

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



Rapport annuel
2013

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS DE BERNARD BIGOT	2/3
AVANT-PROPOS D'YVES BRÉCHET	4/5
LE PLAN MOYEN LONG TERME	6/7



PARTIE 1 LES PROGRAMMES DU CEA	8/9
1 / A ÉNERGIES BAS CARBONE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES	10/27
1 / B DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE ET RECHERCHES DE BASE ASSOCIÉES	28/35
1 / C TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES	36/43
1 / D TECHNOLOGIES POUR LA SANTÉ ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES	44/51
1 / E TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES	52/55

PARTIE 2 L'OUVERTURE DU CEA	56
2 / A L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE	57
2 / B ENSEIGNEMENT ET FORMATION	58
2 / C LA RECHERCHE POUR SOUTENIR NOS ENTREPRISES	59
2 / D L'INVESTISSEMENT DANS LES JEUNES ENTREPRISES INNOVANTES	60
2 / E CEA TECH, PLATEFORME RÉGIONALE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE	61
2 / F PRIX ET DISTINCTIONS 2013	62/63

PARTIE 3 L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES	64
3 / A MAÎTRISER INTÉRÊT INDIVIDUEL ET COLLECTIF	65
3 / B RELATIONS INTERNATIONALES	66
3 / C COMMUNICATION ET DIFFUSION DE L'INFORMATION	67
3 / D MAÎTRISE DES RISQUES	68/70
3 / E SYSTÈMES D'INFORMATION	71

PARTIE 4 ORGANISATION DU CEA	72
SON STATUT JURIDIQUE	73
SA GOUVERNANCE D'ENTREPRISE	73
CONSEIL D'ADMINISTRATION	73/75
COMITÉ D'AUDIT	75
COMITÉS DE SUIVI DE LA COUVERTURE DES CHARGES D'ASSAINISSEMENT ET DE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS CIVILES ET DE DÉFENSE	76
COMITÉ DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE	76/77
CONSEIL SCIENTIFIQUE	77
VISING COMMITTEE	77
MISSION DU SERVICE DU CONTRÔLE GÉNÉRAL ÉCONOMIQUE ET FINANCIER PRÈS LE CEA	77

En couverture : Grande image : Ce vidéomicroscope confocal équipé d'un laser UV permet d'imager en 3 dimensions et au cours du temps des échantillons biologiques vivants - De haut en bas, Image infrarouge de la galaxie active M82 - Installation Biocarb LFHT - Télémnipulation au Laboratoire d'études des combustibles irradiés dédié à la caractérisation des matériaux irradiés - Remplissage d'un micro-ballon.

LE CEA CHIFFRES CLÉS 2013*

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), les technologies pour l'information, les technologies pour la santé, la défense et la sécurité globale. Pour chacun de ces quatre grands domaines, le CEA s'appuie sur une recherche fondamentale d'excellence et assure un rôle de dynamisation par l'innovation en lien avec l'industrie. Il coordonne et participe aux recherches menées dans les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR).

Le CEA est implanté sur 10 centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. À ce titre, le CEA est partie prenante des alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (Ancre), des sciences de la vie et de la santé (Aviesan), des sciences et technologies du numérique (Allistene) et des sciences de l'environnement (Allenvi). Le CEA a rejoint l'Alliance thématique nationale des sciences humaines et sociales (Athena). Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'Espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international.

CEA implanté dans **9 régions** en France :

10 centres - 4 PRTT

15 838 emplois à temps plein (ETP)

4,3 milliards d'euros de budget civil et défense

4 735 publications en 2012
dans des revues à comité de lecture

1 556 doctorants et **293** postdoctorants CEA

Plus de **760** projets européens obtenus avec la participation de CEA dans le cadre du FP7 depuis 2007

754 dépôts de brevets prioritaires en 2013
(INPI - 3^e déposant national en 2013)

5 200 familles de brevets actives

169 start-up technologiques
depuis 1972 dans le secteur des technologies innovantes

dont **106** depuis 2000

Plus de **500** partenaires industriels
dont 300 de plus de 50 k€/an

27 pôles de compétitivité, fondateur de 14 pôles,
administrateur de 18

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

54 unités de recherche sous cotutelle du CEA et de
partenaires académiques (43 UMR, 4 URA, 4 UMS, 2 EMR, 1 EA)

Participation du CEA dans **3** Idex, **27** Equipex et **33** Labex

*au 31/12/2013



AVANT-PROPOS



Bernard Bigot
Administrateur général

Grâce à la compétence et à l'engagement professionnel remarquables des femmes et des hommes qui travaillent au CEA, l'année 2013 a été particulièrement riche en réussites scientifiques et techniques.

L'élaboration, dans un contexte budgétaire très contraint, du Plan à moyen et long terme (PMLT) 2013-2022 du CEA a été menée à son terme avec le concours de tous afin d'identifier et de documenter des choix difficiles. Nous avons su, je crois, trouver le meilleur compromis possible intégrant une programmation ambitieuse, garantissant la tenue des grands objectifs scientifiques et techniques que nous avons proposés au service de notre pays, les moyens humains, matériels et financiers indispensables

à leur tenue, et des contraintes budgétaires fortes et sans doute durables. Ce PMLT constitue, une fois adopté, le cadre indispensable pour conduire avec succès l'action demandée au CEA, qui a été, à cette occasion, conforté dans ses missions par l'État. Au-delà du PMLT, les personnels du CEA ont été à l'honneur en 2013, au travers des nombreuses distinctions prestigieuses qu'ils ont reçues, et de la réussite de plusieurs projets et installations, fruit de leur travail collectif. À titre d'exemple, je citerai l'installation Atalante de la Direction de l'énergie nucléaire, qui, implantée à Marcoule, a été récompensée par le grand prix de l'American Nuclear Society pour « la qualité exceptionnelle de ses résultats en radiochimie et dans la gestion de l'aval du cycle électronucléaire ».

Je citerai également les deux seuls projets retenus par la Commission européenne, début 2013, parmi les trente-cinq projets déposés au titre du programme « FET Flagships » et sur lesquels travailleront activement des équipes du CEA avec de nombreux partenaires européens. Ils bénéficieront chacun globalement d'un milliard d'euros au cours des 10 prochaines années. Il s'agit :

- du projet « Graphène », ce fameux matériau bidimensionnel qui possède des propriétés originales qui révolutionneront sans doute de nombreuses industries, de l'électronique au médical. Le projet est mené par un consortium de 74 partenaires académiques et industriels issus de 17 pays européens ;
- et du projet « Human Brain Project », qui vise à réunir les observations et connaissances les plus fines, rendues accessibles par les progrès de l'instrumentation, sur le fonctionnement du cerveau humain, afin de l'étudier, pièce par pièce, grâce à des modèles et des simulations informatiques, et ainsi mieux comprendre et prévenir les maladies neurodégénératives.

En 2013, comme les années précédentes, le CEA a été honoré par un certain nombre de visites des plus hautes autorités de l'État : ainsi, le président de la République, M. François Hollande, s'est rendu à Bruyères-le-Châtel, au siège de la Direction des applications militaires, pour réaffirmer la confiance qu'il a dans les équipes du CEA/DAM pour atteindre les objectifs de notre politique de dissuasion nucléaire. Le ministre de la Défense, M. Jean-Yves Le Drian, a exprimé la même conviction lors de sa visite du laser Mégajoule, en décembre, au Cesta.

L'urgence de prévenir le risque de changement climatique, à laquelle ont conclu les récents rapports du GIEC, a fait de la transition énergétique un objectif prioritaire mondial, objectif auquel le gouvernement français a donné un élan particulier en 2013 en lançant un débat public. Le CEA a été mobilisé, comme tous nos partenaires de l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie, l'Ancre, en élaborant des scénarios de transition énergétique, respectueux du fameux facteur 4 de division des émissions des gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Ces scénarios, qui confirment l'urgence et l'intérêt pour notre pays de jouer pleinement de l'efficacité énergétique et de la complémentarité des énergies nucléaires et renouvelables pour réduire notre dépendance aux énergies fossiles, ont été transmis en temps utile au gouvernement et publiés à l'occasion de l'assemblée générale annuelle de l'alliance.

Dans le domaine nucléaire, le CEA apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation pour le développement d'un nucléaire durable, sûr et économiquement compétitif. Il conduit ses recherches selon trois axes majeurs : les systèmes nucléaires du futur, l'optimisation du nucléaire industriel actuel et les grands outils expérimentaux et de simulation indispensables

“ Grâce à la compétence et à l’engagement professionnel remarquables des femmes et des hommes qui travaillent au CEA, l’année 2013 a été particulièrement riche en réussites scientifiques et techniques. ”

à ces études. Expertise et innovation sont également mises au service de programmes de construction, de rénovation, d’assainissement et de démantèlement. Dans ce cadre, le CEA gère et fait évoluer son parc d’installations.

Le soutien du président de la République aux programmes de recherche du CEA a été réaffirmé lors du dernier Conseil de politique nucléaire, notamment pour ce qui concerne notre action à l’international et nos études sur le projet de démonstrateur industriel Astrid de réacteur à neutrons rapides de 4^e génération à caloporteur sodium.

Dans le domaine des nouvelles technologies de l’énergie, le CEA est désormais reconnu comme un acteur de référence. Ses travaux couvrent en priorité l’énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et son intégration dans l’habitat, le stockage de l’énergie avec notamment les batteries pour véhicules électriques comme pour des usages stationnaires, l’hydrogène, l’efficacité énergétique, les biocarburants de 2^e et 3^e génération...

L’État, les collectivités locales et l’Europe se sont engagés à nos côtés pour nous permettre de lancer la première étape du projet Syndièse, en construisant une plateforme de prétraitement de la biomasse en Meuse/Haute-Marne, en vue de produire à terme des biocarburants de 2^e génération à partir de rémanents forestiers. Le programme des investissements d’avenir a, quant à lui, marqué son soutien au projet INES 2, à Chambéry, pour développer des technologies solaires innovantes et compétitives sur les marchés mondiaux.

La recherche médicale menée au CEA puise ses forces dans un savoir-faire unique en France et des outils technologiques et méthodologiques originaux. Ils permettent d’analyser le vivant à plusieurs échelles, de la molécule à l’organisme

entier, en passant par la cellule et l’organe. Ce continuum de connaissances est essentiel pour mettre au point de nouvelles stratégies d’investigation et de traitement dans des domaines ambitieux comme les neurosciences, la cancérologie ou les maladies infectieuses.

La recherche fondamentale en sciences de la matière, en astrophysique ou dans les sciences du climat requiert l’accès à de très grands instruments scientifiques, qui sont conçus et exploités dans le cadre de collaborations nationales ou internationales. À la demande de l’État, le CEA représente la France, aux côtés de ses partenaires académiques, dans les instances de pilotage de ces Très grandes infrastructures de recherche comme l’ESRF, XFEL, le Ganil ou le CERN.

Pour ce qui concerne les technologies de l’information, en juillet dernier, à l’occasion de son déplacement à Crolles, le Premier ministre, M. Jean-Marc Ayrault, a annoncé la participation de l’État à hauteur de 600 millions d’euros au projet de développement de nanoélectronique, dit Nano 2017, dont le CEA est partenaire aux côtés de la société STMicroelectronics et d’autres entreprises locales. Cet ambitieux programme vise à réaliser, d’ici 2017, un nouveau saut technologique dans le domaine des processeurs embarqués, des capteurs d’images et des microcontrôleurs afin de demeurer une référence dans ce secteur très compétitif.

Contribuer aux efforts de réindustrialisation de la France est une des missions confiées par le gouvernement au CEA. Grâce à la mobilisation exemplaire des équipes de la Direction de la recherche technologique, porteuse de l’initiative CEA Tech, mais grâce aussi aux efforts de tous les ingénieurs, chercheurs et techniciens du CEA, qui savent allier les sciences fondamentales à l’innovation, les transferts technologiques vers les entreprises, qu’elles soient PME, ETI ou grands groupes, se sont encore considérablement développés cette année. C’est ce qu’a illustré en mars 2013 la journée « de la recherche à l’industrie » que le CEA a organisé à Paris.

Fort de sa position de 3^e déposant de brevets en France, d’après le classement 2013 de l’INPI, et de son expérience réussie dans la valorisation de la recherche, le CEA a contribué à l’émergence, au niveau européen, de la notion de technologies clés génériques, les fameuses « Key Enabling Technologies », visant à mieux orienter les soutiens financiers de la Communauté européenne vers l’économie, notamment dans le futur programme cadre de recherche de développement technologique : Horizon 2020.

Afin de démultiplier les efforts vers les jeunes entreprises innovantes, nous avons donné les moyens à notre filiale CEA Investissement de créer un nouveau fonds d’amorçage, doté de 38 millions d’euros, en partenariat avec CDC Entreprises/Banque publique d’investissement, et les entreprises Biomérieux, EDF et Safran.

Le CEA, en 2013, a amplifié son action en faveur des entreprises en implantant, dans de nouvelles régions, des Plateformes régionales de transfert technologique (PRTT) : nous sommes désormais installés à Nantes, Bordeaux et Toulouse, et, dans le cadre du Pacte Lorraine, nous ouvrirons une nouvelle plateforme à Metz en 2014. Ces antennes seront financées entièrement sur recettes externes, *via* des contrats industriels ou des subventions des collectivités locales. Leur but est de mettre les technologies génériques les plus diffusantes, que nous maîtrisons, à la disposition de nouvelles entreprises, et les premiers résultats fin 2013 font état de l’atteinte des objectifs fixés.

La lecture de ce document vous permettra, je l’espère, de vous convaincre de la place singulière et primordiale du CEA et de ses missions dans la France du XXI^e siècle, avec sa participation active à une recherche européenne d’excellence, aujourd’hui en profonde mutation.



AVANT-PROPOS



Yves Bréchet
Haut-Commissaire à l'énergie atomique

Le regard de Lord Kelvin

Dans une excellente œuvre de fiction¹, sous le titre intrigant des « *Arpenteurs du monde* », l'auteur imaginait un dialogue entre Alexander von Humboldt et Carl Friedrich Gauss, entre l'explorateur qui avait sillonné la planète, patiemment répertorié des échantillons et décrit des phénomènes, et le mathématicien qui, n'ayant jamais quitté l'observatoire de Göttingen, avait mesuré la Terre et l'espace sans les parcourir. Dans ce dialogue, il aurait pu introduire un troisième observateur, beaucoup plus jeune, qui faisait ses classes en Allemagne et découvrait les travaux de Joseph Fourier, William Thomson qui devait devenir Lord Kelvin, un ingénieur et physicien parmi les plus prestigieux de l'époque victorienne. Il me prend alors de rêver au regard que ces trois géants auraient porté sur le CEA tel qu'il apparaît dans ce rapport...

Humboldt aurait été fasciné par les progrès des sciences du climat, et si la biologie moléculaire lui était totalement inconnue, les avancées des neurosciences, allant au cœur de la conscience des enfants grâce à l'instrumentation mise en œuvre à NeuroSpin, lui auraient donné matière à penser. Les expériences sur la dynamique des cellules, utilisant des technologies avancées pour mieux comprendre le vivant, auraient séduit son esprit universel, explorateur de toutes les formes du vivant. L'héritier des Lumières se serait passionné pour les virus géants, les algues oléagineuses élevées pour fournir des biocarburants, ou la dépollution des sols grâce aux plantes.

Gauss, qui ne cessa de calculer que pour mourir, se serait émerveillé de la conjugaison du calcul scientifique intensif et de l'expérimentation, tant à la Direction des applications militaires pour la validation des armes, qu'à la Direction des sciences de la matière pour comprendre les

“ Il me prend alors de rêver au regard que Alexander von Humboldt, Carl Friedrich Gauss et Lord Kelvin auraient porté sur le CEA tel qu'il apparaît dans ce rapport... ”

instabilités magnétohydrodynamiques lors de l'explosion d'une supernova, ou à la Direction de l'énergie nucléaire pour garantir la stabilité des cœurs des réacteurs à neutrons rapides. Lui, qui triangulait la planète sans sortir de sa chambre, n'aurait sûrement pas été insensible aux progrès de la géolocalisation à distance... Passionné de magnétisme, il aurait été ravi des satellites de la mission Swarm pour l'étude des variations spatiales et temporelles du géomagnétisme.

Certainement Humboldt et Gauss auraient lu avec passion ce rapport. Mais peut-être aurais-je été le plus curieux de l'avis de Lord Kelvin : remarquable physicien, ingénieur hors pair et organisateur né². Au premier regard il aurait compris ce qui fait la spécificité du CEA, *id est* sa culture : se donner les outils en recherche fondamentale et en ingénierie pour remplir les missions qui lui ont été confiées. Le savant britannique aurait sans difficulté compris la nécessité de faire bon usage des deniers publics : une fois les missions assurées, valoriser les connaissances scientifiques et techniques dans un mécanisme de transfert vers l'industrie ou vers d'autres domaines de la recherche. Certainement Kelvin aurait été étonné par ITER et par la métamorphose de Tore Supra en WEST. Dans le laser Mégajoule récemment achevé, il aurait admiré la prouesse scientifique et technique, mais aussi la perspective étendue de multiples recherches. Les défis de l'électronique 3D, les liens étroits des recherches du CEA avec les vrais défis de l'ingénieur sur la réduction des tailles des circuits, l'auraient stimulé comme physicien et comme ingénieur. Et les Très grandes infrastructures de recherche, où le CEA joue un rôle majeur par sa culture de projet et d'instrumentation, lui auraient immanquablement rappelé la grande aventure scientifique et technologique du câble transatlantique.

Mais Kelvin, en bon calviniste de Glasgow, était homme de devoirs et de principes : devant la fascinante variété qui apparaît dans ce rapport, il aurait demandé ce qui en gouverne la logique interne. Il aurait naturellement cherché à faire la distinction entre ce que le CEA doit faire, ce qu'il peut faire, et ce qu'il peut ne pas faire. Esprit pragmatique, il aurait demandé « *pourquoi, comment, et avec qui ?* » les recherches sont menées, tout en restant vigilant sur les principes qui doivent sous-tendre toute la recherche du CEA : excellence, rigueur et lucidité. Alors, une autre lecture de ce rapport émergerait, complémentaire de celle de Gauss et de Humboldt, qui mettrait en lumière un établissement de recherche de très haut niveau, mais aussi chargé de missions.

Car en tout premier lieu, ces missions nécessitent que tous les moyens soient mis en œuvre pour les accomplir. Mission de dissuasion nucléaire : simple dans son énoncé, la science qui y est mobilisée en fait un des fleurons du CEA, car l'excellence n'y est pas négociable et l'économie des deniers publics essentielle. Mission sur les énergies décarbonées : le nucléaire civil est le cœur de métier du CEA, les énergies alternatives ont été ajoutées ensuite. Le CEA a le devoir d'assurer, sur des bases scientifiques solides, le nucléaire de demain et la sûreté des centrales vieillissantes : cela ne souffre pas de discussion. Cette mission doit être accomplie au meilleur niveau scientifique, avec rigueur et en étroite complémentarité avec les partenaires du secteur. Ce rapport en donne plusieurs exemples pour les centrales et leur combustible, des 2^e, 3^e et 4^e générations de réacteurs. Pour ce qui est des énergies alternatives, à l'exigence d'excellence et de rigueur doit être ajoutée celle de lucidité : les solutions qui découleront des recherches,

aussi bien pour la production d'énergie que pour son stockage, ou pour le transport des biens et des personnes, seront d'autant plus pertinentes qu'on aura résisté à la tentation de les survendre. Il en va de la confiance de nos concitoyens dans la science. Le temps des choix et des programmes raisonnés, en lieu et place des explorations tous azimuts, est proche : ce sera certainement une des missions essentielles du CEA futur. Sur injonction du gouvernement, les missions régaliennes du CEA peuvent évoluer, mais les principes de Kelvin, excellence, rigueur et lucidité, doivent pour le CEA rester constitutifs de sa façon de les accomplir. L'alliance entre la science fondamentale et l'ingénierie est une constante de son histoire, imposée par la nature même de ses missions ; la capacité à y répondre par la maîtrise de grands projets est sa culture même.

Un rapport d'activité est une vitrine sur l'extérieur, mais aussi une image que le CEA se donne pour lui-même. Vous qui lisez ce rapport, je vous invite à y porter ce fameux « regard de Lord Kelvin » particulièrement vigilant sur trois aspects essentiels pour la connaissance : explorer, calculer, construire. Mais j'ai aussi deux objectifs. D'une part, de l'extérieur, comprendre la cohérence de l'édifice. D'autre part, enjoindre les ingénieurs et les chercheurs du CEA à s'interroger sur leur raison d'y exercer, sur leur manière d'y travailler, et sur la spécificité profonde de l'établissement. Je voudrais que la lecture de ce rapport leur rappelle que sa richesse est certes dans sa variété, mais ne prend toute sa valeur que dans une vision claire de la logique d'ensemble.

¹ Daniel Kehlmann, *Les Arpenteurs du monde*, Acte Sud (2005).

² On doit ainsi à Lord Kelvin le premier câble transatlantique, de multiples théorèmes sur les instabilités en mécanique des fluides ou sur la thermodynamique.

LE PLAN MOYEN LONG TERME

Le Plan moyen long terme du CEA (PMLT - programmes civils) pour la période 2013-2022 a été approuvé par le Conseil d'administration le 12 février 2014.

Il a fait l'objet de nombreuses concertations avec les représentants élus du personnel au travers du Comité national, et d'une présentation le 9 décembre 2013 devant le Comité de l'énergie atomique, présidé par Mme la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche par délégation du Premier ministre, qui a validé les orientations stratégiques proposées par le CEA (programmes, évolution des installations, effectifs).

Ce PMLT a été élaboré en prenant en compte les orientations que l'État a fixées au CEA dans la lettre adressée à l'Administrateur général le 17 avril 2013 par les ministres du Redressement productif, de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et le ministre délégué auprès du ministre de l'Économie et des Finances, chargé du Budget.

Dans un contexte de contraintes budgétaires fortes, cette lettre a fixé au CEA les missions prioritaires suivantes :

- priorité à l'emploi scientifique ;
- priorité à l'investissement dans la recherche technologique dans un nombre limité de domaines, dans une logique de soutien à l'innovation industrielle, notamment le calcul intensif, la nanoélectronique, les nouvelles technologies pour l'énergie ;
- poursuite des missions dans le domaine nucléaire et consolidation d'une capacité de prospective et de R&D amont dans le nucléaire de fission ;
- préservation d'un socle de recherche fondamentale d'excellence.

Une revue du financement des grandes infrastructures de recherche et des moyens

lourds dédiés à la fission en identifiant celles qui doivent être pérennisées, optimisant leur coût de fonctionnement et leur mode de financement a été également demandée.

La construction du PMLT a été réalisée avec la mobilisation de toutes les unités opérationnelles du CEA. La Direction générale s'est appuyée, tout d'abord, sur trois groupes de travail mis en place dès la fin de l'année 2012 et chargés de proposer des pistes nouvelles permettant au CEA de s'adapter à un contexte budgétaire contraint :

- un premier groupe de travail a travaillé sur la stratégie et les programmes ;
- un second groupe sur les questions de ressources humaines, ainsi que les enjeux du dialogue social et de l'accompagnement du changement ;
- un troisième groupe sur les mesures d'optimisation des lignes fonctionnelles de soutien.

S'appuyant sur les propositions issues de cet exercice collectif, la programmation budgétaire et stratégique qui en a résulté a été élaborée tout au long de l'année 2013.

Le PMLT 2013-2022 se donne pour objectif, dans le cadre budgétaire contraint fixé par la lettre des ministres, de poursuivre et d'amplifier l'évolution amorcée il y a cinq ans, positionnant le CEA comme un organisme de recherche scientifique et technologique finalisée dans un nombre limité de domaines : défense et sécurité globale, énergie nucléaire et énergies renouvelables, technologies pour l'information, technologies pour la santé.

Le PMLT 2013-2022 vise l'accroissement de l'efficacité globale des activités du CEA par le choix d'un nombre limité de priorités et par une intégration accrue de ses différents atouts : recherche fondamentale d'excellence,

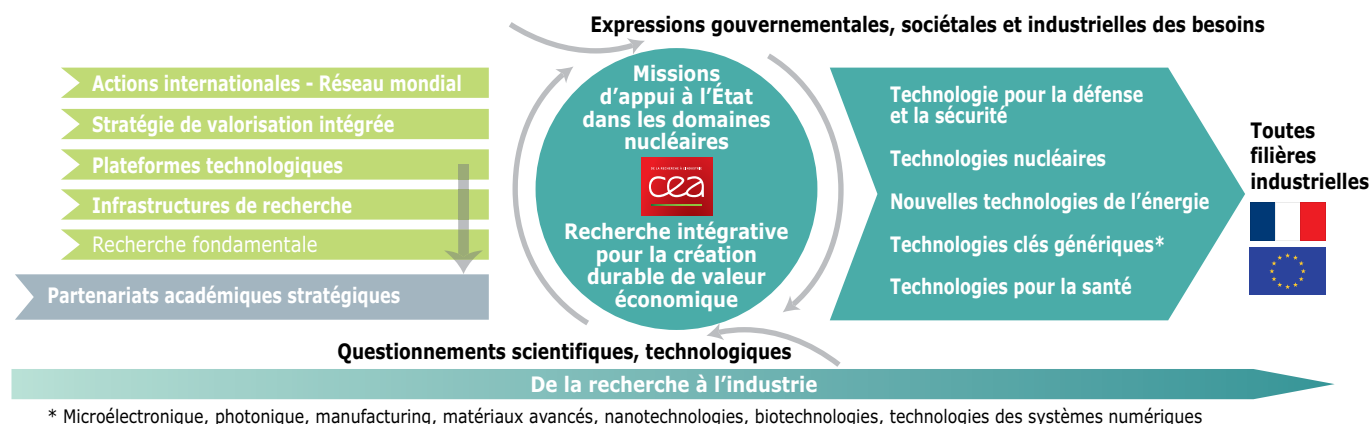
plateformes technologiques à la pointe du progrès, grandes infrastructures de recherche développées dans un cadre international, capacité de valorisation intégrative, attractivité à des fins de coopération internationale et de partenariat industriel.

La vision du CEA en 2022, telle qu'elle apparaît dans le schéma ci-dessus, réaffirme ses missions dans les domaines nucléaires, des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, notamment en soutien aux politiques publiques, et conforte sa mission de recherche technologique intégrative. Elle conforte également le rôle du CEA dans sa mission de maîtrise des technologies clés diffusantes (KETs) et marque une nouvelle étape dans son évolution vers le soutien au développement de l'innovation technologique dans les entreprises industrielles, y compris au sein des pôles de recherche fondamentale.

Le rôle essentiel de la recherche fondamentale au sein du CEA est également réaffirmé. La compréhension de la matière dans ses états les plus extrêmes, la compréhension des mécanismes en jeu dans le vivant, sont les clés de sa crédibilité au sein de la communauté scientifique internationale et constituent un socle de connaissances pour la recherche technologique conduite au CEA, indispensable au cycle de ressourcement de ses activités.

Cette vision intègre également la nécessaire dimension de réponse aux expressions de besoins qu'elles soient gouvernementales, sociétales ou industrielles et la capacité à tirer des questionnements, y compris les plus fondamentaux, des problématiques technologiques liées à des applications. La validation du Plan moyen long terme

Vision intégrée de l'organisme de recherche CEA en 2022.



2013-2022 par le Conseil d'administration et le Comité de l'énergie atomique consolide les choix stratégiques du CEA.

Dans le domaine de l'énergie nucléaire de fission

- l'expertise et l'innovation technologique par la R&D qui visent à garantir la capacité d'un apport durable de l'énergie nucléaire de fission à la politique énergétique nationale et internationale, avec en particulier les travaux d'avant-projet sommaire (APS) et d'avant-projet détaillé (APD) du projet de démonstrateur technologique de réacteur de 4^e génération Astrid ;
- le soutien, par la R&D, à la compétitivité de l'industrie nucléaire française, à sa capacité d'exportation ou de coopération internationale dans le respect des plus hautes exigences de sûreté ;
- le maintien d'une capacité de recherche amont en priorité dans les domaines des matériaux et de leur vieillissement sous irradiation et de la chimie séparative ;
- le développement et l'exploitation des grands outils expérimentaux, en particulier la fin de la construction et la mise en service du réacteur Jules Horowitz (RJH) ;
- l'assainissement et le démantèlement des installations nucléaires de base civiles du CEA et de l'usine UP1 à Marcoule, après leur mise à l'arrêt.

Dans le domaine de la recherche technologique

- le développement de la recherche technologique, en appui à l'industrie, notamment aux PME et ETI ;
- le développement de la capacité à combiner ces technologies clés génériques et à transférer les innovations, produits ou

procédés, dans les systèmes industriels, par une recherche intégrative nécessitant un rapprochement avec les partenaires industriels.

Les priorités programmes dans cette trajectoire sont directement issues des activités actuelles de développement et de combinaisons de technologies clés génériques. Elles conduisent à se projeter notamment dans des feuilles de route technologiques dans les domaines de la micro-nanoélectronique, des technologies des systèmes numériques, des nouvelles technologies de l'énergie.

- Le développement des Plateformes régionales de transfert technologique (PRTT) pour atteindre les objectifs que l'État a fixés au CEA.

Dans le domaine des sciences de la matière

- le développement de la recherche fondamentale en physique et chimie, en liaison étroite avec la recherche technologique sur les nouvelles technologies de l'énergie, les nanotechnologies et l'amont des technologies de l'information et de la santé ;
- la mise en place et le maintien de partenariats durables avec le monde académique et les organismes de recherche nationaux, européens et internationaux notamment sur les lasers ultrahaute intensité autour des Equipex CILEX et Attolab, autour des sciences du climat et de l'environnement (projet ICE), dans le domaine de la fusion avec la contribution au développement du projet ITER, la reconfiguration du tokamak Tore Supra dans le cadre du projet WEST, et la poursuite des développements de la simulation ;

- la participation à la conception, la réalisation et l'exploitation des Très grandes infrastructures de recherche (TGIR). En lien avec ces dernières, les développements scientifiques et technologiques en matière de cryotechnologie et d'accélérateurs de particules et le soutien à la compétitivité des filières industrielles « grands instruments ».

Dans le domaine des sciences du vivant

- les technologies pour la santé avec en particulier des innovations diagnostiques et thérapeutiques dont l'imagerie autour des plateformes MIRcen et NeuroSpin, avec en parallèle le développement des agents de contraste et méthodologies associées ;
- le développement des filières énergétiques du futur en étudiant les mécanismes fondamentaux de la bioénergie et en élaborant des biocarburants de 3^e génération ou des produits valorisables par ingénierie du vivant ou par des procédés bio-inspirés économes en énergie ;
- les impacts biologiques des technologies et des choix énergétiques ;
- le développement technologique en soutien à l'innovation et au transfert vers l'industrie.

Ce PMLT constitue un outil indispensable aux discussions qui viennent de débuter entre l'État et le CEA pour la construction du prochain Contrat d'objectifs et de performance (COP) qui couvrira la période 2015-2019.

LES PROGRAMMES DU CEA

1 / A

ÉNERGIES BAS CARBONE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES

> Énergie nucléaire de fission

Systèmes industriels nucléaires du futur - Optimisation du nucléaire industriel actuel - Grands outils pour le développement du nucléaire - Assainissement et démantèlement

> Nouvelles technologies de l'énergie

Énergie solaire - Piles à combustible et batteries - Efficacité énergétique - Des plantes et des algues pour les biocarburants

> Recherche fondamentale sur les énergies bas carbone

Énergie de fusion - Sciences du climat et de l'environnement - Concepts innovants pour les énergies bas carbone - Chimie et interactions rayonnement/matière - Toxicologie - Radiobiologie

P.10/27

1 / B

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE ET RECHERCHES DE BASE ASSOCIÉES

> Les têtes nucléaires

> Le programme Simulation

> Ouverture des moyens du programme Simulation

> Moyens de calcul

> La propulsion nucléaire

> Démantèlement et assainissement des installations de matières fissiles

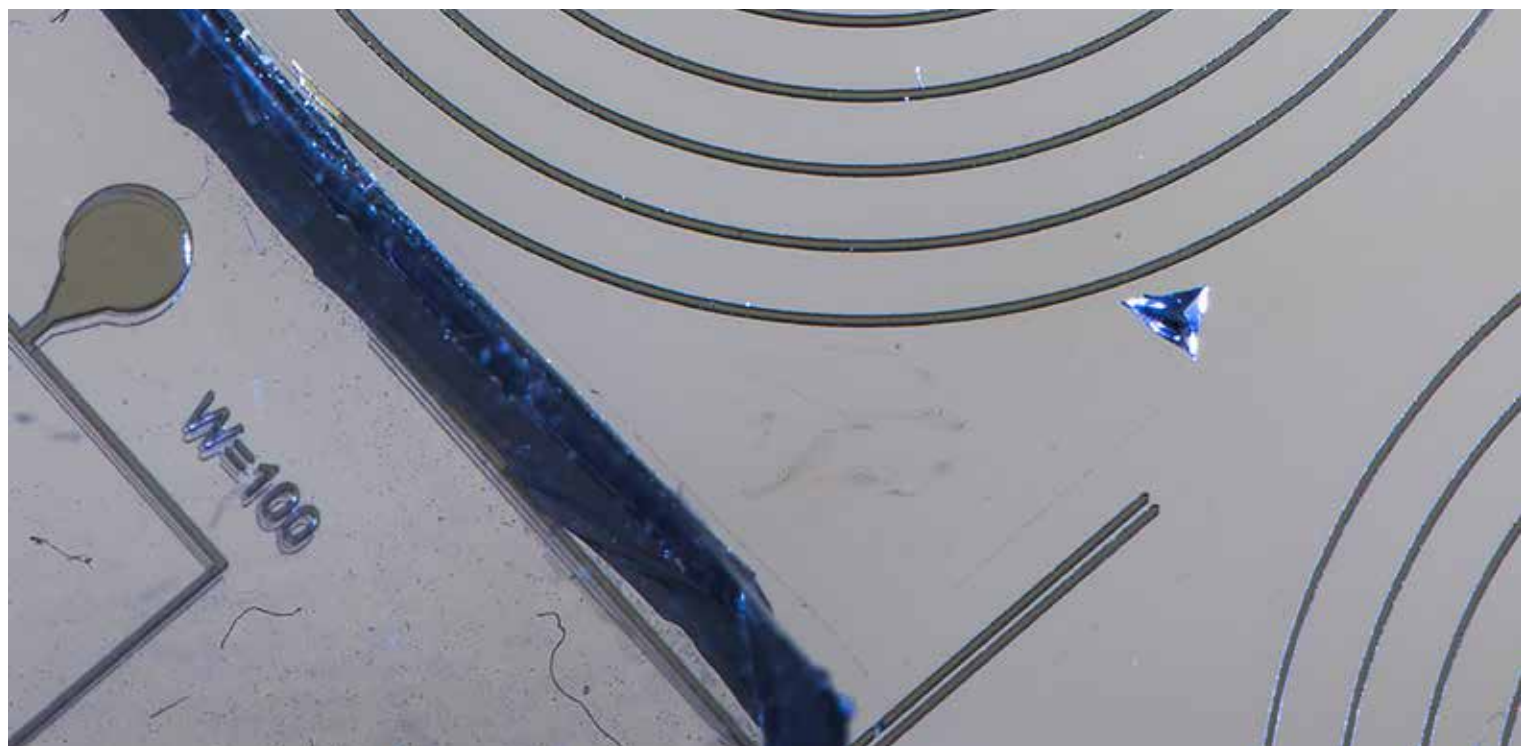
> Lutte contre la prolifération et le terrorisme, sécurité globale

> La défense conventionnelle

> Recherche de base

LIL : mesures de propagation de chocs radiatifs - Fission du mercure - Simulations 3D pour sources térahertz intenses - La température du noyau de la Terre réévaluée - Expertise de matériaux électrochromes par SIMS - Les ondes obliques au secours des satellites

P.28/35



1 / C

TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES

> Micro et nanotechnologies

Record du monde de géolocalisation à distance - Réduire les coûts de fabrication des circuits intégrés - Des connexions biologiques pour la microélectronique - Pour des antennes miniatures très directives - Un système radio agile pour accéder au spectre en bande UHF - Lancement réussi de la mission Swarm : et trois satellites d'un coup !

> Communication & objets nomades

Mieux utiliser ses équipements informatiques - Premier démonstrateur de calculs sur données cryptées - Transfert d'un outil *open source* vers Ericsson - Essaimage de la start-up TrustInsoft - Peau artificielle pour main anthropomorphe - Outil de simulation pour Simposium - Une solution complète pour le diagnostic des câbles - Le CEA-List coordonne l'exercice final de Booster

> Recherche fondamentale Nanosciences pour l'information

Les lévités - La trompette photonique - Les nanofils de nickel - Le flot de supercourant - Les mémoires ferroélectriques - Des composants « quantiques » - La métallisation des plastiques - Mémoires magnétiques - Supercondensateurs

P.36/43

1 / D

TECHNOLOGIES POUR LA SANTÉ ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES

> Les grands outils au service de la santé

La biologie structurale à l'échelle atomique - Dynamique des cellules - *Big data* pour l'imagerie et les omiques - De nouvelles méthodes pour la pharmacologie

> Neurosciences

Zoom sur le cerveau des enfants - Stimuler la production de neurones - Stopper la maladie de Huntington ? - Signature génétique de la maladie d'Alzheimer

> Cancérologie

Déjouer les ruses de la tumeur - Optimiser les traitements et contrer la résistance

> Maladies infectieuses

Comprendre le comportement des bactéries - Revisiter les cibles des antibiotiques

> Recherche fondamentale

Mutations dans le syndrome de Lynch - Une nouvelle mesure cérébrale de l'état de conscience - Feu vert pour le projet Human Brain - Romane pour lutter contre la maladie d'Alzheimer - Un espoir pour des tumeurs cérébrales incurables - Pandoravirus : le chaînon manquant entre le monde viral et le monde cellulaire - Infections : moduler la sensibilité du système immunitaire

P.44/51

1 / E

TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES

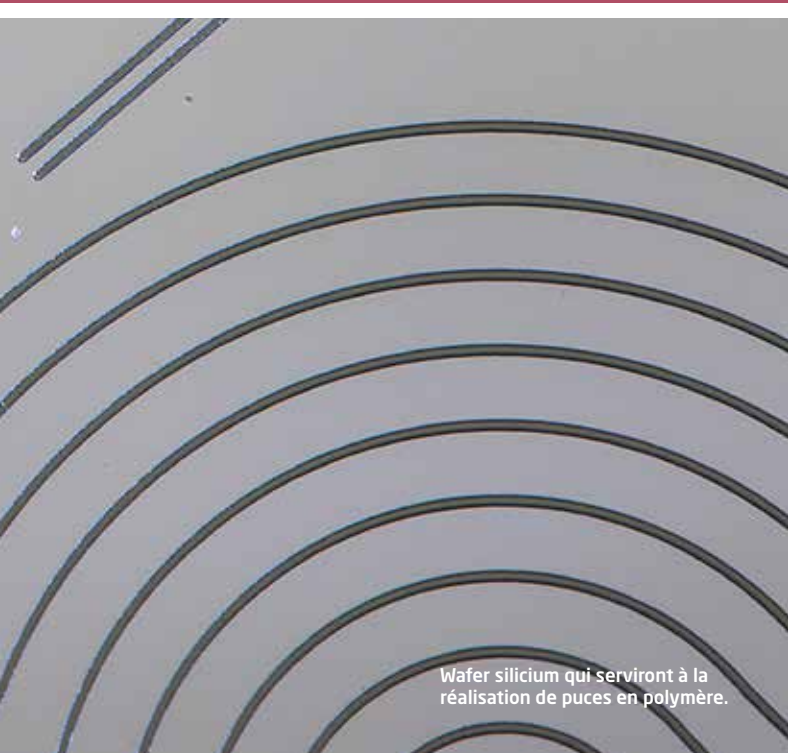
> TGIR

Ganil et Spiral2 - Genci / Prace - Maison de la simulation

> Recherches fondamentales associées

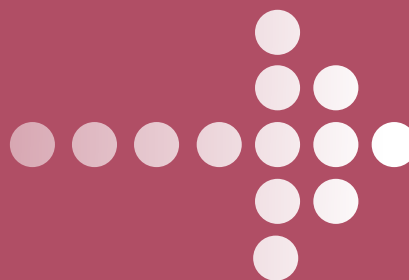
Recherche sur les lois fondamentales de l'Univers - Lasers - Accélérateurs, aimants et cryotechnologies

P.52/55

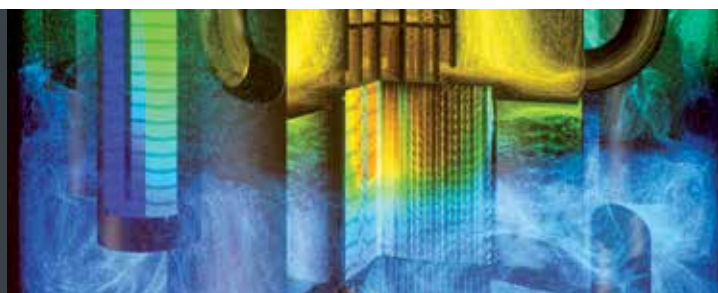


Wafer silicium qui serviront à la réalisation de puces en polymère.

