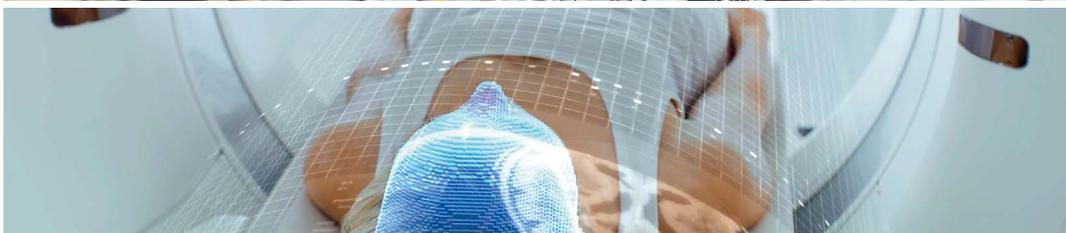


# Rapport annuel 2022

The logo for CEA (Commissariat à l'énergie atomique et alternative) is displayed in white lowercase letters on a red square background.

Retrouvez également le rapport annuel  
du CEA sur [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# RAPPORT ANNUEL 2022

## SOMMAIRE

---

**Innovation et sobriété** — p.3

Innovation sur tous les fronts — p.4

Sobriété au cœur des actions du CEA — p.6

**Répondre aux enjeux de la souveraineté** — p.8

Présentation — p.8

Au service de la souveraineté française — p.9

Accompagner la souveraineté européenne — p.15

**Accélérer la transition énergétique** — p.18

Présentation — p.18

Innovier pour un mix énergétique décarboné — p.19

Le CEA face aux enjeux climatiques — p.25

**Soutenir l'innovation industrielle** — p.28

Présentation — p.28

Le numérique en pleine mutation — p.29

Les enjeux de la microélectronique — p.32

Des technologies de rupture — p.34

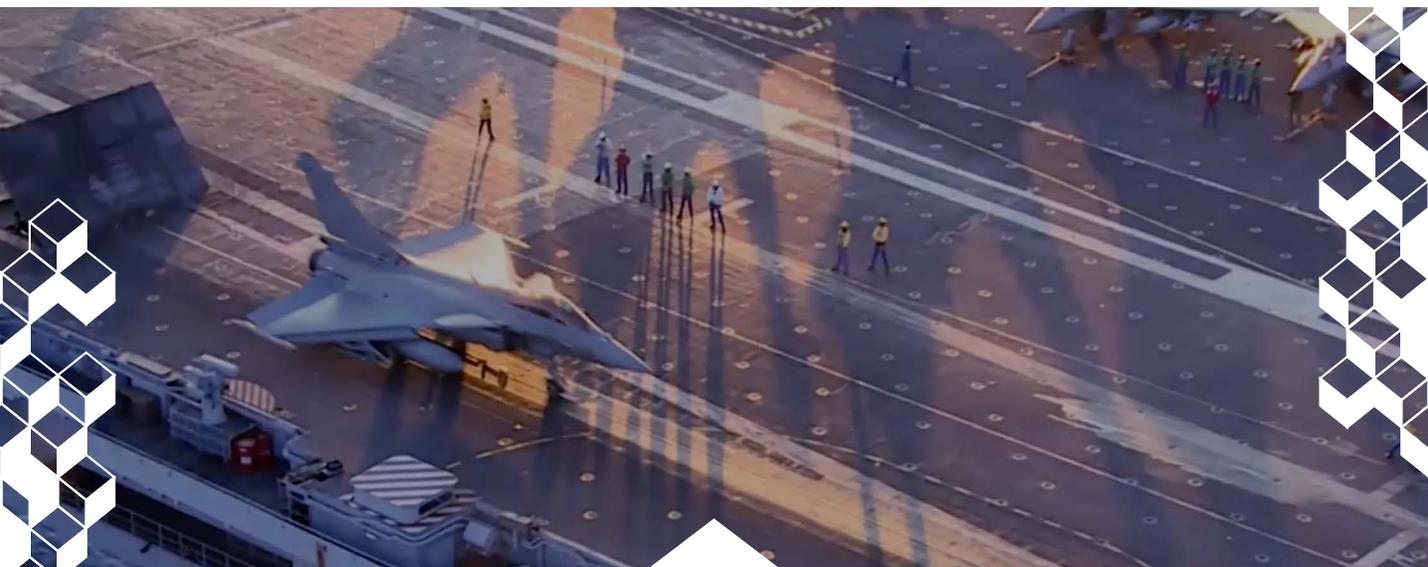
**Ça s'est passé en 2022** — p.38

**Gouvernance** — p.42

---

Nous suivre sur...





# Innovation et sobriété

L'innovation et la sobriété sont au cœur des préoccupations du CEA, qui cherche en permanence à adapter ses activités aux enjeux des transitions énergétique et écologique.

**Innovation**  
sur tous  
les fronts

**Sobriété**  
au cœur des actions  
du CEA



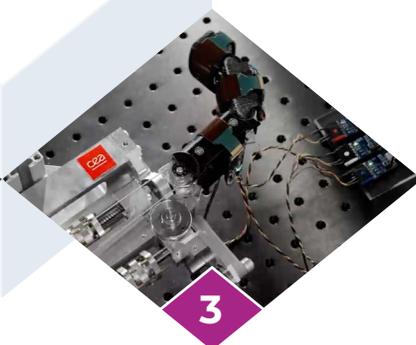
1

**Répondre aux enjeux  
de souveraineté**



2

**Accélérer la transition  
énergétique**



3

**Soutenir l'innovation  
industrielle**

## INNOVER SUR TOUS LES FRONTS

Dans un monde en transition, qu'il s'agisse du climat, de l'énergie, de la santé, de la biodiversité ou de la société, l'innovation doit répondre à ces enjeux. Comme il n'est plus possible de répondre à ces enjeux sans innover. Au-delà de l'impact économique, les innovations du CEA doivent d'avoir un fort impact sociétal. Dans cet objectif, le CEA agit sur quatre fronts : soutenir la création d'entreprises, accompagner les industriels dans la transformation, aider les collaborateurs à innover, et anticiper les besoins de la société.



Les startups les plus récemment créées ou en projet en témoignent. 2022 a ainsi vu la création de la start-up Heliup, pour des panneaux solaires ultralégers sur les toitures ne supportant pas le poids des modules classiques, ou encore le développement de la joint-venture GENVIA, créée en 2021 sur la production d'hydrogène décarboné. Dans le nucléaire, le CEA a identifié en 2022 cinq projets de petits réacteurs modulaires (AMR) contribuant à décarboner les industries « énergie-intensives ». Certains seront soumis à l'appel à projets France 2030 « Réacteurs nucléaires innovants », lancé par le gouvernement et dont la première phase se termine en juin 2023.

Au service de cette même stratégie, les centres d'innovation du CEA accueillent des industriels souhaitant répondre par l'innovation aux enjeux sociétaux. À Grenoble, au Y.SPOT, l'Ideas Lab réfléchit par exemple aux carrières de matériaux du futur. Au Factory Lab de Saclay, de grandes entreprises, des chercheurs et des start-ups ont construit en 2022 un plan d'action pour une usine durable.

**+ 230 startups**  
créées depuis 1972

**70 %**  
des startups encore en activité ou rachetées

**6 000 emplois**  
créés dans les startups encore en activité

**50 ans de création d'entreprises**

*Fidèle à sa signature « De la recherche à l'industrie » et à sa mission de transfert de technologies, le CEA a créé depuis 50 ans plus de 230 entreprises, dont 70 % sont toujours actives. Dès 1972, le CEA a été le précurseur dans cette démarche entrepreneuriale, aujourd'hui courante dans les organismes de recherche. Il a mis en place, à la fin des années 1980, l'un des tout premiers dispositifs d'essaimage pour aider ses collaborateurs à créer leur entreprise. Puis, en 1999, une filiale d'investissement pour soutenir le développement de ses start-up. Aujourd'hui, pour aller encore plus loin dans ce soutien au service de tous les collaborateurs, le CEA a regroupé les équipes chargées d'accompagner et de financer les startups au sein d'une même entité transverse : la Direction déléguée à l'innovation.*

## Faits marquants

### ÉVÉNEMENT



### 3'PI, un challenge pour parler d'innovation

Le principe de « 3 minutes pour une invention » (3'PI) est simple : présenter son invention en trois minutes chrono pour la rendre accessible au plus grand nombre. Né en 2016 à Cadarache (Bouches-du-Rhône) et jusqu'ici régional, ce challenge a pris cette année une dimension nationale, en s'ouvrant à tous les collaborateurs du CEA dans le cadre de la démarche Ambition Innovation. Avec une finale organisée à Paris en juin, lors de laquelle quinze « pitches » ont été présentés, dont ceux des quatre lauréats. Le public comme le jury ont été impressionnés par l'originalité et la diversité des inventions, au cœur des enjeux du monde de demain.

### COLLABORATIF

### De nouveaux locaux pour Y.SPOT, le lab d'innovation ouverte « made in CEA »

Point de rencontre entre le monde de la recherche et celui de l'entreprise, Y.SPOT s'affirme comme un lieu emblématique dédié à l'innovation. Lancé en 2020 à Grenoble, il a poursuivi son développement dans des locaux flamboyants neufs en 2022, au sein du Y.SPOT Partners. Un nouveau lieu, à la fois collaboratif, ouvert et lumineux, dont l'ambition est de rapprocher une communauté d'entreprises, de chercheurs, de créateurs d'entreprises, d'étudiants, d'artistes et d'investisseurs pour répondre aux enjeux de demain.



### CONCOURS

### Le CEA brille par ses résultats au concours i-Lab de Bpifrance

Pour détecter et soutenir les start-ups françaises aux technologies innovantes, l'État et Bpifrance organisent depuis 24 ans un concours national d'innovation, baptisé i-Lab. Le CEA s'y est distingué cette année par des résultats largement au-dessus de la moyenne, par rapport à tous les projets en lice, avec un taux de réussite global de 50 % (contre 19 %) et un taux de succès aux grands prix de 15 % (contre 2,5 %). Par ailleurs, 28 % des projets lauréats du CEA étaient portés par des femmes (contre 17 %). Les sept projets du CEA récompensés, dont trois grands prix, ont remporté jusqu'à 600 000 euros chacun et vont bénéficier d'un accompagnement personnalisé.



