ultimes a été conduit avec succès, parmi lesquels l'essai de fonctionnement en circulation naturelle, l'essai de fusion partielle de combustible dans une capsule expérimentale, les essais de compréhension des phénomènes d'arrêt d'urgence par réactivité négative survenus en 1989-1990. Le parc des outils expérimentaux du CEA s'est enrichi en 2009 avec la mise en service à Saclay de l'installation Jannus (Jumelage d'accélérateurs pour les nanosciences, le nucléaire et la simulation) : l'accélérateur d'ions a été utilisé en mode « deux faisceaux » pour la première fois en août 2009 sur cibles réelles. Livré en 2009, le 3^e faisceau permettra le fonctionnement de l'installation en triple faisceau en 2010. Cette expérience se plaçait dans le cadre de la collaboration entre le CEA et le Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).

Simulation

La simulation numérique repose sur un ensemble de plates-formes logicielles



De g. à dr. : chantier de construction du réacteur Jules Horowitz (RJH) – installation Jannus.



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 correspond aux cinq grandes disciplines du nucléaire : neutronique, thermohydraulique, comportement des matériaux sous irradiation, mécanique des structures, chimie.
- La deuxième famille est multidisciplinaire. Intégrant des couplages entre les plates-formes de la première famille, elles sont destinées à des applications spécifiques. En neutronique, destinés à illustrer la vocation multifilière du code Apollo3, des

premiers calculs de cœur en cinétique 3D pour des réacteurs à neutrons rapides ont été réalisés en 2009. Concernant les plates-formes, celle d'intégration des logiciels Salome, codéveloppée par le CEA et EDF, a bénéficié d'une nouvelle version en 2009, avec de nouvelles fonctionnalités pour le calcul parallèle et une interface homme-machine améliorée. Le projet collaboratif Nurisp dans le cadre du 7^e PCRD a débuté en 2009 : coordonné par le CEA, il permet de poursuivre le développement européen de la plate-forme de référence Nuresim qui intègre 13 logiciels dont huit issus du CEA.

Assainissement et démantèlement



Techniciens immergeant un robot dans une piscine de l'installation MAR 400, en cours de démantèlement.

Conduire la R&D dans le domaine nucléaire implique 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 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 et l'assainissement-démantèlement des installations nucléaires du CEA civil, ainsi que l'usine de traitement des combustibles usés UP1 de Marcoule.

Parmi les faits marquants de 2009, on notera :

- les travaux d'assainissement-démantèlement du site de Marcoule qui se sont

ÉNERGIE DE FISSION ASSAINISSEMENT ET DÉMANTÈLEMENT



© A. Gonnin/CEA



© F. Vigneaux/CEA

De g. à dr. : le laboratoire Petrus était dédié au traitement des cibles irradiées pour la production de transuraniens – contrôle radiologique d'un camion par un radioprotectionniste.

poursuivis avec des résultats notables – rinçage de quatre anciennes piscines de MAR 400 qui accueillient, en leur temps, les combustibles UNGG, ou encore démantèlement des cuves « procédés » de dissolution dans l'ancienne usine UP1 ;

- la poursuite du projet Passage, projet de dénucléarisation du site de Grenoble avec une étape marquante en 2009, le premier transport de déchets irradiants de l'INB 79 du centre CEA-Grenoble vers le centre CEA-Saclay ;
- l'achèvement d'une des principales opérations d'assainissement-démantèlement de l'ancien laboratoire de chimie du plutonium de Fontenay-aux-Roses, avec la fin de l'assainissement de la chaîne Petrus et la vidange de la cuve B. La complexité de cette opération tenait à l'inaccessibilité de la salle des cuves et aussi à la vétusté des installations, inutilisées depuis plus de 30 ans. D'où le recours à la modélisation, à la réalisation de maquettes, à la conception d'outils de découpe et de relevage, ainsi qu'à des essais de dissolution et à la mise en place de systèmes de relevage et d'inertage, confinés dans des boîtes à gants ergonomiques, qui a permis de finalement aboutir à ce résultat, étape majeure dans le



© CEA

projet Aladin de dénucléarisation du site de Fontenay-aux-Roses ;

- la création du groupement d'intérêt public (GIP) Sources HA entre le CEA et Cisbio parue au *Journal officiel* du 12 juin 2009. Ce GIP aura pour missions les relations avec les utilisateurs de sources de haute activité (ex. cobalt 60 et césium 137), 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 ;
- en novembre 2009 a débuté le désentreposage des fûts plutonifères de l'installation Pegase (première installation nucléaire de base construite sur le site de Cadarache et qui a abrité le réacteur expérimental Pegase) ; ces fûts ont été transférés vers l'installation Cedra de Cadarache, en attente de leur transfert à l'Andra.

Piscine d'entreposage de combustible Pegase.



© F. Stroppa/CEA

L'INAUGURATION DE L'ICSM

L'Institut de chimie séparative de Marcoule (ICSM) a été inauguré en juin 2009 par le ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Unité de recherche multipartite (CEA, université de Montpellier, école nationale de chimie, CNRS), ses équipes mènent des travaux innovants sur les connaissances génériques de base pour la chimie séparative et les matériaux, en utilisant le plateau technique de l'ICSM, en cours d'équipement et en s'appuyant sur les installations du centre de Marcoule où sont concentrées les études sur l'aval du cycle avec notamment l'installation Atalante.



Un besoin interdisciplinaire



Maintenance sur l'installation Tore Supra.

Au plan national, le CEA constitue le point d'entrée unique pour l'ensemble des activités de fusion (CNRS et universités). De fait, ses relations privilégiées avec le milieu académique permettent au CEA de mobiliser toute la communauté nationale dans la perspective d'ITER, en cours de construction à Cadarache. 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 ».

Les équipes du CEA poursuivent des recherches pour la compréhension fondamentale de la physique des plasmas : elles mettent en œuvre modélisations et expériences au service de la théorie ainsi que des développements technologiques pour la maîtrise de plasmas de haute performance et de longue durée.

Depuis plus de 20 ans, Tore Supra, installation unique au monde, leur permet de développer une expertise scientifique et technologique sans précédent sur le fonctionnement en continu d'un réacteur de fusion.

Expérience et modélisation pour des plasmas plus denses et plus chauds

Installée en août 2009 sur Tore Supra, l'antenne C4 va permettre d'obtenir des plasmas encore plus longs, plus chauds et plus

denses que ceux obtenus jusqu'à présent, pour une meilleure compréhension des plasmas stationnaires continus. Les mesures de fluctuations dans le plasma sur Tore Supra ont permis de caractériser les mécanismes de turbulence. Les spectres de fluctuations expérimentaux ont été modélisés avec le code Gysela, en développement au CEA. Un autre code du CEA, Jorek, a permis de progresser dans la compréhension de la physique des instabilités.

Développer des technologies pour ITER et les futures machines

Dans le but de contrôler la position du plasma dans la chambre d'un tokamak, une équipe du CEA, en collaboration avec le laboratoire belge SCK-CEN, a installé sur Tore Supra un capteur d'un type nouveau qui mesure le courant circulant dans le plasma.

Dans le cadre des projets financés par l'Agence Fusion for Energy (F4E) et ITER Organization (IO), les équipes du CEA prennent part aux études de la couverture tritigène, composant clé des futurs réacteurs de fusion, en proposant un premier dessin et sa protection.

Grâce à la simulation numérique, des équipes du CEA ont démontré la possibilité d'accélérer des faisceaux intenses de noyaux de deutérium dans différentes structures accélératrices, comme prévu dans le futur accélérateur Ifmif conçu pour tester les matériaux pour les futurs réacteurs à fusion. Le modèle complet est le fruit d'une collaboration européenne associant le CEA, l'INFN-Legnaro en Italie et le Ciemat-Madrid en Espagne.

La dernière bobine du stellarator Wendelstein 7-X, machine de recherche du programme européen W7 de fusion située à Greifswald (Allemagne), a quitté le CEA le 9 septembre 2009. Cette 70^e bobine rejoint ses congénères en cours d'assemblage sur la machine, après les tests en conditions cryogéniques effectués par le CEA.



Station d'essai des aimants du W7X.

NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE

2009 a été marquée par la loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, intégrant la lutte contre le changement climatique placée au premier rang des priorités et la confirmation de l'engagement pris par la France de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050.

Le CEA au rendez-vous du Grenelle de l'environnement



Sérigraphie d'une cellule photovoltaïque sur la plate-forme Restaura.

Réduire le recours aux énergies fossiles en diversifiant les sources d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre dans le domaine des transports et la consommation d'énergie des bâtiments sont les grands objectifs sur lesquels le CEA a orienté son action. Pour répondre à ces objectifs et permettre d'industrialiser la production, conformément à la demande du Président de la République, le CEA a mis en place des plates-formes technologiques. Par ailleurs, pour atteindre rapidement la taille critique de moyens et de compétences, une nouvelle organisation a été mise en place en 2009, en structurant autour de l'institut Liten la très grande majorité des activités technologiques du CEA.

Énergie solaire et efficacité énergétique

Des hétérojonctions au top mondial

Le bilan 2009 de l'activité se mesure d'abord à un pourcentage : 19,6 %. C'est le rendement de conversion obtenu sur les cellules photovoltaïques à hétérojonction de format industriel (12,5 x 12,5 mm) avec l'extension de la capacité de la plate-forme Restaura (Ines* Chambéry). Le transfert industriel devrait être réalisé avec la construction d'un LabFab Hétérojonction, unité pilote en partenariat avec un industriel.

Centrales solaires : la prédiction à 24 heures

Avec une erreur moyenne de 6,2 % et de 8,6 % pour les deux sites étudiés pendant six mois (Cadarache et Chambéry), l'outil de prévision de production photovoltaïque de l'institut Liten a obtenu des résultats meilleurs que l'état de l'art. Cet outil fournit des prévisions de production à 24 heures avec un pas demi-heure, conforme aux règles du Réseau de transport d'électricité français et permet au gestionnaire de réseau de compenser en grande partie le caractère intermittent et relativement aléatoire de la production photovoltaïque.



© P. Avancence/CEA

Banc d'ensevelissement pour tester la performance des capteurs solaires thermiques.

Le banc d'ensevelissement artificiel bon pour le service

Le banc d'ensevelissement artificiel installé fin 2008 à l'Ines a fait l'objet d'essais de validation concluants réalisés sur un capteur commercialisé testé par plusieurs laboratoires européens accrédités pour la certification. Ce banc permet de tester tous types de capteurs solaires thermiques dans des conditions proches d'un ensoleillement réel, sans subir d'aléas climatiques susceptibles de fausser le protocole retenu et positionne l'Ines parmi les laboratoires européens les mieux outillés dans ce domaine.

Livraison des maisons Inca

L'Ines dispose désormais sur sa plate-forme Inca de deux maisons expérimentales de 95 m², qui sont autant d'outils de recherche grandeur nature, sur l'approche globale de l'efficacité énergétique des bâtiments. Toutes deux sont pourvues de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques et équipées de près de 300 capteurs de température, d'humidité, de vitesse d'air, de luminosité, de pression ou de consommation d'énergie. La présence humaine est simulée par des résistances électriques et des systèmes de production de vapeur d'eau.

Transport innovant électrique

La chasse au platine continue

Les travaux sur la réduction de la charge en platine des piles à combustible se sont poursuivis avec l'établissement d'un premier standard de durabilité sur des composants. Un assemblage membrane électrode (AME) composé d'une « anode Liten » à 0,2 mg de platine par cm² et d'une cathode



© CEA

Voilier équipé d'une pile à combustible pour moteur auxiliaire.

commerciale de référence a été testée pendant 1000 heures en cycles représentatifs de l'application transport avec, au terme de cet essai, une baisse de la tension à fort courant de 10 % acceptable à ce stade du développement.

La Méditerranée à la voile avec zéro CO₂

Un voilier de 12 m, dont la chaîne de traction électrique conçue et réalisée par l'institut Liten est composée d'un moteur auxiliaire électrique alimenté par une pile à combustible de 35 kW, a été présenté en décembre au Salon nautique de Paris. Il va naviguer en Méditerranée pendant 10 mois. L'équipage, constitué de scientifiques, collectera des données sur les pollutions en mer tout en adoptant lui-même des pratiques et comportements écologiques.

307 électrique : moins d'un kilogramme d'hydrogène aux 100 km !

Une 307 cabriolet a été équipée de batteries lithium-ion et d'un groupe électrogène à pile à combustible, basée sur la technologie Genepac du Liten intégrant des améliorations sur les AME. Le véhicule, testé et caractérisé sur circuit en fonctionnement hydrogène, a présenté des performances au meilleur niveau mondial : vitesse maximale de 155 km/h, 38 secondes au 1000 m départ arrêté, autonomie sur batterie de 75 kg et de 400 km avec la pile et consommation d'hydrogène, à 995 g aux 100 km.

Sûreté hydrogène : un niveau de risque inférieur ou égal aux filières énergétiques actuelles

Avec l'ambition d'être un centre de compétence reconnu internationalement dans le domaine de la sûreté hydrogène, une démarche basée sur le couplage simulation-expérimental a été entreprise. La mise en place de l'installation et la réalisation d'une série d'expériences de rejet d'hélium en milieu confiné ont permis de caractériser les régimes possibles de stratification et de conforter les débits de perméation admissibles pour les réservoirs d'hydrogène.



© P. Stoppa/CEA

Test sur un réservoir d'hydrogène.

L'oxyde de titane bientôt produit à l'échelle du kilogramme

Le procédé de synthèse d'un oxyde de titane pour électrodes d'accumulateur Li-ion a été mis au point à l'échelle du kilogramme, pour préparer les nombreux projets de mobilité électrique de l'institut Liten. Le procédé initial, qui comptait six étapes, a donné naissance à un procédé en deux étapes compatible avec un développement industriel. L'oxyde de titane ainsi obtenu permet des charges/décharges rapides et multiples et combine des performances en puissance avec une densité énergétique élevée. Un premier transfert a été effectué au bénéfice de la société Prayon.

Prollion démarre son activité

Créée par l'institut Liten avec le groupe Alcen, la start-up Prollion fabrique « à façon » des cellules électrochimiques de batteries Li-ion de 50 à 100 Ah et des packs batteries intégrant un système de gestion. Prollion est hébergée au sein de l'institut Liten à Grenoble, sur la plate-forme technologique Steeve, unique en Europe, où sont réalisées les batteries depuis la synthèse des matériaux jusqu'au montage dans un véhicule.

Une usine de batteries électriques en France en 2012

À la mi-2012, l'usine Renault-Nissan de Flins, près de Paris, devrait commencer à produire en grande série des batteries Li-ion pour véhicules électriques. Ce projet qui représentera un investissement de 600 millions d'euros a été lancé début novembre 2009 avec la signature, entre



Mise en service d'une salle anhydre pour la fabrication de batteries lithium.

l'alliance Renault-Nissan, le CEA et le Fonds stratégique d'investissement, d'une lettre d'intention sur la création d'une joint-venture de développement et de production.

Les biocarburants de 2^e génération

L'Ademe donne son feu vert au projet BioTFuel

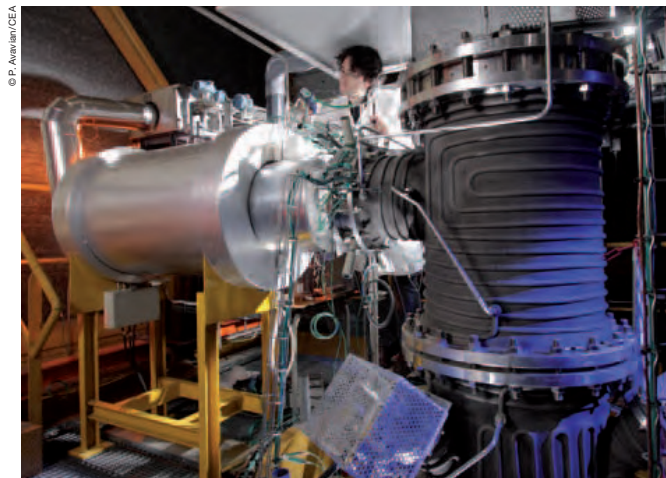
Le projet BioTFuel est un projet de recherche qui vise à mettre au point un procédé nou-

veau permettant notamment d'utiliser des charges variables en biomasse et résidus pétroliers et utilisant la technologie de préparation de la biomasse par torréfaction pour la synthèse de biocarburants de deuxième génération (diesel ou kérosène). Au sein du CEA, les équipes de l'Institut Liten auront en charge des travaux relevant de deux des trois plates-formes de BioTFuel : torréfaction et gazéification.

Elles apportent leur compétence dans le développement de technologies spécifiques (torréfaction, production d'oxygène), l'expertise sur la corrosion des matériaux (liée aux impuretés de la biomasse) et le développement de l'instrumentation. Le CEA est partenaire de ce projet aux côtés de l'Institut français du pétrole (IFP), Total, Sofiprotéol (établissement financier de la filière française des huiles et protéines végétales, Prolea) et Uhde GmbH (filiale du groupe industriel allemand ThyssenKrupp).

Lancement du projet Bure-Saudron

Le CEA et ses partenaires industriels et financiers lancent la première phase de finalisation des études du projet de construction d'un démonstrateur BTL – Biomass to Liquid – de production de biocarburants de 2^e génération sur le site de Bure-Saudron. Ce projet s'appuie sur les atouts de ce territoire, localisé à la limite des départements de la Haute-Marne et de la Meuse, et reçoit le soutien des acteurs économiques et politiques locaux, notamment les conseils généraux et le conseil régional. L'objectif est de démontrer la faisabilité technique et économique d'une chaîne complète de production BTL en France, depuis la collecte de la biomasse jusqu'à la synthèse de carburant. L'introduction d'hydrogène dans



Installation Pegase destinée à réaliser la purification thermique du biogaz (craquage des goudrons et du méthane).

le procédé thermochimique pour optimiser le rendement massique constituera une première mondiale.

Nanomatériaux pour l'énergie

Matériaux thermoélectriques massifs : des rendements en forte hausse

Des rendements de conversion thermoélectrique de 9 % ($ZT = 1,45$ à température ambiante) ont été mesurés sur des matériaux massifs nanostructurés, élaborés à partir de poudres par frittage Spark Plasma Sintering. Si les performances en rendement restent inférieures à celles des films minces qui atteignent des ZT de 2,4 à l'ambiante, seuls les matériaux massifs nanostructurés permettent de générer de la puissance électrique pour des flux thermiques inférieurs à 100 W/cm^2 , ce qui est requis pour certaines applications comme le refroidissement de moteurs automobiles.

Microbatteries lithium : prêtes pour la mise en boîtier 5 x 5

La collaboration avec STMicroelectronics Tours sur les microbatteries lithium a franchi une nouvelle étape. Ce laboratoire commun réalise des microbatteries à base d'électrode positive en TiOS sur substrat silicium 200 mm, résistantes au profil thermique d'une soudure à vague et dimensionnées pour une mise en boîtier LGA 5 x 5 mm. Les cycles charge-décharge ont mis en évidence des performances électriques conformes aux objectifs, en particulier une capacité supérieure à $3 \mu\text{Ah}$.

Un outil performant pour surveiller les ambiances de travail

L'institut Liten a mis au point une technique de surveillance de l'atmosphère vis-à-vis des nanoparticules, 100 fois plus sensible que les méthodes existantes. Basée sur une analyse chimique des nanoparticules collectées, elle se prête à un usage opérationnel en milieu industriel. La technique comprend un préleveur sur filtre (nanobadge) assez compact pour être porté à la poitrine, doté d'une micropompe d'aspi-

© DR



Vue d'artiste de l'installation à Bure.



Boîte à gants dédiée aux études de nanosécurité – projet Nanosafe2.

ration et de batteries d'alimentation Li-ion. L'analyse élémentaire des nanoparticules collectées est effectuée par fluorescence X à réflexion totale, sans traitement préalable du filtre. Les limites de détection mesurées sont de l'ordre de 35 ng d'oxyde de titane par filtre, soit environ $1\,000$ particules de 30 nm de diamètre/ml d'air et permettent de s'abstraire du bruit de fond des nanoparticules naturelles, évalué à $10\,000$ particules/ml d'air.

Les bioénergies

Étudier le vivant et s'en inspirer pour de nouvelles sources d'énergie

Fort de son expertise en matière de recherche fondamentale sur la photosynthèse et les hydrogénases et de savoir-faire plus appliqués, notamment dans la conception de catalyseurs, le CEA mène des recherches sur les bioénergies. L'enjeu est de mettre au point des carburants de 3^e génération. Pour cela, deux grandes voies sont suivies par les scientifiques du CEA. Il s'agit, d'une part, de tirer partie du vivant pour faire émerger des molécules à forte teneur énergétique (hydrogène, lipides...) et, d'autre part, de développer des stratégies de production biomimétiques pour la production d'hydrogène.

Bioénergie : conception d'une hydrogénase résistante à l'oxygène

Un travail conjoint de chercheurs du CEA et du CNRS a permis de montrer que la modification par génie génétique d'une hydro-

génase bactérienne permettrait de diminuer considérablement sa sensibilité à l'oxygène. Les hydrogénases sont des enzymes utilisées par certains micro-organismes photosynthétiques (microalgues ou cyanobactéries) pour produire de l'hydrogène à partir d'eau et d'énergie solaire. Leur utilisation dans des procédés de production industrielle est envisagée mais nécessite de s'affranchir de leur forte sensibilité à l'oxygène dégagé par la photosynthèse. Ce résultat ouvre donc des perspectives pour entreprendre la modification d'enzymes d'organismes photosynthétiques et ainsi améliorer leurs performances en termes de production d'hydrogène (*Journal of the American Chemical Society* [2009]).



Production d'hydrogène sous irradiation lumineuse par un photocatalyseur inorganique.



Les technologies pour l'information et la santé représentent un domaine d'évolution majeur des prochaines décennies. L'apport des nanotechnologies sera déterminant.

