

Le CEA au cœur des grands défis du futur

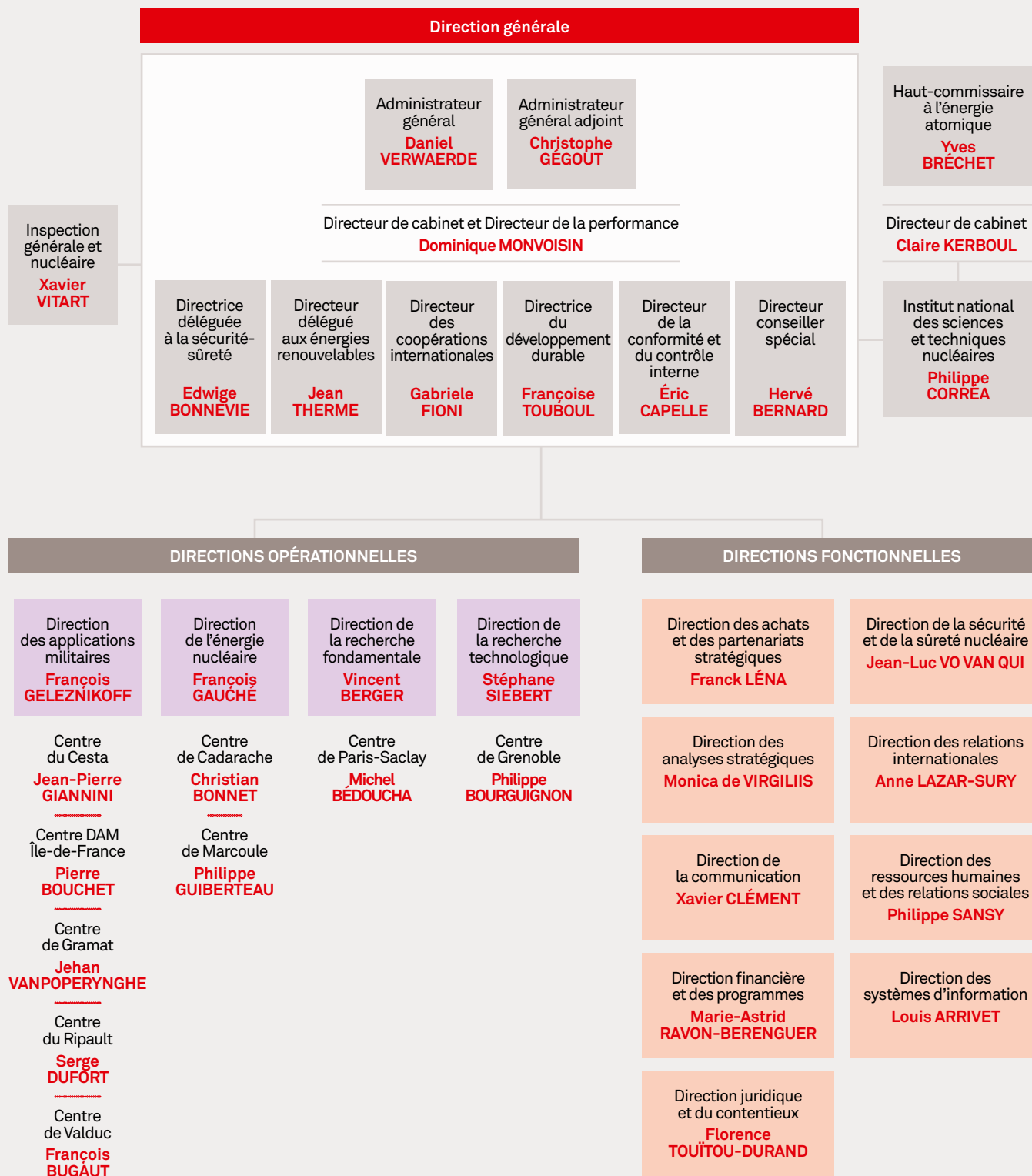
— rapport d'activité 2017

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

Gouvernance d'entreprise

(au 31 décembre 2017)



Chiffres clés 2017

4 914

publications

dans des revues à comité
de lecture

plus de
600
partenaires industriels

1 183

doctorants et

160

post-doctorants
au CEA

64
accords-cadres
en vigueur avec les **universités**
et les **écoles**

30

pôles de compétitivité

17 dont le CEA
est administrateur

422

projets européens

dont **194** projets FP7
et **228** projets H2O2O

51
unités de recherche
sous cotutelle du CEA
et de partenaires académiques
(45 UMR, 5 UMS, 1 USR)

762

**dépôts de brevets
prioritaires**

(CEA en 4^e position dans le
classement des organismes
et entreprises déposants
auprès de l'INPI)

16 979
salariés

plus de

6 300

**familles de brevets
actives**

9

centres

5

**plates-formes régionales
de transfert
technologique**

204

start-up

créées depuis 1972 dans le secteur
des technologies innovantes
dont **141** depuis 2000

5 Md d'€
budget civil et défense

La gouvernance du CEA

 **Bâtiment siège CEA**
© D. Touzeau/CEA



Le CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, est un établissement public à caractère scientifique, technique et industriel. Seul dans sa catégorie en raison de la dualité de ses tâches relevant à la fois de missions de souveraineté et d'actions de droit privé, 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 la tête du CEA

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. L'Administrateur général siège également au Comité export nucléaire présidé par le Premier ministre, au Conseil de politique nucléaire présidé par le président de la République et est le conseiller du gouvernement en matière de politique nucléaire.

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 liées à la Défense nationale et à 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 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.

Une nouvelle fonction Conformité

Une fonction Conformité a été créée avec la nomination, le 1^{er} mars 2017, d'un Directeur de la conformité et du contrôle interne placé auprès de l'Administrateur général. Ce directeur a pour missions la mise en place de cette nouvelle fonction qui inclut une démarche d'éthique professionnelle et de déontologie, ainsi que la mise en œuvre du contrôle interne. Conformité et contrôle interne sont portés par un engagement fort de la Direction générale. L'objectif est d'inscrire ces fonctions dans la culture de l'entreprise, en cohérence avec ses valeurs.

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 du vivant).

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 cybersécurité 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



 Tracker solaire photovoltaïque à concentration, de nouvelle génération
© P. Avavian/CEA

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).

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.

Défense et 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 et le terrorisme nucléaires ;
- d'apporter son expertise au profit de la Défense dans le domaine de l'armement conventionnel.