## LA SOBRIÉTÉ AU CŒUR DES ACTIONS DU CEA

Quand on emploie 21 000 personnes réparties sur plus de 2 600 bâtiments et quand on est au service de la transition écologique comme de la souveraineté énergétique, la sobriété est à la fois un devoir et une raison d'être, associée à la performance énergétique et à la décarbonation de nos activités.

C'est pourquoi, au-delà de ses programmes de recherche et de ses projets, le CEA a structuré en 2021 une politique de développement durable.



### 93,8 GWh

C'est la réduction de la consommation énergétique pour l'ensemble du CEA sur la période 2019-2024, en projection.

### 12 ODD de l'ONU sur 17

Le CEA œuvre spécifiquement sur 12 objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 de l'ONU sur 17 existants.

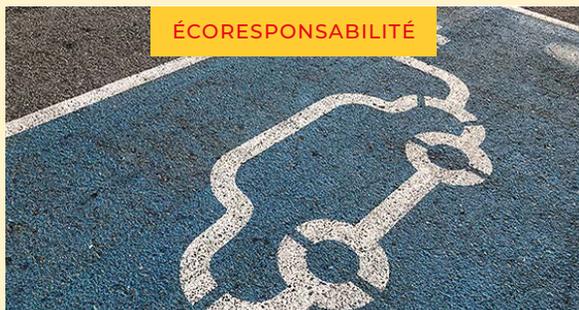
D'abord en reliant son contrat d'objectifs et de performance (COP) 2021-2025 à l'Agenda 2030 de l'ONU, mais aussi en formalisant un plan quadriennal autour de cinq engagements, et en adhérant au plan Service Public Écoresponsable de l'État dès 2021.

S'appuyant sur cette politique, de nombreuses actions internes ont été déployées en 2022 sur les thématiques des achats responsables, de la mobilité, de l'alimentation durable, du numérique, de l'économie circulaire, de la biodiversité. Un plan de sobriété et de performance énergétique a en outre été adopté et mis en œuvre (voir encadré). Les objectifs généraux de développement durable ont été intégrés aux contrats d'objectifs de chaque direction, avec une attention particulière portée à la sobriété numérique, aux achats responsables, à l'empreinte carbone et à la sensibilisation des équipes. Parmi les actions déployées dans tous les instituts et les centres, citons un webinar d'information et d'engagement des directions dédié à tous les salariés en mai 2022, des fresques du climat, un escape game sur la gestion des déchets conventionnels, un challenge national, des groupes de travail sur les écogestes et le développement durable, un comité d'éducation à l'environnement au sein de l'INSTN... Le témoignage d'un engagement collectif qui va se renforcer en 2023.

### Un plan de sobriété et de performance énergétique

Adopté en novembre 2022 et déployé dans la foulée, le plan de sobriété énergétique du CEA a tout d'abord nécessité un minutieux travail transversal de mesure des consommations énergétiques. Objectif : savoir, au KWh près, combien le CEA consomme par vecteur énergétique, par type d'installation, et par usage. À l'issue de cet inventaire, le CEA s'est fixé de nouveaux objectifs pour les actions qui, pour certaines, préexistaient dans le plan de performance énergétique ou celles issues du plan France Relance et du plan Résilience gaz 2022. S'y sont ajoutées de nouvelles mesures pour renforcer la performance énergétique, améliorer l'exploitation des installations de recherche ou accroître la sobriété numérique. Rendez-vous en 2023 pour un premier bilan, l'objectif étant de réduire la consommation de 10 % d'ici à 2024.

## Faits marquants



### Services publics écoresponsables : le bilan du CEA

Obligatoire depuis 2022, la démarche Service public écoresponsable (SPE) a pour but de rendre la sphère publique exemplaire, grâce à l'application de vingt mesures réparties en six thèmes. Le CEA a adhéré à cette démarche dès 2021. Son engagement a porté ses fruits notamment en matière de mobilité, d'achats responsables et de mobilisation interne. Le parc automobile du CEA s'est mis au vert, avec des points de recharge électriques installés sur tous ses sites. Une nouvelle charte Relations Fournisseurs et Achats Responsables (RFAR) a été signée et un Schéma public d'achat socialement et écologiquement responsable (SPASER) défini. Enfin, des actions de sensibilisation à destination des personnels ont été déployées dans l'ensemble du CEA.

### CONFÉRENCES

### Six conférences interactives pour calculer son empreinte carbone

Combien chacun de nous émet-il de CO<sub>2</sub> dans sa sphère personnelle ? Quel est l'impact de nos déplacements, notre logement, ou nos achats sur l'environnement ? Pour aider ses collaborateurs à prendre conscience de leur empreinte carbone grâce à un outil de simulation, le CEA a organisé six conférences en ligne. Animées par le cabinet de conseil Carbone 4, elles ont rassemblé 1 400 collaborateurs en direct et 2 200 inscrits en replay. Une sensibilisation bien utile, à l'heure où le CEA s'apprête à affiner son propre bilan d'émission de gaz à effet de serre.



### CHALLENGE

### Première édition du Challenge interne Élan Éco Énergie

De juin à septembre 2022, tous les collaborateurs du CEA ont été invités à partager leurs solutions pour aider l'organisme à réaliser des économies d'énergie, adopter des comportements écoresponsables ou renforcer l'efficacité énergétique. Ce challenge a donné lieu à 68 propositions dont cinq ont été récompensées. Par exemple, la solution Carbogreen propose de rationaliser la production de glace carbonique, notamment nécessaire aux recherches en santé et en chimie. Au lieu de l'acheter et de l'acheminer jusqu'au site qui en a besoin, il s'agirait de la produire localement, à la demande, ce qui évite à la fois le gaspillage et le transport.

1

# Répondre aux enjeux de souveraineté

Acteur majeur de l'innovation scientifique, technologique et industrielle, le CEA contribue au développement français et européen. En permettant de faire avancer la société et de faire entendre sa voix dans un monde toujours plus complexe, l'innovation est devenue un enjeu de souveraineté. Le CEA met son expertise au service des politiques publiques et participe à de nombreux plans de relance et de compétitivité en France et en Europe, pour relever les défis en matière d'énergie, de numérique, de santé... De par ses missions au service de la Défense nationale, il assure également l'indépendance de la France.



**Au service de la souveraineté française**



**Accompagner la souveraineté européenne**

1

## Répondre aux enjeux de souveraineté

## Au service de la souveraineté française

Le rôle du CEA est d'éclairer la décision publique et d'accompagner les entreprises et les collectivités dans les transformations majeures de notre pays (transitions énergétique et numérique, santé du futur, défense et sécurité). Les missions du CEA en connaissances et innovation contribuent ainsi à renforcer la souveraineté nationale, à travers notamment les projets du plan France 2030, auxquels le CEA participe ou copilote.



### 29 PEPR

Le CEA participe ou pilote 29 Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR)

### 9 objectifs de France 2030

Le CEA contribue à 9 objectifs de France 2030 sur 10

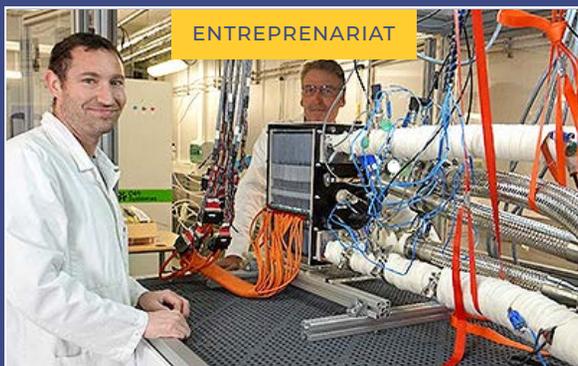
### ◆ Moteur de la recherche et de l'innovation

Pandémie mondiale, crise de l'énergie, événements climatiques extrêmes, dépendance vis-à-vis de l'Asie dans le numérique... En 2022 tout particulièrement, les questions de souveraineté sont au premier plan des préoccupations, avec trois domaines essentiels : la transition écologique, la microélectronique et la médecine du futur. La France comme l'Europe y ont consacré d'importants moyens, à travers des plans de soutien comme le Chips Act européen ou le plan France 2030.

Objectif : encourager l'innovation made in France, ou made in Europe, et réindustrialiser les territoires. Les enjeux de défense nationale et de dissuasion prennent également une place particulière dans le contexte de la guerre en Ukraine.

En œuvrant pour un leadership scientifique, technologique et industriel de la France et de l'Europe, comme le stipule sa lettre de mission, le CEA contribue à ces enjeux à plusieurs titres et à plusieurs échelons, qu'il s'agisse de recherche fondamentale, des plateformes technologiques permettant le passage à l'échelle, ou encore via ses startups. Certaines d'entre elles sont devenues des multinationales, à l'image de STMicroelectronics ou Soitec, et d'autres sont en passe de devenir des acteurs majeurs comme Siquance, Inocel, Diabeloop ou Genvia.

## Faits marquants



ENTREPRENARIAT

### Des start-ups pour accélérer l'innovation made in France

Pour faire émerger des technologies de rupture, favoriser leur transfert vers l'industrie et renforcer la compétitivité française, le CEA crée ou valorise des start-ups issues de ses technologies. Ainsi, en 2022, ont notamment été lancées Siquance, start-up dédiée au calcul quantique, et Inocel, spécialiste de la pile à combustible haute puissance et haute performance pour décarboner les systèmes d'énergie. La start-up Fluoptics, leader mondial de l'imagerie par fluorescence pour la chirurgie de la thyroïde, a quant à elle été cédée au groupe suédois Getinge. Et BIC, le géant français du stylo, a acquis la start-up AMI qui a conçu la tablette graphique ISKN.



SANTÉ

### Biomédicaments : le CEA, cofondateur de l'association France BioLead

Quinze acteurs français de la bioproduction, dont le CEA, ont fondé, en décembre 2022, l'association France BioLead. Objectif : faire de la France un leader européen de la production de biomédicaments, ces médicaments d'avenir produits à partir de sources biologiques, tels les anticorps monoclonaux et les thérapies géniques. Ensemble, ils vont structurer, animer et faire rayonner la filière pour doubler le nombre de biomédicaments produits en France, faire émerger les futurs innovateurs, et attirer de nouveaux talents.



