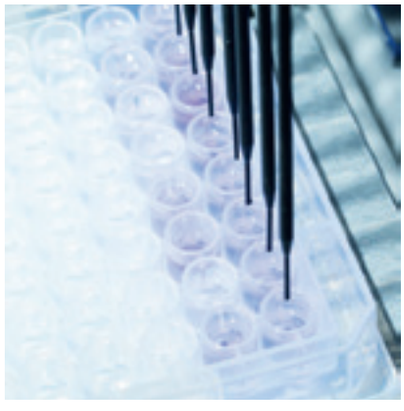
LE CEA
AU CŒUR DES GRANDS DÉFIS DU FUTUR

RAPPORT ANNUEL 2016



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

CHIFFRES CLÉS 2016

4 938
PUBLICATIONS
dans des revues à comité de lecture

1 147
DOCTORANTS ET
211
POST-DOCTORANTS
au CEA

422
PROJETS EUROPÉENS
dont 194 projets FP7 et 228 projets H2020

743
DÉPÔTS DE BREVETS PRIORITAIRES
(CEA en 4e position dans le classement des organismes et entreprises déposants auprès de l'INPI)

PLUS DE
6 100
FAMILLES DE BREVETS ACTIVES

195
START-UP
créées depuis 1972 dans le secteur des technologies innovantes dont **132 depuis 2000**

PLUS DE
600
PARTENAIRES INDUSTRIELS

55
ACCORDS-CADRES
en vigueur avec les **universités et les écoles**

30
PÔLES DE COMPÉTITIVITÉ
17 dont le CEA est administrateur

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

16 010
SALARIÉS

9
CENTRES

5
PLATES-FORMES RÉGIONALES DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

4,1 Md d'euros
BUDGET CIVIL ET DÉFENSE

GOUVERNANCE D'ENTREPRISE

(AU 1ER JUIN 2017)

DIRECTION GÉNÉRALE

Administrateur général
Daniel VERWAERDE

Administrateur général adjoint
Christophe GÉGOUT

Directeur de cabinet et Directeur de la performance
Dominique MONVOISIN

Inspection générale et nucléaire
Xavier VITART

Directrice déléguée à la sécurité-sûreté
Edwige BONNEVIE

Directeur délégué aux énergies renouvelables
Jean THERME

Directeur des coopérations internationales
Gabriele FIONI

Directrice du développement durable
Françoise TOUBOUL

Directeur de la conformité et du contrôle interne
Éric CAPELLE

Directeur conseiller spécial
Hervé BERNARD

Haut-commissaire à l'énergie atomique
Yves BRÉCHET

Directeur de cabinet
Claire KERBOUL

Institut national des sciences et techniques nucléaires
Philippe CORRÉA

DIRECTIONS OPÉRATIONNELLES

Direction des applications militaires
François GELEZNIKOFF

- Centre du Cesta — **Jean-Pierre GIANNINI**
- Centre DAM Île-de-France — **Pierre BOUCHET**
- Centre de Gramat — **Jehan VANPOPERYNGHE**
- Centre du Ripault — **Serge DUFORT**
- Centre de Valduc — **François BUGAUT**

Direction de l'énergie nucléaire
François GAUCHÉ

- Centre de Cadarache — **Christian BONNET**
- Centre de Marcoule — **Philippe GUIBERTEAU**

Direction de la recherche fondamentale
Vincent BERGER

- Centre de Paris-Saclay — **Michel BÉDOUCHA**

Direction de la recherche technologique
Stéphane SIEBERT

- Centre de Grenoble — **Philippe BOURGUIGNON**

DIRECTIONS FONCTIONNELLES

Direction des achats et des partenariats stratégiques
Franck LÉNA

Direction des analyses stratégiques
Jean-Philippe BOURGOIN

Direction centrale de la sécurité
Edwige BONNEVIE

Direction de la communication
Xavier CLÉMENT

Direction financière et des programmes
Marie-Astrid RAVON-BERENGUER

Direction juridique et du contentieux
Florence TOUÏTOU-DURAND

Direction de la protection et de la sûreté nucléaire
Jean-Marc CAVEDON

Direction des relations internationales
Anne LAZAR-SURY

Direction des ressources humaines et des relations sociales
Philippe SANSY

Direction des systèmes d'information
Louis ARRIVET

LA GOUVERNANCE DU CEA

Siège administratif du CEA.
© AM.Gendre–Peter/CEA

Le CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, est un établissement public à caractère scientifique, technique et industriel. Il est 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 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, aussi 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 pour le nucléaire civil et militaire en France. Il arrête le programme de recherche, de fabrication et de travaux de l'organisme 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 mixe 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

ACTEUR MAJEUR DE LA RECHERCHE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'INNOVATION, LE CEA INTERVIENT DANS QUATRE SECTEURS : LA DÉFENSE ET LA SÉCURITÉ, LES ÉNERGIES NUCLÉAIRE ET RENOUVELABLES, LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE POUR L'INDUSTRIE ET LA RECHERCHE FONDAMENTALE (SCIENCES DE LA MATIÈRE ET SCIENCES DE LA VIE).

Plate-forme de réalité virtuelle.
© P. Stroppa/CEA

DÉFENSE

Le CEA mène ses actions 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 cyber-sécurité ou de capacité d'alerte en cas de séisme et de tsunami, il apporte des technologies qui permettent au pays d'affronter les risques émergents et de renforcer sa sécurité.

ÉNERGIES BAS CARBONE

Organisme 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, le développement d'énergies bas carbone (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.

RECHERCHE TECHNOLOGIQUE POUR L'INDUSTRIE

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, à la valorisation des résultats de ses recherches. Il tisse des liens étroits avec la recherche académique et les industriels, en assurant un « pont » entre le monde scientifique et le monde économique. Possédant un savoir-faire unique issu d'une culture de l'innovation, le CEA soutient les industriels et la création d'entreprises de technologies innovantes.

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.

RECHERCHE FONDAMENTALE

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.

Le CEA mène des recherches fondamentales de pointe en astrophysique, sciences des matériaux, cryogénie, nanosciences… Il contribue également au développement et à l'exploitation de nombreux instruments de recherche, reconnus sur le plan international, tels que le télescope spatial Herschel ou encore le LHC. Sa recherche fondamentale est dynamique, tant en interne que sous forme de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités.

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.

ALLIANCES

Dans le cadre de ses missions de recherche, 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), des sciences de l'environnement (Allenvi) et des sciences humaines et sociales (Athena).

SUIVANT LES GRANDES ORIENTATIONS STRATÉGIQUES DE L'ÉTAT, LES MISSIONS DU CEA S'INSCRIVENT DANS :

- **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.**

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 conduire les travaux de conception et réalisation des réacteurs nucléaires équipant les sous-marins et porte-avions de la Marine nationale ;
- 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.

Réacteur d'essai (RES).
© Y.Brandt/Areva TA

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 2009 ;
- les têtes nucléaires océaniques TN75 qui équipent les missiles M51, et depuis 2016, les TNO qui équipent la deuxième version des missiles M51.

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

PROPULSION NUCLÉAIRE

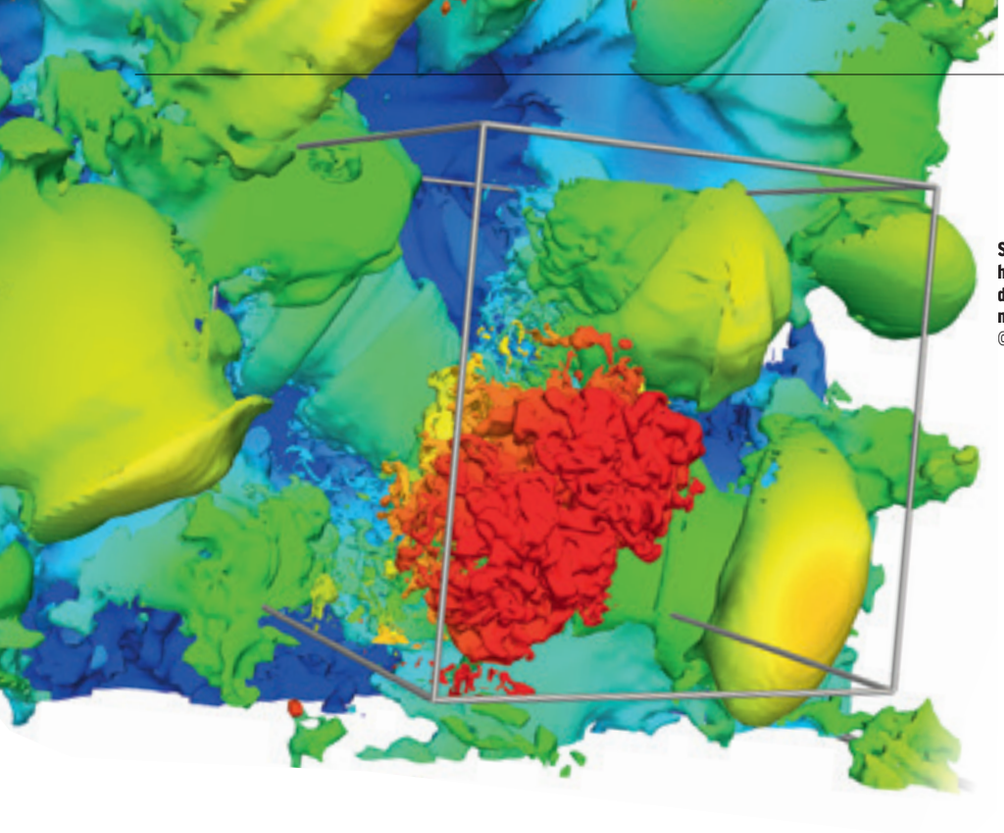
La flotte des bâtiments à propulsion nucléaire de la Marine nationale comporte 12 chaufferies en exploitation équipées de cœurs nucléaires. Elle est composée de 4 sous-marins nucléaires lanceurs d'engins de nouvelle génération, de classe « Le Triomphant », de 6 sous-marins nucléaires d'attaque (SNA) de classe « Rubis » et du porte-avions « Charles de Gaulle ». La DAM livre un cœur nucléaire par an à la Marine nationale.