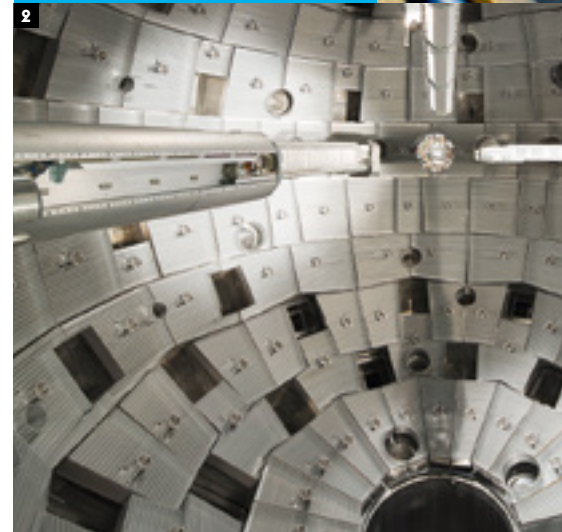
Composantes nucléaires de la dissuasion

Deux composantes nucléaires sont en service :

- la composante nucléaire aéroportée, avec le système d'armes constitué des têtes nucléaires aéroportées (TNA), et des missiles des forces aériennes stratégiques qu'elles équipent depuis 2009 ;
- la composante nucléaire océanique, avec un premier système d'armes, constitué des têtes nucléaires océaniques TN75 et des missiles M51 qu'elles équipent, et depuis 2016, un deuxième système d'armes constitué des têtes nucléaires océaniques TNO et de la deuxième version des missiles M51 qu'elles équipent.

Tera I000-1, mis en service en 2016, peut effectuer 2,6 Petaflops (million de milliards d'opérations par seconde) et Tera I000-2, mis en service en 2017, atteint

25
Petaflops

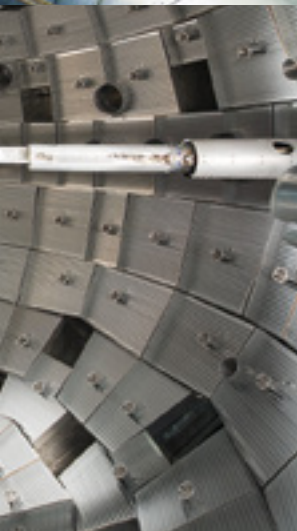


La sûreté et la fiabilité de la TNA, puis de la TNO, ont été garanties par la Simulation, sans essais nucléaires nouveaux.

Propulsion nucléaire

La flotte des 11 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 en moyenne un cœur nucléaire par an à la Marine nationale.





1. Supercalculateur Tera 1000-2 © Cadam/CEA
2. Intérieur de la chambre d'expérience du Laser Mégajoule © CEA MS
3. Sous-marin nucléaire lanceur d'engins *Le Triomphant* © CEA/DAM

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 situés sur le centre de Cadarache. L'un de ces moyens est le Réacteur d'essais (RES), dont la réalisation est terminée. Le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense a donné l'autorisation de chargement du premier cœur et instruit l'autorisation de divergence, laquelle est prévue en 2018. 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, mis en service en 2017, atteint 25 Petaflops avec une performance énergétique très élevée.





4. Boîte à gants pour le traitement du plutonium recyclé © CEA/DAM
5. Centre d'alerte aux tsunamis
 © CEA/DAM



Installation Epure

L'installation Epure, en montée en puissance sur le centre de Valduc, s'inscrit dans le cadre du traité franco-britannique Teutates, 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 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 et le terrorisme nucléaires, 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. La DAM est organisée pour apporter des réponses, parfois dans un délai très court (comme ce fut le cas récemment après les essais nucléaires de la Corée du Nord), aux demandes des autorités nationales : état-major particulier de la présidence de la République, Secrétariat général à la défense et à la sécurité nationale (SGDSN), ministère des Armées. Elle bâtit aussi des dossiers de fond pour le suivi des pays proliférants et assure la

pérennité de son réseau d'experts. Enfin, son expertise technique lui permet de conseiller le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères pour certaines grandes négociations internationales, comme par exemple sur le programme nucléaire iranien, ayant conduit à l'accord de long terme JCPOA (*Joint Comprehensive Plan of Action*) de janvier 2016.

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.



Énergies nucléaire et renouvelables



I. Opération
de télémanipulation
sur des combustibles
irradiés © G. Le Sénéchal/CEA

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, et d'assainissement et de démantèlement.

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.

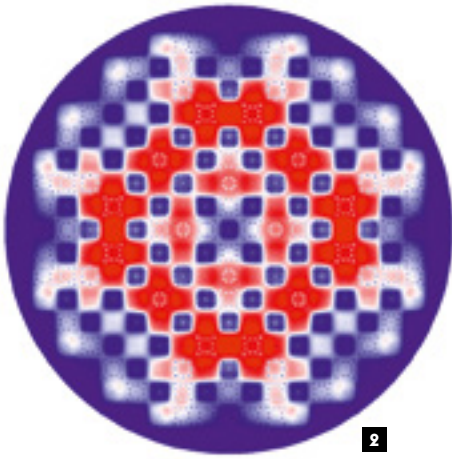
Conception des systèmes industriels nucléaires du futur

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



Le Réacteur Jules Horowitz (RJH) sera une installation unique pour l'étude des matériaux et des combustibles sous irradiation, en soutien aux réacteurs nucléaires actuels et futurs.

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 4^e 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 4^e génération. En cohérence avec ces études, le CEA prépare le cycle du combustible futur, en mettant au point des procédés avancés nécessaires au multirecyclage des



2

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 d'exploitation, 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.

ZOOM SUR...

Impact sur la santé et l'environnement

La Direction de la recherche fondamentale travaille sur l'impact des radionucléides et des rayonnements ionisants sur l'homme ou l'environnement. En 2017, les scientifiques ont obtenu un résultat important concernant l'impact de faibles doses de rayonnements ionisants, délivrées lors d'examens médicaux utilisant les rayons X. Ils ont montré qu'une irradiation à faibles doses de cellules souches hématopoïétiques (CSH), à l'origine de l'ensemble des cellules sanguines, entraîne, à long terme, une diminution du nombre de CSH et de leur fonctionnalité. Cette propriété n'est pas uniquement délétère. Elle pourrait être utilisée pour éviter une destruction massive de la moelle osseuse d'un patient avant une greffe. Par ailleurs, une caméra, couplée à un compteur à scintillation qui émet de la lumière lorsqu'il reçoit un rayonnement ionisant, s'avère particulièrement efficace et rapide pour évaluer la distribution d'une contamination d'un tissu biologique par des actinides.

Fusion nucléaire par confinement magnétique

Le CEA contribue, au sein d'Euratom, au programme européen de recherche sur la fusion par confinement magnétique. Celui-ci étudie la faisabilité d'une production d'énergie économique, sûre et durable à partir de plasmas de fusion. Dans cette perspective, le réacteur de fusion ITER en construction à Cadarache représente un enjeu stratégique pour le CEA et ses partenaires. La plate-forme de tests West (*Tungsten Environment in Steady-state Tokamak*) est désormais opérationnelle au CEA, à Cadarache, pour tester des composants clés pour ITER. Le tokamak de West fonctionne dans une configuration analogue à celle d'ITER (divertor) et dispose de diagnostics sophistiqués pour caractériser finement le plasma de fusion (profils de températures spatiaux et temporels). Toujours pour ITER, l'Inac¹ a développé, réalisé et livré 1 600 chaînes thermométriques et 280 débitmètres. Le CEA achève sa contribution au programme de l'Approche élargie d'ITER pour le futur tokamak japonais JT-60SA avec notamment la livraison des dernières bobines toroïdales et de leurs alimentations électriques.