TECHNOLOGIES

### 27 nouveaux projets pour les PEPR Hydrogène, Cybersécurité et Technologies quantiques

Trois Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR), copilotés par le CEA, ont sélectionné de nouveaux projets en 2022. Le PEPR-H2 sur l'hydrogène décarboné, doté d'un budget de 80 millions d'euros, en a retenu huit, dont un équipement d'excellence (EquipEx) pour accompagner la stratégie nationale sur l'hydrogène, dans le cadre du plan d'investissement France 2030. Sept autres ont été retenus dans le cadre du PEPR Cyber, lancé en 2022 et doté de 65 millions d'euros, pour soutenir le développement de la filière cybersécurité. Enfin, le PEPR Technologies quantiques, qui dispose d'un budget de 150 millions d'euros, en a sélectionné douze, dont deux EquipEx, pour aller au-delà des technologies actuelles en matière de calcul, de capteurs et de communication.



ÉNERGIES

### Augmenter les capacités pour la production d'hydrogène

*L'Europe vise une production massive d'hydrogène d'ici à 2030, dans un objectif de décarbonation et de souveraineté énergétique. L'installation de capacités d'électrolyse de l'ordre de la centaine de GW sera donc nécessaire, et l'augmentation de la taille des composants individuels est un point clé. Le CEA a intégré avec succès des cellules de 200 cm<sup>2</sup> de surface active, deux fois plus grandes que des cellules classiques, dans des empilements (stacks). Dans le cadre du partenariat avec Genvia, deux voies ont été explorées avec ces grandes cellules de 200 cm<sup>2</sup>, pour développer des stacks : un empilement « monolithique » de 50 cellules et un assemblage de trois sous-stacks de 25 cellules.*

### ◆ Soutenir les enjeux de défense nationale

À travers sa direction des applications militaires, le CEA pilote les programmes nucléaires de la défense nationale, qu'ils concernent les armes de la dissuasion, les chaufferies de propulsion des bâtiments de la Marine nationale ou l'approvisionnement des matières stratégiques associées. Il met également son expertise technique au service de l'État dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme, ainsi que dans le domaine de la défense conventionnelle.

La réussite de ces missions repose sur une stratégie axée sur cinq enjeux majeurs : honorer la confiance de l'autorité politique, s'appuyer sur une organisation optimisée pour piloter les projets, anticiper l'adaptation des armes nucléaires au contexte stratégique, maintenir les compétences souveraines nécessaires aux programmes nucléaires militaires, et promouvoir la crédibilité scientifique et technique des armes de la dissuasion.

En particulier, le besoin de souveraineté, consubstantiel à la dissuasion nucléaire, implique une maîtrise d'œuvre interne sur les programmes d'armes nucléaires et un maintien continu des compétences industrielles et scientifiques françaises nécessaires à la réalisation des programmes armes et chaufferies nucléaires.



## Faits marquants



### Inauguration du nouvel outil industriel du Ripault

Depuis 2018, le centre du Ripault a engagé les transformations de son outil industriel dans le cadre du projet « Phoenix », qui permettra la production en série des sous-ensembles qui lui sont confiés. Le 22 février 2022, la première pierre d'un bâtiment essentiel au renouvellement de la composante océanique a été posée et les productions des enveloppes et des sous-ensembles pyrotechniques ont officiellement été lancées.



### Travaux de reconfiguration de l'installation EPURE

L'installation EPURE du centre de Valduc, essentielle au programme « simulation » de la DAM, est en cours de reconfiguration pour se doter d'une capacité radiographique multi-axes. Cela consiste en l'implantation de deux nouvelles machines en complément d'AIRIX (axe 1), l'une approvisionnée par les Britanniques (axe 2) et l'autre de conception française (axe 3). En 2022, plusieurs jalons majeurs ont été franchis : qualification du nouveau dispositif de confinement trois axes ; réalisation des premiers flashes X avec la troisième machine radiographique ; validation de la remise en exploitation de l'installation puis transfert de celle-ci dans sa configuration multi-axes à l'exploitant EPURE.

ARMES

### Lancement du projet PLM Armes

Le projet PLM (pour « Product Life cycle Management ») Armes, qui s'inscrit dans la transformation numérique engagée par la direction des applications militaires du CEA, a été lancé en novembre 2022. Il vise à tirer profit des potentialités des nouveaux outils numériques pour optimiser les cycles de conception des têtes nucléaires, fluidifier les échanges de données entre les acteurs de la direction des applications militaires et améliorer le lien entre conception et fabrication. Structuré en six chantiers couvrant l'ensemble des processus Armes, il se déroulera sur huit ans, accompagnant la conception, le développement et la fabrication de la future tête nucléaire aéroportée.



SIMULATION

### Homologation des standards de garantie pour la simulation étendue

L'homologation des quatre standards de simulation étendue - thermomécanique, durcissement, rentrée-précision et furtivité électromagnétique - a été prononcée le 22 juin 2022. L'atteinte de ce jalon a nécessité la réalisation de travaux scientifiques, tant sur l'obtention de références expérimentales que sur le développement des codes et leur validation. Les progrès accomplis depuis les précédentes homologations démontrent la capacité de chacun de ces standards à évaluer la performance des futures têtes nucléaires.

## Faits marquants

### PROPULSION NUCLÉAIRE

#### Autorisation d'extension du périmètre de l'INBS-PN

En 60 ans, l'installation nucléaire de base secrète-propulsion nucléaire (INBS-PN) de Cadarache s'est enrichie d'installations nécessaires au développement de nouveaux réacteurs, à leur maintenance et à la fabrication du combustible. En 2022, l'extension du périmètre de cet outil industriel, essentiel pour répondre aux enjeux de la dissuasion nucléaire française, a été autorisée par le Premier ministre. Ce projet d'envergure contribuera au rayonnement du CEA dans la région.



### SIMULATION

#### Inauguration du supercalculateur EXA1

Sébastien Lecornu, ministre des armées, a inauguré le supercalculateur EXA1 sur le centre CEA de Bruyères-le-Châtel le 13 septembre 2022. Co-développé avec Atos, EXA1 répond aux besoins de simulation des programmes nucléaires de défense pilotés par la direction des applications militaires du CEA, nécessitant des calculateurs qui relèvent de multiples défis technologiques : traiter et gérer les flux massifs de données, accroître la performance, l'efficacité, la modularité et la disponibilité des architectures informatiques tout en réduisant significativement la consommation énergétique. EXA1 est ainsi un concentré d'innovation, au meilleur niveau mondial.

### PROPULSION NUCLÉAIRE



#### Première divergence de la chaufferie nucléaire du SNA Duguay-Trouin

Le programme Barracuda, piloté par la DGA au profit de la Marine nationale, a franchi une nouvelle étape le 30 septembre 2022 avec le démarrage de la chaufferie nucléaire du Duguay-Trouin, deuxième sous-marin nucléaire d'attaque (SNA) de la série, en cours d'achèvement et d'essais à Cherbourg. La chaufferie nucléaire des sous-marins du programme Barracuda a été développée sous la maîtrise d'ouvrage de la DAM.

### PROPULSION NUCLÉAIRE

#### Réexamen de sûreté des chaufferies des SNLE de 2<sup>e</sup> génération

Le réexamen de sûreté des chaufferies nucléaires embarquées des sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) de deuxième génération a été mené de 2014 à 2022. L'instruction des études de réévaluation de la sûreté a abouti, après différentes étapes, à la validation par la direction générale de l'armement (DGA), autorité de conception d'ensemble du bâtiment, des dossiers de définition de ces évolutions et de la responsabilité de la direction de la propulsion nucléaire de la DAM en tant qu'autorité de conception, garante de la sûreté nucléaire. Les modifications seront appliquées sur le prochain bâtiment qui entrera en arrêt technique majeur.



## Faits marquants

### CATASTROPHES NATURELLES



#### Le Cenalt souffle ses dix bougies

Le Centre national d'alerte aux tsunamis (Cenalt) surveille 24h/24 la zone Méditerranée et Atlantique nord-est. Depuis sa mise en service opérationnelle en 2012, 86 informations de séismes forts dans sa zone d'intérêt ont été diffusées vers la sécurité civile et les partenaires internationaux. Pour ses dix ans, un séminaire scientifique international s'est déroulé en septembre 2022 sur le centre DAM Île-de-France où il est implanté avec notamment les deux tutelles (ministères de l'Intérieur et de l'Outre-mer et de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires), et les deux partenaires, le SHOM et le CNRS.

### SÉCURITÉ

#### Inauguration de la plateforme «évaluation de la menace» sur le centre du Ripault

Financée par le secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale dans le cadre de la lutte contre le terrorisme, cette plateforme unique en France a été inaugurée le 1<sup>er</sup> avril 2022. Elle est composée de deux bâtiments. Le premier, dédié à l'évaluation de la menace, comprend une cellule blindée équipée de bras télémanipulateurs pour préparer des explosifs artisanaux en toute sécurité et un caisson de tir pour évaluer les performances détoniques de ces produits. Le second, consacré à la détection de la menace explosive, permet de réaliser des essais de détection et des essais cynotechniques.



### DÉFENSE CONVENTIONNELLE

#### Mise en production du moyen GEPI-2

Dans le cadre du programme «effets des armes», le centre de Gramat a développé le nouveau Générateur électrique de pressions intenses, GEPI-2. Mis en production le 8 juin 2022, il permet de générer des rampes de pression intenses de courte durée sur des matériaux d'intérêt pour en étudier le comportement. À ce jour, ses capacités expérimentales ont été présentées à la DGA, puis un essai de démonstration a été réalisé avec succès, dans une configuration mettant en évidence l'augmentation de ses performances par rapport au moyen actuel GEPI.



### DÉFENSE CONVENTIONNELLE



#### Mise en service opérationnelle du lanceur Persée

Le 27 juin 2022, le centre de Gramat a célébré la mise en service opérationnelle du nouveau lanceur Persée, qui constitue un apport complémentaire à tous les moyens existants pour la mise au point et la qualification de futurs systèmes d'armes conventionnels. Ce lanceur de laboratoire est capable de propulser, avec une plage d'accélération contrainte et maîtrisée, un projectile de 25 kg et de calibre 140 mm, dans une plage de vitesses allant du moyen subsonique au supersonique.

