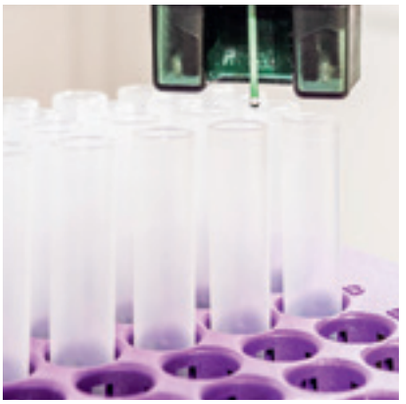
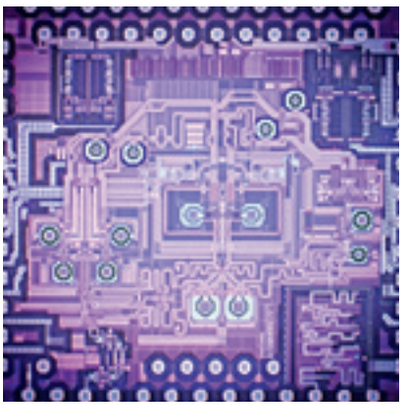
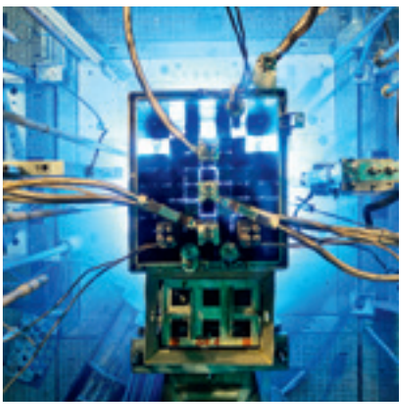


# LE CEA
## AU CŒUR DES GRANDS DÉFIS DU FUTUR

RAPPORT ANNUEL 2015





DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

# CHIFFRES CLÉS 2015

**4 908**
**PUBLICATIONS**
dans des revues à comité de lecture

**1 146**
**DOCTORANTS ET**
**230**
**POST-DOCTORANTS**
au CEA

**PLUS DE**
**438**
**PROJETS EUROPÉENS**
dont 316 projets FP7
et 122 projets H2020

**753**
**DÉPÔTS DE BREVETS PRIORITAIRES**
CEA en 4e position dans le classement des organismes et entreprises déposants auprès de l'INPI

**5 844**
**FAMILLES DE BREVETS ACTIVES**

**187**
**START-UP TECHNOLOGIQUES**
depuis **1972** dans le secteur des technologies innovantes
**dont 124 depuis 2000**

**PLUS DE**
**500**
**PARTENAIRES INDUSTRIELS**
**dont 300 avec des contrats de plus de 50 k€/an**

**53**
**ACCORDS-CADRES**
en vigueur avec les
**universités et les écoles**

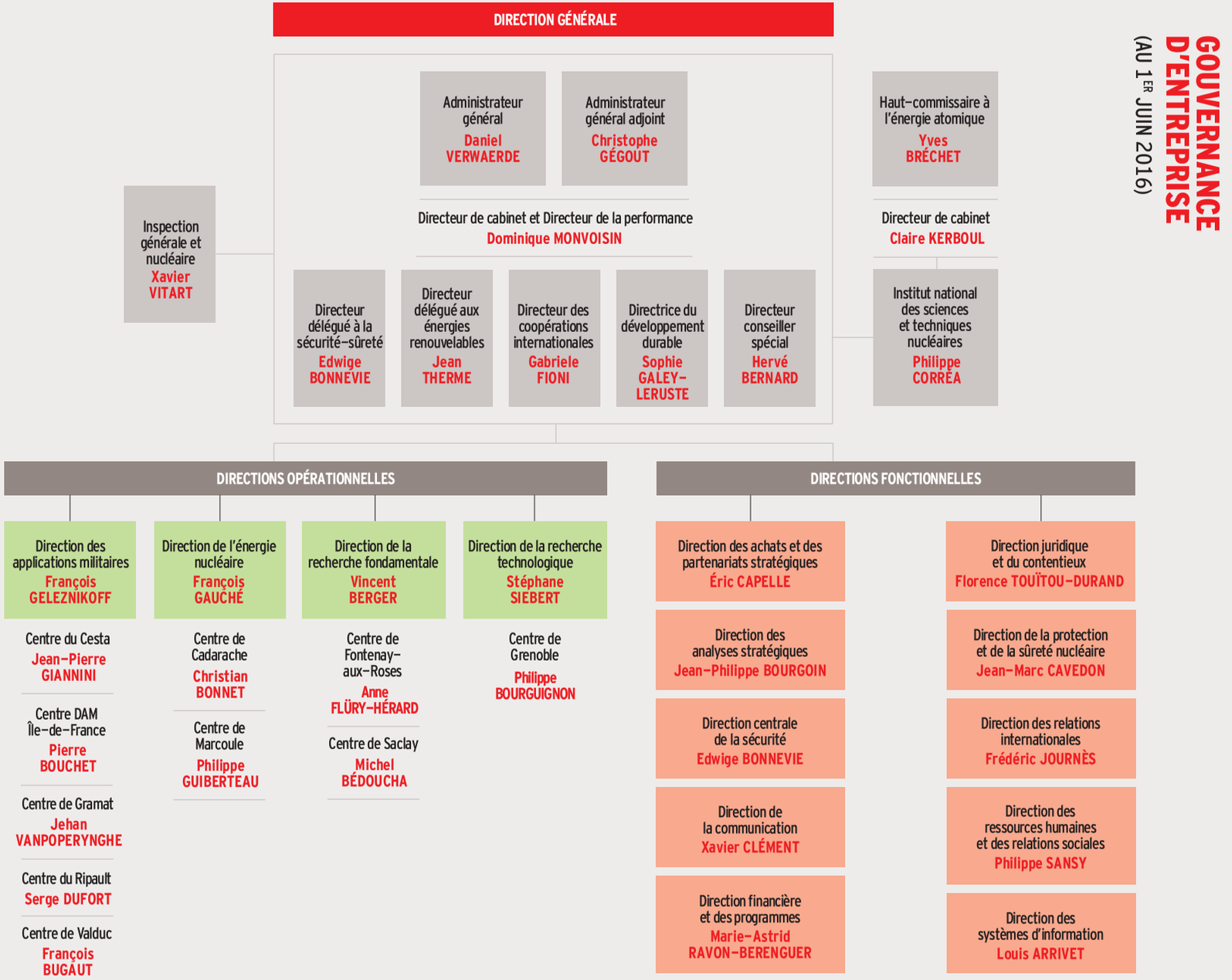
**31**
**PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ,**
et 18 dont le CEA est administrateur

**51**
**UNITÉS DE RECHERCHE**
sous cotutelle du CEA et de partenaires académiques
(45 UMR, 5 UMS, 1 USR)

**PLUS DE**
**220 projets**
**DU PROGRAMME D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR**

# GOUVERNANCE D'ENTREPRISE

(AU 1ER JUIN 2016)



# LA GOUVERNANCE DU CEA

**Siège administratif du CEA – Saclay.**
© PF.Grosjean/CEA

Le CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, est un établissement public à caractère scientifique, technique et industriel, placé sous la tutelle des ministres chargés de l'Énergie, de la Recherche, de l'Industrie et de la Défense. Son statut et ses missions sont définis aux articles L. 332-1 à L. 332-7 du Code de la recherche et sont précisés par le décret n° 2016-311 du 17 mars 2016 relatif à l'organisation et au fonctionnement du CEA.

À sa tête, l'Administrateur général assure la direction générale, dispose des pouvoirs les plus étendus pour agir au nom de l'établissement et le représente. Il nomme des directeurs chargés de l'assister dans la mise en œuvre opérationnelle des missions de l'organisme, prépare les délibérations du Conseil d'administration et assure leur exécution. Il participe au contrôle gouvernemental de la dissuasion nucléaire et à la gestion patrimoniale des matières nucléaires nécessaires à la défense.

Le Haut-commissaire à l'énergie atomique assume la charge de conseiller scientifique et technique auprès de l'Administrateur général. Il peut être chargé, à la demande de l'Administrateur général ou d'un ministre, de diverses missions de conseil et d'expertise dans les domaines intéressant le CEA, ainsi que de missions intéressant la Défense nationale et l'enseignement.

Tous deux sont nommés par décret en Conseil des ministres.

## LES INSTANCES DE GOUVERNANCE ET DE CONTRÔLE

Le **Conseil d'administration** délibère notamment sur l'organisation générale de l'établissement, le contrat d'objectifs et de performance, le programme annuel d'activités, le budget, l'arrêté annuel des comptes sociaux, la création de filiales, les projets de contrats, de marchés, de transactions, et d'accords internationaux, ainsi que la participation à des organismes dotés de la personnalité morale. Il peut en outre être consulté par les ministres de tutelle sur toute question relevant de la compétence du CEA. Il lui est rendu compte des événements importants de la vie de l'établissement.

Le **Comité des engagements**, placé auprès du Conseil d'administration, examine, notamment sous leur aspect financier, les questions relatives aux engagements et investissements stratégiques et la programmation annuelle du CEA. Ce comité est notamment chargé de vérifier la cohérence entre les programmes civils, les investissements stratégiques et les moyens financiers et de veiller au bon avancement des programmes civils.

Le **Comité de l'énergie atomique** est la plus ancienne instance qui pilote le CEA et le nucléaire civil et militaire en France. Il arrête le programme de recherche, de fabrication et de travaux du CEA et examine toutes questions relatives au CEA, à la demande du Conseil d'administration, de l'Administrateur général ou du Haut-commissaire à l'énergie atomique. Le Comité des engagements lui rend compte de son activité.

Il peut être saisi par les ministres de tutelle de tous les projets d'actes législatifs et réglementaires intéressant la mission ou l'organisation du CEA. Il se réunit sous la présidence du Premier ministre pour débattre des activités civiles et du ministre de la Défense pour traiter des activités de défense.

Par délégation du Comité de l'énergie atomique, le **Comité mixte Armées-CEA** examine, notamment sous leur aspect financier, les questions relatives à l'exécution des programmes d'armement nucléaire dont la responsabilité incombe au CEA.

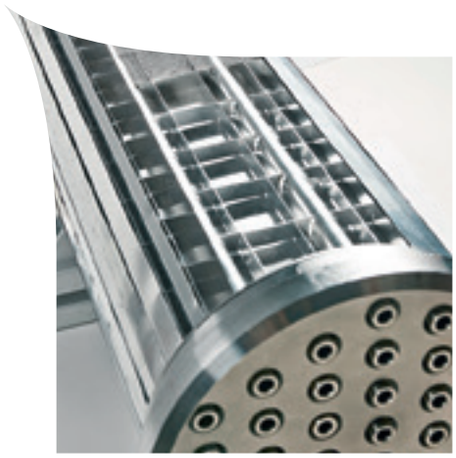
Le **Conseil scientifique,** présidé par le Haut-commissaire à l'énergie atomique , assiste ce dernier dans l'exercice de ses fonctions en formant des recommandations sur les orientations et activités scientifiques de l'établissement. Il émet des avis sur la pertinence des activités scientifiques et des investissements de l'établissement au regard de sa mission. Il est tenu informé de l'exécution de ses programmes et en évalue les résultats. Les avis, recommandations et rapports du Conseil scientifique sont communiqués au Conseil d'administration, au Comité de l'énergie atomique et aux ministres de tutelle.

Le CEA est soumis au contrôle financier de l'État, par le biais d'une « **mission de contrôle** » relevant du service du contrôle général économique et financier. Ses rapports sont communiqués à l'Administrateur général et adressés aux ministres de tutelle et au ministre chargé du Budget. Les comptes annuels et, le cas échéant, consolidés et le bilan annuel du CEA sont présentés à la mission de contrôle.

# LES MISSIONS DU CEA

ELLES S'INSCRIVENT DANS LE CADRE DES GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DE L'ÉTAT :

- LA LOI DE PROGRAMMATION MILITAIRE,
- LA LOI DE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE POUR UNE CROISSANCE VERTE,
- L'ACCORD FINAL DE PARIS (COP21),
- LA NOUVELLE FRANCE INDUSTRIELLE,
- LA STRATÉGIE NATIONALE DE RECHERCHE.