Pour fournir à l'industrie française les moyens de réussir ce virage, le gouvernement a lancé un projet ambitieux, Nano-Innov, qui permettra de définir et mettre en œuvre une véritable stratégie d'innovation. Le CEA y joue un rôle fédérateur et structurant grâce à sa capacité d'intégration, alliant nanosciences et nanotechnologies.

Le CEA poursuit son action en faveur de l'innovation technologique dans les domaines de la microélectronique, des composants innovants, des technologies logicielles et des systèmes et soutient, dans le cadre de partenariats, l'industrie de la microélectronique, les grands intégrateurs de systèmes complexes et les PME susceptibles de faire l'objet de transferts de nouvelles technologies.

Dans le domaine des sciences du vivant, les recherches du CEA s'appuient sur ses compétences multidisciplinaires, dans un continuum de la recherche fondamentale vers la recherche technologique. Plusieurs plates-formes d'intérêt national et européen ont vu le jour ou ont été confiées récemment au CEA, dans les domaines de la biologie structurale, de l'imagerie – NeuroSpin et MIRCen –, ou de la génomique. Le CEA est membre fondateur de l'alliance Aviesan, qui coordonne la réflexion programmatique dans le domaine de la santé et les biotechnologies, dont il s'est vu confier la responsabilité de l'Institut thématique multi-organismes « technologies pour la santé ».

Attentif aux problématiques liées aux effets éventuels des nanotechnologies sur la santé et l'environnement, le CEA s'efforce de mieux comprendre et évaluer l'impact des nanomatériaux qu'il développe grâce à sa connaissance des mécanismes biologiques. Ces recherches apportent un socle de connaissances indispensables pour être force de proposition dans un contexte de normalisation future.

© PF. Grosjean/CEA

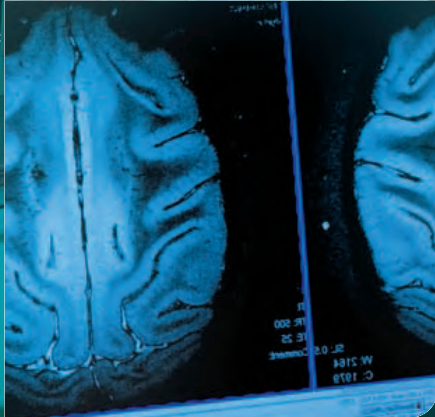


Plate-forme technologique Amont implantée sur Minatoc.



Recherche fondamentale

© P. Stroppa/CEA



Acquisition d'images anatomiques et fonctionnelles très fines du cerveau par IRM 7 teslas.

Technologies

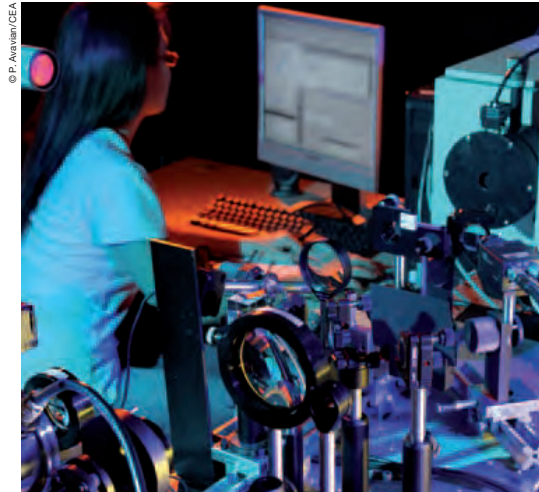
pour l'information et la santé



SCIENCES DE LA MATIÈRE

La compréhension et la maîtrise de la matière à l'échelle nanométrique sont la clé des développements industriels dans de nombreux secteurs d'importance majeure : énergie, santé, environnement, transport, information et communication.

Nanosciences et nanotechnologies



© P. Avadier/CEA

Banc de caractérisation optique de nanofils.

Nanosciences

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 champ des connaissances de propriétés de la matière à cette échelle, par exemple par l'étude des phénomènes quantiques dans les dispositifs ultimes, des méca-

nismes d'interactions moléculaires et de transport électronique au sein des molécules ainsi que par la maîtrise des assemblages d'objets à l'échelle nanométrique. Ainsi, les équipes du CEA comptent pousser jusqu'à ses limites l'électronique fondée sur les technologies du silicium et faire émerger de nouvelles technologies de nanoélectronique en rupture ou à développer des concepts innovants pour l'énergie.

Nanofil pour l'électronique

Plusieurs équipes du CEA ont obtenu des résultats sur la fabrication, la caractérisation d'un nanofil de silicium, en vue de sa mise en œuvre pour l'électronique :

- fabrication d'un nanofil de 40 nm de diamètre non dopé ;
- caractérisation de la diffusion électronique dans un nanofil, avec le centre de recherche en nanofabrication et nanocaractérisation (CRN2) à l'université de Sherbrooke ;
- réalisation du premier prototype d'un dispositif multifonctionnel qui peut être utilisé comme transistor à effet de champ, diode Schottky ou diode p n (le système se comporte soit comme un transistor, soit comme une diode).

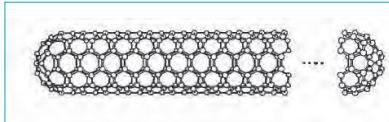
Mémoires à faible consommation

Une équipe du CNRS, de l'université de Paris-Sud et du CEA, a démontré la faisabilité de mémoires magnétiques numériques utilisant un champ électrique plutôt que magnétique. Pour le faire, elle a mis en œuvre une nouvelle classe de matériaux dits multiferroïques, alliant des propriétés électriques et magnétiques inhabituelles.

© P. Stroppa/CEA



© CEA



De h. en b. : machine de dépôt de couches minces magnétiques pour la fabrication de MRAM – nanotube de carbone.

Nanochimie : création de la start-up Pegastech

Pegastech, nouvelle start-up issue de l'Institut rayonnement matière de Saclay après deux ans de validation technologique, a été créée en juillet. L'objet de Pegastech est de concevoir, fabriquer et commercialiser des produits destinés à effectuer des traitements de surface dans divers secteurs industriels. Elle valorise industriellement les résultats de recherches fondamentales du CEA, montrant qu'il est possible de maîtriser le greffage chimique fonctionnel sur une grande variété de surfaces. Le projet avait été primé lors du 10^e concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, en 2008.

Sensibilité record pour la résonance magnétique nucléaire

Face aux besoins importants des applications de la résonance magnétique nucléaire, les équipes de recherche fondamentale du CEA développent différentes stratégies pour compenser la sensibilité de la technique, insuffisante dans de nombreux cas. Ainsi, une équipe du CEA a montré en 2009 qu'il était possible d'augmenter significativement la sensibilité de la RMN en combinant l'utilisation d'un gaz rare hyperpolarisé et la détection par « bruit de spins ». Les chercheurs introduisent dans l'échantillon des atomes de gaz rare (xénon) dont les spins nucléaires ont été préalablement alignés par pompage optique laser. Grâce à cette hyperpolarisation, ce n'est plus un noyau sur 200 000 qui contribue au signal RMN, mais un sur deux en moyenne. Contrairement aux méthodes usuelles, celle-ci ne requiert aucune excitation radiofréquence, ce qui permet de conserver l'hyperpolarisation et évite, dans les applications biologiques ou médicales (IRM), l'exposition aux ondes électromagnétiques.

Une autre équipe du CEA a réalisé l'insertion de molécules contenant des lanthanides, pouvant servir d'agents de contraste pour l'IRM ou de marqueurs fluorescents, dans des billes de silice de 10 à 70 nanomètres de diamètre.

Grâce à une méthode mise au point au CEA, le développement des mémoires magnétiques MRam s'oriente aujourd'hui vers un procédé d'écriture par courant électrique sans champ magnétique appliqué. Gros avantage de cette technique : la consommation électrique diminue avec la réduction de la taille de la cellule mémoire.

Étudier la toxicité des nanotubes

Alors que la toxicité des éléments de taille nanométrique fait l'objet de nombreuses études, des chercheurs du CEA sont parvenus à mettre au point une méthode de marquage isotopique qui rend possible une visualisation extrêmement fiable du comportement des nanotubes de carbone au sein des organismes vivants. Chez l'animal, il est alors possible de déterminer si ces nano-objets pourront être totalement éliminés par l'organisme ou s'ils présenteront une biopersistance marquée, susceptible de conduire à long terme au développement de pathologies chez l'homme. Des études de toxicologie plus approfondies permettront de statuer sur le caractère toxique ou non de ces composés.

Technologies

pour l'information et la santé



Progresser dans la connaissance du vivant, diagnostiquer plus précocement, développer des stratégies thérapeutiques.

L'imagerie *in vivo*



Hall d'accueil de NeuroSpin.

Les recherches en sciences du vivant mobilisent les compétences multidisciplinaires du CEA dans un continuum de la recherche fondamentale vers la recherche technologique et lui ont permis d'être en mesure de réaliser des plates-formes d'intérêts national et européen dans les domaines de la biologie structurale, de l'imagerie ou des méthodes d'analyse globale du génome, telles que les plates-formes nationales de séquençage, celles d'imagerie NeuroSpin et MIRcen. Ces dernières contribuent à la mise au point de nouvelles méthodes pour l'imagerie et pour la recherche préclinique et clinique de grandes pathologies chroniques comme les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson.

La santé et les biotechnologies sont deux grands défis nationaux pour la recherche et l'industrie françaises. Ainsi, le gouvernement a confié à l'alliance Aviesan, dont le CEA est membre fondateur, la coordination de la réflexion programmatique dans ce domaine. Dans l'objectif que les résultats des recherches soient transférés le plus efficacement possible à l'industrie, le CEA s'est vu confier la responsabilité de l'Institut thématique multi-organismes, l'Imto « technologies pour la santé », auquel le Conseil stratégique des industries de santé a confié, en novembre 2009, des missions spécifiques de valorisation.

Imagerie par résonance magnétique (IRM), tomographie par émissions de positons (TEP), magnéto-encéphalographie (MEG), les différentes techniques d'imagerie permettent d'obtenir, *in vivo* et *in situ*, une somme importante d'informations sur le fonctionnement des organes, et ce de manière non invasive, c'est-à-dire sans créer de traumatisme.

L'imagerie est donc parfaitement adaptée à l'étude d'organes profonds et difficilement accessibles, comme le cerveau. La neuro-imagerie a notamment pour objectifs de cartographier les aires cérébrales qui sous-tendent les fonctions cognitives, de comprendre le cheminement et le mode de traitement de l'information dans le cerveau, de comprendre les pathologies cérébrales. Pour mener ces recherches, le CEA s'est

UNE ÉQUIPE DE MIRCEN RÉALISE LE PREMIER ESSAI PRÉCLINIQUE DE THÉRAPIE GÉNIQUE POUR LA MALADIE DE PARKINSON



Les chercheurs et neurochirurgiens de l'Institut d'imagerie biomédicale (IFBM), de l'université Paris-12, de l'hôpital Henri Mondor et de la société de biotechnologies britannique Oxford BioMedica, ont réalisé un essai préclinique de thérapie génique sur des modèles primates de la maladie de Parkinson. Le traitement qu'ils ont mis au point est basé sur le transfert de trois gènes codant pour les enzymes nécessaires à la synthèse de la dopamine, molécule déficiente dans le cerveau des malades. Il permet ainsi de restaurer la production locale et continue de dopamine. Menés à MIRCen, ces travaux ont permis d'accélérer le lancement d'un essai clinique de phase I/II conduit à l'hôpital Henri Mondor chez des patients à un stade avancé de cette pathologie. *Science Translational Medicine* (2009), online.



© P. Stoppa/CEA

© P. Stoppa/CEA



Vue du bâtiment MIRCen.

doté d'une grande infrastructure de neuro-imagerie cérébrale en champ intense : NeuroSpin. Les chercheurs de NeuroSpin disposent de deux IRM destinés à l'homme, de 3 et 7 teslas (la plupart des IRM qui équipent les services hospitaliers sont de 1,5 tesla). En 2010, un aimant de 17, 2 teslas destiné à l'étude sur l'animal sera installé par la société Bruker. En parallèle, les équipes travaillent au projet Iseult d'IRM de 11,7 teslas destiné aux études sur l'homme. L'imagerie constitue également 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

UN TEST POUR DÉTERMINER L'ÉTAT DE CONSCIENCE D'UN PATIENT



Afin d'aider les équipes de cliniciens à déterminer si un malade non communicant (en réanimation ou émergeant d'états inconscients tels que le coma ou l'état végétatif) est conscient, une équipe française (Inserm, AP-HP, CEA/NeuroSpin) vient de mettre au point un test combinant les principes de la psychologie de la perception auditive avec l'enregistrement de l'activité cérébrale. Il permet de détecter l'existence d'une vie mentale consciente sans reposer sur les signes souvent limités de l'examen clinique.



© A. Bonin/CEA

Technologies

pour l'information et la santé



SCIENCES DU VIVANT L'IMAGERIE *IN VIVO*

(Alzheimer, Parkinson, Huntington...), cancéreuses ou psychiatriques.

L'année 2009 a été marquée par la mise en fonctionnement, sur le centre de Fontenay-aux-Roses, de MIRCent (Molecular Imaging Research Centre), une plate-forme d'imagerie préclinique pour l'étude des maladies neurodégénératives et infectieuses. Construite et exploitée en partenariat avec l'Inserm, cette installation accueille d'ores et déjà une centaine de collaborateurs (médecins, physiciens, chimistes, neurobiologistes, virologues,

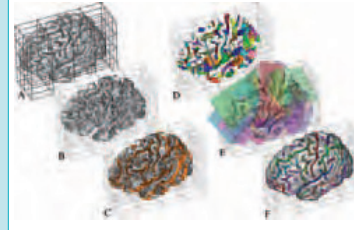
spécialistes en imagerie). Plate-forme de recherche intégrée, MIRCent a notamment pour objectif de réduire le coût et le temps de développement de nouvelles thérapies. Ses équipes collaborent avec celles de grands centres hospitaliers et des universités ainsi qu'avec les industriels de la pharmacie.

NeuroSpin et MIRCent forment avec le service hospitalier Frédéric Joliot, à Orsay, un ensemble unique de moyens d'imagerie qui établissent un continuum de la recherche préclinique à la recherche clinique.

LE NEUROANATOMISTE ARTIFICIEL DU LOGICIEL BRAINVISA



Créé par le laboratoire de neuro-imagerie assistée par ordinateur, le neuroanatomiste artificiel permet de mesurer automatiquement les formes du cortex cérébral. Il permet de comparer de grandes populations de patients avec des sujets contrôlés. Un des objectifs est de déceler dans les formes des plissements du cortex la signature de certains syndromes psychiatriques, avec l'idée que ces formes sont forgées *in utero* (Dubois et al.), et donc que cette signature est peut-être présente très tôt. S'ouvre alors la possibilité de déceler par exemple un risque plus important que la moyenne de développer une pathologie cérébrale, comme la schizophrénie.



Processus de plissement du cortex cérébral chez de très grands prématurés (Dubois et al.).

© CEA / NeuroSpin

Étudier la structure des molécules de la vie et l'influence de cette structure sur leur fonction.

Biotechnologies Marquage biomoléculaire, ingénierie et structure des biomolécules

Les recherches dans le domaine de l'ingénierie des biomolécules visent à dévoiler 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 processus moléculaires

sont observés et disséqués avec des résolutions de plus en plus élevées (en espace et en temps), sur des complexes moléculaires intégrés et de taille de plus en plus importante. Ces recherches nécessitent la mise au point de méthodes et d'instrumentations le plus souvent dérivées de la physique, notamment en ce qui

concerne les procédés d'imagerie et de cristallographie. 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.

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. Les programmes du CNS visent à acquérir et analyser l'information génétique de divers organismes d'intérêts scientifique, médical ou économique, ce qui comprend notamment la recherche de capacités microbiennes d'intérêt industriel pour la chimie et l'environnement. Le CNG se concentre sur la recherche d'interactions entre gènes et environnement dans le cadre du développement de cancers ou de maladies neurodégénératives afin d'évaluer vers une médecine personnalisée.

Alzheimer : deux nouveaux facteurs de prédisposition génétique identifiés

Des chercheurs de l'Inserm, du CNG, de la Fondation Jean Dausset-CEPH, associés à un consortium européen regroupant 25 équipes ont mené une des premières études pangénomiques à très grande échelle s'intéressant à la maladie d'Alzheimer. L'analyse des génomes de plus de 20 000 individus, dont 6 000 étaient atteints de la maladie d'Alzheimer, leur a



Centre national de génotypage.

permis de mettre en évidence deux nouveaux facteurs de susceptibilité génétique à cette pathologie. Ces travaux ouvrent des perspectives nouvelles pour le développement de diagnostics et de voies thérapeutiques. *Nature Genetics*, septembre 2009.

Le Genoscope partie prenante de l'expédition Tara Océans

Partie de Lorient le 5 septembre, la goélette *Tara* parcourra pendant trois ans tous les océans de la planète pour étudier les écosystèmes marins. Ce milieu complexe et encore méconnu renferme pourtant des micro-organismes qui produisent la moitié de l'oxygène que nous respirons, pompent 50 % du gaz carbonique produit sur terre et constituent la base de la chaîne alimentaire. Au sein de l'équipe scientifique internationale et multidisciplinaire qui compose cette mission, des chercheurs du Genoscope étudieront la biodiversité des génomes et la richesse génétique des échantillons prélevés en mer.

© L. Gedarif/CEA



SIDA : UNE NOUVELLE STRATÉGIE CONTRE LE VIRUS

Une équipe de l'Institut de biologie structurale, en collaboration avec l'Institut Pasteur et l'université d'Orsay, a développé une nouvelle molécule appelée CD4-HS capable de bloquer l'entrée du VIH dans les cellules. Contrairement aux traitements actuellement disponibles qui visent à bloquer la réplication du virus, cette alliance tout à fait originale entre un sucre et un peptide représente une nouvelle stratégie thérapeutique prometteuse visant à agir bien avant l'entrée du virus dans la cellule. *Nature Chemical Biology*, septembre 2009.



Technologies

pour l'information et la santé



Immunothérapie

Les recherches du CEA en immunovirologie s'appuient sur une expertise reconnue en biologie structurale, en conception et production de vecteurs (ADN, vecteurs lentiviraux...), en modèles pour étudier les interactions entre hôtes et agents pathogènes et en recherche préclinique. Il a déjà fait la preuve de sa capacité à mobiliser ses compétences lors de crises de santé publique. Ces 10 dernières années, la Direction des sciences du vivant a été un acteur majeur du développement d'outils de diagnostic pour les maladies à prions. Lors de la dernière épidémie de chikungunya dans l'océan Indien, les modèles précliniques qui étaient essentiels pour la validation de nouvelles approches médicamenteuses et vaccinales ont été développés en quelques semaines sur le centre de Fontenay-aux-Roses.



Révélation des résultats d'un dosage immunologique.

Sida : vers un vaccin à ADN

Des chercheurs de l'Institut des maladies émergentes et des thérapies innovantes ont réussi à induire une réponse immunitaire forte par injection intradermique d'un vaccin à ADN dirigé contre le VIH. Le vaccin à ADN repose sur le principe suivant : un petit fragment d'ADN codant pour une protéine du VIH est introduit dans les cellules par l'intermédiaire d'un vecteur. À partir de cet ADN, les cellules fabriquent la protéine qui doit se comporter comme un antigène et déclencher une réponse immunitaire. Parmi les avantages de ce procédé : un coût moindre, une bonne stabilité à température ambiante, une production facile à grande échelle. Pour améliorer leur efficacité, ces chercheurs ont développé, avec la société Fit Biotech, un nouveau type de vecteur qui a la propriété d'aug-



TUBERCULOSE : VERS UNE NOUVELLE PISTE THÉRAPEUTIQUE



Des chercheurs du CEA et de l'Institut de génétique et microbiologie (université Paris-Sud-11, CNRS) ont découvert de nouvelles enzymes impliquées dans la biosynthèse de cyclodipeptides complexes, des molécules très répandues chez les micro-organismes et qui possèdent des activités biologiques variées. Au moment de cette biosynthèse, ces enzymes originales agissent de concert avec les enzymes de modification des cyclopeptides pour leur apporter une complexité structurale. C'est notamment le cas chez *Mycobacterium tuberculosis*, la bactérie responsable de la tuberculose. Les chercheurs ont élucidé l'ensemble de cette voie et caractérisé l'enzyme de modification impliquée qui est essentielle à la survie du pathogène. Il est maintenant possible d'inhiber cette enzyme et ainsi d'envisager de concevoir une nouvelle classe d'agents antituberculeux. *Nature Chem. Biol.*, juin 2009, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, mai 2009.

menter considérablement la quantité d'antigènes produits et de maintenir une activation de la réponse immunitaire sur le long terme. Après avoir développé et établi la preuve de concept de l'utilisation possible de ce type de vaccin, les chercheurs vont maintenant tester son efficacité chez le primate sur l'infection HIV. *Human Gene Therapy*, octobre 2009.

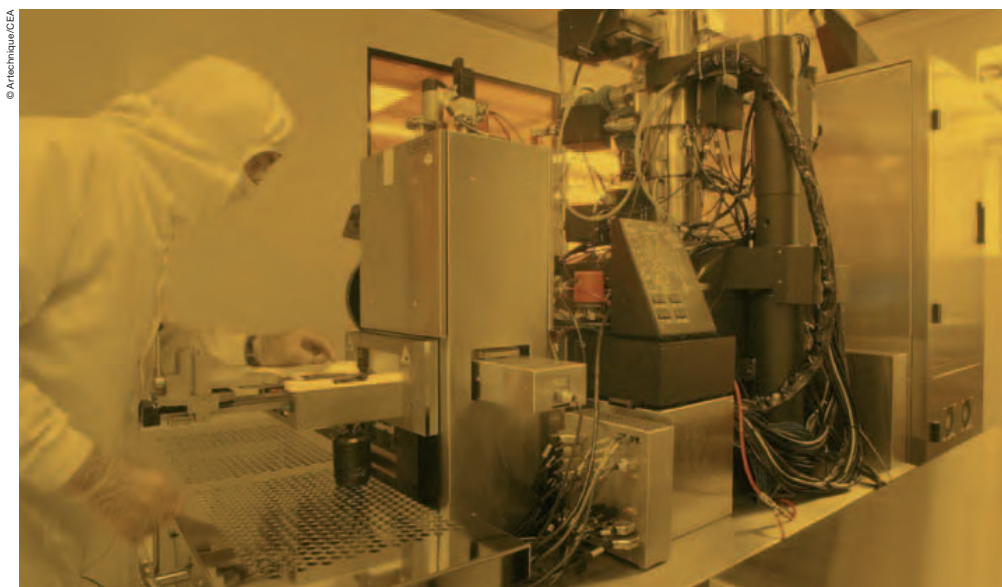


Technologies

pour l'information et la santé

En 2009, l'institut Leti, laboratoire de recherche technologique et intégrative, a su assurer son soutien à ses partenaires industriels pour maintenir de fortes capacités en innovation. Celles-ci sont garantes de l'amélioration de leur position concurrentielle, grâce à des actions de R&D commune et l'accès à son portefeuille de plus de 1 500 brevets.