¹ Inac : Institut de nanosciences et cryogénie du CEA.



3



2. Modélisation neutronique du cœur de l'EPR © CEA

3. Opération de démantèlement grâce au robot téléopéré Maestro © CEA



4. Mise en place d'un monitoring sur la plate-forme

Megasol © L. Godart/CEA

5. Autoconsommation électrique du bâtiment
et du véhicule © P. Avavian/CEA



Des modules solaires photovoltaïques intégrés et fonctionnalisés pour les drones, les toitures de centres commerciaux... sont à l'étude.

Énergies renouvelables

Les travaux du Liten² couvrent en priorité l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) et son intégration dans des structures fixes et nomades, 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 en présence de systèmes de stockage. Le Liten développe une approche systémique pour proposer des solutions optimisées au croisement de la transition énergétique et de la digitalisation.

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 : ailes de drones, toitures de centres commerciaux... Enfin il amorce de nouvelles études sur le recyclage des modules.

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.

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 déploiement 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 et leur sécurité. 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. Des techniques de diagnostic de batteries provenant de véhicules électriques sont mises au point pour évaluer l'intérêt d'une seconde vie en stationnaire, par rapport à une filière de recyclage.

Plus en amont, des équipes de la Direction de la recherche fondamentale cherchent à comprendre les mécanismes de dégradation, améliorer les performances des accumulateurs lithium-ion et des supercondensateurs. L'une d'entre elles montre que le graphite des électrodes des accumulateurs pourrait être remplacé avantageusement par un matériau composé de nanoparticules d'oxyde d'étain dopé à l'azote. D'autres ont fabriqué et caractérisé des nanofeuillets de graphène fortement dopé à l'azote et les ont testés comme électrodes de supercondensateur. Il reste à optimiser cette technologie prometteuse pour les applications sur puce.



² Liten : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux du CEA.



- 6. Outil expérimental de préparation de la biomasse et de gazéification** © D. Guillaudin/CEA
- 7. Photobioréacteur de 1 000 litres pour la culture de micro-algues** © L. Godart/CEA
- 8. Analyse physico-chimique des batteries et des piles à combustible** © D. Guillaudin/CEA



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 méthane 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'Iramis³ 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.



Production de molécules d'intérêt énergétique

Certains micro-organismes, notamment les micro-algues ou les bactéries, sont des usines énergétiques dont les scientifiques s'inspirent pour soutenir la filière des énergies renouvelables. En particulier, les biologistes ont découvert une nouvelle enzyme qui permet aux micro-algues de transformer 10 fois plus rapidement certains de leurs acides gras en hydrocarbures à l'aide de l'énergie lumineuse. De même, ils cherchent de l'inspiration dans les mécanismes de protection des plantes contre un excès d'énergie lumineuse, via des pigments chimiques sophistiqués appelés caroténoïdes. Comprendre comment ces pigments fonctionnent est une étape essentielle pour concevoir des systèmes d'exploitation de l'énergie solaire photoprotégés par des molécules annexes, et donc plus stables dans le temps.

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. Des travaux sur des piles totalement innovantes sont entrepris en utilisant des techniques d'impression 3D.

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 (CO₂, H₂O) pour générer un syngaz. Ces systèmes doivent dorénavant gagner en puissance.

³ Iramis : Institut rayonnement-matière de Saclay du CEA.



Recherche technologique pour l'industrie



I. Module semi-conducteur au carbure de silicium

© P. Avavian/CEA

— 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.

Microélectronique

Dans le domaine de la microélectronique et des microtechnologies, le Leti⁴ 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 aussi des recherches 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 »**

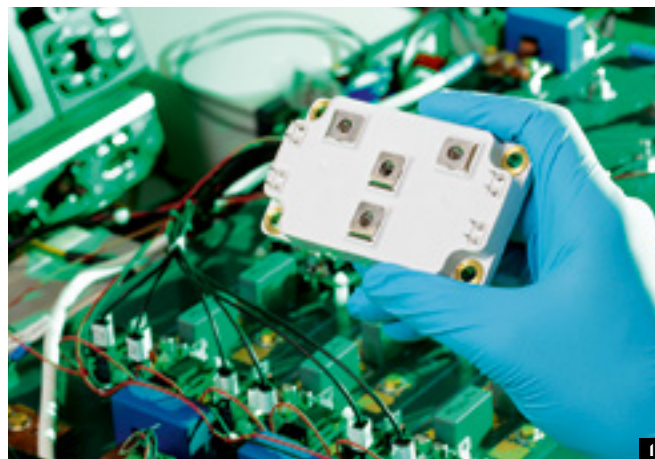
Le Leti étudie l'intégration, à l'échelle d'une puce, de fonctionnalités mécaniques, chimiques, biochimiques et photoniques. Grâce à des techniques d'assemblage innovantes, les SoC (*System on Chip*), utilisant notamment l'intégration 3D (y compris la technologie dite 3D monolithique baptisée CoolCube™ 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 technologies numériques ouvrent aux usines de demain l'opportunité de progresser en agilité, flexibilité, réactivité et performance.

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.

>>>

⁴ Leti : Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA.



2. Habitacle de voiture sans conducteur, HUD (Head Up Display) et compteur de vitesse numérique

© chombosan - Fotolia.com

3. Plate-forme de photonique © PV. Guilly/CEA

4. Installation de l'aimant supraconducteur 11,7 teslas dans NeuroSpin © P. Dumas/CEA

5. Robot de pipetage utilisé pour le séquençage de l'ADN

© F. Rhodes/CEA

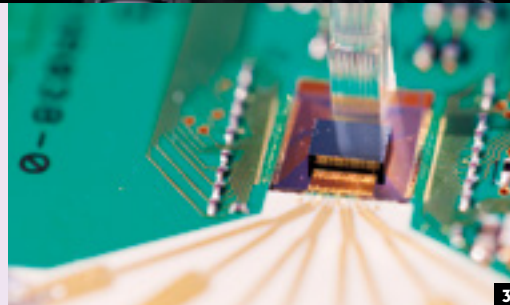


2

zoom sur...

Quelles applications pour l'ingénierie quantique au CEA?

Des spécialistes de toutes les directions du CEA ont échangé sur les applications les plus prometteuses de l'ingénierie quantique, fondée sur des propriétés singulières comme la superposition d'états ou l'intrication de deux états quantiques. Quatre domaines ont été abordés : les capteurs quantiques et la métrologie, les simulateurs quantiques, les communications quantiques et enfin l'informatique quantique. Celle-ci serait bien plus efficace que la technologie actuelle pour certains calculs.