Programme Barracuda

La flotte actuelle des SNA sera remplacée à terme par une nouvelle génération. C'est le programme Barracuda pour lequel la DAM mène la conception et la réalisation des chaufferies nucléaires, des cœurs associés et des moyens logistiques nécessaires à leur maintenance.

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



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

Supercalculateur Tera1000-1.
© CEA

de ces moyens est le Réacteur d'essais (RES), dont la réalisation est terminée et dont l'autorisation de chargement du premier cœur et de divergence est instruite par le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense. 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.

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).

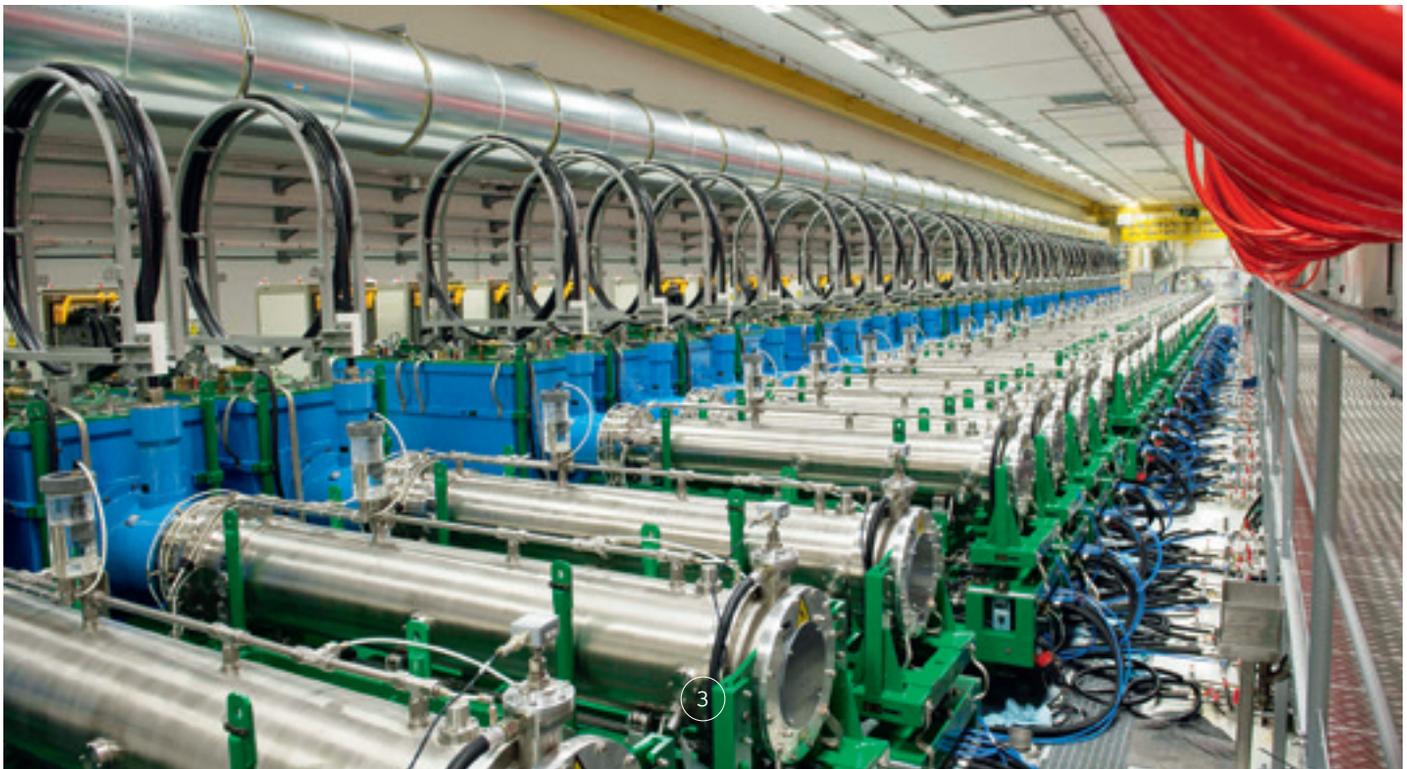
Supercalculateurs

Les supercalculateurs sont dimensionnés pour répondre aux besoins de conception et de garantie des armes nucléaires. Tera 1000-1, mis en service en 2016, 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 des deux pays. Dotée à terme de trois axes radiographiques de forte puissance, sa mise en service avec

Générateur de radiographie X éclair (machine Airix) au sein de l'installation Epure.
© CEA



Aux îles Kerguelen, station de mesure de radionucléides du Système de surveillance international du Traité d'interdiction complète des essais.
© CEA

un premier axe permet, depuis 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 en 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 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 (Cenalt) 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.

Dans le cadre des recherches en sécurité conduites au CEA, la DAM est chargée par les pouvoirs publics et la Défense de piloter le programme interministériel de R&D NRBC-E (lutte contre le terrorisme nucléaire, radiologique, biologique, chimique et explosif) ainsi que le programme de R&D cybersécurité.

LA DÉFENSE CONVENTIONNELLE

La DAM, principalement sur le centre de Gramat, apporte une assistance à maîtrise d'ouvrage de la Direction générale de l'armement (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.

Installation Laser Mégajoule (LMJ).
© MS–CEA

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. SES PROGRAMMES DE R&D S'INSCRIVENT SUR DEUX ÉCHELLES TEMPORELLES : IL S'AGIT D'UNE PART DE SOUTENIR LE PARC ACTUEL D'INSTALLATIONS NUCLÉAIRES INDUSTRIELLES ET, D'AUTRE PART, D'AVOIR UNE VISION À PLUS LONG TERME, POUR PRÉPARER LES FUTURES GÉNÉRATIONS DE SYSTÈMES NUCLÉAIRES. CES ACTIVITÉS NÉCESSITENT DE DISPOSER DE GRANDS MOYENS EXPÉRIMENTAUX ET DE SIMULATION. 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.

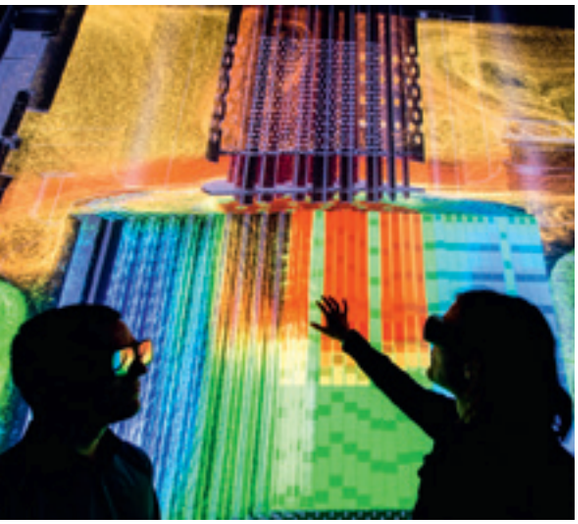
Chaînes blindées pour les études sur le traitement du combustible nucléaire usé.
© S. Le Couster/CEA

OPTIMISATION DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES INDUSTRIELLES ACTUELLES

Le CEA apporte un soutien à ses partenaires industriels, 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. Concernant les réacteurs, il s'agit de répondre à des enjeux de compétitivité, de durée d'exploitation, de performance, de disponibilité et de sûreté. Pour ce qui relève 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 puis de conversion. Le CEA travaille aussi en lien avec l'Andra pour fournir des éléments scientifiques et techniques en soutien à 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.

CONCEPTION DES SYSTÈMES INDUSTRIELS NUCLÉAIRES DU FUTUR

Le CEA travaille pour le long terme sur les futures générations de réacteurs nucléaires et sur le cycle du combustible associé. 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. 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 active multifilière et de 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



Modélisation en soutien à la conception du réacteur Astrid.
© P. Stroppa/CEA

nécessaires au multirecyclage des combustibles usés. Dans ce contexte, le CEA a étudié, avec ses partenaires EDF et Areva, les différents scénarios 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.

GRANDS OUTILS POUR LE DÉVELOPPEMENT DU NUCLÉAIRE

Les recherches du CEA nécessitent de disposer d'une capacité de modélisation prédictive des systèmes nucléaires. Dans ce cadre, 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 garantie des modèles et des calculs s'appuie sur des outils expérimentaux. 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 études expérimentales 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 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 européenne de radio-isotopes médicaux.

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 dans les méthodologies et les savoir-faire nécessaires à leur réalisation. Ces opérations utilisent autant que possible des techniques courantes, adaptées au milieu nucléaire, mais nécessitent aussi 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 les conditions d'intervention des chantiers.