Micro et nanotechnologies



Machine d'insolation directe E-beam.

Fort d'un cœur de métier fondé sur les technologies intégratives sur silicium et bien ancré dans les enjeux sociétaux, l'institut Leti propose un panel de technologies dérivées notamment dans quatre secteurs clés : les technologies de l'imagerie, les technologies pour la biologie et la santé, les télécommunications et les objets communicants ainsi que les nouvelles technologies pour l'énergie.

Un programme d'excellence au niveau mondial dans l'alliance IBM-STMicroelectronics

Focalisé sur les technologies de miniaturisation et leurs applications, le Leti a opéré (depuis 2005) une évolution stratégique qui se traduit à la fois dans les orientations de ses thématiques et de ses moyens de recherche. En effet, alors que le secteur des technologies CMOS change rapide-

ment et s'organise autour de quelques alliances au niveau mondial, l'institut Leti s'est repositionné en microélectronique en s'inscrivant dans le seul écosystème industriel ouvert. Cet écosystème couplé IBM-STMicroelectronics (Crolles) se trouve ainsi renforcé par l'expertise du Leti, qui contribue à consolider la position des acteurs européens dans ce domaine. Dans ce contexte, le Leti a réorienté ses activités en cohérence avec les besoins du marché et de l'alliance IBM autour de trois axes : des nouveaux transistors CMOS pour le nœud 22 nm et au-delà, la lithographie E-beam et la caractérisation à l'échelle nanométrique. Les travaux réalisés au cœur de cette alliance, scellée début 2009, ont permis aux équipes du Leti, de STMicroelectronics et d'Albany (États-Unis) d'obtenir des résultats remarquables sur le nœud technologique 22 nm.

En matière de lithographie E-beam, les travaux bénéficient des avancées réalisées par le Leti dans le cadre du programme international Imagine (lancé en 2008), en

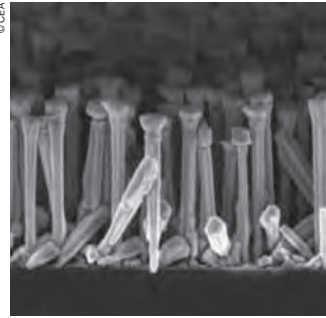
collaboration avec l'entreprise néerlandaise Mapper. Ce programme, ouvert aux partenaires industriels, est le premier consortium portant sur la lithographie à écriture directe à faisceaux multiples. L'enjeu de ce procédé est de maintenir une très forte résolution tout en assurant un bon niveau de productivité. En 2010, l'entreprise asiatique TSMC a également rejoint ce consortium.

La rapidité et la réactivité sont deux facteurs essentiels de l'offre R&D du Leti vis-à-vis de l'industrie, fondée notamment sur son réseau de plates-formes technologiques. Ce réseau est conçu pour accélérer le développement de produits industriels issus des résultats de la recherche amont.

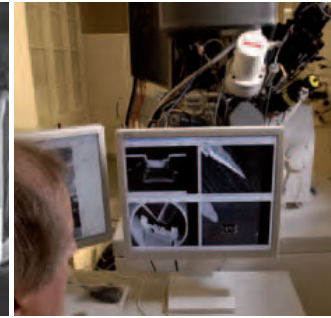
L'infrastructure de recherche inclut une salle blanche orientée CMOS, servant au développement de dispositifs à base de semi-conducteur et qui propose des moyens de recherche étendus dès 2008, notamment pour permettre l'intégration de nouveaux matériaux ainsi que le développement de procédés d'intégration 3D.

Programme Nanosimulation

Le programme Nanosimulation du CEA a été officiellement lancé à Grenoble le 11 février 2009. Il vise la simulation multiéchelle allant de la molécule au nano-objet, en développant des méthodes exactes (*ab initio*), des méthodes paramétrées (Monte-Carlo cinétique, dynamique moléculaire, micromagnétisme), et des méthodes couplées. Il vise à modéliser aussi bien la structure que les propriétés (électriques, magnétiques, optiques...) de ces objets et à terme à avancer les méthodes de conception de systèmes.



© CEA



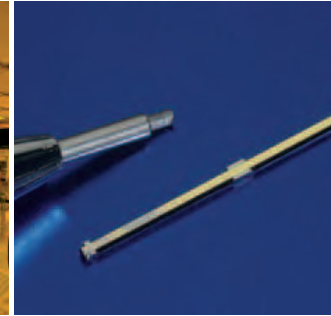
© P. Stroppa/CEA

Nano-Innov

Le centre d'intégration Nano-Innov Paris-Région du plan Campus du Plateau de Saclay, décidé en février 2009, vise à renforcer la capacité d'innovation technologique. Il permettra une augmentation significative des synergies et mutualisation entre les chercheurs du CEA et les autres acteurs du Plateau (université, CNRS).



© G. Conte/CEA-Leti



© Artechhouse/CEA

Des partenariats amont renforcés

En France, les équipes nanosciences du CEA font partie du réseau des centres de compétence C'Nano et des RTRA « Triangle de la physique » à Saclay et « Nanosciences aux limites de la nanoélectronique » à Grenoble créés en 2007. Pour ce dernier le CEA a été le porteur de projet et assure la présidence de la Fondation Nanosciences. Les équipes du CEA font également partie de nombreux groupement de recherche (GDR). La plupart des équipes travaillent dans des unités mixtes avec le CNRS ou l'université (au total plus de 10 unités mixtes de recherche avec le CNRS et les Universités). Elles participent également à un nombre important de projets financés par l'ANR. En Europe, les équipes participent à un grand nombre de projets (FP6 et maintenant FP7). Au plan mondial enfin, des collaborations sont effectives avec des laboratoires des USA, du Japon, de la Russie, de l'Inde ou de la Corée entre autres.

La croissance des programmes More than Moore pour les technologies dérivées et les microsystèmes

Le facteur d'innovation dans l'industrie des circuits intégrés est non seulement la réduction de taille du transistor mais aussi l'intégration de matériaux et de dispositifs étrangers à la technologie CMOS proprement dite (composants RF, imageurs, capteurs, mémoires non volatiles, interfaces optiques). Les technologies d'interconnexion et de packaging jouent un rôle majeur dans cette évolution en particulier pour développer des solutions à trois dimensions.

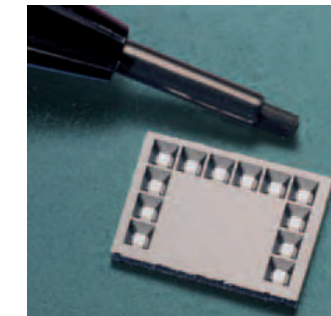
De g. à dr. : nanofils – plate-forme de nanocaractérisation : Focus Ion Beam – salle blanche pour la microélectronique – capteur de pression.

La plate-forme MEMS 200, dédiée au développement de microsystèmes hors CMOS (More than Moore) porte la capacité du Leti à proposer des services de fabrication de prototypes et de production de préséries dans le domaine de l'intégration hétérogène, offrant aux partenaires industriels de l'institut la possibilité d'investir dans l'innovation tout en limitant les risques.

Des plates-formes ouvertes et des partenariats amont

Localisées au cœur du campus d'innovation Minatec, d'autres plates-formes de recherche plus amont complètent ce dispositif : la plate-forme de nanocaractérisation et la plate-forme de chimie, en gestion conjointe avec les partenaires académiques de l'institut Leti, notamment l'Institut nanosciences et cryogénie, le CNRS, l'université Joseph Fourier et l'INPG; elles sont partagées avec ses partenaires de la recherche technologique tel le Leti.

Intégrable immédiatement dans le process de ses partenaires industriels, le Leti développe une technologie générique appelée MEMSBOND intégrant des briques technologiques alliant performance, robustesse et coût. Elle est parfaitement adaptée aux exigences des accéléromètres, gyromètres



© Artechhouse/CEA

Packaging de composant électromécanique.

DES TRANSISTORS 22 NM

La ligne 300 mm opérationnelle a permis d'obtenir des résultats à l'état de l'art, des transistors en technologie 22 nm sur substrat SOI. Grâce à ses performances, l'institut Leti accompagne ses partenaires industriels, STMicroelectronics, IBM, mais aussi Soitec, aussi bien sur les technologies avancées en 300 mm que sur des études amonts ou en rupture.

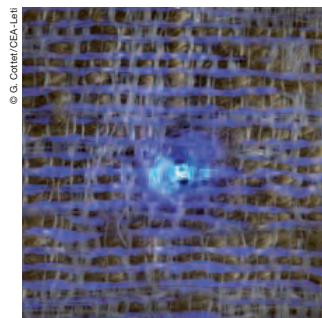




© A. Gonnin/CEA



© G. Corlier/CEA-Leti



© G. Corlier/CEA-Leti

De g. à dr. : imagerie médicale à NeuroSpin – surveillance de l'hydratation des pompiers par un capteur intégré dans le textile – intégration de capteurs dans le textile.

et capteurs de pression utilisés dans le marché de l'automobile en particulier. Par ailleurs, l'institut explore et ouvre la voie d'un nouveau concept de capteurs inertiels grâce au développement des technologies M&NEMS, alliant des dimensions micro et nanométriques et permettant de réduire la taille du capteur de façon drastique (plus d'un facteur 10). Les développements de la technologie NEMS sont réalisés grâce à l'expertise du California Institute of Technology dans les capteurs NEMS et aux savoir-faire du Leti dans la microélectronique dans le cadre d'une collaboration.

Une approche globale dans l'imagerie : du matériau au traitement de l'information

De nouveaux concepts en ruptures sont en cours de développement sur l'ensemble du marché allant de la téléphonie mobile (marché de masse) jusqu'à l'astronomie, avec pour objectif de délivrer un imageur complet, mis en boîtier collectivement et à un prix réduit. Toutes les compétences du Leti sont mises en œuvre : maîtrise du process microélectronique, d'intégration 3D ; capacités d'innovation en créant de nouveaux empilements technologiques, en développant des modèles électriques associés et en créant de nouveaux concepts en vue de la réduction de la taille du pixel. Dans le domaine du grand public, le défi consiste aussi à réduire le coût et donc la taille de l'imageur CMOS tout en maintenant ses performances électro-optiques. Le Leti traite ces enjeux à

travers différentes techniques visant à améliorer la sensibilité (éclairage face arrière) et limiter l'effet de diffusion (grâce à des filtres plasmoniques ultra-fins). Dans le domaine de l'infrarouge refroidi, le Leti est reconnu mondialement pour ses capteurs dédiés aux applications civiles et militaires. Ils sont utilisés dans les systèmes de vision de nuit, les satellites de météorologie, l'imagerie biomédicale. De nouvelles applications s'ouvrent pour les produits grand public (caméras de surveillance, détection de piétons...).

De nouvelles applications des micro et nanotechnologies dans le domaine de la santé

La santé, et le diagnostic en particulier, est l'un des enjeux majeurs de notre société, lié au vieillissement d'une population de plus en plus nombreuse. Les micro et nanotechnologies apportent des solutions innovantes par le développement de technologies qui améliorent le diagnostic médical et le traitement tout en créant des opportunités commerciales pour ses partenaires industriels. Cette activité, fondée sur la pluridisciplinarité des équipes est concentrée sur quatre axes de R&D : les détecteurs numériques de rayonnement destinés à l'imagerie médicale, l'imagerie moléculaire et l'administration de médicaments, les laboratoires sur puce pour diagnostic *in vitro* et les dispositifs médicaux portables ou implantables. Les détecteurs

développés au sein de l'institut, dotés d'une sensibilité accrue et d'une meilleure résolution spectrale et spatiale, s'adressent aussi bien à la radiologie médicale qu'à la médecine nucléaire et à la détection de radionucléides. Ces technologies permettent également de concevoir de nouvelles architectures de détecteurs, intégrant des fonctionnalités et des systèmes de détection innovants et permettant l'exploitation de signaux multiénergie.

L'offre Leti compte aussi des solutions industrielles pour les dispositifs médicaux implantés et/ou portables par la personne. Ces capteurs sont directement inclus dans des textiles et permettent d'analyser en temps réel des paramètres médicaux tels que la concentration en ion sodium, l'activité respiratoire et le niveau d'hydratation. D'autres capteurs, basés sur la capture du mouvement, permettent d'améliorer le diagnostic, d'assister efficacement les protocoles de réhabilitation et fournissent également une détection fiable de crises d'épilepsie.

Dans le domaine de l'enregistrement, de l'analyse et de la stimulation de structures neuronales pour l'interface cerveau/ordinateur, le diagnostic et le traitement de maladies neurodégénératives ou de pathologies cérébrales, les travaux se poursuivent dans le cadre du centre Clinatex. Cette plateforme unique a pour objectif d'apporter des preuves de concept précliniques et médicales d'efficacité et de sécurité pour des dispositifs médicaux implantés ou minimalement invasifs, issus de développements en micronanotechnologies afin de proposer



© Caltech/CEA-Leti

DES CAPTEURS NANOMÉTRIQUES

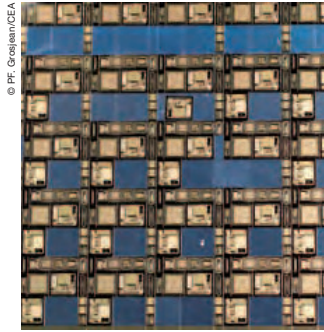
Des nanocomposants ont été réalisés et fonctionnalisés à l'institut Leti puis testés sous différents gaz à Caltech (USA). La réponse des capteurs a permis de démontrer l'intérêt de structures nanométriques pour la réalisation de capteurs chimiques avec une très bonne sensibilité et une bonne linéarité des composants sur des gammes comprises entre quelques ppm et 100 ppm.



des solutions aux malades neurologiques et aux personnes handicapées, par le diagnostic, la thérapie, la suppléance fonctionnelle et la chirurgie minimalement invasive.

Vers des objets communicants et autonomes

L'électronique était jusqu'ici communément associée aux ordinateurs, aux téléphones portables, à l'automobile ou aux équipements médicaux. Aujourd'hui, la tendance veut que la capture d'information, la puissance de communication et les microsystèmes interviendront plus largement dans des objets divers, le mobilier ou encore le papier. Les enjeux des objets communicants sont multiples : autonomie énergétique, sensibilité à l'environnement, transmission de données, etc. autant de briques technologiques constituant un ensemble complet, cohérent et efficace. Diabolo, développé par les équipes du Leti, est un procédé d'insertion de microsystèmes dans les matériaux dans la phase de fabrication. Il en résulte une bobine de puces connectées sur un fil flexible qui peut être intégré dans des matériaux par divers procédés industriels pour des applications tel le suivi médical ou sportif (grâce à l'introduction de capteurs dans des vêtements) ou encore le suivi de santé de structures (bâtiments, avions) dans des matériaux composites. Dans le domaine des télécommunications, les technologies RF seront une des clés d'un grand nombre d'applications. Les enjeux sont multiples pour ces systèmes (des réseaux de capteurs aux systèmes biomédicaux) : ils doivent être reconfigurables, adaptés au haut débit ou à la très basse consommation. Basées sur une technologie MEMS sur silicium, ces fonctions, réalisées par des équipes technologiques (développement de nouveaux matériaux) et de conception RF, sont moins volumineuses, plus performantes, moins onéreuses et plus faciles à fabriquer que les fonctions réalisées avec composants analogiques.



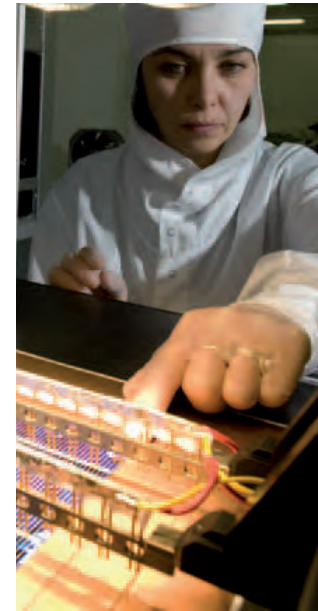
De g. à dr. : exemple de motifs structurés réalisés en salle blanche, sur la plate-forme technologique amont sur Minatec – caractérisation de cellules sur la plate-forme Restaura à l'Ines (Institut national d'énergie solaire).

Renforcement du transfert technologique vers les PME

Le B2I est une plate-forme qui permet à nos partenaires industriels d'avoir accès à des équipements de conception, d'intégration et de caractérisation à un prix abordable. Elle offre la possibilité de constituer des partenariats de R&D visant à dynamiser le processus d'innovation, de l'étude de faisabilité à la preuve de concept et la fourniture de démonstrateurs, avant la réalisation de prototypes. La plate-forme implique également les étudiants de l'INP Grenoble dans des projets (six mois environ) de soutien aux PME.

Une offre technologique adressant les questions énergétiques

En lien avec l'institut Liten, de nombreux programmes visent à réduire la consommation énergétique. Ils portent à la fois sur l'amélioration du rendement des cel-



lules photovoltaïques, les techniques de récupération d'énergie, la mise au point de nouvelles technologies de production de lumière et le développement de composants de puissance intégrés. Réduire la consommation, c'est également optimiser les architectures électroniques et de nombreux travaux sont menés dans cette direction au niveau de la conception des circuits intégrés complexes.

De la fabrication des LED au développement de systèmes complets d'éclairage, le Leti développe une offre globale de R&D afin d'explorer des voies alternatives capables de dépasser les limites connues du matériau GaN au cœur des produits actuels dans une logique de basse consommation.



MAGNÉTOMÈTRES



Le projet Swarm concerne la mesure du champ géomagnétique terrestre avec une plate-forme de trois satellites, projet sous la responsabilité de l'ESA et du Cnes au niveau français. Dans ce cadre, les magnétomètres conçus et développés par l'institut Leti ont été validés au cours de la revue de conception détaillée, en permettant ainsi de passer à la fabrication des modèles de vol.

Les recherches dans ce domaine sont développées au sein de l'Institut List qui poursuit son action en faveur de l'innovation technologique, en lien étroit avec les industriels et l'ensemble de la communauté scientifique. Ces partenariats s'exercent tant au niveau national, notamment dans le cadre de Digiteo et du pôle de compétitivité System@TIC, qu'au niveau européen, avec une forte implication dans la Joint Technology Initiative Atermis.

Technologies logicielles et systèmes



Analyse informatique du contrôle non destructif.

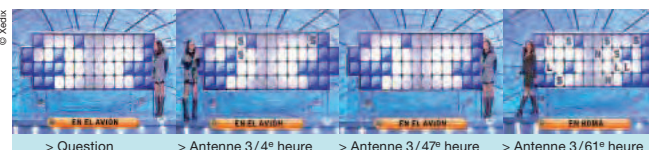
Les technologies développées au List sont centrées sur les systèmes numériques. Ses compétences en ingénierie logicielle, intelligence ambiante, architectures embarquées, simulation, capteurs et traitement du signal, très génériques, lui permettent de développer des concepts innovants dédiés à des applications industrielles et/ou des usages. Ce caractère générique et diffusant constitue ainsi un véritable atout pour concevoir et maîtriser la complexité des systèmes à haut niveau d'intégration et leur valorisation auprès des industriels dans les domaines de l'énergie, du transport, de la sécurité et de la santé.

Le secteur de l'énergie constitue toujours un secteur clé pour les technologies du List. Le logiciel de simulation Civa, qui capitalise les résultats de la recherche menée par le CEA et ses partenaires dans le domaine du contrôle non destructif, joue un rôle crucial dans la conception des réacteurs de 4^e génération. Le contrôle permet de vérifier la tenue dans le temps des structures internes du bloc réacteur et la position de certains composants.

Le secteur du transport a permis de définir, avec l'ensemble des acteurs français de l'automobile, une vision stratégique commune sur l'électronique embarquée. Dans ce domaine spécifique, les futures générations d'architectures électroniques sont au cœur d'enjeux économiques importants; ainsi, la réduction du nombre de calculateurs, à fin

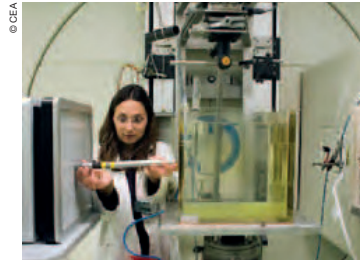
de maîtrise des coûts et de l'empreinte énergétique, amène à une cohabitation de fonctions hétérogènes en termes de niveaux de confiance, nécessitant une sûreté de fonctionnement accrue. Contrairement aux calculateurs actuels qui, en cas de défaillance, doivent effectuer un redémarrage complet occasionnant une indisponibilité temporaire, le système Pharos développé par le List conserve ses capacités d'exécution, en mode dégradé dans un premier temps, puis par reprise contrôlée de la fonction.