ÉNERGIES BAS CARBONE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES




Temps forts 2013



Conférence internationale sur les réacteurs à neutrons rapides

Au nom de la France, le CEA a accueilli, avec le soutien de la Société française d'énergie nucléaire (SFEN), la conférence internationale FR13 de l'AIEA dédiée aux réacteurs à neutrons rapides (RNR) et aux cycles du combustible associés.

Réunis à Paris pendant trois jours, plus de 650 participants représentant 26 pays et quatre organismes internationaux ont ainsi exposé leurs avancées scientifiques dans ces domaines. Le projet de démonstrateur technologique de réacteur de 4^e génération Astrid, dont le CEA est maître d'ouvrage, a été l'objet de nombreuses publications et a suscité un intérêt marqué de la communauté scientifique internationale, en particulier pour ses options technologiques innovantes.



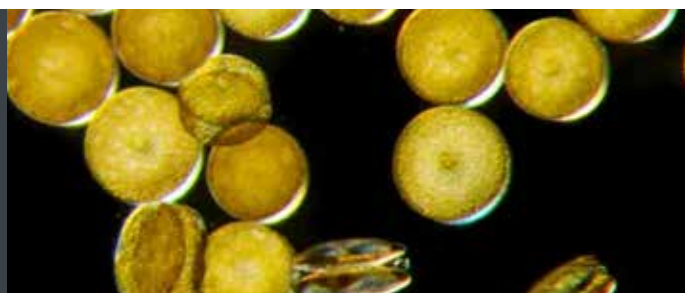
Proposer
un mix énergétique
non émetteur
de gaz
à effet de serre.

Piscine du réacteur de recherche Osiris.



Syndièse : lancement des travaux de construction

Porté par la Direction de l'énergie nucléaire du CEA, le projet Syndièse est entré dans une phase de réalisation sur son site de Bure-Saudron (Meuse/Haute-Marne) avec le lancement de la 1^{re} phase du programme de démonstration de production de biocarburants de 2^e génération (BtL, *Biomass to Liquid*). Cette première phase consiste à réaliser les travaux d'aménagement du site et la construction d'une plateforme technologique qui permettra de mener les actions de R&D pour la validation à l'échelle 1 t/h des technologies développées par le CEA pour le prétraitement de la biomasse, avant sa transformation en gaz de synthèse. En octobre 2013, le chantier de construction du bâtiment qui accueillera des équipements, des moyens d'analyse et des chercheurs du CEA, a été lancé pour une livraison prévue au premier trimestre 2014.

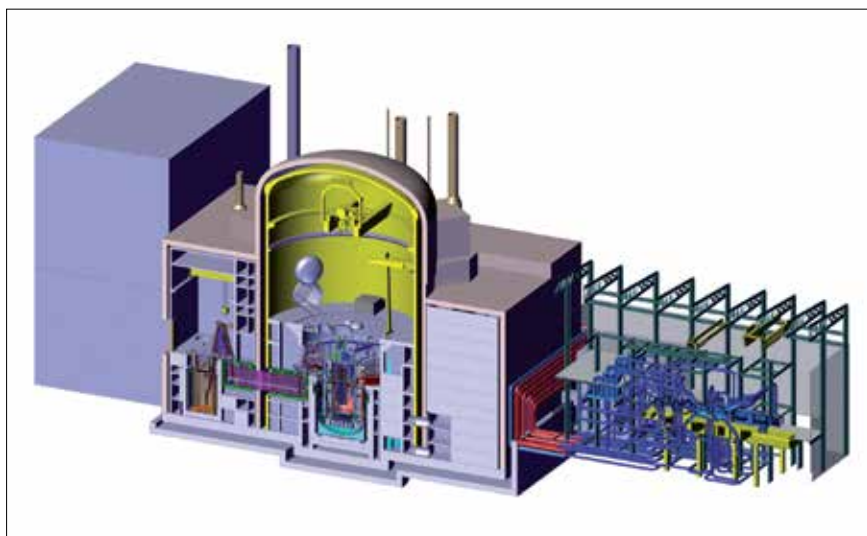


Domestiquer des diatomées pour la production de biocarburants

Le projet DiaDomOil, financé par le programme BioMe de l'Agence nationale de la recherche, propose d'explorer puis d'exploiter la richesse en huiles chez une diatomée, *Phaeodactylum tricornutum*, pour laquelle on dispose du génome et d'outils d'ingénierie génétique. Le projet combine génomique, génie génétique, physiologie et procédés de culture, pour une approche intégrée de la biologie fondamentale au procédé industriel de culture. À la suite de ce projet, le CEA et le département R&D de Total Énergies Nouvelles ont conçu un programme commun de recherche afin de contribuer à optimiser les propriétés de ces micro-organismes et abaisser les coûts de production aujourd'hui trop élevés pour intéresser les marchés de matières premières.

ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE FISSION

Le CEA apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation pour le développement d'un nucléaire durable, sûr et économiquement compétitif. Il conduit ses recherches selon trois axes majeurs : les systèmes nucléaires du futur, l'optimisation du nucléaire industriel actuel et les grands outils expérimentaux et de simulation indispensables à ces études. Par ailleurs, le CEA gère et fait évoluer son parc d'installations, avec des programmes de construction, de rénovation et d'assainissement et de démantèlement de celles en fin de vie.



Vue en coupe de l'îlot nucléaire et de la salle des machines du démonstrateur technologique Astrid.

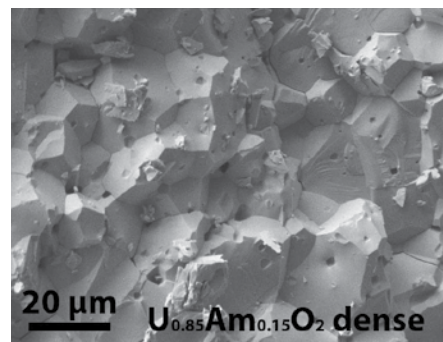
SYSTÈMES INDUSTRIELS NUCLÉAIRES DU FUTUR

Réacteurs de 4^e génération

Le CEA est chargé de mener pour la France les recherches sur des systèmes nucléaires innovants, dits de quatrième génération, en rupture technologique forte par rapport aux précédentes générations de réacteurs. Pour le CEA, l'effort se concentre principalement sur les technologies de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na), et dans une moindre mesure, sur les technologies de refroidissement par gaz (RNR-G), dans une vision à beaucoup plus long terme. Le CEA est maître d'ouvrage du projet de

développement du RNR-Na de démonstration Astrid¹.

L'année 2013 a été marquée par le démarrage de la 2^e phase d'avant-projet sommaire du projet Astrid. Les innovations technologiques de ce réacteur, déjà engagées lors de la 1^{re} phase, se sont poursuivies. À noter notamment après un processus de revue de projet, la priorité mise sur un système de conversion d'énergie sodium-gaz, qui permet de supprimer *de facto* le risque de réaction sodium-eau. Concernant le cœur du réacteur, dit cœur CFV², les études de qualification ont été menées tout au long de l'année : le schéma de calcul neutronique a été validé et une image améliorée du cœur, fruit d'une optimisation



Observation par microscopie électronique d'une pastille combustible contenant 15 % d'américium pour la transmutation.

coûts/performances, a été réalisée.

Par ailleurs, le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires s'est réuni pour analyser le Document d'orientations de sûreté que le CEA avait remis mi-2012 à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Le groupe permanent a jugé positivement les orientations proposées, tout en formulant des recommandations ; l'ensemble permettant aux équipes projet d'établir le Dossier d'options de sûreté, dont la première version est prévue pour fin 2015.

Aval du cycle futur

En cohérence avec les études sur le démonstrateur technologique Astrid, le CEA mène des recherches sur l'aval du cycle futur. Elles visent à préparer l'ensemble des options de gestion des matières nucléaires pour les parcs de RNR en mettant au point les procédés avancés pour une meilleure exploitation de la ressource en uranium et le multirecyclage du plutonium. Dans une perspective à plus long terme, il s'agit d'évaluer les options de séparation et de transmutation des radioéléments à vie longue (actinides mineurs).

¹ Astrid : acronyme pour "Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration".

² Cœur à faible vidange. Concept très différenciant, développé et breveté par le CEA en 2010 en collaboration avec ses partenaires industriels EDF et Areva, qui permet de réduire la réactivité du cœur en cas d'augmentation de la température du sodium.



Le CEA est un acteur majeur de la recherche et de l'innovation dans le domaine de l'énergie nucléaire.

La Direction de l'énergie nucléaire du CEA mène des études sur la cuve et les internes de cuve des REP.

Dans ce contexte, en 2013, le CEA a étudié avec ses partenaires EDF et Areva les différents scénarios industriels possibles de déploiement des RNR, visant à tirer profit de façon optimale des matières valorisables, uranium et plutonium. Par ailleurs, en lien avec Areva, le CEA a proposé ses premières orientations pour définir un procédé de dissolution adapté aux combustibles riches en plutonium. Sur le volet transmutation, celle de l'américium nécessite de développer des combustibles d'oxyde mixte $UAmO_2$ contenant de 10 à 15 % d'américium. La faisabilité de leur fabrication, à partir d'une poudre obtenue par coconversion d'une solution initiale d'uranium et d'américium, a été démontrée en 2013. Les pastilles obtenues atteignent les caractéristiques de composition et de densité attendues, tout en mettant en œuvre un procédé simplifié et une température de frittage de 100 °C inférieure à celle utilisée pour les procédés habituels, ce qui représente un gain majeur dans la fabrication des pastilles.

OPTIMISATION DU NUCLÉAIRE INDUSTRIEL ACTUEL

Réacteurs de 2^e et 3^e génération

Le CEA mène des recherches, à la demande des industriels, sur les réacteurs du parc nucléaire actuel. Elles répondent à des enjeux industriels

en termes de performances, de durée de vie, de disponibilité et de sûreté des centrales. En particulier, si l'accident nucléaire de Fukushima-Daiichi n'a pas révélé de lacune majeure dans le champ des connaissances et dans les objectifs de R&D, il a souligné la nécessité d'assurer sur le long terme les programmes de R&D consacrés aux accidents et la pérennité des installations expérimentales associées. À ce sujet, l'année 2013 a été marquée par la publication d'un dossier de synthèse, présentant l'ensemble des travaux de R&D menés au CEA pour la compréhension de l'évolution des propriétés de la cuve et des internes de cuve des réacteurs à eau pressurisée (REP), en fonction de l'irradiation. Ces travaux visent à apporter des éléments pour l'allongement de la durée de fonctionnement des REP au-delà de 40 ans, et s'inscrivent en support aux dossiers présentés par EDF à l'ASN.

2013, c'est aussi le lancement, en lien avec EDF, du *benchmark* international « Smart 2013 » dont l'objectif est de partager avec la communauté internationale les méthodes et techniques utilisées par différentes institutions pour prédire le comportement des ouvrages sujets à des sollicitations sismiques. Ce *benchmark* est notamment alimenté par les mesures de la campagne d'essais sismiques réalisée par le CEA sur une maquette représentative à l'échelle 1/4 d'un bâtiment électrique tel qu'existant sur certains réacteurs du parc actuel.

Aval du cycle actuel

Les programmes sont menés en soutien :

- à Areva pour optimiser ou adapter les procédés de traitement des combustibles usés de l'usine de La Hague et de fabrication de combustible MOX de l'usine Melox ;
- à l'Andra pour fournir les éléments scientifiques et techniques nécessaires aux dossiers Cigéo ;
- et à EDF pour la gestion de certains déchets dont ceux issus du démantèlement des réacteurs uranium naturel graphite gaz (UNGG).

L'année 2013 a été marquée par des avancées importantes sur le procédé d'incinération vitrification in-can, appelé Pivic. Développé en partenariat avec Areva, ce procédé est destiné à traiter et conditionner les déchets technologiques mixtes (à la fois organiques et métalliques) contaminés alpha dans une matrice mixte verre-métal : la fraction organique du déchet est incinérée et les cendres produites sont vitrifiées ; la fraction métallique du déchet est quant à elle fondue à des températures voisines de 1 400-1 450 °C. La revue de conception du four a été réalisée mi-2013. Il sera mis en œuvre en 2014 dans les laboratoires de la Direction de l'énergie nucléaire à Marcoule afin de conduire le programme expérimental de qualification de la partie fusion verre-métal du procédé. Dans le cadre du projet Cigéo, le CEA a contribué à plusieurs études de R&D et a notamment proposé les formulations de béton destinées au scellement

ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE FISSION



Remplissage avec du béton de la maquette visant à démontrer la faisabilité technologique des scellements des galeries de Cigéo.

des galeries et correspondant aux exigences de l'Andra. Cinq formulations de référence et trois formulations novatrices alternatives ont été proposées dans un rapport de synthèse remis à l'Andra.

Amont du cycle actuel

Les recherches sur l'amont du cycle prennent de plus en plus d'importance, la raréfaction de la ressource en uranium et les besoins de renouvellement des installations nécessitant d'améliorer à la fois les performances d'extraction et la sélectivité des molécules. Dans ce cadre, le CEA a développé des procédés innovants pour extraire sélectivement l'uranium des phosphates, minerais non conventionnels à basse teneur en uranium. Ils ont nécessité la mise au point de nouvelles molécules extractantes, de type « amido-phosphonates », plus sélectives vis-à-vis des impuretés. L'année 2013 a été marquée par la confirmation, à l'échelle pilote, des performances du schéma d'extraction liquide-liquide développé l'année précédente à l'échelle du laboratoire. 2013 a aussi permis de mettre en œuvre et de valider à petite échelle un nouveau schéma permettant d'augmenter la concentration d'uranium en sortie de procédé, ce qui permet des gains notables en termes de dépenses d'investissement et de coûts de production.

Expérience d'extraction sélective de l'uranium en colonne pulsée de laboratoire.

GRANDS OUTILS POUR LE DÉVELOPPEMENT DU NUCLÉAIRE

Les recherches pour les systèmes nucléaires actuels ou du futur nécessitent des outils expérimentaux et de simulation spécifiques. Dans ce cadre, le CEA développe et exploite un parc complet et cohérent d'installations expérimentales ainsi que des plateformes logicielles et des codes de calcul dans les grandes disciplines du nucléaire.

Installations expérimentales

La construction du réacteur Jules Horowitz (RJH) à Cadarache est un projet majeur pour le CEA. Seul outil de ce type en construction en Europe, le RJH sera à terme une installation unique pour l'étude des matériaux et des combustibles sous irradiation, en soutien aux réacteurs nucléaires actuels et futurs. Il assurera aussi une part importante de la production de radio-isotopes médicaux. Le projet RJH a bénéficié d'un financement du programme d'Investissements d'avenir et est construit dans le cadre d'un consortium international, le CEA étant propriétaire, exploitant nucléaire et maître d'ouvrage de l'installation.

En mars 2013, le Nuclear National Laboratory britannique (NNL) est devenu le 11^e partenaire du projet RJH, par la signature d'un accord entre le CEA et le ministère britannique de l'Énergie et du changement climatique (DECC), à l'occasion d'une rencontre ministérielle sur l'énergie nucléaire.



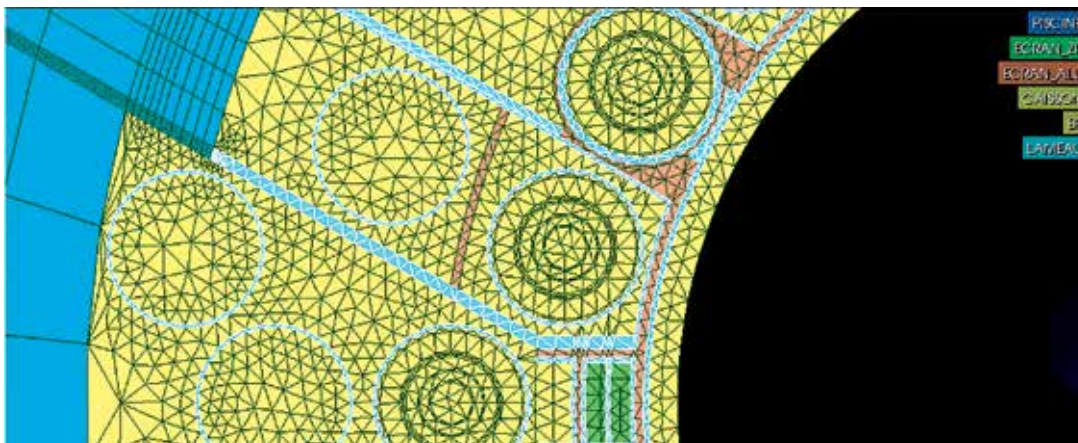
Pose du dôme RJH à Cadarache le 13 décembre 2013.

Le chantier s'est également poursuivi tout au long de l'année. Le 13 décembre, le CEA et ses partenaires, Areva et Razel-Bec, ont ainsi procédé à la pose du dôme du réacteur, opération délicate et d'exception. Elle a nécessité huit mois de préparation, et une forte implication des équipes de la Direction de l'énergie nucléaire à Cadarache et des sociétés Areva, Razel-Bec et Secomoc, sans compter la mobilisation d'une grue de 600 tonnes de capacité, permettant de soulever les 105 tonnes d'acier du dôme de 34 mètres de diamètre. Cette opération a marqué une étape majeure de la construction du réacteur, dont 80 % du génie civil est maintenant réalisé. Le chantier est désormais entré dans une phase de travaux de montage électromécanique.

Simulation numérique

Le CEA développe des plateformes et des codes de calcul dans tous les grands domaines du nucléaire (neutronique, thermohydraulique, mécanique, thermique, chimie du cycle et matériaux) afin de modéliser l'ensemble des phénomènes entrant en jeu dans le fonctionnement normal ou accidentel d'un réacteur.

L'année 2013 a été marquée par la mise en exploitation de la version 7 de Salomé, plateforme de développement de pré/post-traitement et de couplage de codes pour la simulation numérique. La version 7, mise à disposition des utilisateurs CEA et EDF, enrichit les fonctionnalités de la dernière version (6) mise en exploitation en 2011, par des ajouts ou améliorations concernant des fonctionnalités accrues pour la visualisation en cours de calcul, les fonctionnalités algorithmiques et la simplification de la mise en place de ces maillages pour des géométries complexes. Codéveloppée avec EDF R&D et distribuée en *open source*, cette plateforme propose différents services génériques pour la réalisation d'études (intégration de codes de calcul sous forme de composants, pré/post-traitement, supervision de calculs, couplage de codes, gestion des études, etc.).



Visualisation du maillage du réflecteur RJH avec Salomé.



Chantier de reprise de bitume à UP1 à Marcoule.

2013, c'est aussi le succès du programme expérimental Ammon, dans le réacteur Eole du site de Cadarache, après trois ans de mesures sur sept configurations représentatives du cœur RJH en situations normales ou incidentelles. Ce programme a consisté à fournir des paramètres de physique du cœur, mesurés précisément pour disposer d'incertitudes maîtrisées sur certaines options de conception du réacteur et pour étayer la démonstration de sûreté. Il s'inscrit ainsi dans une démarche de qualification globale des outils de conception neutronique et photonique, en particulier les calculs relatifs à la physique du cœur traités par le formulaire de calcul Horus 3D/N, qui utilise les fonctionnalités des grands codes de neutronique du CEA et qui s'appuie sur l'utilisation de la bibliothèque de données nucléaires JEFF3.1.1. Les expériences de ce programme ont été menées dans la maquette critique Eole, qui permet de réaliser des expériences intégrales de neutronique sur des réseaux et des combustibles représentatifs des réacteurs expérimentaux ou de puissance.

ASSAINISSEMENT ET DÉMANTÈLEMENT

Conduire des recherches dans le domaine nucléaire implique de mener en parallèle des programmes de construction et de rénovation d'installations ainsi que des programmes de démantèlement des installations en fin de vie. Gérer ce démantèlement de façon responsable est un des objectifs majeurs du CEA.

Les principales priorités à court et moyen terme sont dorénavant :

- à Marcoule, la poursuite du démantèlement de l'usine de retraitement des combustibles usés UP1 et le démarrage des opérations de démantèlement pour le réacteur Phénix, mis à l'arrêt en 2009 ;
- à Fontenay-aux-Roses, la réduction progressive du périmètre des Installations nucléaires de base (INB) ;

- à Grenoble, la poursuite de l'assainissement final et le déclassement administratif des INB du site, la fin des opérations de démantèlement de celles-ci ayant abouti fin 2012 conformément aux engagements pris dans le cadre du Contrat d'objectifs et de performance État-CEA ;
- le respect des dates de décret encadrant les chantiers, et des jalons de sûreté du CEA vis-à-vis des autorités de sûreté.

Chantiers de démantèlement

Parmi les avancées majeures concernant ces projets de démantèlement, on peut citer :

À Marcoule

Concernant l'usine UP1, 2013 a vu la fin du démantèlement de ses unités de séparation, qui représentaient le cœur du procédé d'extraction. Les travaux ont concerné deux chaînes de batteries et ont consisté à les assainir, les extraire puis les découper. Les opérations de démantèlement des batteries de la chaîne A ont totalisé 60 000 heures d'intervention ; celles de la chaîne B 22 000 heures d'intervention. Toujours dans le cadre du programme UP1, la première phase de démantèlement de niveau 1 de l'atelier dédié au dégainage des combustibles a été finalisée en 2013. La galerie technique abritait les différentes tuyauteries (filtration, vidange vers les fosses à effluents, réactifs, eau déminéralisée...) qui permettaient le fonctionnement des différents procédés de l'atelier. Après les opérations de démantèlement des tuyauteries, la dernière opération a consisté à écouter le sol et les différents points chauds afin de diminuer le niveau d'irradiation. Cette opération, achevée en décembre 2013, a été menée en téléopération à l'aide d'un brokk³. Le chantier a duré 18 mois, a généré 40 tonnes de gravats et a permis de diminuer le niveau d'irradiation de façon très significative.

À Fontenay-aux-Roses

Parmi les avancées majeures réalisées sur le chantier de démantèlement de Fontenay-aux-Roses, on peut citer la fin du démantèlement des chaînes blindées Gascogne, Guyenne, Eole et Cyrano du bâtiment 18 du site. Ce travail s'est échelonné sur plusieurs années avec la réussite, dans les délais, de plusieurs jalons intermédiaires.

- Mi-2011, la fin du démantèlement de la chaîne blindée Gascogne. Elle avait pour principal programme la R&D sur le retraitement par voie aqueuse des combustibles irradiés à l'état solide ou en solution.
- Fin 2011, la fin du démantèlement des chaînes blindées Eole et Guyenne. La chaîne Eole était conçue pour des activités relatives aux coques (cimentation, rinçage et lixiviation des coques REP, mesure par *gamma scanning* de l'activité des coques usines, etc.). La chaîne Guyenne, quant à elle, était destinée à réaliser les analyses par spectrométrie d'émission par plasma induit haute fréquence.
- Fin 2013, l'achèvement du démantèlement de la chaîne blindée Cyrano. Ayant été exploitée durant 30 ans, elle était dédiée à l'étude du retraitement par voie aqueuse de combustibles divers.

À Grenoble

Les travaux de démolition des murs du réacteur expérimental Siloé ont marqué symboliquement la fin du projet de démantèlement des INB du centre CEA de Grenoble. Des opérations complémentaires se sont poursuivies en 2013, pour répondre à des exigences supplémentaires de l'ASN, consistant en l'assainissement du radier du réacteur Siloé, du Laboratoire d'analyse des matériaux actifs (Lama) et du sous-sol de la Station de traitement des effluents et déchets (Sted).

³ Brokk : engin de démolition commandé à distance par câble ou radio.

ÉNERGIE NUCLÉAIRE DE FISSION



Démolition du bâtiment réacteur de Siloé à Grenoble.

Ce projet est un exemple unique d'assainissement-démantèlement à l'échelle d'un site entier. Les opérations ont concerné six INB (trois réacteurs de recherche, un laboratoire, deux stations de traitement de déchets et d'effluents radioactifs) dont la plus ancienne datait de 1958, et dont la dernière a fonctionné jusqu'en 2003. Le démantèlement de toutes les INB du site s'est achevé fin 2012, conformément au jalon inscrit dans le Contrat d'objectifs et de performance État-CEA et avec trois ans d'avance sur le calendrier initial.

Gestion des flux de déchets et des matières

La gestion des flux de déchets radioactifs, des matières et des combustibles sans emploi est un enjeu essentiel pour permettre le déroulement nominal des activités de R&D et des programmes d'assainissement et de démantèlement. Un des objectifs principaux pour le CEA est de disposer de filières opérationnelles de traitement et d'entreposage des déchets de toutes les catégories (TFA, FMA, FA-VL, HA, MA-VL), ainsi que d'une capacité d'évacuation en ligne des déchets radioactifs courants de catégories très faible activité (TFA) et faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) vers les exutoires opérationnels (Cires et CSA⁴), et ceci dans un contexte technico-économique optimisé.

Dans ce contexte, le CEA mène des actions techniques et scientifiques pour contribuer à la mise en place de spécifications d'acceptation de ses colis de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) en conditions de stockage dans Cigéo, le projet de

centre de stockage profond des déchets radioactifs dont l'Andra est maître d'ouvrage. En particulier, suite à la demande formulée par la Commission nationale d'évaluation à la fin de l'année 2012, le CEA a défini, en lien avec l'Andra, Areva et EDF, un programme de R&D spécifique, destiné à conforter la démonstration de la maîtrise des risques en conditions de stockage profond des colis de déchets de boues bitumées, notamment vis-à-vis du risque incendie.

Installations de service nucléaire

Pour gérer ses déchets, le CEA s'appuie sur un parc d'installations de service nucléaire. Elles lui permettent d'entreposer ses matières nucléaires, de mettre en conteneurs et d'entreposer les combustibles usés issus de ses réacteurs expérimentaux ou des expériences menées sur les combustibles EDF et de traiter ses effluents liquides et déchets solides. Ce parc datant pour partie de la création des centres, le CEA s'est engagé dans un important programme de reconfiguration de ce parc, en vue de l'adapter aux besoins futurs et aux exigences de sûreté en vigueur. Cela se traduit par des fermetures d'installations, des travaux de rénovation ou des créations d'installations neuves.

L'Atelier de décontamination des matériels (ADM), situé à Marcoule, a fermé ses portes le 15 décembre 2013 après avoir traité, pendant plus de 50 ans, les matériels et déchets en provenance des installations de Marcoule, des centres CEA extérieurs ou encore des clients comme Areva (La Hague). Parmi les opérations remarquables de l'année 2013, l'ADM a



Chantier de construction du poste de dépotage de Stema à Marcoule.

notamment réalisé le compactage des batteries de la salle 60 de l'usine UP1 ; reçu, traité et évacué les quatre cuves du hall 10 du bâtiment 18 du CEA de Fontenay-aux-Roses ; traité et décontaminé l'ensemble des déchets irradiants et les télémanipulateurs de l'Atelier de vitrification de Marcoule, démantelé les 21 « cendrillons »⁵ entreposés à l'AMEC⁶ 3 ou encore répondu à plusieurs urgences afin de maintenir la disponibilité d'installations stratégiques (décontamination de pompes de la station de traitement des effluents liquides à Marcoule, décontamination d'emballages pour le laboratoire de Marcoule).

2013 a aussi été marquée par la coulée du premier béton de Stema, la nouvelle installation destinée à traiter les effluents liquides (Stel) du site de Marcoule. Il s'agit notamment de construire deux bâtiments neufs en périphérie de la Stel : un bâtiment de filtration/cimentation des boues et un nouveau poste de dépotage d'effluents. L'opération de bétonnage du radier du bâtiment cimentation a débuté le 25 avril 2013 et concrétise la tenue d'un jalon du Contrat d'objectifs et de performance État-CEA.

⁴ Centres de stockage exploités par l'Andra : Cires (Centre industriel de regroupement d'entreposage et de stockage), CSA (Centre de stockage de l'Aube).

⁵ Emballage de transport d'effluents liquides HA.

⁶ AMEC : Atelier de maintenance des emballages et châteaux.

NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE

Impliqué depuis plus d'une dizaine d'années dans ce domaine, le CEA est devenu un acteur de référence. Il travaille en appui du tissu industriel national, en partenariat avec d'autres acteurs de la recherche. Ses travaux couvrent en priorité l'énergie solaire (photovoltaïque et thermique) et son intégration dans l'habitat, les batteries pour véhicules électriques, l'hydrogène, l'efficacité énergétique, les biocarburants de 2^e et 3^e génération...



Centrale solaire thermique à concentration de type Fresnel - miroirs et réflecteurs de la centrale solaire.

ÉNERGIE SOLAIRE

INES2 est lancé

Développer des technologies solaires compétitives, assurer leur transfert industriel et favoriser l'utilisation rationnelle de l'énergie solaire : tels sont les objectifs de l'institut INES2 à l'horizon 2020. Un financement de 39 M€ a été alloué par le Commissariat général à l'investissement à ce projet pour la période 2014-2018 dans le cadre du programme Investissements d'avenir. Il augmentera le potentiel de R&D et de formation d'INES, créé par le CEA, le CNRS, le CSTB et l'université de Savoie en 2006. Le pôle de compétitivité Tenerrdis, le syndicat mixte Sypartec (Technopole Savoie Technolac), le conseil régional Rhône-Alpes et le conseil général de Savoie sont également parties prenantes du projet INES2 ainsi que les entreprises Arkema, ECM, Ventilairsec, Socomec, Urbasolar.

Le projet INES2 vise à faire de la France un des leaders des technologies solaires en permettant aux entreprises françaises innovantes de ce secteur de disposer de plateformes technologiques et de compétences de recherche au meilleur niveau mondial. En s'appuyant sur la diversité et la dynamique du tissu industriel français (grands groupes, PME et start-up), INES2 va notamment augmenter l'impact économique des recherches et des actions de formation menées à l'INES, en visant des marchés en forte croissance dans le monde. Ses programmes de recherche concernent toute la chaîne de valeur du solaire depuis le développement des technologies photovoltaïques silicium, jusqu'à l'intégration et l'utilisation des technologies solaires photovoltaïques et thermiques. Son programme de formation initiale et continue vient renforcer les actions de la plateforme Formation et évaluation de l'INES (*e-learning*, téléopération de systèmes solaires, accompagnement des entreprises à l'export...).

44,7 % un record du monde

L'amélioration de l'efficacité des cellules photovoltaïques constitue un enjeu majeur pour l'énergie solaire. C'est dans le domaine des systèmes dits à concentration que les meilleurs rendements sont obtenus. Grâce à une technologie développée par le CEA-Leti, l'Institut Fraunhofer, le Centre Helmholtz de Berlin et Soitec, les chercheurs atteignent le record mondial de 44,7 % de rendement pour leur cellule photovoltaïque à quatre jonctions. Ils dépassent ainsi le précédent record obtenu par les Japonais



Ces cellules photovoltaïques ont battu un record.

de Sharp (44,4 %), à partir de la technologie actuelle dite de trois jonctions. Un nouveau procédé de collage de plaques joue un rôle déterminant dans ce record. Cela consiste à réaliser séparément des empilements de deux jonctions, puis à les assembler en utilisant une technologie générique clé de collage par adhésion moléculaire permettant d'obtenir un empilement de quatre jonctions. Ce collage, qui respecte l'arrangement des atomes, est à la fois optiquement transparent et électriquement conducteur. Une technique développée à l'origine pour fabriquer des substrats SOI (*Silicon On Insulator*) pour la microélectronique que le laboratoire cherche aujourd'hui à appliquer dans d'autres domaines. Cette option technologique devrait permettre d'atteindre bientôt le seuil mythique des 50 %... Des chiffres aussi élevés feraient rêver les spécialistes du photovoltaïque classique : il s'agit en fait de rendements obtenus dans des systèmes à concentration telle que la technologie Concentrix, dont l'Institut Fraunhofer a été à l'initiative. Cette technologie est utilisée dans les centrales solaires des zones du monde disposant d'un rayonnement solaire direct élevé. Ces dispositifs comportent des panneaux photovoltaïques recevant la lumière solaire concentrée - jusqu'à plusieurs centaines de fois - par un jeu de lentilles en aplomb des cellules, le tout monté sur un châssis mobile permettant de suivre la course de l'astre et de maximiser l'absorption de l'énergie solaire.

NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE



Dépôt de cellules photovoltaïques à haut rendement, sur le site de l'INES.

Un rendement de conversion d'énergie de 21,5 %

Le CEA-Liten⁷ développe une technologie pour les cellules à hétérojonction sur substrat silicium Monolike (associant qualité du « monocristallin » et faibles coûts du « multicristallin »). Tout en réduisant les coûts de fabrication de 25 %, notamment *via* le remplacement de l'argent par du cuivre dans la métallisation des substrats, la technologie a atteint des rendements de conversion d'énergie exceptionnels de 21,5 %.

Procédé de fabrication de cellules à l'échelle industrielle

Dans le cadre du projet Monoxen, le Liten développe un procédé de fabrication de cellules photovoltaïques à partir de silicium de type n. Les travaux ont porté sur l'amélioration de la performance des cellules et sur la simplification du procédé en explorant des voies alternatives et par optimisation des différentes briques du procédé. Ce matériau permettra la fabrication à l'échelle industrielle de cellules au rendement plus stable et plus élevé, supérieur à 20 %.

Un prototype préindustriel de climatiseur solaire opérationnel

Financé par l'Institut Carnot « Énergies du futur » le projet Solammor vise le développement de climatiseurs solaires.

Après un premier prototype en laboratoire en 2011, le Liten réalise la version préindustrielle d'une machine à absorption ammoniac/eau qui présente de nombreuses innovations. La conception revue et corrigée réduit la taille de la machine qui devient la plus compacte de sa catégorie (74 litres par kW de froid). Sa puissance frigorifique atteint 5 kW avec un coefficient de performance thermique de 0,6. Par ailleurs, le concept repose sur l'utilisation de composants existants (adaptés si nécessaire) dans une optique de réduction du coût final du produit. Le prototype sera intégré sur le démonstrateur de chauffage et climatisation solaire du bâtiment Puma de l'INES.

Du nouveau pour la découpe de *wafer*

Un important volant d'action en vue de la réduction des coûts de fabrication des cellules photovoltaïques de la filière silicium réside dans l'optimisation du *wafering*. Deux technologies existent pour y parvenir : la découpe dite au *slurry* et la découpe au fil diamanté. La découpe au fil diamanté est une technologie alternative qui arrive juste sur le marché. Son potentiel est immense : vitesse de coupe deux à trois fois supérieure ; simplification de la technologie des scies ; meilleur état de surface...

C'est dans ce cadre que le Liten développe un procédé de découpe au fil diamanté en partenariat avec la société Thermocompact spécialisée dans la production de fils de haute technicité. Le fil Thermosolar développé par le Liten est recouvert de particules de diamant, destiné à la découpe de *wafer* de silicium pour la fabrication des cellules photovoltaïques. Ce fil de 120 microns de diamètre est en cours de qualification.

PILES À COMBUSTIBLE ET BATTERIES

Vers le développement à l'échelle industrielle des PAC

Le CEA et SymbioFCel présentent une nouvelle génération de plaques bipolaires, élément indispensable au fonctionnement des piles à combustible (PAC), qui figurent parmi les meilleures technologies disponibles.

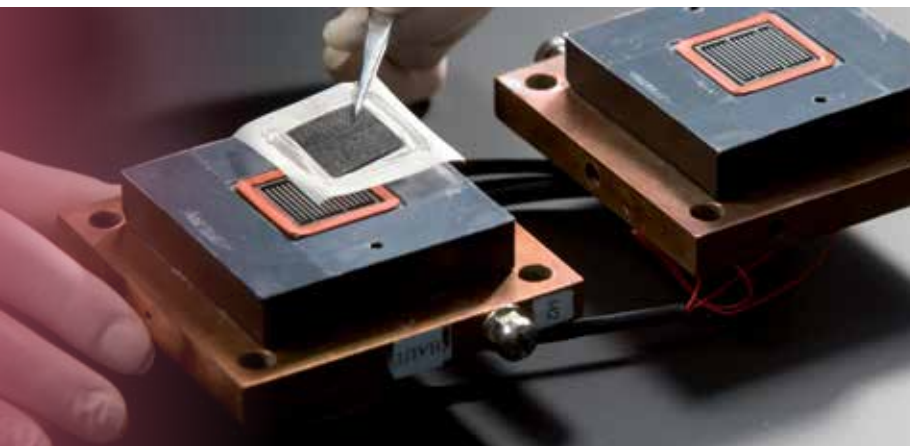


Silicium.

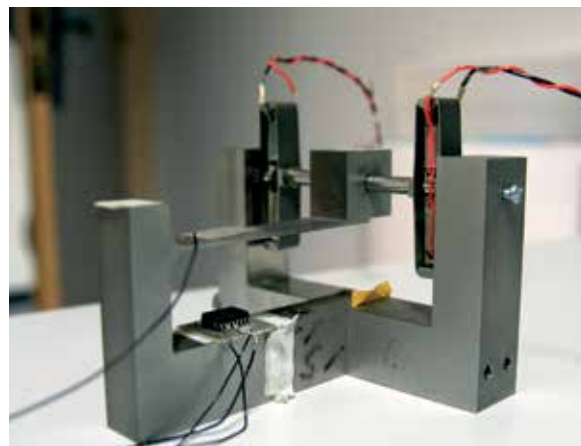
Destinées aux transports, elles affichent une performance de 2,9 kW par litre (gain de 30 % par rapport à la génération précédente). Les piles à combustible de type PEMFC, échangeuses de protons, sont constituées d'un assemblage en alternance de 2 plaques bipolaires et d'un AME (Assemblage membrane électrodes comprenant l'anode, l'électrolyte ou membrane et la cathode). Une plaque bipolaire a pour fonction de distribuer l'hydrogène, et l'autre a pour fonction de distribuer l'oxygène ou l'air et d'évacuer l'eau. Le design de ces plaques a toujours représenté un élément critique de la performance de la pile, mais aussi du système. Couplé à une optimisation des matériaux pour électrodes, il en résulte une compacité doublée à performance égale tout en réduisant le nombre de composants d'une pile. L'assemblage est également facilité, ce qui permet d'atteindre une réduction de coût supérieure à 50 % en production de série. Ces améliorations rendent possible le développement, à l'échelle industrielle, de PAC plus performantes intégrables dans tout type de véhicule et à des coûts compétitifs avec ceux des véhicules diesel du marché.

Bénéficiant de l'expertise de plus de 15 ans en recherche et développement du Liten dans ces technologies de piles à combustible PEMFC, le programme de la nouvelle génération de plaque bipolaire démarré en 2010 a atteint l'ensemble de ses objectifs : réduction de près de la moitié du volume des systèmes complets de PAC ; réduction des quantités de métaux rares utilisés ; simplification de l'assemblage pour une production industrielle de série.

⁷ Liten : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux.



Phase de montage d'une monocellule de pile PEMFC.



Dispositif du système à rebond.

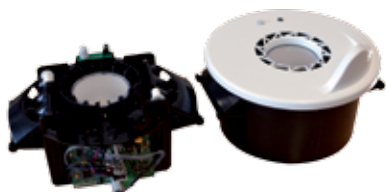
EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Et la lumière réfléchit...

En développant un démonstrateur de dix luminaires intelligents à LED, la première étape du projet Smartlight s'achève avec succès. Objectif de cette collaboration entre le CEA-Leti⁸ et Diffuselec : parvenir à un nouveau système d'éclairage en réseau plus intelligent et plus performant énergétiquement...

En plus d'être économes en énergie, les LED permettent un usage intelligent de l'éclairage. Pour la société Diffuselec, des chercheurs du Leti ont innové en créant un réseau de luminaires communicants sans fil *plug & play* : facile d'usage qu'il suffit de brancher (*plug*) pour les faire fonctionner (*play*). Ces luminaires sont capables de gérer leur puissance d'éclairage en fonction de la présence humaine, de la luminosité ambiante et des informations transmises par les luminaires voisins.

L'établissement d'algorithmes de gestion de l'éclairage et le pilotage à distance du réseau grâce à une simple clé USB ont également contribué à valider la faisabilité de ce nouveau système d'éclairage qui pourra, par exemple, remplacer les néons ou les hublots ronds cathodiques installés dans les bureaux. Ces premiers développements ont été réalisés dans le cadre d'un projet de la plateforme Pepite (Plateforme pour l'innovation technologique des entreprises, dispositif interne au CEA). Aujourd'hui, un programme vient d'être lancé auprès de l'Ademe afin de concevoir une gamme de luminaires intelligents pour les environnements tertiaires, industriels et l'éclairage public extérieur. Diffuselec vise une première commercialisation d'ici trois ans.



Démonstrateur d'un luminaire intelligent LED issu du projet Smartlight.