3

Ainsi pour exploiter les propriétés quantiques de molécules conductrices, une équipe montre le bénéfice du graphène dans une jonction graphène/molécule/métal : celle-ci atténue deux fois moins le courant que son homologue avec du métal. En ce qui concerne le calcul quantique, un bit quantique semi-conducteur a été réalisé pour la première fois en technologie MOS sur silicium. Grâce à une méthode de lecture par réflectométrie radiofréquence, ce procédé pourrait être extrapolé à des architectures denses en bits quantiques. Les

« skyrmions » magnétiques nanométriques, autres bits quantiques, apparaissent prometteurs en spintronique, en particulier pour un stockage dense d'informations ou pour des opérations logiques basse consommation. Des skyrmions de taille micrométrique ont pu être créés et effacés à volonté grâce à une simple tension électrique.

En spintronique cette fois, des densités élevées de spin ont pu être stockées dans du germanium sur de grandes distances. Ce résultat permet d'envisager la réalisation d'un dispositif spintronique multi-terminaux où différentes tensions de spin peuvent être utilisées comme entrées dans un circuit de logique magnétique intégré sur germanium.

En photonique enfin, des nanotubes à puits quantiques GaN/InAlN présentant de très bonnes propriétés d'émission ultraviolette ont été fabriqués. Il reste à les insérer dans un polymère pour obtenir des LED UV flexibles. Par ailleurs, une nouvelle approche de détection UV et infrarouge, utilisant des transitions électroniques à

l'intérieur de la bande de conduction d'une hétérostructure semi-conductrice, a été expérimentée avec des nanofils individuels de GaN.

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 List⁵ 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 EIT⁶ 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.

⁵ Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies du CEA.

⁶ KIC EIT : Knowledge and Innovation Communities of European Institute of Innovation and Technology.

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

Un aimant gigantesque pesant plus de 130 tonnes est arrivé à Saclay en mai 2017. Transporté par voie fluviale et maritime depuis Belfort, il a été installé dans une des arches de NeuroSpin. Cet ouvrage hors normes, destiné à produire des champs magnétiques de 11,7 teslas, est la pierre d'angle du projet IRM « Iseult ». Il permettra d'obtenir des images du cerveau 100 fois plus précises qu'avec les imageurs présents dans les hôpitaux. En attendant, les recherches en imagerie avancent, notamment grâce à l'IRM de diffusion, qui fait le lien entre le niveau d'activité neuronale de régions impliquées dans les états de veille/sommeil et le niveau de gonflement neuronal dans ces régions. Co-dirigé par le CEA, un nouveau laboratoire dédié à l'imagerie, Ginesislab, a été inauguré à Bordeaux. Il a pour mission d'explorer les méthodologies qui permettront de classifier l'organisation cérébrale d'un individu en comparant ses données d'imagerie à celles de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'individus. 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



2017 une première mondiale en thérapie génique. Un patient atteint de drépanocytose sévère a été traité par une auto-greffe de cellules souches hématopoïétiques contenant un gène de globine thérapeutique. Avec deux ans de recul, la rémission des signes cliniques est complète chez ce patient greffé. Les études continuent et les chercheurs ont notamment amélioré le vecteur thérapeutique qui véhicule la version fonctionnelle du gène qui est défaillant dans la maladie. Concernant le VIH/Sida, les scientifiques ont décrypté les mécanismes du contrôle viral chez les personnes appelées « contrôleurs », ces rares individus pour qui la charge virale est contrôlée par le système immunitaire. D'autres biologistes ont conçu un gel microbicide pour protéger de l'infection, qui s'est avéré efficace sur 83 % des primates non humains testés. Par ailleurs, l'efficacité préclinique de trois candidats vaccins contre le chikungunya développés à la Direction de la recherche fondamentale a été démontrée sur un modèle de primates.

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 aide ses partenaires industriels à être conformes pour le marquage CE au plus tôt. Avec Clinathec, 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 précliniques et cliniques à l'état de l'art mondial. Outre ses programmes de recherche propres, Clinathec fonctionne également en hôtel à projets, afin d'héberger ses partenaires cliniques dans un environnement de haute technologie pour la durée de leur projet.

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.

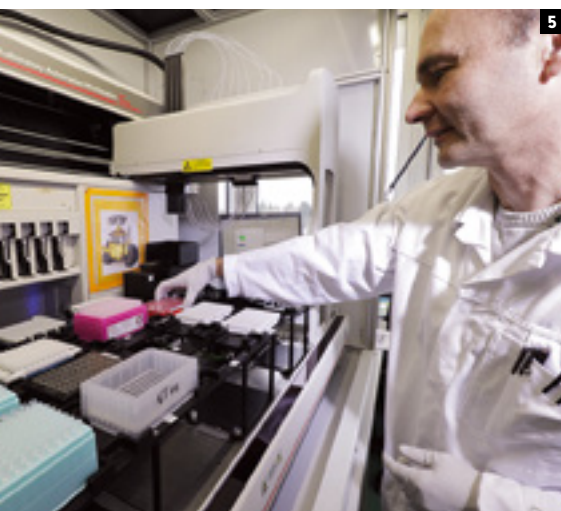
Diagnostic

Le CEA et ses partenaires ont développé un nouveau test rapide pour dépister certaines formes d'antibiorésistance dans les hôpitaux. Ces tests-bandelettes, plus pratiques, rapides et moins coûteux, permettent de détecter la présence de bactéries multi-résistantes, qui fait peser un risque sanitaire en cas de dissémination.

Dans le domaine de la détection du cancer, les chercheurs de la Direction de la recherche fondamentale ont fait plusieurs avancées. Ils ont déterminé des protéines distinctes pouvant servir au diagnostic d'un premier cancer de la vessie et d'une récurrence. D'autres chercheurs ont démontré que le taux de certaines cellules immunitaires dans le sang est prédictif de la récurrence et de la progression tumorale. Dans le cas du cancer du sein, une équipe a identifié un potentiel biomarqueur métastatique et hormono-résistant qui permettrait de prédire l'évolution de la maladie. En outre, Unicancer, le CEA et la Fondation Jean Dausset ont conclu dans le cadre du Labex GenMed un partenariat afin d'identifier les marqueurs prédictifs de toxicité aux traitements anticancéreux sur une cohorte de plus de 10 000 patientes.

Thérapie et prophylaxie

Les biologistes de la Direction de la recherche fondamentale ont réalisé en



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.

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.

Antibiorésistance : anticiper le futur

L'ONU estime que le phénomène de résistance aux antibiotiques est « une menace fondamentale à long terme pour la santé humaine, la production durable de nourriture et le développement ».

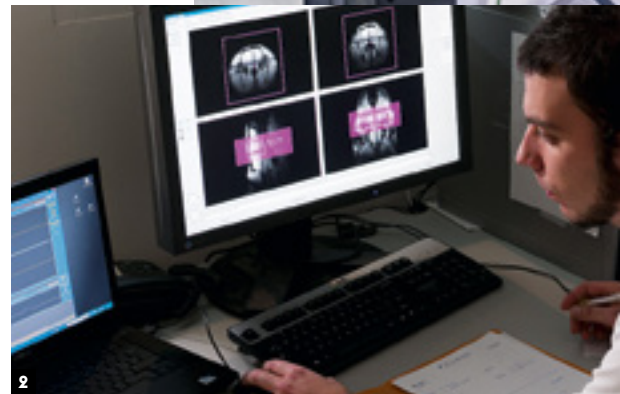
En France, on estime à plus de 12 000 le nombre annuel de décès directement liés à l'antibiorésistance, soit plus de trois fois le nombre de décès sur la route...