Le secteur de la sécurité présente une croissance très forte, la protection des personnes et des biens nécessitant des systèmes de contrôle de plus en plus performants. Dans le cadre du projet Visiopack, le List a ainsi participé à la conception d'un système de vision basé sur une caméra intelligente, sans fil et autonome en énergie. La caméra est dotée d'un panneau solaire et d'un détecteur infrarouge qui la « réveille » lorsqu'un mouvement est détecté dans son champ de vision. Le logiciel de traitement d'image, capable d'identifier une présence humaine, génère une alarme en cas de besoin. La maîtrise conjointe du logiciel (algorithme de traitement) et du matériel (architecture électronique) a permis au List



UNE RECHERCHE VIDÉO EN MOINS DE 10 SECONDES

Comment retrouver une vidéo en moins de 10 secondes sur une période de 10 ans ? Pour effectuer cette recherche, l'utilisateur choisit, à travers une interface Web, une image représentative de la question à poser au moteur. Cette requête est transférée à l'outil Piria de l'institut List, permettant à l'outil natif de gestion de bases de données, Xedix (CEA Direction des applications militaires), de classer les candidats à la réponse en fonction des distances entre celles-ci.



© CEA

DOSEO POUR LES TECHNOLOGIES DE LA RADIOTHÉRAPIE



« Innover, maîtriser, former et rapprocher » sont les maîtres mots de Doseo, une plate-forme de référence pour les technologies de la radiothérapie, lancée en 2009, sur le centre CEA de Saclay. Elle est destinée à accompagner le développement de ce domaine de haute technologie. Un nouveau bâtiment d'environ 2000 m² est ainsi prévu à l'horizon 2011, dans une zone ouverte du centre CEA de Saclay à proximité de NeuroSpin. En matière de traitement des cancers, la radiothérapie est une technique incontournable et en pleine mutation.

de proposer le meilleur système en optimisant la consommation d'énergie et la puissance de calcul.

Le secteur de la santé est également en forte croissance, au travers, notamment, de la radiothérapie (contrôle précis des doses administrées aux patients), mais aussi du développement de systèmes embarqués intelligents assurant le monitoring du malade pour certaines fonctions vitales. Le List participe ainsi au projet Miniara, dont l'objectif est de mieux intégrer les techniques d'imagerie afin d'optimiser le traitement du cancer (planification, ciblage, rapidité); ses équipes ont développé des outils logiciels permettant d'exploiter précisément les images numériques acquises par un imageur X Electronic Portal Imaging Device (Epid). La calibration dosimétrique réalisée permet d'envisager l'utilisation des détecteurs Epid comme dosimètres de transit, seuls dispositifs permettant de vérifier *in vivo* la dose réellement délivrée au patient lors du traitement.

Le secteur de la production industrielle est aujourd'hui stratégique pour les partenaires du List, avec le développement de véritables prototypes numériques de systèmes, permettant de simuler en temps réel leur assemblage, leur utilisation et leur maintenance. Dans le cadre du programme de partenariat Innovia avec Renault, le List a mis au point un démonstrateur de formation des peintres de carrosserie, où le dépôt réel de laque est remplacé par une peinture virtuelle. Réaliste, ce dispositif génère une économie substantielle de matériel et favorise l'autonomie des utilisateurs tout en affinant l'analyse de la qualité du geste.

Pour répondre à l'ensemble de ces enjeux économiques, le List s'appuie sur un haut niveau scientifique et une compétence technologique reconnue, structurée autour de trois axes de recherche majeurs.

- **Les systèmes embarqués** : outils pour la sûreté des logiciels et systèmes, architectures de calcul hautes performances, systèmes de vision intelligents. L'institut List et Esterel Technologies ont créé un laboratoire commun, Listerel Critical Software Lab, dédié au développement des technologies de conception de systèmes critiques avancés, et l'équipe commune Esterel Technologies-CEA List s'intéresse déjà à certains inhibiteurs essentiels du développement des systèmes critiques, dont la conception système, la précision



© CEA



© P. Streppa/CEA

De h. en b. : application de détection des zones avec mouvement (en vert) et de détection de la présence humaine (en bleu) – démonstration de réalité virtuelle pour l'environnement automobile.

numérique des algorithmes, ainsi que les solutions de validation et de sûreté avancées.

- **Les systèmes interactifs** : réalité virtuelle, interfaces sensorielles, robotique, ingénierie de la connaissance multimédia multilingue. Dans le cadre du projet ANR* Tecsan Surgicobot, l'application chirurgicale est la laminectomie, intervention très délicate sur la colonne vertébrale visant à libérer la moelle épinière des contraintes dues à la calcification du canal médullaire. Les travaux du List portent sur la conception d'un « *Cobot* » de nouvelle génération destiné à rendre le geste du chirurgien plus sûr et plus rapide. Le principe du dispositif d'assistance est basé sur la tenue conjointe de l'outil par le chirurgien et le *Cobot*. Ce dernier n'exerce de contraintes que dans certaines zones, afin de les protéger ou de guider le geste du chirurgien. Les zones délicates, définies par imagerie médicale, sont actualisées

en temps réel par un système de navigation et transmises au contrôleur du *Cobot*.

- **Les capteurs et le traitement du signal** : outils avancés pour le contrôle non destructif, instrumentation pour la santé et la sécurité, métrologie des rayonnements ionisants. Le laboratoire national Henri Becquerel (LNHB) du List a inauguré, le jeudi 4 juin 2009, son nouveau laboratoire de métrologie de la radioactivité. Cette étape permet au LNHB de conforter et pérenniser son haut niveau de compétences en métrologie de la radioactivité, figurant dans le « top 3 » des grands laboratoires européens. C'est également un signal fort de l'engagement du CEA au côté du laboratoire national d'essais pour soutenir la métrologie des rayonnements ionisants, dans un contexte de développement de leurs applications médicales et de renaissance de l'énergie nucléaire.

* ANR : Agence nationale de la recherche.

La production de connaissances en physique des deux infinis et en physique à très haute intensité utilisant les lasers requiert des développements instrumentaux très spécifiques. Dans ces domaines, les physiciens développent leurs propres outils en poussant les technologies des instruments à leurs limites, puis les utilisent pour accroître leurs connaissances. Ils peuvent alors partager leur savoir avec leur communauté scientifique en ouvrant un accès à leurs installations ou en appliquant leurs connaissances à la création d'instruments utiles à d'autres communautés scientifiques. Par ce mécanisme en cascade, les sciences utilisant les très grandes infrastructures contribuent grandement au développement des capacités d'investigation et d'innovation des communautés scientifiques.

La recherche et les très grandes infrastructures de recherche (TGIR)

Stratégie nationale concertée

Le CEA inscrit son action dans le cadre de la feuille de route nationale des très grandes infrastructures (www.roadmaptgi.fr). Tout en confortant son rôle dans les infrastructures existantes, il organise sa participation au développement des futures TGIR. Il représente la France, avec le CNRS et parfois aux côtés d'autres organismes, dans les instances de pilotage des TGIR.

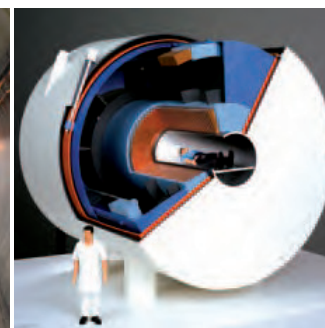
Le CEA assure la présidence du Comité de coordination des très grandes infrastructures de recherche CEA-CNRS créé en 2009. Un de ses objectifs est d'accroître le poids de la France dans les instances de pilotage, internationales, des TGIR dans les domaines suivants : sources de lumière et de neutrons, accélérateurs d'ions, physique nucléaire et des hautes énergies, environnement et calcul intensif. Les deux organismes ont aussi créé un second comité plus spécifiquement dédié à l'animation des recherches en physique nucléaire et des hautes énergies.

Des compétences au service de toutes les activités du CEA

Le CEA est un acteur reconnu mondialement pour sa participation au développement et à la réalisation des TGIR grâce à ses compétences technologiques très pointues : instrumentation spatiale, accélérateurs et détecteurs, cryotechnologie, faisceaux de très haute intensité et très grands aimants supraconducteurs. Il assure à la France un rôle de tout premier plan dans de nombreux projets mondiaux



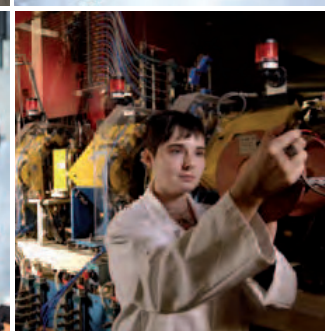
© P. Stroppe/CEA



© A. Gomin/CEA



© P. Stroppe/CEA



© P. Stroppe/CEA

De g. à dr. : tunnel du LHC/Large Hadron Collider – maquette de l'aimant 11 teslas pour NeuroSpin – quadripôles de l'accélérateur linéaire de Spiral 2, au Ganil – ligne d'éjection du faisceau d'ions du cyclotron Cime.

en développement comme la source européenne de neutrons de spallation (ESS), la source de lumière de 4^e génération (XFEL), les accélérateurs d'ions (Fair) et les futurs collisionneurs de particules (Clic & ILC). Ces compétences technologiques sont également essentielles pour répondre à

des défis sociétaux majeurs, comme la santé par exemple. C'est le cas dans les projets du CEA, comme le développement de l'aimant d'IRM à très haut champ pour l'imagerie fonctionnelle du cerveau (NeuroSpin) ou de composants indispensables du laser Mégajoule (LMJ).



PREMIÈRES COLLISIONS À HAUTE ÉNERGIE

Le grand collisionneur de hadrons (LHC), au Cern près de Genève, a permis de réaliser des collisions de faisceaux de protons portés à une énergie de 2,36 TeV, soit la plus haute énergie jamais atteinte dans ce type d'expériences. Les expériences CMS, Atlas et Alice (auxquelles participent les équipes du CEA) ont ainsi enregistré plusieurs centaines de milliers d'événements grâce à cette première phase de fonctionnement. Ces résultats ont déjà fait l'objet de plusieurs dizaines d'articles dans les revues scientifiques.

LES FUTURES INFRASTRUCTURES

Deux nouveaux accélérateurs d'ions, principalement dédiés à la physique nucléaire, sont en cours de construction en Europe : Spiral 2, extension du Ganil, à Caen, et Fair à Darmstadt (Allemagne). XFel, en cours de construction à Hambourg (Allemagne), doit constituer une source presque 10 fois plus brillante que des sources de rayonnement synchrotron actuelles. Deux grandes expériences de mesure des propriétés des neutrinos sont en cours d'assemblage, l'une à Chooz dans les Ardennes françaises (Double Chooz), l'autre au Japon (T2K). Enfin, en 2009, il a été décidé que le projet ESS de source de spallation de neutrons sera basé à Lund, en Suède. Dans un autre domaine, le projet européen en phase préparatoire Icos (projet d'infrastructure européenne dédié à la mesure précise des flux de gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone) s'est poursuivi en 2009 avec la définition du cahier des charges du futur réseau de stations de mesure.

LE PLUS GRAND TÉLESCOPE SPATIAL

© CEA/ESA/ISO



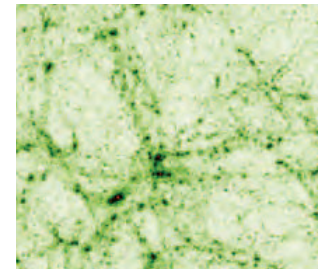
Le 14 juin 2009, le télescope spatial Herschel, positionné à plus d'un million de kilomètres de la Terre, a porté son premier regard sur une galaxie. Il a fourni des images de l'Univers dans l'infrarouge et le domaine submillimétrique, avec une finesse de résolution inédite, grâce à la caméra de bolomètres de l'instrument Pacs, conçue et réalisée par le CEA.

AUTANT EN EMPORTENT LES WIMPS

© J.L. Bigot/CEA



Mis en route en 2009, les nouveaux détecteurs de l'expérience Edelweiss (laboratoire souterrain de Modane) ont permis de multiplier par 10 fois la sensibilité de détection des wimps, ces particules massives interagissant faiblement, qui pourraient expliquer la nature de la matière noire.



© D. Aubert/CEA-Dapnia, C. Pichon/CNRS/IAP

Simulation de la formation des structures dans l'Univers.

Architecture hybride pour la simulation en cosmologie

L'apparition des premières étoiles dans un univers rempli d'hydrogène et d'hélium neutre a entraîné la réionisation complète de l'Univers, après irradiation de leur environnement. Ce processus fondamental a été simulé à haute résolution par une équipe du CEA sur le calculateur Titane du CCRT. Les distributions du gaz et des sources de rayonnement, la propagation de la lumière, de la chimie et du chauffage du gaz ont été modélisées grâce à différents codes. En distribuant le calcul sur 128 cartes graphiques, cette étape a pu être accélérée d'un facteur 100. La modélisation a mis en évidence l'importance de la physique de la formation de la toute première génération d'étoiles sur le processus de réionisation de l'Univers.

Petal

En appui aux programmes expérimentaux menés sur la Lil puis le LMJ, d'autres installations viennent compléter les moyens d'études menées en physique des lasers ou des plasmas. C'est le cas notamment du laser petawatt Petal, réalisé sous maîtrise d'ouvrage de la région Aquitaine. Le projet Petal consiste en la réalisation d'un laser de haute énergie et de haute puissance.

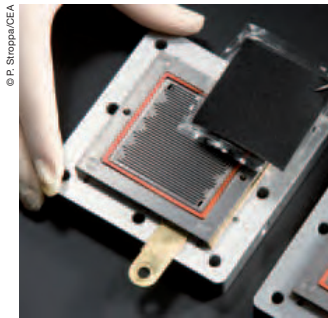
Les très grandes infrastructures gérées par le Comité de coordination thématique CEA-CNRS

Sources de neutrons Orphée-laboratoire Léon Brillouin (LLB) Institut Laue-Langevin (ILL)	Saclay Infrastructure européenne à Grenoble	www-llb.cea.fr www.ill.eu
Sources de lumière Synchrotron Soleil ESRF XFEL	Saint-Aubin, près de Saclay Infrastructure européenne à Grenoble. Infrastructure européenne en construction à Hambourg (Allemagne)	www.synchrotron-soleil.fr www.esrf.eu www.xfel.eu
Physique nucléaire et des hautes énergies Ganil & Spiral 2 Cern-LHC Fair	Caen Infrastructure mondiale près de Genève Infrastructure européenne à Darmstadt (Allemagne)	www.ganil-spiral2.eu www.lhc-france.fr www.gsi.de/fair/index_e.html
Environnement Icos	Infrastructure européenne sous forme de réseau en cours de constitution	www.icos-infrastructure.eu
Calcul intensif Genci Prace	Grand équipement national de calcul intensif Infrastructure européenne sous forme de réseau en cours de constitution	www.genci.fr www.prace-project.eu

Les instruments d'astrophysique embarqués sur des satellites sont également assimilés à des TGIR.

Au CEA, six programmes transversaux rassemblent les compétences des pôles de recherche de l'organisme. Ceux-ci permettent de coordonner la recherche – qu'elle soit appliquée ou fondamentale – autour de thématiques majeures. Ils répondent à la volonté du CEA de s'adapter à la nouvelle organisation de la recherche et à la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation, ainsi qu'aux nouveaux financements, aux nouveaux besoins de la société et aux marchés émergents.

Programmes transversaux



Étude de matériaux pour les nouvelles technologies de l'énergie.

Programme transversal Matériaux avancés

La plupart des programmes du CEA, et notamment ceux s'inscrivant dans les missions de préparation des énergies du futur (fission, fusion, nouvelles technologies pour l'énergie), exigent la maîtrise de nouveaux matériaux, que ce soit au niveau de la synthèse, de la prévision et du contrôle des propriétés, ou de la prédictibilité du comportement sous diverses contraintes et dans la durée (problème de vieillissement). Le programme transversal fait le relais entre la production de connaissances amont (scientifiques et technologiques) et les programmes plus « orientés applications ». L'un des rôles principaux du programme transversal Matériaux avancés est de générer de nouvelles passerelles entre les disciplines, parfois très cloisonnées, de la science des matériaux, l'innovation en rupture se trouvant précisément très souvent à cette intersection des cultures. Les approches intégrées couplant recherche amont et développements technologiques se déclinent en quatre axes : métallurgie hautes performances, composites et céramiques avancées, ingénierie des surfaces, synthèse et intégration d'édifices nanométriques.

Afin de dégager des moyens financiers complémentaires et d'amplifier la recherche collaborative, une dynamique de montage de projets partenariaux a été entreprise. Elle implique l'Agence nationale de la recherche, les pôles de compétitivité (EMC2, AESE, Céramique, Materialia), Oseo et l'Europe (6^e et 7^e PCRD). Les régions sont également associées à cet effort.



Entretien de plantes de quinoa dans une enceinte en conditions contrôlées.

Programme transversal Toxicologie

En 2001, le CEA lançait ToxNuc, programme interne de recherche pluridisciplinaire en biologie et physico-chimie, visant à comprendre les modes d'action et les effets des radionucléides utilisés en recherche, en médecine ou dans l'industrie nucléaire. Cette dynamique s'est amplifiée entre 2004 et 2007 par l'élargissement aux équipes du CNRS, de l'Inserm et de l'Inra. Avec la montée en puissance des nanomatériaux et les nouvelles directives sur les produits chimiques, les besoins se sont accrus.

L'objectif du programme transversal Toxicologie mis en place en 2009 est de valoriser les compétences du CEA et d'accroître la réactivité et la polyvalence de ses équipes. Par des projets ciblés liant la recherche amont et les différentes facettes de la maîtrise des risques, le programme soutient l'évolution vers une approche plus opérationnelle que descriptive. Les premières études concernent aussi bien les radionucléides que les nanomatériaux, grâce à des approches techniques adaptées à la complexité du vivant (spéciation et marquage, méthodes « omiques », etc.). Les réflexions nationales en cours sur la toxicologie prédictive confirment la place prépondérante prise par l'étude des mécanismes et des modèles aux différents niveaux d'organisation du vivant, « de la molécule à l'organisme », ainsi que par les technologies (biomarqueurs, biocapteurs). Le programme aura aussi pour vocation de développer les recherches sur les traitements médicaux (décorporation) ou environnementaux (ingénierie de transporteurs membranaires ou d'enzymes pour la bioremédiation).



Mise en plaque robotisée d'échantillons ADN en vue du génotypage.

Programme transversal Technologies pour la santé

Beaucoup de progrès dans le domaine de la santé viendront de l'utilisation de technologies, souvent issues d'autres domaines scientifiques, qui seront exploitées à bon escient pour mieux comprendre le fonctionnement du vivant et mieux prendre en charge les pathologies humaines. L'exemple des développements réalisés ces dernières années dans les domaines de l'imagerie, de la biologie à grande échelle (génomique, protéomique, métabolomique) et de la chirurgie assistée par l'image et la robotique illustrent bien l'apport des technologies dans le domaine de la santé. Au sein du CEA, les spécialistes du vivant et ceux de la technologie coopèrent et ouvrent la voie à de vastes champs d'applications médicales.

Le programme Technologies pour la santé a pour objectif de mobiliser, de façon transversale, les compétences technologiques et biologiques du CEA pour créer de la valeur industrielle dans le domaine de la santé. Pour ce faire, il identifie, fait mûrir et finance des projets finalisés pouvant conduire à des applications industrielles (transfert de technologie). Parallèlement, il contribue à la création de start-up. À ce jour, il finance 14 projets destinés à un transfert vers un industriel et soutient 11 projets de création d'entreprise.

© P. Avellan/CEA



Dépôt chimique sous-vide sur le plateau technologique NanoS.

© L. Godier/CEA



Développement de démonstrateurs terrain de détection de gaz toxiques.

© P. Avellan/CEA



Groupe électrogène Epicea mobile et autonome pour pile à combustible.

Programme transversal Nanosciences

Le programme transversal Nanosciences du CEA est un programme de recherche fondamentale, action de coordination et d'animation, préparant des futurs développements technologiques dans les domaines d'activité du CEA : technologies de l'information et de la communication, énergies décarbonées, technologies pour la santé.

Nanosciences et nanotechnologies sont fortement reliées. Les nanotechnologies utilisent les avancées des nanosciences mais permettent aussi, par un contrôle amélioré des outils de manipulation et de mesure, des avancées dans les nanosciences. Le programme transversal Nanosciences intervient pour soutenir cette complémentarité stratégique, car source d'innovation pour le CEA :

- en amont des technologies de l'information avec des domaines d'excellence comme la nanoélectronique quantique, la spintronique, la chimtronique (chimie pour la nanoélectronique);
- en amont de l'énergie avec par exemple l'exploration de l'effet des nanostructurations de surface ou volume sur les rendements énergétiques ou des développements de catalyseurs innovants;
- en amont des technologies de la santé autour de la nanomédecine;
- en transversal sur la nanosimulation, la nanocaractérisation et la nanotoxicologie.

Les enjeux des nanosciences sont d'abord scientifiques (observer, comprendre, fabriquer de nouveaux nano-objets et utiliser la compréhension des phénomènes et/ou les nano-objets au sein de systèmes pour de nouvelles applications), mais également sociétaux (analyse et maîtrise des risques, interaction avec la société, enjeux du développement durable, de la santé et de l'économie).

Programme transversal Sécurité globale et non-prolifération

L'ensemble des programmes de recherche et développement en Sécurité globale conduits au sein du CEA concourent à la lutte contre le terrorisme, que ce soit au travers des actions de R&D directement dédiées à la menace terroriste NRBC-E⁽¹⁾ ou à celles relevant de domaines connexes comme la sécurité des transports, des infrastructures critiques et des systèmes d'information ainsi que les technologies dédiées à la gestion de crise.

C'est ainsi qu'en 2005, les pouvoirs publics ont confié au CEA la mise en place et la coordination du programme interministériel de R&D NRBC-E. Ses objectifs principaux sont de développer de nouvelles méthodes sur les volets détection-intervention-réhabilitation, en mettant à profit les compétences et l'expertise de l'ensemble des pôles du CEA, et en faisant appel aux compétences du tissu national de la recherche académique (Institut Pasteur, IRSN, CNRS, Inra...).