Contrôle radiologique et de la conformité de colis de déchets radioactifs.
© L. Godart/CEA

ZOOM SUR…

IMPACT SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT

La Direction de la recherche fondamentale effectue des travaux sur l'impact des radionucléides et des rayonnements ionisants sur l'homme ou l'environnement.
En 2016, ses équipes ont montré l'implication d'un gène dans la radiosensibilité. Celui-ci, dénommé Trail, détient trois formes génétiques dont deux ont été reliées à de graves complications cutanées chez des femmes atteintes de cancer du sein et traitées par radiothérapie.
Par ailleurs, les chercheurs s'intéressent à la toxicité intrinsèque de particules d'oxyde de cobalt, qui seraient inhalées lors d'accidents de contamination dans des installations nucléaires et piégées dans les poumons. Ils ont montré *in vitro* la toxicité de particules de cobalt sur l'ADN de cellules pulmonaires humaines. Cette toxicité devra être étudiée *in vivo* pour définir le potentiel mutagène de ces particules après inhalation.

POLYMÈRES SOUS RAYONNEMENTS IONISANTS

Des polymères conditionnés dans des colis de déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue pourraient relâcher de l'hydrogène sous irradiation. Des chimistes du CEA ont montré que la production d'hydrogène diminue rapidement avec la dose car l'énergie est piégée dans des défauts radio-induits dans le film plastique (polyéthylène).

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.
La plate-forme de tests West (*Tungsten Environment in Steady-state Tokamak*) a produit son premier plasma à Cadarache fin 2016 et testera des composants clés pour ITER, ainsi que des diagnostics sophistiqués pour caractériser finement le plasma de fusion (profils de températures spatiaux et temporels).
Le CEA poursuit sa contribution au programme de l'Approche élargie d'ITER pour le futur tokamak japonais JT-60SA avec notamment la recette de l'usine cryogénique, de bobines toroïdales et de leurs alimentations électriques.

Centrale solaire thermique à concentration de type Fresnel.
© P. Avavian/CEA

ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les travaux du Liten[1] couvrent en priorité l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et son intégration dans l'habitat à l'INES, les batteries pour les applications stationnaires et le transport, ainsi que la production d'hydrogène et la valorisation énergétique des déchets. Il développe les outils permettant de prévoir l'insertion des énergies renouvelables sur les réseaux énergétiques.

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. Le Liten 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…

Il développe les technologies pour gérer **l'énergie solaire thermique**, la récupérer (capteurs), la stocker en vue d'une utilisation ultérieure, par exemple pour l'industrie, ou la distribuer *via* les réseaux de chaleur. Des systèmes innovants de stockage thermique sont développés.

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 lithium-ion, et sur la mise au point de système de management des batteries pour augmenter leur fiabilité.

Parallèlement, le Liten participe au développement de technologies de rupture destinées à de nouvelles applications : les batteries sodium-ion, les batteries organiques bio-sourcées, facilement recyclables, toutes deux peu chères et pressenties pour les applications stationnaires, ou les batteries lithium-soufre plus particulièrement adaptées au secteur de l'aéronautique.

Plus en amont, des équipes de la Direction de la recherche fondamentale cherchent à améliorer les performances des accumulateurs lithium-ion. L'une d'entre elles a étudié le vieillissement des batteries par radiolyse pulsée à l'échelle de la picoseconde, mettant en lumière le rôle d'électrons solvatés en interaction avec l'électrolyte. Une autre a identifié les mécanismes limitant les performances des oxydes de nickel et de manganèse, pour le stockage du lithium à l'électrode positive. Ces matériaux pourront à terme remplacer avantageusement ceux utilisés aujourd'hui.

Ligne pilote d'assemblage de batteries lithium.
© D. Guillaudin/CEA

ZOOM SUR…

CELLULES SOLAIRES SENSIBILISÉES

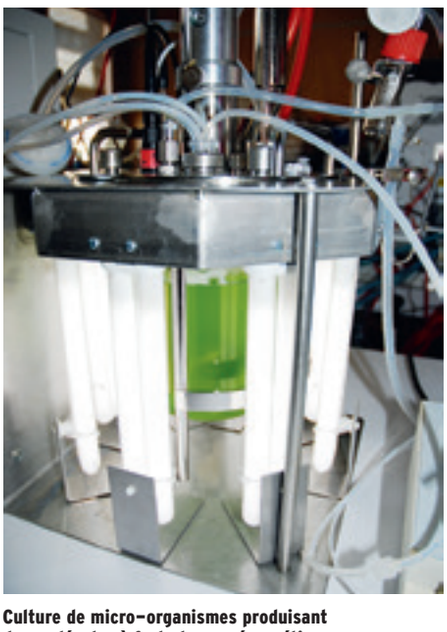
Pour améliorer le rendement des cellules solaires, des chercheurs du CEA proposent de les « sensibiliser » à l'aide d'un colorant contenu dans une couche poreuse de dioxyde de titane (TiO_2). Le contact électrique est meilleur et la recombinaison des charges évitée. La couche poreuse pourrait être remplacée par des nanoparticules dopées à l'azote.

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

BIO-RESSOURCES

La plate-forme Genepi du Liten contribue à développer une filière innovante et performante de production de syngaz 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.

Des chimistes de l'Iramis[2] cherchent 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 de dépolymérisation 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.



Culture de micro-organismes produisant des molécules à forte teneur énergétique en photobioréacteur.
© G. Lesénéchal/CEA

2. Iramis : Institut rayonnement-matière de Saclay du CEA.

Installation Pegase destinée à réaliser la purification thermique du biogaz.
© P. Avavian/CEA

PRODUCTION DE MOLÉCULES D'INTÉRÊT ÉNERGÉTIQUE

Certains micro-organismes sont des usines énergétiques dont les scientifiques 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. En particulier, les biologistes ont démontré qu'un mécanisme moléculaire hérité des bactéries influence la croissance et le développement des plantes. La compréhension de son fonctionnement permettrait de développer des stratégies de protection des cultures contre les changements climatiques et d'améliorer la photosynthèse pour générer des biocarburants et autres produits de valeur. En outre, les chercheurs s'attellent depuis plusieurs années à mimer des enzymes naturelles pour produire de l'hydrogène. Ils ont proposé en 2016 un système imitant des hydrogénases nickel-fer, au plus près de la réalité. Ces hydrogénases catalysent naturellement la production de dihydrogène.

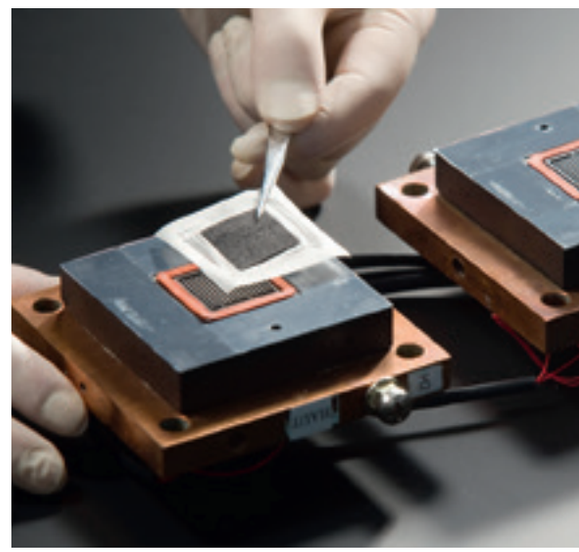
HYDROGÈNE ET PILES À COMBUSTIBLE

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 réduction de la quantité de platine nécessaire, l'allongement de la durée de vie du système PEMFC (pour *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*) et de nouveaux dépôts sur les plaques bipolaires, 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.

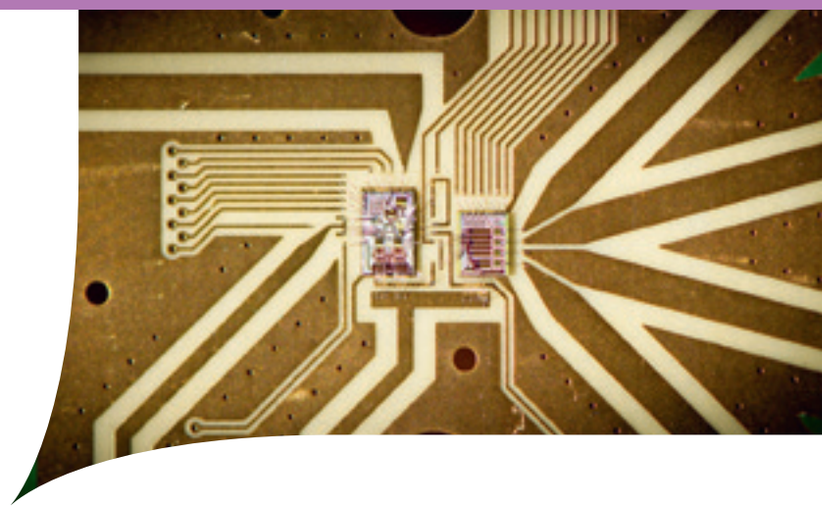
Parallèlement, le Liten a développé un système de production réversible d'hydrogène par électrolyse de vapeur d'eau à haute température (EVHT), ce qui ouvre de nouvelles perspectives à l'échelle d'un éco-quartier, en plus de son utilité pour pallier l'intermittence des énergies renouvelables. Ce système peut aussi fonctionner en mode co-électrolyse (CO_2, H_2O) pour générer un syngaz.

Phases de préparation et de montage d'une pile PEMFC.
© P. Stroppa/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.



Puce d'un amplificateur de puissance et puce de circuit d'adaptation associé en technologie SOI.
© CEA–Leti

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 appelée « More Moore »**

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

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

- **La diversification des composants 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*), utilisant notamment l'intégration 3D (y compris la technologie dite 3D monolithique baptisée CoolCube™ consistant à superposer deux transistors), 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, de 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.

Les nanosciences permettent de faire le lien entre la structure nanométrique des objets et leurs propriétés électriques, optiques, mécaniques ou encore leur réactivité chimique. Elles ouvrent des perspectives d'applications, aujourd'hui en plein développement, dans tous les domaines, parmi lesquels la nanoélectronique, les énergies (photovoltaïque, accumulateurs, hydrogène, etc.) et les sciences du vivant.