Le potentiel électrisant des vibrations

Dans les voitures, avions ou machines, les capteurs embarqués ont de nombreuses utilités... jusqu'à ce qu'ils tombent en panne ! C'est le risque s'ils sont alimentés par une pile. Mais « branchés » aux vibrations de leurs supports, ils ont de belles années devant eux. Le Leti a développé pendant 10 ans trois systèmes de récupération de l'énergie vibratoire, qui ont fait l'objet de dépôts de brevet. Ces trois dispositifs ont un même principe : une vibration met en mouvement une masse, souvent du tungstène car il présente une bonne densité massique, et ce mouvement est converti en électricité pour alimenter un capteur.

Mais comment en extraire un maximum d'énergie ? La principale fréquence de vibration vient du régime moteur du véhicule. La récupération d'énergie est maximale si la fréquence de résonance (à laquelle le système peut accumuler de l'énergie) de la masse en tungstène, liée au support vibrant par un ressort, correspond à celle de la vibration du moteur. Pour cela, les scientifiques en appellent aux propriétés piézoélectriques du matériau à base de PZN-PT (Lead zinc niobate-lead titane, alliage présentant un couplage électromagnétique très élevé) utilisé pour le ressort. Ces propriétés sont les aptitudes de certains matériaux à générer un signal électrique sous l'action d'une contrainte mécanique et inversement. Ils appliquent soit un champ (1^{er} dispositif), soit une charge électrique (2^e dispositif) qui modifie la consistance du matériau. Plus souple, il résonne à plus basse fréquence ; plus raide, il résonne à haute fréquence, s'adaptant ainsi aux fréquences de vibration du moteur pour en tirer son énergie. Dans le cas d'un escalier métallique composé d'une multitude de pièces qui vibrent, non pas à une, mais à plusieurs fréquences, un troisième dispositif appelé « système à rebond » entre en jeu. Quand l'escalier vibre, il va et vient, accélère et décélère, dans un sens, puis dans l'autre. Peu importe sa fréquence de vibration, le mouvement passe toujours par une vitesse maximale. Les scientifiques synchronisent alors le rebond mécanique avec cet instant de vitesse maximale, s'assurant ainsi une récupération d'énergie optimale.



Instrumentation d'une voiture électrique pour mesure des performances énergétiques.

Optimiser la consommation des véhicules full electric

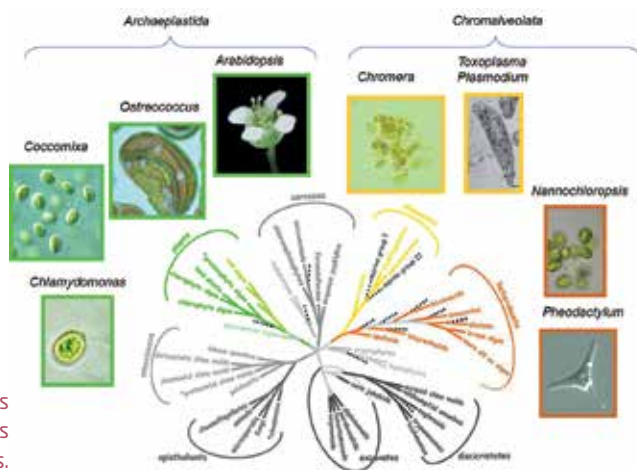
Les chercheurs du CEA-List⁹ travaillent sur la thématique de la supervision et commande de robots mobiles, pour lesquels les problématiques de la gestion de l'énergie restent un enjeu majeur pour l'autonomie. Dans ce contexte, de nouveaux procédés de commande prédictive ont été développés afin d'être embarqués au sein de véhicules *full electric*. Un procédé algorithmique accompagne alors le conducteur dans la gestion de sa consommation énergétique, avec des données restituées en temps réel *via* le tableau de bord. Développé avec la société Courb, le calculateur utilise une méthode d'optimisation, de type essais particuliers, couplée à un modèle de simulation pour transmettre des consignes à appliquer entre la position courante et la destination à atteindre. Objectif : minimiser à la fois la consommation énergétique des batteries, le temps du trajet et répondre au mieux aux demandes des auxiliaires (chauffage ou climatisation...). Des gains jusqu'à 30 % de la consommation globale, sur des trajets pourtant 10 % plus longs, ont pu être observés.

⁸ Leti : Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information.

⁹ List : Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies.

NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ÉNERGIE

Organismes modèles étudiés
au CEA : plantes supérieures
et microalgues.



Impliqué depuis plus d'une dizaine d'années dans ce domaine, le CEA est devenu un acteur de référence. Il travaille en appui du tissu industriel national, en partenariat avec d'autres acteurs de la recherche. Ses travaux couvrent en priorité l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et son intégration dans l'habitat, les batteries pour véhicules électriques, l'hydrogène, l'efficacité énergétique, les biocarburants de 2^e et 3^e génération...

DES PLANTES ET DES ALGUES POUR LES BIOCARBURANTS



La plateforme de phytotechnologie de Cadarache conçoit et développe des chambres de mesure dédiées à la culture des plantes en conditions contrôlées.

La biotechnologie des organismes photosynthétiques a atteint le niveau de maturité qui permet de les considérer comme une composante crédible du mix énergétique. Qu'il s'agisse de produire par voie biologique de l'hydrogène, des lipides précurseurs de biocarburants ou des molécules à plus forte valeur ajoutée, les chercheurs du CEA mettent en œuvre une large palette de technologies pour optimiser les « usines cellulaires » et en dépasser les limites.



Bioréacteur pour
micro-organismes.

Renforcer les potentiels naturels...

Dans la perspective des nouvelles générations de biocarburants, il faudra intensifier les performances métaboliques des plantes et des microalgues, et contrôler la balance entre croissance, production de biomasse et synthèse spécifique d'une façon différente des conditions naturelles. En 2013, une équipe a testé de nouveaux inhibiteurs capables d'infléchir le métabolisme de plusieurs plantes, comme la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, pour que l'énergie produite soit stockée plutôt que consommée par la plante pour sa croissance et sa reproduction.

Dans un autre registre, les chercheurs ont mis au point un protocole expérimental permettant de tester les rendements métaboliques des cyanobactéries dans différents environnements de production d'éthanol. L'ajout de glucose dans le milieu de culture, une piste pourtant pressentie par la filière industrielle, s'avère contre-productif pour les rendements.

... ou les remanier

Certaines microalgues sont particulièrement douées pour produire des lipides en grande quantité et en qualité contrôlée. Les biologistes criblent les espèces naturelles ou les variants les plus productifs. Ainsi, une banque de mutants de la microalgue verte *Chlamydomonas reinhardtii* a été réalisée. L'analyse de la composition en acides gras des mutants a permis d'en isoler un, présentant un profil optimal pour la synthèse de biocarburants, à savoir un faible taux d'acides gras polyinsaturés, et de repérer l'enzyme responsable de ce phénomène.

Contrer les stress induits par la bioproduction intensive

Exploiter des micro-organismes utilisant naturellement la lumière, l'eau et le CO₂ est séduisant, mais les conditions industrielles à terme pousseront les métabolismes dans des conditions extrêmes. Comprendre les mécanismes d'adaptation cellulaire aux stress environnementaux variés est une composante essentielle de la biotechnologie pour l'énergie.

En 2013, les chercheurs se sont penchés sur les mécanismes utilisés par les cyanobactéries, ou algues bleues, pour réguler leur production de biomasse sous différentes expositions à la lumière. Ils ont caractérisé deux protéines leur permettant de survivre aux excès de lumière en se préservant de la formation de radicaux libres toxiques. D'autres études sont effectuées chez la plante modèle *Arabidopsis thaliana* pour identifier comment la stimulation de plusieurs centaines de gènes augmente sa résistance aux radicaux libres toxiques.

Catalyse bio-inspirée et photosynthèse artificielle pour la production d'hydrogène

Molécule à forte teneur énergétique, l'hydrogène représente à la fois une source d'énergie bas carbone et une forme de stockage des énergies intermittentes. En complément des approches thermochimiques, développer des stratégies de production biomimétiques d'hydrogène à partir de la connaissance des systèmes photosynthétiques du vivant est l'enjeu de nombreuses recherches. Ce sont en premier lieu les microalgues et les cyanobactéries photosynthétiques qui ont été étudiées. Cette année, les bactéries anaérobies et leurs hydrogénases ont inspiré aux scientifiques une biopile, petite centrale électrique biologique, qui pourrait à terme être développée à grande échelle. Autre piste explorée, les biologistes ont caractérisé les mécanismes des échanges d'oxygène au sein du Photosystème II, l'enzyme qui capte l'énergie lumineuse dans les plantes ou les bactéries photosynthétiques. Ces résultats sont fondamentaux pour la conception ultérieure de catalyseurs bio-inspirés pour la dissociation de l'eau, étape clé vers la production d'hydrogène par photosynthèse.

Dans une démarche *ex vivo*, au sein du Labex Arcane, l'ingénierie des protéines a franchi un pas décisif avec la description d'un procédé inédit et efficace qui permet d'activer les hydrogénases, ouvrant la voie à la conception *de novo* d'enzymes artificielles.

RECHERCHE FONDAMENTALE
SUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE

ÉNERGIE DE FUSION

Le CEA contribue, au sein d'Euratom, au Programme européen de recherche sur la fusion par confinement magnétique. Il participe à la construction d'ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) et à la préparation de son fonctionnement, ainsi qu'au développement de l'étape suivante DEMO (*Demonstration Power Plant*). L'Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique (IRFM) dispose de nombreuses plateformes de R&D. En particulier, le tokamak Tore Supra se transforme actuellement en banc de tests pour ITER dans le cadre du projet WEST (*Tungsten W Environment in Steady-State Tokamak*).

Tore Supra met le cap à WEST

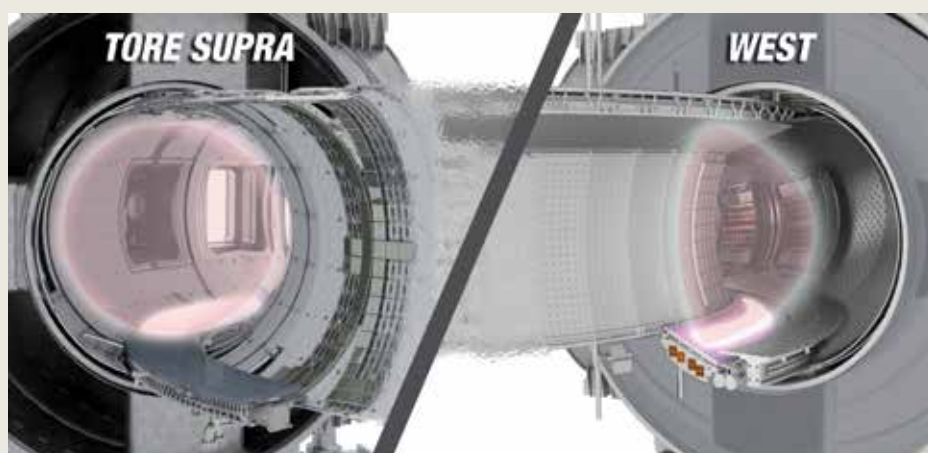
WEST a pour objectif principal de tester le « divertor » d'ITER. Ce composant essentiel devra résister à des flux énergétiques supérieurs à 10 MW/m². Les agences européenne (F4E) et japonaise (JAEA), chargées de sa réalisation, soutiennent le projet et la plateforme sera ouverte aux laboratoires des pays partenaires d'ITER.



Limiteur plancher de Tore Supra, avec une liaison cuivre fibre de carbone.

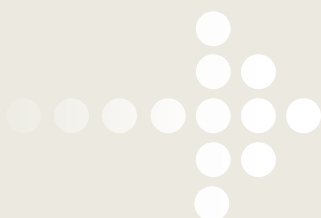


Travaux de métrologie dans Tore Supra.



Configuration de Tore Supra à gauche et WEST à droite.

WEST compte déjà de nombreux collaborateurs : la Fédération de recherche sur la fusion contrôlée par confinement magnétique (FR-FCM, France), les instituts européens déjà partenaires de l'IRFM, le Southwestern Institute of Physics (SWIP, Chine) et l'Institute of Plasma Physics (ASIPP, Chine), l'Institute for Plasma Research (IPR, Inde), l'US Department of Energy (DoE, Etats-Unis), l'Institute of Plasma Physics and Laser Micro-fusion (IPPLM, Pologne), le National Fusion Research Institute (NFRI, Corée) et l'Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST, Corée). La réalisation de West passe par une modification en profondeur des éléments internes de Tore Supra, qui sera doté d'un divertor en tungstène. La transformation a donc commencé par un « déshabillage » qui s'est terminé fin 2013. Environ 1 500 composants de l'intérieur de la chambre à vide ont été démontés en seulement huit mois. Une partie de ces composants sera modifiée avant d'être réassemblée sur WEST.

RECHERCHE FONDAMENTALE
SUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE**Diagnostic et modélisations pour ITER**

Leader du consortium CEA-CIEMAT-Bertin Technologies, le CEA est chargé de développer le système de diagnostic visible-infrarouge, parmi la cinquantaine de dispositifs de mesures qui équiperont ITER. Composé de 15 lignes de visée, cet instrument permettra de surveiller les composants qui feront face aux plasmas. Il jouera donc un rôle protecteur capital dans le fonctionnement d'ITER.

En parallèle, l'IRFM perfectionne la modélisation des phénomènes complexes qui se déroulent au sein du plasma. Le couplage du code Cedres (équilibre de plasma à frontière libre) du CEA avec le code européen ETS (simulation intégrée) a permis de simuler de manière prédictive une instabilité verticale susceptible de provoquer une disruption. Le code PFCFlux développé à l'IRFM, qui permet d'évaluer la répartition de flux sur les composants face au plasma, a été installé avec succès et a déjà été utilisé pour le dimensionnement d'ITER.

JT-60SA avance

Dans le cadre de la collaboration franco-japonaise « Approche élargie », le CEA participe à la construction du tokamak japonais JT-60SA. En 2013, ce projet a vu la contractualisation avec les industriels des principales fournitures dues par la France, pour un montant total d'environ 60 millions d'euros. Neuf bobines de champ toroïdal (les plus grands aimants supraconducteurs jamais produits et mis en service) seront ainsi fabriquées par Alstom et l'usine cryogénique, dont les solutions techniques ont été expérimentalement validées par l'Institut nanosciences et cryogénie (Inac) du CEA, sera réalisée par Air Liquide Advanced Technology.

**SCIENCES DU CLIMAT
ET DE L'ENVIRONNEMENT**

Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement du CEA (LSCE) est un acteur national de référence dans ses domaines de recherche. Partenaire des Labex L-IPSL (Institut Pierre-Simon Laplace) et BASC (Biodiversité, agroécosystèmes, société, climat), le LSCE étudie le changement climatique naturel et anthropique et cherche à caractériser les impacts environnementaux de l'activité humaine. Le LSCE a été fortement impliqué dans l'élaboration du premier volet du 5^e rapport du Giec. Huit de ses membres ont participé à la rédaction de ce document consacré aux « éléments physiques du climat » : trois auteurs principaux, deux coordinateurs de chapitres et trois éditeurs. Adopté le 27 septembre, ce rapport confirme et précise l'ampleur du changement climatique lié à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.



Ballons pressurisés en attente de lancement sur la base Charmex de l'île du Levant.

**Des campagnes en France, en Méditerranée
et au Japon**

L'infrastructure européenne de recherche Integrated Carbon Observation System (Icos) et le programme *Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment* (Charmex) continuent leurs développements. Cinq stations d'observation des gaz à effet de serre du réseau Icos sont désormais opérationnelles sur le sol français. Dans le cadre de Charmex, une campagne intensive de mesure des polluants atmosphériques s'est déroulée en Méditerranée occidentale, entre juin et août, au sol, en mer (voilier) et dans les airs (avions, ballons).

En 2013, ont eu lieu les 4^e et 5^e campagnes de mesures dans la préfecture de Fukushima, dans le cadre du projet Tofu (*Tracing the environmental consequences of the Tohoku earthquake-triggered tsunami and the Fukushima accident*) de l'ANR. L'objectif est de tracer le transfert des particules contaminées dans les bassins versants de la région. Les résultats des quatre premières campagnes confirment le rôle important joué par les typhons dans la redistribution de la contamination sur le territoire.

Cette année, le LSCE a réalisé une synthèse des résultats paléomagnétiques et chronologiques obtenus sur des coulées de laves émises dans le Massif central pendant la dernière période glaciaire, caractérisée par des changements brutaux de climat. Certains isotopes présents dans ces laves fournissent des références temporelles du climat précises et indépendantes.

De telles données deviennent indispensables avec l'augmentation de la résolution temporelle des études climatiques.



Têtes de prélèvements pour l'analyse physico-chimique des gaz et aérosols, station d'Ersa dans le cap Corse.



Les panneaux photovoltaïques réalisés avec les colorants sans ruthénium élaborés à l'Inac recouvrent la façade du bâtiment de conférence de l'EPFL, à Lausanne. Une première !

Des modélisations toujours plus fines

Du côté des simulations, le LSCE a établi une nouvelle estimation du stockage de carbone par la biosphère à l'horizon 2100 en réanalysant les flux de carbone entre l'atmosphère, la biosphère continentale et les océans, sur une période de 20 ans (1990-2009). Toujours à l'horizon 2100, le projet Euro-Cordex, auquel collabore le LSCE, prévoit un accroissement sensible de la fréquence d'événements extrêmes (pluies intenses, vagues de chaleur, sécheresses). Ce résultat a été obtenu en analysant un ensemble de projections à haute résolution (12 km) du climat européen au XXI^e siècle. Enfin, le LSCE développe un nouveau modèle climatique basé sur le principe de la maximisation de la production d'entropie (MEP) qui postule que les grandes structures climatiques sont pilotées par la thermodynamique. Les premiers calculs sur des cas « simples » donnent des résultats comparables à ceux obtenus par d'autres modèles.

CONCEPTS INNOVANTS POUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE

Les enjeux sont de mener les recherches de base nécessaires à l'essor des énergies renouvelables, en particulier en améliorant la conversion et le stockage d'énergies, et d'explorer les possibilités de rupture technologique pouvant accroître la compétitivité des entreprises françaises. La conversion de l'énergie solaire est une composante importante de la transition énergétique. Dans le but d'améliorer le rendement des cellules photovoltaïques de la filière silicium à coût constant, des chercheurs de l'Iramis (Cimap) ont développé un procédé optimisant la couche antireflet. Celle-ci devient capable de convertir les photons les plus énergétiques ($> 3,8$ eV) en deux photons infrarouges, absorbés efficacement par la cellule.

Cellules de Grätzel et piles à combustible

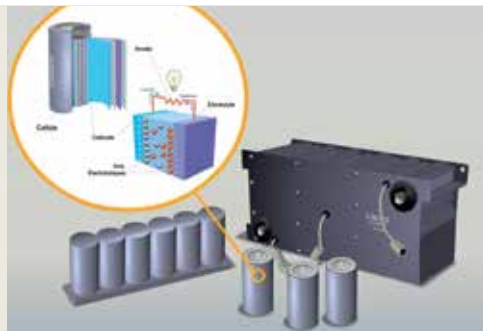
Avec un procédé original de nanostructuration des électrodes et de nouveaux colorants sans ruthénium, une équipe de l'Inac a développé de très prometteuses cellules à pigments photosensibles (cellules de Grätzel). Celles-ci sont très stables et affichent une efficacité d'absorption lumineuse double par rapport à leurs concurrentes et un rendement de conversion de plus de 10 %. Une PME marseillaise, KaironKem, s'est lancée dans leur production, de même que la PME Solaronix impliquée dans un projet architectural innovant. Elle a, en effet, choisi le colorant organique orange du CEA pour recouvrir, avec d'autres colorants, la façade du Palais des

congrès de l'École polytechnique fédérale de Lausanne.

Un autre dispositif de conversion énergétique émergent est la pile à combustible. Que se passe-t-il dans la mince couche de polymère composant de l'électrode ? Ce point clé a été modélisé par des physiciens de l'Inac, montrant que, dans ce film de cinq nanomètres d'épaisseur, l'eau est répartie de manière hétérogène.



Contrôle d'épaisseur sur électrode en cours de calandrage.

RECHERCHE FONDAMENTALE
SUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE

Le supercondensateur est un moyen de stocker l'énergie sous forme électrostatique. Il est constitué de deux électrodes poreuses, généralement en carbone activé, plongées dans un électrolyte liquide et séparées par un séparateur laissant circuler les ions mais pas les électrons.

Batteries et supercondensateurs

En ce qui concerne le stockage de l'électricité, les électrodes des batteries Li-ion, qui contiennent des nanoparticules de silicium capables de stocker dix fois plus d'énergie, ont l'inconvénient de se dégrader très vite au contact du lithium. Pour y remédier, deux « enrobages » carbonés de ces particules ont été testés avec succès à l'Inac et à l'Iramis.

Autre système de stockage : les supercondensateurs sont étudiés par différentes équipes de l'Inac et de l'Iramis (voir aussi page 43). Des revêtements d'électrodes nanostructurés - nanofils de silicium à l'Inac et nanotubes de carbone alignés à l'Iramis - améliorent en particulier leurs performances.

Combinaison de la puissance des supercondensateurs avec l'énergie des batteries ? Des équipes de l'Inac ont développé un « pseudo-supercondensateur » qui pourrait relever ce défi. Cet hybride cumule l'excellent comportement vis-à-vis des cycles de charge/décharge d'un supercondensateur à

nanofils de silicium et sa capacité électrique est accrue de deux ordres de grandeur grâce au dépôt d'un polymère conducteur d'électrons sur les nanofils.

La technologie des « tapis » de nanotubes de carbone alignés de l'Iramis est, quant à elle, valorisée par une start-up créée en 2013, NaWaTechnologies, pour produire un objet beaucoup plus petit et rapide à charger qu'une batterie et dix fois plus puissant qu'un condensateur ordinaire. Sont ciblés les réseaux électriques, les véhicules électriques, l'aéronautique et les téléphones mobiles.

**CHIMIE ET INTERACTIONS
RAYONNEMENT-MATIÈRE**

Au sein d'unités mixtes, le CEA mène avec ses partenaires académiques des recherches de base sur les propriétés de la matière et ses interactions avec les rayonnements. Ces études concernent principalement la durabilité des matériaux, la chimie sous irradiation (radiolyse), la chimie séparative et des actinides. Elles apportent des connaissances fondamentales pour le nucléaire civil, en particulier le cycle du combustible. Elles ont également de nombreuses retombées dans le domaine de la catalyse, le recyclage des métaux stratégiques et les sciences du vivant.

Des chercheurs de l'Iramis (Cimap) ont pu retracer la genèse de l'endommagement de matériaux optiques soumis à un flux lumineux excessif. Mieux compris, le « claquage optique » pourrait être exploité pour le façonnage de composants optiques ou la chirurgie de la cornée.

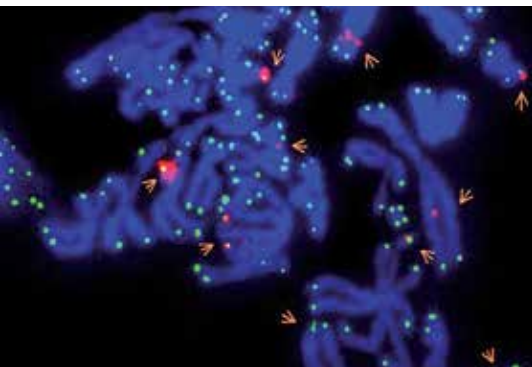
Vésicules, émulsions et cages moléculaires

Des vésicules, dont la membrane est formée par l'assemblage de copolymères diblocs (polymersomes), peuvent se déformer sous l'effet des contraintes intenses subies lors d'un choc osmotique. Dans certains cas, il en résulte des vésicules à double paroi. Ces effets ont été largement explorés à l'Iramis, car la forme des vésicules joue un rôle essentiel aussi bien dans la distribution d'une substance à l'intérieur de l'organisme que dans le transport de molécules dans la cellule (endocytose).

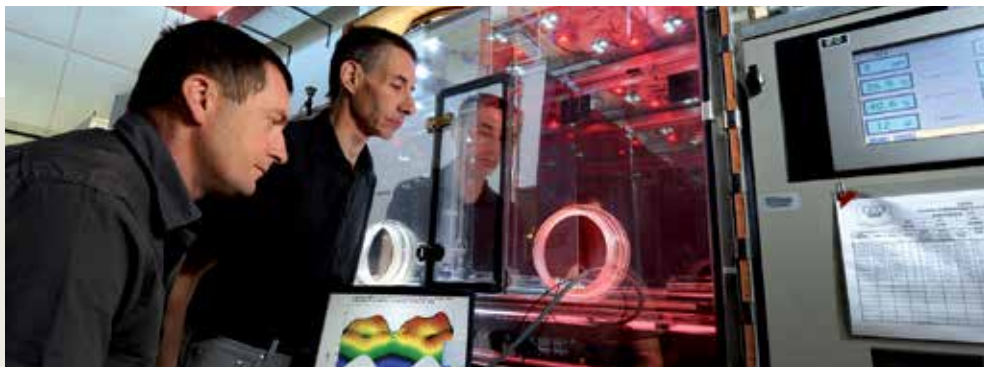
Les mélanges microstructurés de deux liquides immiscibles constituent un enjeu pour la pharmacie et l'agroalimentaire. Un travail de recherche commun à l'Iramis et l'ESPCI montre que de nouveaux copolymères diblocs permettent de former en une seule étape de telles émulsions et de les stabiliser pendant plusieurs mois. Les métallacarboranes, enfin, sont des « cages » moléculaires aux propriétés tensioactives remarquables qui pourraient être utilisées à terme comme vecteurs thérapeutiques. Des physico-chimistes de l'Institut de chimie séparative de Marcoule viennent de découvrir comment ces structures s'assemblent dans l'eau à la manière des cristaux liquides.

**D'où viennent les molécules observées sur les lunes de Jupiter ?**

Des molécules simples comme l'acide sulfurique ont pu être formées dans les glaces affleurant sur les lunes de Jupiter, par irradiation d'ions de faible énergie. C'est ce que suggèrent des expériences d'implantation ionique sur des glaces, réalisées par des chercheurs de l'Iramis au Ganil, en collaboration avec l'Institut d'astrophysique de Catane. D'autres molécules comme le dioxyde de carbone auraient une origine endogène, liée au volcanisme des lunes.



Les effets du plomb sur les chromosomes (bleu) et leurs télomères (vert).



Dans une des seize chambres installées, les chercheurs mesurent les effets biologiques de polluants environnementaux et étudient la photosynthèse.

TOXICOLOGIE

Les recherches portent sur les effets toxiques pour la santé et l'environnement des éléments utilisés dans l'industrie nucléaire ou issus des technologies nucléaires. Le CEA, dont l'expertise est reconnue en toxicologie, est également sollicité dans les domaines des toxiques chimiques, des risques liés aux nouveaux matériaux et aux « éléments-traces métalliques », nouvelle terminologie pour les métaux lourds. Un programme transversal a pour objectif de stimuler et d'organiser l'approche pluridisciplinaire de l'impact biologique des activités nucléaires et des nouvelles technologies de l'énergie sur l'homme et son environnement.

Toxicologie nucléaire

L'accident de Fukushima a mis en exergue des besoins, tant en recherche que dans le soutien aux interventions et aux missions d'expertise. Le CEA participe aux projets Indira et Priodac financés par le Programme investissements d'avenir. Indira a pour ambition de caractériser les profils de radiosensibilité des intervenants sur accident nucléaire. Priodac propose de déterminer les modalités d'administrations répétées d'iode stable en situation de rejets radioactifs chroniques et d'évaluer les effets physiologiques indésirables de ce traitement. Le projet utilisera les nouvelles connaissances acquises pour mettre au point des stratégies innovantes de protection contre des expositions répétées aux iodes radioactifs, également adaptées aux personnes ayant été préalablement contaminées. Anticiper les effets biologiques des nouvelles

technologies du nucléaire est également de la responsabilité du CEA. Par exemple, dans le réacteur de fusion ITER, l'interaction des matériaux de l'enceinte avec le plasma provoquera la formation de poussières de tungstène chargées en tritium qui, malgré des filtres de haute efficacité, pourraient se disperser dans l'environnement immédiat et être inhalées par les personnels lors des maintenances. Le projet Tuntox, lancé en 2013, a pour but d'évaluer les impacts de ces poussières sur un modèle cellulaire de poumon humain.

Toxicologie environnementale

Au CEA, le périmètre de recherche en toxicologie dépasse le champ du nucléaire. Des équipes se penchent notamment sur la toxicité des éléments-traces métalliques et des nanoparticules. Leurs travaux ont par exemple donné un nouvel éclairage sur la compréhension des mécanismes de l'empoisonnement au plomb, responsable du saturnisme. Les chercheurs ont démontré que le plomb induit une dégradation des télomères, à l'extrémité des chromosomes, pouvant expliquer sa neurotoxicité. D'autres travaux récents sur la toxicité du cadmium ont permis d'identifier une cascade d'événements moléculaires qui bloque la synthèse des ARN ribosomiaux, stoppant celle des protéines.

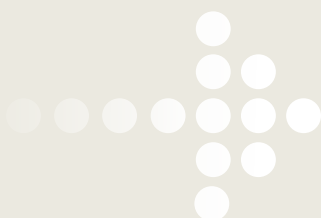


Un test-bandelette rapide pour contrôler les fruits de mer

En collaboration avec l'Ifremer, le CEA a développé un test de type bandelette, rapide (15 min) et simple d'utilisation, pour détecter la microalgue toxique *Alexandrium minutum* présente dans les coquillages de consommation. Anova-Plus, jeune société incubée à Genopole, a été retenue pour réaliser les étapes d'optimisation et de validation. La commercialisation est prévue à l'horizon 2015.



Alexandrium minutum.

RECHERCHE FONDAMENTALE
SUR LES ÉNERGIES BAS CARBONE**Plantes, algues et bactéries au service de la bioremédiation**

Décontaminer des milieux pollués au moyen de techniques combinant biotechnologies et génie chimique fait partie des expertises du CEA, tant pour les terrains contaminés par des radionucléides que pour les pollutions par des éléments-traces métalliques ou des molécules organiques persistantes. Le secteur est en renouvellement, cherchant à exploiter les connaissances fondamentales et le savoir-faire en procédé accumulés par les équipes du CEA.

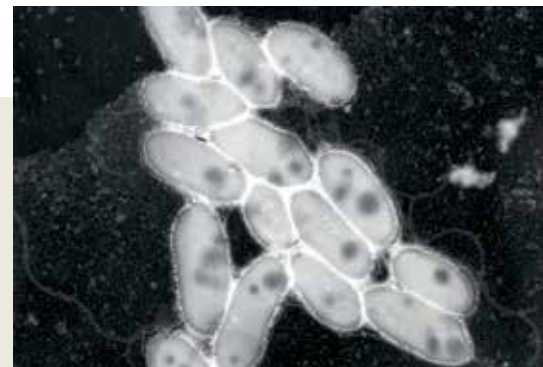
Dans le domaine nucléaire...

L'année 2013 a permis de confirmer le potentiel de *Coccomyxa actinabiotis*, une microalgue exceptionnellement radiotolérante isolée dans une piscine nucléaire, pour concentrer très efficacement les radionucléides. Les chercheurs souhaitent évidemment décrypter les fonctions biochimiques et génétiques en jeu. En parallèle, un bioréacteur pilote pour la décontamination

d'effluents radioactifs liquides a été évalué. Autres travaux sur la bioremédiation, le projet Calumo cherche à développer des peptides présentant une très forte affinité pour l'uranyle et une haute sélectivité uranium/calcium et susceptibles d'être inclus dans un support filtrant. Le projet a abouti en 2013 au dépôt d'un brevet couvrant les applications d'une des protéines étudiées en biodétection et bioremédiation de l'uranyle.

... et pour d'autres polluants environnementaux

Pour la première fois, des chercheurs du CEA obtiennent un financement du programme européen « Life + » issu de la directive européenne sur l'eau. Le projet Life-Phytobarre doit démontrer l'efficacité d'un système, innovant et peu coûteux, de traitement des effluents phytopharmaceutiques par une association de bactéries photosynthétiques. Le projet, en plus du développement biologique, inclut des études sur l'acceptabilité sociétale d'une telle

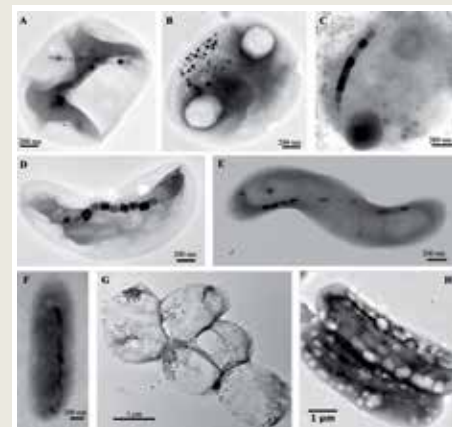


Spingomonas wittichii sait dégrader les dioxines.

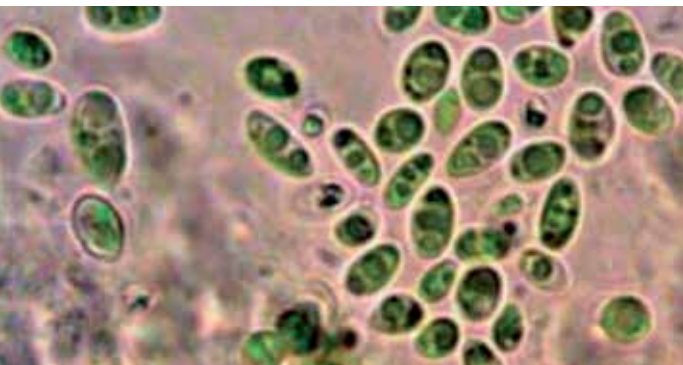
approche, ainsi qu'une sensibilisation à l'impact environnemental de l'utilisation de pesticides. Il doit mener à l'implantation de nouveaux usages dans les communautés agricoles. Autre exemple, les chercheurs du CEA ont montré le potentiel de la bactérie *Spingomonas wittichii* pour dégrader les dioxines, des composés hautement cancérigènes disséminés par les procédés industriels. Il reste maintenant à lever les verrous pour une éventuelle application industrielle. Autre avancée de l'année 2013, une nouvelle bactérie, magnétotactique a été caractérisée. Pouvant être équipée d'une enzyme qui dégrade des agents polluants, cette bactérie pourrait servir à traiter des effluents avant d'être récupérée du milieu par simple aimantation.

**Projet DEMETERRES...**

... pour « Développement de méthodes bio- et écotecnologiques pour la remédiation raisonnée des effluents et des sols » en appui à une stratégie de réhabilitation postaccidentelle. Le projet, labellisé par le programme Investissements d'avenir, a pour ambition de développer un ensemble de technologies innovantes de bioremédiation des sols et des effluents contaminés, sélectives des radionucléides (principalement césium et strontium), non intrusives et optimisées en matière de déchets secondaires. Il associe plusieurs industriels dont Areva et Veolia.



Diversité morphologique des bactéries magnétotactiques et de leurs magnétosomes.



La microalgue *Coccomyxa actinabiotis* concentre les radionucléides.



Le plateau technique d'irradiation permet d'étudier les effets des rayonnements ionisants sur le vivant.

RADIOBIOLOGIE

La radiobiologie, étude des effets biologiques des rayonnements ionisants, constitue un enjeu de santé publique tant pour prédire les conséquences d'une irradiation ou d'une contamination, que pour définir les moyens de se préserver des effets délétères de certains rayonnements. Elle est un apport primordial à l'évolution de la radioprotection et de la radiothérapie.

Comprendre les mécanismes de réparation de l'ADN

L'étude des mécanismes de réparation des dommages de l'ADN, en réponse aux rayonnements ionisants, la prise en compte de la sensibilité de chaque individu aux rayonnements et la connaissance des processus de cancérogénèse sont au cœur des recherches. Ces travaux doivent permettre non seulement de participer à définir les conditions de sécurité du nucléaire, mais aussi de collaborer avec l'ensemble du monde médical à la recherche des mécanismes de cancérogénèse et de traitements efficaces du cancer.

Les chercheurs du CEA ont, en 2013, pu suivre en microscopie la localisation au cours du temps dans les cellules humaines des protéines impliquées dans la réparation des lésions de l'ADN. Ils ont également précisé le rôle de certaines protéines capables de prémunir les cellules contre les erreurs de réparation des cassures simple et double brins responsables d'échanges réciproques de fragments de chromosomes et pouvant être à l'origine de cancers.

L'étude de la réparation des lésions de l'ADN amène également des éléments importants pour appréhender les liens entre processus de mort cellulaire, accumulation de mutations et évolution vers la cancérisation. Une équipe a ainsi mis en évidence un nouveau processus de réparation des lésions induites par les UV, conservé des bactéries aux mammifères non placentaires. Celui-ci ouvrirait des perspectives originales pour le traitement de pathologies telles que *xeroderma pigmentosum*.

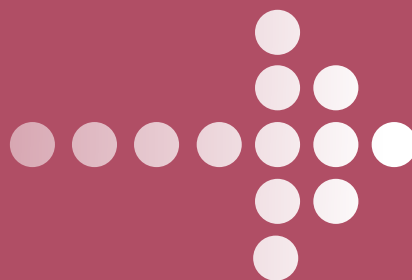
Utiliser les connaissances pour traiter les patients

Les connaissances acquises au CEA dans le domaine de la radiobiologie permettent de participer aux avancées médicales, dans le domaine des radiothérapies pour le traitement du cancer, et pour l'évaluation de la radiosensibilité individuelle.

L'efficacité des radiothérapies est renforcée par le chauffage localisé pour certaines tumeurs. Une équipe a pu expliquer comment l'hyperthermie diminue la survie des cellules cancéreuses irradiées par le biais d'une inhibition sélective d'une des voies de réparation de l'ADN. Tous les individus ne présentent pas la même radiosensibilité. De nombreux travaux portent donc sur la compréhension de cette inégalité. Le projet Indira, subventionné à partir de 2013 par le programme de « Recherche en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection » (RSNR) du programme Investissements d'avenir, est destiné

à mettre au point un test rapide pour l'évaluation de la radiosensibilité individuelle. Appliqué à une cohorte de volontaires sains, ce test permettra d'isoler une population très radiosensible et de caractériser dans ce groupe les facteurs génétiques et épigénétiques responsables de cette sensibilité.

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE ET RECHERCHES DE BASE ASSOCIÉES



Temps forts 2013



Airix : démarrage conforme de l'injecteur

L'injecteur d'Airix, remonté à Valduc après son transfert depuis le Polygone d'expérimentation de Moronvilliers, a redémarré courant octobre 2013 avec succès. Cette opération a conduit à la génération d'une série de faisceaux d'électrons de 3,8 MeV, énergie nominale en sortie de l'injecteur. Cette étape fondamentale, après le remontage complet de la machine, est l'une de celles qui permettront de valider la remise en service d'Airix dans Epure. Elle a été menée dans le calendrier prévu depuis le début du projet.

Mettre la science
et la technique
au service
de la Défense
et de la sécurité
globale.



Partie centrale de la machine Sphinx.



Visite du ministre de la Défense à Bruyères-le-Châtel

Le ministre de la Défense, Jean-Yves Le Drian, s'est rendu sur le centre DAM Île-de-France pour une présentation des activités de la Direction des applications militaires (DAM) le 31 janvier 2013. Il a été accueilli par l'Administrateur général du CEA, le Directeur des applications militaires et le Directeur du centre. Après la présentation des principales missions de la DAM en lien avec l'actualité, le ministre a pris la parole devant plus de 500 salariés du site, soulignant l'engagement total du personnel pour la mission de dissuasion nucléaire. Il a rappelé que cette dernière, dans la plénitude de ses deux composantes, est un choix intangible du gouvernement français.

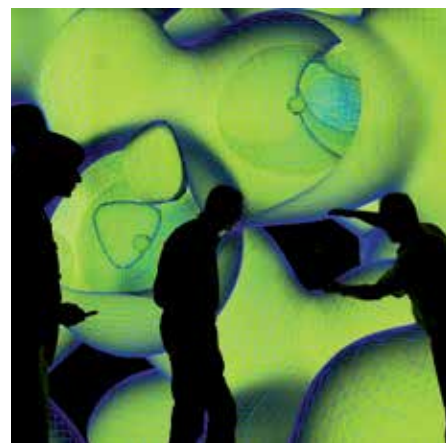
Lancement du projet Lavoisier

Le 22 octobre 2013, le président du conseil régional de la Région Centre et l'Administrateur général du CEA ont signé, au Ripault, la convention-cadre du projet Lavoisier, en présence notamment du Directeur des applications militaires. Sur la période 2013-2020, l'objectif de ce projet est de rassembler les conditions de la croissance d'une économie des énergies bas carbone en renforçant les collaborations académiques et industrielles, couvrant l'ensemble du spectre s'étendant de la recherche au transfert de technologie. Le projet Lavoisier disposera, à terme, de quatre pôles : transfert de technologie (l'ancienne plateforme AlHyance), sécurité des matériaux et systèmes, recherche, ingénierie & formation.