Durant ces cinq années, les nombreux résultats scientifiques ont débouché sur une douzaine de réalisations technologiques, à la maturité suffisante pour envisager un transfert vers des industriels. Ainsi, deux transferts ont été effectués en 2009 : la balise Dirad de détection radiologique et les bandelettes de détection de toxines biologiques. Par ailleurs, la thématique « explosifs » répond à une demande en forte croissance de la part des pouvoirs publics compte tenu de l'importance de cette menace.

Les travaux de recherche conduits dans le cadre de ce programme ont démontré le rôle indispensable du CEA pour apporter un soutien et une expertise au profit des pouvoirs publics, et pour proposer de nouvelles solutions technologiques en lien avec les besoins exprimés.

Programme transversal Nouvelles technologies de l'énergie

Le programme transversal Nouvelles technologies de l'énergie (NTE) répond à plusieurs attentes : pouvoir disposer d'énergies non émettrices de gaz à effet de serre, autres que celles issues du nucléaire, apporter à la société des ressources énergétiques novatrices et durables, réduire la dépendance énergétique alors que les matières premières s'épuisent. Les recherches sont axées sur l'énergie solaire (photovoltaïque, CSP, thermique), le stockage de l'énergie, la filière hydrogène et piles à combustible, les biocarburants, les nanomatériaux pour l'énergie.

Avec comme objectif de satisfaire les besoins en technologies des applications suivantes :

- le transport électrique ou hybride, notamment avec des projets autour de la mobilité solaire, c'est-à-dire pour lesquels l'électricité est apportée par des cellules photovoltaïques pendant les cycles de recharge;
- les bâtiments, leur efficacité énergétique et l'intégration de l'énergie solaire;
- l'adaptation entre l'offre et la demande électrique;
- les microsources d'énergie.

Les activités liées aux énergies solaire, thermique et photovoltaïque et l'intégration de ces énergies dans le bâtiment ont été regroupées dans le cadre de l'Institut national de l'énergie solaire, situé à Chambéry. Cette activité est en forte croissance.

Le programme transversal Nouvelles technologies de l'énergie est un programme de recherche technologique à vocation de transfert industriel. Il s'appuie largement sur la recherche fondamentale pour son ressourcement.

⁽¹⁾ NRBC-E : nucléaire, radiologique, biologique, chimique - explosifs.

Le développement du calcul intensif a permis de faire progresser la simulation numérique, outil essentiel de la recherche scientifique, technologique et industrielle. Le CEA a l'ambition, avec ses partenaires académiques et industriels, d'être un acteur majeur dans ce domaine.

Le calcul intensif

Confronter expérience et théorie



© P. Streppa/CEA

Centre de calcul recherche et technologie (CCRT).

Un besoin interdisciplinaire

Une stratégie de développement a été mise en place :

– le premier volet concerne la conception, la réalisation et la mise en œuvre des grands outils de calcul, pour lequel le CEA s'appuie sur des collaborations industrielles. Cet aspect est pris en charge par une équipe d'experts du CEA DAM Île-de-France, qui s'appuie sur des collaborations industrielles (Bull et Intel, EDF, Safran, Astrium, Onera, Ineris);

– le second porte sur le développement des applications pour la Défense, pour l'énergie, pour la recherche dans les domaines du climat, des nanosciences et des sciences du vivant, ainsi qu'en astrophysique et physique des particules, impliquant ainsi chaque pôle du CEA.

Concevoir, réaliser et mettre en œuvre de grandes infrastructures

Plusieurs entités ont été mises en place au CEA pour concevoir, réaliser et mettre en œuvre les grandes infrastructures de calcul. La conception et la réalisation des grands moyens de calcul sont assurées de manière duale avec Bull et Intel.

Extreme Computing

Créé dans le cadre du contrat Tera 100, le laboratoire commun Bull/CEA a pour objectif de pérenniser la capacité de concevoir les architectures de machines de grande puissance en Europe.

Exatec

Créé fin 2009, ce laboratoire associant Intel (49 %), le CEA (23 %), Genci (23 %) et l'université de Versailles (5 %) a pour objectif de préparer les technologies permettant d'atteindre l'exaflops (10^{18} opérations par seconde) dans la prochaine décennie.

Le Complexe de calcul scientifique du CEA

Il est localisé à Bruyères-le-Châtel sur le centre DAM Île-de-France.

Le centre de calcul Défense Tera

Il accueille depuis 2005 le supercalculateur Tera 10 (puissance crête de 60 téraflops). Le démonstrateur Tera 100 a été livré en juin 2009, conformément au contrat signé avec Bull en juillet 2008. Il a permis de valider les nouvelles technologies nécessaires au fonctionnement d'un calculateur petaflopique qui sera installé en 2010.

Tera permet de réaliser les simulations numériques nécessaires à la garantie des armes nucléaires de la dissuasion.

<http://www-hpc.cea.fr/>

La plate-forme d'expérimentation

Elle regroupe l'ensemble des actions pilotées par le CEA et menées en collaboration avec des industriels et des laboratoires universitaires dans le cadre des appels à projets du pôle de compétitivité System@TIC, de l'Agence nationale de la recherche et de l'Union européenne (Prace). Elle sera transférée sur le campus Ter@tec en 2011.

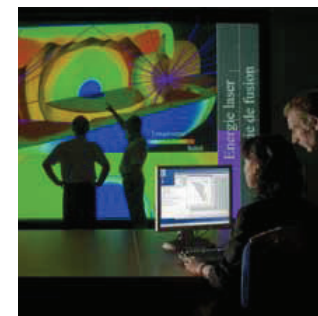
Le CCRT

Le Centre de calcul recherche et technologie, un des premiers centres de calcul européens, a pour vocation à répondre aux besoins de ses partenaires (CEA, Genci, EDF, Snecma...) en matière de grandes simulations numériques et de favoriser les échanges entre la recherche et l'industrie. Des calculateurs vectoriels et massivement parallèles (d'une puissance totale de plus de 300 téraflops) offrent aux utilisateurs des possibilités d'applications variées : astrophysique, climat, énergie, santé... Un investissement majeur a été réalisé en 2009 au CCRT par Genci avec l'installation du premier grand calculateur hybride d'Europe et pour les prochains calculs du Giec.

<http://www-ccrt.cea.fr/>

Prace

Ce programme européen a pour objectif de mettre en place trois à cinq centres de calcul, de classe mondiale, coordonnés par



© H. Regnier/SciencesAvenir/CEA

Supercalculateur Tera 10 et son mur d'images.



De g. à dr. : cellule de photoélectrolyse utilisée pour les études sur la production d'hydrogène par photoélectrolyse de l'eau – programme Barracuda.

une entité européenne. Dix-huit pays de l'Union y sont engagés.

La France, dont le représentant est Genci, a choisi le site de Bruyères-le-Châtel pour installer la première machine pétaloïpique de ce programme. L'appel d'offres a été lancé en décembre 2009 et est mené par une équipe commune CEA/Genci.

<http://www.prace-project.eu/>

Pour accueillir le calculateur européen Prace ainsi que le futur CCRT, le CEA a démarré en 2009 la construction du Très Grand Centre de calcul (TGCC). Il constituera le plus grand centre de calcul scientifique d'Europe.

Ter@tec

Cette association a été créée pour promouvoir la simulation numérique et développer, autour de l'expertise du CEA, des synergies entre la Défense, l'industrie et la recherche. Elle a annoncé en 2009, en collaboration avec la communauté de communes de l'Arpajonnais, le conseil général de l'Essonne et la chambre de commerce et d'industrie du département, la création de la première technopole européenne consacrée aux technologies pour le calcul intensif : le campus Ter@tec.

<http://www.teratec.eu/>

Répondre aux grands enjeux scientifiques du CEA

Simulation de matériau pour la production d'hydrogène

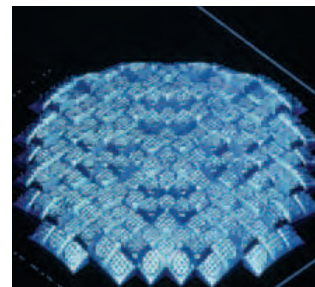
Pour la production massive d'hydrogène par électrolyse de vapeur d'eau à haute température, une cellule élémentaire composée d'un cœur céramique entouré de plaques d'interconnecteurs métalliques est simulée en mettant en œuvre des maillages volumineux. Dans ce contexte, les phénomènes physiques interviennent à des échelles très différentes, de la dizaine de microns à un objet de quelques centaines de cm². Une approche couplant thermique, hydraulique, électrochimique et mécanique



permet de prédire les distributions de courant dans les électrodes et donc la quantité d'hydrogène produite. Il est ainsi possible de définir des architectures performantes et de prévoir des points de fonctionnement optimaux.

Optimiser les traitements par hadronthérapie

La puissance de calcul du CCRT a permis à des chercheurs du SHFJ et du CNRS de simuler un traitement par hadronthérapie aux ions de carbone 12 sur deux modèles de cancer (poumon et cerveau). Le contrôle en ligne du dépôt de la dose réalisé par tomographie à émission de positons a également été étudié. Cela devrait permettre de calculer la distribution spatiale et dosimétrique du traitement. Ces simulations, réalisées avec la plate-forme de calcul Gate, sont un premier pas vers une meilleure définition et optimisation des protocoles de traitements par hadronthérapie en association



Simulation d'une distribution de puissance dans un cœur de réacteur.

avec un contrôle thérapeutique efficace par imagerie TEP.

Architecture hybride pour la nanosimulation

Dans le but de simuler la croissance de matériaux ainsi que de la dynamique de molécules avec une description des systèmes au niveau électronique, les physiciens ont mis en œuvre un code de simulation *ab initio* développé au CEA et basé sur des fonctions mathématiques, les ondelettes, spécialement adaptées à la résolution sur supercalculateurs parallèles. La simulation de la croissance de nanofils de silicium ou de graphène est désormais réalisable sur un supercalculateur comme Titane (CCRT). Ces simulations permettront de mieux comprendre les mécanismes élémentaires de la croissance, l'influence de la température et de définir le bon régime expérimental de croissance.

Chaufferie nucléaire sous protection

Dans le cadre du projet Barracuda (futurs sous-marins nucléaires d'attaque), les moyens de calcul du CCRT ont permis de valider le dimensionnement des protections radiologiques autour du compartiment chaufferie nucléaire. Le niveau d'atténuation attendu du flux de neutrons supérieur à 14 décades nécessitait d'avoir recours au calcul intensif pour effectuer le premier calcul direct de ce type en utilisant les méthodes de Monte-Carlo. Outre la performance technique incontestable des travaux réalisés, c'est la première application du calcul intensif réalisée par le CCRT au profit de la Direction de la propulsion nucléaire.

Définir un plan de chargement

Un agencement d'assemblages combustibles dans un cœur de réacteur nucléaire définit un plan de chargement. Face au nombre important de configurations à traiter, le CEA a réalisé un outil d'optimisation indépendant du type de cœur et de combustible. Basé sur le logiciel d'optimisation par algorithme génétique Uranie/Vizir et sur le code neutronique Apollo3, il permet au concepteur d'améliorer la sûreté des réacteurs. Il est désormais possible avec le calcul haute performance de calculer des plans de chargement complexes dans un délai court. Moins de 24 heures de calcul et 4 000 processeurs ont permis de réaliser avec Titane plus de 10 millions de calculs 3D qui ont fait ressortir des stratégies de gestion pertinentes.

MAISON DE LA SIMULATION À SACLAY



En 2009, le CEA, le CNRS et l'Inria ont finalisé la définition de la Maison de la simulation, localisée sur le plateau de Saclay. Elle permettra aux chercheurs de disposer de compétences pluridisciplinaires afin de développer de nouveaux codes de simulation adaptés aux supercalculateurs massivement parallèles.



42 Bilan sur le contrat d'objectifs
2006-2009

43 Évaluation scientifique
du CEA

44 Valorisation des activités
de recherche au CEA

45 Enseignement et formation

46 Prix et distinctions

02

Le bilan scientifique



L'année 2009 a constitué la dernière année du contrat d'objectifs 2006-2009 signé entre l'État et le CEA (COB). Ce contrat d'objectifs, établi pour une période de quatre ans, fournit une description détaillée des missions, priorités, programmes et des projections financières associées. Il marque l'engagement du CEA à réaliser les projets qui lui sont confiés dans les conditions (coûts et délais) prévues d'un commun accord avec les tutelles.

Bilan sur le contrat d'objectifs 2006-2009

Un premier bilan des activités du CEA durant ces quatre années permet de mesurer la performance du CEA vis-à-vis des objectifs établis dans le contrat.

Le COB avait défini, pour le suivi de l'activité de l'organisme en recherche finalisée, 63 jalons scientifiques et techniques répartis sur la durée du contrat. Leur suivi montre que plus de 90 % d'entre eux ont été atteints.

Le COB prévoyait le suivi des performances de l'organisme au travers d'un ensemble de 33 indicateurs recouvrant les différents aspects de son fonctionnement. L'évolution des critères retenus au niveau de ces indicateurs a bien suivi, au fur et à mesure des quatre années, la tendance fixée à l'origine. On peut ainsi apprécier :

- la croissance du nombre annuel de publications et de leur impact, ainsi que du nombre annuel de copublications internationales;
 - l'augmentation du nombre de dépôts de brevets;
 - la croissance du nombre annuel de nouveaux doctorants, ainsi que du taux d'insertion professionnelle des docteurs. La part du budget consacrée à la formation est conforme à l'objectif fixé;
 - dans le domaine de la sécurité, la diminution des taux de fréquence des accidents de travail avec arrêt, que ce soit pour les salariés CEA ou les salariés d'entreprises extérieures.
- Ce premier bilan du contrat d'objectifs 2006-2009 entre l'État et le CEA par rapport aux objectifs fixés à sa signature apparaît donc comme très positif.

Par ailleurs, cette période a été marquée par plusieurs événements clés dans le paysage de la recherche et de l'innovation française et européenne :

- au niveau européen, le « paquet énergie climat », adopté par le Conseil européen du 12 décembre 2008, a mis en place un ensemble de mesures en vue de la réalisation de « l'objectif des 20-20-20 » à l'horizon 2020 – réduction des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 20 % par rapport à 1990, augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables à concurrence de 20 % de la production totale d'énergie, réduction de la consommation d'énergie de 20 % par rapport au niveau initialement prévu pour 2020;



Service de chimie bio-organique et de marquage à Saclay.

- la première loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (loi Grenelle 1) a été promulguée le 3 août 2009. Cette loi implique une orientation de l'effort national de recherche vers plusieurs domaines pour lesquels le CEA est un acteur incontournable, notamment les énergies renouvelables, le stockage de l'énergie, les piles à combustibles, les biocarburants de 2^e et 3^e générations, l'efficacité énergétique, l'observation et la compréhension des changements climatiques et l'adaptation à ces changements, l'écotoxicologie... Ces orientations viennent donc renforcer les missions menées par le CEA dans le domaine de l'énergie et de l'environnement;

- en 2008, un large processus de concertation a été lancé par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, afin de définir une stratégie nationale de recherche et d'innovation, à l'élaboration de laquelle le CEA a contribué. Le rapport, rédigé en 2009 par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, a identifié trois axes de recherche prioritaires :

- la santé et les biotechnologies;
- l'urgence environnementale et les écotechnologies;
- l'information, la communication et les nanotechnologies.

Les recommandations ont également mis en exergue le rôle des alliances interorganismes⁽¹⁾ Aviesan, Ancre, Allistene, créées en 2009, et Allenvi créée en 2010. Ces alliances, dont le

CEA est membre fondateur, sont chargées de la coordination de la recherche publique dans leur domaine, notamment grâce à une réflexion programmatique commune. Cette stratégie nationale de recherche et d'innovation souligne par ailleurs le rôle des universités dans la fonction de recherche. Enfin, elle vise une logique de site renforcée, notamment grâce au soutien des projets Campus à Saclay, Toulouse, Grenoble, Aix-Marseille, etc. ;

- le gouvernement a précisé les grands objectifs du CEA au travers de la lettre de mission qu'il a adressée au nouvel administrateur général lors de sa nomination au début de 2009, soulignant cinq enjeux prioritaires, notamment dans les domaines du nucléaire civil et des nouvelles technologies de l'énergie;

- enfin, en février 2009, lors de son discours à Flamanville, le Président de la République a officiellement demandé au CEA d'être le grand opérateur de la recherche scientifique et technologique dans le champ des énergies décarbonées.

La stratégie du CEA, définie dans le cadre du contrat d'objectifs 2006-2009, a su évoluer pour prendre en compte et répondre à ces sollicitations venant renforcer ses missions.

À titre d'exemple, on peut illustrer l'effort fourni dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie par l'extension de l'Ines, ou la mise en place du partenariat avec Renault et Nissan pour le développement de batteries pour le véhicule électrique. Dans le domaine nucléaire, la création au sein du CEA de l'Agence France nucléaire internationale (Afini) a permis de répondre au souhait de la France de contribuer à la relance mondiale du nucléaire civil en assurant une gestion et un développement responsables, permettant l'accès au nucléaire civil dans des conditions exemplaires de sûreté et de lutte contre la prolifération nucléaire.

La négociation du futur contrat d'objectifs avec l'État pour la période 2010-2013 a été engagée avec les pouvoirs publics en 2009.

⁽¹⁾ Aviesan (Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé), Ancre (Alliance nationale pour la coordination de la recherche dans l'énergie), Allistene (Alliance dans le domaine des sciences et technologies du numérique), Allenvi (Alliance pour l'environnement : alimentation, eau, climat et territoires).

Le domaine de l'évaluation de la recherche française a été profondément modifié par la mise en place en 2007 de l'AERES (agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur).

Évaluation scientifique du CEA



La recherche fondamentale en chimie a été évaluée par le Visiting Committee.

Dans le cadre de sa section 1 qui procède progressivement à l'évaluation de tous les établissements publics de recherche, cette agence a effectué en 2009 l'évaluation de l'établissement CEA et a émis un avis globalement très positif.

Le CEA a poursuivi l'évaluation de sa politique scientifique selon son processus habituel, chaque année un grand thème étant examiné successivement par le Conseil scientifique du CEA puis par son Visiting Committee qui apporte un regard international complémentaire sur ses stratégies et ses orientations scientifiques. En 2009, les travaux du Visiting Committee ont porté sur la recherche fondamentale en chimie faisant suite à ceux du Conseil scientifique effectués fin 2008.

L'année 2009 correspondait à la dernière année du cycle 2006-2009 d'évaluations des unités de recherche par le dispositif CEA. Le calendrier des évaluations a été adapté pour conduire harmonieusement la transition avec la planification de l'AERES qui prendra en charge l'évaluation des unités propres de recherche du CEA à partir de 2010 sur une base quadriennale en phase avec les vagues de contractualisation des universités, les unités mixtes auxquelles le CEA est associé étant d'ores et déjà évaluées par l'AERES (cinq unités examinées en 2009).

À la Direction des sciences de la matière, les unités du centre de Saclay, qui n'avaient pas reçu d'évaluation au cours des trois dernières années, ont été examinées par l'AERES dans le cadre de la vague D. Il s'agit du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE), du Service photons atomes et molécules (Spam), du Laboratoire Francis Perrin (LFP), du Service de chimie moléculaire (SCM), du Laboratoire Claude Fréjacques (LCF) et du Laboratoire Pierre Sue (LPS), ces trois derniers laboratoires ayant fusionné en une seule unité mixte CEA-CNRS (SIS2M). Les rapports d'évaluations ont été globalement très positifs, le LSCE, le Spam et le LFP ayant été notamment jugés au meilleur niveau international.

La Direction de la recherche technologique a procédé à l'évaluation des derniers départements du cycle d'évaluation 2006-2009 du CEA. Les évaluations ont été organisées selon le format AERES en s'inscrivant dans la logique d'évaluation par institut retenue par le CEA. Les évaluations des Départements des nanotechnologies, plate-forme technologique silicium et intégration hétérogène silicium de l'institut Leti, du Département des technologies de l'hydrogène de l'institut Liten et du service systèmes et technologies pour la mesure de l'institut List ont ainsi permis de préciser les critères d'appréciation spécifiques à la

recherche technologique qui devront être pris en compte par l'AERES.

Le Conseil scientifique de la Direction de l'énergie nucléaire a poursuivi le programme de ses évaluations par grand thème et a finalisé l'examen de la thématique « modélisation multiéchelle, multiphysique et calcul parallèle ».

Le Conseil scientifique de la Direction des applications militaires a examiné la thématique « conception des chaînes laser ».

Les unités de la Direction des sciences du vivant, qui furent toutes évaluées en 2005, seront évaluées en 2010 par l'AERES dans le cadre de la vague A.



Accueil du Visiting Committee.

Une politique volontariste pour encourager les chercheurs à protéger leurs connaissances a été mise en place au CEA depuis plusieurs années. En 2006, le plan stratégique du CEA avait pour objectif d'atteindre un flux de 500 demandes de brevets d'ici à 2009. Avec 585 demandes de brevets déposées en 2009, l'objectif est atteint.

La valorisation des activités de recherche au CEA : un développement confirmé en 2009



Microafficheur à base de diodes électroluminescentes (1,7 million de points élémentaires).

La politique de valorisation des activités de recherche du CEA est basée sur le transfert de technologie qui se traduit en priorité par un mécanisme de contrats de collaboration dans lesquels la propriété intellectuelle du CEA est engagée.

Le nombre important d'accords de R&D avec des industriels montre à quel point le CEA est un organisme qui a bien intégré l'importance d'ancrer ses travaux de recherche au monde de l'entreprise. En 2009, c'est presque 500 nouveaux accords de collaborations qui ont été signés avec différents partenaires tant industriels qu'académiques.