La chimie revêt une importance croissante pour façonner et fonctionnaliser des nano-objets. Il faut également optimiser leur mise en œuvre et concevoir de nouvelles architectures pour les accueillir. Ces recherches doivent être suivies de développements plus technologiques pour obtenir un dispositif original, aux propriétés maîtrisées.

1. Leti : Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA.

Opération d'assemblage en réalité virtuelle immersive avec retour d'effort.
© C. Meireis/CEA

Ainsi par exemple, des « brosses » de nanofils semi-conducteurs pourraient refroidir localement des points chauds sur des circuits microélectroniques, voire transformer la chaleur perdue en électricité utile. Autre exemple dans les domaines de la nano-photonique et des capteurs quantiques : les boîtes quantiques semi-conductrices, utilisées comme sources de photons uniques, répondent par un décalage spectral identique à l'application d'une contrainte mécanique.

En spintronique, des « vannes de spin » ont été réalisés avec un alliage ferromagnétique de cobalt (CoFe) à la place de l'alliage usuel (NiFe), ce qui a conduit à un gain en signal d'un ordre de grandeur et ouvre la voie à des applications telles que les têtes de lecture des disques durs. Enfin, un verrou important a été levé en ce qui concerne des quasi-particules magnétiques, composées de nano-aimants formant une spirale très stable (skyrmions). Une équipe de l'Inac[2] et de l'Institut Néel à Grenoble a observé ces skyrmions à température ambiante, ce qui ouvre la voie à leur utilisation pour stocker et traiter l'information à l'échelle nanométrique dans nos ordinateurs.

En quantronique, des chercheurs du CEA ont observé pour la première fois l'effet Purcell pour des spins électroniques dans les solides. Ce résultat obtenu dans du silicium constitue un pas important vers le couplage cohérent d'un spin électronique à des photons micro-onde, dans la perspective d'un futur processeur quantique, basé sur des spins individuels.

Enfin, une collaboration Inac – Leti a mis en évidence que les très petits transistors fabriqués par la technologie silicium sur isolant (SOI) sont de parfaits candidats pour la réalisation de bits quantiques utilisant le spin électronique.

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[3] 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 virtuelle et la réalité augmentée offrent des outils performants pour la conception du poste de travail, 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[4] 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.

Contrôle non destructif robotisé sur pièce composite en fabrication additive.
© A. Calais/CEA

2. Inac : Institut de nanosciences et cryogénie.
3. List : Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies du CEA.
4. KIT EIC : Knowledge and Innovation Communities of European Institute of Innovation and Technology.

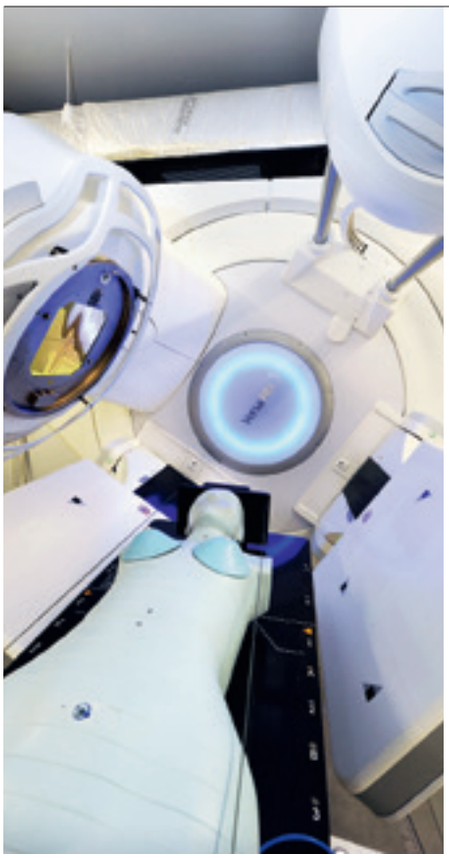


Plate-forme Doseo.
© L. Godart/CEA

TECHNOLOGIES POUR LA SANTÉ

La Direction de la recherche fondamentale 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

Les chercheurs travaillent sur l'amélioration de la qualité des images IRM et leur interprétation. Pour préparer l'accueil de l'imageur IRM le plus puissant au monde (11,7 teslas pour corps entier), ils ont continué leurs travaux, notamment en redoublant d'inventivité dans leurs algorithmes pour limiter les temps d'acquisition, ces derniers s'allongeant fortement avec la précision acquise. Aussi, les physiciens ont participé à la caractérisation d'une protéine rouge de brillance inégalée, appelée mScarlet. Ils ont observé sa structure moléculaire et compris l'origine de son éclat. Un enjeu majeur pour l'imagerie cellulaire.

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 Doseo, 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.

Diagnostic

Le diagnostic biologique des maladies neurodégénératives se fait aujourd'hui *post mortem*. Les chercheurs ont développé une technique de résonance magnétique *in vivo* pour quantifier certaines caractéristiques morphologiques des neurones et astrocytes, susceptibles d'être altérées dans ces pathologies. Aussi, les biologistes ont fait un pas supplémentaire vers le diagnostic précoce de la maladie d'Alzheimer par la mise au point de deux nouveaux types d'anticorps capables de détecter spécifiquement les plaques amyloïdes et les enchevêtrements neurofibrillaires, caractéristiques de la maladie.

Par ailleurs, des équipes se sont inspirées d'une protéine bactérienne pour concevoir une sonde capable de détecter le cuivre des cellules, ouvrant la voie à la conception d'un nouvel outil de diagnostic des maladies liées à un dérèglement de la régulation du cuivre, comme la maladie de Wilson ou le syndrome de Menkes.

Dans le champ de la thérapie

Les équipes de la Direction de la recherche fondamentale ont découvert un système original d'acquisition des métaux essentiels chez une bactérie pathogène, le staphylocoque doré. Il représente une nouvelle cible potentielle pour la conception d'un antibiotique.

Ils ont apporté une preuve de concept clinique d'une thérapie adjuvante pour le traitement de la narcolepsie. L'agence réglementaire américaine l'a désigné comme médicament orphelin.

Dans la maladie d'Alzheimer, ils ont montré un rôle précoce et protecteur des cellules immunitaires du cerveau, dites microgliales. Cette découverte ouvre de nouvelles pistes thérapeutiques pour ralentir, voire empêcher, la progression de la maladie.

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 réglementaires applicables à la conception, au prototypage et au design de l'essai clinique pour les dispositifs innovants. La « Plate-forme dispositifs médicaux » permet d'en raccourcir le temps de développement technologique, leur translation rapide en pré-clinique, clinique et permet à ses partenaires industriels d'être conformes pour le marquage CE au plus tôt.

Avec Clinatec, en collaboration avec le Centre hospitalo-universitaire de Grenoble, le Leti met à disposition ses compétences et ses moyens technologiques à proximité d'une plate-forme d'essais pré-cliniques 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.

Réalisation de coupe histologique sur la plate-forme Clinatec.
© P. Avavian/CEA

Développement d'anticorps pour le diagnostic et la thérapie.
© F. Rhodes/CEA

RECHERCHE FONDAMENTALE

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

Spectrométrie de masse appliquée à la pharmacocinétique et au métabolisme des médicaments.
© F. Rhodes/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.

UNE CELLULE QUI SE DÉFEND

Les cellules déploient des trésors d'inventivité pour réagir aux agressions, commises notamment par les radicaux libres qui exercent un stress oxydatif et favorisent le vieillissement cellulaire.

Une équipe de la Direction de la recherche fondamentale et ses partenaires ont découvert un mécanisme de réparation des protéines qui ouvre la voie vers un meilleur contrôle du vieillissement cellulaire lié au stress oxydant. En modulant le système de prise en charge des protéines anormales qu'ils ont identifié, ils ont observé un allongement de plus de 50 % de la durée de vie réplicative de la cellule. Une des conséquences de cette modulation est la diminution du phénomène d'agrégation protéique. Bien que très fondamentaux, ces résultats sont importants pour la compréhension des maladies liées au vieillissement et pour leur traitement, comme pour les maladies neurodégénératives caractérisées par une agrégation anormale des protéines dans le système nerveux.

Dans une autre étude, des chercheurs ont étudié une ruse utilisée par certains micro-organismes pour compenser leurs faiblesses face à une agression. Par exemple, la levure résiste au stress oxydant en dupliquant son chromosome XI, ce qui conduit à la surexpression des gènes portés par ce chromosome et à l'accroissement des défenses anti-oxydantes. Cette adaptation cellulaire par duplication de gènes n'est pas seulement présente chez les micro-organismes, elle est aussi utilisée par les cellules cancéreuses pour augmenter leur résistance aux radicaux libres. Ces

travaux pourraient donc contribuer à une meilleure compréhension des processus de cancérisation.

Autre stress subit par les organismes vivants, notamment les plantes : un excès d'énergie lumineuse. Les chercheurs ont identifié un nouveau gène régulateur de la mort des cellules végétales, induite par cet excès. Son étude permettrait d'augmenter la résistance des plantes aux stress de l'environnement.