1

## Répondre aux enjeux de souveraineté

## Accompagner la souveraineté européenne

L'engagement du CEA sur les grands sujets d'intérêt (énergies, numérique, santé, climat et environnement, défense et sécurité) participe à soutenir la souveraineté européenne.



### ◆ Le CEA engagé dans la présidence française de l'Union européenne (PFUE)

En prenant la présidence de l'Union Européenne, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 2022, la France s'est engagée à renforcer la coopération, la souveraineté et la puissance de l'Europe pour accélérer les transitions écologique et numérique d'ici à 2030 et relancer l'économie européenne. Une ambition qui passe par des filières industrielles fortes, notamment dans l'hydrogène, les batteries, les semi-conducteurs, l'espace, l'informatique dématérialisée, la défense et la santé. Ces domaines, essentiels pour notre avenir et de haute intensité technologique, sont au cœur des activités du CEA. Pour contribuer au succès de la PFUE, le CEA s'est donc mobilisé et a mis toute son expertise au service du débat public, en organisant ou en participant à plusieurs événements labellisés PFUE.

Convaincu que l'Europe est la meilleure échelle pour relever les défis de la transition énergétique, climatique et numérique, répondre aux crises et déployer une ambition industrielle, le CEA a renforcé sa stratégie européenne. Avec 750 projets de recherche financés depuis sept ans, il est aujourd'hui le deuxième bénéficiaire du programme-cadre européen Horizon 2020.

Le CEA met son expertise scientifique et technologique au service des politiques publiques de l'UE et développe des partenariats structurants avec ses homologues européens.

7

**manifestations  
PFUE** organisées  
ou co-organisées  
par le CEA

750 projets

de recherche  
financés par l'UE  
depuis 7 ans

Le CEA,  
**2<sup>e</sup> bénéficiaire**  
des financements  
européens

## Faits marquants



### Une série de conférences et événements pour valoriser l'expertise du CEA

La PFUE a été, en 2022, une occasion unique de rayonnement à l'échelle de l'Europe. Pour y contribuer, le CEA a organisé plusieurs événements labellisés, dont deux avec le CNRS et l'Inria. Citons, entre autres, une conférence sur le quantique, dans le cadre de l'initiative européenne « Flagship Quantique », et une sur les enjeux de l'intelligence artificielle pour l'industrie et la société. Une manifestation a permis de faire le point sur le renouveau de l'industrie photovoltaïque en Europe. Deux conférences sur le nucléaire ont aussi été consacrées à la sûreté des systèmes de réacteurs à fission (FISA 2022) et à la gestion des déchets radioactifs (EURADWASTE'22). Elles ont rassemblé 550 participants à Lyon. Trois chercheurs du CEA y ont reçu un prix pour leurs travaux.

### Un démonstrateur du CEA parmi les trois finalistes du challenge européen de l'innovation « Fuel From The Sun »

Produire du carburant à partir d'eau, de soleil et de CO<sub>2</sub> ? Telle est l'ambition du concept EASI Fuel (European Autonomous Solar-Integrated Fuel Station), sélectionné parmi les trois finalistes du challenge « Fuel from the Sun : Artificial Photosynthesis » organisé par le Conseil européen de l'innovation en 2022. Un démonstrateur sur lequel une équipe interdisciplinaire du CEA travaille depuis deux ans. Autonome et compact, EASI Fuel fonctionne de manière discontinue et s'adapte à l'énergie solaire disponible. Il associe un bioréacteur et une cellule photoélectrochimique intégrée d'architecture innovante, pour des échanges thermiques plus intenses et une emprise au sol minimale.



## ◆ Le CEA mobilisé pour le « Chips Act »

Des voitures aux smartphones, en passant par les jouets, les appareils électroménagers, les équipements médicaux, les outils et les chaînes de production... Les composants électroniques à base de semi-conducteurs se retrouvent partout, dans notre vie courante comme dans l'industrie. Et l'économie mondiale en dépend. Alors que la demande explose et que le monde est confronté à une pénurie, nos capacités de conception et de production doivent augmenter. L'Europe est pour l'instant très dépendante des États-Unis mais surtout de l'Asie, qui détient à elle seule 80 % du marché.

Pour réduire cette dépendance, la Commission européenne a lancé en 2022 son plan baptisé « Chips Act ». La France a, de son côté, mis six milliards d'euros sur la table, dans le cadre de France 2030. Objectif : gagner en souveraineté en doublant la production de puces électroniques d'ici à la fin de la décennie. Mais pour rester compétitif en termes de coûts, de performances et de consommation énergétique, il faut fournir un effort de R&D important et créer des passerelles entre la recherche et la production. Dans le secteur des semi-conducteurs, cet effort peut représenter jusqu'à 20 % du chiffre d'affaires par an.

Pour imaginer les puces de demain et être capable de les produire en Europe, le Chips Act a défini trois lignes pilote, dont l'une a été confiée au CEA. Elle concerne notamment une technologie européenne née au CEA, le FD-SOI, qui permet de faire des transistors consommant très peu d'énergie (jusqu'à 40 % de gain). Cette technologie est déjà présente dans de nombreux objets de la vie courante : smartphones, voitures, capteurs industriels, dispositifs médicaux.



2

# Accélérer la transition énergétique

Face aux impacts du changement climatique qui s'intensifient, il faut amplifier la transition des systèmes énergétiques vers les énergies bas-carbone. Les usages doivent massivement s'électrifier pour réduire la dépendance française aux énergies fossiles et réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en conjuguant la sobriété, pour diminuer la consommation d'énergie. Il est tout aussi essentiel de continuer à progresser dans nos connaissances des risques qui nous attendent à l'horizon de la fin du siècle afin de s'y préparer. Le CEA contribue activement à développer des solutions dans ces domaines.



**Innover pour un mix énergétique décarbonaté**



**Le CEA face aux enjeux climatiques**

1

## Accélérer la transition énergétique

### Innover pour un mix énergétique décarboné

Pour répondre aux enjeux actuels et futurs du changement climatique, le CEA défend une approche intégrée du système énergétique. Il est l'un des seuls organismes de recherche français qui travaille à la fois sur l'énergie nucléaire et sur certaines énergies renouvelables - les énergies bas carbone disponibles aujourd'hui - mais également sur des thématiques transversales comme la gestion des réseaux, le stockage d'énergie, l'économie circulaire des matières et du carbone ou encore la sobriété.



#### ◆ Les innovations dans les technologies des énergies

Pour atteindre la neutralité carbone en 2050, la France doit réduire sa consommation d'énergie de 40 %, grâce à des efforts conjugués de sobriété, d'efficacité énergétique, et d'électrification des usages. Elle doit aussi passer de 25 % d'électricité à plus de 60 % dans son mix énergétique, avec l'objectif qu'elle soit le plus bas carbone possible. Une triple ambition à laquelle le CEA contribue en s'appuyant sur une vision intégrée de l'énergie.

Car pour être au rendez-vous, il faut agir simultanément sur trois fronts. La production d'électricité, tout d'abord, en augmentant la part d'énergies renouvelables (solaire, éolien sur terre et en mer, biomasse, biogaz, hydraulique...) et en renforçant l'usage de l'énergie nucléaire (prolongation des réacteurs en activité, développement de nouveaux réacteurs nucléaires...). La flexibilité et le couplage des énergies, ensuite : pour mieux intégrer dans le système les énergies renouvelables, intermittentes par nature, il faut renforcer tous les moyens de stockage de l'électricité (barrages réversibles, batteries stationnaires, batteries de véhicules électriques, hydrogène, chaleur...) ; il faut aussi disposer d'une architecture de réseaux intelligents qui s'adaptent en permanence à la production et à la demande d'énergie. Enfin, pour éviter la dépendance aux matières premières indispensables à toutes les futures technologies, il faut développer l'économie circulaire des matières. Autant de domaines sur lesquels le CEA mène des recherches et développe des solutions technologiques.

**+ de 60 %**  
d'électricité dans  
le mix énergétique  
en 2050, contre 25 %  
aujourd'hui

**40 %**  
d'économies  
d'énergie à réaliser  
d'ici à 2050

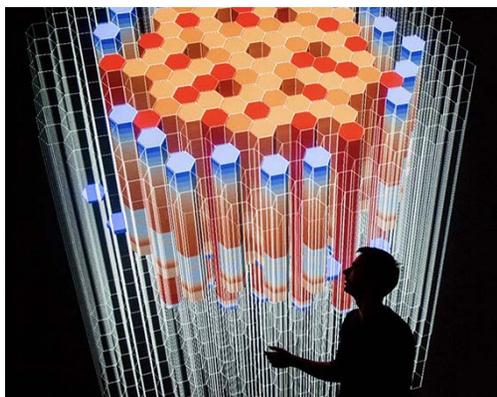
## Faits marquants

### ÉNERGIES

#### Des avancées majeures dans le développement de petits réacteurs nucléaires

Parce que les futurs petits réacteurs modulaires (SMR – small modular reactor) sont un atout crucial pour atteindre la neutralité carbone en 2050, le CEA y contribue via plusieurs projets d'envergure. Une avancée majeure en 2022 concerne le projet NUWARD™ - consortium qui rassemble EDF, TechnicAtome, Naval Group, Framatome, Tractebel et le CEA - et son nouveau générateur de vapeur, basé sur le principe des échangeurs à plaques, au lieu des traditionnels tubes en U à recirculation. Cette technologie met en œuvre des mini-canaux côté secondaire, dont il faut s'assurer qu'ils ne s'obstruent pas. C'est pour étudier l'encrassement de ces canaux, que le CEA a inauguré en mars 2022 sa boucle BEENCH. La construction de cette installation avait été lancée en 2021 sur la plateforme expérimentale POSEIDON à Cadarache.

Par ailleurs, les codes de simulation du CEA pour étudier des situations d'accidents au cœur du réacteur ont, une nouvelle fois, démontré leur efficacité en 2022. Pour la première fois, un calcul couplant neutronique et thermohydraulique a été réalisé avec des codes de dernière génération : APOLLO3® pour la neutronique et FLICA5 pour la thermohydraulique cœur. Il portait sur la simulation d'un transitoire accidentel d'insertion d'eau froide, dans une configuration représentative du cœur d'un SMR sans bore soluble. Il ouvre la voie à un traitement de plus en plus précis des situations accidentelles sur les réacteurs nucléaires à crayons.