À titre d'exemple, nous pouvons souligner l'engagement conclu entre l'alliance Renault-Nissan, le CEA et le FSI pour créer une

Nombre de brevets prioritaires déposés au CEA en 2009 : **585**

DRT : **457** DAM : **21**
DSV : **21** DEN : **52** DSM : **34**

*DRT : Direction de la recherche technologique.
DAM : Direction des applications militaires.
DSV : Direction des sciences du vivant.
DEN : Direction de l'énergie nucléaire.
DSM : Direction des sciences de la matière.*

joint-venture qui développera et produira des batteries pour véhicules électriques; le partenariat signé entre Intel, le CEA, Genci et l'UVSQ (université de Versailles Saint-Quentin) dans le cadre du projet Très Grand

CEA VALORISATION DEVIENT CEA INVESTISSEMENT

CEA Investissement est une SA au capital de 27 millions d'euros dont la mission principale est l'investissement en amorçage dans les jeunes entreprises à fort potentiel de croissance. Elle peut également aiguiller, orienter et conseiller, en étroite collaboration avec le CEA, les jeunes entrepreneurs. CEA Investissement finance et détient les parts fondateurs du CEA au capital des start-up. Elle a financé à ce jour plus de 30 entreprises.

CRÉATION D'AVENIUM



L'activité de conseil en stratégie et management de propriété industrielle de CEA Valorisation a été initiée en 2002. Depuis quelques années, la société collabore de façon croissante avec des entreprises industrielles et des structures de recherche académiques. La création d'Avenium a pour objectif de poursuivre ce développement stratégique dans les meilleures conditions pour devenir leader français dans son domaine d'expertise. Les équipes, les méthodologies, les outils et les contrats clients de CEA Valorisation ont été transférés intégralement à Avenium le 1^{er} mai 2009.

Centre de calcul ou les accords conclus avec Servier pour faire avancer, entre autres, les recherches sur la maladie d'Alzheimer.

Le CEA s'est également toujours beaucoup investi dans le soutien à la création d'entreprises (sensibilisation, maturation et incubation) en privilégiant les créations d'entreprises de haute technologie. En 2009, 19 entreprises ont été créées à partir du CEA, dont 11 entreprises innovantes basées sur des technologies ou des savoir-faire du CEA et trois dans le cadre d'un partenariat avec le CEA.

Soulignons que le processus « valorisation » au CEA est accompagné efficacement par le bureau « études marketing ». Ce dernier aide les laboratoires à mieux comprendre et cibler les marchés applicatifs pour optimiser leurs transferts de technologie : en 2009, il a ainsi conduit 35 études marketing.

Enfin, il est à noter que 75 expertises ont été réalisées dans le cadre de CEA Technologie Conseil, permettant notamment à des PME/PMI de pouvoir bénéficier des conseils et recommandations d'experts du CEA selon une formule souple et adaptée.

Acteur de premier plan dans le renouvellement des ressources humaines pour le nucléaire, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) contribue par ses programmes à transmettre les savoirs et savoir-faire du CEA.

Enseignement et formation

Des effectifs renforcés et de nouveaux programmes

La disponibilité de compétences humaines, en nombre et qualité, est un enjeu crucial pour l'industrie nucléaire comme pour le secteur de la santé. Dans son effort constant de réponse à ces besoins, l'INSTN accroît ses effectifs étudiants et met en œuvre de nouveaux programmes.

La formation d'ingénieur en génie atomique connaît un succès croissant. En 2009, elle compte 118 élèves, soit un doublement de l'effectif comparé à 2006. Il convient d'indiquer que la formation sera évaluée par la Commission des titres d'ingénieur en 2010.

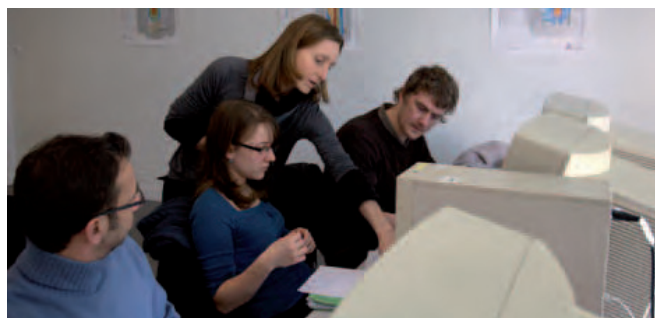
L'année 2009 a vu le démarrage du master « Nuclear Energy » avec 95 étudiants. La spécialité « Nuclear Engineering », lancée en 2008 avec l'université Paris-11, constitue dorénavant l'une des cinq spécialités de la 2^e année de ce master. En outre, deux spécialités sont en cours de cohabilitation, avec l'université Paris-7 en « ingénierie physique des énergies » et avec Paris-6 en « ingénierie pour le nucléaire ».

En partenariat avec l'Institut supérieur des techniques de la performance (ISTP) et l'École des mines de Saint-Etienne, l'INSTN a mis en place une formation d'ingénieur en « génie des installations nucléaires ». Ce cursus de trois ans sous statut salarié a accueilli, en septembre 2009, sa première promotion de 24 élèves. Cette démarche s'inscrit dans la volonté de l'INSTN de développer les programmes en apprentissage.

Dans le domaine de la santé, l'INSTN a participé à la refonte de l'arrêté relatif au diplôme de qualification en physique radiologique et médicale. Celle-ci visait, entre autres, à élargir le vivier de candidats afin d'augmenter les promotions. L'effectif 2009, formé de 77 étudiants recrutés par concours national, représente un accroissement de 40 % comparé à 2008.

Une implication en Europe et à l'international

L'INSTN joue un rôle majeur au plan européen, en particulier au travers de l'association ENEN dont il continue d'assurer la présidence. ENEN et l'INSTN sont par ailleurs engagés dans deux projets du 7^e PCRD Euratom. ENETRAP-II, dédié à la radioprotection, a démarré en mars 2009. Au sein de ce projet, ENEN et l'INSTN devront élaborer le référentiel de formation de l'expert en radio-



© S. Renard/CEA



© S. Renard/CEA

De h. en b. : formation d'ingénieur en génie atomique – travaux pratiques sur le réacteur Isis.

protection, établir un schéma de formation identique à travers l'Europe et développer des outils pédagogiques. ENEN-III, lancé en octobre 2009, est coordonné par l'association ENEN. Ce projet s'intéressera à quatre métiers spécifiques du nucléaire dont il s'agira de bâtir les référentiels de compétences et les parcours de formation appropriés.

Dans le cadre d'un accord de coopération sino-français signé en décembre 2009 par un consortium d'écoles porté par l'INP Grenoble, l'INSTN est partenaire de l'IFCEN. L'Institut franco-chinois de l'énergie nucléaire, qui ouvrira à l'université Sun Yat-Sen de Canton en 2010, formera 100 à 150 ingénieurs par an pour permettre à la Chine d'accélérer le développement de son programme électronucléaire.

Le partenariat avec la Société tunisienne de l'électricité et du gaz (STEG) s'est intensifié en 2009. Il s'inscrit à présent dans la durée avec l'accueil de dix élèves par an à la formation au génie atomique et la mise en place, à l'École nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), d'un enseignement optionnel dispensé par des experts du CEA.

Un bilan formation continue très positif

L'INSTN poursuit son effort d'accompagnement des industriels du nucléaire, en France et à l'international.

2009 a vu ainsi l'essor des formations nucléaires à l'international, réalisées dans le cadre du réseau ENEN ou pour des clients ciblés (université de Fukui au Japon, EDF et Électricité du Vietnam). Les chiffres sont en hausse de 26 %, tant pour le nombre de sessions que de participants.

Au total, 717 sessions ont été organisées, réunissant 8 600 participants, soit une hausse de fréquentation de 11 %. Près de 37 900 hommes x jours de formation ont ainsi été réalisés, dont 43 % en « recherche, ingénierie et exploitation nucléaires » et 50 % en « radioprotection, métrologie, technologies pour la santé et sécurité ». 39 % de l'activité a été consacrée au CEA, 29 % aux grands comptes (Areva, EDF, ASN, IRSN) et 32 % à des PME nucléaires.

Prix et distinctions

Distinctions nationales

La médaille Jean Rist 2009 a été décernée à **Nadège Caron** (DMAT/DAM) au titre d'encouragement des jeunes métallurgistes ou spécialistes de la science des matériaux qui se sont distingués par leurs travaux tant scientifiques qu'appliqués sur les matériaux.

François Daviaud (Institut rayonnement matière de Saclay - Iramis/DSM), grand prix du CEA de l'Académie des sciences. Le grand prix du CEA est attribué à François Daviaud (CEA) ainsi qu'à Stephan Fauve et Jean-François Pinton (ENS Ulm et Lyon) pour leurs travaux sur la génération spontanée et la dynamique d'un champ magnétique dans un volume fini de métal liquide en écoulement turbulent.

La médaille Charles Eichner 2009, du prix de la Société française de métallurgie et de matériaux (SF2M), a été décernée à **Patrick David** (Département des matériaux-DMAT/DAM) en reconnaissance « des mérites d'une personnalité dont les travaux ont eu des conséquences importantes dans le domaine des matériaux utilisés pour la production d'énergie ou dans le domaine des matériaux émergents ».

Christian Deleuze (DMAT/DAM) a été élu membre du bureau et du Conseil national de la Société française de métallurgie et des matériaux (SF2M).

L'équipe d'**Andrea Dessen** (IBS/DSV) a reçu le label « **Équipe FRM 2009** » de la Fondation pour la recherche médicale dans le cadre du programme Espoirs de la recherche pour ses travaux sur « le mécanisme de biosynthèse de la paroi cellulaire des bactéries, une cible pour le développement de nouveaux antibiotiques ».

Prix du Meilleur poster pour les travaux réalisés dans le cadre de la collaboration CEA/DAM-NNSA en Computer science, présentés conjointement par le **Département sciences de la simulation et de l'information** (DAM) et le Sandia National Laboratory (USA) à la conférence annuelle International Meshing Roundtable, rendez-vous des experts en algorithmes et applications informatiques dédiés aux maillages.

Les bancs de mesure de vélocimétrie hétérodyné, développés par **DCRE/DAM** et commercialisés sous licence par la société Idil, ont été récompensés par le prix Photon d'argent de l'innovation 2009 décerné par la revue *Photoniques* et la communauté photonique française.

Le grand prix de la Sfen a été décerné le 18 mai 2009 pour l'expérience Merci à trois représentants du **DRSN, DM2S et DTN**. L'expérience Merci (mesure de l'énergie résiduelle d'un combustible irradié) a été initiée dans le but de réduire les incertitudes liées aux données de base utilisées pour les calculs de puissance résiduelle et qualifier les codes de calcul Darwin/Pepin et Fakir. Merci est une première mondiale, très

innovante et très technique notamment par le fait que la mesure porte directement sur un tronçon de crayon UO₂ irradié tel que ceux utilisés en centrale, par la rapidité d'exécution de la mesure et par la conception et la mise en œuvre d'un dispositif calorimètre innovant, ayant fait l'objet d'un brevet, spécialement conçu et développé par le DTN.

Éric Forest, responsable du laboratoire de spectrométrie de masse des protéines (IBS/DSV), a été élu président de la Société française de spectrométrie de masse.

Le prix Rotblat 2009, qui récompense l'article le plus cité ces cinq dernières années, a été décerné à la collaboration **Gate** (Geant4 Application for Tomographic Emission) pour l'article publié en 2004 dans *Physics in Medicine & Biology* « Gate: a simulation toolkit for PET and SPECT » (S. Jan & al.). Gate est la partie du programme international de simulation Geant4, développé au Cern en Suisse, dédiée à la modélisation des examens par imagerie tomographique (TEP, SPECT, CT) et à la radiothérapie. Sébastien Jan (SHFJ, I2BM/DSV) en est le coordonnateur technique.

Vincent Haguet (IRTSV/DSV) s'est vu décerner le 20 avril 2009 le prix coup de cœur Gravit (Grenoble Alpes valorisation innovation technologies) dans le cadre du programme Focus Innovation pour son projet émergent d'innovation Vidéo-Cell. Cette récompense est destinée à développer un vidéomicroscope miniaturisé dont le but est de caractériser optiquement l'évolution de cultures cellulaires et d'en déduire des informations en temps réel sur les cellules, comme leur nombre, leur morphologie, leur motilité...

Jacques Joly lauréat du Cristal du CNRS Jacques Joly, du groupe Synchrotron de l'IBS (DSV), est lauréat du Cristal du CNRS pour l'année 2009. Le Cristal du CNRS récompense les ingénieurs, qui par leur créativité, leur maîtrise technique et leur esprit innovant contribuent aux côtés des chercheurs à l'avancée des savoirs et des découvertes scientifiques.

Thierry Lasserre (Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers-Irfu/DSM), responsable scientifique de la collaboration internationale Double Chooz, médaille de bronze du CNRS. Cette distinction est décernée tous les ans à une quarantaine de scientifiques. Elle récompense le premier travail d'un chercheur, qui fait de lui un spécialiste de talent dans son domaine.

Olivier Parcollet (Institut de physique théorique/DSM), prix Ernest Déchelle de l'Académie des sciences pour la mise en œuvre des méthodes de champ moyen dynamique non locales et leur application à la transition de Mott métal-isolant et de nombreux problèmes d'électrons fortement corrélés.

Christophe Pédron (DMAT/DAM) a été nommé au grade de chevalier dans l'ordre national du Mérite.

Anne Peyroche (Institut de biologie et de technologies/DSV), prix thématique de Biologie moléculaire Victor Noury-Thorlet-Henri Becquerel-Jules et Augusta Lazare pour ses travaux sur la bréfeldine A, une drogue qui bloque la voie sécrétoire des protéines, et pour ses recherches qui ont permis d'identifier plusieurs protéines « chaperons » qui guident l'assemblage du protéasome, responsable de la dégradation ciblée des protéines dans les cellules.

Jean-Baptiste Poline de NeuroSpin (I2BM/DSV) a été élu pour trois ans secrétaire général de l'Organization for the Human Brain Mapping, la plus importante société savante dédiée à la neuro-imagerie, organisatrice du congrès annuel HBM.

Cécile Reynaud (Iramis/DSM) et **Jean-René Regnard** (Inac/DSM), chevaliers de la Légion d'honneur

Cécile Reynaud et Jean-René Regnard ont été nommés au grade de chevalier dans l'ordre national de la Légion d'honneur, au titre du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Distinctions internationales

L'Europe accorde quatre Starting Grants aux chercheurs du CEA en 2009

Le CEA compte désormais dix équipes financées par le Conseil européen de la recherche (ERC). Ces financements attribués de manière très sélective sont destinés à aider les scientifiques à très haut potentiel à monter ou bien à encadrer de manière indépendante une équipe dans le cadre d'un programme très innovant. Cinq chercheurs dont le projet a été retenu par l'ERC en 2009 vont monter leur équipe au CEA :

– Iosif Bena (Institut de physique théorique-IPHT/DSM) compte appliquer la théorie des cordes à la physique des trous noirs ;

– avec son projet Dofoco, Sebastiaan Luyssaert (DSM), qui rejoint le CEA à l'occasion de l'attribution du financement ERC, veut comprendre et quantifier le rôle de la gestion des forêts dans la lutte contre le réchauffement climatique ;

– Emanuele Daddi (Irfu/DSM) s'intéresse à la formation et de l'évolution des galaxies les plus anciennes et les plus lointaines ;

– Fabien Quéré (Iramis/DSM) va étudier les lois de l'optique lorsque l'intensité de la lumière atteint des valeurs extrêmes ;

– Bernard Diény (Institut nanosciences et cryogénie-Inac/DSM) ambitionne de jeter les bases d'une technologie totalement innovante pour l'électronique, grâce au développement et à la

caractérisation de composants hybrides Cmos/magnétiques et de nouvelles architectures de circuits.

Six projets présentés par des chercheurs du CEA avaient déjà obtenu des financements de l'ERC en 2007 et 2008.

Créé dans le cadre du contrat Tera 100, le laboratoire commun Bull/CEA **Extreme Computing** a pour objectif de pérenniser la capacité de concevoir les architectures de machines de grandes puissances en Europe. Il a reçu en 2009 le prix de la Meilleure architecture de l'année, décerné par le magazine américain *HPCwire*, lors de Supercomputing 2009.

Perrine Batude (CEA, Leti, Minatec) a obtenu le 2009 Roger A. Haken Best Student Paper Award, prix du meilleur papier à la conférence IEDM 2009 (International Electron Device Meeting) pour la contribution « Advances in 3D CMOS Sequential Integration ». IEDM est la conférence la plus sélective du domaine microélectronique et électronique de puissance.

Philippe Belleville (DMAT/DAM) a été élu secrétaire du Board of Directors de l'International Sol-Gel Society (ISGS) lors de la 15^e conférence internationale sol-gel.

Dans le cadre la remise des prix du concours Science et technologie dans l'art européen lancé par l'Association des Supélec, **Dominique David** (institut Leti/CEA) de l'atelier Art-Sciences du CEA-Leti a reçu le 2^e prix pour son travail original sur « Dance, Music & the Electronic Gesture ».

Lors de son congrès annuel (Corrosion 2009) qui s'est tenu à Atlanta du 22 au 26 mars 2009, la Nace-International (National Association of Corrosion Engineers) a décerné à **Damien Féron** (DANS/DEN) son NACE Fellow Honor pour sa contribution à la maîtrise des phénomènes de corrosion dans les installations nucléaires. Cette distinction récompense une dizaine de personnes chaque année.

Céline Lucchesi (DMAT/DAM) a reçu le prix du Meilleur poster à l'European Polymer Congress 2009 en Autriche. Le poster présentait une nouvelle classe de matériaux supramoléculaires de structure Core-shell. Décerné par la Royal Society of Chemistry, ce prix récompense les travaux menés au DMAT en collaboration avec l'université de Tours dans le cadre du projet « cibles-laser ».

Thierry Massard, directeur scientifique de la DAM, a reçu en juillet le titre de World Fellow of the International Committee on Composite Materials. Il est le premier Français à recevoir cette distinction qui récompense des contributions exceptionnelles dans le domaine des matériaux composites.

Stephan Roche (DSM), prix Friedrich Wilhelm Bessel (2009) de la fondation von Humboldt pour ses travaux portant notamment sur la théorie du transport électronique dans les nanotubes de carbone.

Karine Wittman – Teneze et Nadège Caron (DMAT/DAM) ont obtenu le prix du Meilleur Article du *Journal of Thermal Spray Technology* pour leur article « Parameters Controlling Liquid Plasma Spraying: Solutions, Sols, or Suspend-

sions ». Cet article a été écrit par le laboratoire de projection thermique du Ripault dans le cadre du laboratoire de recherche commun créé avec l'équipe SPCTS de l'université de Limoges.

Jeunes chercheurs

L'université de Limoges, en association avec le conseil régional du Limousin et Oseo, organise chaque année le concours Jean-Claude Cas-saing, qui récompense les travaux scientifiques des docteurs de l'université de Limoges. **Anne-Cécile Bravo** (DMAT/DAM), qui a soutenu en décembre 2008 sa thèse sur l'élaboration de céramiques transparentes de Yb:Sc2O3, a reçu le prix de l'Innovation, qui prime l'originalité des travaux de thèse selon plusieurs critères : innovation, nouvelles applications techniques, nouveaux champs de recherche, création d'entreprise.

Maïté Hanot (Iramis/DSM), prix le Monde de la recherche universitaire 2009. Ce prix vient distinguer son travail de thèse portant sur l'effet de l'irradiation aux faibles doses : « Irradiation par microfaisceau de particules alpha : implication des espèces réactives de l'oxygène dans l'effet de voisinage ».

Le prix du Meilleur poster a été décerné à **Frédéric Rambaud** lors des journées de la section régionale Centre-Ouest de la Société française de chimie à Limoges. En première année de thèse au DMAT/DAM, ses travaux concernent le développement de matériaux hybrides organique/inorganique mésostructurés élaborés par voie sol-gel.

Nathalie Bouttes (doctorante au LSCE/DSM) a reçu la bourse de la fondation L'Oréal. Nathalie Bouttes fait partie des dix lauréates des bourses Pour les femmes et la science de la fondation L'Oréal. Sa thèse porte sur l'étude du carbone et l'analyse du lien avec le climat passé. Ces travaux fondamentaux visent à modéliser et comprendre le cycle du carbone sur les deux derniers millions d'années pour enrichir notre vision globale du système climatique et explorer ses futurs changements.

Experts

Jean-Paul Blaizot (IPhT/DSM), prix J. Hans D. Jensen. L'Institut de physique théorique de l'université Ruprecht-Karls d'Heidelberg a décerné à Jean-Paul Blaizot le prestigieux prix J. Hans D. Jensen, pour ses travaux sur la chromodynamique quantique à température finie, le plasma quarks-gluons et le groupe de renormalisation exact.

Élisabeth Bouchaud (Iramis/DSM), bénéficiaire d'une chaire annuelle et médaillée Lars Onsager de l'université norvégienne de science et technologie (NTNU-Trondheim).

Jean Jouzel (LSCE/DSM) a été nommé président du Haut conseil de la science et de la technologie. Cette institution, composée de 20 membres nommés pour quatre ans, est placée auprès du Président de la République. Elle a pour mission d'éclairer le gouvernement sur toutes les questions relatives aux grandes orientations de la France en matière de politique

de recherche scientifique, de transfert de technologie et d'innovation.

Thomas Zemb, (Institut de chimie séparative de Marcoule-ICSM/DEN), prix Humboldt-Gay Lussac pour ses travaux en chimie des colloïdes et en sonochimie et sa contribution au renforcement des liens de coopération scientifique entre l'Allemagne et la France.

L'Institut List devient membre du Trusted Computing Group.

Spécialiste dans le domaine de la sécurité des systèmes d'information faisant appel à la vérification formelle des systèmes logiciels sous critères de sécurité, le List s'est engagé dans deux projets européens (eConfidential et OpenTC) sur la vérification de systèmes « de confiance ». Son expertise a conduit la Direction centrale de la sécurité des systèmes d'information (dépendant du Cabinet du Premier ministre) à proposer au List de rejoindre le TCG comme expert invité. Outre l'élaboration des futures normes et la défense des intérêts de l'industrie européenne autour du calcul de confiance, ce statut offre au CEA l'opportunité de concevoir ses outils non seulement comme outils de qualification mais également comme outils de métrologie permettant de comparer le niveau de sécurité de plusieurs technologies.