Chambre de culture et de mesure de plantes en conditions contrôlées.
© L. Godart/CEA

AU CŒUR DE L'ÉPIGÉNÉTIQUE

Un neurone et un globule rouge sont issus de cellules souches identiques, donc issus du même patrimoine génétique. Les gènes d'une cellule peuvent donc s'exprimer d'une façon ou d'une autre suivant sa spécialisation, son environnement…, l'épigénétique a pour objectif de comprendre comment. Chaque type cellulaire est donc confronté à l'énorme challenge d'exprimer correctement chacun de ses gènes. De nombreux mécanismes cellulaires sont à l'œuvre pour atteindre ce but, auquel les remodeleurs de chromatine participent en favorisant ou en interdisant l'accessibilité de l'ADN. Des biologistes et des généticiens du CEA ont mis en évidence le fonctionnement de ces enzymes. Ils ont découvert comment le matériel génétique, compacté dans le noyau de la cellule et donc *a priori* difficile d'accès, doit être remodelé pour permettre à la machinerie cellulaire d'accéder aux gènes.

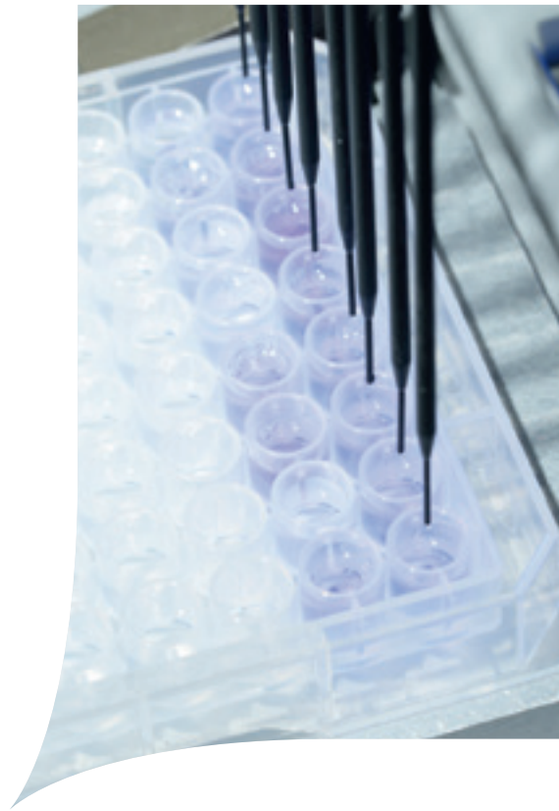
Les chercheurs ont également fait un pas dans la compréhension des phénomènes épigénétiques, encore mystérieux. Dans le monde végétal, la protéine Leafy est nécessaire au décryptage du code génétique responsable de la formation des fleurs. Outre son rôle connu d'activation des gènes floraux, ils ont montré que cette protéine a un rôle épigénétique. Elle est en effet capable de s'assembler à d'autres congénères pour former des petites chaînes de Leafy compétentes pour accéder à des régions de l'ADN normalement trop condensées pour être reconnues.

Préparation d'un gel de séparation de protéines par électrophorèse pour une étude en protéomique.
© P. Avavian/CEA

BIODIVERSITÉ

Le catalogue d'organismes planctoniques collectés durant l'expédition Tara Oceans continue de s'agrandir. La première vision globale du réseau d'espèces liées à la pompe biologique (absorption du carbone) des océans a mis en lumière de nouveaux acteurs et les principales fonctions bactériennes concernées dans ce processus. Grâce notamment aux travaux de la Direction de la recherche fondamentale, les scientifiques ont montré également qu'un petit nombre de gènes bactériens et viraux prédit une fraction significative de la variabilité de l'export de carbone vers les profondeurs océaniques.

Dans une autre étude, le CEA et ses partenaires ont percé les secrets d'une bactérie extrêmophile, appelée *Halomonas*, capable de survivre dans des conditions extrêmes de salinité. Elle produit une rouille, responsable par exemple de la destruction progressive de l'épave du Titanic. Elle survit à des environnements salés très hostiles grâce à la molécule ectoïne. Des expériences de diffusion de neutrons ont permis d'en expliquer les mécanismes.



Préparation automatisée d'échantillons par plaque de 96 puits.
© P. Avavian£/CEA

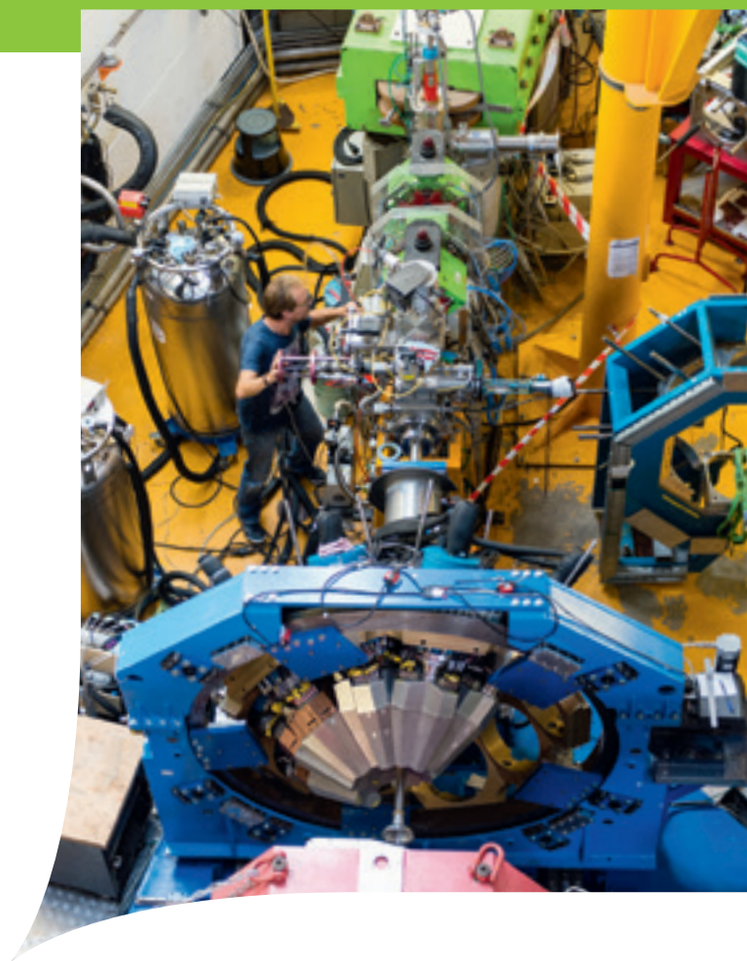
ZOOM SUR…

HADRONTHÉRAPIE : QUELS DOMMAGES ?

Une collaboration entre plusieurs instituts de la Direction de la recherche fondamentale montre que l'hadronthérapie avec des ions carbone n'endommage pas plus les tissus sains en avant de la tumeur qu'une radiothérapie classique. Cette étude participe à la validation de cette technique notamment dans le cas de tumeurs radio-résistantes, qui requièrent des doses jusqu'à trois fois plus élevées que la normale.

SCIENCES DE LA MATIÈRE

La recherche fondamentale au CEA couvre 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 matière d'accélérateurs, aimants supraconducteurs, détecteurs, cryogénie, etc.



Vue de la chambre à réactions et du tube faisceau relié aux cyclotrons du Ganil.
© P. Stroppa/CEA

LOIS DE L'UNIVERS

Pour ses recherches en physique (astrophysique, physique nucléaire et des particules), le CEA conçoit et réalise des instruments (détecteurs, accélérateurs, aimants) en s'appuyant sur des compétences en informatique, électronique, magnétisme, cryogénie et ingénierie des systèmes.

Le dernier-né des détecteurs gazeux Micromegas au CERN est destiné à mesurer le profil d'un faisceau de neutrons sans le perturber. D'autres expériences ont permis à des chercheurs du Ganil[1] et de l'Irfu[2] de mieux comprendre certaines transitions subites d'une forme du noyau atomique à une autre. Au Ganil, la campagne d'expériences, auprès du spectromètre gamma européen Agata, a permis de récolter de nombreuses données en cours d'analyse, qui permettront des avancées dans la compréhension des manifestations de l'interaction forte dans le noyau.

En astrophysique, une équipe conduite par l'Irfu a publié une nouvelle carte 3D d'amas de galaxies grâce à un sondage de l'Univers jusqu'à dix milliards d'années-lumière. Les données, recueillies notamment par l'observatoire en rayons X XMM-Newton, ne s'accordent pas parfaitement avec les modèles cosmologiques actuels. Par ailleurs, l'analyse d'observations variées a conduit à la découverte étonnante d'un amas de toutes jeunes galaxies, à une distance encore jamais atteinte de 11,5 milliards d'années-lumière, qui bouscule également les modèles.

L'observatoire gamma Integral n'a pas enregistré de signal inhabituel au passage de l'onde gravitationnelle dans l'instrument Ligo (*Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory*). Cette observation conforte le scénario de la fusion de deux trous noirs, pour lequel la théorie ne prédit aucune émission gamma.