### FUSION



#### Fusion nucléaire : le CEA copilote du tokamak JT-60SA

Conçu, financé et construit par l'Europe et le Japon dans le cadre de l'approche élargie d'ITER, le tokamak JT-60SA permettra de faire la démonstration de la fusion par confinement magnétique comme nouvelle source d'énergie à grande échelle. JT-60SA permettra d'étudier des modes avancés de confinement magnétique et leur stabilité, de manière complémentaires d'ITER. Ce tokamak est l'une des plus grandes machines expérimentales sur le point de démarrer. Son programme scientifique va être copiloté par trois responsables d'expériences dont un Européen, Jeronimo Garcia de l'Institut de recherche sur la fusion magnétique (IRFM) du CEA.

### PARTENARIAT

#### Le CEA et GRDF s'associent pour la production et la distribution de biogaz

Développer des solutions innovantes pour optimiser la production et la distribution de gaz renouvelables, tel est l'enjeu du partenariat de R&D signé en avril 2022 entre le CEA et GRDF, principal distributeur de gaz en France. Durant cinq ans, les chercheurs du CEA viendront en appui de GRDF pour relever ce défi de transition écologique, mais aussi repenser et adapter le réseau de gaz à une distribution de plus en plus décentralisée.

## Faits marquants

### RÉSEAUX

#### **Modéliser et simuler les réseaux énergétiques avec TRILOGY**

*Avec différentes sources d'énergie et différents besoins, les réseaux d'énergie du futur se devront d'être modulables et intelligents. Pour modéliser et optimiser les différentes architectures de systèmes multi-énergies à toutes les échelles géographiques et temporelles, le CEA a développé la plateforme TRILOGY. De quoi guider le choix des futurs systèmes énergétiques et préparer leur pilotage.*

*Un premier cas d'étude a été choisi : TRILOGY s'attelle à la modélisation du quartier Cambridge à Grenoble, avec ces réseaux électriques, et thermiques.*

### PLATEFORME



#### **Une toute nouvelle plateforme de batteries en Nouvelle-Aquitaine**

*Pour accélérer le développement des futures générations de batteries, le CEA a lancé en 2022 une plateforme de 350 m<sup>2</sup> dédiée aux matériaux. Installée à Pessac, elle est dotée d'outils d'ingénierie conçus pour travailler sur des composés sensibles à l'air, comme le lithium. Objectif ? Améliorer la sécurité, la longévité, et la densité d'énergie et de puissance des futurs accumulateurs, mais aussi trouver des solutions pour remplacer des matériaux critiques car toxiques ou difficiles à sourcer. Cette plateforme complète l'expertise et les moyens significatifs dont dispose déjà le CEA.*



## ◆ Les innovations dans les technologies des énergies

Réussir la transition énergétique implique de relever un enjeu majeur, à moyen comme à long terme : celui des ressources. Pour éviter de passer d'une dépendance aux énergies fossiles à une dépendance aux matériaux et terres rares, dont la France ne dispose pas, la sobriété s'impose.

Dans le nucléaire, pour économiser l'uranium naturel, notre pays a opté pour le mono-recyclage du plutonium et entend renouer, dès 2023, avec le mono-recyclage de l'uranium de retraitement. Des travaux sont par ailleurs en cours, avec l'aide du CEA, pour développer le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à eau sous pression (REP) et des réacteurs EPR2. Ces trois procédés pourront faire économiser plus de 30 % d'uranium naturel. À plus long terme, l'objectif est de s'en passer totalement, en fermant le cycle du combustible dans les réacteurs à neutrons rapides (RNR) et en utilisant de l'uranium appauvri, que la France dispose en quantités suffisantes pour plusieurs centaines d'années. Le CEA explore toutes ces technologies en tenant compte de leur soutenabilité. Il met au point les procédés de traitement et de fabrication de ces nouveaux combustibles. Et il contribue aux études de scénarios qui permettent de calculer les flux de matière.

Les technologies de la transition énergétique vont, elles aussi, faire appel à une grande quantité de matières premières. Pour les batteries, citons le lithium, le nickel, le manganèse, ou encore le cobalt. Pour l'hydrogène : platinoïdes, nickel, et d'autres terres rares. Les moteurs électriques, eux, auront besoin d'aimants à base de terres rares, tandis que le solaire utilise du silicium et de l'argent. Afin d'économiser ces ressources critiques et régulièrement en tension, le CEA travaille à la fois sur leur diversification et leur substitution, sur des technologies plus frugales, sur des solutions d'économie circulaire et sur les usages. En novembre 2022, il a cofondé l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (Ofremi) qui réalisera une veille stratégique économique et technique des chaînes mondiales d'approvisionnement et des besoins, afin de produire des analyses de risques.

**20 %**

d'uranium naturel économisé, grâce au mono-recyclage de l'uranium de retraitement et du plutonium

**x 13 à x 42**

c'est la croissance des besoins en lithium d'ici à 2040, selon les différents scénarios

## Faits marquants

### RECYCLAGE

#### De nouveaux scénarios industriels de multi-recyclage du plutonium

La France a fait le choix stratégique d'extraire l'uranium et le plutonium du combustible utilisé pour les recycler dans de nouveaux assemblages de combustible, tels que le MOX (mélange d'oxydes uranium appauvri et plutonium). Dans ce cadre, le CEA a étudié en 2022 plusieurs scénarios industriels de multi-recyclage du plutonium dans le cadre du programme français quadripartite MRREP (multi-recyclage en REP). Ces scénarios, bâtis avec EDF, Framatome et Orano, tiennent compte à la fois de l'évolution du parc électronucléaire français et des hypothèses de la Politique Pluriannuelle de l'Énergie (PPE). Les premiers scénarios, qui considèrent un cycle en parc à 100 % de REP avec multi-recyclage en REP, mettent en jeu différentes gestions des matières dans les réacteurs EPR de prochaine génération (EPR2) : UOX (oxydes d'uranium), URE (uranium de retraitement enrichi), MOX et MIX (MOX à uranium enrichi).

### TECHNOLOGIE

#### Un projet pour développer l'impression 3D dans le nucléaire

Destiné à déployer la fabrication additive (ou impression 3D) dans le secteur de l'énergie nucléaire, le projet ARQANE, lauréat du plan France Relance, a été officiellement lancé le 7 avril 2022 dans les locaux d'EDF Lab, à Paris-Saclay. Avec près de 40 % du budget total, soit quatre millions d'euros et une aide de Bpifrance d'un montant de 1,6 million d'euros, le CEA est un acteur majeur de ce projet, qui implique également EDF, TechnicAtome, Naval Group, Inovsys, THF, Orano, Framatome et l'Institut de soudure. ARQANE interviendra sur les procédés, leur qualification et leur codification, mais aussi sur les moyens de contrôle non destructif et l'étude des pièces sous irradiation aux ions.



### DÉMANTÈLEMENT



#### Vitrification des déchets de Fukushima : des campagnes d'essais concluantes

Impliqué dans plusieurs projets du vaste chantier d'assainissement et de démantèlement de la centrale de Fukushima, le CEA aide le Japon à conditionner les déchets issus du traitement des eaux de refroidissement des réacteurs accidentés en mars 2011. Quatre campagnes d'essais avaient été lancées en 2021, à l'aide du prototype industriel de vitrification DEM&MELT basé à Marcoule, et développé par le CEA en collaboration avec Orano et Anadec. Elles se sont achevées avec succès en février 2022, tous les conteneurs produits pour conditionner des répliques de ces déchets répondant aux critères de qualité visés. Le procédé DEM&MELT a reçu le grand prix 2022 de la Société française d'énergie nucléaire.

### BREVET

#### Un nouveau procédé breveté pour fabriquer un monomère biosourcé

Indispensable pour produire certains polyesters et résines de synthèses comme l'époxy, le monomère anhydride succinique pourra désormais être biosourcé, grâce à un procédé que le CEA a fait breveter en 2022, dans le cadre d'un partenariat avec le Collège de France. Ce procédé, dit de carbonylation, permet de le synthétiser à partir de monoxyde de carbone (CO), lui-même issu de l'électro-réduction du CO<sub>2</sub>.



**9 %**  
c'est la baisse de la consommation d'électricité lors de l'hiver 2022-2023 selon RTE

**3 000**  
c'est le nombre d'abonnés au compte LinkedIn d'I-Tésé où sont postées ses revues de presse

## ◆ Relier technologie et économie pour la sobriété énergétique

Atteindre la neutralité en carbone d'ici à 2050 nécessite de lever de nombreux verrous technologiques, sur lesquels travaille le CEA. Mais cela ne suffira pas. Pour réussir cet objectif, il faut aussi que les chemins empruntés soient économiquement soutenables, tant en termes de coût que d'accès aux ressources nécessaires. C'est pour éclairer ces trajectoires que l'Institut de technico-économie des systèmes énergétiques (I-Tésé) du CEA mène des études avec une vision systémique s'appuyant sur les expertises du CEA. Ses travaux portent sur les technologies bas-carbone de production et de stockage d'énergie, les ressources nécessaires pour mettre en œuvre ces technologies, ainsi que sur la pertinence des cadres réglementaires et des modèles de marché. Depuis 2022, I-Tésé a élargi son champ de recherche aux sciences humaines et sociales pour s'intéresser notamment aux évolutions de la demande et des modes de consommation de l'énergie.