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE

Acteur de la dissuasion nucléaire et de la sécurité nationale, la Direction des applications militaires (DAM), pôle Défense du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces océaniques et aéroportées françaises. La DAM en garantit la sûreté, la fiabilité et les performances tout au long de la durée de vie du système d'arme. La DAM est chargée de la conception et de l'entretien des réacteurs nucléaires, assurant la propulsion des bâtiments de la Marine nationale, sous-marins et porte-avions. Elle est également responsable de l'approvisionnement des matières nucléaires pour les besoins de la Défense. Le suivi de l'impact sur l'environnement de ses activités fait l'objet d'une attention soutenue.

Dans un monde en profonde mutation, le CEA contribue à la sécurité à travers l'appui technique qu'il apporte aux autorités, pour les questions de désarmement, de lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme. La défense conventionnelle constitue également une mission de la DAM. Pour mener à bien l'ensemble de ces missions, la DAM est responsable des études scientifiques et technologiques de base, ciblées sur les programmes dont elle a la charge.



Mur d'images de Bruyères-le-Châtel utilisé pour le programme Simulation.



Le sous-marin nucléaire lanceur d'engins nouvelle génération, *Le Téméraire*.

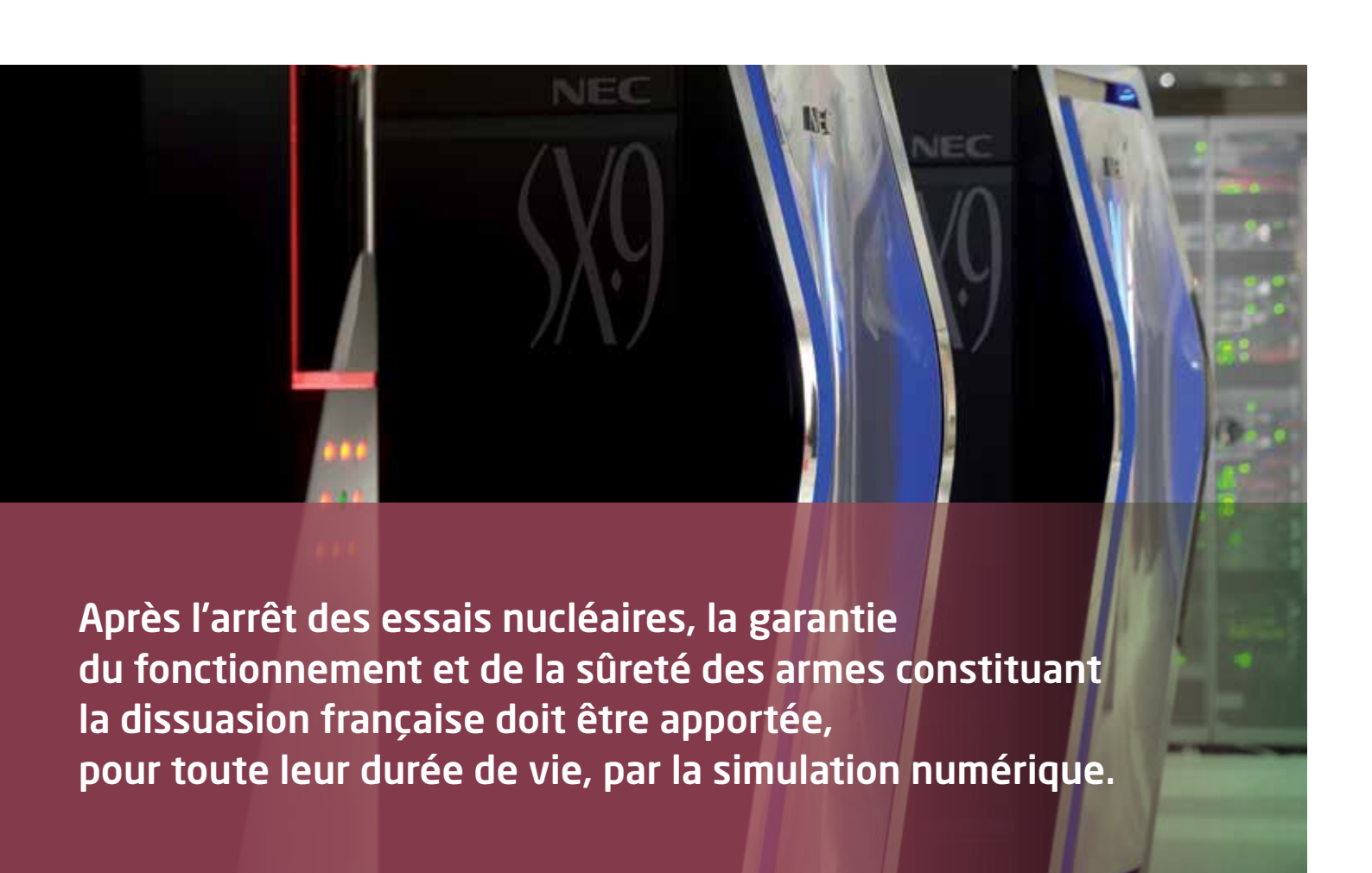
LES TÊTES NUCLÉAIRES

Les têtes nucléaires océaniques TNO équiperont les missiles stratégiques M51 à partir de 2016. Le lancement de la phase de production de la TNO a été décidé le 11 septembre 2013. La qualification provisoire de cette tête nucléaire s'est déroulée sur la base opérationnelle de l'île Longue du 30 septembre au 18 octobre 2013. Les têtes nucléaires aéroportées TN81 ont toutes été retirées du service en 2011. Elles sont remplacées par les TNA, associées au missile air-sol moyenne portée amélioré (ASMPA). Les TNA sont les premières armes thermonucléaires au monde à être conçues et garanties uniquement *via* la simulation.

LE PROGRAMME SIMULATION

Les têtes nucléaires, appelées à remplacer les armes en service lorsqu'elles arrivent en fin de vie, sont garanties sans nouveaux essais nucléaires. Le programme Simulation a été lancé en 1996 pour répondre à cet objectif de garantie de leur fiabilité, de leur sûreté et de leurs performances. À ce jour, la garantie de ces charges nucléaires s'appuie sur trois volets :

- le concept des charges robustes, dont le principe a été testé avec succès lors de l'ultime campagne d'essais en 1995-1996 ;
- la validation par la simulation des écarts imposés par la « militarisation » entre les formules expérimentées et ces charges nucléaires, ou des écarts susceptibles d'apparaître au cours de la vie opérationnelle de ces armes ;
- la certification de nouvelles équipes chargées de garantir le bon fonctionnement des armes.



Après l'arrêt des essais nucléaires, la garantie du fonctionnement et de la sûreté des armes constituant la dissuasion française doit être apportée, pour toute leur durée de vie, par la simulation numérique.

Le Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) est une des composantes du complexe de calcul scientifique du CEA (Centre CEA DAM Île-de-France).

Le programme Simulation repose sur de grands équipements indispensables pour mettre en œuvre et valider les modèles numériques de fonctionnement des armes nucléaires : supercalculateurs, machine radiographique, laser Mégajoule.

Standard de garantie

Un des outils essentiels de ce programme est le standard de garantie constitué d'une chaîne de logiciels reproduisant les différentes phases de fonctionnement d'une arme nucléaire. Sa mise en œuvre nécessite l'enchaînement de modèles physiques prédictifs mis au point dans le cadre d'études scientifiques et technologiques et le déploiement de puissants moyens de calcul. Le supercalculateur Tera 100, installé sur le centre DAM Île-de-France, est pleinement opérationnel au profit des concepteurs d'armes. Depuis début 2011, Tera 100 est employé avec les standards de garantie des différentes fonctions de la tête pour l'homologation de la future charge nucléaire TNO. Il est également utilisé depuis début 2013 pour mettre au point les futurs standards de garantie.

La validation du standard est obtenue en confrontant les prédictions du standard aux mesures recueillies lors des essais nucléaires passés et aux expériences de validation par partie réalisées sur la Ligne d'intégration laser (LIL, prototype du LMJ) aujourd'hui, sur les installations LMJ et Epure à partir de 2014.

Epure, installation radiographique et hydrodynamique

Dans le cadre du traité de défense franco-britannique signé à Londres en novembre 2010, le président de la République française et le Premier Ministre britannique ont signé un traité relatif au partage d'installations radiographiques et hydrodynamiques. Cette décision se traduit par la construction et l'exploitation d'une installation radiographique et hydrodynamique en France, Epure, sur le centre de Valduc, et d'une installation pour des développements technologiques au sein du *Technology Development Center* (TDC) sur le centre de l'*Atomic Weapons Establishment* (AWE) à Aldermaston, au Royaume-Uni.

La machine de radiographie Airix, qui était installée depuis fin 1999 au Polygone d'expérimentation de Moronvilliers (PEM) en Champagne-Ardenne, a été complètement démontée et transférée dans l'installation Epure à Valduc.

L'injecteur d'Airix a redémarré avec succès en octobre 2013, il constitue le premier axe de mesure radiographique de cette installation. En cours de construction à Valduc, elle sera opérationnelle courant 2014. Dotée à terme de trois axes radiographiques de forte puissance, elle permettra de mesurer, avec la plus grande précision, l'état et le comportement des matériaux qui constituent les armes, dans les conditions de température et pression extrêmes rencontrées durant la phase hydrodynamique de fonctionnement de l'arme. Les technologies nécessaires au fonctionnement d'Epure seront développées au TDC.

Les lasers de puissance

Le laser Mégajoule (LMJ), indispensable pour simuler la phase de fonctionnement nucléaire de l'arme, est en cours de construction au centre CEA du Cesta, près de Bordeaux, en vue de réaliser les premières expériences fin 2014.

Le projet avance comme prévu, comme en témoignent les différentes étapes franchies au cours de l'année écoulée.

En février 2013 a été lancé le développement du logiciel Parc, sous-ensemble de la supervision, qui permettra de prédire de manière automatique les réglages des chaînes laser afin que celles-ci délivrent, sur cible, une impulsion conforme à la demande des physiciens.

Les quatre premiers faisceaux de la section amplificatrice du LMJ ont été simultanément et automatiquement alignés courant avril 2013, puis corrigés de leurs aberrations géométriques.

Le dernier module du banc d'énergie de la première chaîne a été assemblé courant juin 2013. La dernière infrastructure de la SAHA (Section amplificatrice hors amplificateur) a été montée fin juin sur la 22^e chaîne. Le montage des infrastructures s'est achevé dans le dernier hall laser. Ainsi, depuis le 1^{er} octobre 2007, les 462 infrastructures des 22 chaînes laser ont été montées et assemblées conformément au planning. Le premier essai pilote amplifié et mis en forme jusqu'à l'injection dans la chaîne d'amplification des quatre faisceaux de la première chaîne du LMJ s'est déroulé le 20 juin 2013. Il met en œuvre le pilote composé de la source laser et des deux modules de préamplification (MPA).

DÉFENSE ET SÉCURITÉ GLOBALE



À gauche : hall laser du LMJ. À droite : la chambre d'expériences du LMJ.

Une phase importante dans l'intégration des équipements de positionnement des cibles et des dispositifs de mesure dans la chambre d'expérience du laser Mégajoule a également été franchie en avril. Le dernier équipement « Référence commune », permettant l'alignement au centre tir des faisceaux laser et des dispositifs de mesure, a été installé dans la chambre d'expériences à l'extrémité du porte-référence. Dans le cadre du programme de développement des diagnostics expérimentaux du LMJ, pour la première fois, un projet de simulation numérique des tubes de caméra à balayage de fente a été mis en place afin d'en améliorer significativement les performances.

Les campagnes d'expériences sur la LIL ont été conduites en respectant le planning. Deux campagnes expérimentales de physique des armes achevées en février 2013 ont fait appel à des configurations expérimentales complexes et innovantes. Leur objectif est la validation des standards de garantie à travers l'étude de la propagation supersonique d'une onde radiative et la mise au point d'un nouveau schéma expérimental similaire à ceux envisagés pour les premières campagnes du LMJ.

OUVERTURE DES
MOYENS 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. Pour une partie de leur temps disponible, 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. L'Institut lasers et plasmas (ILP) a vocation à 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 labellisation en 2005 du pôle de compétitivité « Route des lasers » a renforcé la dynamique née autour de la construction du LMJ, en favorisant le développement industriel de la filière. Aujourd'hui, ce pôle regroupe 100 adhérents. Labellisé en 2007, le centre de ressources technologiques Alphanov constitue un acteur majeur en Région Aquitaine pour le transfert technologique dans le pôle.

L'Institut optique d'Aquitaine a été inauguré le 14 octobre 2013 sur le campus de l'université de Bordeaux, en présence notamment du président du conseil régional, porteur financier du projet et du directeur du Cesta qui est également président du pôle de compétitivité « Route des lasers ». Ce bâtiment, qui abritera différents acteurs du monde de l'éducation, de la recherche et du transfert de technologie, marque une nouvelle étape dans la volonté de développer un écosystème de la filière optique et laser dans la région.

Le projet Petal (Petawatt Aquitaine Laser), lancé en 2003 par la Région Aquitaine, le ministère de la Recherche et l'Union européenne consiste en la réalisation d'un laser de haute énergie et de haute



Bâtiment du laser Mégajoule au Cesta.

puissance, générant des impulsions de l'ordre du kJ durant 0,5 à 10 picosecondes et son couplage au laser Mégajoule (LMJ). L'année 2013 a notamment été marquée par l'alignement réussi de sa section amplificatrice début novembre. Sa mise en service est prévue pour fin 2015.

MOYENS DE CALCULS

Le Centre de calculs Défense, autour de Tera 100, est dédié exclusivement aux travaux de la DAM. Dans le domaine de la simulation numérique mettant en œuvre des calculateurs hautes performances de la classe du téraflopps, le CEA a mis en place, sur son site DAM Île-de-France, le pôle Ter@tec.

Depuis janvier 2013, le Centre de calcul recherche et technologie (CCRT) du centre CEA DAM Île-de-France accueille deux nouveaux partenaires : L'Oréal Recherche & Innovation et Thalès Systèmes Aéroportés. Ils rejoignent le groupe Safran, EDF, Areva, Valeo, Ineris et le CEA¹ et confirment l'intérêt des industriels pour ce type de structure, alliant accès à de la puissance de calcul, expertise technique et échanges scientifiques. La capacité de calcul du calculateur



Le supercalculateur Tera 100 implanté sur le site CEA DAM Île-de-France.



Sous-marin nucléaire d'attaque.



Vue du chantier de construction du RES.

Airain, mis en production fin 2012, a atteint 400 téraflops. Depuis avril 2013, les premières données en provenance de l'Institut de génomique de la Direction des sciences du vivant du CEA arrivent sur la plateforme centralisée installée au CCRT, pour héberger et traiter les données du projet national France Génomique². Le CCRT a célébré le 5 décembre 2013, à Bruyères-le-Châtel, dix années de partenariat entre le CEA et l'industrie. Le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC) accueille la machine européenne Curie de puissance pétaflopique acquise par Genci (Grand équipement national de calcul intensif) dans le cadre du partenariat européen Prace (*Partenariat for Advanced Computing in Europe*) et avec le soutien financier du conseil général de l'Essonne.

LA PROPULSION NUCLÉAIRE

La DAM est responsable de la maîtrise d'ouvrage pour la conception, le développement et la réalisation des chaufferies nucléaires des bâtiments de la Marine nationale, ainsi que pour les cœurs équipant les chaufferies embarquées. La flotte des bâtiments à propulsion nucléaire de la Marine nationale représente douze chaufferies nucléaires en exploitation. Elle est composée du porte-avions Charles de Gaulle, de six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) et de quatre sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération (SNLE NG). Le programme Barracuda, qui vise à remplacer les six SNA type *Rubis* par six nouveaux sous-marins, se poursuit. Trois sous-marins sont actuellement en cours de construction à différents stades d'avancement. Le premier, le *Suffren*, a franchi un jalon majeur avec l'embarquement du module

réacteur en 2012 dans le tronçon de coque puis sa fermeture. Cela a permis de lancer les opérations d'achèvement préalables à la réalisation des essais en inactif avant chargement du premier cœur début 2016. La fabrication des deux autres réacteurs s'est poursuivie en 2013. Le montage du module réacteur du SNA *Duguay-Trouin* a démarré en 2013 à DCNS Nantes/Indret, avant sa livraison à Cherbourg. La fabrication des principales capacités de la chaufferie du SNA le *Tourville* s'est poursuivie.

À Cadarache, le programme RES suit son cours. Il a pour objectif la construction d'un réacteur nucléaire à terre sur le site de l'Installation nucléaire de base secrète Propulsion nucléaire (INBS-PN), représentatif des réacteurs embarqués sur les bâtiments de la Marine nationale, ainsi que d'une piscine d'entreposage de combustibles irradiés. Ce réacteur permettra de qualifier les combustibles nucléaires et les cœurs de la propulsion et d'en accroître les performances, grâce en particulier à l'expérience Hippocampe relative à la maîtrise du comportement du combustible sous irradiation. Le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense (DSND) a donné, le 2 avril 2013, l'autorisation de mise en actif du bloc N, extension du bâtiment de l'installation individuelle FSMC (Fabrication, stockage et montage des cœurs) de l'INBS-PN de Cadarache. Cette extension entre dans le cadre du projet 2PIR (Projet de prolongation de l'installation et

de rénovation) décidé par la DAM pour répondre aux demandes du DSND lors de la réévaluation de sûreté de cette installation.

DÉMANTÈLEMENT ET ASSAINISSEMENT DES INSTALLATIONS DE MATIÈRES FISSILES

Lancé immédiatement après leur arrêt, le programme de démantèlement et d'assainissement des installations de production de plutonium et d'uranium enrichi s'est poursuivi en 2013. Sur le site de Pierrelatte, les opérations de Cessation définitive d'exploitation (CDE) de l'usine de recyclage et d'élaboration (installation DAM exploitée par Areva NC) ont démarré début 2012. Ces opérations, qui vont se poursuivre jusqu'à mi-2016, ont pour objectif d'évacuer les matières nucléaires de l'installation. La CDE sera suivie du démantèlement et de l'assainissement final de l'installation, prévus sur 2016-2018. Débuté en 1997, le programme d'assainissement-démantèlement des installations nucléaires du centre DAM Île-de-France s'achèvera à l'horizon 2020. Le chantier de démantèlement de niveau 2 du sous-ensemble transurannique du bâtiment G de Bruyères-le-Châtel s'est achevé fin octobre 2013. Ces travaux portaient notamment sur la dépose de cuves, des anciens réseaux de ventilation, des armoires et câbles électriques ainsi que sur la réalisation d'un chantier pilote en vue de préparer la méthodologie de démantèlement de niveau 3. À Valduc, le nouveau bâtiment d'entreposage de déchets alpha va assurer, pour une cinquantaine d'années, l'entreposage intermédiaire en sûreté des colis de déchets produits par ses installations. Il permet également d'assurer la caractérisation radiologique de ces colis de déchets avant évacuation vers les stockages de surface de l'Andra.

Le transfert vers l'usine de retraitement de La Hague des combustibles usés des réacteurs Célestin, arrêtés fin 2009, se poursuit au rythme prévu.



Embarquement du module réacteur sur le *Suffren*.

¹ Au sein du CEA, ce sont les Directions des applications militaires, de l'énergie nucléaire, des sciences de la matière et des sciences du vivant.

² Née en 2011, l'infrastructure France Génomique vise à intégrer à l'échelon national les capacités d'analyse du génome et de traitement bioinformatique des données à haut débit ainsi générées, sous l'égide des quatre grands établissements de recherche français (CEA, CNRS, Inra et Inserm).



Lutte contre la prolifération et le terrorisme.



Centre national d'alerte aux tsunamis (Cenalt).

LUTTE CONTRE LA PROLIFÉRATION ET LE TERRORISME, SÉCURITÉ GLOBALE

En s'appuyant sur ses capacités techniques et scientifiques uniques dans les domaines nucléaires civil et militaire, le CEA contribue aux enjeux globaux de sécurité au travers de l'appui technique qu'il apporte aux autorités nationales et internationales pour les questions de désarmement, de sécurité, de lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme. Outre les moyens de détection qu'il exploite en propre pour informer les autorités nationales en cas d'essai nucléaire, le CEA assure la contribution française à la mise en œuvre des moyens de vérification du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (Tice), développés sous la responsabilité de l'Organisation du traité (Otice). Dans ce cadre, le CEA a développé un Système de prélèvement d'air automatique en ligne avec l'analyse des radioxénons (Spalax), qui permet de vérifier le caractère nucléaire d'un essai souterrain à partir de l'analyse des isotopes radioactifs du xénon éventuellement relâchés dans l'atmosphère. Après La Réunion, la Guyane et les îles Kerguelen, les stations gaz Spalax opérées par la France et installées en Mongolie et à Tahiti ont été certifiées fin juin et fin décembre 2013. La mise à jour des six stations radionucléides particules de l'Otice, dont la DAM a la responsabilité, s'est achevée en mars 2013. Ce travail est le résultat d'une collaboration entre le secrétariat technique provisoire de l'Otice et la DAM. Installées entre 2001 et 2005, leur mise à niveau était nécessaire afin de garantir les taux de disponibilité requis (95 %). Les moyens de détection sismiques mis en œuvre par le CEA participent aussi aux dispositifs d'alerte en cas de séisme ou de tsunami dont le CEA a la responsabilité dans un cadre national ou européen. Le Centre national d'alerte aux

tsunamis pour la région Méditerranée et Atlantique Nord-Est (Cenalt), opérationnel sur le centre DAM Île-de-France depuis 2012, a réalisé son premier exercice de crise en juillet 2013. Dans le domaine de la lutte contre la prolifération nucléaire, le CEA et le département des garanties de l'AIEA ont poursuivi leur collaboration au travers du Programme français de soutien aux garanties. Les développements permettant de mettre en évidence des indices liés aux activités du cycle du combustible (conversion, enrichissement, réacteur) se sont poursuivis avec des développements instrumentaux de laboratoire (amélioration des performances métrologiques, détection de traces d'explosifs, datation de matières nucléaires). Concernant la lutte contre le terrorisme, le CEA est à la fois acteur opérationnel et acteur de R&D. Dans le cadre du Détachement central interministériel (DCI), la DAM est un acteur majeur en cas de menace nucléaire radiologique. Les 8 et 9 octobre s'est déroulé, sur une base aérienne de Saint-Dizier, l'exercice national de sécurité nucléaire de l'armée de l'air Airnuc 2013.



Minibiocollecteur

Le biocollecteur de nanoparticules et d'agents biologiques Biodosi, développé par la Direction de la recherche technologique (Leti) et la Direction des sciences de la matière, dans le cadre du programme NRBC-E, est un mini-biocollecteur qui associe des performances de collecte élevées à une miniaturisation poussée. Ses caractéristiques sont adaptées à une utilisation comme biodosimètre personnel permettant un suivi de l'exposition aux agents de la menace NRBC-E.

Au cours du salon Milipol 2013 dédié à la sécurité intérieure des États (Paris, octobre 2013), le CEA et Bertin Technologies ont officialisé un accord de collaboration et une cession de licence du CEA vers Bertin Technologies pour ce dispositif.

Cet exercice annuel a pour objectif de tester l'organisation nationale de crise Défense et l'application des plans d'urgence de l'exploitant Défense et des pouvoirs publics. À cette occasion, la DAM a assuré l'expertise environnementale sous forme de diagnostic et de pronostic, de mesures et d'analyses environnementales ainsi que l'expertise et l'évacuation de la maquette représentative de l'arme accidentée.

Les actions conduites au sein du programme interministériel de R&D NRBC-E (Nucléaire, radiologique, biologique, chimique - explosifs), confié au CEA par les pouvoirs publics, ont permis des avancées significatives en matière de développement et de test de technologies de sécurité.

LA DÉFENSE CONVENTIONNELLE

Les activités liées à la mission de défense conventionnelle sont assurées principalement par le centre de Gramat. Elles ont pour objectif d'apporter une assistance à maîtrise d'ouvrage à la Direction générale de l'armement (DGA), en s'appuyant sur une expertise portant sur les effets des armements et sur la vulnérabilité des systèmes d'armes.

Structurées en deux domaines, les charges conventionnelles et les armes à énergie dirigée, ces activités sont conduites dans le cadre de la préparation de l'avenir, de l'acquisition d'équipements et d'un soutien aux forces armées. Les 10 et 11 septembre 2013, le Comité d'évaluation du Conseil scientifique de la DAM a mené une évaluation dans le domaine des charges conventionnelles. Elle avait pour objectif de mesurer le niveau scientifique atteint par le centre de Gramat et d'évaluer son projet scientifique et technique dans le domaine « chocs et détonation » relatifs aux effets des armements conventionnels. Le Comité a examiné la démarche proposée par le centre, qui donne une part importante à la simulation pour la maîtrise des effets des charges conventionnelles avec la recherche d'une adéquation entre les moyens expérimentaux, les capacités de modélisation des phénomènes physiques et les experts du centre. Le Comité a exprimé sa satisfaction quant à la qualité et à la rigueur des présentations et des échanges.

RECHERCHES DE BASE

LIL : MESURES DE
PROPAGATION DE CHOCS
RADIATIFS

Une campagne de mesures de propagation de chocs radiatifs créés par laser dans des gaz rares a été menée sur la Ligne d'intégration laser (LIL) au profit de chercheurs de l'Observatoire de Meudon et de l'École polytechnique. Les équipes de la DAM ont réalisé douze expériences, en collaboration avec les chercheurs académiques. Cette campagne est représentative de l'astrophysique de laboratoire, où l'on reproduit sur des lasers de puissance, et par l'intermédiaire de lois d'échelle, des phénomènes physiques qui interviennent dans l'évolution de l'Univers. Les variations paramétriques effectuées permettront d'enrichir la physique utilisée à l'Observatoire de Meudon pour les objets stellaires (supernovae, jets...).

FISSION DU MERCURE

Une équipe de physiciens de l'Irfu (Institut de recherches sur les lois fondamentales de l'Univers, Direction des sciences de la matière, Saclay) et de la DAM a réussi à expliquer, dans un même cadre théorique, la fission asymétrique des actinides et la transition entre fission asymétrique et symétrique des isotopes du mercure. Ils ont développé un modèle théorique appelé SPY (*Scission Point Yields*), permettant de prédire les caractéristiques des noyaux issus de la fission, que sont les fragments de fission. L'étude a montré que, malgré la complexité de l'évolution dynamique du noyau fissionnant, une analyse microscopique du point de scission, c'est-à-dire de la configuration où les deux fragments viennent de se former, est capable de rendre compte du caractère symétrique ou asymétrique du partage de masse entre les deux fragments. Ces travaux ont fait l'objet d'un article publié dans *Physical Review C*.

SIMULATIONS 3D
POUR SOURCES TÉRAHERTZ
INTENSES

Une équipe de la DAM et des instituts allemands Max Planck (Dresde), Max Born et Weierstrass (Berlin) a réalisé les premières simulations numériques 3D pour des sources térahertz intenses. Elles permettent d'extraire un rayonnement térahertz de deux impulsions laser femtosecondes opérant à différentes longueurs d'onde et formant des filaments optiques sur de grandes distances dans un gaz d'argon. Ces calculs ont permis d'identifier l'origine du rayonnement térahertz et de prédire ses signatures spectrales qui pourront être exploitées dans des expériences futures. Ce travail a fait l'objet d'un article dans *Physical Review Letters*.

LA TEMPÉRATURE
DU NOYAU DE LA TERRE
RÉÉVALUÉE

Une équipe de la DAM, de l'ESRF (Synchrotron européen de Grenoble) et du CNRS (Institut de minéralogie et de physique des milieux condensés) a déterminé la température près du centre de la Terre, à la frontière de son noyau de fer solide. Les chercheurs ont soumis un échantillon de micrograins de fer aux conditions extrêmes que l'on trouve dans le noyau terrestre, la zone la plus profonde de notre planète. En utilisant le faisceau de rayons X de l'ESRF, le plus brillant du monde, ils ont mesuré le point de fusion et, en confrontant cette propriété aux mesures réalisées par les sismologues, en ont déduit avec une bonne précision la température dans le noyau. Celui-ci se situe entre 3 800° C et 5 500° C suivant la profondeur. Ces résultats ont été publiés dans la revue *Science*.

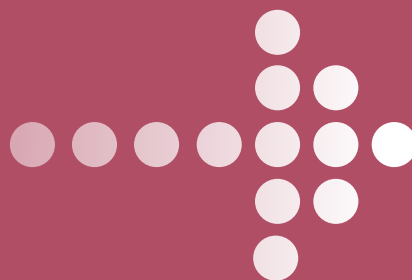
EXPERTISE DE MATÉRIAUX
ÉLECTROCHROMES PAR SIMS

Une équipe de la DAM vient de mener des expertises par Spectrométrie de masse à ions secondaires (SIMS) pour les besoins d'un programme d'études amont au profit de la DGA dans le domaine des matériaux électrochromes. Ces matériaux sont constitués d'un empilement de couches d'oxyde de tungstène et de tantale de quelques centaines de nanomètres. Les expertises réalisées par SIMS ont mis en évidence des phénomènes de diffusion atomique intercouches supposés responsables de la conduction électrique parasite observée au sein de ces matériaux.

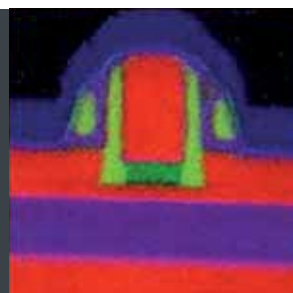
LES ONDES OBLIQUES
AU SECOURS
DES SATELLITES

Les satellites GPS, en orbite à 20 000 km d'altitude, sont soumis à des flux intenses d'électrons énergétiques (MeV) provenant des tempêtes solaires et piégés dans les ceintures de radiations entourant la Terre. Une étude conduite par la DAM, le Laboratoire de physique et de chimie de l'environnement et de l'espace (LPC2E, Orléans), le Space Research Institute (IKI) de Moscou, a mis en évidence l'importance des ondes naturelles obliques, dans l'accélération et surtout la disparition des électrons piégés. La dose déposée par les électrons sur les satellites est réduite par ces ondes. La variabilité de leur intensité avec l'activité solaire explique les variations observées par satellites. Cette étude a été publiée dans *Geophysical Research Letters*.

TECHNOLOGIES POUR L'INFORMATION ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES



Temps forts 2013



UTSOI 2, modèle compact FDSOI intégrant l'inversion face arrière

Développé par le CEA et STMicroelectronics, en alternative à la technologie Finfet d'Intel, la technologie FDSOI permet de combiner hautes performances et efficacité énergétique à un coût compétitif. Pour répondre à l'attente des concepteurs de circuits en technologie FDSOI qui exploitent la possibilité de polariser les transistors par la face arrière pour optimiser la consommation des circuits à vitesse donnée, le CEA-Leti (Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information) a développé le modèle compact unique UTSOI 2 qui élargit la plage de polarisations arrière. Le modèle UTSOI 2 permet désormais de couvrir des tensions de polarisation appliquées supérieures à 2-3 V, tel que le demandent les concepteurs et intègre tous les ingrédients physiques requis pour des technologies sub-20 nm.



Développer
et innover,
deux mots clés
de la recherche
technologique.

Inspection ultrasonore d'un rail.



Intégrer la photonique aux circuits CMOS

Le programme européen Helios, coordonné par le CEA-Leti, a développé une filière de conception et de fabrication à grande échelle de composants photoniques sur silicium, permettant d'intégrer une couche photonique sur un circuit CMOS en utilisant des procédés de fabrication microélectroniques. Il présente également des démonstrateurs complexes qui combinent différents éléments : sources optiques à haut rendement, modulateurs haute vitesse, photodétecteurs.

La photonique sur silicium est considérée comme cruciale pour le développement des télécommunications et des interconnexions optiques dans les circuits microélectroniques, car l'intégration de fonctions photoniques et électroniques sur une même puce présente des avantages en termes de coûts et de performances. Elle peut apporter des solutions peu onéreuses pour un grand nombre d'applications, telles que le traitement du signal optique, la détection optique et les applications biologiques.

Gerim 2, une plateforme ouverte très innovante

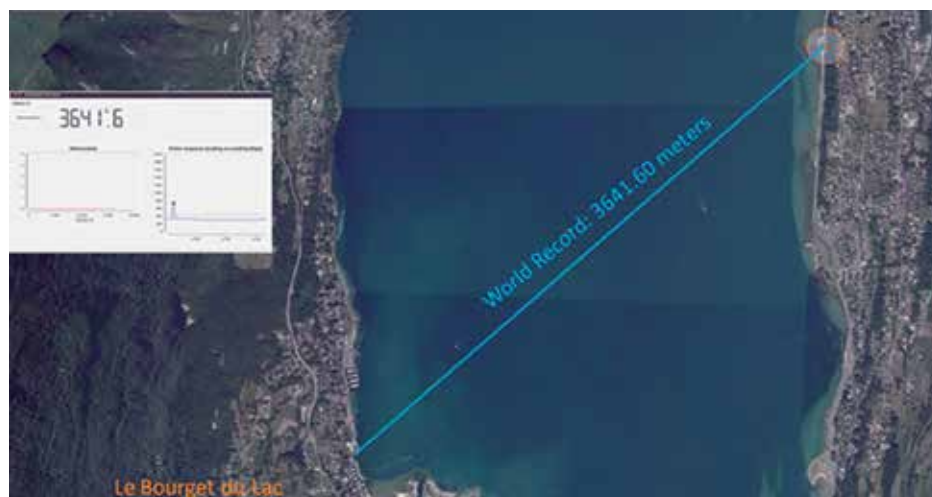
Après le succès de Gerim 1 en 2008, la plateforme de contrôle non destructif (CND) Gerim 2 est lancée sur le centre CEA de Saclay. Au sein du bâtiment Digiteo, elle fédère les principaux acteurs du contrôle non destructif, à la compétence reconnue en France et à l'international (laboratoires de recherche publics et industriels). Pour cela, elle intègre des équipements performants (capteurs électromagnétiques, sigmascope, permascope, outils de simulation, dont le logiciel Civa développé par le CEA-List...) pour innover sur les procédés. Elle pourra ainsi soutenir une recherche scientifique de haut niveau en couvrant de larges spectres de CND : contrôle ultrasonore sans contact, imagerie ultrasonore adaptative, imagerie magnétique haute résolution, tomographie X robotisée multirésolution...

MICRO ET NANOTECHNOLOGIES

Au CEA, le Leti concentre son activité sur les micro et nanotechnologies et leurs applications aux systèmes et composants de communication sans fil, à la biologie et la santé, à l'imagerie, et aux micro-nano systèmes. Le List est centré sur les systèmes numériques intelligents. Du matériel au logiciel, de l'information à la connaissance, ses technologies visent à concevoir des systèmes au croisement des mondes réel et numérique. Interactifs et embarqués, ces systèmes intègrent des capteurs innovants et des dispositifs de traitement de l'information.

Record du monde de géolocalisation à distance

Une puce électronique, mise au point par le CEA-Leti et BeSpoon, société de design en semi-conducteurs, a établi le record du monde de géolocalisation à distance, avec plus de 3 km (3 641 m) dans le cadre d'une utilisation en situation d'urgence. Accolée à un objet, elle indique sa position à l'intérieur d'un bâtiment, à quelques centimètres près et ce, grâce à un circuit intégré IR-UWB, intégré en technologie CMOS, qui communique *via* une application smartphone au moyen d'impulsions radio très brèves. Leur temps de propagation est mesuré avec une précision de 125 picosecondes, sans être perturbé par les murs ou le passage de personnes. Cela permet de calculer l'éloignement de l'objet jusqu'à plusieurs centaines de mètres. Cette collaboration entre BeSpoon et le Leti a permis de résoudre deux problèmes souvent associés à cette technologie : la difficulté de son intégration sur une seule puce et sa plage de fonctionnement jugée limitée.



Géolocalisation.

Réduire les coûts de fabrication des circuits intégrés

Les programmes Ideal et Imagine du CEA-Leti proposent des solutions de lithographie très compétitives pour élargir la lithographie 193 nm par immersion jusqu'aux nœuds 1X (sub-20 nm) pour les niveaux critiques des contacts et des vias. En 2011, le Leti et Arkema ont lancé le programme Ideal pour développer une technique de lithographie basée sur des copolymères nanostructurés. Les matériaux et les procédés utilisés pour cette technique de lithographie auto-alignée (DSA) avaient été validés sur du 300 mm pour les nœuds technologiques 1X. Ideal repousse les limites de la lithographie optique conventionnelle pour réduire les coûts. Imagine est un programme de R&D en lithographie multifaisceau d'électrons réalisé en collaboration avec une douzaine de partenaires, et ayant pour objectif le développement d'une lithographie sans masque (ML2) à fort débit.



Visualisation 3D d'un réseau d'actine polymérisé à partir d'une microstructure représentant le logo du CEA.

Des connexions biologiques pour la micro-électronique

La micro-électronique fait appel à la biologie pour aller vers la 3D et dépasser une limite physique atteinte dans la miniaturisation. L'idée consiste à empiler les composants électroniques pour les densifier, en raccordant les différents plans par des filaments d'actine. Constitutifs du squelette des cellules, ces derniers s'assemblent et se désassemblent en permanence dans le corps humain. Les chercheurs peuvent aujourd'hui contrôler l'autoassemblage de ces filaments entre deux plaques de verre distantes de 30 microns et microstructurées avec un faisceau laser. Ces connexions sont ensuite métallisées avec des nanoparticules d'or, permettant le passage d'un courant électrique entre les deux surfaces.

Pour des antennes miniatures très directives...

Renforcer l'efficacité spectrale, réduire l'impact environnemental et apporter de nouvelles fonctionnalités aux objets communicants : voici ce que permettrait l'augmentation de la directivité des antennes électriquement petites. Ces antennes présentent jusqu'à aujourd'hui un rayonnement omnidirectionnel, approprié pour de nombreuses applications destinées aux objets communicants sans fil, notamment la RFID UHF, la télémétrie sans fil et la domotique.



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

Observation d'un masque pour la lithographie optique.

Grâce aux nouvelles technologies, le programme Socrate analyse les limites fondamentales des propriétés du rayonnement des antennes compactes et aborde d'une nouvelle façon les antennes superdirectives. Pendant ce projet estimé à trois ans, le CEA-Leti réalisera deux démonstrateurs pour développer des solutions dans la désignation et le suivi d'objets. Avec les partenaires, il réfléchira à la manière dont la forte miniaturisation de l'infrastructure matérielle pourra déboucher sur des nouvelles applications à grande échelle, dans le milieu industriel, la domotique, ainsi que dans les réseaux de capteurs sans fil.

Un système radio agile pour accéder au spectre en bande UHF

S'appuyer sur les bandes inutilisées des fréquences TV, pour une connexion sans fil très haut débit : tel est l'enjeu de la technologie TV White Space (TVWS). Dans ce cadre, le CEA-Leti et Fraunhofer proposent un démonstrateur d'émetteur radio flexible conforme. Il permet non seulement d'être agile en fréquence et en bandes mais aussi d'accéder à des canaux disjoints avec un modulateur unique.

Lancement réussi de la mission Swarm : et trois satellites d'un coup !

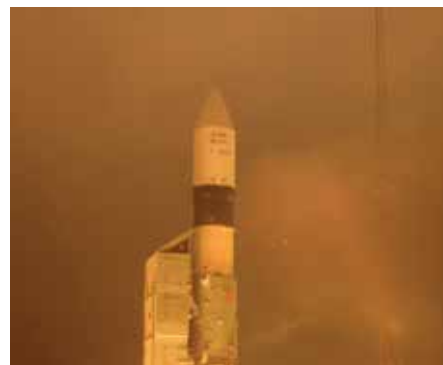
Les trois satellites qui composent la mission scientifique Swarm ont été lancés le 22 novembre 2013 avec succès depuis la base de Plessetsk (Russie).

Swarm (« essaim » en anglais) a pour objectif principal d'étudier les variations spatiales et temporelles du champ géomagnétique, ainsi que l'environnement ionosphérique (haute atmosphère) de la Terre. Embarquant à bord des instruments de mesure de pointe, les trois satellites vont être positionnés de façon à acquérir simultanément des mesures en trois localisations et heures locales différentes. Spécialement développés pour cette mission de l'Agence spatiale européenne (ESA), ils vont se placer en orbite à 460/530 km d'altitude. Chaque satellite est équipé de trois instruments de mesure dédiés à l'étude du champ magnétique terrestre :

- un magnétomètre vectoriel relatif, mesurant l'orientation du champ magnétique ;
- une caméra stellaire, restituant cette orientation dans l'espace ;
- un magnétomètre absolu, ou ASM (*Absolute Scalar Magnetometer*), permettant de mesurer l'intensité de ce champ sans dérive ni biais

(c'est-à-dire sans erreur systématique), avec une précision et une résolution inégalées. De plus, sa capacité unique au monde à simultanément mesurer la direction du champ sera aussi mise en œuvre en orbite à titre expérimental.