Création d'entreprises

Cinq projets issus de recherches CEA sont au palmarès 2009 du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes, organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, dont :

- le projet d'entreprise Pegastech qui exploite la technologie Graffast développée au CEA pour proposer aux marchés du biomédical, de la métallisation des polymères et du traitement de l'eau des couches de polymères fonctionnelles (lubrifiantes, antibiotiques, primaire d'adhésion, dépolluante...) accrochées chimiquement aux matériaux à traiter;

- le projet Nanomakers vise la conception, la production et la commercialisation de nanopoudres permettant d'accroître fortement les performances des matériaux industriels tout en sécurisant intégralement la chaîne de production et d'approvisionnement. Les applications se trouvent principalement dans les secteurs du semi-conducteur, de l'aéronautique et de l'aérospatiale, du nucléaire, de l'automobile et du bâtiment;

- la société NatX-ray commercialise des systèmes robotisés permettant aux laboratoires de réaliser des expériences automatisées de cristallographie;

- le projet Arcure propose de créer un système industriel de réalité augmentée destiné notamment au support des opérations complexes de maintenance et de production;

- le projet SafiaA propose une gamme de services allant de l'étude de cas et la formation jusqu'à l'intégration dans le cycle de développement des logiciels, d'un procédé pour valider des programmes à forte composante numérique, en particulier en ce qui concerne la précision de calcul.



50 Pilotage du CEA

51 Ressources humaines

52 Relations internationales

53 Communication et
diffusion de l'information

54 Politique et management
de la sécurité et
de la sûreté nucléaire

56 Systèmes d'information

03

L'accompagnement des programmes



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. 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 dix 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. Par ailleurs, 2009 a vu le début des négociations du futur contrat d'objectifs pour la période 2010-2013.

Pilotage du CEA



Nanobio sur le centre CEA de 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 (photovoltaïque, stockage de l'énergie, applications pour les bâtiments et les transports et le développement des matériaux spécifiques adaptés), d'autre part les technologies pour l'information et les technologies pour la santé. Le troisième axe, Défense et sécurité globale, n'est pas intégré dans le document et fait l'objet d'une procédure distincte (cf. page 42).

Face à ces enjeux, l'action du CEA s'appuie notamment sur les divers instruments de pilotage et de coordination de la recherche mis en place ces dernières années par le gouvernement pour impulser une nouvelle dynamique au système français de recherche et d'innovation (ANR, Oseo, labellisation Carnot, pôles de compétitivité RTRA, RTRS...) et sur son intégration dans l'environnement européen (European Research Council, 7^e PCRD) et international. De plus, le CEA s'implique tout particulièrement (souvent en étant un des

membres fondateurs) dans la mise en place des alliances en charge de coordonner la recherche publique dans certains secteurs finalisés majeurs et de proposer au gouvernement la programmation nécessaire pour répondre aux grandes orientations de la stratégie nationale de recherche et d'innovation et atteindre les objectifs fixés par les pouvoirs publics : Ancre pour l'énergie, Aviesan pour les sciences du vivant, Allistene pour les sciences et technologies de l'information et de la communication et leurs impacts sur l'environnement, l'économie, le bien-être et la santé humaine, Allenvie pour l'eau l'alimentation, le climat et les territoires. Enfin, la mise en place de jalons et d'indicateurs de suivi et 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 la production d'hydrogène, la génomique, la recherche en imagerie médicale, les technologies de l'information et de la communication, ainsi qu'aux programmes transversaux.

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.

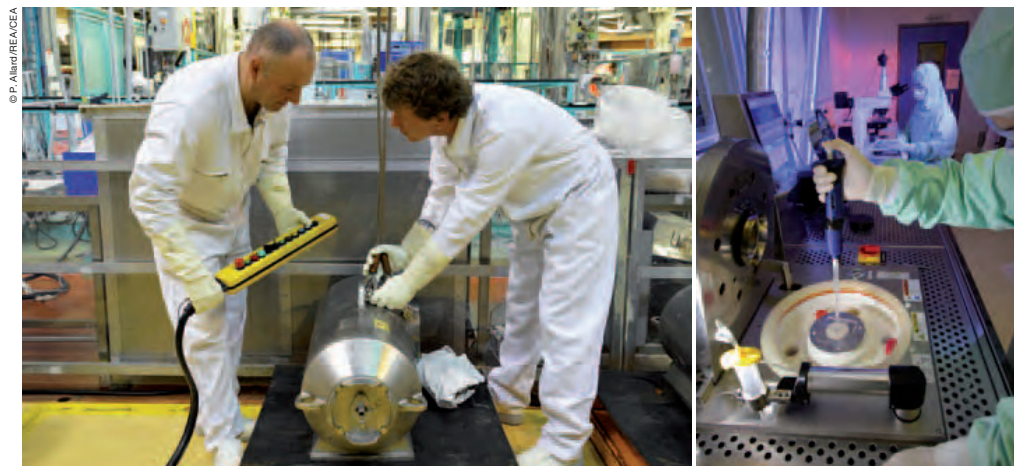
Parmi les outils de pilotage financier, le Comité d'investissement est présidé par l'administrateur général adjoint et réunit la Direction financière, la Direction des achats et des partenariats stratégiques et la Direction des programmes. Il permet d'examiner les grands investissements liés aux programmes de recherche, d'assainissement et de démantèlement ainsi que ceux liés aux opérations patrimoniales. Au cours de l'année 2009, différents dossiers ont été étudiés : le dossier consécutif au groupe permanent d'Atalante, le désentreposage des fûts Pegase, le démonstrateur de Bure Saudron, à Nano-Innov (centre d'excellence dans les nanotechnologies), à Digiteo Labs (parc scientifique et technologique) à Saclay et, à Grenoble, Nanobio (développement d'outils de nanotechnologies pour la biologie) et Clinatex (centre de recherche biomédical dont l'objectif est d'apporter les preuves de concept des dispositifs implantables chez l'homme).

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.

Au 31 décembre 2009, le CEA comptait 15 756 salariés permanents se répartissant entre 56,6 % de cadres et 43,4 % de non-cadres. Ils étaient 11 274 salariés dans le domaine civil et 4 482 à la Direction des applications militaires. Le taux d'emploi féminin s'élevait à 30,4 %. Par ailleurs, le CEA a accueilli 1 182 doctorants et postdoctorants, 424 apprentis ainsi que 1 324 stagiaires.

Ressources humaines

Création d'une filière « experts » et nouveaux dispositifs de fin de carrière



De g. à dr. : mise en condition d'un château de transport de radioélément artificiel à Osiris – dépôt de résine réalisé à la tournette sur un substrat verre.

Durant l'année 2009, 599 recrutements ont été réalisés, dont 35 % de femmes. 75 % ont concerné les métiers scientifiques et d'assistance technique aux programmes, 12,5 % les domaines de la sécurité-sûreté-qualité et 12,5 % les métiers de l'administration, de l'encadrement et de la coordination. Dans le même temps, 526 salariés ont quitté le CEA, dont 53 % de départs en retraite ou en cessation anticipée d'activité.

L'année 2009 a été marquée par la refonte du dispositif de connaissance et de reconnaissance de l'expertise, avec pour objectifs de disposer d'une cartographie complète de l'expertise et des experts au CEA. Ce dispositif participe à la gestion des emplois et des compétences du CEA, tant dans son approche collective – centrée sur les besoins de l'entreprise – que dans son approche individuelle – centrée sur le parcours professionnel de chaque salarié. 1 272 experts, 706 experts seniors, 234 directeurs de recherche ou experts internationaux ont été identifiés au cours de l'année 2009.

À la suite de la reconduction de la convention de travail (accord du 22 décembre 2008) pour cinq ans, trois accords impor-

tants concernant les fins de carrière ont été signés le 16 juillet 2009 et sont rentrés en application au 1^{er} janvier 2010. Conformément aux dispositions légales, le nouveau dispositif marque la fin des retraites à l'initiative du CEA et institue le principe du départ à la retraite à l'initiative du salarié. Le respect d'un délai de prévenance concernant la date choisie de fin d'activité permet aux salariés de majorer leurs indemnités de départ en retraite et facilite pour le CEA la visibilité sur les flux de départ.

Pour les salariés qui peuvent bénéficier des cessations anticipées d'activité, celles-ci débutent désormais à l'initiative du salarié et se terminent par un départ en retraite, également à son initiative, à 65 ans au plus tard. La durée d'indemnisation est fonction des droits validés, dans la limite de cinq années.

L'accord en faveur de l'emploi des seniors a mis en place des mesures spécifiques, en lien avec la gestion des emplois et des compétences, et a promu le régime légal de la retraite progressive qui autorise le cumul d'une demi-retraite et d'un emploi à mi-temps.

Concrétisant l'accord d'intéressement du 27 juin 2008, une première prime d'intéres-

sement a été versée aux salariés en 2009 au titre des bons résultats 2008 du CEA. En outre, un plan d'épargne retraite collectif (PERCo) a été mis en place au CEA (par voie d'accord).

En septembre 2009, un plan d'action en matière de prévention du stress au travail et des risques psychosociaux a été déployé : parmi les mesures principales, la création au niveau national d'un groupe de travail et de suivi – incluant des représentants du personnel – et le lancement d'un questionnaire « stress » renseigné par chaque salarié à l'occasion de sa visite médicale annuelle. Enfin, suite à la décision notifiée en juillet 2008 de transférer l'établissement du centre d'études de Gramat de la Délégation générale de l'armement (DGA) au CEA, l'année 2009 a été consacrée à préparer cette intégration. L'accord du 3 juillet 2009 définit les modalités de recrutement au CEA de l'ensemble des personnels concernés. Cette intégration est devenue effective au 1^{er} janvier 2010.

Le CEA assure, à travers sa Direction des relations internationales, 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. Il développe des collaborations dans les domaines du nucléaire et de la recherche fondamentale et technologique, grâce notamment au réseau des conseillers CEA en ambassade.

Relations internationales



Signature en novembre d'un accord CEA-Pologne sur la R&D nucléaire.

Affaires européennes...

Les partenaires institutionnels européens du CEA ont fortement évolué en 2009 avec l'installation d'un nouveau Parlement, d'une nouvelle Commission et la mise en œuvre du traité de Lisbonne. La construction de l'Espace européen de la recherche a progressé avec la sélection des premières Communautés de l'innovation et de la connaissance de l'Institut européen de technologie dans lesquelles le CEA s'implique fortement (énergie, climat, technologies de l'information et de la communication). Le partenariat entre organismes technologiques dans le cadre de l'alliance européenne sur l'énergie a engagé résolument le CEA dans de nouveaux mécanismes de programmation conjointe, fermement soutenus par l'administrateur général lors de la conférence EARTO⁽¹⁾ en mai. Après la signature en février d'un accord intergouvernemental franco-italien sur le développement de l'énergie nucléaire, le CEA et l'ENEA⁽²⁾ ont réactualisé et renouvelé leur accord de coopération qui couvre les énergies bas carbone. Dans le contexte du lancement d'un programme de construction de centrales nucléaires en Pologne, le CEA a

signé deux accords de partenariats, l'un avec l'Académie des sciences et l'autre avec six instituts de R&D impliqués dans la préparation du programme, capitalisant ainsi sur une coopération de longue date avec les laboratoires polonais. En Bulgarie, c'est également avec l'Académie des sciences qu'un partenariat a été signé en juin. Deux premières actions concrètes ont été engagées, l'une concernant la coopération nucléaire, l'autre les sciences du climat et de l'environnement. En Roumanie le nouveau partenariat avec l'IFA, qui a un rôle de coordonnateur national dans les thématiques – énergie, sciences de la vie et de la matière –, signé en décembre, permet là aussi de renforcer une longue tradition de coopération.

... et internationales

Dans le cadre de l'année de la France au Brésil, en soutien au partenariat stratégique entre les deux pays, le CEA et son homologue la CNEN⁽³⁾ ont renforcé leur coopération nucléaire civile, en particulier dans les domaines des réacteurs de recherche, de la gestion des déchets, de l'acceptation

publique et de la formation. Par ailleurs, en 2009, le CEA a négocié un nouvel accord de coopération scientifique et technique, couvrant la plupart des activités civiles du CEA, avec Rosatom. Il s'agissait de tenir compte de la réorganisation du secteur nucléaire russe, afin de relancer nos liens avec ce pays. À noter aussi un renforcement de la coopération avec le CNRC⁽⁴⁾ canadien, notamment dans le domaine de l'imagerie médicale (avec NeuroSpin) et de la physique attoseconde, et avec la Chine. Enfin, l'Agence France nucléaire internationale (Afni), créée en 2008, répond à une demande croissante d'États désirant développer un programme nucléaire civil à court ou moyen terme. La mission de l'Afni est d'assister les pays dans la mise en place des infrastructures nécessaires. Les domaines de coopération couverts par les accords intergouvernementaux en cours concernent des études de faisabilité du développement de l'énergie électronucléaire, l'assistance à la qualification des sites, la formation des ressources humaines. Dans ce cadre, l'Afni et ses partenaires mettent des experts à la disposition des pays concernés, actuellement aux Émirats arabes unis, en Pologne et en Tunisie.

(1) EARTO : European Association of Research and Technology Organisation.

(2) ENEA : Agence italienne pour les nouvelles technologies, l'énergie et l'environnement.

(3) CNEN : Comissão Nacional de Energia Nuclear.

(4) CNRC : Conseil national de recherches Canada.



Visite de M. Lelli, ENEA, sur le centre de Cadarache.

La Direction de la communication du CEA a pour mission de faire connaître à l'externe et faire partager en interne les enjeux et les résultats des recherches menées au sein de l'organisme. La contribution du CEA aux sujets cruciaux qui interrogent notre société, énergies décarbonées, Défense et sécurité globale, technologies pour l'information et technologies pour la santé, s'est trouvée confirmée et élargie par l'annonce faite par le Président de la République de la nouvelle dénomination du CEA qui devient le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

Communication et diffusion de l'information



Dispositif de communication externe autour de l'année mondiale de l'astronomie 2009.

Année mondiale de l'astronomie, 2009 a été l'occasion d'une présence notable du CEA auprès d'un large public et au cœur de collaborations étroites avec le CNRS, le CNES, l'Association française d'astronomie (AFA), le Palais de la Découverte et la Cité des sciences : d'abord par la contribution du CEA au portail internet « la porte aux étoiles » de l'AFA, ensuite par l'exposition « Voyage au centre de la galaxie », projet mené par le CEA avec la contribution du CNES, hébergée au Palais de la Découverte, et la réalisation de sa version itinérante en trois exemplaires (notamment mis à disposition de nombreux établissements scolaires), mais aussi la publication d'un numéro double de *Clés CEA* spécial astrophysique et la participation à la réalisation de l'exposition « Les mystères de l'Univers » au Trocadéro qui a accueilli 50 000 visiteurs.

Dans le cadre de la promotion des métiers de la recherche, le CEA a produit un livret, *Imagine ton métier*, décliné en fiches dans la nouvelle rubrique « métiers » du site internet. Des séances de « Cafet' sciences junior » thématiques et certaines spéciales métiers (avec témoignages de chercheurs) ont été organisées au lycée Victor-Hugo et aux collèges Charlemagne à Paris et Chérioux à Vitry-sur-Seine.

Le partenariat avec l'Éducation nationale se poursuit notamment avec la participation du CEA dans les stages de formations initiale et continue des enseignants des premier et second degrés, dans les IUFM, avec les rectorats notamment de Versailles et de Créteil. *Les Défis du CEA* ont maintenu leur rythme mensuel de publication. Un numéro spécial sur l'astrophysique a été publié dans le cadre de l'année mondiale de l'astronomie, ainsi qu'un numéro spécial « nanos » en préparation du débat public. À l'international, le CEA publie *CEA News* quatre fois par an ; cette revue est diffusée principalement par le réseau des attachés nucléaires dans les ambassades.

Le site internet www.cea.fr a vu sa fréquentation atteindre 1 700 000 visiteurs en 2009 (+ 13 %). L'attractivité a été maintenue grâce à l'enrichissement des contenus et à la création de rubriques thématiques nouvelles (chaînes vidéo, les métiers de la recherche, astronomie, nanotechnologies). Le trafic est principalement généré par les contenus à destination du public « enseignants et jeunes », puisque à elle seule la rubrique « espace jeune » draine plus de 40 % du trafic, et dont les animations flash en sont le pilier avec plus de 400 000 visites et 2 000 000 téléchargements.

Concernant les actions presse/média : 71 communiqués de presse ont été publiés en 2009 générant plus de 180 articles dans les médias (PQN*, PQR** et internet) ; 14 opérations de presse (conférences ou voyages) ont été réalisées en 2009, intéressant une dizaine de journalistes en moyenne et ayant conduit à 120 retombées médias (stable par rapport à 2008).

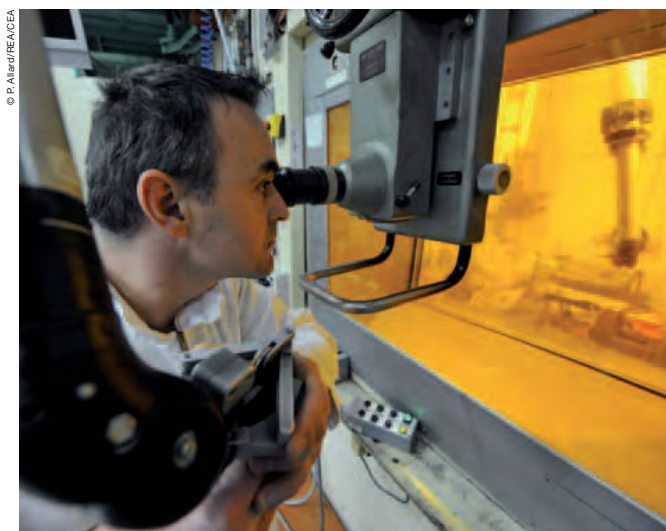
Dans le domaine de la communication interne, 110 communiqués ont été publiés pour informer les personnels du CEA de l'ensemble des faits importants concernant l'organisme, auxquels il faut ajouter les 63 unes intranet. Dans le cadre du débat national sur les nanotechnologies et de la participation de chercheurs du CEA aux réunions publiques, une rubrique dédiée ainsi qu'un blog « nanos » ont été mis en place pour toute la durée du débat sur l'intranet CEA. Dans un objectif de développement durable et de maîtrise des coûts, la revue interne *Talents* est devenue bimestrielle. L'augmentation du nombre de pages (de 24 à 28) et le couplage optimisé avec l'intranet devraient permettre de pérenniser l'attrait de *Talents* auquel les personnels du CEA sont très attachés.

* PQN : presse quotidienne nationale.

** PQR : presse quotidienne régionale.

Les activités de recherche et de développement liées aux programmes nucléaires civils ou de défense, mais aussi la recherche fondamentale et l'enseignement, du CEA s'exercent pour partie dans des installations nucléaires de base, des installations individuelles d'INBS ou des installations classées pour la protection de l'environnement. Ceux-ci sont variés : réacteurs et laboratoires de recherche, installations de support pour traitement de déchets et d'effluents...

Politique et management de la sécurité et de la sûreté nucléaire



© P. Allard/REAFCEA

Télemanipulation en cellule chaude de cibles destinées à la production de Mo99 – réacteur de recherche Osiris.

Les risques potentiels spécifiques aux installations nucléaires sont liés à la présence généralement limitée de matières radioactives. L'impact radiologique en cas d'accident serait faible, voire très faible, à l'extérieur de chaque centre concerné.

Le risque représenté par les produits radioactifs ou les faisceaux de rayonnement mis en jeu concerne donc essentiellement le personnel intervenant dans les installations. La maîtrise de la sûreté dans les installations relève de la responsabilité de l'exploitant nucléaire. Cette responsabilité s'exerce depuis la conception d'une installation jusqu'à l'achèvement de son démantèlement. La sûreté est une priorité inscrite dans les contrats successifs État-CEA. Sa maîtrise s'appuie sur un ensemble de dispositions, aussi bien organisationnelles que techniques. Ces dispositions sont cadrées par une politique de sûreté notifiée et développée à tous les niveaux.

Pour concrétiser cette politique, des standards et des objectifs de sûreté ont été fixés :

- le référentiel interne de sûreté du CEA;
 - les plans triennaux successifs d'amélioration de la sûreté et de la sécurité;
 - les ressources nécessaires pour y parvenir.
- Cette politique vise à assurer la cohérence des objectifs de sûreté avec les exigences réglementaires exprimées notamment dans l'arrêté « qualité » du 10 août 1984.

En 2009, le CEA a constitué un rapport détaillé sur « le management de la sûreté et de la radioprotection au CEA ». Ce rapport, en cours d'instruction par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), doit faire l'objet d'un examen par les groupes permanents d'experts de l'Autorité de sûreté nucléaire à la fin de l'année 2010.

Durant cette année, les chantiers de génie civil des installations nouvelles ont fait l'objet d'une

attention particulière : contrôle de second niveau renforcé, revues de projets et commissions d'experts pour vérifier la conformité aux exigences de sûreté.

Pour répondre à la mise en place de l'organisation en matière de facteurs humains et organisationnels, des moyens ont été alloués dans les centres.

En complément des indicateurs relatifs au suivi du plan triennal, le CEA a mis en place en 2009 des indicateurs plus spécifiques au management de la sûreté (suivi des effectifs liés à la sûreté, qualité des dossiers, respect des délais). Ces indicateurs sont suivis par les directions de centre, et le reporting global est opéré par le pôle Maîtrise des risques.

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.

Les objectifs du dernier plan triennal du CEA, pour la période 2009-2011, s'intègrent dans la stratégie nationale et européenne de santé au travail. Les principales actions sont axées sur la formation, la connaissance des risques, la détection d'écarts précurseurs d'accident et la participation des travailleurs à l'évaluation des risques professionnels.