À gauche : © D.Guillaudin/CEA – À droite © D.Morel/CEA

Le CEA mène ses recherches dans le cadre du programme de dissuasion nucléaire français. La mission nucléaire de défense fait l'objet d'une programmation à 15 ans, s'inscrit dans une vision à 30 ans de la Défense nationale, décidée par le Président de la République, et est encadrée par la Loi de programmation militaire. Par ailleurs, qu'il s'agisse de lutte contre le terrorisme, de cybersécurité ou de capacité d'alerte en cas de séisme et de tsunami, il apporte les technologies qui permettent d'affronter les risques émergents et de renforcer la sécurité.

Acteur de référence des recherches sur l'énergie, le CEA mobilise son expertise et ses compétences pluridisciplinaires pour proposer des solutions technologiques innovantes en réponse aux grands défis de notre société, tels que la transition énergétique, les énergies nucléaire et renouvelables, la compréhension des mécanismes du changement climatique.

Il apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation pour permettre une production d'électricité nucléaire durable, sûre et économiquement compétitive, et contribue aux politiques nationale et internationale de sécurité nucléaire. Il développe aussi une stratégie de recherche sur le système énergétique portant à la fois sur les moyens de production d'électricité, nucléaire et renouvelable (solaire), sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et sur les moyens d'adaptation dynamique entre l'offre et la demande, par le stockage d'énergie (batteries), l'utilisation du vecteur hydrogène ou les réseaux intelligents.

LE CEA EST IMPLANTÉ EN FRANCE DANS

**10**
**CENTRES**

**5**
**PRTT**

**4,1 MDS D'EUROS**
BUDGET CIVIL ET DÉFENSE

**15 958**
**SALARIÉS**

* Chiffres clés 2015

Il contribue, au service de la compétitivité de la France, au développement technologique, notamment numérique, pour répondre aux besoins de la recherche, de l'industrie et de la société, au transfert de connaissances, de compétences et de technologies vers l'industrie, à la valorisation des résultats de ses recherches. En lien étroit avec la recherche académique et le monde industriel, le CEA soutient les industriels et la création d'entreprises de technologies innovantes. Possédant un savoir-faire unique issu d'une culture de l'innovation, il a pour mission de produire et diffuser des technologies, en assurant un « pont » entre le monde scientifique et le monde économique. En étroite collaboration avec les acteurs locaux, CEA Tech dispose de plates-formes de transfert technologique (PRTT) dans les régions Occitanie (Toulouse), Nouvelle Aquitaine (Bordeaux), Pays de la Loire (Nantes), Grand Est (Metz), Hauts-de-France (Lille) et renforce ses activités en Provence Alpes-Côte d'Azur.

Dans le secteur de la santé, le CEA participe aux progrès considérables de la biologie et de la génomique, aux avancées des technologies de l'imagerie et des dispositifs médicaux, et se prépare à l'exploitation statistique des données massives. Le croisement des biotechnologies, des nanotechnologies et du numérique prépare la médecine du futur, qui deviendra personnalisée, ambulatoire et moins invasive.

À ces fins, il s'appuie sur une recherche fondamentale dynamique, tant en interne que sous forme de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. Dans ce cadre, il 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), des sciences de l'environnement (Allenvi) et 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 s'implique de façon croissante au niveau international.

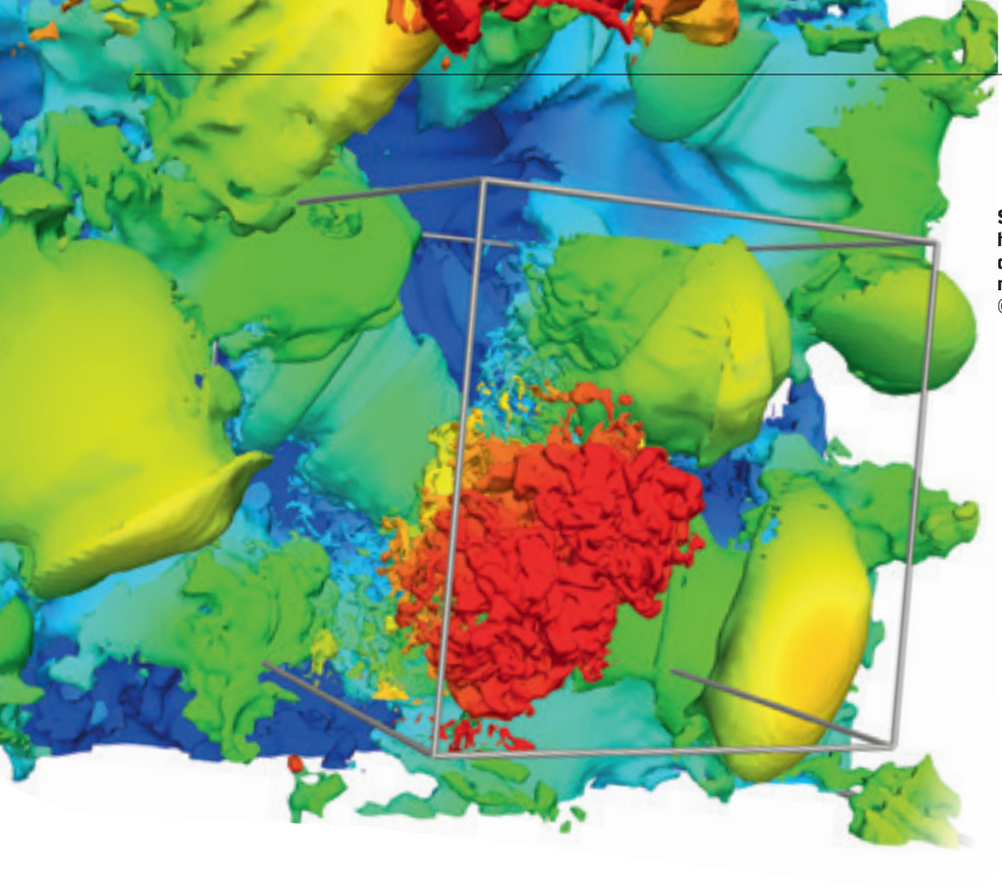
# DÉFENSE & SÉCURITÉ

LE CEA EST CHARGÉ DE MISSIONS AU SERVICE DE LA DÉFENSE ET DE LA SÉCURITÉ NATIONALES DANS DIFFÉRENTS DOMAINES : LES TÊTES NUCLÉAIRES DES COMPOSANTES AÉROPORTÉE ET OCÉANIQUE DE LA DISSUASION, LES RÉACTEURS ET CŒURS NUCLÉAIRES POUR LA PROPULSION DES SOUS-MARINS ET PORTE-AVIONS, LA LUTTE CONTRE LA PROLIFÉRATION NUCLÉAIRE ET LE TERRORISME.

La Direction des applications militaires (DAM) a pour missions :

- de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises ;
- de concevoir et réaliser les réacteurs et cœurs nucléaires équipant les bâtiments de la Marine nationale, sous-marins et porte-avions ; de soutenir la Marine nationale pour le suivi en service et le maintien en condition opérationnelle de ces réacteurs ;
- d'approvisionner les matières nucléaires stratégiques pour les besoins de la dissuasion ;
- d'offrir un appui technique aux autorités nationales et internationales dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme ;
- d'apporter son expertise au profit de la Défense dans le domaine de l'armement conventionnel.

**Bâtiment RES.**
© Yohan Brandt/Areva TA



**Simulation 3D d'instabilités hydrodynamiques intervenant dans le fonctionnement des armes nucléaires.**
© CEA–DAM

## PROGRAMME SIMULATION

La fiabilité et la sûreté des têtes nucléaires sont désormais garanties sans essais nucléaires nouveaux, grâce au programme Simulation, lancé en 1996. Il repose sur la modélisation des phénomènes physiques décrivant le fonctionnement des armes, la résolution de ces équations grâce à des supercalculateurs et leur validation expérimentale sur les grandes installations, Epure et le laser Mégajoule (LMJ).

### Supercalculateurs

Les supercalculateurs sont dimensionnés pour répondre aux besoins de conception et de garantie des armes nucléaires. Tera 1000-1 peut effectuer 2,6 Petaflops (million de milliards d'opérations par seconde) et Tera 1000-2, en cours de réalisation, atteindra 25 Petaflops en 2017 avec une performance énergétique très élevée.

### Installation Epure

L'installation Epure, en montée en puissance sur le centre de Valduc, s'inscrit dans le cadre du traité franco-britannique Teutatès, signé en 2010, concernant le partage d'installations radiographiques dédiées aux programmes de dissuasion respectifs

## SYSTÈMES D'ARMES DE LA DISSUASION

Deux types de têtes nucléaires sont en service :

- les têtes nucléaires aéroportées (TNA), qui équipent les missiles des forces aériennes stratégiques depuis fin 2009 ;
- les têtes nucléaires océaniques (TNO), les TN75 qui équipent les missiles M45 et les premières versions de missiles M51. À partir de 2016, les TNO équipent la deuxième version des missiles M51.

La sûreté et la fiabilité de la TNA, puis de la TNO, sont garanties par la Simulation, sans essais nucléaires nouveaux.

### Programme RES

La tenue des objectifs de disponibilité de la flotte, avec un niveau élevé de sûreté, repose sur un entretien rigoureux des matériels, sur des équipes compétentes et sur des moyens à terre sous la responsabilité de l'Unité de propulsion nucléaire, rattachée au centre DAM-Île de France et sur le centre de Cadarache. L'un de ces moyens est le Réacteur d'essais (RES), dont le chargement du premier cœur est prévu pour fin 2016. Représentatif des réacteurs embarqués sur les bâtiments de la Marine nationale et de leurs cœurs nucléaires, il constituera un outil de simulation privilégié pour leur conception et leur maintien en conditions opérationnelles.

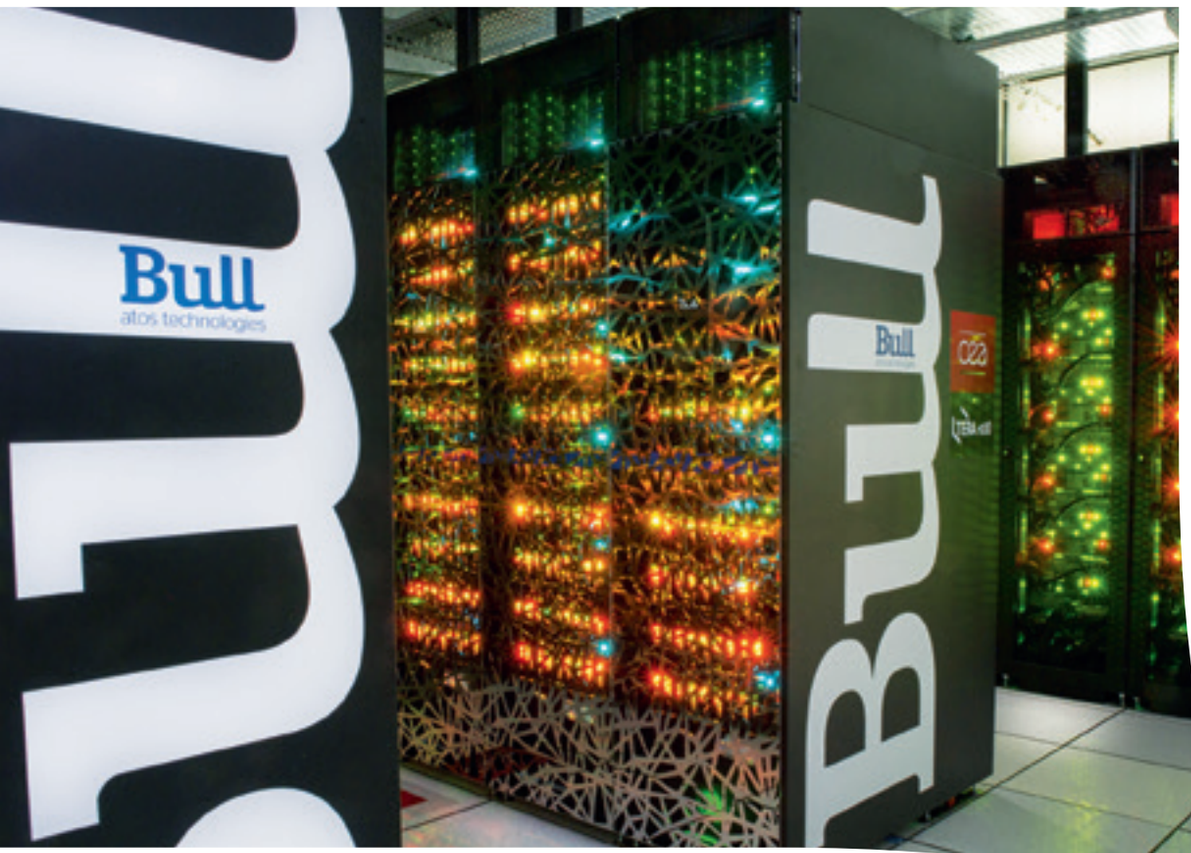
## PROPULSION NUCLÉAIRE

La flotte des bâtiments à propulsion nucléaire de la Marine nationale comporte douze chaufferies en exploitation équipées de cœurs nucléaires. Elle est composée de quatre sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération, du type « LeTriomphant », de six sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) du type « Rubis » et du porte-avions Charles de Gaulle.