L'ASM est un magnétomètre spécialement conçu par le CEA-Leti, avec l'aide du CNES. Le développement de cet instrument a nécessité de l'adapter aux conditions de l'environnement spatial. L'IPGP (CNRS/université Paris Diderot), à l'initiative de cette mission avec le DTU danois et le GFZ allemand, va maintenant être chargé de la phase de validation scientifique des données fournies par les ASM, et participer à l'exploitation scientifique de cette mission, prévue pour durer quatre ans.



COMMUNICATION & OBJETS NOMADES



Optimisation énergétique d'un parc informatique.

Mieux utiliser ses équipements informatiques

Comprendre et optimiser les usages des ordinateurs est le mot d'ordre du projet Deskolo. Son objectif est de définir des tableaux de bord de la consommation énergétique pour mettre en œuvre des stratégies d'économie d'énergie (par exemple, planification d'allumage ou d'extinction). Pour cela, il a pu compter sur l'algorithme fourni par le CEA-List (Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies) : un capteur virtuel de consommation énergétique d'une machine, sans capteur externe type wattmètre...

La solution développée est fondée sur un modèle statistique permettant de calculer la consommation électrique comme une combinaison linéaire de différentes variables caractéristiques de l'état de la machine à un instant donné (activité du processeur, nombre de logiciels lancés, mémoire occupée, etc.). Associé à une version du système d'exploitation autonome Mandriva, un script générique apprend le modèle de consommation d'une catégorie de machines, en utilisant une référence de consommation connue et l'exporte sur les autres machines concernées du parc. L'interface dédiée permet à l'utilisateur d'analyser son comportement, via le stockage local de ses données, et de le modifier pour réduire sa consommation

énergétique. Deskolo interagit avec le serveur du parc informatique et lui envoie les paramètres de chaque usager afin de programmer les horaires de fonctionnement de chaque machine. Cette dernière fonctionnalité permet la réduction de la consommation énergétique du parc informatique dans sa globalité.

Premier démonstrateur de calculs sur données cryptées

Envoyer des données à un calculateur distant en utilisant un procédé de chiffrement pour qu'il puisse effectuer des calculs sans avoir à en déchiffrer les données, c'est l'enjeu d'un premier prototype de cryptocalcul développé par le CEA-List à partir d'un noyau mathématique et d'une infrastructure de compilation permettant d'exprimer des algorithmes de calcul de manière transparente et indépendante du cryptosystème. L'innovation repose sur des cryptosystèmes homomorphes de dernière génération, la mise en œuvre de techniques de compilation avancées et le recours au parallélisme. Le travail des chercheurs a permis d'améliorer les performances d'un facteur 100 par rapport à l'existant et de « crypto-exécuter » en temps raisonnable des algorithmes élémentaires.



Modélisation système avec Papyrus.

Transfert d'un outil *open source* vers Ericsson

Le marché en plein développement des télécommunications impose d'innover et de s'adapter avec des cycles très courts. Il est alors essentiel de disposer d'outils de production du logiciel embarqué efficaces, configurables et adaptés aux pratiques et nouveaux choix des industriels aussi bien dans un téléphone que sur des machines plus importantes comme les commutateurs réseau. Tel était le besoin de la société Ericsson, auquel le CEA List a répondu avec succès en développant une technologie de modèleur UML modulaire et configurable. Ericsson a depuis adopté l'outil *open source* Papyrus du CEA-List pour son atelier de conception de logiciels. Il vise un déploiement de son produit dès 2014 et ses travaux seront intégrés à la base *open source* afin de poursuivre le développement d'une communauté d'utilisateurs et de contributeurs.

Essaimage de la start-up TrustInsoft

Trois chercheurs du CEA-List créent la start-up TrustInsoft. Objectif : assurer la sécurité des logiciels impliqués dans des applications sensibles réalisées en monde ouvert, tels que systèmes monétaires, régulation d'énergie dans une *smart-grid*, systèmes embarqués connectés à Internet... Le projet vise à développer des solutions permettant de supprimer complètement des familles entières de failles de sécurité qui peuvent servir actuellement à des pirates. La société poursuivra sa R&D au sein d'un laboratoire commun avec le CEA-List autour de la technologie Frama-C, déployée actuellement dans les domaines aéronautique et nucléaire.



Doigt anthropomorphe.



Exercice de crise.

Peau artificielle pour main anthropomorphe

Les mains sont recouvertes d'environ 17 000 mécanorécepteurs qui nous dotent d'une agilité extraordinaire pour manier clés, tournevis, gobelets, etc. Chez la plupart des personnes, la manipulation est localisée sur les trois premiers doigts et leurs côtés ainsi que sur la paume. Intégrant ces paramètres, les capteurs devront récolter une mesure de la force normale et de la force de cisaillement, qui permettra notamment d'ajuster la pression de la main robotisée lorsqu'un objet commence à glisser entre ses doigts par exemple.

Le développement de capteurs tactiles sur substrat souple, afin d'équiper les futures mains robotiques pour la manipulation d'objets, est en cours au CEA-List.

En 2013, le CEA-List a mis au point une matrice de capteurs capacitifs millimétriques qui forme le système de mesure de force tridimensionnelle de contact avec de très bonnes résolution et sensibilité. Le prototype de ce dispositif a été intégré à un doigt de la main Shadow (projet FP7 Handle).

Outil de simulation pour Simposium

Le CEA-List est coordinateur du projet européen Simposium, ayant pour objectif de réunir dans une plateforme commune des outils de simulation de procédés de caractérisation de matériaux et de détection de défauts, adaptés à des besoins d'acteurs industriels majeurs dans différents secteurs industriels.



Simulation avec une carte matérielle de virtualisation.

Dans ce projet, les partenaires industriels sont en charge de définir les besoins et de fournir les maquettes expérimentales correspondantes, tandis que les partenaires académiques développent des modèles adaptés. Il traitera plusieurs cas d'application dont le contrôle en fabrication, par courants de Foucault, de pièces planes sidérurgiques en sortie de laminier présentant des ondulations de surface.

Une solution complète pour le diagnostic des câbles

Contribuant depuis des années au développement de briques technologiques pour la surveillance et le diagnostic des réseaux électriques, le CEA-List participe au projet Edison. En partenariat avec Win MS (essaimée du CEA), il a développé un composant intégrant à la fois une solution de traitement temps réel et des blocs de génération et d'acquisition des signaux pour le diagnostic. L'ASIC DiagnoChip, réalisé en technologie CMOS 130 nm, est 8 fois plus précis et 30 fois plus rapide que l'état de l'art. Il ouvre des perspectives importantes pour les équipements de transport aérien ou terrestre. En effet, leurs systèmes de transmission d'information ou d'énergie, de plus en plus complexes, ne sont pas à l'abri de pannes intermittentes que seule une surveillance temps réel peut déceler.

Le CEA-List coordonne l'exercice final de Booster

Le projet européen FP7 Booster, dédié à la gestion des accidents ou attentats radiologiques ainsi qu'à la prévention de leurs risques, a organisé un exercice final à Budapest. Coordonné par le CEA-List, il a notamment permis de valider un équipement permettant le tri de masse des victimes exposées aux rayonnements par les opérateurs de protection civile du pays concerné.



Banc de test et de validation.

RECHERCHE FONDAMENTALE NANOSCIENCES POUR L'INFORMATION

Le CEA développe un ambitieux programme de recherche fondamentale en nanosciences pour le développement des technologies de l'information et de la santé. L'objectif est de synthétiser, comprendre et prédire les propriétés de la matière et des objets à l'échelle nanométrique dont la nature quantique pourrait conduire à de nouveaux paradigmes.

LES LÉVITONS

Une équipe de l'Iramis a réussi à injecter quelques électrons dans un conducteur sans que ceux-ci y apportent de perturbation. Ce résultat a été possible grâce à la génération d'impulsions électriques à profil temporel « lorentzien » ultra-court. L'onde quantique électronique obtenue se propage sans bruit et sans déformation comme le font certaines ondes solitaires optiques ou hydrodynamiques connues (solitons). Ces travaux ouvrent la voie à l'utilisation de sources d'électrons « à la demande », simples et fiables, utiles à terme pour des applications en physique et en information quantique.

LA TROMPETTE PHOTONIQUE

À l'Irac, des physiciens sont parvenus à introduire des photons, un par un, dans une fibre optique avec une efficacité inégalée. Pour ce faire, ils ont conçu et réalisé une antenne optique conique qu'ils ont appelée « trompette photonique ». Réversible, elle peut aussi servir à contrôler une boîte quantique avec un faisceau lumineux : un bon outil pour un ordinateur quantique.

Fibres optiques.

LES NANOFILS DE NICKEL

L'augmentation de la sensibilité des capteurs magnétiques et leur intégration ont permis d'augmenter considérablement la densité de stockage de l'information. L'étude de la magnétorésistance de nano-objets impose une approche globale, à la fois électrique et mécanique. Des chercheurs de l'Iramis ont montré que dans des nanofils de nickel, des défauts structuraux peuvent se déplacer sous l'effet de contraintes induites par un champ magnétique, ce qui modifie la résistance électrique du nanofil.



Le magnétomètre utilise l'effet Josephson.

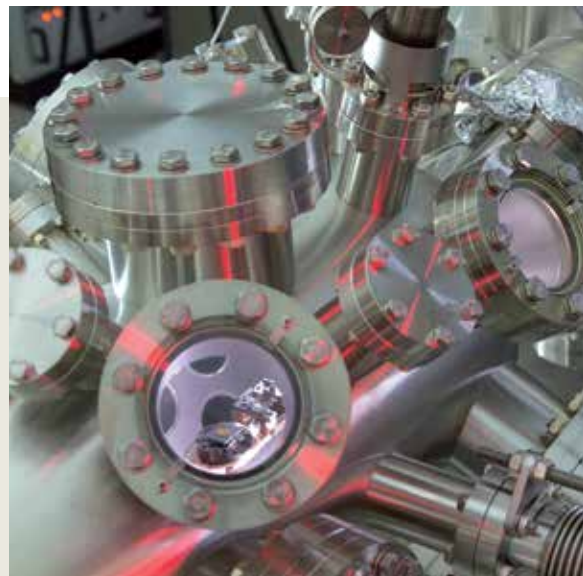
LE FLOT DE SUPERCOURANT

L'effet Josephson, utilisé dans de nombreux dispositifs (magnétomètres, détecteurs de photons, etc.), décrit le « supercourant » à travers un contact entre deux supraconducteurs, porté par des paires de Cooper dans les états d'Andreev situés au niveau du contact atomique. Des mesures spectroscopiques menées à l'Iramis ont permis d'établir l'existence des états excités d'Andreev.





Microélectronique quantique.



Formation de réseaux de nano-objets magnétiques sur des surfaces.

LES MÉMOIRES FERROÉLECTRIQUES

Une alternative aux mémoires magnétiques pourrait être les mémoires ferroélectriques, où la polarisation électrique locale permet de stocker l'information. Des physiciens de l'Iramis ont montré qu'il existe une épaisseur critique minimale pour stabiliser une phase ferroélectrique monodomaine.

DES COMPOSANTS « QUANTIQUES »

Pour la première fois, des composants développés au Leti et chez STMicroelectronics ont été modélisés par des méthodes quantiques par des chercheurs de l'Inac, révélant des aspects méconnus de leur physique.

LA MÉTALLISATION DES PLASTIQUES

Des chimistes de l'Iramis ont mis au point un procédé innovant de métallisation de plastiques par impression jet d'encre (PriMe). Cette technologie permet la réalisation rapide et à bas coût des pistes métalliques des objets communicants en électronique flexible.

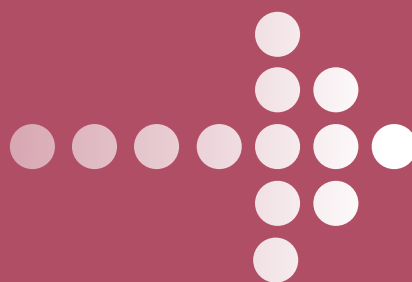
MÉMOIRES MAGNÉTIQUES

Spintec et Crocus Technology ont dévoilé en 2013 les premiers résultats d'un démonstrateur de mémoires magnétiques quasiment inviolables. La lecture est moins sensible aux imperfections du procédé de fabrication et il devient possible d'insérer une fonction de comparaison pour traiter des données confidentielles. Pour mettre sur le marché ces mémoires, il faut garantir la conservation des données pendant une dizaine d'années, ce qui n'était jusqu'à présent possible que par un essai destructif. Des physiciens de l'Inac ont montré que le niveau de « bruit » à basse fréquence est corrélé à la longévité de la jonction tunnel magnétique, qui constitue le maillon faible de ces mémoires. La mesure du bruit permettra dorénavant de prédire le nombre de cycles d'écriture que la mémoire peut endurer sans dommage. Une nouvelle variété de jonction à aimantation perpendiculaire (et non plus parallèle) suscite beaucoup d'intérêt. Elle doterait les mémoires de nombreux avantages : densité de stockage plus élevée, meilleure stabilité thermique, plus faible densité de courant pour écrire par transfert de spin.

SUPERCONDENSATEURS

Des nanofils de silicium, ou plutôt des « nano-arbres », longs et fortement dopés, ont permis aux chercheurs de l'Inac de démultiplier la surface des électrodes de supercondensateurs, favorisant l'accumulation des charges. Ils ont pu observer dans diverses architectures le comportement quasi idéal des électrodes, stables en présence de l'électrolyte. De tels dispositifs devraient à terme s'inviter dans les puces de silicium et améliorer puissance et rapidité des circuits microélectroniques.

TECHNOLOGIES POUR LA SANTÉ ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES



Temps forts
2013



Les bébés doués de conscience ?

Les nourrissons possèdent dès 5 mois une forme de conscience similaire à celle des adultes. Cette conclusion est issue de tests effectués sur 80 bébés invités à regarder des visages. Leurs électro-encéphalogrammes révèlent les mêmes mécanismes cérébraux que chez les adultes, en deux étapes : un traitement perceptif non conscient s'accompagnant d'une activité neuronale qui augmente de façon linéaire, puis une réponse non linéaire correspondant au seuil de la conscience. Seule différence : la première étape, d'une durée de 300 ms chez l'adulte, est beaucoup plus longue chez les bébés.

De la recherche
fondamentale en
sciences du vivant
aux diagnostics et
aux thérapeutiques
de demain.



Analyse de cellules par cytomètre de flux.



Génomique : un animal à la reproduction asexuée livre ses mystères

Le séquençage du génome d'un rotifère bdelloïde, animal aux capacités de survie surprenantes, lève le voile sur une exception évolutive jusque-là inexpliquée. Cet animal microscopique, qui a tenu tête à des dizaines de millions d'années d'évolution, se reproduit en effet de manière exclusivement asexuée, ce qui est considéré comme une impasse évolutive. Les chercheurs ont repéré des traces abondantes de conversions géniques. Cette sorte de « copier-coller » génétique pourrait atténuer grandement l'accumulation de mutations délétères, voire l'éliminer complètement, expliquant par là l'étonnante longévité de cette espèce.

Nouvelle réaction « click » : une chimie applicable au vivant

Connecter deux entités dans des milieux biologiques aussi complexes que le sang humain pour des applications en chimie médicinale est dorénavant possible grâce à la chimie « click ». Ce nouveau procédé permet d'assembler spécifiquement deux éléments sans modifier leurs propriétés ni le milieu où ils se trouvent. Un criblage à haut débit de milliers de combinaisons de réactifs a révélé une nouvelle réaction respectant tous les critères exigés, à savoir une efficacité quelconque que soient les conditions réactionnelles et une grande sélectivité.

LES GRANDS OUTILS AU SERVICE DE LA SANTÉ

La recherche médicale menée au CEA puise ses forces dans un savoir-faire unique en France et des outils technologiques et méthodologiques originaux. Ils permettent d'analyser le vivant à plusieurs échelles, de l'atome à l'organe, en passant par la cellule. Ce *continuum* de connaissances est essentiel pour mettre au point de nouvelles stratégies d'investigation et de traitement dans des domaines ambitieux comme les neurosciences, la cancérologie ou les maladies infectieuses.

Les outils développés par le CEA afin d'observer les briques élémentaires du vivant sont chaque année plus nombreux et plus polyvalents. Par exemple, la biologie structurale, qui regroupe un ensemble de techniques (cristallographie aux rayons X, résonance magnétique nucléaire (RMN), spectroscopie Raman, etc.), aborde maintenant des protéines complexes comme les protéines membranaires ou les protéines à domaines flexibles. Les retombées de ces études sont capitales car elles représentent l'essentiel des cibles de molécules pharmaceutiques. Connaître la structure et la dynamique de ces molécules permet d'économiser plusieurs années de développement et donc de réduire drastiquement les échecs et les coûts.

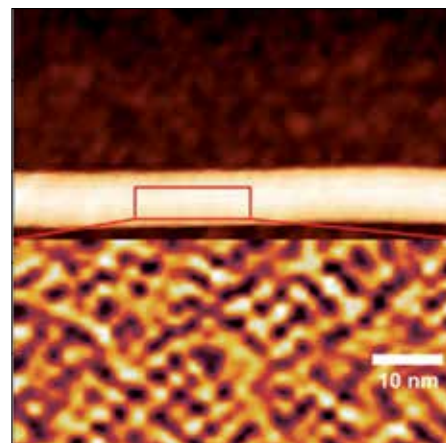
La biologie structurale à l'échelle atomique

La RMN permet de suivre finement la dynamique des macromolécules biologiques et leurs interactions avec leurs partenaires physiologiques. Elle repose sur la propriété de certains noyaux atomiques d'émettre un signal de relaxation lorsqu'ils sont placés dans un champ magnétique. La fréquence de tous les signaux obtenus, regroupés sur un spectre, est corrélée à l'environnement de ces noyaux. Le logiciel Flexible-meccano, mis à la disposition de la communauté scientifique par le CEA, est une aide précieuse pour le traitement de ces spectres. Les chercheurs ont également mis au point de nouveaux outils de marquage isotopique pour repousser les frontières de la RMN et visualiser de façon ciblée des régions précises de protéines complexes. Les équipes de la Direction des sciences du vivant ayant travaillé sur ces kits prêts à l'emploi, distribués par le CEA sous la

marque NMR-Bio, ont été sélectionnées par le Conseil européen de la recherche pour bénéficier d'une subvention « *Proof of Concept* ». En outre, les biologistes peuvent désormais compter sur la microscopie à force atomique. Longtemps cantonnée au domaine de la physique, cette technique s'ouvre à la biologie. En 2013, les détails d'une particule de virus de la mosaïque du tabac ont ainsi été visualisés avec une résolution de 1,3 nm. Parallèlement, la simulation numérique apporte également sa pierre à l'édifice de la biologie structurale à l'échelle nanométrique. Le CEA a ainsi mis au point Polaris, un code de simulation multiéchelle qui reproduit les effets électrostatiques dans l'étude des interactions moléculaires en phase aqueuse. Les tailles explorées atteignent quelques centaines à plusieurs millions d'atomes. Polaris a pu démontrer son potentiel dans la simulation de la structure de protéines qui régulent les mécanismes de coagulation sanguine.

Dynamique des cellules

Division, déformation, migration... de nouveaux outils offrent un regard inédit sur la dynamique des cellules. On sait que la division des cellules souches dépend des contraintes physiques qui s'exercent sur elles.

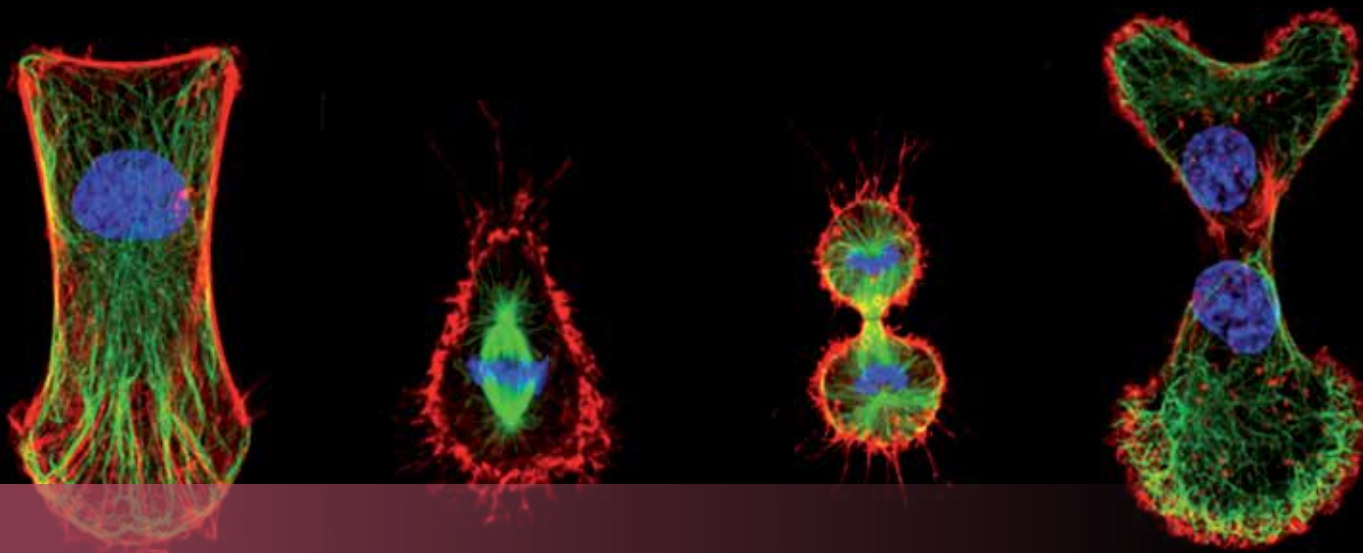


Caractéristique structurale de la surface du virus de la mosaïque du tabac observée en imagerie.

Grâce à des surfaces microstructurées par photolithographie, les chercheurs ont montré que la géométrie de l'environnement dans lequel les cellules souches sont confinées a un effet sur le patrimoine épigénétique de leurs cellules filles. Ainsi, toute modification spatiale du micro-environnement peut ainsi influencer la façon dont ces cellules assurent le renouvellement des tissus. Autre exemple, chacune de nos cellules est dotée d'un squelette de microtubules qui s'assouplit ou se rigidifie, suivant les besoins. La mise au point d'un dispositif capable de mesurer l'élasticité des microtubules a permis de découvrir que la protéine MAP est un des acteurs responsables de cette plasticité. Enfin, un crible bioinformatique a révélé une protéine régulant la migration cellulaire. Appelée Arpin, elle constitue un frein à la migration et permet également à la cellule de contrôler sa direction. Des applications en cancérologie se profilent, tant pour améliorer le diagnostic des tumeurs invasives que pour bloquer les processus de formation de métastases.

FLUOMIS : imagerie simultanée couleur et fluorescence en endoscopie

La société Fluoptics propose aujourd'hui deux sondes d'imagerie de fluorescence pour la chirurgie ouverte, la Fluobeam et sa version de taille plus réduite la Fluostick. Pour répondre à l'évolution de la chirurgie vers des approches minimalement invasives, Fluoptics veut enrichir sa gamme par une offre de systèmes d'imagerie pouvant s'intégrer dans un robot chirurgical. Dans le cadre du projet FUI Fluoromis, le CEA-Leti a développé, en collaboration avec Fluoptics, un premier produit répondant à cet objectif : la tête d'imagerie bimodale Fluomis combinant une illumination lumière blanche et excitation laser à 740 nm, à une caméra deux têtes (une CCD couleur et une CCD monochrome pour la fluorescence).



Le CEA fait bénéficier le secteur de la santé de technologies innovantes qu'il maîtrise en conduisant des programmes en imagerie et recherche médicale, biotechnologie, radiobiologie, toxicologie et génomique.

Cellules souches à différentes étapes de leur division sur des microstructures asymétriques. Les microtubules apparaissent en vert, les filaments d'actine en rouge et l'ADN en bleu.



Examen au microscope de puces microfluidiques.

Big data pour l'imagerie et les omiques

L'imagerie est une compétence phare du CEA. En 2013, les progrès en IRM de diffusion offrent une nouvelle approche pour l'imagerie fonctionnelle, potentiellement plus représentative du fonctionnement du cerveau que l'IRM fonctionnelle conventionnelle. Cette technique permet d'obtenir des images dont le contraste dépend principalement du coefficient de diffusion de l'eau. Ceci est plus spécifique des changements de l'activité électrique du cortex cérébral que l'IRMf qui détecte les augmentations locales du débit sanguin.

L'imagerie médicale produit plusieurs centaines d'images par examen individuel, soit plusieurs gigaoctets pour des images IRM à haute résolution. Ainsi, les

cohortes de milliers de sujets impliquées dans les projets de recherche génèrent de très grandes quantités de données qu'il faut stocker, protéger, harmoniser et interpréter. Des développements informatiques spécifiques sont requis ; c'est l'objet de la plateforme Cati consacrée à l'étude des démences, soutenue par la Fondation Alzheimer et opérée par le CEA.

Autre domaine biologique qui contribue à cette avalanche de données numériques : les omiques, un ensemble de méthodes qui abordent de façon globale les génomes (génomique), les protéines (protéomique) ou les molécules du métabolisme (métabolomique). Ces approches massives ont besoin d'espaces gigantesques de stockage et d'exploitation. C'est pourquoi les biologistes s'invitent au CCRT (Centre de calcul recherche et technologie) où est hébergée, par exemple, l'infrastructure informatique de France Génomique. Exemple de résultat obtenu en 2013 par les équipes du CEA : le séquençage d'environ 400 exomes, à savoir l'ensemble des gènes fonctionnels d'un organisme, liés à des maladies génétiques rares comme les myopathies et la rétinite pigmentaire.

De nouvelles méthodes pour la pharmacologie

La recherche de nouveaux médicaments et l'évaluation de leurs modes d'action stimulent l'innovation technologique. Par exemple, une nouvelle technique de microscopie sans lentille ouvre des perspectives dans le criblage des molécules anticancéreuses. Associée à la culture cellulaire 3D, elle a permis d'étudier la croissance de cellules épithéliales de prostate et de discriminer les cellules saines des cellules cancéreuses. Par ailleurs, une équipe a mis au point un nouveau mode de marquage de biomolécules complexes et fragiles dans des conditions chimiques douces. Il pourrait permettre de gagner plusieurs mois dans l'évaluation biocinétique et pharmacodynamique. Autre exemple du dynamisme du CEA dans le domaine de la santé : la création de GENEL. Cette start-up a pour objectif de mettre à disposition des entreprises pharmaceutiques les technologies d'ARN interférents qui permettent de corriger l'expression anormale des gènes et de moduler certaines voies clés de signalisation dans les cellules cancéreuses.

Projet VIP : développement d'une plateforme de simulation en imagerie médicale

Le projet VIP (Virtual Imaging Platform, projet ANR-RNTL) a permis le développement d'une plateforme web qui facilite l'accès aux ressources de calcul et le partage de données pour la simulation d'images médicales. Plusieurs modalités y sont accessibles, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la tomographie par émission de positons (PET), l'imagerie ultrasonore (US) et la tomographie X (CT). Lors de ce projet, le CEA-Leti a intégré dans la plateforme VIP son logiciel de simulation de tomographie X SINBAD, développé en interne depuis plus de 15 ans.

NEUROSCIENCES

L'imagerie, la génomique et la biologie cellulaire sont trois piliers du CEA qui font progresser la connaissance dans les neurosciences. L'année 2013 est notamment marquée par des avancées dans la relation entre architecture cérébrale et cognition ainsi que par de nouvelles pistes pour traiter les maladies neurodégénératives, Alzheimer et Huntington en tête.

Zoom sur le cerveau des enfants

Le développement cérébral *in utero* et des enfants pose nombre de questions. *Quid* de l'inné et de l'acquis ? Comment l'architecture cérébrale influence-t-elle le développement cognitif ? L'imagerie optique fonctionnelle a par exemple révélé que le cerveau d'un nouveau-né prématuré est capable, dès 3 mois avant le terme, de distinguer les syllabes et les voix masculines et féminines. De plus, les ensembles ou réseaux de neurones impliqués sont asymétriques et très proches de ceux décrits chez l'adulte dans le même type de tâche. Ces résultats démontrent qu'avant tout apprentissage le cerveau est équipé pour traiter la parole. L'organisation des aires cérébrales étant gouvernée par l'expression des gènes, l'apparition du langage serait donc en grande partie influencée par des mécanismes innés. Des IRM anatomiques d'enfants de 5 ans ont par ailleurs montré que l'anatomie du cerveau influe sur le contrôle cognitif, compétence essentielle pour l'apprentissage. Les chercheurs ont observé que les enfants dont les deux hémisphères sont asymétriques pour un motif particulier d'une région du cortex, le cortex cingulaire, ont de meilleurs résultats pour une tâche qui permet de

mesurer le contrôle cognitif. Toutefois, seulement 20 % de la variabilité entre individus pour le contrôle cognitif est expliqué par ces facteurs anatomiques. Ces caractéristiques n'ont donc rien de déterministe vis-à-vis de ce type de contrôle cognitif, et encore moins vis-à-vis de l'intelligence !

Stimuler la production de neurones

La plasticité du cerveau avec la formation en continu de nouveaux neurones, même à l'âge adulte, n'est plus à démontrer. Une des pistes pour ralentir le déclin cognitif, par exemple celui des patients atteints de maladies neurodégénératives, consiste à exacerber cette faculté. Des biologistes du CEA ont montré comment le vieillissement ou l'irradiation à forte dose entraînent la fragilité et la dormance des cellules souches neurales, les chevilles ouvrières de la production de neurones. La molécule TGF β en serait à l'origine. Des expériences effectuées sur un modèle murin l'ont confirmé. Une autre voie pour « réveiller » ces ouvrières a été découverte. Après avoir été identifiées par cytométrie de flux grâce à un trio de marqueurs habilement choisis, elles ont été stimulées par irradiation. À des doses intermédiaires (4 Gy), les cellules souches dormantes régénèrent la niche de neurogenèse.

Stopper la maladie de Huntington ?

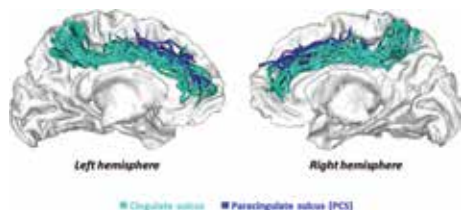
Les patients atteints de cette pathologie handicapante, au nombre de 10 000 en France, souffrent d'une perte de neurones, tout d'abord dans une zone bien spécifique du cerveau liée au contrôle du mouvement, le striatum. La zone touchée s'étend par la suite à d'autres régions du cerveau. La mort des neurones entraîne des troubles de l'équilibre, de l'élocution, de la mémoire, ainsi que des désordres psychiques. Il n'existe pas de thérapie efficace.



Examen d'IRM.

Comment démarre et se développe cette maladie ? Une mutation du gène de la huntingtine est mise en cause, qui s'avère spécifiquement toxique pour les cellules du striatum. La protéine mutée affecte un constituant de la mitochondrie, petite centrale énergétique des cellules, et entraîne la mort de ces dernières. Ces résultats, obtenus dans un modèle rongeur, confirment que ce constituant de la mitochondrie, le complexe II, est une cible thérapeutique potentielle.

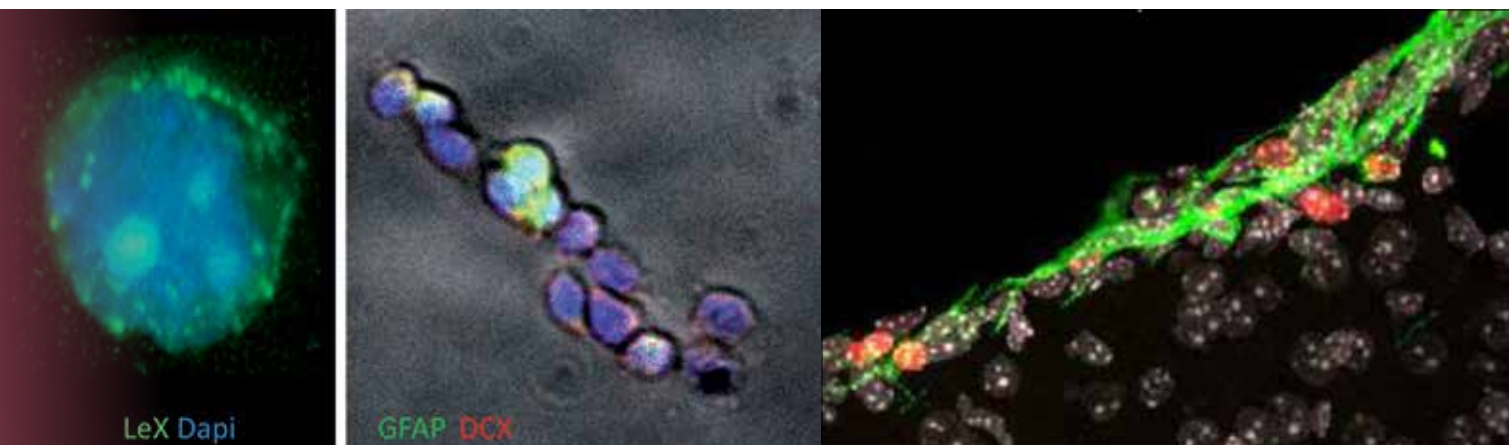
Le CEA s'est lancé dans d'autres travaux pour évaluer une stratégie thérapeutique prometteuse, basée sur la thérapie génique.



Variabilité des formes du cortex cingulaire chez des enfants soumis à des tests cognitifs : chaque trait correspond au sillon d'un enfant. Image obtenue par Imagerie par résonance magnétique anatomique (IRMa).

Exosquelette d'assistance à la marche

Le projet ExoBCI (associant un exosquelette et une interface cerveau ordinateur - Brain Computer Interface) développé à Clinatec vise à redonner de la mobilité à un sujet tétraplégique, par l'intermédiaire d'un implant cérébral et d'un exosquelette 4 membres. Dans cette optique, le CEA-List développe l'exosquelette EMY. Il est composé de deux bras ABLE et d'une évolution des jambes du robot Hercule, également développé par le CEA-List. L'électronique de commande est basée sur une architecture de la société Haption (essaimée du CEA), compatible avec l'ensemble des algorithmes du CEA-List. Cette version, qui doit encore progresser en autonomie énergétique et dynamique de contrôle de l'équilibre, a déjà fait l'objet d'une démonstration sur une personne valide, qui a permis d'en valider le principe de fonctionnement.



À gauche : une cellule souche neurale. À droite : une colonie issue d'une cellule souche une semaine après la mise en culture.

Analyses par immunofluorescence de coupes de cerveau. Le traitement anti-TGFB favorise la prolifération des cellules souches neurales (en rouge) et la production de nouveaux neurones (en vert).

CANCÉROLOGIE

L'idée consiste à injecter dans le cerveau le gène codant pour la protéine CNTF, qui favorise la croissance et la survie des neurones. Le CNTF est ainsi constamment produit par l'organisme lui-même. Des tests de trois vecteurs viraux à usage clinique ont débuté en 2013 sur des modèles rongeurs et primates. Après la démonstration de son innocuité lors de tests réglementaires, le vecteur le plus efficace sera évalué chez un groupe de patients, *a priori* en 2015.

Signature génétique de la maladie d'Alzheimer

Autre pathologie neurodégénérative qui manque cruellement de solutions thérapeutiques : la maladie d'Alzheimer. La plus grande étude internationale jamais réalisée, à laquelle le CEA participe, a identifié 11 nouvelles régions du génome impliquées dans la survenue de cette pathologie et repéré 13 autres en cours de validation. Ce travail s'est basé sur l'analyse de 17 000 échantillons pathologiques collectés en Europe et en Amérique du Nord comparés à quelque 37 000 témoins non malades. Ces résultats ont ensuite été vérifiés dans 20 000 échantillons provenant de 11 pays différents.

Sécuriser et fiabiliser les valves de régulation de la pression intracrânienne

De nouvelles valves destinées à la régulation de la pression intracrânienne sont en R&D auprès de Sophysa et du CEA-Leti. Objectif du projet Valvélec : réaliser un dispositif qui, une fois implanté, ne subit pas la démagnétisation par scanners et IRM et évite donc son dérèglement. La solution repose sur le développement d'un moteur piézoélectrique miniaturisé et télé-alimenté à intégrer dans l'implant.

Les travaux du CEA en cancérologie, initialement centrés sur les conséquences des irradiations et les défauts de réparation de l'ADN, se déclinent au-delà de la compréhension des mécanismes fondamentaux de la maladie pour se tourner aussi vers la recherche de nouvelles solutions thérapeutiques et l'optimisation des traitements.

Déjouer les ruses de la tumeur

Une des méthodes pour affaiblir les cellules cancéreuses consiste à contrer les stratégies qu'elles déploient pour se maintenir en vie et proliférer. Une molécule ciblant l'angiogenèse (développement de vaisseaux sanguins) autour de la tumeur a été découverte. Elle est issue du criblage d'une chimiothèque de 1 360 molécules originales non accessibles à l'industrie et a été testée sur des modèles murins. Un brevet a été déposé. Autre avancée en 2013, les chercheurs ont découvert certains mécanismes mis en place par les tumeurs pour se rendre invisibles aux yeux du système immunitaire. Les cellules malignes utilisent la protéine TRF2, qui était connue pour rendre les cellules immortelles, mais qui agit aussi en diminuant le recrutement et l'activation de certaines cellules de l'immunité, les lymphocytes NK (*Natural Killer*). Les chercheurs ont mis en évidence le partenaire de TRF2 pour cette seconde mission : la protéine HS3ST4.

Optimiser les traitements et contrer la résistance

Les biologistes ont également déposé un brevet qui ouvre la voie à de nouveaux traitements ciblés pour limiter la prolifération des cellules cancéreuses et augmenter leur sensibilité à la chimiothérapie. Les protéines chaperones jouent un rôle protecteur pour la machinerie cellulaire. Des peptides inhibant ces chaperons se sont avérés très actifs en empêchant indirectement la réplication ou la réparation de l'ADN des cellules malignes soumises

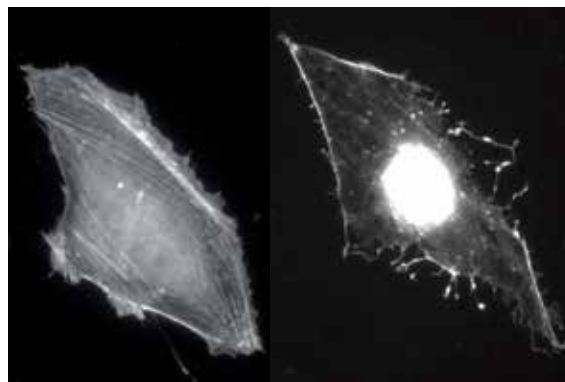
Vérifier la dosimétrie des traitements de radiothérapie innovants

Dispositif de radiothérapie, le Gamma Knife Perfexion de la société Elekta permet de traiter, en une séance, une ou plusieurs lésions du cerveau. L'hôpital de la Pitié Salpêtrière, qui s'est doté de cet appareil, a demandé au CEA-List d'en réaliser l'étalonnage. Celui-ci est réalisé à l'aide de dosimètres RPE/Alanine, et concerne les patients traités par stéréotaxie intracrânienne.

à un traitement cytotoxique. Les cellules ainsi bloquées sont entraînées vers l'apoptose, la mort cellulaire programmée. Dans un modèle cellulaire d'ostéosarcome, une tumeur relativement fréquente de l'os, 30 % des cellules cancéreuses traitées sont mortes après 48 h.

Une autre stratégie pour contrer la résistance au traitement a été développée et testée dans les cancers lymphoïdes agressifs. Actuellement traités par la combinaison d'une chimiothérapie et d'une immunothérapie à base de rituximab, il n'est pas rare que les patients développent une résistance à ce traitement. Après avoir observé que ces patients présentent de forts taux de la protéine Cyclon dans leur sang, les chercheurs ont montré que celle-ci permet aux cellules malignes de proliférer rapidement et contrôle le seuil de sensibilité au rituximab. De nouveaux inhibiteurs ont été obtenus avec succès : la résistance au rituximab a été diminuée drastiquement en à peine deux semaines !

MALADIES INFECTIEUSES



À gauche, une cellule saine. À droite, la même cellule, après infection par *Pseudomonas aeruginosa*.

Les infections bactériennes et virales ainsi que les maladies à prions sont au cœur des recherches médicales menées au CEA, tant au niveau de la compréhension des processus de pathogénèse que de l'innovation diagnostique et thérapeutique. Notamment en 2013, les travaux sur les infections bactériennes ont été approfondis, avec une accélération des études menées pour combattre la résistance aux antibiotiques, qualifiée par l'Organisation mondiale de la santé de « menace pour la sécurité sanitaire mondiale ». Par exemple, 450 000 cas de tuberculose multirésistante ont été recensés en 2012, dont près de la moitié en Inde, en Chine et en Russie.