La Direction de la recherche fondamentale a pris depuis plusieurs années ce problème de santé public à bras le corps, notamment via son expertise en biologie structurale pour comprendre les mécanismes d'attaque des bactéries et proposer des pistes pour des alternatives aux traitements actuels. Par exemple, des chercheurs ont montré comment certains antibiotiques deviennent insensibles aux principaux mécanismes de résistance bactériens via une réaction de chimie radicalaire. D'autres ont compris l'un des mécanismes moléculaires qui permet aux bactéries de survivre à nos défenses immunitaires. Par ailleurs, des scientifiques de la Direction de la recherche fondamentale ont mis au point des inhibiteurs d'une protéine impliquée dans la virulence des bactéries Gram-négatives et ont décrypté leur mode de

fonctionnement. Ces connaissances détaillées pourraient être utilisées pour trouver des parades aux résistances, mais il faut aussi faire feu de tout bois et chercher des alternatives aux antibiotiques. Les bactériophages en sont une. Spécifiques, autoréplicatifs, ils sont l'ennemi naturel des bactéries. Des chercheurs ont montré comment communiquent leur queue, qui reconnaît sa cible, et leur capside, qui renferme de quoi détruire la bactérie.

De l'importance du modèle

La fiabilité des modèles utilisés en recherche est cruciale. Des cellules en culture aux modèles animaux, en passant par les échantillons tissulaires, ces modèles s'améliorent pour se rapprocher au plus près des situations pathologiques humaines. En 2017, une étude internationale à laquelle le CEA a participé a démontré que la vache peut être un modèle pertinent pour l'étude des anomalies génétiques humaines. En outre, la Direction de la recherche fondamentale a mis au point un modèle de souris qui exprime les deux caractéristiques



zoom sur...

Tara : découverte de plus de 100 millions de gènes

Les scientifiques de la Direction de la recherche fondamentale ont établi le plus grand catalogue de gènes jamais assemblé pour un écosystème planétaire grâce à l'expédition Tara Océans. Composé d'environ 117 millions de séquences différentes, ce catalogue a été établi grâce à l'isolement des gènes exprimés dans plus de 400 échantillons collectés. Cette approche de séquençage massif d'ADN, sans isolement d'organismes complexes, allant des algues microscopiques aux petits animaux planctoniques, est dite de métatranscriptomique. La goélette Tara a remis les voiles pour une nouvelle aventure dédiée aux coraux sur les mers du Pacifique. Comme pour les expéditions précédentes, le CEA se chargera des analyses génomiques.



1. Montage optique « Plasmons de surface » utilisé en bactériologie © D. Morel/CEA
2. Imagerie cérébrale par IRM sur le petit animal, pour la cancérologie © P. Stroppa/CEA
3. Faisceau de fibres optiques fonctionnalisées par zones pour le diagnostic *in vivo* © D. Morel/CEA

zoom sur...

Le collagène, une protéine très stable sous irradiation

Pour mieux comprendre les effets d'irradiations thérapeutiques sur le cartilage, une collaboration incluant l'Iramis a étudié la structure de son principal constituant, le collagène. Son analyse suggère que la stabilité du collagène ne doit rien à son environnement aqueux mais tout à sa remarquable structure en triple hélice qui peut exister en l'absence de tout solvant.

En France, on estime

à plus

12 000

le nombre annuel de décès directement liés à l'antibiorésistance, soit plus de trois fois le nombre de décès sur la route.

biologiques de la maladie d'Alzheimer, contrairement aux modèles jusqu'alors utilisés. Il ouvrira de nouvelles possibilités pour tester des médicaments et diagnostiquer simplement. Aussi, les modèles primates non humains permettent de faire de grandes avancées dans le domaine de la santé. Par exemple, les scientifiques ont montré que de multiples variants de prions peuvent coexister et se manifester sous différentes formes cliniques selon les conditions de transmission (voie d'exposition, dose, nature du produit contaminant, état agrégé ou dispersé des prions).

Nanotoxicologie

Les nanoparticules sont des matériaux prometteurs en médecine, par exemple pour diriger les médicaments vers l'organe malade et y délivrer le médicament, pour améliorer le contraste des images médicales ou pour augmenter l'efficacité de la radiothérapie. Des études sont nécessaires pour connaître leurs interactions avec l'environnement biologique, afin de s'assurer de leur innocuité d'une part et de leur efficacité

d'autre part. Par exemple, les nanoparticules s'entourent d'une couronne protéique qui elle-même piège de nouvelles protéines avec lesquelles elle interagit au fil du temps, créant un véritable réseau fonctionnel. Ce concept d'« interactome protéique » permettrait de concevoir des nanomédicaments furtifs avec une couronne protéique prédéterminée pour les rendre moins visibles par le système immunitaire et d'atteindre plus efficacement leur cible tumorale. Aussi, d'autres chercheurs, à l'aide d'une méthodologie associant la spectrométrie de masse et la statistique, imaginent à terme prédire l'identité des protéines qui s'adsorbent ainsi que les effets fonctionnels et toxicologiques des nanoparticules. De plus, compte tenu de la diversité des nanoparticules, des chercheurs mettent au point des techniques à haut débit pour les grouper en fonction de leur dangerosité et déterminer pourquoi certaines sont plus toxiques que d'autres. Par ailleurs, des scientifiques de la Direction de la recherche fondamentale ont analysé les effets d'une exposition orale au dioxyde de titane, un additif alimentaire (E171) utilisé de façon courante, en confiserie notamment. Ils montrent pour la première fois chez l'animal que le E171 pénètre la paroi de l'intestin, se retrouve dans l'organisme, peut créer des troubles du système immunitaire et induire des lésions pré-cancéreuses dans le côlon.



3

zoom sur...

La DRF donne l'impulsion !

Pour encourager une science transversale et « agile », la Direction de la recherche fondamentale (DRF) a lancé le programme DRF-Impulsion, qui privilégie l'interdisciplinarité et l'attention aux problématiques d'aujourd'hui. Une impulsion pour susciter les découvertes disruptives à l'origine des innovations de demain ! Chaque année depuis la création de la DRF en 2016, sont sélectionnés et accompagnés des projets selon un appel à projets interne.

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.

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. Développé et testé au Ganil⁷ en 2017, le détecteur Actar-TPC permet désormais de « photographier » en haute définition des réactions nucléaires. Au Ganil encore, l'observation du changement de forme brutal d'un noyau de strontium 98 devrait faire progresser la compréhension de l'organisation des nucléons. En physique nucléaire, le CEA a contribué à l'expérience CLAS12 au Jefferson Lab (États-Unis) qui a démarré en 2017. Il a notamment fourni des systèmes de détection Micromegas.