En 2009, 123 accidents du travail avec arrêt sont survenus. Le taux de fréquence* s'élève à 4,1, légèrement supérieur à celui de 2008. Ces 123 accidents de travail ont entraîné 3 737 journées d'arrêt de travail (y compris les

À SAVOIR



Chaque année, le pôle Maîtrise des risques du CEA édite un bilan sur la maîtrise des risques. Il est consultable sur le site <http://www.cea.fr>



Exercice de crise à Cadarache.

jours d'arrêt de travail des années antérieures). Le taux de gravité* qui en résulte est de 0,12, stable depuis 2007.

En ce qui concerne les accidents du travail survenus à des travailleurs d'entreprises extérieures intervenant dans les installations du CEA, le taux de fréquence, qui a connu une légère augmentation en 2008 alors qu'il diminuait de manière constante depuis 2005, est de 10,1, de nouveau en baisse en 2009. Le taux de gravité reste globalement stable.

Des actions notables ont été menées en 2009 :

- la poursuite de la formation de l'ensemble des chefs de laboratoire;
- la publication d'un mémento à l'attention des intervenants en zones d'atmosphère explosive en support à leur formation, une campagne de communication pour le nouvel étiquetage des produits chimiques, des campagnes de sécurité.

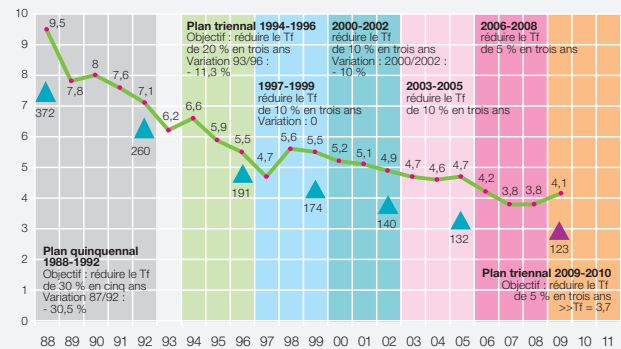
* La Caisse nationale d'assurance maladie a défini deux indicateurs nationaux :

- le taux de fréquence correspond au nombre d'accidents du travail avec arrêt par million d'heures travaillées;
- le taux de gravité correspond au nombre de jours d'arrêt par milliers d'heures travaillées.



Mise en service du dosimètre avant d'entrer en zone contrôlée.

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



Récentes évolutions de la dosimétrie individuelle

Début 2009, de nouveaux dosimètres qui utilisent le principe de la radiophotoluminescence (RPL) remplacent les films photographiques. Ils offrent l'avantage d'une meilleure sensibilité (0,05 mSv au lieu de 0,2 mSv pour les films photographiques) et d'une meilleure réponse aux rayonnements gamma de faibles énergies.

Dosimétrie du personnel CEA

En 2009, 7 142 salariés du CEA ont fait l'objet d'une surveillance dosimétrique. Parmi eux, 87 % n'ont pas reçu de dose.

Le bilan des expositions professionnelles sur l'ensemble des sites CEA affiche des niveaux d'exposition externe faibles.

Ainsi, en 2009, la dose moyenne pour les salariés CEA qui ont été effectivement exposés

est égale à 0,31 mSv (contre 0,67 en 2008). Cette variation de la dose moyenne s'explique par l'augmentation de 50 % du nombre de salariés effectivement exposés alors que la dose totale reçue par tous les salariés reste relativement constante. La dose maximale reçue par un salarié du CEA est égale à 4,9 mSv.

Surveillance de l'environnement

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

Chaque centre met en place une surveillance de l'environnement détaillée et adaptée aux activités exercées et aux caractéristiques locales. Elle répond à des objectifs communs que sont le contrôle du faible niveau de radioactivité ajoutée, la connaissance de l'état environnemental et le rôle d'alerte en cas d'élévation anormale. L'organisation mise en place permet de détecter de très faibles niveaux de radioactivité artificielle dans l'environnement.

De l'expertise à l'information

En 2009, les laboratoires du CEA, accrédités Cofrac depuis de nombreuses années et dont l'expertise est reconnue auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire, ont analysé 23 000 échantillons prélevés dans l'environnement. Ces résultats de mesures sont diffusés en toute transparence en interne comme à l'externe. Acteur majeur du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement depuis sa mise en place, le CEA lui a transmis 32 000 résultats en 2009.

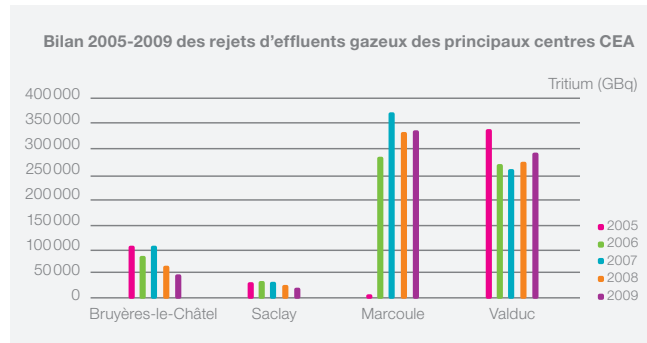
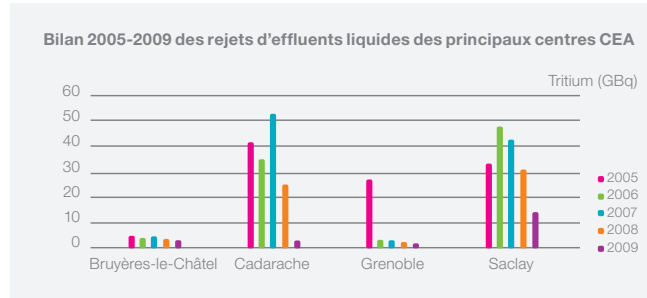


© C. Dupont/CEA
Surveillance environnementale, préparation d'échantillons en vue d'une analyse radiologique.

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. 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-dessus correspondent à l'exploitation des INBS (Installations nucléaires de base secrète) du centre (41 000 GBq de tritium en 2009).



Systemes d'information

La réalisation des priorités nationales définies dans le schéma directeur des systèmes d'information a permis de conforter le système d'information selon cinq axes stratégiques :

- conforter la gouvernance du CEA dans ce domaine;
- augmenter la prise en compte des besoins des programmes de recherche et des installations;
- optimiser en simplifiant, industrialisant et diminuant le coût de possession;
- maintenir le niveau de sécurité des systèmes en s'adaptant à l'évolution de l'activité;
- les maintenir en condition opérationnelle.

Des études et projets conformes aux prévisions

Les évolutions du système d'information ont été conduites selon trois axes :

- l'évolution des infrastructures, nécessaire du fait de l'obsolescence des matériels et des technologies, de l'augmentation des

besoins en termes de stockage, de débit et de partage;

- l'optimisation, dans le but de simplifier le système d'information afin d'en améliorer la création de valeur et d'en réduire le coût d'exploitation;
- les évolutions applicatives qui répondent à la nécessité d'apporter de nouvelles fonctions du fait de l'évolution de la réglementation, de l'émergence de nouvelles activités et de nouveaux besoins.

27 nouveaux projets ont été autorisés en 2009. Pour les projets réalisés, les objectifs fixés par le CSI (performance, coût, délais) ont été respectés.

Le maintien en condition opérationnelle

Le fonctionnement des infrastructures et des machines installées dans des locaux sécurisés, des services applicatifs qu'elles hébergent et des points d'accès a été satisfaisant et n'a pas connu de difficultés majeures.

Archives : la pérennisation du capital de l'organisme

La poursuite du projet Arcadi doit permettre à l'ensemble des unités CEA de disposer, via un accès intranet, d'un modèle de gestion de leurs archives.



© L. Godard/CEA
Poste de travail.

04

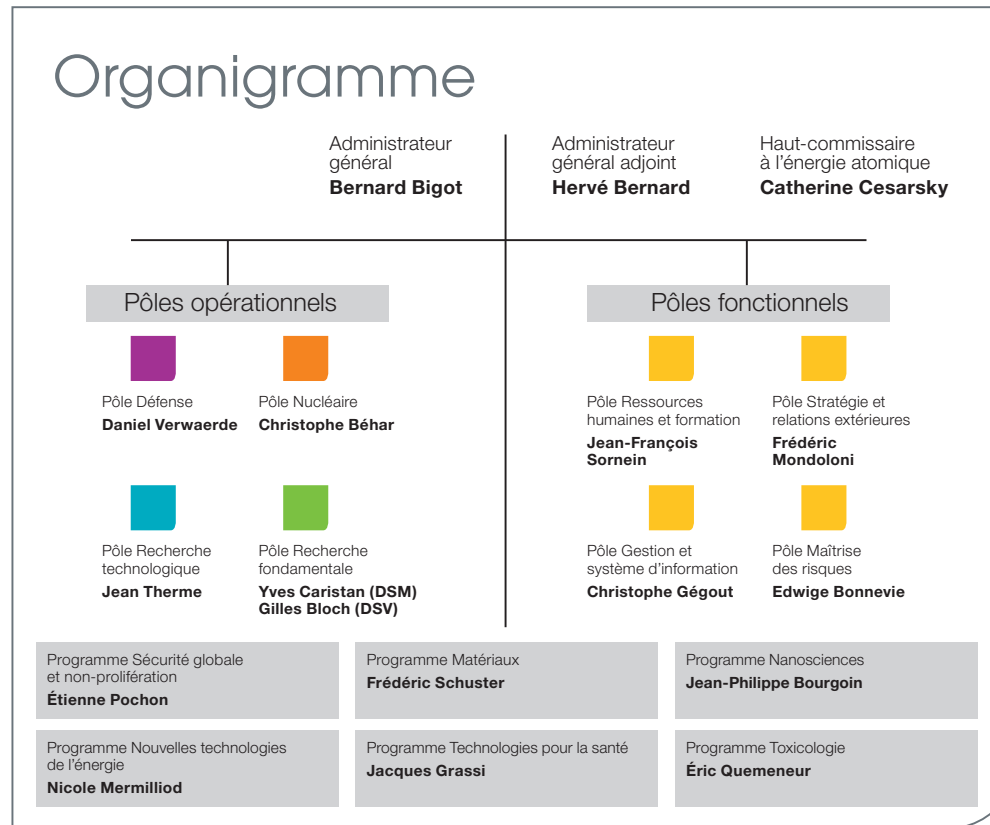
Les structures

- 58** Organigramme
- 58** Gouvernance d'entreprise
- 59** Conseil d'administration
- 60** Comité d'audit
- 61** Comité de suivi de la couverture des charges d'assainissement et de démantèlement des installations civiles et de défense
- 62** Comité de l'énergie atomique
- 63** Conseil scientifique
- 63** Visiting Committee
- 63** Mission du service de contrôle général économique et financier

Organisation du CEA

Gouvernance d'entreprise

(au 31 décembre 2009)



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 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

La charte des administrateurs, mise en place par le conseil d'administration, le 21 juillet 2004, a été adoptée par le conseil renouvelé, à l'occasion de la première séance de son nouveau mandat, le 29 juillet 2009.

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.

Le 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'arrêté 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 2009

Au cours des sept séances intervenues durant l'année 2009, le conseil d'administration a notamment adopté, par voie de délibération, plusieurs décisions et orientations importantes :

- filialisation d'une des activités de la société CEA Valorisation, devenue CEA Investissement;
- création de la Direction de programme transversal Toxicologie;
- avance accordée par la SC Genci dans le cadre du TGCC (Très Grand Centre de calcul);
- évolution de l'organisation de la Direction de l'énergie nucléaire;
- transfert du centre de Gramat (de la DGA) au CEA;
- prise à bail à construction de terrain sur la commune de Palaiseau dans le cadre du projet Nano-Innov;
- participation du CEA à la constitution d'une société par actions simplifiée dans le cadre du projet BioTfuel;
- prise de participation du CEA dans une société pour le développement d'une filière française de batteries pour les transports électrifiés;
- convention cadre de partenariat foncier pour l'aménagement de la presqu'île de Grenoble (projet Giant);
- renouvellement de la participation du CEA au Groupement d'intérêt public Cyceron;
- évolution de l'organisation des nouvelles technologies de l'énergie au CEA, de réa-

ménagement de l'organisation des instituts Liten et Leti (DRT);

- modification de l'organisation de la DAM;
- organisation du contrôle gouvernemental de la dissuasion nucléaire au sein du CEA;
- évolution de l'organisation de l'INSTN;
- 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 État-CEA 2006-2009;
- orientations sur l'évolution du parc immobilier du CEA;
- structures de recherche ayant la personnalité morale et auxquelles le CEA participe;
- bilan de la maîtrise des risques;
- projet de construction du pilote de Bure-Saudron;
- politique de coopération européenne du CEA;
- politique du CEA en matière d'énergies renouvelables.

>> 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 29 juillet 2009, date de la première séance du conseil d'administration renouvelé.

>> Représentants de l'État

- M. Bernard Bigot, administrateur général du CEA, président.
- M. Emmanuel Caquot, chef du Service des industries manufacturières et des activités postales - Direction générale des entreprises, puis M. Yves Robin, chef du Service industrie, Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services, ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi.
- M. Gilles Bloch, puis M. Ronan Stephan, 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, puis M. Rodolphe Gintz, 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, puis M. Christophe Fournier, chargé de mission dissuasion -

Direction des systèmes d'armes - Délégation générale pour l'armement - ministère de la Défense.

- M. Cyrille Vincent, puis M. Thomas Branche, 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 la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat.

>> Personnes nommées ès qualités

- Mme Catherine Cesarsky, haut-commissaire à l'énergie atomique.
- M. Paul Jacquet, administrateur général de l'Institut polytechnique de Grenoble, puis M. Hervé Le Treut, Institut Pierre-Simon Laplace.
- M. Albert Ollivier, conseiller auprès du secrétaire général - Caisse des dépôts et consignations, puis M. Gérard Arbola, directeur général délégué du groupe Areva.
- M. Claude Jablon, ex-directeur scientifique - Total, puis M. Guy Couarraze, Président de l'université de Paris-Sud-11.
- M. Laurent Stricker, puis M. Georges Servièrre, conseiller du président - activités nucléaires - EDF.

>> Représentants élus du personnel

- M. Guy Lumia, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Marcoule (parrainé par la CFDT).
- M. Jean-Charles Bellot, ingénieur à la Direction des programmes/traitement et conditionnement des déchets, puis M. Philippe Tanguy, chargé d'affaires déchets - Areva NC/la Hague (parrainé par la CFDT).
- Me Clarisse Bourdelle, ingénieur à la Direction des sciences de la matière - puis M. Daniel Bessolo, CEA/Cadarache (parrainé par la CGT).
- Mme Martine Dozol, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Cadarache (parrainée par la CGT-FO).
- M. Dominique Ghaleb, ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Marcoule (parrainé par la CGT).
- M. Bernard Verrey, ingénieur à la Direction des applications militaires - CEA/Valduc (parrainé par la 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.

ORGANISATION DU CEA

>> Secrétaire

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

>> Invités permanents

– M. Hervé Bernard, administrateur général adjoint.
– M. Jean-Claude Petit, directeur des programmes.
– M. Olivier Pagezy, puis M. Christophe Gégout, directeur du pôle Gestion et systèmes d'information et directeur financier du CEA.
– 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.

Le 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 d'objectifs 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 2009

Le Comité d'audit s'est réuni à six 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;
- projet de budget annuel et prévisions semestrielles;
- jalons et indicateurs du contrat d'objectifs 2006-2009;
- plan annuel d'audit 2009;
- cartographie des risques;
- rapport d'activité 2008 de la Commission consultative des marchés.

>> Ses membres

– M. Albert Ollivier, puis M. Henri Guillaume.
– M. Cyrille Vincent, puis M. Thomas Branche.
– M. Guillaume Gaubert, puis M. Rodolphe Gintz.
– M. Dominique Ghaleb.

– M. Guy Lumia.
– M. Gilles Bloch, puis M. Ronan Stephan.
– Mme Nathalie Moulet, secrétaire du conseil d'administration, et M. Christian Bozec, directeur délégué à l'audit.

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 2009

Les Comités de suivi des fonds dédiés civil et défense se sont réunis quatre fois en 2009. Ils ont notamment examiné les points suivants :

- analyse de l'exécution du budget 2009;
- rapport sur le contrôle interne;
- projet de budget 2010;
- 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, président;
– M. Philippe Jurgensen, président de l'Acam, puis M. Georges Servièrè;
– M. Guillaume Gaubert, puis M. Rodolphe Gintz;
– M. Cyrille Vincent, puis M. Thomas Branche;
– M. Rodolphe Chevalier, Agence des participations de l'État, jusqu'au 29 juillet 2009;
– M. Emmanuel Caquot, puis M. Yves Robin;
– Mme Martine Dozol.

Assistent aux réunions

– M. Jean-Marie Rossinot, Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA, avec voix consultative.
– Mme Nathalie Moulet, secrétaire du conseil d'administration.
Rapporteur : M. Christophe Gégout, directeur financier CEA.

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, puis M. Georges Servièrè;
– M. Guillaume Gaubert, puis M. Rodolphe Gintz;
– M. Emmanuel Caquot, jusqu'au 29 juillet 2009;
– M. Bruno Sainjon, puis M. Christophe Fournier;
– M. Cyrille Vincent, puis M. Thomas Branche;
– M. Bernard Verrey.

Assistent aux réunions

– M. Frédéric Bioche, puis M. Jean-Marie Rossinot, Mission du service du contrôle général économique et financier près le CEA, avec voix consultative.
– Mme Nathalie Moulet, secrétaire du conseil d'administration.
Rapporteur : M. Olivier Pagezy, puis M. Christophe Gégout, directeur financier du CEA.

Comité de l'énergie atomique

S'appartenant 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. Bernard Bigot, 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 (CNRS).

>> 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, puis Mme Catherine Cesarsky.
- M. Pierre Turq, professeur de chimie à l'université Paris-6.
- 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 aux séances du 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

– Catherine Cesarsky, haut-commissaire à l'énergie atomique.

Personnalités extérieures

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

Membres CEA

- Elisabeth Bouchaud, DSM/Iramis.
- Bernard Boullis, DEN/DISN.
- Hélène Burette, DRT/Liten.
- Franck Carré, DEN/DS.
- Denis Juraszek, DAM/DIF.
- Vanina Ruhlmann-Kleider, DSM/Irfu.

Représentants du personnel

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

Visiting Committee

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

- Pr David Andelman, Tel-Aviv University, Israël.
- Pr Giovanni Ciccotti, University of Rome, Italy.
- Pr Antoine Georges, Collège de France, Paris, France.
- Pr Serge Haroche, Collège de France, Paris, France.
- Pr Jacques Livage, Collège de France, Paris, France.
- Pr Helmuth Möhwal, Max Planck Insti-

tute of Colloids and Interfaces, Potsdam, Germany.

- Pr Krishnaswamy Ravi-Chandar, University of Texas, Austin, USA.
- Pr Marshall Stoneham, University College London, UK.
- Pr Sune Svanberg, Lund University, Sweden.

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.

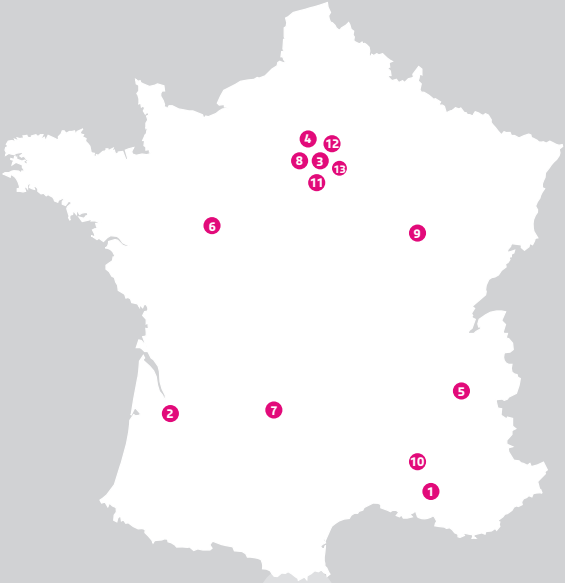
Composition :

- 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.

LES CENTRES CEA



- CEA Cadarache, pôle Nucléaire : Serge Durand, directeur.
- CEA Cesta, pôle Défense : Jean-Pierre Giannini, directeur.
- CEA DAM Île-de-France, pôle Défense : Pierre Bouchet, directeur.
- CEA Fontenay-aux-Roses, pôle Recherche fondamentale sciences du vivant : Mme Malgorzata Tkatchenko, directeur.
- CEA Gramat, pôle Défense : Didier Besnard, 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 Baudrillard, directeur.
- CEA Marcoule, pôle Nucléaire : Christian Bonnet, directeur.
- INSTN, Institut national des sciences et techniques nucléaires : Laurent Turpin, directeur.



1 CEA Cadarache
13108 Saint-Paul-lez-Durance
Tél. : 04 42 25 70 00

2 CEA Cesta
15, avenue des Sablières – BP 2
33114 Le Barp
Tél. : 05 57 04 40 00

3 CEA DAM Île-de-France
BP 12 – 91680 Bruyères-le-Châtel
Tél. : 01 69 26 40 00

4 CEA Fontenay-aux-Roses
18, route du Panorama – BP 6
92265 Fontenay-aux-Roses Cedex
Tél. : 01 46 54 70 80

5 CEA Grenoble
17, rue des Martyrs
38054 Grenoble Cedex 9
Tél. : 04 38 78 44 00

6 CEA Le Ripault
BP 16 – 37260 Monts
Tél. : 02 47 34 40 00

7 CEA Gramat
BP 80200
46500 Gramat

8 CEA Saclay
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 69 08 60 00

9 CEA Valduc
21120 Is-sur-Tille
Tél. : 03 80 23 40 00

10 CEA Marcoule
BP 171
30207 Bagnols-sur-Cèze Cedex
Tél. : 04 66 79 60 00

11 INSTN
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 69 08 60 00

12 Siège social
CEA Siège
Le Ponant D – 25, rue Leblanc
75015 Paris
Tél. : 01 64 50 20 59

13 Siège administratif
CEA Bâtiment siège
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 64 50 10 00



Commissariat à l'énergie atomique
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
www.cea.fr