Comprendre le comportement des bactéries

L'histoire évolutive des bactéries renseigne de façon efficace sur leur fonctionnement adaptatif et sur leur vulnérabilité. L'origine de l'émergence et du succès évolutif de la bactérie *Mycobacterium tuberculosis*, principal agent de la tuberculose, a été découverte. Ces souches ont acquis leur virulence et leur persistance par une combinaison de plusieurs mécanismes génétiques tels qu'une perte de fonction de certains gènes ou encore l'acquisition de nouveaux gènes par transfert horizontal. Deux autres faits marquants de 2013 concernent la bactérie *Pseudomonas aeruginosa*, responsable de maladies dites nosocomiales chez les personnes déjà malades.

C'est par exemple le cas des patients souffrant de mucoviscidose, pour lesquels elle colonise petit à petit les poumons, ou bien de certaines personnes à qui on implante un dispositif médical (sonde, cathéter, etc.). Le processus de colonisation, avec notamment la dégradation de la barrière qui sépare les organes du système sanguin central, a été démasqué. La bactérie est capable de synthétiser une microseringue biologique pouvant injecter des toxines dont certaines détruisent le cytosquelette des cellules de la barrière tissulaire. Dépourvues d'ossature, ces cellules se rétractent. La barrière ne reste plus longtemps étanche et laisse passer les pathogènes.

En outre, le mécanisme d'injection des toxines a été disséqué par d'autres biologistes.

Quatre protéines appelées Tag S, T, R et Q y jouent un rôle décisif.

D'autres travaux sur le pneumocoque, responsable de graves infections (pneumonies, méningites), révèlent que cette bactérie pourrait tromper le système immunitaire. Les chercheurs ont tout d'abord découvert que la protéine GAPDH présente sur certaines cellules humaines joue un rôle dans la capacité de l'organisme à distinguer le « soi » du « non soi ». Ils ont ensuite découvert une protéine à la surface du pneumocoque ressemblant comme deux gouttes d'eau à GAPDH. Par ce subterfuge le pneumocoque peut tromper son hôte.

Revisiter les cibles des antibiotiques

De nombreux antibiotiques visent la paroi bactérienne et les progrès de l'analyse structurale fournissent des alternatives prometteuses aux approches actuelles. De nouveaux modèles expérimentaux et numériques sont également précieux. En 2013, les chercheurs du CEA sont parvenus, et c'est une première, à synthétiser *in vitro* la paroi des bactéries à Gram+, dont font partie le pneumocoque et le staphylocoque. Par ailleurs, une méthode de résonance magnétique nucléaire (RMN) améliorée permet dorénavant d'observer la paroi de cellules bactériennes vivantes avec une résolution inégalée. La RMN du solide, outil de choix pour l'investigation d'un tel objet vivant de grande taille, a malheureusement une sensibilité limitée. Cette limitation a été dépassée grâce à la « polarisation dynamique nucléaire » (DNP), capable

d'augmenter d'un facteur 24 la sensibilité aux signaux RMN des cellules. En leur présence, un agent polarisant se fixe sur les polymères de la paroi et, sous irradiation micro-onde, amplifie sélectivement leur réponse.

Le CEA a entamé en 2013 une collaboration avec le Brésil afin d'approfondir ses recherches sur la biologie structurale des agents infectieux.

Une convention de création d'un Laboratoire international associé (LIA) a été signée avec le LNBio et le CNPEM, à Campinas. Ces travaux conjoints pourraient permettre des avancées significatives sur la compréhension de la virulence bactérienne pour développer de nouvelles antibiothérapies. Les recherches se focaliseront sur les différents aspects de la biologie de la paroi bactérienne, notamment ceux liés à la virulence.

Des minicapteurs pour un système de dialyse portatif

Le CEA-Leti conçoit des capteurs miniaturisés pour un rein artificiel. En détectant rapidement des anomalies et en effectuant une analyse de l'état de santé du patient, ce système améliorera la dialyse et simplifiera la vie des patients. Pour ce projet, les chercheurs ont combiné cinq électrodes ioniques sélectives, un capteur de température et une mémoire EPROM qui enregistre les paramètres.

RECHERCHE FONDAMENTALE

MUTATIONS DANS
LE SYNDROME DE LYNCH

Le syndrome de Lynch est une affection génétique qui prédispose aux cancers du côlon et du rectum. L'architecture de MLH1, la protéine impliquée, a été déterminée par cristallographie aux rayons X, permettant de comprendre comment la mutation induirait la maladie. Ce résultat constitue le point de départ d'un projet clinique d'aide au diagnostic avec l'hôpital de la Timone, à Marseille, et l'institut Curie, à Paris.

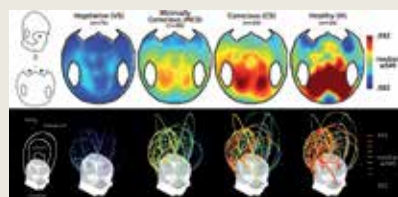


Structure 3D de MLH1 (en vert) avec position à l'échelle atomique des mutations (en rouge et bleu les plus sérieuses, en gris les neutres)

identifiées sur un panel de patients.

UNE NOUVELLE MESURE
CÉRÉBRALE DE L'ÉTAT
DE CONSCIENCE

Comment distinguer un état végétatif d'un état de conscience minimal chez les personnes plongées dans le coma ? Les chercheurs du CEA ont développé un dispositif de mesure du partage d'information dans le cerveau appelé wSMI (*weighted Symbolic Mutual Information*). 180 électroencéphalogrammes de haute densité enregistrés chez des patients montrent que cette mesure augmente systématiquement en fonction de leur état de conscience, permettant ainsi de distinguer nettement les patients minimalement conscients des patients végétatifs.



Dispositif de mesure du partage d'information dans le cerveau (wSMI). De gauche à droite, le signal augmente avec le niveau de conscience. En bas, visualisation des paires de zones cérébrales connectées.



Neurone

FEU VERT
POUR LE PROJET
HUMAN BRAIN

Human Brain Project est une collaboration internationale dédiée à la modélisation du cerveau humain. Ce projet ambitieux a été désigné en 2013 lauréat du programme européen « *Future and Emerging Technologies Flagship* ». Fédérant de nombreux pays européens et plusieurs dizaines d'institutions de recherche internationales, dont le CEA, *Human Brain Project* est prévu pour une durée de dix ans (2013-2023).

ROMANE POUR LUTTER
CONTRE LA MALADIE
D'ALZHEIMER

Le projet Romane (Rôle du mastocyte en neurologie) a notamment pour ambition de développer une thérapie ciblée contre la maladie d'Alzheimer. Avec un financement de 8,6 M€ de BPI-France reçu en 2013, les partenaires du projet, dont le CEA, valideront le rôle du mastocyte comme cible et testeront *via* des modèles précliniques les effets thérapeutiques d'un de ses inhibiteurs, le masitinib.

UN ESPOIR POUR
DES TUMEURS CÉRÉBRALES
INCURABLES

Un nouveau traitement utilisant des nanoparticules d'or activées par rayonnement synchrotron a été administré avec succès à des rongeurs atteints de tumeurs cérébrales graves. La collaboration menée par des chercheurs de l'Inac a montré que le traitement combiné irradiation-nanoparticules augmente significativement la survie des animaux.

PANDORAVIRUS :
LE CHÂÎNON MANQUANT
ENTRE LE MONDE VIRAL
ET LE MONDE CELLULAIRE

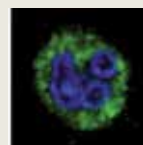
Mimivirus, *Megavirus chilensis*... les chercheurs pensaient avoir touché la limite ultime du monde viral en termes de taille et de complexité génétique. C'était sans compter sur la découverte de deux nouveaux virus géants d'une nouvelle famille baptisée Pandoravirus.

Dotés de pas moins de 2 500 gènes, ils démontrent que la complexité des virus peut dépasser celle de certaines cellules eucaryotes. Leur analyse révèle qu'ils n'ont quasiment aucun point commun avec les virus géants précédemment caractérisés. Seuls 6 % des protéines codées par leurs gènes ressemblent à des protéines déjà répertoriées. De quoi faire tomber le dogme d'une discontinuité entre le monde viral et le monde cellulaire.

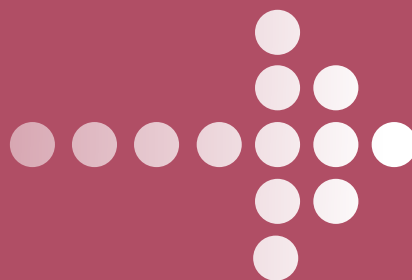
INFECTIONS : MODULER
LA SENSIBILITÉ DU SYSTÈME
IMMUNITAIRE

Les neutrophiles, bras armés du système immunitaire, sont sollicités pour combattre les agents infectieux. Une équipe du CEA a montré comment leur récepteur ILT4 intervient dans leur activation. Ce résultat a fait l'objet d'une vérification directement au lit de patients ayant présenté un choc septique à l'hôpital Lariboisière (Paris). Il laisse entrevoir des applications thérapeutiques, allant des syndromes inflammatoires sévères aux infections bactériennes en passant par le Sida. Par exemple, l'utilisation de molécules contrôlant le transport d'ILT4 vers la surface des neutrophiles pourrait permettre de rétablir sa présence et réduire ainsi les processus inflammatoires délétères pour l'organisme.

Neutrophiles en microscopie confocale. Le marquage vert correspond au récepteur ILT4.



TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE ET RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES



LES TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE (TGIR)

La recherche fondamentale en sciences de la matière, en astrophysique ou dans les sciences du climat requiert l'accès à de très grands instruments scientifiques, qui sont conçus et exploités dans le cadre de collaborations nationales ou internationales. À la demande de l'État, le CEA représente la France, au côté de ses partenaires académiques, dans les instances de pilotage de ces Très grandes infrastructures de recherche (TGIR).



Faire avancer
la recherche
grâce aux TGIS.

Premier tronçon du quadripôle radiofréquence de Spiral2 (à gauche).

Le supercalculateur Curie est exploité par le CEA dans son Très grand centre de calcul (TGCC) à Bruyères-le-Châtel (à droite).

Ganil et Spiral2

L'accélérateur a fonctionné pendant 20 semaines sur 3 périodes (3 149 heures). Du temps de machine a été réservé pour des études d'hadronthérapie (lutte contre le cancer) au moyen d'un faisceau de carbone 12 (projet Archade). À noter une expérience inédite sur des noyaux superlourds de dubnium 257 produits avec un nouveau faisceau de titane 50 et une campagne d'expériences avec des faisceaux intenses d'ions exotiques néon 18 et néon 19.

Un élément fondamental pour la sûreté du Ganil a été remplacé : l'ensemble du système d'accès aux salles expérimentales et aux accélérateurs, de la gestion des balises et de l'enregistrement de ces données.

La construction des bâtiments de la phase 1 de Spiral2 est terminée. L'injecteur de l'accélérateur est en cours de montage. Le dossier de demande de mise en service a été déposé auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire début octobre.

Genci - Prace

Le Très grand centre de calcul du CEA (TGCC) à Bruyères-le-Châtel héberge le supercalculateur pétaflopique Curie, acquis par Genci dans le cadre de l'infrastructure européenne Prace. Conçu par Bull et exploité par les équipes du TGCC, il est constitué de plusieurs dizaines de milliers de cœurs de calcul, reliés entre eux par un réseau d'interconnexions de hautes performances lui conférant une puissance de calcul de 2 pétaflops, parmi les plus élevées et accessibles aux scientifiques européens (15^e rang du Top 500 mondial de juin 2013). L'allocation Prace de 6 millions d'heures CPU¹ et 155 000 heures GPU² obtenue par l'Inac a permis de réaliser les premières simulations de dispositifs nanométriques pour la microélectronique, et notamment de modéliser la technologie *Fully-Depleted Silicon on Insulator* (FDSOI) de STMicroelectronics, ainsi que la technologie Trigate en préparation au Leti. Ces calculs permettent de mieux comprendre les effets quantiques dans

ces dispositifs, et le rôle joué par les défauts sur leurs performances électriques.

Maison de la simulation

En 2013, les activités de recherche, d'expertise et de formation en calcul haute performance se sont développées. Une simulation avec le code Gysela (fusion par confinement magnétique) utilisant près de deux millions de tâches et avec une efficacité de 91 % a été réalisée avec des chercheurs de l'IRFM (Institut de recherche sur la fusion par confinement magnétique). Dans le cadre d'une collaboration avec l'université de Californie et l'Institut de recherches sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu), une simulation de l'instabilité magnéto-rotationnelle du plasma a exploité 800 cartes GPU. Les formations données dans le cadre du *Prace Advanced Training Center* (PATC) rencontrent un grand succès.

¹ CPU : Central Processing Unit ou Unité centrale de traitement.

² GPU : Graphics Processing Unit ou Processeur graphique.

RECHERCHES FONDAMENTALES ASSOCIÉES

Le CEA conduit une recherche fondamentale d'excellence en concevant et en exploitant les très grands instruments pour la physique tels que les accélérateurs d'ions et de particules et leurs expériences associées, les observatoires terrestres et spatiaux, les lasers...

RECHERCHE SUR LES LOIS FONDAMENTALES DE L'UNIVERS

L'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu) a pour objectif de faire progresser les connaissances sur l'organisation de la matière à l'échelle subatomique et les grandes structures de l'Univers. Pour ce faire, les équipes du CEA travaillent au sein de collaborations internationales au meilleur niveau en développant des instruments de haute technologie en service sur les Très grandes infrastructures de recherche et les grands observatoires terrestres et spatiaux.

Les constituants élémentaires de la matière

Les deux découvertes majeures réalisées en 2012, le boson de Higgs et les mécanismes d'oscillation des neutrinos, vont conditionner les recherches en physique des particules de la prochaine décennie.

Au LHC (*Large Hadron Collider*), des études approfondies des propriétés du boson de Higgs permettront d'explorer une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Dans cette perspective, l'Irfu participe au programme d'amélioration des détecteurs Atlas et CMS, nécessaire pour répondre à l'augmentation de la luminosité du LHC (nombre de collisions proton-proton).

L'étude des neutrinos de basse énergie peut, elle aussi, fournir des informations importantes sur une nouvelle physique. L'Irfu participe à l'expérience Double Chooz (à proximité de la centrale EDF), qui étudie les antineutrinos émis lors de la décroissance radioactive des produits de fission du combustible. L'installation d'un nouveau détecteur à 400 mètres des réacteurs a commencé en 2013, pour une première prise de données en 2014. À Saclay, le détecteur Nucifer, installé auprès du réacteur expérimental Osiris, a détecté ses premiers neutrinos. Cette expérience pourrait fournir une explication à l'anomalie des antineutrinos de réacteurs en mettant en évidence un nouveau type de neutrino.

De la matière nucléaire aux ions lourds

La matière aux premiers instants de l'Univers était une soupe (plasma) de quarks et de gluons que les physiciens tentent de créer en laboratoire dans les collisions d'ions lourds au LHC. En analysant les flots de J/Psi, particules « témoins » de cet état de la matière, des chercheurs de l'Irfu ont mis en évidence un mécanisme insoupçonné de formation « tardive » de ces particules.

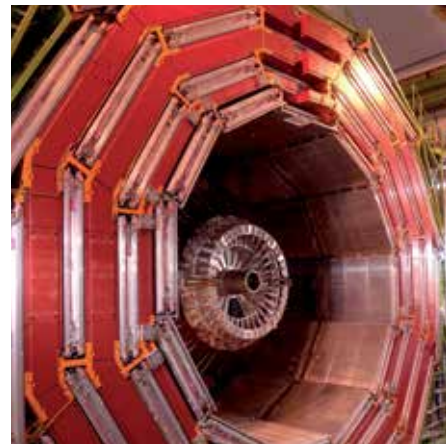
Le nucléon, quant à lui, est une « mer » confinée de quarks et de gluons dont la structure est décrite par le concept de « distributions de partons généralisées » qui permet de rendre compte des nombreuses observations expérimentales, fournissant pour la première fois une image tridimensionnelle du proton. Côté détecteurs, les choix technologiques concernant les détecteurs Micromegas développés par l'Irfu pour les expériences CLAS12 au Jefferson Lab et Compass-II au Cern ont été fixés.

Au Ganil, une étude réalisée sur le fluor 26, très riche en neutrons, a permis de mettre en évidence un affaiblissement de l'interaction proton-neutron dans ce noyau instable. Une collaboration internationale a démontré que le cortège électronique qui entoure les noyaux d'atomes radioactifs n'a pas d'effet significatif sur leur durée de vie. Pour ce faire, ils ont mesuré, avec une précision remarquable, les durées de vie de noyaux de néon 19 et d'oxygène 19 implantés dans des matrices en niobium conducteur (à -177 °C) et supraconducteur (à -269 °C). D'autres chercheurs ont obtenu des informations inédites sur les mécanismes à l'origine des « explosions » de noyaux par une analyse statistique des plus gros débris issus de collisions d'ions lourds parmi les plus violentes.

Quel contenu énergétique pour l'Univers ?

Comprendre la matière noire et l'énergie noire est un enjeu de recherche fondamentale à la croisée de la physique des particules et de l'astrophysique.

Côté matière noire, l'existence d'« axions » a pu être exclue, dans un certain domaine de masses, grâce à des analyses inédites de données



CMS est l'un des détecteurs au LHC, le collisionneur à protons du Cern, à Genève.

enregistrées par l'expérience Edelweiss au laboratoire souterrain de Modane. Après les observations de la collaboration Boss (*Baryon Oscillation Spectroscopic Survey*) qui a mesuré le ralentissement de l'expansion de l'Univers « jeune », l'Irfu poursuit sa participation aux analyses des « oscillations baryoniques acoustiques » (BAO) au sein de l'expérience eBoss à Apache Point (États-Unis) et prépare une contribution instrumentale au projet DESI (*Dark Energy Spectroscopic Instrument*) à l'horizon 2020. Par ailleurs, l'Irfu joue un rôle central, scientifique et technologique, dans la mission spatiale Euclid qui cartographiera la distribution de masses dans l'Univers profond, correspondant à la période où l'expansion de l'Univers a commencé à s'accélérer.

Formation des structures dans l'Univers

Herschel, le plus grand télescope spatial dans le domaine infrarouge et submillimétrique, a terminé sa mission en avril 2013. De nombreuses années seront encore nécessaires à l'exploitation de l'ensemble des données recueillies.

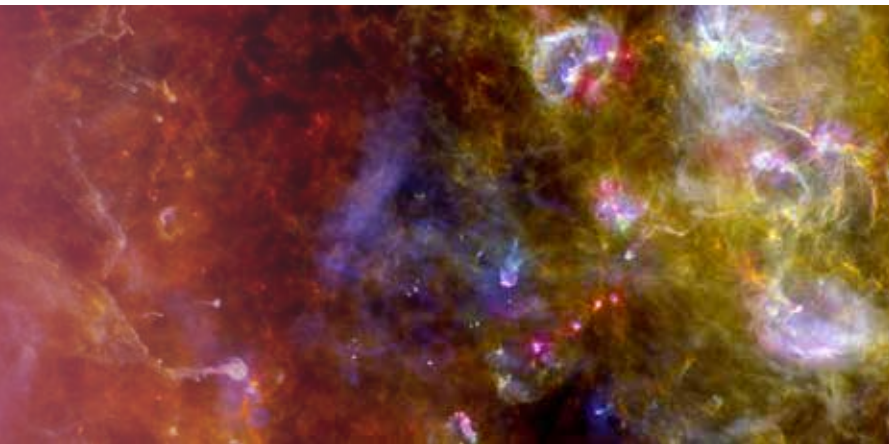
L'imageur Mirim, réalisé sous la maîtrise d'œuvre de l'Irfu, du *Mid Infrared Instrument* (Miri) qui équipera le télescope spatial James Webb (JWST), est en phase de test à la Nasa.

Les caméras des télescopes de taille intermédiaire du futur *Cherenkov Telescope Array* (CTA), NectarCam, seront intégrées à l'Irfu.

LASERS

Les lasers couvrent un large domaine d'applications depuis la chimie et la biologie jusqu'à la physique des champs forts et la fusion par confinement inertiel.

En 2016, un des lasers les plus puissants au monde, Apollon, fournira ses premiers faisceaux dans le souterrain de l'ancien accélérateur linéaire de Saclay. Avec ses impulsions ultracourtes et très intenses, il permettra d'explorer les mécanismes d'accélération de particules au sein du Centre



Pouponnière d'étoiles vue par Herschel.

interdisciplinaire lumière extrême (Cilex). En bombardant une cible mince avec des impulsions laser ultracourtes, il est possible d'accélérer des protons. La structuration de la surface de la cible sous forme de réseau optique a permis à des chercheurs de l'Iramis de multiplier par 2,5 l'énergie des protons accélérés. Le projet Petal (Petawatt Aquitaine laser) consiste en la réalisation d'un laser de haute énergie et de haute puissance générant des impulsions de l'ordre du kJ durant 0,5 à 10 picosecondes et son couplage au laser Mégajoule (LMJ) du Cesta. La création de ce très grand instrument de recherche unique en Europe sera dédié aux études sur la fusion par confinement inertiel, à la connaissance de l'Univers et à la recherche médicale.

ACCÉLÉRATEURS, AIMANTS ET CRYOTECHNOLOGIES

L'Irfu possède des compétences internationalement reconnues dans la conception de cavités et d'aimants supraconducteurs, de cryogénérateurs et leurs instrumentations

associées. L'expertise acquise intéresse de nombreux domaines d'applications et permet d'accompagner des industriels français sur de grands projets internationaux. La construction de l'aimant supraconducteur Iseult, pièce maîtresse pour l'imagerie médicale à très haute résolution de NeuroSpin, se poursuit à Belfort. L'opération délicate d'empilage des 170 « doubles galettes » et la fabrication des bobines de blindage actif sont en cours. La livraison de l'aimant à NeuroSpin est prévue en 2015. Les tests de l'aimant supraconducteur Glad (GSI Large Acceptance Dipole), élément central d'un ensemble de détection du futur accélérateur FAIR (GSI), se terminent. Ils seront suivis par l'intégration de la « masse froide » dans son cryostat pour une livraison à Darmstadt (Allemagne) fin 2014.

Dans le cadre de l'Approche élargie d'ITER, les opérations de réception de la station d'essais des bobines supraconductrices du tokamak japonais JT-60SA se dérouleront courant 2014. 2013 a vu la réalisation et l'installation, à Saclay, de la « boîte à vannes », dédiée à l'alimentation du cryostat. Pour Ifmif-Eveda, la source de deutons a été réceptionnée par F4E et transportée sur le site de Rokkasho, en vue d'une installation en 2014. Enfin, pour la source européenne de rayons X de 4^e génération XFEL, le premier dispositif d'accélération d'électrons a été assemblé à Saclay par une équipe de l'Irfu et testé par le partenaire allemand à Hambourg. Le premier cryomodule de la présérie, composé de 8 cavités accélératrices, a produit un champ électrique de 32 MV/m par cavité au-delà des spécifications demandées (24 MV/m).

Ligne Mars du synchrotron Soleil

Développée dans le cadre d'un partenariat fort entre les Directions de l'énergie nucléaire (DEN) et des applications militaires (DAM), la ligne Mars du synchrotron Soleil a pour objectif l'analyse en biologie, chimie et physique de la matière radioactive à partir du rayonnement synchrotron. Il s'agit d'un instrument unique au monde, tant par sa capacité à accepter des matériaux très fortement radioactifs que par les possibilités d'analyse offertes (diffraction des rayons X à haute résolution, fluorescence et spectroscopie).

En juillet 2013, la DAM y a réalisé la première expérience en pression et température sur plutonium. Cette expérience de diffraction des rayons X ouvre la voie à une détermination beaucoup plus précise du diagramme de phase du plutonium en pression et température et des équations d'état des différentes phases rencontrées. Entre 2010 et 2012, une campagne d'expériences sur la ligne Mars avait déjà permis de préciser les équations d'état du plutonium sur l'isotherme 300K.

En septembre 2013, la DEN y a mené les premières expériences sur un échantillon irradié au-delà du seuil d'exemption³. Elles ont porté sur des échantillons d'acier ODS (matériau envisagé pour les gaines de combustible des réacteurs du futur). L'objectif est notamment d'étudier la stabilité des structures cristallines et l'environnement chimique de l'atome d'yttrium après irradiation, un enjeu pour garantir la tenue mécanique du matériau.

³ Le seuil d'exemption est le niveau de radioactivité en deçà duquel une simple déclaration à l'Autorité de sûreté nucléaire suffit.

Les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR)

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

St 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 & Spiral2
- 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 (voir p. 22)

Calcul intensif

- Genci
- Prace

Grand équipement national de calcul intensif
Infrastructure européenne de supercalculateurs

www.genci.fr
www.prace-ri.eu

L'OUVERTURE DU CEA

2 / A

L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE

P.57

2 / B

ENSEIGNEMENT ET FORMATION

P.58

2 / C

LA RECHERCHE POUR SOUTENIR
NOS ENTREPRISES

P.59

2 / D

L'INVESTISSEMENT DANS LES
JEUNES ENTREPRISES INNOVANTES

P.60

2 / E

CEA TECH, PLATEFORME RÉGIONALE
DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

P.61

2 / F

PRIX ET DISTINCTIONS
2013

P.62/63



Réglage du compresseur optique sur une installation laser.

L'ÉVALUATION SCIENTIFIQUE



Membres du Conseil scientifique du CEA à Saclay.

Pour faire évoluer sa stratégie, le CEA s'appuie sur les résultats des évaluations effectuées par son Conseil scientifique, instance statutaire et son *Visiting Committee*, comité d'experts internationaux, ainsi que sur les résultats des évaluations des instituts ou départements du CEA effectuées par l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (AERES).

ÉVALUATION DE LA THÉMATIQUE « PHYSIQUE DES PLASMAS / LASERS » PAR LE CONSEIL SCIENTIFIQUE

Présidé par le Haut-Commissaire à l'énergie atomique, Yves Bréchet, le Conseil scientifique comprend 1/3 d'experts extérieurs et 2/3 d'experts CEA représentant les pôles et les organisations syndicales. En décembre 2013, le Conseil scientifique du CEA s'est réuni pour évaluer les activités du CEA concernant la thématique « Physique des plasmas/lasers ». La première journée a été consacrée à des exposés magistraux portant sur les interactions laser-matière, les lasers à haute densité d'énergie et à ultrahaute intensité, la physique nucléaire des plasmas, l'astrophysique de laboratoire, ainsi que sur les projets Cilex-Apollon, Petal et Attolab. Lors de la seconde journée, le Conseil scientifique a visité le Laboratoire d'utilisation des lasers intenses (LULI) et certaines installations de l'Institut rayonnement matière de Saclay (Iramis) avant d'échanger directement avec une dizaine de jeunes chercheurs à l'occasion d'une séance poster. À l'issue de ces deux journées, le Haut-Commissaire à l'énergie atomique a fait part de sa grande satisfaction concernant la qualité des exposés. Il a souligné la cohérence et la grande qualité scientifique mais aussi le caractère structurant, fédérateur et ambitieux du projet scientifique présenté.



Montage du système de distribution d'hélium cryogénique pour l'accélérateur d'électrons XFEL.

Cette évaluation par le Conseil scientifique du CEA sera partie intégrante, en juin 2014 et sur le même thème, des travaux du *Visiting Committee* qui se concentrera plus spécifiquement sur la dimension internationale.

ÉVALUATIONS PAR L'AERES

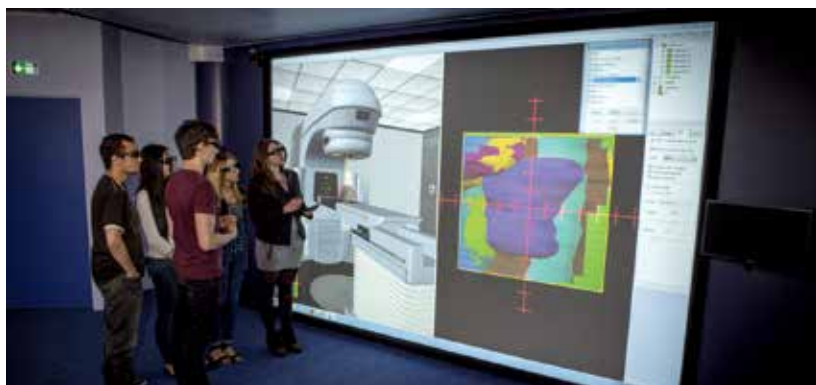
En 2013, trois Unités mixtes de recherche (UMR), dont le CEA est cotutelle, ont été évaluées lors de la vague D (2012-2013). Il s'agissait de l'APC - Astro-particule et cosmologie (UMR 7164) - de l'AIM - Astrophysique instrumentation et modélisation (UMR 7158) - et de l'IRCM - Institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire (UMR 5967). Ces trois UMR ont fait l'objet d'appréciations très positives et ont obtenu exclusivement des notations A+ et A sur l'ensemble des critères.

Pour la vague E (2013-2014), le CEA était fortement concerné par les évaluations organisées par l'AERES. Pour ses unités de recherche, cette vague implique les centres de Saclay, Fontenay-aux-Roses et Marcoule, ce qui représente 60 % des effectifs de recherche de l'organisme. L'ensemble des dossiers a été déposé le 15 octobre auprès de l'AERES. Les comités d'évaluation de ces unités de recherche se sont tenus fin 2013 et début 2014.



Manipulation d'échantillons au laboratoire de recherche sur la réparation et la transcription dans les cellules souches.

ENSEIGNEMENT ET FORMATION



TP en salle immersive avec le simulateur 3D Vert pour la formation en radiothérapie.

L'année 2013 s'est caractérisée pour l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) par le lancement de grands chantiers de modernisation et d'adaptation à un environnement très évolutif.

ÉVOLUTION DES ENSEIGNEMENTS

La Commission des titres d'ingénieur (CTI) a renouvelé, pour une durée de six ans à compter du 1^{er} septembre 2013, l'habilitation de l'INSTN à délivrer le titre d'ingénieur spécialisé en génie atomique.

La formation du Diplôme de qualification en physique radiologique et médicale (DQPRM) s'étend depuis la rentrée 2013 sur deux ans, dans un cadre rénové répondant aux critères européens.

Un important travail collectif a été accompli pour structurer l'offre de la future université Paris-Saclay. L'INSTN contribuera à 12 mentions, sous la forme de 21 parcours. Les maquettes seront déposées au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en juin 2014.

BILAN STABLE POUR LA FORMATION CONTINUE

En 2013, l'INSTN a organisé 615 sessions réunissant 6 400 participants. Partagés entre les programmes « sciences nucléaires & énergie » et « nucléaire de santé & radioprotection », près de 32 000 jours stagiaires ont été réalisés, dont 11 % pour des clients spécifiques. Les formations nucléaires représentaient 94 % des jours stagiaires.

L'offre interentreprises s'est étoffée avec de nouvelles formations sur le démantèlement,

la sûreté, la radioprotection, la médecine nucléaire. La conception de modules de radioprotection en *e-learning* se poursuit avec la société Kaptitude.

NOUVEAUX OUTILS PÉDAGOGIQUES

L'acquisition de nouveaux outils pédagogiques innovants contribue à renforcer l'attractivité des formations.

Un *serious game*, Osiris, destiné à former des professionnels de la radioprotection, a ainsi été développé en collaboration avec la société Oreka.

Une salle immersive a été construite à Saclay pour abriter, entre autres, le simulateur Vert, environnement virtuel pour la formation en radiothérapie.

IMPLICATION EUROPÉENNE ET INTERNATIONALE

Le projet Nushare¹ visant à renforcer la culture de sûreté en Europe a démarré le 14 février. Au sein de ce projet, l'INSTN pilote le développement de formations destinées aux décideurs politiques, journalistes et managers du milieu médical. De nouvelles approches pédagogiques sont mises en œuvre pour s'adapter aux exigences de ces publics.

Le contrat CEA-UE relatif au projet Eurotalents II a été signé le 6 décembre. D'une durée de cinq ans à compter du 1^{er} janvier 2014, Eurotalents II cofinancera à 40 % des séjours de chercheurs de toute nationalité en mobilité dans un laboratoire



Travaux pratiques sur un simulateur de réacteur pour les élèves ingénieurs en année de spécialisation en Génie atomique.

CEA ou partenaire. L'accueil de quelque 130 post-docs de deux ans est envisagé. Le 18 septembre, lors de la conférence annuelle de l'AIEA à Vienne, une démonstration de travaux pratiques *via* Internet a été réalisée en direct depuis le réacteur Isis à Saclay. Une offre de TP va être élaborée, destinée notamment aux pays primoaccédant au nucléaire.

73 doctorants et jeunes chercheurs, dont 29 % de participants étrangers, ont suivi l'*International School in Nuclear Engineering* dont les modules ont eu lieu successivement à Cadarache, Saclay et Marcoule.

Organisées dans le cadre de la chaire internationale *Materials Simulation & Engineering* créée en 2012, deux écoles thématiques - simulations en mécanique, modélisation en thermodynamique - ont réuni chacune 30 participants, étrangers pour plus de la moitié.

¹ Project for Sharing & Growing Nuclear Safety Culture Competence.

LA RECHERCHE POUR SOUTENIR NOS ENTREPRISES



Vue d'ensemble du plateau technologique NanoS.

Le développement de l'activité d'innovation et de R&D des entreprises constitue un enjeu économique majeur, notamment pour la compétitivité d'industries d'avenir hautement stratégiques et dans lesquelles la France a des positions fortes.

À cet égard, le CEA mène une recherche d'excellence dans plusieurs domaines - l'énergie, les technologies pour l'information et la santé, la défense et la sécurité - et depuis de nombreuses années, il a su mettre ses compétences au service des entreprises pour les aider à dynamiser leur capacité d'innovation, qu'elles soient une grande entreprise dimensionnée au niveau international ou une PME/ETI.

Lorsque cela est adapté, les résultats des recherches qui sont conduites au CEA font l'objet de dépôts de brevets. En 2013, le CEA a ainsi déposé 754 brevets prioritaires qui viennent renforcer un portefeuille de près de 5 200 familles de brevets actives. Le CEA reste ainsi le premier organisme de recherche en termes de dépôts auprès de l'INPI.

L'important portefeuille de brevets constitué démontre la capacité de l'organisme à proposer aux entreprises une recherche innovante et sécurisée. Les portefeuilles de brevets sont en effet exploités principalement à travers des actions de transferts technologiques vers le monde industriel, notamment dans le cadre de contrats de collaboration au sein desquels ce capital de propriété intellectuelle est engagé. En 2013, le CEA a mobilisé un portefeuille de plus de 2 000 accords avec le monde industriel, de l'enseignement et de la recherche. Ces accords ont contribué directement ou indirectement à la réalisation d'une partie importante des recettes externes au CEA qui se chiffrent à 906 M€.

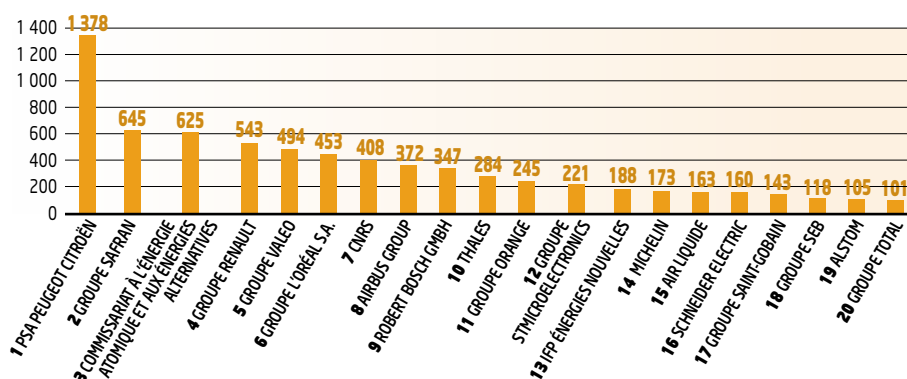
Les brevets peuvent également jouer un rôle essentiel dans la création d'entreprises innovantes. À ce jour depuis 2000, ce sont plus de 100 sociétés innovantes basées sur des technologies ou des savoir-faire du CEA qui ont été créées. En 2013, ce sont 11 entreprises qui ont été créées à partir du CEA.

Par ailleurs, pour intensifier son action de transfert de technologies auprès du monde industriel, il est à noter que l'État a confié au CEA la mission de développer dès 2013 quatre nouvelles plateformes régionales (Nantes, Toulouse, Bordeaux puis Metz - cf page 62). L'objectif est de démontrer que l'exemple réussit de l'écosystème grenoblois dans lequel le CEA

a joué le rôle de moteur d'innovation peut être reproduit sur d'autres sites au bénéfice des industriels locaux.

Enfin, notons que le CEA met en œuvre une politique d'intelligence stratégique globale qui intègre tant les aspects veille, norme... que marketing. Par exemple, le CEA est doté d'un service marketing stratégique. La mission principale de ses unités consiste à aider les laboratoires du CEA à optimiser leurs transferts de technologie, en s'appuyant, entre autres, sur la réalisation d'études de marché, d'analyses bibliométriques et de rapports de veille technico-économique. 2013 est dans ce domaine également une année de performance : 61 études marketing et bibliométriques ont été réalisées.

Classement des 20 premiers organismes et entreprises déposants auprès de l'INPI selon le nombre de demandes de brevets déposées par la voie nationale et publiées en 2013*.



* Les demandes de brevets publiées en 2013 ont été déposées entre le 1^{er} juillet 2011 et le 30 juin 2012. En 2013, le CEA a déposé 754 brevets prioritaires.

L'INVESTISSEMENT DANS LES JEUNES ENTREPRISES INNOVANTES

CEA Investissement est une société de droit privé au capital de 27 M€, filiale à 100 % du CEA. Elle gère des fonds d'investissement et des portefeuilles de participation dans des entreprises technologiques en lien avec les secteurs d'activité du CEA. Depuis sa création en 1999 sous le nom de CEA Valorisation, elle a accompagné stratégiquement et financièrement des jeunes pousses valorisant principalement des technologies du CEA, en finançant en capital leur phase d'amorçage pour les amener sur le marché et les rendre attractives pour les investisseurs financiers. Ces investissements ont généré des retours significatifs pour l'organisme au travers des redevances de licences de propriété industrielle, des collaborations de R&D et des plus-values sur le capital investi.

CEA Investissement est devenue l'investisseur en amorçage le plus actif de France en 2009 et est basée au sein des centres CEA de Saclay et de Grenoble.

En 2013, CEA Investissement a restructuré son activité en deux fonds :

- le fonds Amorçage technologique investissement (ATI) auquel se sont associés différents partenaires institutionnels et industriels en complément du CEA. Il est destiné à étendre l'activité historique d'investissement en amorçage au-delà des seules sociétés issues du CEA mais toujours dans ses domaines d'activité ;
- le fonds stratégique destiné à des interventions en capital n'entrant pas dans la stratégie du fonds ATI (en termes de maturité notamment) au sein de sociétés partenaires du CEA.

En 2013 encore, CEA Investissement a cédé sa participation minoritaire dans Avenium Consulting, filiale qu'elle avait créée en 2009 par essaimage de son activité historique d'accompagnement de la valorisation de portefeuilles de brevets, et contribué à développer depuis.

www.cea-investissement.com



Ajustement du positionnement des plaques de cristallisation dans le robot du système G-Rob.

Avenium Consulting est une société de conseil en stratégie et management de la propriété industrielle et commercialisation de droits pour le compte de tiers (*licensing*).

Pour ses clients (grands groupes industriels, PME/ETI, start-up, universités, centres de recherche, pôles de compétitivité), la propriété industrielle est un actif fondamental à développer, protéger, valoriser. Établir une stratégie de propriété industrielle alignée avec leur stratégie globale est pour eux un enjeu majeur. Avenium les accompagne et les conseille dans cette démarche, tirant sa spécificité de son équipe qui associe expertise scientifique, compétence stratégique et économique, connaissance de la propriété industrielle et savoir-faire en valorisation. Cette équipe est également pluridisciplinaire : NTIC, matériaux, chimie, nouvelles énergies, environnement, technologie pour la santé, biotechnologies et agroalimentaire. En 2013, Avenium a confirmé la pertinence de son positionnement par un nouvel exercice bénéficiaire et conforté sa place d'acteur de référence en management et stratégie de propriété industrielle.

Dans le but de consolider cette position et de permettre à son actionnaire majoritaire CEA Investissement de réaliser une opération de sortie du capital, Avenium s'est adossée à un acteur reconnu et d'envergure internationale, la société Questel, éditrice de logiciels d'accès aux bases de données brevets, qui est devenue le nouvel actionnaire majoritaire d'Avenium en 2013.

www.avenium-consulting.com



Ligne pilote d'assemblage de modules et de packs batteries lithium.

CEA TECH, PLATEFORME RÉGIONALE DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

CEA Tech est forte de 4 500 collaborateurs chargés d'innover au service de l'industrie. Il dispose d'une offre très large de technologies génériques issues de ses trois instituts Leti, List et Liten mais aussi des autres directions opérationnelles du CEA.