1 Ganil : Grand accélérateur national d'ions lourds.
2 Irfu : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers.

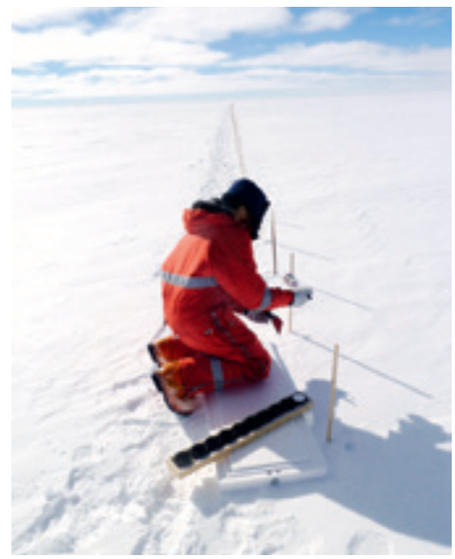
CLIMAT ET ENVIRONNEMENT

Le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) est une équipe mixte (CEA, CNRS et Université Versailles Saint-Quentin) de l'Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL). Il participe activement aux travaux du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

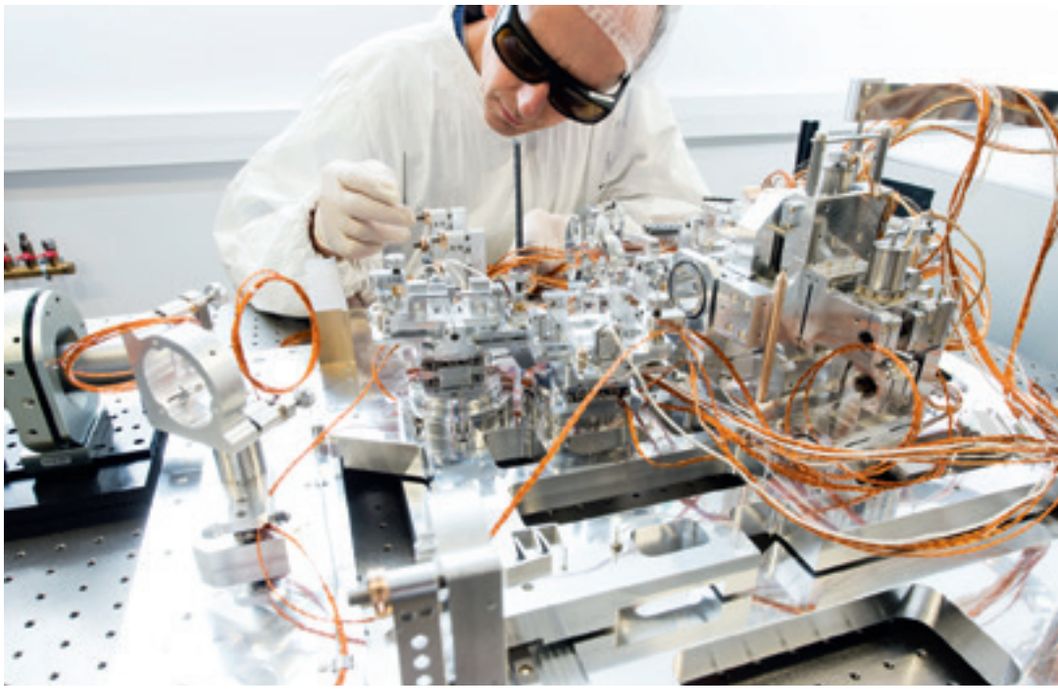
Un axe de recherche important est la collecte et l'analyse des archives climatiques naturelles (glaces, sédiments, cernes d'arbre…). Pour cela, le carottier du Marion-Dufresne a extrait dans l'Atlantique des sédiments marins de qualité exceptionnelle, entre 1000 et 4500 mètres de profondeur, dont les analyses permettront d'élucider les variations rapides du système climatique au cours des quarante derniers millénaires.

Le LSCE contribue à divers réseaux de surveillance des gaz à effet de serre. Avec ses partenaires, il a publié un bilan complet des sources et puits de méthane. Celui-ci montre une stabilisation des concentrations de méthane dans les années 2000, suivie en 2007 d'une augmentation encore mal comprise.

La modélisation du climat est une autre composante importante des travaux du LSCE. Dans le cadre de la préparation du 6e rapport du Giec, les simulations numériques ont débuté en vue de l'exercice international CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*).



Mission de prélèvement et de mesure de carottes polaires en Antarctique.
© CEA



Assemblage du dispositif de mise en forme spectrale et temporelle du faisceau attoseconde sur le laser Attolab.
© P. Stroppa/CEA

ZOOM SUR…

LA TRANSITION VITREUSE

Certaines théories décrivent les verres comme des liquides très visqueux et d'autres comme de vrais solides présentant un ordre « amorphe ». Des mesures de susceptibilités électriques non linéaires ont tranché ! Un ordre amorphe règne bien dans les verres et la transition entre l'état liquide et l'état vitreux appartient à une nouvelle classe d'universalité de phénomènes critiques.

Le LSCE a également une expertise reconnue dans les datations par les méthodes radioactives. Ainsi, les assemblages énigmatiques de stalagmites de la grotte de Bruniquel (Aveyron) ont été datés à 176 500 ans par la méthode uranium-thorium, ce qui les propulse au rang des plus anciens ouvrages humains. Cette découverte éclaire d'un jour nouveau l'Homme de Neandertal. Par ailleurs, trois éruptions volcaniques à 30 km de la grotte Chauvet ont été datées entre 29 000 et 35 000 ans. Ces âges sont compatibles avec ceux des dessins en formes de gerbes, réalisés par des occupants humains de la grotte : il s'agirait donc de la représentation la plus ancienne de tels cataclysmes.

PHÉNOMÈNES FONDAMENTAUX EN PHYSIQUE

Si les lois de la physique sont aujourd'hui bien établies, quelques grandes questions restent aujourd'hui ouvertes, en particulier dans le domaine des systèmes complexes, où le comportement d'une assemblée d'individus ne peut être connu à partir de la seule définition des interactions mutuelles entre eux.

La complexité est au cœur de processus thermodynamiques tels que l'auto-organisation en nanosciences. La problématique de la « matière animée » tend à rejoindre la frontière entre matière et vivant.

INTERACTION LASER–MATIÈRE

Les lasers permettent de sonder la matière et d'étudier ses propriétés dans des états extrêmes d'intensité de champ électrique, ainsi que les liaisons atomiques et moléculaires.

Les lasers à impulsions ultra-brèves (femtoseconde 10^{-15} s et attoseconde 10^{-18} s) comme ceux de la plate-forme Attolab et à ultra-haute intensité comme le laser Apollon sont de précieux outils d'exploration pour la chimie, la biologie et la physique des champs forts. Les lasers attoseconde 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 supraconducteur pour l'IRM 11,7 teslas qui sera installé à NeuroSpin (Saclay) en 2017 ou 54 aimants supraconducteurs du futur démonstrateur de fusion ITER.

Une équipe de l'Irfu a développé une nouvelle source haute intensité d'ions légers « Alises II » compacte, fiable et robuste, destinée à la recherche en physique nucléaire et à la production de neutrons. Ce concept pourrait être adapté à des applications industrielles et médicales telles que l'implantation ionique ou la protonthérapie.

Préparation de l'aimant de 11,7 teslas pour son transfert de Belfort à Saclay.
© P.Dumas/CEA

ZOOM SUR…

ACCÉLÉRATION D'ÉLECTRONS PAR LA LUMIÈRE

Pour la première fois, des chercheurs de l'Iramis[3] ont mis en évidence l'accélération d'électrons à haute énergie directement par une onde lumineuse. Ce verrou de l'accélération « dans le vide » levé, il devient possible d'accroître l'énergie des électrons sans autre limite que l'intensité des lasers femtoseconde.

3 Iramis : Institut Rayonnement–Matière de Saclay.

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 très grandes infrastructures. Il apporte son expertise dans des disciplines clés (physique nucléaire et des hautes énergies, sciences des matériaux…), une large palette de métiers (accélérateurs, métrologie, vide, cryogénie…) et une organisation en projet associant concepteurs et utilisateurs. Leurs domaines d'applications et instruments associés sont :

ANALYSES NEUTRONIQUES (Orphée-Laboratoire Léon Brillouin, Institut Laue-Langevin, European Spallation Source ou ESS)

Pour la construction de la source de neutrons ESS, le CEA fournit plusieurs lots de l'accélérateur linéaire de protons et participe à la conception de six des seize instruments déjà sélectionnés.

ANALYSES SYNCHROTRON (Soleil, ESRF et E-XFEL, laser à électrons libres à rayons X)

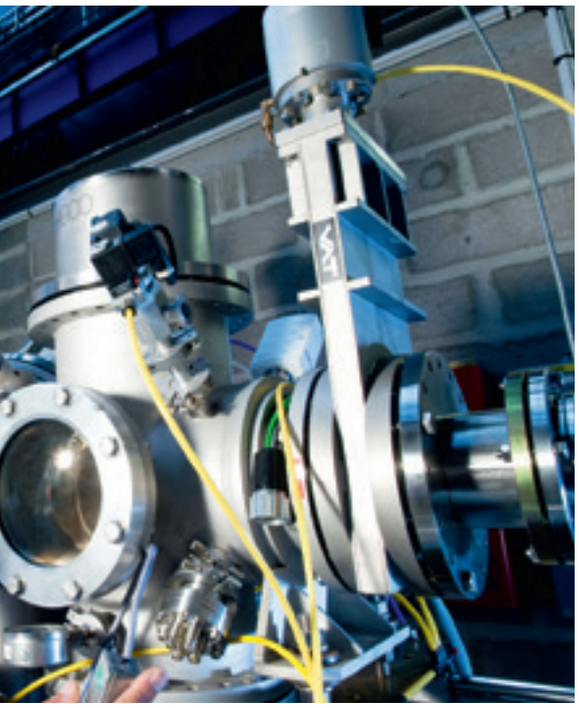
Plusieurs équipes de recherche du CEA travaillent régulièrement sur les lignes de lumière des synchrotrons français et européens. Diffusion et diffraction de rayons X, photoémission sur toute l'étendue du spectre, EXAFS, études spectroscopiques, cristallographie et imageries sont les principales techniques utilisées, en particulier pour les nanosciences.

Pour E-XFEL, le CEA a participé à la construction de l'accélérateur supraconducteur d'électrons de 1,5 km de long, en intégrant et testant, avec l'industriel Alsyom, un ensemble de 103 cryomodules.