### Programme Barracuda

La flotte actuelle des SNA sera remplacée par une nouvelle génération à partir de 2017. C'est le programme Barracuda, co-piloté par la Direction générale de l'armement (DGA) pour le navire et par la DAM pour la conception et la réalisation des chaufferies nucléaires et des cœurs associés comme pour les moyens logistiques nécessaires à leur maintenance.

**Installation franco-britannique Epure sur le centre DAM de Valduc.**
© CEA–DAM




**Vue de Tera 1000-1.**
© CEA-DAM

des deux pays. Dotée à terme de trois axes radiographiques de forte puissance, sa mise en service avec un premier axe permet, depuis fin 2014, de caractériser, avec la plus grande précision, l'état et le comportement hydrodynamique des matériaux, dans les conditions de la phase pré-nucléaire du fonctionnement des armes.

### Laser Mégajoule

Le laser Mégajoule, sur le centre du Cesta, est indispensable pour simuler les phénomènes physiques rencontrés dans la phase de fonctionnement nucléaire de l'arme et pour certifier les compétences des physiciens concepteurs d'armes. Depuis sa mise en service opérationnel prononcée par le Premier ministre fin 2014, les premières campagnes expérimentales de physique des armes ont été menées avec succès.

## LUTTE CONTRE LA PROLIFÉRATION ET LE TERRORISME

Dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme, la DAM apporte son expertise, fondée sur sa connaissance du nucléaire et sur ses savoir-faire dans le domaine des technologies de détection et d'identification.

Pour informer les autorités nationales en cas d'essai nucléaire, la DAM participe à la mise en œuvre des moyens de vérification du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (Tice). L'application de ce traité s'appuie sur l'analyse et la caractérisation des données recueillies sur 321 stations du système de surveillance international et 16 laboratoires d'analyse des radionucléides, dans lesquels la DAM est fortement impliquée.

S'appuyant sur ses compétences géophysiques, la DAM est aussi responsable du Centre national d'alerte aux tsunamis pour la région Méditerranée et Atlantique nord-est. Le Cenalt a pour mission d'alerter les autorités nationales en charge de la protection de la population. Les autorités des pays riverains de la Méditerranée et de l'Atlantique nord-est qui souscrivent aux services du Cenalt sont informées de façon simultanée.

La DAM est chargée par les pouvoirs publics et la Défense de piloter le programme « Sécurité globale : lutte contre le terrorisme nucléaire, radiologique, biologique, chimique et explosif (NRBC-E) et cybersécurité ». Ce programme interministériel de R&D pour la lutte contre le terrorisme est transversal aux directions opérationnelles du CEA.

## LA DÉFENSE CONVENTIONNELLE

La DAM, principalement sur le centre de Gramat, apporte une assistance à maîtrise d'ouvrage à la DGA sur des activités de défense conventionnelle, en s'appuyant sur une expertise portant sur les effets des armements et sur la vulnérabilité des systèmes d'armes.

# ÉNERGIES NUCLÉAIRE ET RENOUVELABLES

## 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 : LA CONCEPTION DES SYSTÈMES NUCLÉAIRES DU FUTUR, L'OPTIMISATION DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES INDUSTRIELLES ACTUELLES ET LA MISE EN ŒUVRE DES GRANDS OUTILS EXPÉRIMENTAUX ET DE SIMULATION INDISPENSABLES À CES ÉTUDES. PAR AILLEURS, LE CEA GÈRE ET FAIT ÉVOLUER SON PARC D'INSTALLATIONS NUCLÉAIRES, AVEC DES PROGRAMMES DE CONSTRUCTION, DE RÉNOVATION, D'ASSAINISSEMENT ET DE DÉMANTÈLEMENT.

**Modélisation en soutien à la conception des réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium.**
© P.Stroppa/CEA

### CONCEPTION DES SYSTÈMES INDUSTRIELS NUCLÉAIRES DU FUTUR

Le CEA travaille pour le long terme sur les futures générations de réacteurs nucléaires et de cycles du combustible. Il accompagne ainsi EDF dans l'optimisation des réacteurs à eau sous pression comme l'EPR et dans la réflexion sur les petits réacteurs modulaires (*Small Modular Reactors*, SMR). Le CEA est aussi chargé de mener pour la France les recherches sur des systèmes nucléaires innovants, dits de 4e génération, en rupture technologique forte par rapport aux précédentes générations. Dans ce cadre, il est maître d'ouvrage d'un projet de démonstrateur technologique de réacteur à neutrons rapides (RNR) refroidi au sodium, appelé Astrid (*Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*). Il assure plus largement une veille et mène la R&D sur l'ensemble des systèmes et des technologies intéressant la 4e génération. En cohérence avec ces études, le CEA prépare le cycle du combustible futur, en mettant au point des procédés avancés nécessaires au multirecyclage du plutonium. Dans une perspective à plus long terme, il s'agit d'évaluer les options de séparation et de transmutation des radio-éléments à vie longue (actinides mineurs). Dans ce contexte, le CEA a étudié, avec ses partenaires EDF et Areva, les différents *scenarii* industriels possibles de déploiement des RNR, en assurant, pour le cycle du combustible, la meilleure transition entre le parc actuel qui permet de monorecycler le plutonium et un parc constitué de RNR autorisant son multirecyclage.

### OPTIMISATION DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES INDUSTRIELLES ACTUELLES

Le CEA apporte un soutien à ses partenaires industriels du nucléaire, pour leur parc d'installations nucléaires actuelles et en construction. Les programmes couvrent un très grand domaine de R&D, aussi bien pour les réacteurs que pour le cycle du combustible associé, et comportent un important effort de développement d'outils de simulation numérique associés. Dans le domaine des réacteurs, il s'agit de répondre à des enjeux de compétitivité, de durée d'exploitation, de performance, de disponibilité et de sûreté des réacteurs. Dans le domaine du cycle, les recherches sont menées en soutien à Areva pour optimiser ou adapter les procédés de traitement des combustibles usés de La Hague et de fabrication des combustibles MOX de Melox, mais également pour assurer le maintien en condition opérationnelle de ses usines. Son action porte aussi sur l'amélioration des performances d'extraction sélective de l'uranium, de purification au niveau

**Chaînes blindées pour les études sur les matériaux irradiés.**
© PF.Grosjean/CEA

requis pour l'enrichissement, puis de conversion. Le CEA travaille aussi en soutien à l'Andra pour fournir des éléments scientifiques et techniques au projet Cigéo, le projet de centre de stockage profond des déchets radioactifs, dont elle est maître d'ouvrage. Il contribue aux spécifications (techniques, matériaux) des colis de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) et aux dispositions de sûreté en conditions de stockage.

## 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.

Il s'agit de plates-formes expérimentales, de laboratoires chauds (dans lesquels sont étudiés des objets irradiés), de réacteurs de recherche et de maquettes critiques (réacteurs de très faible puissance dans lesquels sont réalisées des expériences de neutronique). Certaines de ces installations arrivent aujourd'hui en fin de vie, après plus de 40 ans de service ; la réflexion sur leur renouvellement, en vue de disposer d'un outil de R&D rénové pour les cinquante prochaines années, constitue un enjeu majeur pour le CEA. C'est dans ce contexte que se construit à Cadarache le Réacteur Jules Horowitz (RJH). Il 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 CEA développe des plates-formes et des codes de calcul dans tous les grands domaines du nucléaire (neutronique, thermohydraulique, mécanique, thermique, combustible, chimie du cycle et matériaux), pour la plupart en partenariat avec les acteurs français du nucléaire (EDF, Areva, IRSN…), afin de modéliser l'ensemble des phénomènes entrant en jeu dans le fonctionnement normal ou accidentel d'un réacteur ou d'une installation nucléaire. La modélisation s'appuie sur les données recueillies au sein des outils expérimentaux.

## ASSAINISSEMENT ET DÉMANTÈLEMENT

En tant qu'exploitant nucléaire, le CEA est responsable du démantèlement de ses installations et de la gestion des déchets qui en sont issus. Une spécificité du CEA est la grande variété de ses installations à démanteler (réacteurs expérimentaux, laboratoires de chimie, stations de traitement d'effluents et de déchets). Le démantèlement de chaque installation est ainsi un cas particulier, sans effet de série. Au fil des années, le CEA a acquis une expérience importante, aussi bien dans la maîtrise d'ouvrage des opérations, que des méthodologies et des savoir-faire nécessaires à leur réalisation. Une partie des opérations utilise des techniques courantes, adaptées au milieu nucléaire, mais les projets nécessitent souvent le développement d'outils ou de technologies spécifiques. Dans ce contexte, le CEA mène des actions de R&D de pointe dans l'objectif de diminuer les coûts, les quantités de déchets et d'améliorer la sûreté des chantiers.

**Opération de découpe d'une cuve, utilisée pour le stockage d'effluents radioactifs.**
© CEA

# ZOOM SUR…

## IMPACT SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

**L'Institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire et l'Institut biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille effectuent des travaux sur l'impact des technologies qu'ils mettent en œuvre, notamment sur la contamination radioactive potentielle chez l'homme ou dans l'environnement.**
**Ils ont mis en évidence le rôle d'une protéine qui indique aux autres, au niveau cellulaire, la position exacte de la lésion de l'ADN (consécutive à une exposition aux irradiations ionisantes) à réparer parmi les milliards de possibilités.**
**Au niveau macroscopique, les scientifiques ont démontré l'intérêt d'un nouveau traitement contre une contamination pulmonaire au polonium.**
**Sur le plan environnemental, le projet DEMETERRES développe des technologies innovantes pour la dépollution (remédiation) des sols et des effluents contaminés, comme par exemple les plantes mutantes aux capacités d'accumulation de césium ou une bactérie remarquable, découverte dans les sols contaminés de Tchernobyl, capable « d'avaler » l'uranium en le minéralisant.**

## FUSION NUCLÉAIRE PAR CONFINEMENT MAGNÉTIQUE

**Le CEA contribue, au sein d'Euratom, au programme européen de recherche sur la fusion par confinement magnétique qui vise à montrer la faisabilité d'une production d'énergie économique, sûre et durable à partir de plasmas de fusion. ITER, réacteur de fusion thermonucléaire en cours de construction sur le site de Cadarache, constitue un enjeu stratégique pour le CEA et ses partenaires.**
**Des expériences sur les équipements de téléopération et d'usinage, les bancs d'essais à haute tension et les diagnostics plasma sont menées en parallèle sur la plate-forme de tests West (Tungsten Environment in Steady-state Tokamak). Le calcul intensif permet aussi de simuler numériquement la turbulence d'un plasma de fusion mesuré par réflectométrie dans un tokamak, en accord avec les expériences.**
**Fort de ces expériences, le CEA a apporté une contribution importante au programme de l'Approche élargie d'ITER, notamment pour le futur tokamak japonais JT-60SA (usine cryogénique, première bobine toroïdale…).**

# ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les travaux du Liten[1] couvrent en priorité l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et son intégration dans l'habitat, les batteries pour les applications stationnaires et le transport, ainsi que la production d'hydrogène et la valorisation énergétique des déchets.

**Inspection des interconnexions sur des cellules photovoltaïques.**
© P.Avavian/CEA

## L'ÉNERGIE SOLAIRE

Ses recherches dans le domaine du **solaire photovoltaïque** visent à répondre à deux grands enjeux : la baisse des coûts et l'augmentation du rendement énergétique de la cellule photovoltaïque et du système complet. Il travaille notamment sur des modules premium à très haut rendement, bifaces, communicants et capables d'autodiagnostic. En parallèle, il développe des modules intégrés et fonctionnalisés pour des applications spécifiques : ponts de bateaux, toitures de centres commerciaux, chaussée…

Le Liten développe les technologies pour gérer **l'énergie solaire thermique**, la récupérer (capteurs), la stocker en vue d'une utilisation ultérieure et l'utiliser efficacement dans l'industrie ou la distribuer *via* les réseaux de chaleur. Un premier couplage centrale solaire thermique / réseau de chaleur a été réalisé avec succès.