Parce qu'il a déjà largement prouvé son savoir-faire en matière de transfert technologique, le CEA s'est vu confier par le gouvernement une mission d'intérêt national, en octobre 2012 : diffuser ce savoir-faire, le décliner dans de nouvelles régions pour accompagner les entreprises dans leur démarche d'innovation. Expérience pilote sur trois ans, trois plateformes régionales de transfert technologique (PRTT) du CEA, faisant partie de l'Institut CEA Tech en Région, ont vu le jour en Aquitaine (à Bordeaux), en Midi-Pyrénées (à Toulouse) et en Pays de la Loire (à Nantes). Les trois Régions choisies pour cette expérimentation présentent un fort potentiel de développement : la recherche y est très présente, sur des thématiques de développement ciblées, et le tissu industriel important. Une quatrième implantation de CEA Tech en Région, en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, rassemble les équipes de CEA Tech déjà présentes à Cadarache et Gardanne, hors expérimentation. Une nouvelle PRTT a vu le jour en Lorraine¹.

Le CEA a été choisi parce qu'en dix ans, dans la région de Grenoble, il a su créer, avec ses partenaires, quelque 25 000 emplois et contribuer à développer une activité industrielle qui représente un tiers du PIB local. Ce résultat repose sur l'atout de l'organisme : savoir convertir la connaissance scientifique de base en un produit fiable, c'est-à-dire aux performances satisfaisantes, reproductibles et à coût de fabrication compétitif. Un des atouts clés est la proximité des entreprises avec lesquelles CEA Tech travaille.

L'OBJECTIF DE CEA TECH

Un maître mot : aller à la rencontre des PME pour leur donner accès aux dernières technologies. Les plateformes régionales s'appuient sur des équipements de pointe dans lesquels le CEA a investi depuis de longues années, rassemblant moyens et compétences de haut niveau à Grenoble, à Chambéry et à Saclay. Leur utilisation est aujourd'hui mutualisée au profit des industriels, qui s'appuient sur ses compétences et ses brevets. Des équipes de chercheurs, ingénieurs, ambassadeurs de la technologie sont progressivement mises en place localement pour répondre aux besoins des entreprises, au plus près des industriels dans chacune des régions de l'expérimentation, le travail technique étant réparti entre les équipes du List, Leti, et Liten, et celles du nouvel institut.

AUTOUR DE TECHNOLOGIES CLÉS GÉNÉRIQUES

À ces structures adaptées s'ajoute une « stratégie de recherche » s'inscrivant naturellement dans celle de l'Union européenne : il s'agit de concevoir et d'utiliser des technologies clés génériques, diffusant dans de très nombreux secteurs industriels, et donc capables de donner rapidement de la valeur ajoutée aux produits conçus par les entreprises. Ces technologies clés génériques ou « *Key Enabling Technologies - KET* » couvrent les domaines de l'énergie, l'habitat, la santé, l'aéronautique, la communication, l'agro-alimentaire, la sécurité, le spatial, l'environnement, le transport et les sports et les loisirs.



Le couplage panneaux-batteries et des onduleurs spécifiques, reliés au réseau EDF, sont étudiés pour l'habitat.

L'originalité de CEA Tech au sein du dispositif de recherche français provient de son positionnement spécifique selon 4 axes :

Axe 1 : CEA Tech occupe l'espace entre les niveaux 3 et 7 de l'échelle des TRL (Technology Readiness Level - correspondant à un niveau de maturité technologique) jouant ainsi le rôle de catalyseur et d'accélérateur d'innovation pour l'entreprise.

Axe 2 : CEA Tech développe des technologies clés génériques qui présentent l'intérêt de diffuser dans tous les domaines industriels et au sein de tous types d'entreprises, grands groupes, ETI, PME et start-up. Ces technologies sont protégées par de nombreux brevets, propriétés du CEA, qui font de CEA Tech le premier déposant de brevets étendus à l'international au plan mondial.

Axe 3 : CEA Tech dispose de plateformes technologiques couvrant l'ensemble de ses technologies et se situant au meilleur niveau international. Mutualisées, elles sont ouvertes à tous les industriels à un coût compétitif.

Axe 4 : CEA Tech possède une forte culture du résultat basée sur la double expérience recherche/industrie de ses personnels et sur des méthodologies éprouvées de transfert de technologies sur les sites de production industrielle.

Suivez CEA Tech et son développement sur un site dédié : www.cea-tech.fr

¹ La PRTT a été créée au 1^{er} janvier 2014

PRIX ET DISTINCTIONS 2013

- L'American Nuclear Society a décerné à **Atalante** (CEA/Marcoule) la distinction prestigieuse de « *Nuclear Historic Landmark* », qui récompense des sites ou des installations ayant accompli, de par le monde, des avancées scientifiques exceptionnelles, ou ayant contribué de manière importante au développement des technologies nucléaires civiles.
- **Élisabeth Bouchaud** (DSM/Iramis/SPEC/Sphynx) s'est vue décerner le prix thématique 2013 de l'Académie des sciences « Anuïta Winter-Klein ». Ses travaux concernent la physique de la rupture des verres d'oxyde, en particulier par des techniques de fractographie quantitative, en vue d'une meilleure compréhension des mécanismes microscopiques.
- **Marie-Anne Burlot** (DSV/I2BM) reçoit une Bourse L'Oréal pour les Femmes et la Science pour ses travaux sur une thérapie génique innovante contre la maladie d'Alzheimer.
- Le prix scientifique 2013 de la Fondation Louis D. sur le thème « Valorisation du CO₂ : approche chimique et biotechnologique » a été décerné à **Thibault Cantat** (DSM/Iramis/NIMBE/LCMCE). D'un montant de 450 000 euros, ce prix lui est attribué pour encourager ses travaux innovants sur le recyclage chimique du CO₂.
- **Philippe Ciais** (DSM/LSCE) a reçu le trophée des « Étoiles de l'Europe » à l'occasion du lancement du programme européen Horizon 2020. Cette distinction lui est décernée pour la coordination du projet ICOS (cf page 22).
- Les équipes **DAM, DSM (LSCE)** et **DRT (Leti)** du CEA ont reçu le Trophée du Président 2013, un des Trophées de la résilience sociétale, de l'association « Haut-comité français pour la défense civile », pour le collecteur individuel de particules dans l'air « Biodosi ». (cf page 34). Ce prix, remis à **Roland Sarda-Estève** (DSM/LSCE) en présence de nombreux élus, industriels et acteurs français de la sécurité et de la gestion de crise, récompense l'émergence rapide d'un équipement innovant répondant au besoin de surveillance de l'exposition des primo-intervenants.
- **Stanislas Dehaene**, directeur de l'Unité neuro-imagerie cognitive DSV-I2BM et professeur de psychologie cognitive au Collège de France, est lauréat du grand prix Inserm 2013 pour l'ensemble de ses recherches sur les fonctions cognitives et la conscience.
- Le prix 2013 du Partenariat Hubert Curien « Amadeus » (franco-autrichien) a été décerné à **Hervé Desvaux** (DSM/Iramis) et Norbert Müller de l'Institut für Organische Chemie de l'université J. Kepkeler de Linz (Autriche), pour leurs travaux avancés de résonance magnétique nucléaire (*Effects of chemical exchange on NMR spectra at high nuclear spin*).
- **Marc Dhenain** (DSV-I2BM) reçoit un prix de la Fondation France-Alzheimer pour évaluer une nouvelle hypothèse sur l'induction et la propagation de la maladie d'Alzheimer.
- Le poster « *Development of the measure of organic complexing agents in the framework of low/intermediate-level radioactive waste disposals* », présenté par **Alain Dodi** (DEN/DEC/SA3C) au congrès ICEM de Bruxelles, a été désigné meilleur poster dans la catégorie « *Low/intermediate-level radioactive waste management* ».
- Le grand prix SFEN, qui récompense une œuvre scientifique ou technique de haut niveau, a été décerné à Europlexus, représenté par **Vincent Faucher, Haridh Bung, Pascal Galon-Bruere Dawson et Fabienne Bliard** (DEN/DANS/DM2S/SEMT).
- **Christelle Godin** (DRT/Leti) a reçu le prix FIEEC 2013. Ses travaux ont contribué à développer des solutions de fusion de données pour l'analyse du mouvement destinées à des applications grand public.
- **Jacques Grassi**, directeur de recherche à la DSV et de l'un des instituts d'Aviesan jusqu'à fin 2013, reçoit le prix OPECST-Inserm pour son action dans la valorisation industrielle de la recherche dans le secteur de la santé.
- Le livre d'**Étienne Klein** (DSM/Iramis/SPEC/Larsim) *En cherchant Majorana, le physicien absolu*, est élu meilleur livre scientifique de l'année 2013, par le magazine *Lire*.
- **David Kosower** (DSM/PhT) a reçu le « *J. J. Sakurai Prize for Theoretical Particle Physics 2014* », en commun avec ses collaborateurs Zvi Bern et Lance Dixon. Ce prix décerné par l'American Physical Society leur a été attribué « pour leurs contributions révolutionnaires au calcul des amplitudes de diffusion perturbatives, qui ont permis une compréhension approfondie des théories quantiques des champs, et ont abouti à des outils de calcul puissants en chromodynamique quantique ».
- **Pierre Laghoutaris** (DEN/DANS/DPC/SCCME) est lauréat du diplôme d'honneur du Centre français de l'anticorrosion (Cefracor), pour ses travaux portant sur la corrosion sous contrainte, les interactions hydrogène/matériaux et son début de carrière dans le domaine de la corrosion en milieu nitrique.
- **Denis Le Bihan** (DSV/NeuroSpin) est récompensé par le prix d'excellence du Federal Laboratory Consortium for Technology Transfer, aux États-Unis, pour ses travaux sur l'IRM de diffusion et ses nombreuses applications dans le domaine de la santé.
- **Mami Lima** (DSV/I2BM) est lauréate du prix Tashibana de l'université de Tokyo pour ses travaux sur l'IRM de diffusion.
- **Pierre Marcoux** (DRT/Leti/DTBS/SBSC/LCMI) a reçu le prix pour son exposé exceptionnel lors de la 3^e Conférence internationale sur la technologie des biocapteurs (*International Conference on Bio-Sensing Technology*).
- **Valérie Masson-Delmotte** (DSM/LSCE), directrice de recherche au CEA et responsable de groupes de recherche, est lauréate du prix Irène Joliot-Curie 2013 dans la catégorie « femme scientifique de l'année ».
- **Patrick Mauchien, Jean-Luc Lacour et Jean-Baptiste Sirven** (DEN/DANS/DPC) ont reçu un prix de la Nasa, pour leurs contributions exceptionnelles à la réalisation, au fonctionnement optimal et à l'exploitation des résultats obtenus par l'outil ChemCam équipant le robot Curiosity pour l'exploration martienne.
- **Vladimir P. Mineev** (DSM/Inac/SPSMS/GT) et Grigory E. Volovik de l'université Aalto à Helsinki (Finlande) ont reçu le prix Lars Onsager 2014. Ce prix de l'American Physical Society distingue une recherche exceptionnelle en physique statistique théorique concernant des fluides quantiques. Ce prix récompense « *their contribution to a comprehensive classification of topological defects in condensed matter phases with broken symmetry, culminating in the prediction of half-quantum vortices in superfluid He-3 and related systems* ».
- **Olga Mula Hernandez** (DEN/DANS/DM2S/SERMA) a été primée par L'Oréal France et la Commission française pour l'Unesco dans le cadre de leur programme « Pour les femmes et la science ». Elle a reçu une bourse dans la catégorie « Physiques et mathématiques » pour son dossier intitulé « Simulation numérique visant à accroître la sécurité dans le nucléaire ».
- Le prix 2013 de la conférence « *Alpine Conference on Solid-State NMR* » a été remis à **Gaël de Paëpe** (DSM/Inac/SCOB/RM), reconnu pour ses travaux dans les développements théoriques, applicatifs et instrumentaux de la polarisation dynamique nucléaire (DNP) dans le domaine de la RMN haute résolution en phase solide.
- La médaille Milutin Milankovic 2013 est décernée à **Didier Paillard** (DSM/LSCE), pour ses travaux innovants sur la nature non linéaire du système climatique de notre planète, en particulier sur la réponse au quaternaire du climat et du cycle du carbone au forçage astronomique (de Milankovitch).
- Le prix de la meilleure affiche des journées annuelles du Groupe français de la céramique (GFC) a été décerné à **Geoffroy Pelloquin** (DEN/DEC/SPUA), pour son poster sur l'optimisation et la maîtrise des paramètres de fabrication de pastilles de carbure mixte d'uranium et de plutonium.
- Le prix Jacques Gaussens, décerné à un jeune chercheur innovateur, a été attribué à **Yannick Robert** (DEN/DANS/DMN/SEMI).
- **Le Service de recherches en métallurgie physique** (DEN/DANS/DMN/SRMP) a obtenu le premier prix du concours photo organisé à l'occasion des journées CaZaC (Carl Zeiss Application Community) grâce à une image réalisée par Patrick Bonnaillie par MEB sur des monocristaux BiFeO₃.
- **Manuel Théry** (DSV/IRTSV) est lauréat d'une bourse de la fondation européenne EMBO pour ses recherches sur les mécanismes d'organisation spatiale intracellulaire.

- **François Vacherand** (DRT/Leti/DSIS) a reçu le prix ANR du Numérique 2013.
- Le grand prix 2013 de l'Académie des sciences « Mergier Bourdeix » est décerné conjointement à **Pierre Vanhove** (DSM/IPHT) et à Sylvia Serfaty, de l'université Pierre et Marie Curie de Paris.
- **Pierre Védrine** (DSM/Irfu/SACM/LEAS), ingénieur à l'Irfu, a reçu le prix spécial du jury des ingénieurs de l'année décerné par *L'Usine nouvelle et Industrie et technologies*. Il est distingué pour la mise au point du toroïde central du détecteur de particules Atlas, l'un des deux grands détecteurs du LHC qui a récemment apporté la preuve de l'existence du boson de Higgs.
- Prof. Dr. **Thomas Zemb** (ICSM et professeur INSTN) a reçu à l'université de Paderborn, la médaille internationale « Thomas Graham » décernée par la « Deutsche Kololid Gesellschaft » pour ses travaux sur les systèmes chimiques « catanioniques » et les transferts d'ions entre fluides complexes.
- Le prix 2013 de la Société européenne de physique pour la physique des particules de haute énergie a récompensé les **scientifiques des expériences Atlas et CMS**, auprès du LHC au CERN, pour la découverte du boson de Higgs, ainsi que trois physiciens, Peter Jenni, Michel Della Negra, Tejinder Virdee, pionniers et leaders de ces expériences.

PRIX DOCTORANTS

- **Thomas Garnier** (DEN/DANS/DMN) a été distingué par le prix Jacques Dalla Torre de la Société française de métallurgie et de matériaux (SF2M), suite à sa soutenance de thèse portant sur les transferts d'échelle dans la modélisation thermodynamique et cinétique des alliages.
- **Farah Hariri** (DSM/Irfu), doctorante, a reçu le prix Itoh décerné durant la conférence européenne de physique des plasmas (EPS 2013) pour ses travaux sur une nouvelle approche numérique du calcul de la turbulence dans un plasma magnétisé, méthode validée sur la turbulence engendrée par les gradients de température des ions.
- Le prix Jean Bourgeois, qui récompense une thèse dont le sujet se rapporte directement ou indirectement à la sûreté des installations nucléaires, a été décerné à **Arthur Hellouin de Menibus** (DEN/DANS/DMN/SEMI). Un prix mention spéciale a aussi été décerné dans cette catégorie à **Sofia Carnevali** (DEN/DTN).
- **Corentin Herbert** (DSM/LSCCE), doctorant, a été distingué comme lauréat du prix Prud'homme 2013 de la Société météorologique de France pour sa thèse « Applications de la mécanique statistique à la modélisation du climat - Thermodynamique et dynamique de l'atmosphère ».
- **Simon Pagès** (DEN/DTEC/SGCS) a reçu le prix Jean Besson aux 44^{es} journées d'étude sur la cinétique hétérogène, pour ses travaux de thèse intitulés : « Cinétique et modélisation de l'hydrofluoruration de l'uranium : impact de l'oxyde initial ».
- **Stéphanie Patel** (DSM/Iramis), doctorante, est lauréate européenne du concours SAMPE (*Society for the Advancement of Material Process Engineering*). Sa thèse s'intitule « Nanotubes de carbone alignés sur supports carbonés : de la synthèse aux matériaux composites ».
- **Daniele Sette** (thésard au CTBU, DRT/Leti/DCOS/SCMS/LCFC) a reçu le prix « Young Investigator

Award Holm » pour sa présentation : « Étude des contacts électriques d'un interrupteur à membrane réalisé par impression à jet d'encre ». Document corédigé avec Christophe Poulain (DRT/Leti/DCOS/SCMS/LCFC), Abdelwahhab Yakoub, Emse, CMP, Mohamed Saadaoui, Emse, CMP, Béatrice Dubois, Gemalto, et Anne Blayo, Grenoble INP - Pagora.

- Le prix 2013 de la thèse de la Société française d'astronomie et d'astrophysique (SFZA) a été attribué le 6 juin 2013 à **Antoine Strugarek** (DSM/Irfu/SAP/LDEE) pour sa thèse en cotutelle Irfu et Irfu « Turbulence, transport et confinement : des tokamaks au magnétisme des étoiles ».
- **Guillaume Tremoy** (DSM/LSCCE), doctorant, s'est vu décerner le prix *Le Monde* de la recherche universitaire 2013 pour sa thèse : « Étude de la composition isotopique (deutérium et oxygène 18) de la vapeur d'eau à Niamey (Niger) : vers une meilleure compréhension des processus atmosphériques en Afrique de l'Ouest ».
- **Julia Wiktor** (DEN/DEC/SESC) s'est vue décerner par l'E-MRS (European Materials Research Society) l'un des deux prix du doctorant du symposium « *Basic research on ionic-covalent materials for nuclear applications* ». Il récompense sa présentation et la publication soumise sur l'application de nouvelles méthodes de calcul de structure électronique au calcul de temps de vie de positons dans les monolacunes de carbure de silicium ³C et ⁶H.

EUROPEAN RESEARCH COUNCIL (ERC)

- **Monique Arnaud** (DSM/Irfu/SAP) a reçu une bourse ERC senior pour tester le modèle standard de la cosmologie du Big Bang en analysant les amas de galaxies de matière sombre les plus massifs.
- Lauréat ERC consolidator, **Patrice Bertet** (DSM/Iramis/SPEC/GQ) propose d'appliquer les concepts de l'électrodynamique quantique à la détection et à la manipulation de spins nucléaires et électroniques dans des centres colorés du diamant comme les couples azote-lacune. L'objectif est d'atteindre un régime où des spins électroniques uniques interagissent fortement avec des photons micro-ondes uniques.
- L'équipe de Jérôme **Boisbouvier** (DSV/IBS) et d'**Olivier Hamelin** (DSV/IRTSV) reçoit une bourse ERC catégorie « Preuve de concept » pour concevoir de nouvelles voies de marquage isotopique en RMN moléculaire.
- **Thibault Cantat** (DSM/Iramis/NIMBE/LCMCE) a reçu une bourse ERC junior pour développer la valorisation du CO₂ comme source de carbone pour produire des molécules produites aujourd'hui à partir du pétrole comme des amines, des esters ou des amides.
- **Philippe Ciais** (DSM/LSCCE) est lauréat ERC synergy.
- L'équipe de **Stanislas Dehaene** de DSV/I2BM bénéficie d'une bourse ERC « Preuve de concept » pour évaluer des outils de mesure et d'analyse de l'état de conscience de patients dans le coma.
- **Julien Vallette** (DSV/I2BM) est lauréat d'une bourse ERC catégorie « Jeune chercheur » pour développer de nouvelles techniques de mesure *in vivo* de caractéristiques des neurones.
- **Pascal Yiou** (DSM/LSCCE) a reçu une bourse ERC senior pour développer une analyse originale du

changement climatique grâce à des analogues de flux atmosphériques.

INNOVATION

- **Pascal Boulanger** (DSM/Iramis) a reçu le prix du meilleur projet de plan d'entreprise au Forum HEC - Challenge +, pour son projet de création de start-up, NawaTechnologies, destiné à valoriser le savoir-faire de l'Iramis dans le domaine des nanotubes de carbone alignés.
- **Guy Deniau** (DSM/Iramis/NIMBE/LICSEN) a reçu le prix Fibre de l'innovation d'Optics Valley, catégorie Recherche, pour son projet « Implants intraoculaires : vers un nouveau standard d'implants intraoculaires pour éradiquer les effets secondaires de l'opération la plus pratiquée au monde, la cataracte ». Cette thématique est développée en partenariat avec Biowintech.
- Le prix Astre 2013 (Action de soutien à la technologie et à la recherche en Essonne) du conseil général de l'Essonne a été décerné à **Claude Fermon** (DSM/Iramis/SPEC/LNO) et son équipe, pour leur projet : « Lasercut : découpe laser ultraprécise pour la microfabrication ».
- **Dominique Morche** (DRT/Leti/DACLE/LAIR), représentant le projet PANAMA (*Power Amplifiers and Antenna for Mobile Applications*), a reçu le prix « CATRENE innovation award » lors du European nanoelectronics forum 2013 à Barcelone.
- **Sylvie Sauvaigo** (DSM/Inac/SCIB/LAN) a reçu le prix Biovision Catalyzer pour un projet qui associe la future start-up LXRepair, le laboratoire Lésions des acides nucléiques de l'Inac et un partenaire radiothérapeute du labex PRIMES (à Lyon). Ce projet vise à identifier des biomarqueurs de radiosensibilité pour des patients atteints de cancer sous radiothérapie, afin d'optimiser la dose thérapeutique et de prévenir ses effets secondaires. Elle est également lauréate du concours national d'aide à la création d'entreprises innovantes.
- **Dominique Vicard** (DRT/Leti/DSIS/SCSE/LFAO) et **Jean Brun** (DRT/Leti/DCOS/SCMS/LPI) ont reçu le prix de l'innovation Avantex, dans la catégorie Nouveaux matériaux, pour la technologie E-Thread® dans les textiles.
- **Dominique Vicard** (DRT/Leti/DSIS/SCSE/LFAO) a reçu le prix du concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes pour Primo1D, start-up créée en 2013 et utilisant la technologie E-Thread®.

DISTINCTIONS

- **Jean-Jacques Aubert** (DRT/Leti/DCOS/SCPE) a été élu le 12 septembre 2013 Président de la Société française d'optique (SFO) pour un mandat de deux ans.
- **Patrick Boisseau** (DRT/Leti/DTBS), Responsable du programme Nanomédecine au CEA-Leti, a été élu Président de l'European Technology Platform on Nanomedicine.
- **Simon Deleonibus** (DRT/Leti/DCOS) est Vice-Président de IEEE Electron Device Society Region 8 (Europe, Russie, Afrique, Moyen Orient) et est IEEE Distinguished Lecturer 10 year Award.
- **Gilles Poupon** (DRT/Leti/DCOS) est nommé membre du Conseil d'administration de IEEE CPMT (IEEE Components, Packaging and Manufacturing Technology Society).

L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES

3 / A

MAÎTRISER INTÉRÊT INDIVIDUEL
ET COLLECTIF

P.65

3 / B

RELATIONS INTERNATIONALES

P.66

3 / C

COMMUNICATION ET DIFFUSION
DE L'INFORMATION

P.67

3 / D

MAÎTRISE DES RISQUES

P.68/70

3 / E

SYSTÈMES D'INFORMATION

P.71



Équipe travaillant à la préparation de précurseurs
céramiques de matrices de conditionnement.

MAÎTRISER INTÉRÊT INDIVIDUEL ET COLLECTIF

Au 31 décembre 2013, le CEA comptait 16 129 salariés permanents (9 825 cadres et 6 304 non-cadres). Le taux d'emploi féminin s'élevait à 31,2 %.

405 recrutements ont été réalisés avec un taux de féminisation de 37,3 %. Dans le même temps, 599 salariés permanents ont quitté le CEA, dont 264 départs en retraite ou cessation anticipée d'activité. Le taux d'emploi des salariés en situation de handicap est de 4,15 %.



Équipe de radioprotection effectuant la surveillance des balises.

La Direction des ressources humaines et des relations sociales pilote ce domaine fonctionnel pour l'ensemble du CEA. L'année 2013 a été marquée par le déploiement de l'accord relatif à l'exercice du droit syndical et de représentation du personnel, et par les élections professionnelles du mois de mars, d'une part, par l'élaboration du projet de Plan moyen long-terme 2013/2022 sur le secteur civil dans un contexte général de réduction de la dette publique, d'autre part, et, enfin, par le déploiement du référentiel de management.

UN DIALOGUE SOCIAL RECONNU

Signé fin 2012, le déploiement de l'accord pour le développement du dialogue social au CEA traduit la volonté des parties de faire progresser dans tous les établissements la qualité et l'efficacité du dialogue, pour l'entreprise et pour ceux qui s'y consacrent.

Parallèlement, l'année 2013 a été ponctuée par le renouvellement des instances représentatives du personnel par vote électronique. Les résultats cumulés des élections des représentants du

personnel aux comités d'établissement, tous collèges confondus ont permis à la CFDT, la CGT, la CFE/CGC, la CFTC et à l'UNSA/SPAEN de recueillir, chacun, plus de 10 % des suffrages valablement exprimés. Ces cinq organisations syndicales sont représentatives au niveau du CEA.

MAÎTRISER LES CHARGES RELATIVES AUX FINS DE CARRIÈRE

Le CEA, comme l'ensemble de la sphère publique, contribue à l'effort de réduction de la dette. Le champ des contraintes CEA lié à cet exercice tient à l'accroissement des dépenses relatives à la sûreté et à la sécurité (mises aux normes post-Fukushima, amélioration de la sécurité des sites), des montants à mobiliser pour la construction, prioritaire, du réacteur de recherche Jules Horowitz, mais aussi, à la croissance prévisionnelle des charges de personnel, notamment celles relatives aux fins de carrières des salariés (revenus d'inactivité dans le cadre des cessations anticipées d'activité (CAA) et indemnités de départ en retraite). Entre 2013 et 2017, le montant prévisionnel des charges de fin



Manipulation sur la ligne Antarès.

de carrière double, en passant de 44 M€ à 89 M€, pour l'ensemble du CEA (civil + DAM) ; sur cette période, l'augmentation progressive de l'effet Noria¹ ne suffit pas à compenser la croissance des charges de fin de carrière. Aussi, des dispositions permettant d'en limiter en partie la croissance ont été négociées fin 2013 avec les organisations syndicales représentatives.

Le 17 décembre, trois accords ont été signés par la Direction et des organisations syndicales représentatives au niveau du CEA :

- le premier porte sur la révision de certaines dispositions de la convention de travail du CEA, parmi lesquelles celles du chapitre 18 relatif à la retraite ;
- le second met en place le contrat de génération au CEA, en application de la loi du 1^{er} mars 2013 ;
- enfin, le troisième définit la politique d'emploi du CEA des personnels recrutés en contrat à durée déterminée.

Ces trois accords ouvrent la voie à un renouvellement de la convention de travail du CEA à la fin du premier trimestre 2014.

UN RÉFÉRENTIEL DE MANAGEMENT

Diffusé aux responsables hiérarchiques, le référentiel de management au CEA identifie cinq compétences managériales fortes. Les deux premières, capacité à décider dans un environnement complexe et travail en réseau, répondent au changement de contexte de notre organisme et notamment à la croissance forte des interactions extérieures. Les deux suivantes, responsabilité et dimension humaine du management, sont le reflet de nos valeurs et notre identité managériale. La dernière est consacrée à la préparation de l'avenir. Ce référentiel de management est, depuis 2013, déployé dans toutes les formations managériales.

¹ Effet Noria : taux de variation de la masse salariale causé par la variation de l'ancienneté des salariés résultant à la fois de leur vieillissement et du remplacement des plus âgés par le recrutement de salariés plus jeunes.

RELATIONS INTERNATIONALES

La politique européenne et internationale du CEA s'articule autour de plusieurs objectifs majeurs dont ceux de participer à la construction de l'Espace européen de la recherche, de développer son rayonnement scientifique international et de soutenir la politique française d'exportation de l'énergie nucléaire, notamment par ses collaborations avec les partenaires étrangers développant un programme d'énergie nucléaire civile.

Soucieux de développer les meilleurs standards à l'international, le CEA a mené les discussions avec le DOE américain qui ont abouti à la signature en août 2013 par les ministres Martin et Moniz d'une déclaration commune sur la responsabilité civile nucléaire qui a fait l'objet d'une communication lors de la 57^e conférence générale de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Au niveau multilatéral, le CEA a notamment tenu le rôle de chef de délégation française, à l'occasion de la 3^e conférence ministérielle sur « l'énergie nucléaire au XXI^e siècle », organisée à Saint-Petersbourg par l'AIEA, en partenariat avec l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE/AEN) marquant l'adhésion aux travaux de renforcement du cadre international de sûreté nucléaire entrepris par l'AIEA suite à l'accident de Fukushima.

Le domaine des énergies renouvelables fait aussi l'objet de rapprochements à l'international comme l'illustre l'accord sur la production de microalgues en faveur des biocarburants de 3^e génération signé entre la Direction des sciences du vivant du CEA et le Centre national de recherche du Canada (CNRC) ou encore les discussions à haut niveau lancées fin 2013 avec le Québec sur le véhicule électrique.

Acteur majeur de la construction de l'Espace européen de la recherche, le CEA assure un rôle moteur au sein de multiples initiatives et instances. Les financements du 7^e PCRD irriguent le CEA, le positionnant à la 4^e place parmi les organismes européens avec une présence dans 770 projets de recherche et une position de coordinateur dans 180 projets. En sus de son implication forte dans l'Alliance européenne de la recherche énergétique (EERA), le CEA participe aux programmes de recherche conjoints

et coordonne ceux sur le photovoltaïque et les matériaux/procédés avancés. Le CEA a aussi été un acteur central dans la structuration européenne sur les « *key enabling technologies* ». Le Comité technique Euratom (CTE), appui technique du Secrétariat général aux affaires européennes (SGAE) du Premier ministre, et dont le secrétariat est assuré par le CEA, a contribué significativement en 2013 à l'instruction de dossiers clés au plan européen, comme la Responsabilité civile nucléaire (RCN) et la révision de la directive Sûreté nucléaire.

Le CEA a poursuivi, en 2013, des relations bilatérales avec les pays européens. Il a notamment continué à accompagner ses partenaires britanniques et polonais dans la mise en œuvre d'actions en support au développement de leur programme nucléaire, notamment dans les domaines de la formation et de la recherche et

développement. Le CEA a par ailleurs apporté sa contribution au renforcement de la coopération franco-allemande, par le développement des contacts techniques avec l'association Helmholtz et la Fraunhofer-Gesellschaft et l'organisation, en collaboration avec l'association Helmholtz, du premier sommet franco-allemand pour la recherche rassemblant les représentants des plus grands organismes de recherche français et allemands.

Enfin, l'accueil de longue durée de visiteurs étrangers est un autre élément essentiel de la politique d'ouverture du CEA à l'international avec près de 800 scientifiques et ingénieurs étrangers de plus de 70 nationalités en 2013. Le programme Eurotalents, reconduit fin 2013 avec le soutien de la Commission européenne, constitue l'un des outils permettant la mise en œuvre de cette politique.



Signature d'une déclaration commune sur la responsabilité civile nucléaire entre le DOE et le CEA le 3 juillet 2013 à Paris.



Visite du RJH par une délégation de VTT (Finlande) à Cadarache à l'occasion du *steering committee* de l'accord CEA-VTT le 1^{er} avril 2014.

COMMUNICATION ET DIFFUSION DE L'INFORMATION

La Direction de la communication du CEA est chargée, à l'adresse de ses concitoyens, d'une mission d'information sur les enjeux et les résultats de ses recherches et d'une mission de valorisation de leur impact économique que ce soit en termes de création de richesse économique ou d'emplois.

Les domaines d'action concernés sont ceux définis dans le Plan moyen-long terme (PMLT) de l'organisme : énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), défense et sécurité globale, technologies pour la santé, technologies pour l'information, conception et exploitation des très grands instruments de recherche ainsi que la recherche fondamentale associée à chacun de ces thèmes.

EVÈNEMENTS GRAND PUBLIC

La participation du CEA à la Semaine de l'industrie, du 18 au 24 mars 2013, a permis de marquer l'implication de l'organisme dans la ré-industrialisation du pays. Une journée « le CEA de la recherche à l'industrie » a été organisée à cette occasion à la maison de la Chimie. Stands et tables rondes ont permis aux PME/PMI de rencontrer les chercheurs. Cette journée a été lancée par le ministre Arnaud Montebourg et conclue par Louis Gallois. Un numéro spécial *Les Défis du CEA* a été diffusé lors de cet événement. Le CEA a participé pour la deuxième fois, avec l'Inserm, à la 12^e édition des Utopiales de Nantes, Festival international de science-fiction où des chercheurs du CEA ont participé aux tables rondes et ont présenté au public des innovations technologiques visant l'amélioration du quotidien au sein de l'espace Futurotechnos.

ACTION VERS LES SCOLAIRES

La deuxième édition de « Scientifique, toi aussi ! » a transformé l'essai de 2012 avec une très forte participation des lycéens de 1^{re} et de terminale S qui ont pu, accompagnés de leurs enseignants,



Arnaud Montebourg à la journée
« Le CEA de la recherche à l'industrie ».

rencontrer les chercheurs et visiter laboratoires et installations des centres du CEA. La « Science en marche », une formation initiée début 2013 et proposée aux enseignants, a remporté un grand succès. À destination des jeunes collégiens, lycéens et de leurs professeurs, *Les Savanturiers* sont désormais disponibles aussi en version digitale sur le site web, pour les tablettes et sur le kiosque Apple. 2013 a été marqué par le lancement de la newsletter mensuelle « CEASCOPE », le RDV de la culture scientifique du CEA.

ACTION VERS LES DÉCIDEURS

Dans le cadre des réflexions sur la transition énergétique, *Clefs CEA* a dressé le panorama des recherches sur les énergies bas carbone développées au CEA. Au niveau national et international, le CEA a été présent sur des salons tels que Global 2013, ICM à Bruxelles...



PRESSE, MÉDIAS, WEB

Le service presse quant à lui a organisé une quinzaine de voyages ou conférences de presse et publié 67 communiqués balayant l'ensemble des activités du CEA.

Le site web www.cea.fr a bénéficié du développement de nouveaux contenus pédagogiques pour l'espace jeunes et a vu globalement sa fréquentation passer à 1,66 million de visiteurs uniques (augmentation de 12 % par rapport à 2012). Le « fil science et techno », lancé en décembre 2010, a atteint, avec 604 articles publiés, 1,9 million de visites en 2013 (1,2 million en 2012).

COMMUNICATION INTERNE

La communication interne a pour objectif d'explicitier la stratégie de l'organisme et ses programmes, de donner de la lisibilité à son organisation et à son fonctionnement, et de contribuer au développement et à la préservation du capital culturel de la collectivité. Dans cet objectif deux actions innovantes ont été réalisées en 2013 :

- dans le cadre du débat sur la transition énergétique : mise en place de CEA Sphère, un site intranet collaboratif, véritable laboratoire d'idées dont les objectifs sont d'informer sur le débat et les différentes sources d'énergie et d'accroître l'expertise collective du CEA par l'échange et le débat ;
- dans le cadre de l'élaboration du PMLT du CEA, a été déployée une visioconférence simultanée sur tous les sites du CEA grâce à laquelle l'Administrateur général du CEA a pu échanger avec 3 420 salariés, répartis sur 46 points desservis. Il lui a été ainsi possible de présenter les grands enjeux de ce PMLT et répondre à 36 questions posées en direct par les personnels.

MAÎTRISE DES RISQUES

Au CEA, la maîtrise des risques prend en compte plusieurs domaines : la sûreté nucléaire, la sécurité des travailleurs, le suivi et le contrôle de l'impact des activités de recherche sur l'environnement.

POLITIQUE ET MANAGEMENT DE LA SÛRETÉ

Les activités de recherche et de développement du CEA liées aux programmes nucléaires civils ou de défense, mais aussi celles liées à la recherche fondamentale et à l'enseignement, 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. Ces installations sont variées : réacteurs et laboratoires de recherche, installations de supports pour le traitement de déchets et d'effluents...

Les risques potentiels spécifiques aux installations nucléaires sont liés à la présence généralement limitée de matières radioactives. Le risque représenté par les produits radioactifs ou les faisceaux de rayonnement mis en jeu concerne essentiellement le personnel intervenant dans les installations.

Maîtrise de la sûreté

La sûreté est une priorité inscrite dans les contrats successifs État-CEA. Sa maîtrise relève de la responsabilité de l'exploitant nucléaire. Elle s'exerce depuis la conception d'une installation jusqu'à son démantèlement.

La maîtrise de la sûreté s'appuie sur un ensemble de dispositions, aussi bien organisationnelles que techniques, cadrées par une politique de sûreté développée et notifiée à tous les niveaux de l'organisme. Des standards et des objectifs de sûreté ont été fixés : le référentiel interne de sûreté du CEA et les plans triennaux successifs d'amélioration de la sûreté et de la sécurité, ainsi que les ressources nécessaires, en cohérence avec les exigences réglementaires exprimées notamment dans l'arrêté « INB » du 7 février 2012.

Application de l'arrêté INB

Cet arrêté de février 2012 est entré en vigueur pour une partie importante de ses articles le 1^{er} juillet 2013. Ces règles générales portent sur l'organisation et les responsabilités des exploitants d'INB, la démonstration de sûreté nucléaire, la maîtrise des nuisances et de leur impact sur la santé et l'environnement, la gestion des déchets et la préparation et la gestion des situations d'urgence. Il élargit le champ d'application de l'arrêté qualité de la sûreté à la « protection des intérêts » mentionné à l'article L. 593-1 du Code de l'environnement : sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement.

Un groupe de travail, mis en place dès 2012, a élaboré les modalités d'application de l'arrêté aux INB du CEA qui ont été présentées sur les centres. Les actions entreprises à la suite de l'accident de Fukushima se sont poursuivies.

Évaluations complémentaires de sûreté (ECS)

Après une première série d'ECS en 2011 sur les installations jugées prioritaires par les autorités de sûreté (lot 1), une deuxième série d'ECS a été réalisée en 2012 sur d'autres installations du CEA et sur les moyens communs des centres de Cadarache et Marcoule (lot 2). Ces deux séries ont été complétées en 2013 par les ECS sur les moyens communs du centre de Saclay et sur d'autres installations du CEA en même temps que leur rapport de réexamen de sûreté.

Suite à l'examen des ECS des installations du lot 1, les autorités de sûreté ont confirmé que leur niveau de sûreté est suffisant. Pour augmenter leur robustesse face à des situations extrêmes, au-delà des marges de sûreté dont elles disposent déjà, les autorités ont demandé que soit défini, sur les installations qui le nécessitent, un « noyau dur » destiné à garantir les fonctions essentielles à la sûreté de l'installation.



Bac d'entreposage des dispositifs d'essais dans le réacteur de recherche Cabri.

Les équipements du noyau dur et les exigences associées ont été proposés aux autorités de sûreté pour les installations du lot 1 et pour celles du lot 2. Ces propositions ont été examinées par les groupes permanents et les commissions de sûreté qui se sont réunis en avril 2013 pour le lot 1, et en juillet 2013 pour les installations du lot 2 et les moyens communs des centres de Cadarache et Marcoule. Les noyaux durs proposés, tenant compte des objectifs prioritaires de réalisation transmis par le CEA, ont été jugés satisfaisants.

Les comités d'experts ont souligné l'importance du travail réalisé par le CEA dans le domaine de la gestion de crise, en particulier l'adaptation de l'organisation pour gérer les conséquences d'un aléa extrême, sur un site et dans la durée. L'évaluation complémentaire des moyens communs des centres a pour objectif de s'assurer du maintien opérationnel de l'organisation et des moyens de gestion de crise pour des niveaux d'agressions supérieurs à ceux retenus pour le dimensionnement et dans des situations affectant plusieurs installations d'un même site. Pour ce faire, un noyau dur est défini pour chacun des sites portant sur :

- les locaux de gestion de crise et d'hébergement des équipes d'intervention ;
- la zone d'entreposage des moyens d'intervention (bases logistiques) ;
- les moyens nécessaires aux équipes (approvisionnement en eau, balises de surveillance radiologiques, données météorologiques et communication).

SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Poursuivant sa démarche de prévention et de réduction des risques professionnels, le huitième plan d'amélioration de la sécurité 2012-2014



Agent du Service de protection contre les rayonnements effectuant un contrôle d'un poste de travail avec un radiamètre (ou débitmètre).



Technicien expérimentateur intervenant dans le réacteur expérimental Osiris.

du CEA met particulièrement l'accent sur la prévention des risques professionnels liés aux déplacements des salariés en particulier à l'intérieur des centres, la prévention des troubles musculosquelettiques, la prévention des risques psychosociaux, la formation des travailleurs concernés aux risques radiologiques, la traçabilité des expositions ainsi que la surveillance de la conformité de l'organisation des activités confiées aux entreprises extérieures.