En astrophysique, la vitesse de déplacement de notre Galaxie (630 km/s) a pu être élucidée grâce au calcul intensif. Par ailleurs, un étonnant cortège planétaire, situé à seulement quarante années-lumière, a été découvert autour de l'étoile Trappist-1 : trois des sept planètes pourraient accueillir de l'eau liquide en surface.

Pour le projet international *James Webb Space telescope* (JWST), l'Irfu⁸ a participé aux tests à froid d'instruments dans le télescope.

Plusieurs décennies après sa découverte, la matière noire reste, quant à elle, une énigme. Selon des simulations de

formation des grandes structures de l'Univers, le scénario d'une matière noire « froide » standard s'accorde au mieux avec les reconstructions fondées sur les observations de spectres de quasars.

La future mission spatiale Euclid et le télescope au sol de *Mid-Scale Dark Energy Spectroscopic Instrument* (Desi) en Arizona permettront d'étudier l'énergie et la matière noires. L'Irfu a livré le modèle de vol d'une caméra de la première et participe à plusieurs développements instrumentaux du second.

Enfin, les ondes gravitationnelles ont ouvert une nouvelle fenêtre sur l'Univers. Celle détectée le 17 août 2017 provenait de la fusion de deux étoiles à neutrons, elle était accompagnée d'un sursaut gamma et de l'émission de lumière visible détectés notamment par le satellite Integral et les télescopes VLT, au Chili.

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). Des axes de recherche importants sont la collecte et l'analyse des archives climatiques naturelles (glaces, sédiments, cernes d'arbre...) et la modélisation intégrée du système climatique, prenant en compte les grands cycles biogéochimiques (cycles du carbone, de l'eau, du soufre, de

l'azote...). Le LSCE analyse également les transferts et traceurs de matière dans l'environnement. Les mesures de gaz à effet de serre (voir l'icos p. 17) sont essentielles pour prédire le changement climatique et en atténuer les conséquences. Selon l'Organisation météorologique mondiale, leur teneur



4

Un étonnant cortège de 7 planètes, situé à quarante années-lumière, a été découvert autour de l'étoile Trappist-1 : 3 d'entre elles pourraient accueillir de l'eau liquide en surface.



5

⁷ Ganil : Grand accélérateur national d'ions lourds.

⁸ Irfu : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers du CEA.



4. Construction, dans une salle propre, des détecteurs

Micromegas © L. Godart/CEA

5. Télescopes VLT au Chili © DR

6. Installation d'une barge de carottage dans un lac en Slovénie © DR

7. Installation laser Attolab © P. Stroppa/CEA



6

atmosphérique augmente plus vite que prévu. Si un effet fertilisant a pu être observé sur la végétation, agriculture comprise, les rendements céréaliers pâtiront à terme du réchauffement, d'après des études internationales impliquant le LSCE.

Un bilan complet des sources et puits de méthane a été dressé. Après une stabilisation au début des années 2000, une nouvelle augmentation des concentrations de méthane est observée depuis 2007, avec une forte accélération depuis 2014. Cette évolution encore mal comprise pourrait être imputable aux zones humides et à des fuites lors de l'exploitation et du transport de gaz naturel.

Par ailleurs, une approche de physique statistique s'appuyant sur des données atmosphériques recueillies depuis 1948 a fait progresser la connaissance des événements climatiques extrêmes et laisse envisager à terme leur meilleure prédiction. Enfin, la première migration hors d'Afrique d'Homo Sapiens a été avancée d'au moins 60 000 ans selon une étude internationale, à laquelle est associé le LSCE. La datation par thermoluminescence du plus ancien fossile humain moderne trouvé hors d'Afrique (en Israël) la situe désormais il y a 177 à 194 milliers d'années.

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.

Par ailleurs, l'origine du champ magnétique terrestre reste questionnée par l'expérience Von-Karman-Sodium (VKS), équipée d'une circulation turbulente de sodium. De nouvelles simulations numériques à haute résolution de VKS permettent de mieux comprendre le déclenchement de l'effet dynamo et de faire évoluer le dispositif expérimental.

Interaction laser-matière

Les lasers à impulsions ultra-brèves (femtoseconde 10^{-15} s et attoseconde 10^{-18} s) 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.

L'équipement d'excellence Attolab a mis en service sa première ligne (SE10). Les utilisateurs pourront étudier la dynamique des électrons et des noyaux atomiques dans la matière en phase gazeuse et condensée.

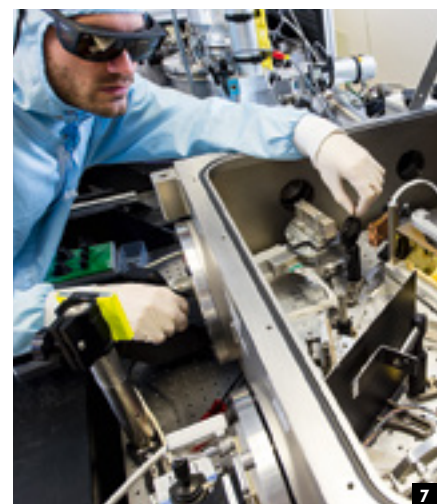
Accélération d'électrons par la lumière

Pour la première fois, une équipe de l'Iramis a produit des impulsions lasers infrarouges très intenses, porteuses de « moment angulaire orbital » (vortex optiques), et a transféré ce moment aux harmoniques XUV générées sur un « miroir plasma ». Ces nouveaux effets pourront être appliqués en particulier à l'accélération de faisceaux ultra-brefs de particules de haute énergie.

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 a été livré à NeuroSpin (Saclay) en mai 2017.

Il contribue à la R&D destinée aux générations d'accélérateurs de particules qui succéderont au LHC, au Cern : un aimant dipolaire a produit un champ magnétique de 4,5 teslas, soit un tesla de plus que les prototypes précédents. Une fois inséré à l'intérieur d'un aimant dipolaire niobium-étain, l'ensemble pourra produire un champ de 18 teslas.



7

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.



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

Le CEA-Irfu a livré des contributions en nature au projet de source européenne de neutrons ESS (European Spallation Source), à Lund, en Suède. La source de spallation qui devrait entrer en service en 2019 sera près de cent fois plus intense que les sources actuelles.

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 (Extended X-Ray Absorption Fine Structure), études spectroscopiques, cristallographie et imageries sont les principales techniques utilisées, en particulier pour les nanosciences.