Il accompagne les industriels qui souhaitent installer des **centrales solaires thermodynamiques à concentration**, en développant les technologies, les logiciels et les outils de dimensionnement de ces installations. Celles-ci peuvent alimenter, par exemple, des usines de dessalement de l'eau de mer.

## LE STOCKAGE ÉLECTRIQUE

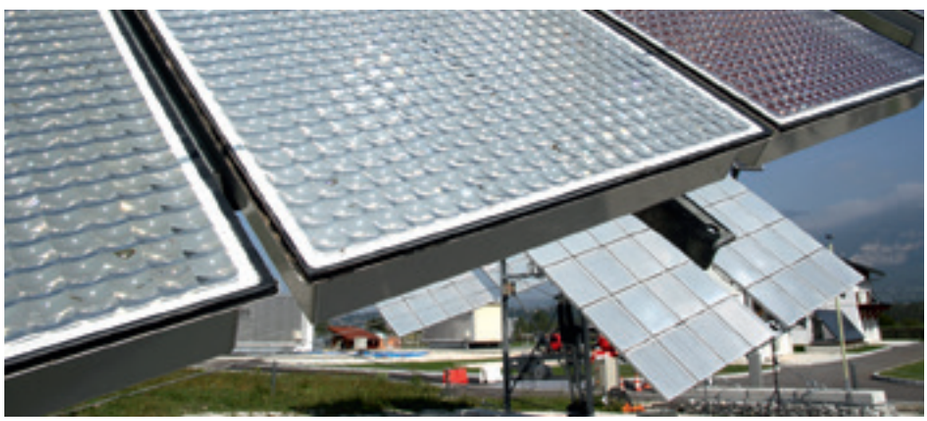
Sur le stockage électrochimique, les travaux visent les applications embarquées (véhicule électrique, objets nomades), mais également le stockage stationnaire, indispensable au développement des énergies renouvelables intermittentes. Les efforts portent notamment sur l'amélioration des performances et de la durée de vie des batteries Li-ion, et sur la mise au point de système de management des batteries pour augmenter leur fiabilité.

Parallèlement, il participe au développement de technologies de rupture destinées à de nouvelles applications : les batteries sodium-ion, peu chères, qui sont pressenties pour les applications stationnaires, ou les batteries lithium-soufre plus particulièrement adaptées au secteur de l'aéronautique.

Plus en amont, les équipes de la Direction de la recherche fondamentale mènent des études sur l'amélioration des performances des accumulateurs lithium-ion. Une voie consiste à augmenter la conductivité des ions en les « canalisant » dans des nanotubes de carbone.

Une autre voie vise à mieux comprendre les mécanismes du vieillissement de l'électrolyte en le simulant expérimentalement par une exposition à des rayonnements ionisants. Pour augmenter la capacité de charge des accumulateurs lithium-ion, un axe de recherche consiste à favoriser l'insertion du lithium dans l'anode en graphite, par dopage avec du calcium ou de l'europium. Grâce

**Modules de cellules photovoltaïques constitués de lentilles et de cellules au centre desquelles les rayons du Soleil se concentrent.**
© P.Avavian/CEA



1. Liten : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux, rattaché à la Direction de la recherche technologique.

à la microsonde nucléaire, qui permet l'analyse quantitative et locale des éléments légers contenus dans les échantillons, la structure en feuillets du composé ternaire $Li_{0,2}Eu_2C_6$ a pu être déterminée avec précision.

**Ligne pilote d'assemblage de modules et de packs batteries en petite série.**
© D.Guillaudin/CEA

## BIO-RESSOURCES

La plate-forme Genepi du Liten contribue à développer une filière innovante et performante de production de bio-combustibles à partir de bio-ressources solides (résidus issus de l'agriculture, déchets ménagers). Les bio-ressources sont transformées en gaz de synthèse par gazéification à haute température. Le biogaz obtenu peut, par exemple, être converti en gaz naturel de synthèse.

Parallèlement, le Liten développe des procédés alternatifs de traitement des déchets humides comme par exemple les boues de station d'épuration par liquéfaction hydrothermale.

Il cherche enfin à pousser la démarche de recyclage jusqu'aux molécules chimiques elles-mêmes, en tentant de « déconstruire » les polymères issus de déchets forestiers ou plastiques, grâce à des procédés à température et pression ambiantes, utilisant des catalyseurs sans métaux. Les molécules obtenues seraient réutilisables pour fabriquer des plastiques, des additifs alimentaires ou des cosmétiques.

2. Biam : Institut biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
3. BIG : Institut biosciences et technologies de Grenoble, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.

## PRODUCTION DE MOLÉCULES D'INTÉRÊT ÉNERGÉTIQUE

Certains micro-organismes sont de véritables usines énergétiques dont les scientifiques des instituts Biam[2] et BIG[3] s'inspirent pour soutenir la filière des énergies renouvelables, notamment pour développer des catalyseurs sans métaux rares pour la production d'hydrogène ou mettre au point des dispositifs de production de lipides pour le biodiesel.

Les chercheurs ont mis à jour les mécanismes cellulaires à l'origine de l'étonnante capacité photosynthétique des diatomées, organismes unicellulaires marins, qui représente 20 % de la photosynthèse planétaire. La découverte d'une interaction inattendue entre leur photosynthèse et leur respiration permettrait d'envisager l'augmentation de la production de biomasse pour fabriquer des molécules d'intérêt, en jouant sur l'utilisation simultanée de la lumière et des sources carbonées.

Dans le cadre de la valorisation du $CO_2$, le CEA a élucidé une étape clé de la maturation d'enzymes bactériennes, les formiates déshydrogénases. Elles catalysent la réduction du $CO_2$ en acide formique, qui constitue une forme intéressante de stockage et de transport de l'énergie : il peut être décomposé à la demande en $CO_2$ et en hydrogène, par exemple pour alimenter une pile à combustible.

## HYDROGÈNE ET PILES À COMBUSTIBLE

L'hydrogène en tant que vecteur d'énergie jouera un rôle majeur dans de nombreux secteurs, notamment pour prolonger l'autonomie des véhicules électriques par le biais des piles à combustible. Les travaux du CEA portent plus particulièrement sur la

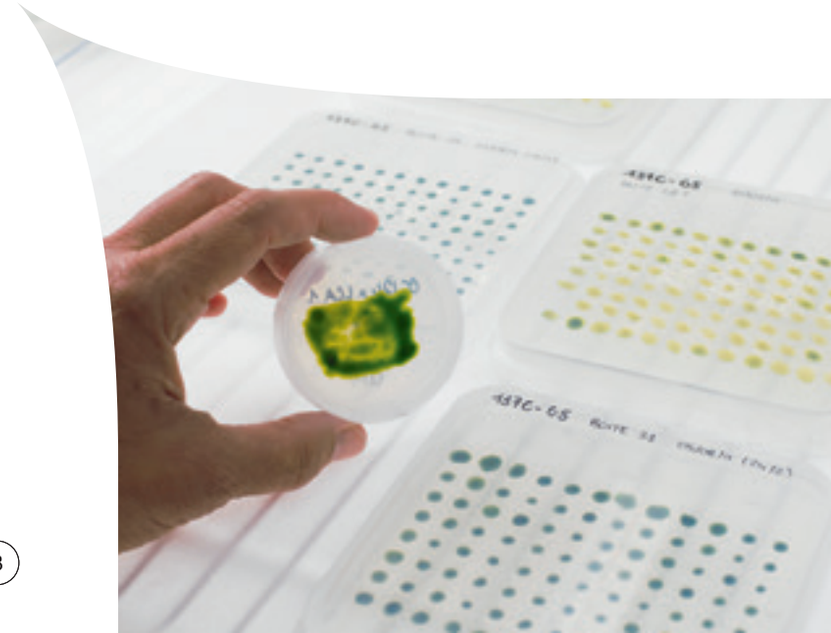
**Groupe électrogène à hydrogène.**
© P.Avavian/CEA

réduction de la quantité de platine nécessaire, l'allongement de la durée de vie du système PEMFC (pour *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), afin de proposer une alternative économiquement viable aux solutions existantes.

Les piles à combustible pourraient enfin bénéficier, pour la réduction de l'oxygène, d'un nouveau catalyseur stable et efficace, à base de graphène nanostructuré, dépourvu de métaux rares ou toxiques, comme le platine utilisé aujourd'hui.

Parallèlement, le Liten a développé un système de production réversible d'hydrogène par électrolyse de vapeur d'eau à haute température (EVHT), ce qui ouvre de nouvelles perspectives à l'échelle d'un éco-quartier, en plus de son utilité pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables.

**Études de micro-organismes (micro-algues et cyanobactéries) qui ont la capacité de produire naturellement des molécules à forte teneur énergétique.**
© G.Lesénéchal/CEA



# RECHERCHE TECHNOLOGIQUE POUR L'INDUSTRIE

LE CEA CONTRIBUE, AU SERVICE DE LA COMPÉTITIVITÉ DE LA FRANCE, AU DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE ET AU TRANSFERT DE CONNAISSANCES, DE COMPÉTENCES ET DE TECHNOLOGIES VERS L'INDUSTRIE, NOTAMMENT DANS LE CADRE RÉGIONAL, AINSI QU'À LA VALORISATION DES RÉSULTATS DES RECHERCHES QU'IL MÈNE.

**Collage de wafer sur frame.**
© P.Jayet/CEA

## MICROÉLECTRONIQUE

Dans le domaine de la microélectronique et des microtechnologies, le Leti[1] mène ses recherches en lien étroit avec les industriels et l'ensemble de la communauté scientifique.

Ses priorités sont :

- La miniaturisation ultime des composants microélectroniques « More Moore ».

Le Leti développe pour cela des nouveaux substrats et composants FD-SOI avec Soitec, STMicroelectronics et GlobalFoundries (Dresde). Il développe également les mémoires non-volatiles du futur, essentielles notamment aux microcontrôleurs, qui fonctionneront à basse tension et révolutionneront l'architecture des circuits intégrés.

Il étudie également, avec la Direction de la recherche fondamentale du CEA, des structures de transistors originales comme le transistor SET (Single Electron Transistor), les composants pour l'ordinateur quantique sur silicium ou les transistors à nanofils de semiconducteurs.

- La diversification ou « More Than Moore ».

Le Leti étudie l'intégration, à l'échelle d'une puce, de fonctionnalités mécaniques, chimiques, biochimiques et photoniques. Grâce à des techniques d'assemblage innovantes, les SoC (System on Chip), ou l'intégration 3D (y compris la technologie CoolCube™ extrêmement dense), les puces intègrent non seulement des capacités de calcul (composants CMOS et mémoires) mais également des micro- et nano-capteurs et actuateurs, des sources locales d'énergie, et des modes de communication radio-fréquence (RF) ou optique. Les dispositifs innovants issus de ces recherches tirent profit de la miniaturisation à l'échelle nanométrique, l'introduction de nouveaux matériaux, et des nouvelles propriétés associées. Ces composants permettent de répondre aux besoins des nouveaux systèmes communicants et services pour de nombreux secteurs d'activité comme les télécommunications, la santé, et plus généralement ce que l'on appelle l'internet des objets (IoT pour *Internet of Things*). Ces développements sont réalisés en partenariat avec de nombreux industriels français, européens et internationaux.

## NANOTECHNOLOGIES ET NANOSCIENCES

Les domaines des nanosciences et nanotechnologies ont émergé dans les années 1980 avec la mise au point de nouveaux outils de fabrication, de mesure et de caractérisation à l'échelle des atomes. Ces outils, comme les microscopes à effet tunnel ou la tomographie, permettent non seulement une observation à l'échelle atomique voire subatomique, mais également une reconstitution en trois dimensions de la localisation et du déplacement des atomes.

Aujourd'hui les nanosciences visent à comprendre et reproduire les phénomènes, lois et propriétés apparaissant dans les objets de dimensions nanométriques. Comprendre pourquoi et dans quelles conditions la matière s'organise en nanostructures, établir le lien entre la structure d'un matériau à l'échelle nanométrique et ses propriétés électriques, optiques ou mécaniques, ouvrent la voie à des applications originales. En exemple, les

1. Leti : Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information, rattaché à la Direction de la recherche technologique.