Bilan des accidents du travail

Pour les travailleurs CEA, le taux de fréquence¹ des accidents du travail avec arrêt s'élève à 3,0 pour 2013, en baisse significative par rapport à 2012 (3,9). Il correspond à un total de 96 accidents du travail avec arrêt, dont le caractère professionnel a été reconnu par la Sécurité sociale².

Ces accidents surviennent principalement lors de la circulation de plain-pied (27 %) et lors de manipulation ou de transport manuel d'objets (21 %). Les accidents du travail ont entraîné 5 453 jours d'arrêt de travail en 2013 (y compris les journées d'arrêt de travail liées à des accidents survenus les années antérieures). Le taux de gravité¹ qui en résulte est de 0,17. On constate par ailleurs la poursuite de la diminution du taux de fréquence de l'ensemble des accidents déclarés (avec et sans arrêt), ce taux étant passé de 8,0 en 2012 à 7,2 en 2013.

En ce qui concerne les accidents du travail survenus à des travailleurs extérieurs intervenant dans les installations du CEA, le taux de fréquence est de 10,3, en légère hausse par rapport à 2012 (10,0). Le taux de gravité a également augmenté (0,46) par rapport à 2012 (0,35). Ces résultats demeurent à un niveau très bas par rapport aux statistiques nationales.

¹ 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 millier d'heures travaillées.

² La proportion de dossiers rejetés par la Sécurité sociale est de 16 %, en augmentation par rapport à 2012 (10 %).

³ Préventeurs : chargés de sécurité, membres de CHSCT, médecins et infirmiers du travail...

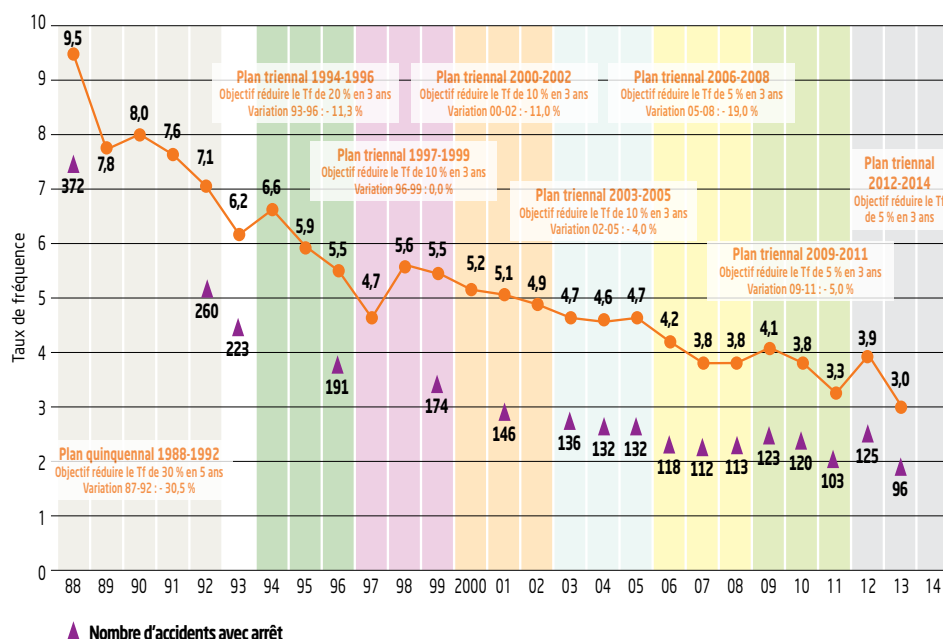
L'analyse montre que les salariés concernés appartiennent principalement aux entreprises de restauration (22 % des accidents du travail avec arrêt) et de nettoyage (21 %). À noter que les salariés concernés appartenant à des entreprises du « domaine nucléaire » représentent 10 % des accidents.

Actions menées

En 2013, elles ont porté notamment sur :

- la diffusion du retour d'expérience (Rex) et plus particulièrement sur la prévention liée à la manutention de charges lourdes. Le processus relatif au partage du Rex a évolué début 2013 en vue d'homogénéiser le traitement des différents Rex issus des centres ou en provenance d'autres exploitants, événements significatifs, accidents du travail, matériels défectueux, bonnes pratiques, afin de partager une culture de sécurité commune à l'ensemble des installations du CEA. Une dizaine de fiches a été diffusée aux acteurs sécurité/sûreté des centres. À titre d'illustration, la fiche thématique relative à la manutention mécanisée a été intégrée aux formations de sécurité dans les centres, ainsi qu'au référentiel d'audit interne CEA ;

- s'inscrivant dans une démarche d'amélioration continue et dans le cadre du dialogue social, la mise en place d'une réflexion sur l'analyse détaillée des facteurs de risques liés à la pénibilité. Ce travail, mené conjointement entre préventeurs³, responsables d'installations, acteurs des ressources humaines, et représentants des partenaires sociaux a permis de formuler des recommandations concernant :
 - l'évaluation et la prévention de ces facteurs de risques,
 - l'implication active des salariés dans la définition des mesures de prévention les concernant,
 - la prise en compte d'une dimension multifactorielle de l'analyse des risques afin d'appréhender un poste de travail dans sa globalité ;
- la Plateforme nanosécurité (PNS), unique en France, a été inaugurée en novembre 2013. Sur 5 000 m², dont 2 000 consacrés à la R&D, elle est dédiée à la sécurité des nanotechnologies, propose des solutions complètes de recherche et d'expertise dans les domaines de la mesure, de l'intervention ou encore de la formation ;



MAÎTRISE DES RISQUES

- la mise en place des Entretiens infirmiers en santé au travail (EIST) dans le cadre de la réforme de la médecine du travail, en alternance avec les visites médicales périodiques du médecin du travail.

CONTRÔLE DES REJETS ET SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT

Le respect de l'environnement : un enjeu prioritaire au CEA

Les activités de recherche mettent en œuvre des produits chimiques, biologiques ou radioactifs au sein d'installations qui génèrent des effluents pouvant contenir des traces de ces substances. Préoccupation permanente du CEA, les actions entreprises pour réduire leurs impacts environnementaux sont portées au plus près des procédés et des installations afin d'améliorer leur performance environnementale et ce, à toutes les étapes de leur vie : conception, construction, exploitation et démantèlement.

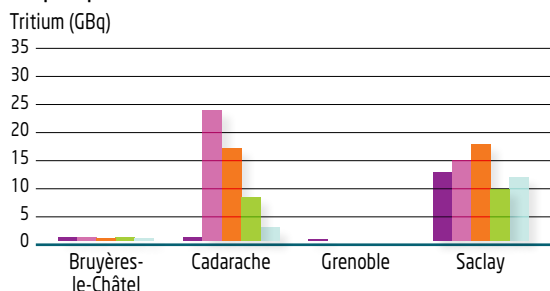
Les contrôles des consommations d'eau et d'énergie, des déchets, des effluents avant leur rejet et la surveillance de l'environnement de chaque centre font l'objet d'une gestion relevant d'un système de management environnemental afin d'en réduire l'empreinte environnementale. Les contrôles portent à la fois sur les caractéristiques chimiques et radioactives. Les eaux, les sédiments et certains végétaux font l'objet d'analyses régulières d'un grand nombre de

paramètres chimiques et physico-chimiques. La radioactivité est mesurée régulièrement dans des échantillons représentatifs des eaux naturelles, de l'air, des sols, des sédiments, de la flore et de la faune, et des denrées alimentaires produites et consommées localement. Ces multiples mesures permettent de vérifier le très faible ajout de radioactivité ou de substances chimiques dans l'environnement, la conformité de l'état radiologique et écologique avec les évaluations d'impact initiales et le respect des prescriptions applicables aux installations. Ces approches permettent d'améliorer, entre autres, la maîtrise des consommations d'eau et d'énergie et la réduction à la source des déchets et des effluents. Elle consiste aussi à réaliser le traitement le plus approprié des déchets avant leur stockage dans une filière adaptée et celui des effluents avant leur rejet dans l'environnement conformément aux autorisations. Dans ce contexte, le CEA s'inscrit pleinement dans le cadre de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets d'effluents liquides susceptibles de contenir des substances dangereuses dans les milieux aquatiques.

De l'expertise à l'information

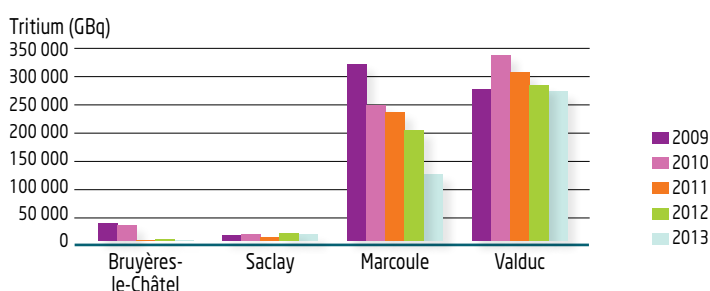
L'amélioration continue des performances des procédés et de la sécurité des installations permet de réduire les rejets d'effluents gazeux et liquides dans l'environnement, qui sont toujours inférieurs aux limites autorisées de chaque centre. Les quantités de substances chimiques rejetées dans l'atmosphère ou dans les cours d'eau sont déclarées aux autorités et consultables sur Internet.

Exemple du bilan 2009-2013 des rejets d'effluents liquides de tritium des principaux centres CEA



À Marcoule, les principaux rejets liquides qui ne figurent pas dans l'histogramme ci-dessus correspondent à l'exploitation de l'installation nucléaire de base secrète du centre, soit 65 500 GBq en 2013.

Exemple du bilan 2009-2013 des rejets d'effluents gazeux de tritium des principaux centres CEA



Extraction de carbone 14 dans un échantillon d'eau.

En 2013, les laboratoires du CEA en charge de la mesure de radioactivité dans l'environnement détiennent 173 agréments délivrés par l'Autorité de sûreté nucléaire. Cette année, 23 000 échantillons ont été prélevés dans l'environnement de l'ensemble des centres pour faire l'objet de diverses analyses de la radioactivité. Cette surveillance montre que les niveaux de la radioactivité de l'environnement des centres restent très faibles, souvent inférieurs aux limites de quantification des appareils de mesure les plus performants. L'ensemble des résultats de mesures de la surveillance radiologique est publié mensuellement et disponible sur le site Internet du Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement. Aujourd'hui près de 15 % des données disponibles sur le site Internet caractérisent l'environnement des centres du CEA qui ont transmis 35 000 résultats d'analyses en 2013.

Un impact très faible

Les très faibles niveaux de radioactivité des rejets autorisés conduisent à des niveaux encore plus faibles dans l'environnement et donc à un impact dosimétrique considéré comme négligeable sur les populations. En effet, ces impacts, calculés à partir des rejets réels de chaque centre en utilisant des hypothèses majorantes pour les voies d'exposition des personnes vivant à proximité des centres, sont extrêmement faibles : au plus de l'ordre de 0,001 mSv/an, soit très inférieur à la limite réglementaire de dose annuelle pour le public (1 mSv/an).

SYSTÈMES D'INFORMATION

Dans un contexte économique et financier contraint, la filière Systèmes d'information a su maintenir en 2013 une activité soutenue dans les différents domaines de son expertise, dans le respect du schéma directeur des systèmes d'information.

SUPPORT AUX DIRECTIONS FONCTIONNELLES

Au travers de la réalisation d'applicatifs transverses, la filière participe à l'amélioration du CEA au quotidien. Support aux revues de personnel et plan d'emploi, refonte des applications de gestion du risque chimique, des fiches professionnelles nominatives, de la santé au travail, de la vérification réglementaire périodique des équipements dans les installations, outils de gestion de crise ou d'achats catalogue, sont quelques exemples des chantiers applicatifs engagés cette année. Citons également le démarrage du projet de montée de version de l'outil intégré de gestion d'entreprise SAP.

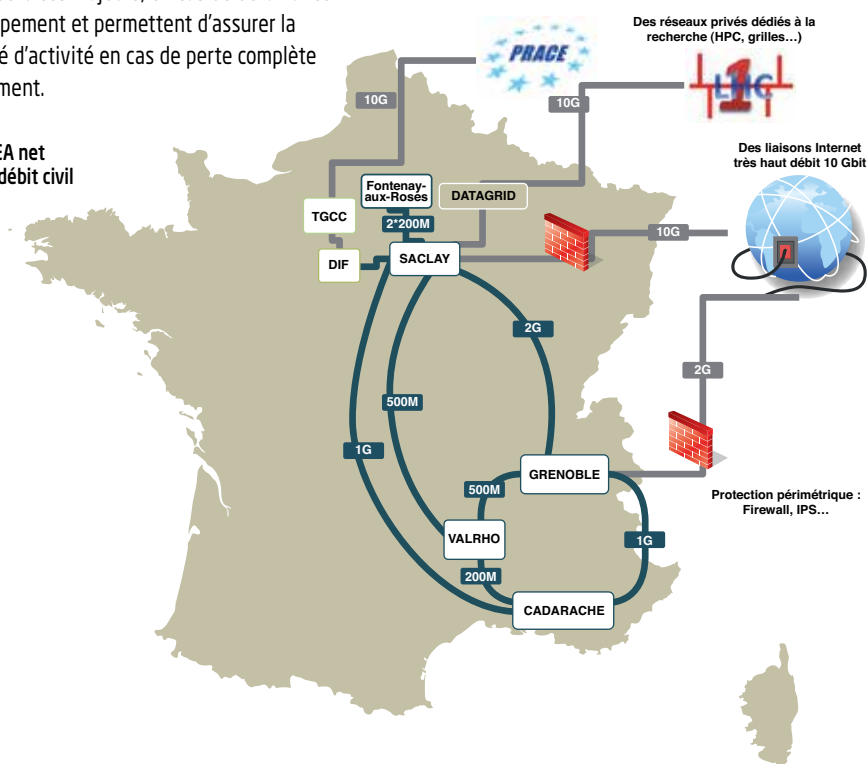
SUPPORT À L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES

Une des missions de la filière Systèmes d'information est d'apporter un soutien à l'accompagnement des programmes des pôles opérationnels dans leurs domaines d'excellence. En 2013, elle a contribué au soutien apporté dans le cadre de la création des antennes en région (CEA Tech), à la modernisation de l'offre de service des outils de travail collaboratif, de gestion documentaire et de publication web qui sera déployée en 2014, au démarrage de l'étude du module d'autorisation de publication, élément de la refonte de l'application de gestion des publications du CEA. Dans le cadre de l'optimisation du système d'information assainissement/démantèlement, elle a également démarré la refonte d'applicatifs concernant la gestion des transports de matière dangereuse et la gestion des déchets radioactifs.

PROJETS D'INFRASTRUCTURE

Afin d'interconnecter les centres CEA, les centres de calcul haute performance (TGCC, Datagrid), les unités du CEA avec leurs partenaires et favoriser l'arrivée de nouveaux services de communication (visioconférence, téléphonie sur IP), le déploiement du réseau CEAnet très haut débit s'est poursuivi en 2013 pour apporter une redondance des accès pour tous les centres civils avec des débits pouvant aller jusqu'à 10 Gb/s. Les opérations de mutualisation d'infrastructures se sont également poursuivies en s'adossant aux technologies de virtualisation et de stockage, réparties sur deux *data centers*. Ces solutions visent à garantir une haute disponibilité, pour certains services majeurs, en cas de défaillance d'un équipement et permettent d'assurer la continuité d'activité en cas de perte complète d'un bâtiment.

Réseau CEA net très haut débit civil



Maintenance du système informatique.

SÉCURITÉ DE NOTRE SYSTÈME D'INFORMATION

Face à la recrudescence des attaques informatiques ciblant les grandes entreprises et services de l'État, le CEA continue, comme chaque année, à mettre en œuvre de nouvelles mesures visant à améliorer la robustesse de son système de protection des données, indispensable à la préservation de son patrimoine scientifique et technique. Il s'agit d'une nouvelle étape du plan de renforcement de la sécurisation du réseau informatique pour l'ensemble de l'organisme, étape qui se poursuivra en 2014.

ORGANISATION DU CEA

SON STATUT
JURIDIQUE

P.73

SA GOUVERNANCE
D'ENTREPRISE

P.73

CONSEIL
D'ADMINISTRATION

P.73/75

COMITÉ D'AUDIT

P.75

COMITÉS DE SUIVI DE LA COUVERTURE
DES CHARGES D'ASSAINISSEMENT
ET DE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS
CIVILES ET DE DÉFENSE

P.76

COMITÉ DE L'ÉNERGIE
ATOMIQUE

P.76/77

CONSEIL
SCIENTIFIQUE

P.77

VISITING COMMITTEE

P.77

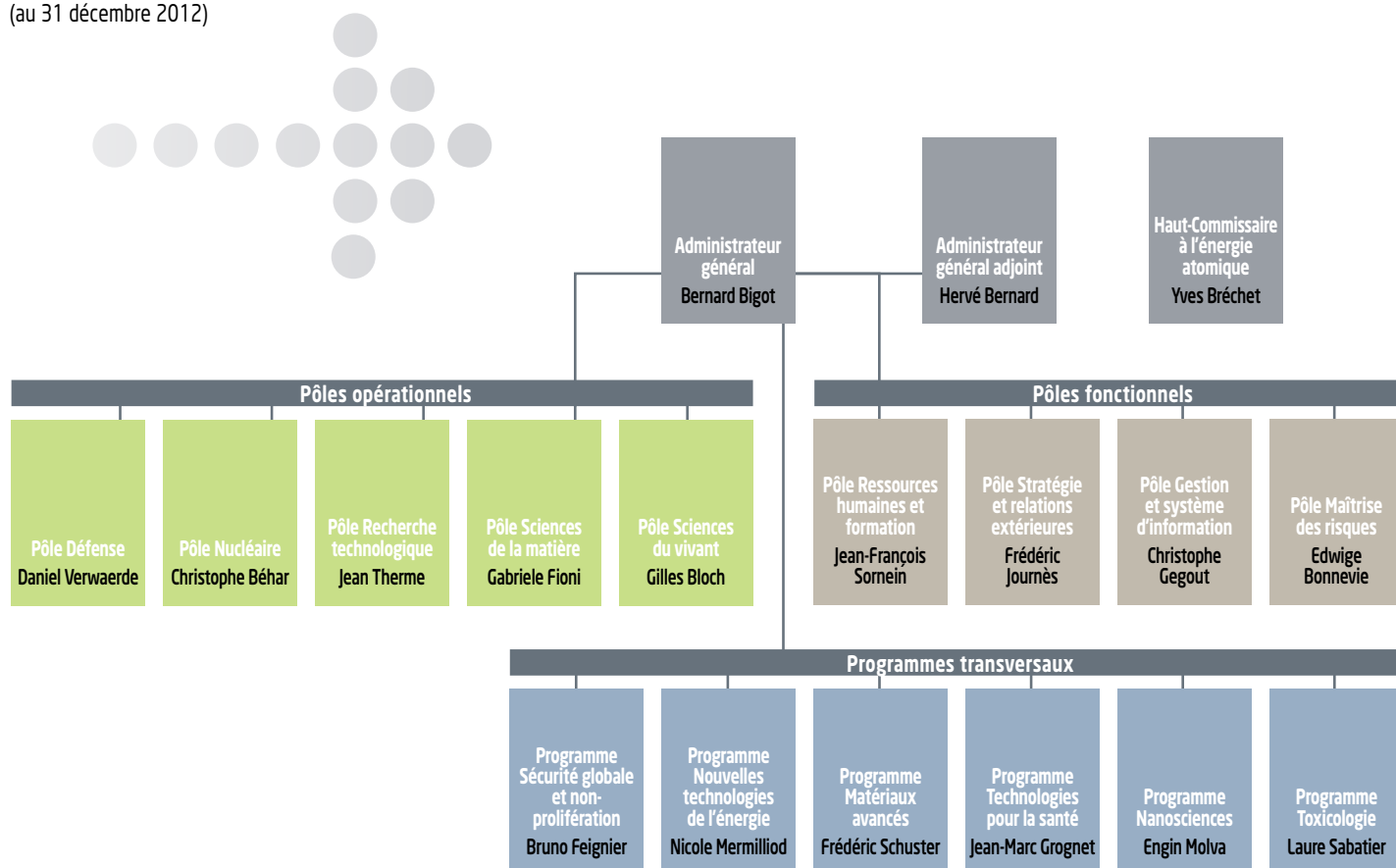
MISSION
DU SERVICE DU
CONTRÔLE GÉNÉRAL
ÉCONOMIQUE
ET FINANCIER
PRÈS LE CEA

P.76



GOVERNANCE D'ENTREPRISE

(au 31 décembre 2012)



SON STATUT JURIDIQUE

Avec la publication de la partie législative du Code de la recherche (ordonnance n° 2004-545 du 11 juin 2004), le CEA, devenu Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives le 10 mars 2010 (loi n° 2010-237 du 9 mars 2010 de finances rectificative pour 2010), relève de la catégorie des établissements publics de recherche à caractère scientifique, technique et industriel.

Son statut et ses missions sont définis aux articles L. 332-1 à L. 332-7 du Code de la recherche.

SA 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.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

La charte des administrateurs

La charte des administrateurs, adoptée par le Conseil d'administration le 21 juillet 2004 et approuvée lors du

renouvellement du Conseil le 29 juillet 2009, 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'intérêt 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 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 le premier établissement public dont le Conseil est doté d'une telle charte.

Ses missions

Le Conseil d'administration est appelé à délibérer sur les grandes orientations stratégiques, économiques, financières ou technologiques de l'activité de l'établissement public et, en particulier, sur le contrat pluriannuel avec l'État. Le projet de budget, l'arrêté des comptes, le rapport annuel d'activité et de gestion, ainsi que le rapport annuel relatif au dispositif de contrôle interne du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires, de gestion des combustibles irradiés et des déchets radioactifs sont soumis à son approbation.

Ses travaux en 2013

Au cours des cinq séances intervenues durant l'année 2013, le Conseil d'administration a notamment adopté, par voie de délibération, plusieurs décisions et orientations importantes :

- l'arrêté des comptes 2012 et l'arrêté des comptes consolidés du groupe CEA 2012 ;
- le rapport relatif au dispositif de contrôle interne du financement des charges de démantèlement des installations nucléaires, de gestion des combustibles irradiés et des déchets radioactifs ;
- le projet de budget 2014 ;
- la participation du CEA à la Société par actions simplifiée « GreenStars S.A.S. » ;
- la modification de la convention constitutive du Groupement d'intérêt public « GIP Sources HA » ;
- la modification de la convention constitutive et la prolongation du Groupement d'intérêt public de l'Observatoire des sciences et techniques « GIP OST » ;
- des opérations concernant CEA Investissement ;
- le renouvellement de la participation du CEA au Groupement d'intérêt économique « Groupe Intra » ;
- l'Accord de consortium des partenaires de l'Idex Paris-Saclay auquel le CEA participe ;

- la cession à l'État en 2013 d'actions Areva détenues par le CEA ;
- les modifications de la convention constitutive et le renouvellement du Groupement d'intérêt public Institut polaire français Paul-Émile Victor ;
- l'adhésion du CEA au GIP Genopole ;
- les modifications de la convention constitutive et le renouvellement du GIP Renater ;
- la participation du CEA au capital de deux sociétés allemandes à responsabilité limitée « FAIR GmbH » et « European XFEL GmbH » ;
- la modification de la convention constitutive du Groupement d'intérêt public relatif aux dispositifs de fonctionnement technique du pôle d'innovation Minatoc (GIP DFT Minatoc) ;
- la participation du CEA à la création d'une société d'accélération de transfert de technologies à Grenoble « SATT GIFT » ;
- les prévisions de formation 2014 ;
- le renouvellement du Groupement d'intérêt économique « GIE Centre commun de microélectronique de Crolles (CCMC) ».

Il a, en outre, été informé de sujets majeurs :

- la participation du CEA dans les Alliances ;
- l'université Paris-Saclay ;
- la mise en place d'un dispositif de contrôle interne ;
- les jalons et indicateurs du Contrat d'objectifs et de performance État-CEA 2010-2013 - situation au 31 décembre 2012 ;
- l'exécution du budget 2013 ;
- les missions, bilan d'activité 2012 et perspectives stratégiques 2013-2015 des directions de programmes transversaux ou d'objectifs transversaux ;
- l'évaluation scientifique 2011-2012 (Conseil scientifique et *Visiting committee*) ;
- le Schéma pluriannuel de stratégie immobilière ;
- le projet de création d'une Plateforme régionale de transfert technologique (PRTT) en Lorraine ;

- l'Accord tripartite CEA/EDF/Areva - création d'un institut ;
- l'état d'avancement du projet de PMLT 2013-2022 ;
- les pôles de compétitivité auxquels le CEA participe ;
- le bilan de la maîtrise de risques ;
- le rapport relatif à la politique de sous-traitance du CEA dans le domaine nucléaire ;
- l'intéressement au CEA.

Ses membres

N.B. : le CEA est soumis aux dispositions de la loi n° 83-675 du 26 juillet 1983 relative à la démocratisation du secteur public (loi DSP) ; le mandat de l'ensemble des membres du Conseil est de cinq ans, de date à date, à compter du 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. Yves Robin**, Chef du service de l'industrie, Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services - ministère du Redressement productif ;
- **M. Roger Genet**, Directeur général pour la recherche et l'innovation - ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ;
- **M. Pierre Lepetit**, Inspecteur général des finances - ministère de l'Économie et des Finances ;
- **M. Vincent Moreau**, Sous-Directeur de la 3^e sous-direction à la Direction du budget - ministère de l'Économie et des Finances ;
- **M. Jacques Cousquer**, Chargé de mission dissuasion à la Direction des systèmes d'armes - Délégation générale pour l'armement - ministère de la Défense ;
- **M. Charles-Antoine Louët**, Sous-Directeur de l'industrie nucléaire à la Direction générale de l'énergie et du climat - ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

Personnes nommées à qualité

- **M. Yves Bréchet**, Haut-Commissaire à l'énergie atomique ;
- **M. Hervé Le Treut**, membre de l'Académie des sciences ;
- **Mme Martha Heitzmann**, Directeur général délégué du groupe Areva ;
- **M. Guy Couaraze**, ex-Président de l'université de Paris Sud XI ;
- **M. Georges Servièrre**, Conseiller du Président d'Électricité de France, puis **M. Noël Camarcat**, Délégué R&D nucléaire et affaires internationales.

Représentants élus du personnel

- **M. Guy Lumia**, Ingénieur à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Marcoule (parrainé par l'UFSN/CFDT) ;
- **M. Philippe Tanguy**, Responsable activité déchets - Areva NC SA - La Hague (parrainé par l'UFSN-CFDT) ;
- **M. Daniel Bessolo**, cadre administratif à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Cadarache (parrainé par la CGT) ;
- **Mme Martine Dozol**, Conseiller scientifique à la Direction de l'énergie nucléaire - CEA/Saclay (parrainée par 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, puis **Mme Nathalie Guillaume**, Chargée de mission à la Direction de la communication du CEA (parrainés par la CFE-CGC).

Assistent aux séances avec voix consultative

- **M. Christophe Lafon**, Secrétaire du Comité national ;
- **M. Christian Bodin**, Contrôleur général économique et financier près le CEA.

Secrétaire

- **Mme Nathalie Moulet**, Chef du Service en charge du Conseil d'administration du CEA à la Direction juridique et du contentieux.

Invités permanents

- **M. Hervé Bernard**, Administrateur général adjoint ;

- **M. Jean-Philippe Bourgoïn**, Directeur de la stratégie et des programmes ;
- **M. Christophe Gegout**, Directeur du Pôle gestion et systèmes d'information et Directeur financier du CEA ;
- **M. Jean-François Sornein**, Directeur du Pôle ressources humaines et formation et Directeur des ressources humaines et des relations sociales ;
- **M. Marc Léger**, Directeur juridique et du contentieux, Conseiller juridique auprès de l'Administrateur général, puis **Mme Florence Touïtou-Durand**, Directrice juridique et du contentieux.

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, l'arrêté des comptes consolidés et le rapport de gestion du groupe CEA, le projet de contrat pluriannuel avec l'État ainsi que le projet de Plan stratégique à long et moyen terme, le bilan du contrat avec l'État ;
- de réaliser des études ponctuelles à la demande du Conseil ou de sa propre initiative ;
- d'examiner et de donner un avis au Conseil sur le rapport d'activité établi par la Commission consultative des marchés ;
- de contribuer à la définition des normes comptables et financières, 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 ;
- de donner un avis sur la cartographie des risques susceptibles d'apparaître ou existant au sein du CEA et d'apprécier les moyens prévus ou à prévoir pour éviter leur réalisation.

Ses travaux en 2013

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

- cartographie des risques ;
- audits réalisés en 2012 - plan d'audit 2013 ;
- mise en place d'un contrôle interne ;
- rapport d'activité du Comité d'audit 2012 ;
- arrêté des comptes sociaux 2012 ; arrêté des comptes consolidés 2012 du groupe CEA ;
- jalons et indicateurs du Contrat d'objectifs et de performance État-CEA 2010-2013 ;
- cession à l'État de titres Areva ;
- exécution du budget 2013 ;
- rapport d'activité 2012 de la Commission consultative des marchés du CEA ;
- situation des projets « RJH » et « Bitumes de Marcoule », et opportunité d'un audit ;
- projet de budget 2014 et prévisions semestrielles ;
- Plan à moyen et long terme (2013-2022).

Ses membres

- **M. Pierre Lepetit**, Président ;
- **M. Charles-Antoine Louët** ;
- **M. Vincent Moreau** ;
- **M. Dominique Ghaleb** ;
- **M. Guy Lumia** ;
- **M. Roger Genet**.

Assistent aux réunions avec voix consultative

- **M. Christian Bodin**, Contrôleur général économique et financier près le CEA ;
- **Mme Nathalie Moulet**, Secrétaire du Conseil d'administration ;
- **M. François Papat**, Directeur délégué à l'inspection générale et à l'audit ;
- **MM. Thierry Blanchetier** et **David Chaudat** du cabinet Mazars et **MM. Laurent des Places**, puis **M. Denis Marangé**, et **Laurent Genin** du cabinet KPMG, commissaires aux comptes, en tant que de besoin.

COMITÉS DE SUIVI DE LA COUVERTURE DES CHARGES D'ASSAINISSEMENT ET DE DÉMANTÈLEMENT DES INSTALLATIONS CIVILES ET DE DÉFENSE

Placés auprès 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, pour avis :

- la Charte de gestion des Fonds dédiés aux dépenses d'assainissement et de démantèlement des installations (civiles, pour l'un, et de défense, pour l'autre) ;
- le plan pluriannuel à 5 ans d'exécution des travaux d'assainissement et de démantèlement ainsi que le budget annuel ;
- les perspectives d'équilibre financier des Fonds sur la totalité de leur durée de vie ;
- le devis des opérations couvertes par les Fonds et leur échéancier temporel ainsi que les incertitudes associées aux évaluations du passif ;
- les éventuelles évolutions du périmètre ;
- les comptes annuels des Fonds ;
- les modalités de constitution, de fonctionnement et de contrôle des Fonds ;
- la politique de gestion des actifs financiers des Fonds ;
- le dispositif de contrôle interne ;
- et, d'une façon générale, toutes questions relatives à l'application, par le CEA, 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 des 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 des Fonds.

Leurs travaux en 2013

Les Comités de suivi de la couverture des charges d'assainissement et de démantèlement des installations civiles et de défense se sont réunis trois fois en 2013. Ils ont notamment examiné les points suivants :

- rapport de gestion 2012 ;
- rapport triennal à fin 2012 relatif au financement des charges d'assainissement et de démantèlement (article 20 de la loi du 28 juin 2006) ;
- rapport sur le contrôle interne ;
- point sur la situation des actifs ;
- options de clôture 2013 ;
- projet de budget 2014 ;
- synthèse de l'audit mené par les commissaires aux comptes sur les transferts de charge.

Leurs membres

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

- **M. Pierre Lepetit**, Président ;
- **M. Georges Servièrre**, puis **M. Noël Camarcat** ;
- **M. Vincent Moreau** ;
- **M. Charles-Antoine Louët** ;
- **M. Yves Robin** ;
- **Mme Martine Dozol**.

Assistent aux réunions avec voix consultative

- **M. Christian Bodin**, Contrôleur général économique et financier près le CEA ;
- **Mme Nathalie Moulet**, Secrétaire du Conseil d'administration du CEA ;
- **MM. Thierry Blanchetier** et **David Chaudat** du cabinet Mazars et **MM. Laurent des Places**, puis **M. Denis Marangé**, et **Laurent Genin** du cabinet KPMG, commissaires aux comptes, en tant que de besoin.

Rapporteur

M. Christophe Gegout, Directeur financier du CEA.

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

- **M. Pierre Lepetit**, Président ;
- **M. Georges Servièrre**, puis **M. Noël Camarcat** ;
- **M. Vincent Moreau** ;
- **M. Jacques Cousquer** ;
- **M. Charles-Antoine Louët** ;
- **M. Bernard Verrey**, puis **Mme Nathalie Guillaume**.

Assistent aux réunions avec voix consultative

- **M. Christian Bodin**, Contrôleur général économique et financier près le CEA ;
- **Mme Nathalie Moulet**, Secrétaire du Conseil d'administration du CEA ;
- **MM. Thierry Blanchetier** et **David Chaudat** du cabinet Mazars et **MM. Laurent des Places**, puis **M. Denis Marangé**, et **Laurent Genin** du cabinet KPMG, commissaires aux comptes, en tant que de besoin.

Rapporteur

M. Christophe Gegout, Directeur financier du CEA.

COMITÉ DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

S'apparentant à un comité interministériel, le Comité de l'énergie atomique, dont le CEA assure le secrétariat, peut être saisi des problèmes généraux de la politique nucléaire. Il arrête le programme de recherche, de fabrication et de travaux du CEA.

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. l'Amiral Edouard Guillaud**, chef d'état-major des Armées ;
- **M. Pierre Sellal**, Secrétaire général du ministère des Affaires étrangères et européennes ;
- **M. Laurent Collet-Billon**, Délégué général pour l'armement ;

- **M. Jean-Paul Bodin**, secrétaire général pour l'administration du ministère de la Défense ;
- **M. Laurent Michel**, Directeur général de l'énergie et du climat ;
- **M. Pascal Faure**, Directeur général de la compétitivité, de l'industrie et des services ;
- **M. Denis Morin**, Directeur du budget ;
- **M. Bernard Dupraz**, Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la défense ;
- **M. Roger Genet**, Directeur général de la recherche et de l'innovation ;
- **M. Alain Fuchs**, Président du Centre national de la recherche scientifique.

Personnalité choisie par le Premier ministre

- **Mme Pascale Briand**, Directrice générale de l'Agence nationale de la recherche.

Personnalité choisie par le ministre chargé de l'environnement

- **Mme Agnès Buzyn**, Présidente du Conseil d'administration de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Personnalités qualifiées dans le domaine scientifique et industriel

- **M. Yves Bréchet**, Haut-Commissaire à l'énergie atomique ;
- **M. Jacques Prost**, Directeur général de l'École supérieure de physique et chimie industrielles - Membre de l'Académie des sciences ;
- **M. Henri Proglio**, Président du Conseil d'administration d'EDF.
- **M. Luc Oursel**, Président 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-Philippe Bourgoïn**, Directeur de la stratégie et des programmes du CEA.

CONSEIL SCIENTIFIQUE

Le Conseil scientifique assiste le Haut-Commissaire à l'énergie atomique dans l'exercice de ses fonctions notamment en proposant les orientations scientifiques de l'établissement et en procédant à une évaluation de son activité de recherche.

En décembre 2013, le Conseil scientifique a procédé à l'évaluation de la thématique « Physique des plasmas / lasers ».

Président

- **M. Yves Bréchet**, Haut-Commissaire à l'énergie atomique.

Membres proposés par les ministres de la Recherche, de l'Industrie et de la Défense

- **Mme Hélène Bouchiat**, CNRS/LPS, Orsay ;
- **M. Roland Douce**, Université Grenoble ;
- **M. Hisham Abou-Kandil**, DGA, Paris ;
- **M. Olivier Joubert**, CNRS, LTM, Grenoble ;
- **M. Ludovic Julien**, ENS / MESR ;
- **Mme Christine Petit**, Institut Pasteur ;
- **Mme Marie-Françoise Debreuille**, IZEN Saclay.

Membres proposés par l'Administrateur général

- **Mme Élisabeth Bouchaud**, DSM ;
- **M. Bernard Boullis**, DEN ;
- **Mme Hélène Burlet**, DRT ;
- **M. Frank Carré**, DEN/DS ;
- **M. Denis Juraszek**, DAM/DIF ;
- **Mme Vanina Ruhlmann-Kleider**, DSM/Irfu.

Représentants du personnel :

- **M. Jean-Pierre Bruhat**, CGC - DAM/Dir ;
- **M. Jean-Paul Crocombette**, CGT - DEN/DMN ;
- **M. Jean-Louis Gerstenmayer**, CFTC - DRT ;
- **M. Patrick Blaise**, SPAEN - DEN/DER ;
- **Mme Muriel Vernet**, CFDT - DSV/IRCM ;
- **M. Mohamed Eid**, CGT FO - DEN/DM2S.

VISITING COMMITTEE

À côté du Conseil scientifique, a été créé un *Visiting Committee*, constitué d'experts internationaux, chargé d'examiner les orientations de la recherche et les résultats obtenus, avec un objectif d'identification du positionnement du CEA dans le paysage international de la thématique de recherche évaluée.

Il n'y a pas eu de réunion sur l'année 2013.

MISSION DU SERVICE DU CONTRÔLE GÉNÉRAL ÉCONOMIQUE ET FINANCIER PRÈS LE CEA

Elle a pour mission d'exercer un contrôle sur l'activité économique et la gestion financière.

Composition

- **M. Bruno Rossi**, Chef de la Mission de contrôle ;
- **M. Christian Bodin**, Contrôleur général économique et financier ;
- **M. Franck Le Guen**, Contrôleur général des Armées.

Les Centres CEA

- CEA/Cadarache, Pôle nucléaire : **Maurice Mazière**, Directeur ;
- CEA/Marcoule, Pôle nucléaire : **Christian Bonnet**, Directeur ;
- CEA/Cesta, Pôle défense : **Jean-Pierre Giannini**, Directeur ;
- CEA/Le Ripault, Pôle défense : **Serge Dufort**, Directeur ;
- CEA/Gramat, Pôle défense : **Jacques Hautesserre**, Directeur.
- CEA/Valduc, Pôle défense : **François Bugaut**, Directeur ;
- CEA/DAM-Île-de-France, Pôle défense : **Pierre Bouchet**, Directeur ;
- CEA/Fontenay-aux-Roses, Pôle sciences du vivant : **Mme Malgorzata Tkatchenko**, Directeur ;
- CEA/Grenoble, Pôle recherche technologique : **Jean Therme**, Directeur ;
- CEA/Saclay, Pôle sciences de la matière : **Jacques Vayron**, Directeur

© Couverture : Artechnique/CEA - P. Avavian/CEA - PF. Grosjean/CEA - NASA/ESA/CXC/JPL-Caltech - L. Zylberman

P. Avavian/CEA p. 17, 19, 45, 59, 60 • G. Badeau CEA/INSTN p. 58 • C. Beurtey/CEA p. 24 • Cadam/CEA p. 28, 29, 32, 33, 34, 53 • CEA p. 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 36, 38, 41, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 57, 66 • CERN p. 42 • CEA/CNRS/Université Paris-Sud p. 51 • D. Colquhoun p. 26 • F. Dulac LSCE/CEA p. 22 • P. Dumas/CEA p. 8-9, 18, 43, 47, 57 • C. Dupont/CEA p. 34, 40, 43, 61, 71 • EPFL p. 51 • AM.Gendre-Peter/CEA p. 72 • Sofie Gelskov p. 44 • L. Godart/CEA p. 2, 4, 20, 25, 67, 70 • PF. Grosjean/CEA p. 11, 37, 58, 64 • D. Guillaudin/CEA p. 60 • IBEB/AFM P. 46 • Ifremer p. 25 • IGS CNRS-AMU p. 51 • C. Jandaureck/Cadam/CEA p. 28 • P. Labeguerie/CEA • S. Le Couster/CEA p. 14, 15 • G. Lesénéchal/CEA p. 14 • CEA/E. Maréchal p. 20 • Marine Nationale p. 30, 33 • JM. Maurel/CEA p. 41 • G. Melone p. 45 • A. Porcher CEA/Irfu p. 53 • H. Raguet/Science&Avenir/CEA p. 30 • S. Renard/CEA p. 42 • F. Rhodes/CEA p. 13, 27, 65 • C. Sardet/Tara Oceans CNRS p. 11 • Soitec p. 17 • P. Stroppa/CEA p. 10, 19, 21, 31, 37, 39, 40, 41, 48, 54, 56, 57 • F. Taran/CEA p. 38 • L. Zylberman p. 68, 69 •

Conception & réalisation : Obea Communication.

**Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives**
91191 Gif-sur-Yvette cedex
www.cea.fr