## Faits marquants



### PLATEFORME

#### Le premier observatoire de la sobriété énergétique

*Sur quelles stratégies les Français ont-ils misé pour faire face à la crise énergétique actuelle ? Jusqu'à quel point pourront-ils réduire leur consommation ? Et le feront-ils dans la durée pour préserver la planète ? Pour répondre à ces questions et pouvoir orienter les politiques publiques, le CEA a lancé fin 2022 l'observatoire PROMETHEE. Multidisciplinaire, cet observatoire conjugue l'expertise en économie, sciences sociales et recherche participative de ces cinq cofondateurs : l'Institut I-Tésé du CEA, l'Université de Caen, Mines Paris-PSL, le Dôme de Caen et l'IRTS Normandie-Caen.*

### ANALYSE

#### Une grille pour estimer les coûts de production de l'hydrogène décarboné

*La France compte doubler sa production d'hydrogène décarboné d'ici à 2030. Mais à quel coût ? Pour chiffrer au mieux les différents scénarios possibles, le CEA a mis au point une grille d'analyse où chacun pourra intégrer ses propres hypothèses. L'article, paru dans la Revue de l'énergie en juillet 2022, présente les différentes filières de production possibles et propose des estimations de coûts, sur la base d'une synthèse de la littérature récente.*

### ANALYSE

#### Une base de données sur les technologies de l'énergie

*Le CEA produit chaque jour une multitude de données sur le coût, le rendement et les caractéristiques des technologies de l'énergie actuelles et futures. Pour leur donner du sens et les exploiter plus facilement, ces données ont été consolidées en 2022 au sein d'une base unique, qui a permis de développer des modèles de représentation du système électrique européen jusqu'en 2050. Objectifs : éclairer les chercheurs dans leurs travaux et guider les feuilles de route du CEA.*



## 2

## Accélérer la transition énergétique

## Le CEA face aux enjeux climatiques

Mégafeux de forêt, sécheresses et vagues de chaleur, crues-inondations catastrophiques font prendre conscience des impacts du changement climatique avec des événements appelés à se répéter dans l'avenir, qui imposent la mise en place de stratégie d'atténuation et d'adaptation. En 2022, les émissions mondiales de gaz à effet de serre sont restées à des niveaux record, sur une trajectoire de plus en plus incompatible avec un réchauffement global de 2 °C.



### 1° C

de température moyenne à la surface du globe, c'est un mois d'enneigement en moins à 1 500 m d'altitude

### x 2

il faut doubler le rythme de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour atteindre la neutralité carbone en 2050

Face à cette réalité, il s'agit, d'une part, de progresser dans la compréhension du changement climatique et l'évaluation fine des risques à l'horizon du siècle pour pouvoir s'y préparer ? cela implique de comprendre les mécanismes derrière la variabilité naturelle du climat ; d'affiner les scénarios climatiques ; de réduire les incertitudes ; d'étudier les points de bascule climatique (comme l'élévation du niveau des mers) et l'occurrence des événements extrêmes... D'autre part, le CEA se doit d'accompagner les acteurs publics et privés sur les chemins de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique, à travers les évaluations des émissions de gaz à effet de serre et de polluants, le développement de services climatiques en lien avec les acteurs concernés, ou encore l'étude de scénarios d'adaptation, par secteur économique et par région géographique.

## Faits marquants



### PUBLICATION

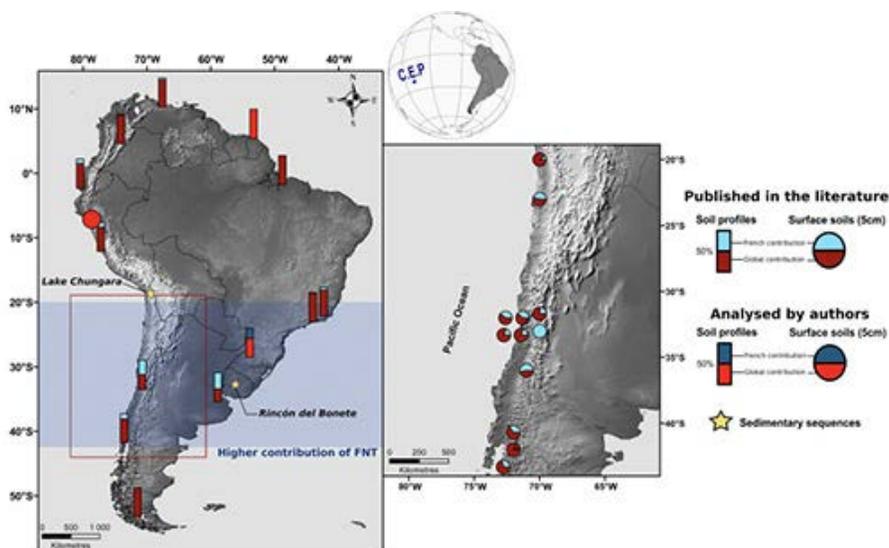
#### Le CEA, contributeur majeur au sixième rapport du GIEC

Finalisé en 2022, le sixième rapport du GIEC synthétise la littérature scientifique existante sur l'évolution du climat et les changements à venir. Les scientifiques du laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, unité mixte CEA/CNRS/UVSQ) ont contribué à la rédaction du rapport du groupe 1, à travers les résultats des campagnes d'observations et des simulations climatiques. Valérie Masson-Delmotte, climatologue et directrice de recherche au CEA, coprésidente du groupe 1, s'est fortement mobilisée dans la sensibilisation des décideurs politiques suite à la publication du rapport.

### DATATION

#### L'occupation des terres en Amérique du Sud reconstituée grâce aux traces de plutonium

Un consortium international, piloté par le laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, unité mixte CEA/CNRS/UVSQ), a étudié des mesures isotopiques de traces de plutonium à partir d'échantillons de sédiments de lacs au Chili et en Uruguay. Ces mesures permettent de reconstituer avec précision l'évolution de l'occupation des sols depuis les années 1960, car cette dernière accroît la production et le transport des sédiments.



## Faits marquants

### ENVIRONNEMENT

#### Qualité de l'air : des campagnes de mesures en Île-de-France

Pour mieux comprendre le changement climatique en environnement urbain et permettre aux villes d'y faire face, le laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, unité mixte CEA/CNRS/UVSQ) a participé à plusieurs campagnes de mesures en Île-de-France à l'été 2022. Ces campagnes s'inscrivaient dans le cadre de l'initiative PANAME 2022, qui rassemble dix projets de recherche sur les îlots de chaleur, l'évolution des panaches de pollution, les émissions de gaz à effet de serre, etc. Les premiers résultats ont déjà permis de mieux cerner la dynamique de ces phénomènes, à travers la modélisation, et la prévision de leur impact sur la qualité de l'air.



### GÉNOMIQUE

#### Quand la génomique du plancton éclaire le climat

Pour savoir si le plancton continuera à jouer son rôle de pompe à carbone et à ralentir le changement climatique, des scientifiques, dont ceux du CEA, décortiquent son génome depuis plus de dix ans et couplent ces travaux avec les modèles climatiques. Parues dans la revue *Nature* en avril 2022, leurs conclusions mettent en lumière deux évolutions inquiétantes. D'une part, les communautés de plancton, dont le génome est très influencé par l'environnement, se regroupent par provinces climato-génomiques dont la plupart migrent vers les pôles. D'autre part, la composition de ces communautés change, avec pour conséquence des flux de carbone organique vers les fonds marins en baisse de 4%. La restructuration biogéographique du plancton met donc en danger ses capacités de pompe à carbone.

### CLIMAT

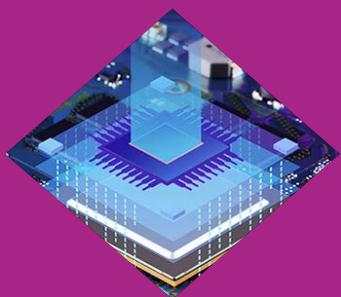
#### Pourquoi les émissions de méthane ont bondi en 2020 ?

C'est à cette question qu'a répondu une équipe du laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, unité mixte CEA/CNRS/UVSQ). Leur étude, publiée dans la revue *Nature*, rapporte que la concentration de méthane dans l'atmosphère, qui a été multipliée par trois durant l'Anthropocène, atteignait 15,1 parties par milliard en 2020 ! Deux raisons à cela : la pandémie, qui a entraîné une baisse des émissions d'oxyde d'azote et donc des radicaux hydroxyles qui éliminent le méthane ; et le changement climatique, qui a fait bondir les émissions naturelles de méthane dans les zones humides.

## 3

# Soutenir l'innovation industrielle

Alliant recherche fondamentale d'excellence et recherche technologique de pointe, le CEA valorise auprès des industriels les résultats de ses travaux afin de soutenir la compétitivité des entreprises, favoriser la création d'emplois et, plus globalement, contribuer à la souveraineté industrielle de la France.



**Le numérique en pleine mutation**



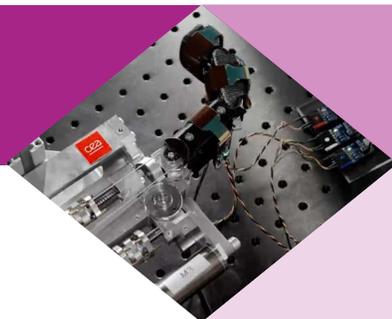
**Les enjeux de la microélectronique**



**Des technologies de rupture innovantes et frugales**

3

## Soutenir l'innovation industrielle



## Le numérique en pleine mutation

En vingt ans, le numérique et ses usages ont profondément transformé notre société. Cette mutation s'accélère, alors même que nous devons faire face à des enjeux de souveraineté, de sobriété et de sécurité. Enjeux auxquels le CEA répond grâce à son éventail unique de compétences qui lui permettent d'assurer sa mission historique de soutien technologique à l'innovation industrielle.

### 1170%

d'augmentation  
du trafic Internet  
et 20316 % de hausse  
pour la téléphonie  
en 10 ans

### 3000

chercheurs  
CEA sont dédiés  
au développement  
numérique



Plus de 3 000 chercheurs y travaillent sur toute la chaîne de valeur : ils explorent des concepts innovants, développent des principes physiques, via la recherche fondamentale, puis convertissent ces mêmes principes en solutions adaptées, via la recherche technologique. Et le CEA va jusqu'à leur mise en œuvre industrielle, grâce à son activité de transfert technologique, notamment en créant des startups. Cette force d'innovation et de concrétisation lui offre une vue d'ensemble réaliste de toute la chaîne.

Pour faire face à ces enjeux, le CEA est loin d'agir seul. En France, il travaille avec ses alter ego du secteur numérique : le CNRS, Inria et Mines Télécom. En Europe, le CEA est, avec l'imec en Belgique et les instituts Fraunhofer en Allemagne, un centre de recherche technologique reconnu.