**Dépôt de couches métalliques pour la 3D.**
© P.Jayet/CEA

**Microscope électronique à transmission pour la caractérisation des matériaux.**
© P.Stroppa/CEA

nanotubes de carbone peuvent être utilisés pour stocker de l'énergie, ou les dispositifs 1D (nanofils, nanotubes) ou 2D (graphène, MOS2…) pour stocker et traiter des informations dans les ordinateurs. Dans ce cadre, les chercheurs de l'Inac[2] et de l'Iramis[3] en recherche fondamentale, ont pu reproduire une image tridimensionnelle de la géométrie et de la composition chimique de boîtes quantiques dans des nanofils, à partir de deux images 2D prises sous deux angles différents. Par ailleurs, ils cherchent aussi à développer des transistors à nanofils aux dimensions ultimes, qui seront testés sur un banc de caractérisation semi-automatique. Non-volatile, dense et endurante, la nouvelle mémoire magnétique STT-MRAM étudiée au CEA offre une vitesse d'écriture sub-nanoseconde pour des applications utilisant des mémoires caches de type SRAM.

Les propriétés chimiques et biochimiques de ces nano-objets ouvrent également des perspectives enthousiasmantes pour les applications relatives à la santé, de nouveaux composants pour l'électronique et l'optique du futur (comme les sources optiques intégrables sur silicium, grâce à une maille cristalline de germanium déformée jusqu'à 1,5 %, permettant d'améliorer la capacité de ce matériau à émettre de la lumière).

Les nanotechnologies correspondent aux instruments, techniques de fabrication et applications dérivées qui exploitent les phénomènes liés à cette échelle nanométrique, le milliardième de mètre.

## MANUFACTURING AVANCÉ

Le CEA, membre fondateur de l'Alliance industrie du futur, aide les entreprises dans leur transformation numérique. Les technologies numériques ouvrent en effet aux usines de demain l'opportunité de progresser en agilité, flexibilité, réactivité et performance. Les solutions développées au List[4] accompagnent et facilitent le travail des opérateurs tout au long de la chaîne de valeur. Ainsi, les solutions robotiques et cobotiques sur mesure améliorent leur productivité et réduisent la pénibilité des tâches. La réalité augmentée offre des outils performants pour la maintenance et la formation. Les capteurs et algorithmes innovants permettent d'enrichir les systèmes d'instrumentation. De même, le contrôle non destructif détermine avec une précision inégalée la tenue mécanique d'une pièce, ses zones de fragilité, sa durée de vie résiduelle ou sa fiabilité.

## SYSTÈMES EMBARQUÉS

Les systèmes embarqués se diffusent dans de multiples applications professionnelles et grand public. Leur niveau de sûreté, de sécurité, de fiabilité et de performance est déterminant. Au niveau européen, le List est notamment engagé dans l'initiative KIC EIT[5] Digital qui rassemble les acteurs majeurs de la recherche (Inria, Fraunhofer, VTT…). Dans ce domaine, le List développe également ses activités de recherche en partenariat avec de grands groupes industriels comme Renault, STMicroelectronics, Thales, Airbus, Areva, EDF, mais aussi des PME comme Esterel Technologies, Sherpa Engineering, All4Tec…

En jouant sur plusieurs leviers technologiques – conception, modélisation, architectures de calcul, convergence matériel-logiciel –, le List répond à ces enjeux dans les secteurs de l'énergie, des transports, des télécommunications, de l'internet des objets ou de la domotique. Sans oublier la cybersécurité, domaine dans lequel il bénéficie d'une reconnaissance internationale.

## INTELLIGENCE AMBIANTE

Comment extraire et transmettre, à partir des flux massifs de données générées par les systèmes informatisés et l'Internet des objets, des informations pertinentes ? Comment sécuriser leurs données grâce à des solutions de cryptage innovantes ? Les chercheurs du List développent de nouvelles technologies pour mieux gérer notre environnement grâce à la vision, la géolocalisation, la réalité augmentée, le traitement intelligent des données massives ou les interfaces homme-machine. Le List mène ses recherches en intelligence ambiante en partenariat avec des industriels des transports (Renault), de la cybersécurité (Thales), de l'énergie (Schneider Electric), de la gestion électronique de documents (Bureau Veritas), etc.

**Intégration logicielle de la gestion de domotique, notamment le chauffage.**
© V.Guilly/CEA

**Cobot composé d'un bras mécatronique dédié à des tâches comme le brossage, le burinage ou encore la manipulation.**
© P.Stroppa/CEA

## TECHNOLOGIES POUR LA SANTÉ

Le CEA propose des approches innovantes dans les domaines du diagnostic, de la thérapie et de la prophylaxie. Celles-ci contribueront au développement de la médecine personnalisée en permettant au médecin d'anticiper la prise en charge de pathologies, d'éviter des traitements inefficaces pour certains patients, et d'avoir à sa disposition des thérapies mieux tolérées.

### Imagerie médicale et radiothérapie

Le CEA coordonne l'infrastructure nationale FLI (France Life Imaging), réseau coordonné et harmonisé pour l'imagerie biomédicale en France, soutenu par les Programmes d'investissements d'avenir.

Les chercheurs de l'I2BM[6] et du Biam travaillent sur l'amélioration de la qualité des images IRM et leur interprétation, la mise aux points d'agents de contraste originaux, comme ceux composés de nano-aimants produits par des bactéries, qui pourront révéler des cibles à l'échelle moléculaire, et améliorer le diagnostic. Des tests effectués sur un modèle rongeur atteint de tumeur cérébrale sont prometteurs.

Le List collabore avec tous les acteurs du domaine : industriels, centres cliniques, chercheurs et acteurs réglementaires, en particulier dans le cadre de la plate-forme Doséo, dédiée à la métrologie, la

formation et la R&D en radiothérapie et imagerie. Grâce aux outils d'étalonnage et de métrologie de la dose, à l'instrumentation et à la simulation, la radiothérapie et l'imagerie X donnent naissance à de nouvelles solutions de médecine personnalisée, des thérapies innovantes, plus efficaces et plus sûres pour le patient et le personnel soignant.

**Test de diagnostic rapide de la maladie d'Ebola.**
© CEA

## Diagnostic

À l'Ibitecs[7], les scientifiques ont mis au point un outil de diagnostic rapide, en 15 minutes, de la maladie à virus Ebola à partir de quelques gouttes de sang ou de sérum. Ce test a été évalué plusieurs mois en Guinée Conakry, et a obtenu le marquage CE en vue de sa commercialisation.

## Dans le champ de la thérapie

Les équipes de l'Ibitecs et de l'Imeti[8] étudient plusieurs pistes :

- le nano-médicament, en cours de test, pour traiter certaines maladies neurologiques comme les ischémies cérébrales (arrêt d'apport de sang dans le cerveau) et les traumatismes de la moelle osseuse. Composé d'une molécule thérapeutique, l'adénosine, et d'un vecteur, le squalène, ce médicament peut circuler dans l'organisme sans être éliminé et atteindre les zones à traiter avec une efficacité spectaculairement renforcée par rapport à l'administration d'adénosine seule.
- la conception d'une thérapie contre la leucémie myéloïde chronique dont la prévalence et le taux de récidive sont élevés. Ce traitement inédit cible les cellules souches à l'origine de la maladie. Composé d'un traitement adjuvant au traitement classique, il fait intervenir une molécule déjà utilisée comme antidiabétique. Les premiers patients traités, dans le cadre d'un essai clinique, ne présentent plus de maladie détectable plus de 5 ans après l'arrêt du traitement, ce qui constitue un solide espoir de guérison définitive.

**Accélérateur linéaire médical sur la plate-forme Doséo.**
© L.Godart/CEA

- la thérapie génique, qui est en plein essor, a été développée contre la maladie d'Alzheimer. Visant le cholestérol intracérébral, cette méthode a prouvé son efficacité contre la maladie chez des modèles animaux. Les biologistes envisagent maintenant le passage en phase d'essais cliniques.

## Les plates-formes « dispositifs médicaux » et d'essais

Le Leti est un des acteurs majeurs en France sur le développement de dispositifs pour la santé, et plus particulièrement de dispositifs médicaux. S'appuyant sur des collaborations actives avec près de 80 équipes cliniques dans le monde, il adresse les domaines du diagnostic *in vitro*, monitoring de la santé et santé connectée, imagerie médicale, systèmes de délivrance de médicaments, dispositifs médicaux implantés actifs et thérapies innovantes.

Il mène une action, depuis deux ans, prenant en compte les contraintes règlementaires applicables à la conception, au prototypage et au design de l'essai clinique pour les dispositifs innovants. La « Plate-forme dispositifs médicaux », permet de raccourcir le temps de développement technologique de ces dispositifs innovants, leur translation rapide en pré-clinique, clinique et permet à ses partenaires industriels d'être conformes pour le marquage CE au plus tôt.

**Laboratoire de culture cellulaire de niveau de sécurité microbiologique de niveau 3, dédié aux maladies infectieuses et la thérapie génique.**
© P.Stroppa/CEA

**Vue extérieure du bâtiment Clinatec.**
© F.Ardito/CEA

Avec Clinatec, en collaboration avec le Centre hospitalo-universitaire de Grenoble, le Leti met ses compétences et ses moyens technologiques à proximité d'une plate-forme d'essais précliniques et cliniques à l'état de l'art mondial. Outre ses programmes de recherche propres, Clinatec fonctionne également en hôtel à projets, afin d'héberger ses partenaires cliniques dans un environnement de haute technologie pour la durée de leur projet.

2. Inac : Institut nanosciences et cryogénie, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
3. Iramis : Institut rayonnement–matière de Saclay, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
4. List : Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies, rattaché à la Direction de la recherche technologique.
5. KIC EIT : Knowledge and Innovation Communities of European Institute of Innovation and Technology.
6. I2BM : Institut d'imagerie biomédicale, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
7. Ibitecs : Institut de biologie et technologies, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
8. Imeti : Institut sur les maladies émergentes et thérapies innovantes, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.

# RECHERCHE FONDAMENTALE

LE CEA CONDUIT SES RECHERCHES DANS LES DOMAINES DE LA PHYSIQUE, DES SCIENCES DES MATÉRIAUX, DE LA CHIMIE, DE LA BIOLOGIE ET DE LA SANTÉ. IL DÉVELOPPE ET MET EN ŒUVRE ÉGALEMENT DES TECHNOLOGIES ET DES INSTRUMENTATIONS AU MEILLEUR NIVEAU MONDIAL.

**Vidéo-microscopie à l'IBS.**
© D.Morel/CEA

## SCIENCES DU VIVANT

Le CEA cultive un socle de recherche fondamentale dans les sciences du vivant pour irriguer toutes ses autres missions, notamment dans les domaines des énergies bas carbone et des nouvelles technologies pour l'industrie, relatives à la santé. Ce large socle se compose, entre autres, des bases moléculaires de l'immunité, des relations hôtes pathogènes et des grandes fonctions cellulaires.

### LA VIE, C'EST LE MOUVEMENT...

... et l'observer à l'échelle sub-nanométrique est une gageure. L'IBS[1] est un acteur majeur dans le champ de la biologie structurale intégrée *via* sa participation au PSB (Partenariat pour la biologie structurale à Grenoble), au Labex GRAL[2] et à l'infrastructure nationale FRISBI[3].

Les scientifiques déploient des méthodes complémentaires (résonance magnétique nucléaire, diffusion de neutrons...) pour observer la dynamique des protéines. Ils ont par exemple conçu un dispositif RMN capable d'observer le « réveil » progressif d'une protéine, de son état inerte à son état fonctionnel, avec une rampe en température passant de -168°C à +7°C. Ils ont vu ses composants s'éveiller les uns après les autres sous l'agitation thermique. Grâce à la technologie de diffusion de neutrons combinée à des simulations de dynamique moléculaire, le rôle de l'eau a été mis en évidence sur l'activité des protéines, notamment sur leur surface, les rendant actives et fonctionnelles.

Les équipes du CEA travaillent aussi sur la structure des virus. L'une des découvertes porte sur une enzyme essentielle du virus H5N1 qui peut prendre deux formes. La première, dite « fermée », est familière aux scientifiques et intervient dans la réplication du virus. La seconde, « ouverte », était jusqu'alors inconnue. Cette dernière permet à l'enzyme de pénétrer dans le noyau des cellules pour y jouer son rôle dans la réplication.