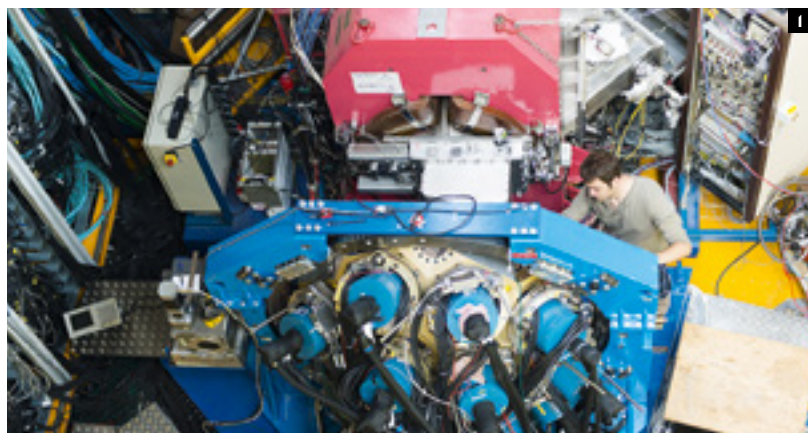
Le CEA et le CNRS ont joué en France un rôle de premier plan dans la conception et la construction de l'accélérateur supraconducteur d'électrons de European XFEL, qui a été inauguré en septembre 2017 à Hambourg. Les flashes ultra-lumineux de ce laser à électrons libres permettront de cartographier les détails atomiques des virus, déchiffrer la composition moléculaire des cellules, réaliser des images tridimensionnelles du nanomonde ou encore filmer des réactions chimiques.

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. Les faisceaux uniques de Spiral2 (Système de production d'ions radioactifs accélérés en ligne) ouvrent de nouveaux horizons à la physique du noyau et à la recherche interdisciplinaire. Prévu pour accélérer des particules plus légères (protons, deutons, hélium), l'accélérateur linéaire de Spiral2 a été mis en froid. Pour la première fois, la structure de différents isotopes d'actinium a pu être étudiée grâce à une nouvelle technique laser, mise au point par une collaboration impliquant le Ganil. La spectroscopie par ionisation résonante dans un gaz permettra d'étudier les noyaux radioactifs très lourds qui seront produits par Spiral2 en faibles quantités (un noyau toutes les dix secondes).

Au Cern, l'expérience GBAR dédiée à l'étude de la gravité de l'antimatière est en cours d'installation : la source intense de positons a été mise en service et la production des premiers antiprotons est prévue en 2018.

Enfin, le spectromètre supraconducteur Glad (GSI Large Acceptance Dipole) développé par l'Irfu a été mis en service





1. Détecteur de rayonnements gamma Agata, installé au Ganil © P. Stroppa/CEA
2. Montage du système de distribution d'hélium cryogénique sur l'accélérateur d'électrons XFEL © P. Dumas/CEA
3. Tunnel du LHC © P. Stroppa/CEA
4. Mesure de la composition atmosphérique du projet Icos-Ramces F. Rhodes/CEA
5. Supercalculateur Curie © Cadam/CEA



Environnement (Icos)

Icos (*Integrated Carbon Observation System*) est une infrastructure de recherche européenne dédiée aux gaz à effet de serre qui fédère un réseau de 140 stations de mesure. Après plus de cinq années consacrées à la construction du réseau et aux travaux préparatoires, sept premières stations satisfont désormais les critères exigeants de la certification Icos. Parmi elles, quatre stations sont dédiées aux mesures atmosphériques et ont été certifiées par le Centre thématique atmosphérique coordonné par le LSCE. L'ensemble des stations devrait être certifié d'ici fin 2019.

Calcul intensif (Genci, Prace)

Le CEA a reçu un Prix au cours du congrès SuperComputing'17 pour des travaux qui élucident pour la première fois la durée du cycle magnétique des étoiles. La collaboration a pu expliquer pourquoi le champ magnétique du Soleil se renverse tous les onze ans grâce à des simulations numériques sur des moyens de calcul européens, canadiens et français.

Astrophysique (télescopes)

Le CEA développe une caméra destinée au projet de réseau de télescopes Cherenkov CTA (*Cherenkov Telescope Array*) qui vient de démarrer.

L'Irfu est chargé de réaliser plusieurs instruments pour des missions dont le démarrage est prévu à l'horizon 2020. Afin de préparer la génération suivante, un programme de R&D couvrant l'intégralité du spectre en longueur d'onde, des rayons gamma au submillimétrique, a été engagé. Le Leti, l'Inac et l'Irfu collaborent notamment sur une nouvelle génération de bolomètres.

pour l'expérience R3B (*Reactions with Relativistic Radioactive Beams*) de Fair (*Facility for Antiproton and Ion Research*), à Darmstadt (Allemagne).

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. Il participe aux projets d'évolution du LHC (*upgrade*) qui donneront accès à une « luminosité » supérieure, c'est-à-dire une fréquence accrue de collisions de particules. En 2017, les travaux ont porté sur une première phase de la jouvence des expériences Atlas et CMS.

Pour la première fois, la réaction de diffusion à quatre photons prédite en 1936 a été observée par l'expérience Atlas, au LHC, grâce à des « frôlements » d'ions de plomb. Elle intéresse particulièrement les physiciens parce qu'elle résulte d'interactions entre le vide et des champs électromagnétiques intenses.



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, du ministre en charge de la Défense et celui en charge de la Santé. Depuis 60 ans, il 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. Accompagnant l'action du CEA dans le développement des énergies bas carbone, l'INSTN propose

également une offre de formation dans ce domaine de l'énergie responsable dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique.

Engagé avec la filière française 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 radiopharmaceutiques. L'Institut est le premier centre reconnu dans ces domaines 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



1. Arrimage d'un emballage pour le transport de matières radioactives © CEA

2. Réunion de travail dans un laboratoire de protéomique

© P. Avavian/CEA

3. Appareil de gestion et de supervision de batteries Lithium-Ion pour l'éclairage à Led © P. Avavian/CEA

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 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'AEN⁹, négocie certains accords intergouvernementaux. 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 ;
- soutenir le développement et la promotion des technologies du CEA en matière d'énergies renouvelables, participer à la construction de l'Espace européen de la recherche.

La Direction des relations internationales nomme et anime le réseau des Conseillers nucléaires au sein des ambassades de France à l'étranger.

La valorisation

Lorsque cela est adapté, les résultats des recherches qui sont conduites au CEA font l'objet de dépôts de brevets. En 2017, 762 brevets prioritaires, qui viennent renforcer un portefeuille de près de 6300 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 : depuis 7 ans il est présent au « Top 100 Global Innovators » qui identifie les 100 entreprises et institutions « qui sont au cœur de l'innovation ».

L'important portefeuille de brevets du CEA est exploité principalement à travers des actions de transferts technologiques vers le monde industriel.

En 2017, 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. 9 sociétés ont été créées en 2017 consolidant une dynamique durable qui porte à 103 le nombre de sociétés créées au cours des 10 dernières années. 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.



⁹ AEN : Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire.

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 adhésion aux 17 objectifs de développement durable 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 et des rejets, 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.

Les chercheurs du LSCE ont réalisé des modélisations globales de prévision des rendements du riz en 2100 et ont estimé une perte de rendement de -8.3 %/°C, recommandant des stratégies actives d'adaptation (sélection génétique, etc.).

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 a réalisé l'architecture énergétique d'Energy Observer, premier navire à hydrogène autonome en énergie, baptisé à Paris, en juillet 2017, par Nicolas Hulot, ministre de la Transition écologique et solidaire.