Enceinte d'expériences au Ganil.
© P. Stroppa/CEA

Mise en place d'une manipulation dans le réacteur à haut flux de l'Institut Laue Langevin.
© D. Morel/CEA

Détecteur LHCb.
© P. Stroppa/CEA



PHYSIQUE NUCLÉAIRE (Ganil, Spiral2, Cern, Fair)

Pionnier dans l'étude des noyaux exotiques, le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) est un Groupement d'intérêt économique créé par le CEA et le CNRS à parts égales. Il vient de se doter d'une nouvelle installation, Spiral2 (Système de production d'ions radioactifs accélérés en ligne), qui résulte de nombreuses collaborations techniques et scientifiques, en France, en Europe et dans le monde. Ses faisceaux uniques ouvrent de nouveaux horizons à la physique du noyau et à la recherche interdisciplinaire.

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

PHYSIQUE DES HAUTES ÉNERGIES (LHC)

Le CEA est partie prenante des recherches menées au LHC (*Large Hadron Collider*), qui explore l'infiniment petit (particules élémentaires, antimatière, matière noire, etc.) et les tous premiers instants de l'Univers.

ASTROPHYSIQUE (télescopes)

Une source de rayonnement cosmique à des énergies encore jamais observées dans notre galaxie a pu être identifiée grâce au réseau de télescopes Hess, en Namibie. Il s'agit du trou noir supermassif central. L'énigme centenaire de l'origine des rayons cosmiques galactiques est enfin quasiment résolue.

ENVIRONNEMENT (Icos)

Pour l'étude sur le climat, le LSCE est chargé du suivi atmosphérique par un réseau de 25 stations, intégré dans le consortium européen de suivi des gaz à effet de serre Icos.

CALCUL INTENSIF (Genci, Prace)

En calcul intensif, les premières simulations climatiques avec le modèle Dynamico en configuration planète-océan ont été réalisées. Cette nouvelle modélisation de la dynamique atmosphérique, basée sur un maillage icosaédrique, permet d'accélérer très fortement les calculs.

Réseau de télescopes Hess en Namibie.
© CEA

L'ACCOMPAGNEMENT DES PROGRAMMES

LA CONDUITE DES PROGRAMMES DE RECHERCHE DU CEA BÉNÉFICIE D'UN ENSEMBLE DE COMPÉTENCES FONCTIONNELLES INDISPENSABLES À SA PERFORMANCE D'ENSEMBLE : MAÎTRISE DES RISQUES INHÉRENTS À SES ACTIVITÉS, GESTION DES RESSOURCES HUMAINES, FORMATION ET ENSEIGNEMENT, PROGRAMMATION BUDGÉTAIRE DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE ET STRATÉGIE, RELATIONS À L'INTERNATIONAL, VALORISATION, COMMUNICATION...
AUTANT DE COMPÉTENCES QUI PERMETTENT À L'ORGANISME DE SE PROJETER AVEC CONFIANCE DANS L'AVENIR.

LA MAÎTRISE DES RISQUES

Le CEA est exploitant nucléaire de nombreux laboratoires et installations implantés dans ses centres. 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 constitue la base de la cartographie actualisée chaque année. Celle-ci 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 notamment 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 de celles 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'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) est un établissement public d'enseignement supérieur et un organisme national de formation administré par le CEA. L'INSTN est placé sous la tutelle conjointe du ministre en charge de l'Industrie, du ministre de l'Enseignement supérieur et, en raison de ses liens avec le CEA, du ministre en charge de l'Énergie.

Depuis 60 ans, l'INSTN délivre des enseignements et des formations de haute spécificité, à tous les niveaux de qualification – de l'opérateur à l'ingénieur et au chercheur –, sur les sciences et les techniques mises en œuvre dans les applications industrielles et médicales de l'énergie nucléaire.

Engagé dans une dynamique internationale, l'INSTN a obtenu en 2016 le statut de « *Collaborating Centre* » auprès de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) pour l'éducation et la formation dans les technologies nucléaires et leurs applications industrielles et radio-pharmaceutiques. L'Institut devient ainsi le premier centre reconnu par l'AIEA en Europe. Cette reconnaissance est également un gage important de l'excellence du CEA et de ses activités pour la filière dans son ensemble.

LA PROGRAMMATION ET LA STRATÉGIE

Le contrat d'objectifs et de performance a été signé entre le CEA et les ministères de tutelle, pour la période 2016-2020. Préparé par la Direction des analyses stratégiques et suivi par la Direction financière et des programmes, ce document a pour mission d'inscrire les activités civiles du CEA, de la recherche à l'industrie, dans les orientations stratégiques de l'État. Il est cohérent avec la programmation pluriannuelle 2015-2025 et ses mises à jour établies par la Direction financière et des programmes, avec les Directions opérationnelles et s'inscrit dans les missions du CEA. 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

À l'INSTN, nouvelle salle immersive 3D pour la radiothérapie.
© L. Godart/CEA

Réunion de travail.
© P. Avavian/CEA

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 réactualiser annuellement cette vision scientifique stratégique. La Direction des analyses stratégiques mène les analyses nécessaires à l'élaboration, à la mise en œuvre et aux évolutions de la stratégie de l'établissement. Elles portent notamment sur les systèmes énergétiques, la transition numérique, les modèles industriels et économiques liés aux grands partenariats du CEA.

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 internationale du CEA s'articule autour de plusieurs objectifs majeurs : apporter son appui aux partenariats stratégiques mis en place par le gouvernement, développer le rayonnement scientifique international du CEA ; 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 ; participer à la construction de l'Espace européen de la recherche.

LA VALORISATION

Lorsque cela est adapté, les résultats des recherches qui sont conduites au CEA font l'objet de dépôts de brevets. En 2016, 743 brevets prioritaires qui viennent renforcer un portefeuille de près de 6 200 familles de brevets actives ont été déposés. Le CEA reste ainsi le premier organisme de recherche déposant auprès de l'INPI. Il est par ailleurs distingué dans les classements de Clarivate (ex Reuters) : depuis 6 ans il est présent au « *Top 100 Global Innovators* » qui identifie les 100 entreprises et institutions « *qui sont au cœur de l'innovation* » et second en 2016 au TOP25 qui présente « *les 25 institutions publiques qui contribuent le plus à faire progresser la science et la technologie dans le monde* ».

L'important portefeuille de brevets du CEA est exploité principalement à travers des actions de transferts technologiques vers le monde industriel. En 2016, ce sont plus de 600 partenaires industriels qui ont pu en bénéficier.

Les brevets peuvent également jouer un rôle essentiel dans la création d'entreprises innovantes. 8 sociétés ont été créées en 2016 consolidant une dynamique durable qui porte à 132 le nombre de sociétés créées depuis 2000. Pour soutenir la croissance de ces jeunes pousses, le CEA s'est également impliqué dans des fonds d'amorçage, pilotés par ses filiales CEA Investissement ou Supernova créée en 2017.

Enfin, notons que le dispositif de soutien des activités de valorisation du CEA inclut également un service Bibliométrie- Études marketing en capacité d'aider les laboratoires à optimiser leurs transferts de technologie grâce à une expertise avérée dans ces domaines.

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.

Le CEA aux Utopiales de Nantes.
© F. Klotz/CEA

DÉVELOPPEMENT DURABLE

UNE RECHERCHE RESPONSABLE POUR UN MIX ÉNERGÉTIQUE DURABLE

Le développement durable, associant protection de l'environnement, croissance économique et équité sociale, est partie intégrante de la mission du CEA, organisme public de recherche.

Le CEA inscrit ses actions de recherche dans la dynamique portée par le gouvernement, après la signature par la France de l'accord de Paris sur le climat et son l'adhésion aux 17 Objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU pour 2030.

Héritier d'une mission historique sur l'énergie nucléaire, le CEA a de longue date été vigilant sur la surveillance de l'environnement, la gestion des déchets, l'économie de matière ou la concertation avec les populations locales. Le CEA a ainsi développé des activités, des processus et une culture d'entreprise « responsables », qu'il applique à l'ensemble de ses activités.

LE CEA RÉPOND AUX GRANDS ENJEUX DU DÉVELOPPEMENT DURABLE PAR DES PROGRAMMES DE R&D…

Le CEA engagé pour une recherche d'excellence sur les énergies bas carbone

Ses recherches sur la modélisation du climat lui permettent de suivre et d'anticiper l'évolution de l'effet de serre, et l'impérieuse nécessité de décarboner la production d'énergie. Le CEA joue un rôle essentiel dans les activités scientifiques du Giec.

Valérie Masson-Delmotte, climatologue au LSCE, a participé au Train du climat.
© M. Klotz/CEA

En 2016, le Laboratoire des sciences du climat (LSCE) a produit de nouvelles données sur les puits de carbone, dont ceux résultants de la dégradation des ciments.
Une équipe franco-chinoise impliquant le LSCE a mis au point une nouvelle méthodologie pour déterminer les impacts de ses émissions de gaz à effet de serre, d'aérosols et de composés chimiquement actifs dans l'atmosphère, sur le climat d'un pays.

Premier centre européen de recherche sur les énergies décarbonées, le CEA développe les briques du mix énergétique de demain, qui associera énergie nucléaire et énergies renouvelables, dans des réseaux électriques innovants et pour répondre à une demande optimisée.

Le CEA contribue à faire de la Provence Alpes-Côte d'Azur une « Smart Région » avec le projet Flexgrid qui sera la vitrine du déploiement à grande échelle des technologies françaises en matière de réseaux électriques intelligents.
CEA Tech, Corsicasole et sa filiale Driveco ont développé des programmes de gestion et de pilotage de la recharge de véhicules installés dans des stations de rechargement de véhicule par l'énergie solaire, ainsi que les infrastructures permettant le déploiement de ces technologies innovantes à l'échelle territoriale (première route de la mobilité solaire).