## Faits marquants

### RECHERCHE

#### Numérique durable : le CEA lance des chaires d'excellence

Les chercheurs du CEA ont pour ambition de développer des technologies numériques qui vont transformer profondément nos sociétés, tout en inscrivant la transition numérique dans un cercle vertueux. Pour porter cette ambition, ils ont lancé en avril 2022 le programme « Chaires d'excellence numérique durable ». Consacrée au paradigme de l'apprentissage profond (deep learning), la première chaire « Intelligence artificielle et complexité » a été dotée d'un budget d'un million et demi d'euros sur quatre ans.



### INNOVATION POUR L'INDUSTRIE



#### Une caméra intelligente pour renforcer la sécurité des véhicules de chantier

Depuis 2012, certains véhicules industriels sont capables de différencier en temps réel un humain de tout autre obstacle et d'alerter le conducteur, voire de stopper l'engin. Et ce, grâce à la caméra intelligente Blaxtair, dont la 4<sup>e</sup> version a été lancée en 2022. À l'origine de cette avancée, qui a révolutionné la sécurité sur les chantiers, un contrat de laboratoire entre le CEA et la startup Arcure. Reconnu par toute la profession, Blaxtair Origin a en outre reçu le prix EuroTest au plus grand salon mondial des engins de chantier à Munich.

### PARTENARIAT

#### Un partenariat de recherche IN Groupe - CEA pour protéger l'identité numérique

La numérisation croissante de nos sociétés impose de protéger toujours davantage les données des citoyens et l'intégrité des entreprises, grâce à des solutions innovantes. Ces solutions sont au cœur du partenariat de recherche que le CEA a signé en 2022 avec IN Groupe, acteur spécialisé dans l'identité numérique, aux côtés de l'État français. Ensemble, ils travailleront en priorité sur une identité décentralisée et une blockchain européenne interopérable, la détection des fraudes dans l'image, et un outil pour la gestion des risques (RAE) aux frontières.

## Faits marquants



### INNOVATION POUR L'INDUSTRIE

#### **Le CEA et Onepoint s'associent pour aider les entreprises dans leur transformation numérique**

*Parce que la transformation numérique est un enjeu crucial pour les entreprises, le CEA et Onepoint ont créé un laboratoire commun de recherche et d'innovation. Pour travailler sur les outils et les processus dont les entreprises ont besoin, Onepoint s'appuiera sur sa connaissance des métiers et des organisations ; le CEA sur les technologies avancées de son institut en intelligence artificielle et en cybersécurité.*

### AVANCÉES TECHNOLOGIQUES

#### **Le CEA lance une plateforme de formation à distance en réalité virtuelle**

*Si la pandémie de Covid-19 a fait exploser les formations à distance, leur intérêt reste d'actualité face aux enjeux de sobriété. Mais ce mode d'enseignement nécessite des technologies compétitives pour se connecter, visualiser les contenus et interagir. Surtout lorsqu'il s'agit de formations industrielles très techniques. C'est ce que propose la plateforme VME à laquelle a contribué le CEA en 2022. Une plateforme multiutilisateur en réalité virtuelle, développée dans le cadre du projet européen V-Machina2.*



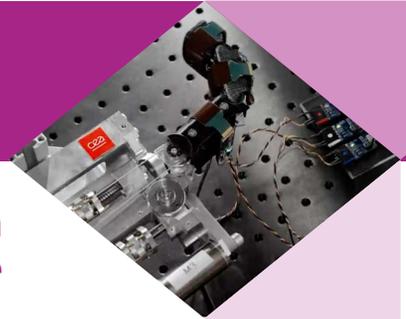
### INDUSTRIE DU FUTUR

#### **Trois jumeaux numériques au service de la supply chain**

*Entre les délais de livraison, les flux tendus, et les exigences métiers, la chaîne logistique doit se faire toujours plus flexible sans faire grimper les coûts. Mais comment décider d'investir au mieux et savoir quoi transformer, alors qu'il n'existe aucun outil pour évaluer les différents scénarios ? Pour répondre à cet enjeu, le CEA et ses partenaires ont développé des répliques numériques de systèmes ou « jumeaux numériques ». Et mis en service trois démonstrateurs, fin 2022, pour simuler l'activité d'un port, l'entreposage et la gestion de flux massifs.*

3

## Soutenir l'innovation industrielle



## Les enjeux de la microélectronique

Souveraineté et frugalité, tels sont les maîtres mots qui guident les équipes du CEA dans leurs recherches en microélectronique.

Souveraineté, car dans un secteur en pleine explosion et face à la pénurie mondiale de semi-conducteurs, l'Europe et la France doivent réduire leur dépendance vis-à-vis de l'Asie et des États-Unis, qui détiennent plus de 80 % du marché mondial.

**60 milliards**

d'objets connectés  
existeront en 2030

**80 %**

des puces  
électroniques sont  
produites en Asie et  
12 % aux États-Unis



Le Covid-19 et les tensions géopolitiques entre les États-Unis et la Chine ont également mis les chaînes d'approvisionnement du semi-conducteur face à la menace constante de pénuries ou de hausse des coûts. Frugalité aussi, car le numérique est de plus en plus gourmand en énergie et en ressources. Si rien n'est fait, il consommera plus de 10 % de notre électricité en 2030, contre 4 % aujourd'hui.

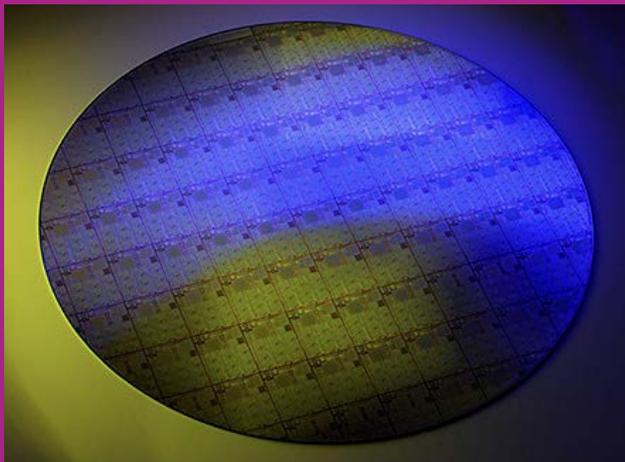
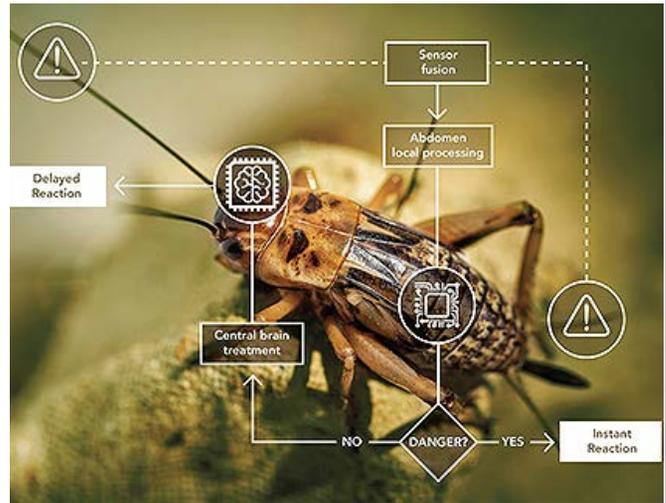
Face à ces enjeux, la France a choisi d'investir dans la conception et la production de composants. C'est un choix qui exige des efforts importants de R&D et de transfert de technologies auxquels le CEA contribue, avec des innovations de rupture, en tant qu'acteur historique de la microélectronique en France.

## Faits marquants

### INNOVATION

#### Des mémoires non volatiles inspirées des insectes

*S'inspirer du système nerveux des insectes ? Voilà le pari d'une équipe de recherche du CEA pour mettre au point des mémoires non volatiles, c'est-à-dire qui stockent l'information quand elles ne sont pas alimentées et consomment donc moins d'énergie. Objectif : développer des dispositifs de mémoire sur silicium à l'échelle nanométrique et concevoir, à terme, la première puce intelligente associée à un module neuronal, capable de traiter les données sensorielles en temps réel. Une innovation aux multiples applications potentielles dans la robotique grand public, le diagnostic médical et l'électronique portable.*



### TRANSFERT INDUSTRIEL

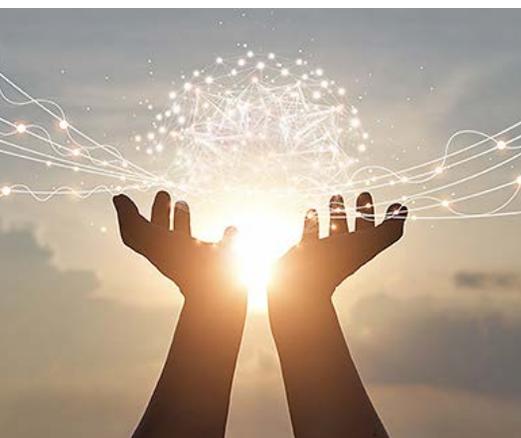
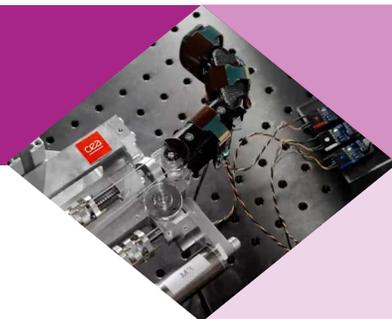
#### Le FD-SOI se déploie dans les smartphones

*Née à Grenoble au CEA, la technologie FD-SOI, jusque-là surtout présente dans les enceintes connectées et les puces GPS, déferle désormais sur le marché des smartphones, grâce à ses performances et sa sobriété énergétique. Le FD-SOI (pour « Fully Depleted Silicium On Insulator ») consomme en effet jusqu'à 40 % moins d'énergie que des transistors équivalents sur silicium massif. Une bonne raison qui a poussé Google à l'adopter dans l'émetteur-récepteur 5G de son dernier modèle Pixel 6 Pro.*

## 3 Soutenir l'innovation industrielle

### Des technologies de rupture

Qu'il s'agisse des technologies quantiques ou de celles développées pour la médecine de demain, le CEA explore des voies innovantes pour accompagner les transformations, notamment numériques, de notre société.



**+ 450 Md€**

C'est la valeur en euros que pourrait créer le calcul quantique au sein de toute l'industrie (énergie, transport, santé...) d'ici une dizaine d'années.