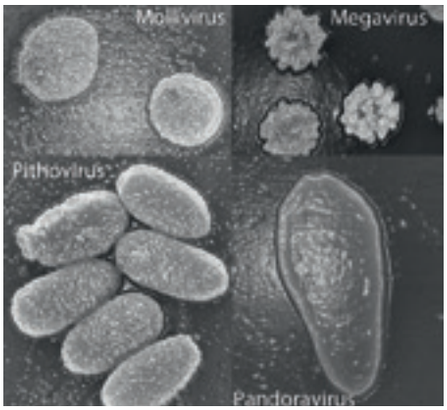
Plusieurs secrets ont été percés par les chercheurs du BIG sur la mobilité cellulaire, comme d'une part, celui sur les microtubules, éléments principaux du squelette de la cellule. Ils affichent des propriétés

1. IBS : Institut de biologie structurale, rattaché à la Direction de la recherche fondamentale.
2 Labex Gral : Laboratoire d'excellence Gral (pour Alliance for Integrated Structural Cell Biology, soit Grenoble Alliance pour la biologie structurale et cellulaire intégrées).
3. FRISBI : French Infrastructure for Integrated Structural Biology, est un réseau français de plates-formes dédiées à la biologie structurale intégrée.

fascinantes et inattendues : s'adapter aux contraintes physiques fournies par leur micro-environnement et s'auto-réparer. Leur dynamique de réparation pourrait inspirer l'ingénierie des matériaux. D'autre part, un nouveau rôle a été identifié pour le centrosome, l'organite central de la cellule censé être l'architecte des microtubules. Il s'avère aussi être responsable de l'assemblage des filaments d'actine, autres éléments du cytosquelette.

## LA VIE, DANS SA DIVERSITÉ

Les scientifiques ne sont jamais au bout de leurs surprises quand ils travaillent sur la biodiversité. Les technologies à haut débit leur permettent de sonder le vivant de façon systémique et sans *a priori*. L'IG[4] et le BIG contribuent au développement de ces technologies « omiques » (génomique, méta-génomique, protéomique, etc.) dans plusieurs infrastructures nationales financées par les Programmes d'investissements d'avenir : France Génomique, ProFI et MetaboHub. Ces techniques ont permis de dessiner le portrait détaillé d'un virus géant découvert dans le permafrost de Sibérie. Datant de 30 000 ans, *Mollivirus sibericum* ne ressemble en rien aux autres virus géants déjà découverts dans l'extrême nord, notamment le *Pithovirus*. Son génome se compose de 650 000 paires de base codant pour plus de 500 protéines. Les chercheurs s'intéressent aussi à la biodiversité des océans, encore largement inexplorée. Un séquençage massif des données récoltées au cours du voyage de la goélette Tara a révélé 40 millions de gènes microbiens, dont la grande majorité était ignorée. Les chercheurs ont répertorié 150 000 types génétiques d'organismes unicellulaires eucaryotes (protistes) alors que seulement 11 000 espèces étaient décrites jusqu'à présent.




**Microscopie électronique à balayage des particules des 4 familles de virus géants désormais connues.**
© IGS CNRS/AMU

**Plate-forme de phytotechnologie pour les études sur les effets biologiques de polluants environnementaux.**
© L.Godart/CEA

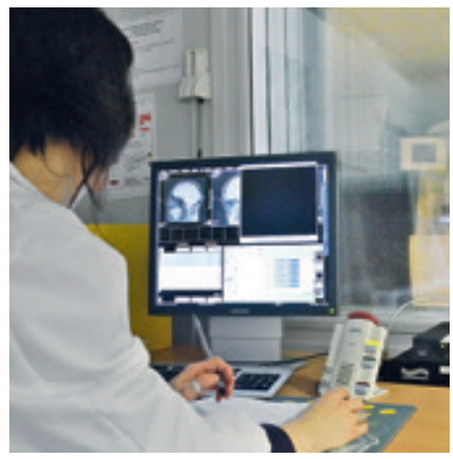
## LA TOXICOLOGIE SUR TOUS LES FRONTS

Le savoir-faire historique du CEA en toxicologie nucléaire et ses outils d'observation à plusieurs échelles, notamment des méthodes de marquage isotopique utilisables pour étudier l'échelle nanométrique, l'ont amené à étendre son expertise à la toxicologie d'autres substances. Ce qui est le cas pour l'observation des effets de divers produits chimiques sur le développement et les fonctions des testicules fœtaux, humains ou de rongeurs, maintenus en culture, et qui a fait l'objet d'un test. Autre exemple : le bisphénol A inhibe la testostérone ; les biologistes de l'IRCM[5] ont aussi montré que les bisphénols S et F, qui remplacent parfois le A désormais interdit dans les contenants alimentaires, sont également potentiellement dangereux. Un autre défi est à relever : pister la bioaccumulation des nanoparticules à faibles doses dans l'environnement. Les scientifiques de l'Ibitecs sont parvenus à suivre le parcours de faibles doses de nanoparticules de dioxyde de titane dans des moules de rivière.

## EXPLORATION DU CERVEAU

Le développement de l'imagerie à haut champ et de l'imagerie fonctionnelle ouvre de nouvelles voies d'études sur le cerveau : conscience, pensée, langage… Elles permettent notamment d'identifier un réseau d'aires cérébrales dont l'organisation pourrait expliquer la spécificité des fonctions cognitives de l'homme. Ces études faites à l'I2BM[6], comparant le primate et l'homme, montrent un circuit cérébral chez l'humain, relié aux aides auditives, qui aurait permis à notre espèce d'acquérir la compétence unique de reconnaître des séquences complexes, caractéristiques des langues humaines. Par ailleurs, une étude croisée en neuro-imagerie et en génétique a relié des mutations génétiques à des variations dans la taille des structures cérébrales profondes. Elle pourrait conduire à l'évaluation de facteurs de risque de développer une maladie neurodégénérative.

**Examen IRM à NeuroSpin.**
© PF.Grosjean/CEA



## ZOOM SUR…
## L'ARN, MOLÉCULE SANS NŒUD

**Des physiciens de l'Institut de physique théorique montrent que l'ARN semble être le seul « brin de vie » dépourvu de « nœud ». L'évolution a-t-elle sélectionné des séquences sans nœud car elles se replient plus rapidement et sans erreur, et peuvent être traitées plus efficacement dans la machinerie cellulaire ?**

4. IG : Institut de génomique.
5. IRCM : Institut de radiobiologie cellulaire et moléculaire.
6. I2BM : Institut d'imagerie biomédicale.
Tous trois, rattachés à la Direction de la recherche fondamentale.

# SCIENCES DE LA MATIÈRE

**Cryostat permettant d'obtenir une température ultra-froide, en continu et sans apport de fluide cryogénique.**
© P.Avavian/CEA

La recherche fondamentale au CEA couvre aussi l'exploration du monde subatomique (physique des particules et du noyau), des systèmes quantiques (atomes, matériaux, interactions rayonnement-matière) et, aux plus grandes échelles, l'étude de la Terre et de l'Univers. Ces disciplines mettent en œuvre des technologies de pointe en accélérateurs, aimants supraconducteurs, détecteurs et en cryogénie, des techniques et des compétences au service de l'infiniment petit, de l'infiniment grand et de notre environnement.

## LOIS DE L'UNIVERS

Dans ce domaine, le CEA a concentré son activité sur les thèmes de la physique (astrophysique, physique nucléaire et des particules). En complément de ces recherches, il conçoit et réalise des instruments uniques tels que des détecteurs, des accélérateurs, des aimants, s'appuyant sur des compétences fortes en informatique, électronique, magnétisme, cryogénie et ingénierie des systèmes.

Pour mieux comprendre les particules cosmiques, les physiciens du CEA ont participé à la conception et l'élaboration du détecteur Nucifer qui a produit ses premiers résultats sur les flux d'antineutrinos électroniques, venant de la décroissance radioactive des produits de fission du combustible du réacteur Osiris.

Engagées dans des missions spatiales, les équipes du CEA ont lancé la fabrication d'équipements pour Euclid[1], destiné à l'étude de la matière et de l'énergie noires. Une nouvelle carte en trois dimensions des amas de galaxies a été publiée grâce à un sondage de deux grandes régions du ciel. Elle permet une première reconstruction de la structure de l'Univers jusqu'à des distances de plus de 11 milliards années-lumière.

L'expérience Minos à Riken (Japon), exploitant un dispositif développé au CEA, dédiée à l'exploration des noyaux exotiques, a permis de découvrir les isotopes radioactifs de chrome et de fer les plus riches en neutrons accessibles à ce jour.

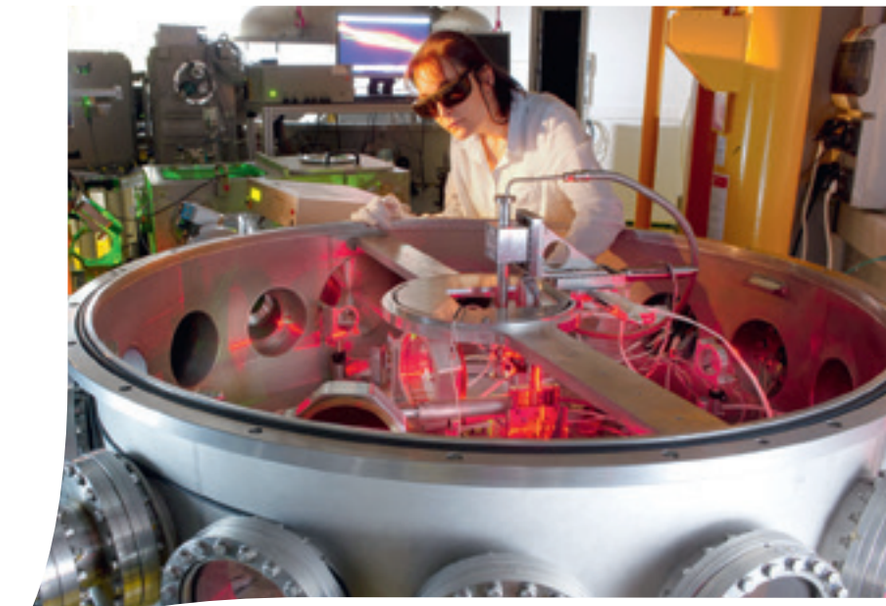
Grâce au calcul intensif, des simulations numériques ont révélé les mécanismes capables de porter l'atmosphère du Soleil à des températures très élevées (plus d'un million de degrés dans la couronne). Sous la surface de l'étoile, le plasma « en ébullition » donne naissance à des structures magnétiques évoquant une mangrove.

**Spectromètre de masse avec accélérateur de mesure de radiocarbone, à partir des archives naturelles du climat.**
© PF.Grosjean/CEA

## CLIMAT ET ENVIRONNEMENT

Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) regroupe divers moyens consacrés à la climatologie, en partenariat avec d'autres organismes de recherche français (CNRS et

1. Euclid : satellite spatial de l'Agence spatiale européenne (ESA), dont le lancement est prévu pour 2020, et pour lequel dix laboratoires français sont impliqués.



**Laser à ultra-haute intensité.**
© P.Stroppa/CEA

Université de Versailles Saint-Quentin). Il fait partie de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL). Il contribue à la rédaction des rapports du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) et a participé à la 21e conférence internationale sur le climat de Paris (COP 21).

L'un des axes de recherche est la collecte et l'analyse des archives climatiques naturelles (glaces, sédiments, cernes d'arbre…). L'étude du climat de la dernière déglaciation vise à comprendre et simuler l'évolution du système Terre dans un contexte de changement climatique rapide. Les coulées de laves situées aux îles Canaries, recueillies et datées notamment par le radiocarbone, ont permis d'établir, pour la première fois, sur les 15 000 dernières années, l'historique des variations du champ magnétique terrestre.

L'expérience du CEA sur la collecte et le traçage de sédiments a été appliquée le long des rivières côtières de la région de Fukushima, pour suivre les éléments radioactifs, en utilisant des méthodes originales de géochimie élémentaire et isotopique.

L'étude des climats passés est couplée à la modélisation et à la simulation, indispensables pour comprendre les phénomènes en œuvre et les processus régulant les échanges et transferts d'eau entre océans, continents et atmosphère. À partir de modèles décrivant le climat et la végétation, les chercheurs ont pu déterminer que les concentrations du pollen d'ambroisie (plante invasive et très allergène) pourraient augmenter d'un facteur quatre en moyenne d'ici 2050. D'autres travaux combinant simulations climatiques, mesures océanographiques récentes et informations issues d'archives naturelles du climat ont montré qu'une éruption volcanique majeure provoque, quinze ans plus tard, plusieurs oscillations de la circulation océanique de l'Atlantique nord, avec une période de vingt ans.