Le CEA développe les technologies de réduction de l'empreinte écologique des systèmes énergétique que ce soit dans le domaine du nucléaire (assainissement/démantèlement, traitement des déchets) que des énergies renouvelables (économie de métaux rares, recyclabilité).

La SFEN a attribué son Prix de l'Innovation technologique à Onet Technologies et au CEA pour la découpe laser télé-opérée, développé au CEA et mis en œuvre par Onet Technologies sur un chantier d'assainissement du CEA Marcoule. Une innovation qui pourrait également être retenue pour la découpe des débris de combustibles fondus dans les réacteurs accidentés de Fukushima Dai-ichi.

Démantèlement de Siloé sur le centre CEA de Grenoble.
© P. Avavian/CEA

Le CEA développe le nucléaire durable : réacteur de fission de 4e génération et réacteurs de fusion (voir page 10).

Le CEA contributeur actif au développement économique de la France

L'activité de recherche technologique du CEA irrigue le tissu industriel français et essaime sur les sujets où ce tissu n'est pas encore développé. Et cet apport du CEA est substantiel puisque le CEA est le 1er organisme public innovant en Europe et 2e au monde (classement Clarivate 2016 (ex Reuters)). Il est également le premier organisme de recherche déposant de brevets en France (et 4e au palmarès des déposants) et génère la moitié de la recherche partenariale en France.

La R&D que le CEA mène plus spécifiquement dans le domaine de l'énergie nucléaire est largement réalisée en soutien à l'industrie nucléaire et participe à la relance d'un secteur clé de l'industrie française, représentant 220 000 emplois (dans 2 600 entreprises, grands groupes et PME/ETI).

La société au cœur des programmes de recherche du CEA

Le CEA est un contributeur de premier rang au maintien d'un climat de paix et de sécurité.

En 2016, le Cenalt (Centre d'alerte aux tsunamis) développé par le CEA a été accrédité au sein du système d'alerte aux tsunamis.

Le CEA a célébré en 2016 les vingt ans de son programme Simulation conçu et mené pour pérenniser la dissuasion nucléaire française après l'arrêt des essais nucléaires.

Le CEA a développé dans le domaine de la santé, en partenariat avec l'Inserm et le CNRS, des applications non énergétiques des neutrons ou des technologies de pointe développées pour la microélectronique ou la défense. Il met également à profit ses compétences dans le domaine des technologies de l'information et de la communication pour développer des technologies au service de l'humain en milieu professionnel (réalité virtuelle, cobotique) ou dans la vie courante (maintien dans leur lieu de vie des populations vieillissantes).

Le CEA est impliqué dans de nombreuses études sur les maladies neurodégénératives (voir page19). Par ailleurs, des travaux des chercheurs ont ouvert la voie à de nouveaux progrès pour les prothèses rétiniennes chez l'Homme. Le CEA a également participé à la découverte d'un gène associé à la radiosensibilité et à des complications post-radiothérapie, ouvrant la voie à une personnalisation de la radiothérapie.

Le CEA met ses technologies à disposition des pays en voie de développement.

Le CEA et la société marocaine MASEN ont lancé deux projets au Maroc : Projet « Dessalement » et Plate-forme « durabilité des systèmes solaires » dédiée à l'étude de la durabilité des centrales solaires thermodynamiques. D'autres sujets de recherche communs sont en cours d'étude, notamment dans le domaine de la gestion des réseaux électriques, du stockage d'énergie via le vecteur hydrogène et des réseaux de froid.

... MIS EN ŒUVRE DANS UNE DÉMARCHE RESPONSABLE

Des consommations en énergies et en eau

Le CEA est implanté sur 10 sites géographiques. Les deux tiers de son patrimoine immobilier ont été construits dans les années 1960 et sont essentiellement dédiés à des activités de recherche, dont une part importante d'activités nucléaires. De par leur conception et leur fonctionnement, ces installations émettent des quantités significatives de gaz à effet de serre. Le CEA s'est donc lancé depuis plusieurs années dans des opérations lourdes de rénovation de son bâti, de destruction de bâtiments énergivores et de reconfiguration de ses systèmes de chauffage, en privilégiant le gaz, la co-génération ou la connexion à des réseaux de chaleur.

Pour l'eau, qui est utilisée principalement pour les besoins industriels (procédés, refroidissement, climatisation), le CEA privilégie l'utilisation d'eau recyclée et de systèmes en circuit fermé.

De l'empreinte environnementale

La plupart des sites du CEA sont localisés en zone rurale ou périurbaine. Le dynamisme de ses collaborations scientifiques internationales participe fortement à l'excellence de sa recherche. Les déplacements, domicile/travail ou professionnels, constituent donc un poste important dans les émissions de gaz à effet de serre du CEA. Celui-ci a par conséquent encouragé la mobilité partagée (système de cars, co-voiturage), la non mobilité (utilisation des techniques de l'information et de la communication) et favorisé l'usage du train par rapport à l'avion.

Le CEA optimise de façon continue son organisation en matière de maîtrise globale des impacts sanitaires et environnementaux de ses activités et de ses implantations actuelles ou anciennes, que ce soit en termes d'assainissement et de démantèlement, ou de gestion des effluents et des déchets radioactifs, biologiques ou chimiques.

De l'intérêt des salariés et des parties prenantes

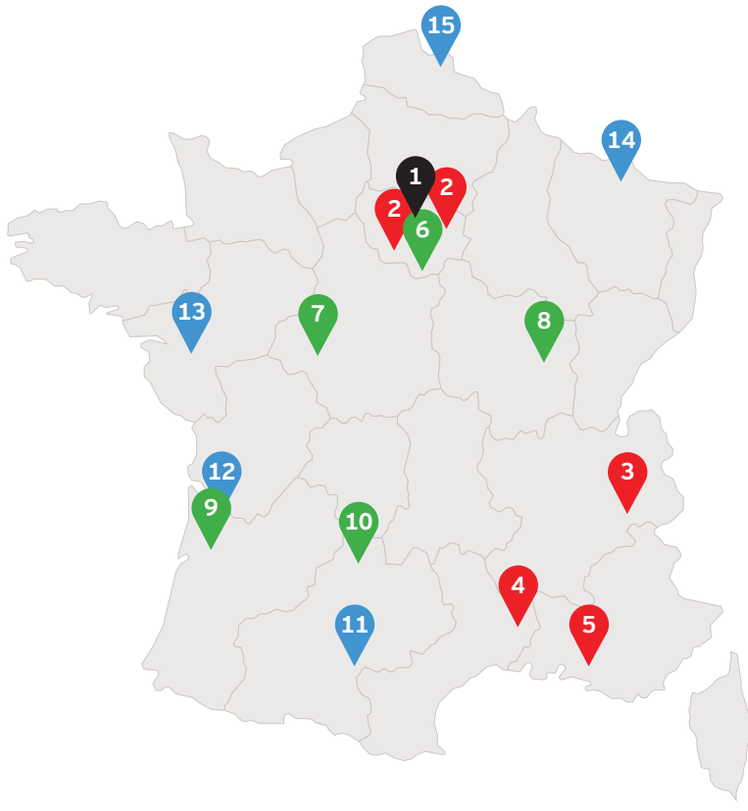
Six valeurs fondent et légitiment les activités, le fonctionnement interne et les relations avec les parties prenantes du CEA : sens de l'intérêt général, responsabilité, engagement, exigence, acceptation de la complexité et solidarité.

Portés par ses valeurs, les objectifs du CEA contribuent aux politiques nationales en faveur de l'emploi et de l'insertion professionnelle des jeunes et des personnes handicapées, de maintien dans l'emploi des séniors, et de soutien de l'emploi scientifique. Le CEA s'engage pour l'égalité professionnelle entre les hommes et les femmes et développe des relations sociales de qualité.

En 2016, le centre CEA de Grenoble a été primé par des distinctions récompensant des sociétés pour leurs actions en matière de handicap, de développement durable et de responsabilité sociétale des entreprises (Challenge interentreprises Sport2Job et Trophées RSE Rhône-Alpes).

Plate-forme photovoltaïque à l'INES.
© L. Chamussy/Sipa-CEA

9 CENTRES CEA EN FRANCE



1 SIÈGE SOCIAL

CENTRES D'ÉTUDE CIVILS

2 PARIS–SACLAY
établissements de
Fontenay–aux–Roses et Saclay

3 GRENOBLE

4 MARCOULE

5 CADARACHE

CENTRES D'ÉTUDE POUR LES APPLICATIONS MILITAIRES

6 DAM Île–de–France

7 LE RIPAULT

8 VALDUC

9 CESTA

10 GRAMAT

PLATES–FORMES RÉGIONALES DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

11 TOULOUSE

12 BORDEAUX

13 NANTES

14 METZ

15 LILLE

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 : Modélisation en soutien à la conception du réacteur Astrid sur un mur d'images – Plate-forme de test en extérieur de systèmes photovoltaïques à concentration – Expérience de nanomagnétisme – Préparation automatisée d'échantillons en protéomique – Supercalculateur Tera1000-1 – Plate-forme nanoélectronique et micro-nanosystèmes – Intervention au télémanipulateur dans une chaîne blindée procédé – IRM 3 teslas corps entier Cycéron. **Crédits :** P.Avavian – P. Jayet - S.Le Couster - P.Stroppa/CEA.
Conception et réalisation : EFIL – efil.fr – Imprimé par un imprimeur Imprim'Vert sur du papier provenant de forêts durablement gérées - Juin 2017