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

Un nouveau bras robotisé, avec retour d'effort, dédié à l'industrie nucléaire (intervenant en milieu contaminé pour trier et séparer des déchets radioactifs en toute sécurité) a été proposé en 2017 par le CEA, dans le cadre du projet européen RoMaNS.

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 des sujets innovants. Cet apport est substantiel puisque le CEA est le 1^{er} organisme public innovant en Europe et 2^e au monde (classement Clarivate 2017¹⁰). Il est également le 1^{er} organisme de recherche déposant de brevets 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).

- Création avec Amundi d'une société de gestion commune pour l'innovation, Supernova, en vue de faire émerger et de mobiliser des technologies de rupture issues de laboratoires de recherche.
- Création de la 200^e start-up : Trimideo, pour l'inspection et le guidage robotique de « l'usine du futur ».

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.

Livraison à l'AIEA, en 2017, du logiciel MIMOSA, permettant d'accroître sa capacité de surveillance de la prolifération nucléaire au moyen de l'imagerie spatiale commerciale.

¹⁰ Dans le classement « Top 25 Global Innovators - Government ».



1



1. Catamaran Energy Observer à Saint-Malo © Romain Frogé
2. Atelier de design pour améliorer l'accessibilité des personnes handicapée aux bâtiments © H. Birraux/CEA

Le CEA a développé dans le domaine de la santé, en partenariat avec l'Inserm et le CNRS, des applications non-énergétiques des neutrons, des technologies de pointe développées pour la microélectronique ou la défense et des thérapies innovantes. 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).

En 2017, pour la première fois, un jeune patient atteint de drépanocytose (forme grave d'anémie) a été traité avec succès par une thérapie génique développée au CEA.

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

Création à Tunis de la représentation régionale opérationnelle du CEA pour les pays du sud de la Méditerranée, du Moyen-Orient et de l'Afrique. Cette structure aura pour vocation de renforcer les coopérations sur des sujets stratégiques tels que les transitions énergétique et numérique, la recherche technologique et la recherche fondamentale.

... 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 cogénération ou la connexion à des réseaux de chaleur.

• À Cadarache et à Marcoule, des systèmes de cogénération chaleur/électricité ont été mis en service en 2017.

Le CEA dispose d'un patrimoine immobilier (bâtiments et terrains) très étendu. Il se doit donc d'être particulièrement vigilant sur sa consommation d'électricité liée à l'éclairage.

- *Des actions de rénovation de bureaux et de locaux techniques ont optimisé l'éclairage LEDs et l'utilisation des commandes type « détection de présence » afin que l'éclairage de certaines zones reste compatible avec le temps d'occupation.*
- *À Grenoble, l'étude d'éclairage du site a pris en compte la démarche d'accessibilité et intégré un périmètre additionnel incluant des cheminements piétons.*

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.

- *En 2017, à Fontenay-aux-Roses, le CEA a raccordé ses compteurs d'eau et d'électricité à un système de supervision de gestion technique centralisée. Avantages : une sécurité accrue des infrastructures et une gestion économique de l'énergie et de l'eau.*

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. Porté 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, du maintien dans l'emploi des séniors, et du soutien de l'emploi scientifique. Les bons taux d'emploi sont obtenus d'une part à travers les recrutements de personnel CEA et d'autre part sur la sous-traitance (augmentation du volume de travaux et de prestations réservé aux entreprises adaptées).

Le CEA s'engage pour l'égalité professionnelle entre les hommes et les femmes et développe des relations sociales de qualité.

Dans le cadre des actions en faveur de l'emploi et de l'insertion des personnes en situation de handicap, les Missions handicap animent des jeux-concours pour sensibiliser les salariés sur ces thèmes :

- *Les salariés de Paris-Saclay ont complété des scénarios de BD sur l'arrivée d'un collaborateur en situation de handicap dans un service.*
- *Les salariés de Gramat ont résolu des énigmes pour déterminer la personnalité mystère porteuse d'un handicap invisible.*
- *Ou accueillent des conférences, comme celle sur les « dys » au Cesta.*
- *Leurs actions de sensibilisation sont quotidiennes et originales, comme le Festival Regards Croisés avec la projection d'un film sur les émotions vécues par une salariée en situation de surdité au travail, à Marcoule.*

En termes d'accessibilité pour les personnes en situation de handicap, trois bâtiments du Cesta ont été équipés d'ascenseurs. Le centre de Grenoble mène une action sur l'ensemble de la chaîne de déplacement de l'environnement au poste de travail : l'environnement du site, les abords, les espaces internes aux bâtiments. Pour traiter de l'accessibilité, 3 axes et 14 actions ont été déclinées, parmi lesquelles l'implication des futurs utilisateurs, l'accessibilité posée comme critère d'évaluation des jurys de concours, la sensibilisation des équipes techniques, etc.



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

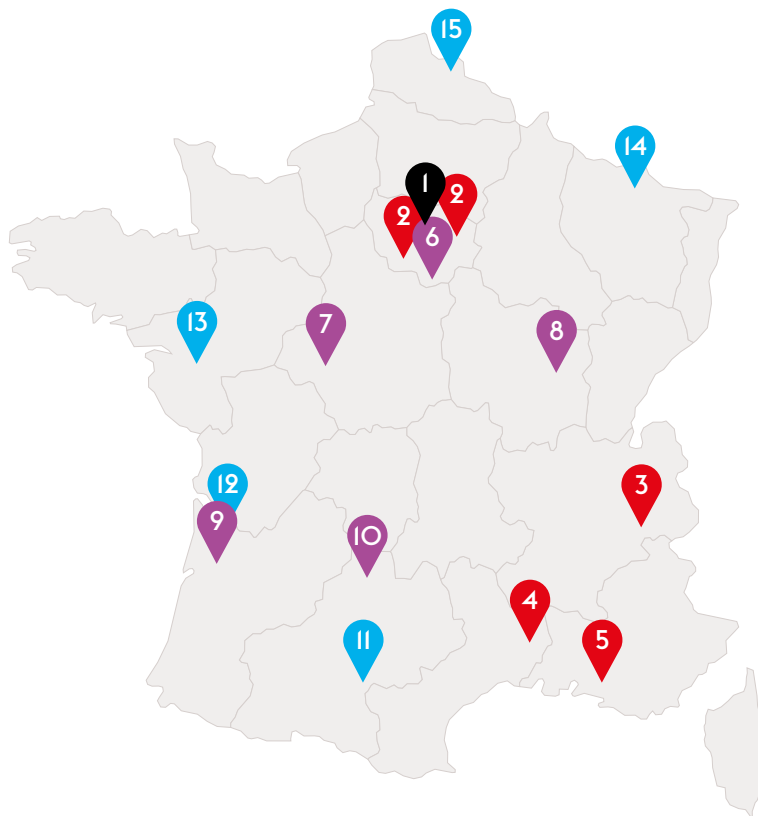
11 Toulouse

12 Bordeaux

13 Nantes

14 Metz

15 Lille



Commissariat à l'énergie atomique
et aux énergies alternatives
91191 Gif-sur-Yvette cedex

www.cea.fr