Le couple climatologie et simulation permet de relever les impacts du changement climatique, liés en partie à l'activité humaine et de prédire le climat futur.

## INTERACTION LASER-MATIÈRE

Les lasers sont des instruments uniques pour sonder la matière et étudier ses propriétés dans des états extrêmes d'excitation et de densité, les mécanismes en jeu dans les liaisons atomiques et moléculaires.

Les lasers à impulsions ultra-brèves (attoseconde) comme Attolab et à ultra-haute intensité comme Apollon sont de précieux outils d'exploration pour la chimie et la biologie jusqu'à la physique des champs forts et la fusion par confinement inertiel. Les premiers permettent notamment d'étudier la dynamique des électrons et des noyaux atomiques dans la matière en phase gazeuse et condensée.

## ACCÉLÉRATEURS ET CRYOTECHNOLOGIES

Le CEA dispose de compétences uniques pour mener à bien des projets de grande envergure :

- Comme le nouvel aimant IRM 11,7 teslas qui sera installé à NeuroSpin (Saclay). Le délicat assemblage de la structure soutenant les aimants de blindage (30 t) autour de l'aimant principal (80 t) a été effectué à l'usine Alstom de Belfort. Le satellite cryogénique chargé de l'alimentation en hélium liquide de l'aimant a été installé à NeuroSpin.
- Ou dans le futur démonstrateur de fusion ITER, où 54 aimants supraconducteurs, leurs structures mécaniques et leurs amenées de courant sont sous haute surveillance avec près de deux mille thermomètres et chaînes de mesures.

**Vue panoramique de l'aimant 11,7 teslas en cours d'assemblage.**
© General Electrics

## ZOOM SUR…
## LA LUMIÈRE DÉVIÉE EN GRAVITATION QUANTIQUE

**Il y a cent ans, Albert Einstein calculait la déviation des rayons lumineux par le Soleil, conséquence de sa toute nouvelle théorie de la gravitation : la relativité générale. Des physiciens de l'Institut de physique théorique ont calculé pour la première fois la correction de gravité quantique pour cet angle de déviation.**

# LES TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE (TGIR)

Les recherches fondamentale et appliquée requièrent de très grands équipements scientifiques, construits et exploités par des collaborations internationales. Le CEA représente la France, souvent aux côtés du CNRS, dans les instances de pilotage de ces infrastructures (TGIR). Il apporte à la communauté nationale et internationale une expertise :

- en exploitation dans des disciplines clés (physique nucléaire et des hautes énergies, sciences des matériaux, nanosciences, chimie…), et leur expérience ;
- en construction avec une large palette de métiers de base (ingénierie des accélérateurs, instrumentation, métrologie, technologie du vide et du froid) et une organisation en projet associant les différents concepteurs aux utilisateurs.

Les domaines d'applications et les instruments associés sont :

- les sources à neutrons (Orphée-Laboratoire Léon Brillouin, Institut Laue-Langevin et

**Test de l'injecteur Spiral2.**
© P.Stroppa/CEA

**Mise en place d'une expérimentation dans une ligne de rayonnement synchrotron de l'ESRF.**
© D.Morel/CEA

**Supercalculateur Curie.**
© Cadam/CEA

European Spallation Source (ESS)). Le CEA fournira plusieurs lots de l'accélérateur linéaire de protons et participera à la conception, la réalisation et l'exploitation de six des seize instruments déjà sélectionnés, pour la source à neutrons ESS.

- les sources de lumière (Synchrotron Soleil, ESRF et XFel). Le CEA a assemblé près de 80 cryomodules pour le laser à électrons libres XFel.
- la physique nucléaire, les hautes énergies et l'astrophysique (Ganil, Spiral2, LHC, Fair, les télescopes tels que CTA),

Pionnier dans l'étude des noyaux exotiques, le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) a été créé par le CEA et le CNRS, à parts égales, pour sa construction et son fonctionnement. Les expériences avec le détecteur européen Agata ont commencé par une première série consacrée à l'évolution de la structure nucléaire au voisinage de noyaux doublement magiques[1] ($^{78}$Ni, $^{100}$Sn, $^{208}$Pb). Par ailleurs, cet équipement sera doté bientôt d'un deuxième accélérateur d'ions Spiral2.

Le CEA est partie prenante des recherches menées au LHC (Large Hadron Collider), qui ouvre la voie à l'infiniment petit (particules élémentaires, supersymétriques, antimatière, matière noire...), et à la compréhension des tout premiers instants de l'Univers. Une désintégration très rare de la particule $B^0s$ en deux muons[2], observée pour la première fois au LHC, devrait permettre de tester des théories de physique au-delà du modèle standard. Cet instrument reproduit désormais des collisions de protons à une énergie inégalée de 13 TeV.

Par ailleurs, dans l'accélérateur européen Fair, l'aimant R3B-GLAD servira à analyser des réactions nucléaires produites par des ions lourds relativistes.

- la physique des lasers (laser Mégajoule),
- l'environnement (Icos),

Pour l'étude sur le climat, le LSCE est chargé du suivi atmosphérique par un réseau de 16 stations, intégré dans le consortium européen de suivi des gaz à effet de serre Icos.

- le calcul intensif (Genci, Prace).

Un nombre important d'heures de calcul a été réservé pour des simulations numériques sur le climat pour le Giec. Elles sont effectuées sur la machine Curie du centre de calcul du CEA. Une première phase d'investissements a été programmée pour le stockage des données afférentes.

1. Noyaux doublement magiques : Les expériences sur ces noyaux particuliers permettent de contraindre les modèles théoriques décrivant les interactions entre nucléons.
2. Particule $B^0s$ : Constituée d'un quark et d'un antiquark liés par l'interaction forte, cette particule est instable. Une désintégration particulière de cette particule recèle un intérêt pour la recherche d'une nouvelle physique.

**Analyse de flacons d'échantillon d'air, dans le laboratoire Icos.**
© F.Rhodes/CEA

# L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES

LE CEA S'APPUIE SUR DES DIRECTIONS ASSURANT LE SOUTIEN ET L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES DE RECHERCHE : MAÎTRISE DES RISQUES, GESTION DES RESSOURCES HUMAINES, FORMATION ET ENSEIGNEMENT, PROGRAMMATION, RELATIONS À L'INTERNATIONAL, VALORISATION, COMMUNICATION ; CE SONT AUTANT DE COMPÉTENCES QUI PERMETTENT À L'ORGANISME DE SE PROJETER SEREINEMENT VERS L'AVENIR.

## LA MAÎTRISE DES RISQUES

Le CEA est exploitant nucléaire de nombreux laboratoires et installations ; il a la responsabilité de les exploiter et de conduire ses projets de R&D en maîtrisant tous les risques liés à ses activités.

Identifier les risques, les évaluer puis les hiérarchiser constituent la base de la cartographie des risques actualisée chaque année. Cette cartographie sert de référence pour conduire la politique de maîtrise des risques du CEA et pour définir le programme d'audits et d'inspections, élément central de sa stratégie d'amélioration continue dans ce domaine. Elle permet surtout de sensibiliser et de mobiliser l'ensemble des personnels du CEA sur les impératifs de protection et de surveillance de l'environnement, de sûreté nucléaire, de sécurité des transports, de santé, de sécurité et de radioprotection des personnels, de protection des sites, des installations et du patrimoine, de gestion des situations d'urgence et de maîtrise des risques juridiques.

## LES RESSOURCES HUMAINES

Le CEA s'attache à gérer le développement des compétences scientifiques et technologiques de ses salariés permanents ou non permanents en utilisant plusieurs leviers d'actions portant sur la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (identification et préparation des compétences qui permettront de répondre aux besoins des programmes futurs), les recrutements et la formation. Le CEA s'attache par ailleurs à favoriser le dialogue social avec les instances représentatives du personnel et à garantir l'égalité professionnelle et la qualité de vie au travail.

## LA FORMATION

L'INSTN, Institut national des sciences et techniques nucléaires, est un établissement public d'enseignement supérieur, géré par le CEA et placé sous la tutelle conjointe du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique.

Créé en 1956, l'INSTN forme les ingénieurs, chercheurs et techniciens en formation initiale ou continue. Il délivre des enseignements et des formations de haute spécialisation portant sur les sciences et les techniques nucléaires mises en œuvre dans les domaines de l'énergie et de la santé.

Engagé dans la dynamique européenne et internationale aux côtés de l'I2EN (Institut international

**Plate-forme d'enseignement pour le démantèlement, radioprotection et intervention en milieu nucléaire.**
© S.Le Couster/CEA

**Exercice d'évacuation d'un blessé par une équipe de « Formation locale de sécurité » sur un centre CEA.**
© S.Le Couster/CEA

de l'énergie nucléaire), l'INSTN participe activement à la création de l'espace européen de l'enseignement supérieur dans le secteur nucléaire. Il est membre fondateur de l'Association ENEN (*European Nuclear Education Network*), réseau œuvrant pour la promotion de cet enseignement spécifique.

## LA PROGRAMMATION ET LA STRATÉGIE

Pour permettre au CEA d'anticiper et de se projeter sereinement dans ses recherches d'avenir tout en garantissant une gestion optimale de l'argent public, la Direction financière et des programmes travaille avec les directions opérationnelles pour bâtir une programmation annuelle et pluriannuelle du CEA, en cohérence avec les missions et les orientations stratégiques de l'établissement. Afin d'augmenter la lisibilité de ses programmes et la cohérence dans le suivi des sujets aux interfaces de plusieurs directions opérationnelles, le CEA a mis en place une segmentation de ses programmes civils de recherche, structurée selon ses grandes missions (énergie nucléaire – fission et fusion -, recherche technologique pour l'industrie, socle de recherche fondamentale). Vingt-six segments ont ainsi été identifiés, dont le contenu scientifique, programmatique et budgétaire traduit la vision stratégique du CEA à dix ans. Chacun des responsables scientifiques de segment, sous la coordination de la Direction financière et des programmes, a la charge de remettre à jour cette analyse scientifique stratégique.

## LES RELATIONS DU CEA À L'INTERNATIONAL

La Direction des relations internationales du CEA conseille le gouvernement pour les questions de politique nucléaire extérieure, représente la France auprès des organisations internationales du secteur nucléaire, telles que l'AIEA et l'AEN.

Elle anime et développe des coopérations dans ses différents domaines d'activités avec des organismes homologues d'autres pays.

La politique européenne et internationale du CEA s'articule autour de plusieurs objectifs majeurs : participer à la construction de l'Espace européen de la recherche ; développer son rayonnement scientifique international ; 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 et grâce à l'action de formation de l'I2EN.

## LA VALORISATION

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. Depuis sa création, il est engagé dans une politique de valorisation. Les équipes dédiées à l'intelligence économique et au marketing stratégique ont la mission de mettre en place et d'expliquer les bonnes pratiques de protection et valorisation des connaissances et des savoir-faire dans tous les secteurs d'activités. Les résultats des recherches qui sont conduites au CEA font l'objet de dépôts de brevets, ce qui l'a placé en 4e position, en France en 2015, dans le classement des organismes et entreprises déposant auprès de l'INPI. Les portefeuilles de brevets sont ensuite 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.

Le CEA 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.

Cette stratégie lui fait jouer un rôle essentiel dans la création d'entreprises innovantes, qui portent des technologies issues de l'organisme ou nées d'une collaboration de R&D forte. Pour les accompagner jusqu'à croître « industriellement », deux filiales : CEA Investissement et les fonds d'Emertec Gestion sont dédiées au financement.

## LA COMMUNICATION

La Direction de la communication du CEA est chargée d'informer nos concitoyens sur les enjeux et les résultats des recherches de l'organisme et de valoriser leur impact que ce soit en termes de création de richesse économique ou d'emplois. Le CEA a également pour mission la diffusion de la culture scientifique et technique sur ses recherches et ses métiers.

**Hôte stérile sous azote pour les cultures de micro-organismes en absence d'oxygène pour les recherches en dépollution des sols, la bioremédiation…**
© F.Rhodes/CEA

# DÉVELOPPEMENT DURABLE

LA STRATÉGIE NATIONALE DE TRANSITION ÉCOLOGIQUE VERS UN DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE MÊME QUE LA LOI DU 17 AOÛT 2015 RELATIVE À LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE POUR LA CROISSANCE VERTE, SOULIGNENT NOTAMMENT LA NÉCESSITÉ DE POURSUIVRE LA TRANSFORMATION DE LA GOUVERNANCE DES ENTREPRISES ET DES ORGANISATIONS POUR INTÉGRER LES ENJEUX DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE DANS LA DÉFINITION DES STRATÉGIES GLOBALES DE PERFORMANCE.

**Plate-forme photovoltaïque Myrte en Corse, couplant l'énergie solaire avec une chaîne hydrogène comme vecteur énergétique, pour le stockage des énergies renouvelables.**
© P.Avavian/CEA

Le CEA, de par ses missions dans des domaines aussi divers que les énergies bas carbone, les technologies pour l'information ou pour la santé, la défense et la sécurité globale et plus généralement dans la recherche à un haut niveau d'excellence, assume déjà vis-à-vis de l'ensemble de la société une responsabilité de premier ordre, comme d'autres services de l'État et établissements publics. Ses missions le placent d'emblée au cœur des grands défis du futur et des grandes problématiques sociétales en tant qu'expert et acteur. Le CEA se doit aussi de privilégier dans sa gouvernance, son fonctionnement interne et ses relations avec ses parties prenantes, une transparence et une efficacité optimale, conformément au plan d'action interministériel « administration exemplaire » adopté par le gouvernement le 4 février 2015.

## UNE NOUVELLE FEUILLE DE ROUTE

La gouvernance du CEA a été rénovée avec l'approbation fin 2015 d'un nouveau Plan moyen et long terme qui couvre les 10 prochaines années, ainsi que par le nouveau décret d'organisation du 17 mars 2016 qui réaffirme et explicite les missions du CEA et renforce son pilotage stratégique.

Les programmes de recherche du CEA en faveur du développement des énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), au détriment des énergies fossiles, sont officiellement reconnus par le gouvernement parmi les missions centrales de l'organisme.

La notion de nucléaire durable couvre les opérations d'assainissement-démantèlement qui doivent permettre de laisser, aux générations futures, des sites propres pour le développement de nouvelles activités. Ces opérations se déroulent dans le cadre d'un dialogue participatif avec les Commissions locales d'information.

Les travaux du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement sur le changement climatique ont contribué de façon significative au rapport du Giec, en lien avec la préparation de la COP 21 qui s'est tenue en décembre 2015 à Paris. Le CEA est particulièrement actif dans ces instances visant à lutter contre le changement climatique et se mobilise déjà dans la perspective de la COP 22 au Maroc.

Dans le domaine des énergies renouvelables, le CEA se concentre sur les secteurs où il est compétitif et où l'innovation est encore nécessaire pour réduire les coûts et accroître les rendements : solaire photovoltaïque, batteries pour les véhicules électriques, stockage de l'énergie, piles à combustible à base d'hydrogène, intelligence embarquée dans les véhicules et les bâtiments, *smart-grids*... Mais aussi leur éco-conception (pour substituer d'autres matériaux au platine), le recyclage de matières et l'économie circulaire... Le CEA souhaite conforter sa position de référence sur le développement des énergies renouvelables au niveau européen et international, à travers de nombreuses coopérations avec d'autres partenaires académiques.

## UNE INSERTION DANS LE TISSU LOCAL ET NATIONAL

Le CEA souhaite développer davantage les transferts technologiques vers les entreprises dans ces domaines, *via* notamment le déploiement de ses implantations en régions (Plates-formes régionales de transfert technologique - PRTT), qui doivent permettre de dynamiser le tissu industriel local et de créer des emplois au titre de la croissance verte. Le bilan 2015 des PRTT a permis de montrer la réalité de la dynamique de la création d'emplois autour d'elles.

Sous l'angle économique du développement durable, le CEA se positionne remarquablement bien : leader parmi tous les organismes publics pour le dépôt de brevets en France, ainsi qu'organisme de recherche le plus innovant au monde en 2015. Il contribue également à la création de nombreuses start-up innovantes.

En matière de relation avec ses fournisseurs et prestataires, le CEA, en sa qualité d'établissement public, applique de longue date les principes de la commande publique et met en œuvre une politique d'achats responsable. Par exemple, en 2015, plus de 13 % des marchés comportaient une clause environnementale, pour un premier objectif fixé à 10 %. Le CEA intègre également dans les marchés des clauses sociales, permettant d'offrir du travail à des personnes en situation de handicap.

Enfin, le CEA poursuit ses actions en faveur de la diffusion de l'information scientifique et technique, et tout particulièrement les actions pédagogiques à destination des jeunes publics, afin de leur faire prendre conscience de la réalité du changement climatique et de la nécessité de la transition énergétique. Un des axes importants de cette transition passe par les efforts d'innovation que la loi souhaite amplifier. Le CEA y prendra toute sa part.

**Village de la Mobilité à Grenoble.**
© P. Jayet/CEA

## SOUCIEUX DE LA SÉCURITÉ ET DE SON ENVIRONNEMENT

Indépendamment des responsabilités sociétales liées à ses missions, le CEA doit exercer pour ses propres installations et équipements une action constante dans le domaine de la sécurité et de la sûreté ; aussi bien vis-à-vis de ses propres salariés, de ceux de ses partenaires ou prestataires, que du public et des riverains de ses implantations. Le CEA est particulièrement attentif à la prévention des accidents du travail et se fixe des objectifs de réduction de leur taux de fréquence et de gravité pour l'ensemble des travailleurs intervenant sur ses sites.

La protection de l'environnement est également une préoccupation constante du CEA dans la conduite de ses activités. Le CEA dispose d'un système éprouvé de mesure des éventuelles pollutions ou contamination de l'environnement.

Le patrimoine du CEA est principalement réparti sur 10 centres de recherche. Les superficies de terrain occupées s'élèvent à près de 5500 hectares sur lesquels sont implantés environ 2500 bâtiments, dont 233 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et 37 Installations nucléaires de base (INB). Les lois du « Grenelle 1 et 2 » relatives à l'engagement national pour l'environnement, ainsi que la loi de transition énergétique, ont conduit le CEA à renforcer sa démarche de développement durable. Les actions sont menées dans ce sens au plus près des installations et procédés, afin d'améliorer en permanence leur performance environnementale à toutes les étapes de leur cycle de vie : conception, construction, exploitation et démantèlement. Elles visent notamment à réduire les consommations de fluides, d'énergie et les rejets gazeux, en poursuivant la démarche d'isolation thermique des bâtiments, en améliorant la détection des fuites sur les canalisations ou en rénovant les systèmes d'éclairage extérieurs. Certains centres, par exemple, ont généralisé les détecteurs de présence pour réduire l'éclairage dans les bureaux, et ont remplacé les ampoules par des LED.

## DANS LES CENTRES CEA

**Cadarache :** L'adduction d'eau, à partir du canal de Provence, pour le RJH et ITER a été réalisée en limitant l'impact écologique.

**Cesta :** En 2015, le centre a finalisé un programme pilote de rénovation thermique des bâtiments tertiaires, par isolation extérieure principalement.

**DAM-Île de France (Bruyères-le-Chatel) :** Grâce aux actions menées sur le refroidissement des supercalculateurs (suivi et ajustement des réglages de la production de l'eau glacée), leur efficacité énergétique a été améliorée et a permis d'économiser 1040 MWh sur une année.

**Rénovation thermique extérieure au Cesta.**
© CEA/MS

**Fontenay-aux-Roses :** Le bâtiment de la Direction du centre a été rénové notamment en choisissant des moquettes en fibres 100 % recyclées et des peintures sans solvants réalisées à base d'algues marines récupérées en Bretagne du Nord.

**Gramat :** Le centre a finalisé en 2015 le programme de remise du site du gouffre des Besaces à l'état naturel, où les anciennes installations de pompage d'eau, les canalisations et installations électriques associées ont été déconstruites et évacuées.

**Grenoble :** Le CEA a organisé, le 17 septembre 2015, une manifestation sur le thème « mobilité durable, innovation, accessibilité et prévention » qui a accueilli près de 5 000 visiteurs, 400 congressistes et 500 exposants.

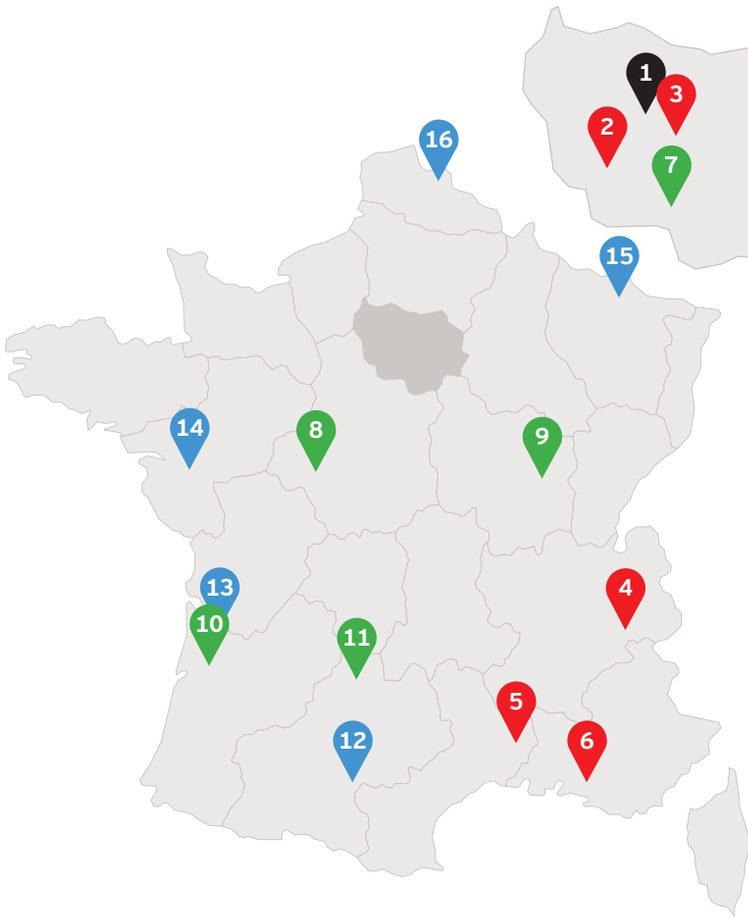
**Le Ripault :** Le centre développe une technologie de batteries déployée sur la plate-forme Myrte en Corse, sur laquelle se déroule un programme de démonstration de stockage d'électricité d'origine solaire photovoltaïque.

**Marcoule :** Un plan d'aménagement forestier a été mené avec l'ONF afin de préserver la biodiversité en faune et flore du centre.

**Saclay :** Le centre s'est engagé dans une démarche de triple certification ISO 50001 (système de management de l'énergie), 14001 et 9001.

**Valduc :** Le chauffage du centre est assuré à plus de 80 % par une ressource renouvelable produite localement (chaufferie bois et paille).

# 10 CENTRES CEA EN FRANCE




**1 SIÈGE SOCIAL**

**CENTRES CIVILS**

2 SACLAY (Siège administratif) (91)
3 FONTENAY-AUX-ROSES (92)
4 GRENOBLE (38)
5 MARCOULE (30)
6 CADARACHE (13)

**CENTRES DÉFENSE**

7 DAM-Île de France (91)
8 LE RIPAULT (37)
9 VALDUC (21)
10 CESTA (33)
11 GRAMAT (46)

**PLATEFORMES RÉGIONALES DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE**

12 TOULOUSE (31)
13 BORDEAUX (33)
14 NANTES (44)
15 METZ (57)
16 LILLE (59)

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

**Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives**
91 191 Gif-sur-Yvette cedex

www.cea.fr

**Photos de couverture :** De gauche à droite et de haut en bas : Observation au microscope dans la zone de lithographie 200 mm - Purification de protéines par chromatographie - Tunnel du LHC - Puce nue en technologie BiCMOS pour la communication haut débit aux fréquences millimétriques - Vue de la piscine dans un réacteur expérimental - Plate-forme solaire photovoltaïque - Test de l'injecteur Spiral 2 - Chambre d'expériences du laser Mégajoule. **Crédits :** P.Avavian - PF.Grosjean - P.Jayet - P.Labeguerie - Leti - D.Morel - P.Stroppa/CEA **Conception et réalisation :** EFIL - efil.fr - Imprimé par un imprimeur Imprim'Vert sur du papier provenant de forêts durablement gérées - Juin 2016