#### ◆ La nouvelle révolution quantique

La première révolution quantique a eu un impact considérable sur nos sociétés, notamment à travers les avancées en matière de lasers, de microprocesseurs et de l'imagerie médicale. La maîtrise des objets quantiques individuels tels que les électrons, les photons et les atomes ouvre la voie à une seconde révolution. Celle-ci exploite les propriétés étonnantes de la physique quantique, comme l'intrication et le principe de superposition. Ces avancées ont le potentiel de révolutionner de nombreux domaines, en particulier dans les sciences de l'information.

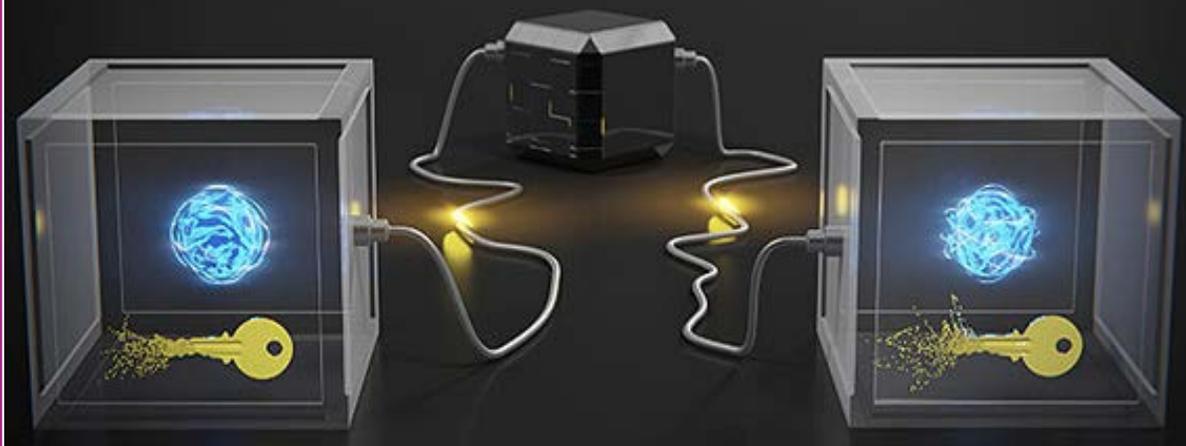
Les ordinateurs quantiques ne remplaceront pas nos ordinateurs classiques, mais travailleront avec eux pour résoudre des problèmes complexes. Grâce à leur puissance de calcul, ils pourront par exemple aider à développer de nouvelles molécules pour la santé, optimiser les besoins de l'agriculture ou les flux de transports et de logistique, améliorer le stockage et la distribution de l'énergie, gérer le risque dans les assurances, ou mieux piloter les portefeuilles financiers.

Ces avancées soulèvent aussi des enjeux de souveraineté. Un algorithme a démontré qu'un ordinateur quantique pourrait compromettre les chiffrements les plus avancés protégeant actuellement nos données numériques. D'où le besoin de recherches en cryptographie post-quantique, pour développer des protocoles capables de résister à ces attaques, et en communication quantique, pour générer et partager des clés de cryptage intrinsèquement sûres.

Depuis plus de trente ans, le CEA est un acteur majeur de cette révolution quantique, à travers sa recherche fondamentale et appliquée, avec des travaux en calcul quantique mais aussi en communication, sur les capteurs et la métrologie ainsi que sur les matériaux quantiques.

## Faits marquants

### CRYPTOGRAPHIE



#### Une nouvelle distribution quantique de clés à haute sécurité

Les ordinateurs quantiques représentent une potentielle menace pour les protocoles classiques de chiffrement. Des efforts sont donc déployés pour développer des protocoles plus résistants. Une méthode de chiffrement très sécurisée consiste à utiliser la distribution quantique pour échanger une clé secrète. Cette dernière est ensuite utilisée pour chiffrer et déchiffrer le contenu. La distribution quantique permet de transférer la clé de manière sécurisée, grâce aux propriétés uniques de la mécanique quantique. Cependant, les appareils quantiques utilisés pour produire cette clé secrète ne sont pas parfaits : ils peuvent représenter une éventuelle faille dans le protocole de chiffrement. Grâce au concept novateur de distribution quantique de clés dites «boîtes noires», développé par des physiciens théoriciens du CEA et validé en 2022 en collaboration avec des chercheurs suisses et britanniques, il est désormais possible de préserver la sécurité du protocole même en présence d'imperfections instrumentales.

### STARTUP



#### Ordinateur quantique : le CEA aux avant-postes avec Siquance

Lancée en novembre 2022, la start-up Siquance, issue du CEA et du CNRS, entend devenir un leader technologique mondial dans le domaine du calcul quantique. Elle ambitionne de développer et commercialiser, à terme, un ordinateur quantique. La principale rupture technologique repose sur l'exploitation des propriétés physiques du silicium pour créer des bits quantiques. Combinée au savoir-faire en microélectronique pour fabriquer des puces contenant des milliards de micro-composants, cette avancée ouvre la voie au développement d'un ordinateur quantique. Doté d'un nombre considérable de bits quantiques, il serait donc capable de résoudre des problèmes jusqu'alors inaccessibles aux ordinateurs classiques.



**14 startups**  
actives dans  
l'innovation en santé.

## ◆ Au service de la médecine de demain

Dans un monde en profonde mutation numérique et écologique, la médecine de demain, centrée sur le patient, sera personnalisée et intégrera l'environnement le quel il évolue. Quant au système de santé, soumis à des exigences économiques accrues, il devra s'organiser pour devenir de plus en plus efficace tout en offrant aux patients un parcours de soins plus fluide.

Le CEA répond à ce double enjeu, avec une expertise reconnue dans cinq domaines, dont deux sur lesquels il est incontournable : l'imagerie biomédicale du futur, et les dispositifs médicaux de détection et de diagnostic. Ses recherches et technologies de rupture en imagerie et intelligence artificielle constituent des avancées capitales pour la médecine prédictive. Dans le domaine des dispositifs médicaux, le CEA conçoit des outils et des méthodes de diagnostic in vitro utilisables au lit du patient, ainsi que des dispositifs de mesure qui permettront de suivre son exposome, c'est-à-dire tout ce qui, dans son environnement, affecte sa santé.

S'y ajoutent des solutions vaccinales et immunologiques pour lutter contre les maladies infectieuses et traiter certaines pathologies, ainsi que de nouvelles approches thérapeutiques (radiochimie, organes sur puces, thérapies géniques et cellulaires, flash thérapie, ultrasons...)

Le CEA contribue également au développement du numérique en santé. D'une part avec des solutions pour produire et exploiter des données à grande échelle au service de la médecine personnalisée, notamment grâce aux technologies d'IA responsable. D'autre part avec des outils permettant d'optimiser le parcours patient ainsi que le fonctionnement des centres de soin, en développant un jumeau numérique fonctionnel. Enfin, de nouveaux outils de formation et de rééducation (simulation virtuelle et haptique) sont développés, à destination des professionnels de santé comme des patients.

## Faits marquants

### VACCIN



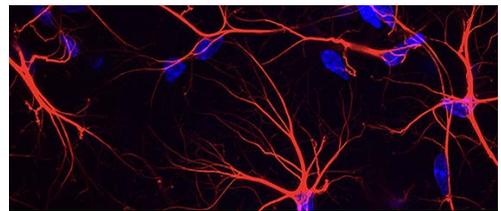
#### Un candidat vaccin pour lutter contre le SARS-CoV-2

Dès le début de la pandémie, les chercheurs du CEA se sont mobilisés de façon massive pour mettre au point des méthodes de détection mais aussi comprendre et traiter la maladie. Dans ce cadre, le CEA a travaillé sur un candidat vaccin et démontré en 2022, via des essais précliniques, qu'il assurait une protection complète. Leur candidat vaccin inclut la protéine Spike, essentielle car elle est la clé qu'utilise le virus pour entrer dans nos cellules et l'une des cibles de notre système immunitaire.

### ÉTUDES PRÉCLINIQUES

#### Maladie de Huntington : vers un possible traitement ?

Incurable à ce jour, la maladie de Huntington est une maladie héréditaire rare qui provoque une dégénérescence des neurones et entraîne d'importants troubles moteurs, cognitifs et psychiatriques. En cause ? La protéine huntingtine (HTT) mutée qui active des cellules du système nerveux central (les astrocytes), et les pousse à attaquer le cerveau au lieu de le protéger. Une équipe du CEA a cependant prouvé que ces mêmes astrocytes réactifs peuvent aussi aider à éliminer la HTT mutée et représentent donc un espoir thérapeutique. Des résultats publiés dans la revue *Brain* en 2022.



### MALADIES INFECTIEUSES

#### Le CEA en première ligne pour dépister les maladies infectieuses

Pour lutter contre les virus émergents, il est crucial de les dépister le plus vite possible. Une course contre la montre à laquelle le CEA contribue depuis plus de quinze ans, en lien avec NG Biotech et l'AP-HP. Lancé en 2022, dans le cadre d'un appel à manifestation d'intérêt soutenu par France Relance, le projet DiagRaMIE illustre cet engagement. Objectif : mettre au point de nouveaux anticorps et des tests rapides contre un éventail d'agents infectieux potentiellement pathogènes. S'y ajoute un test antigénique pour détecter la variole du singe, en cours de développement.



### THÉRAPIES INNOVANTES

#### Une solution pour rendre les biomédicaments moins immunogènes

Si les anticorps monoclonaux ont révolutionné le pronostic des patients atteints de certains cancers ou de maladies inflammatoires chroniques, ils présentent un inconvénient : celui de déclencher parfois une réponse immunitaire qui se retourne contre eux et diminue donc leur efficacité. Mais cette réaction peut être évitée, comme l'ont prouvé, *in vitro*, des chercheurs du CEA. En couplant un fragment d'anticorps monoclonal, utilisé contre la maladie de Crohn, avec une molécule de polyéthylène glycol, ils ont démontré que cette forme dite pégylée serait moins susceptible de déclencher une réponse immunitaire indésirable.

# Ça s'est passé aussi en 2022 !

Au-delà des sujets mis en avant dans ce document, d'autres résultats scientifiques et événements d'importance ont rythmé la vie du CEA en 2022. En voici une sélection non exhaustive...

## Toutes les actualités

### HOMMAGE



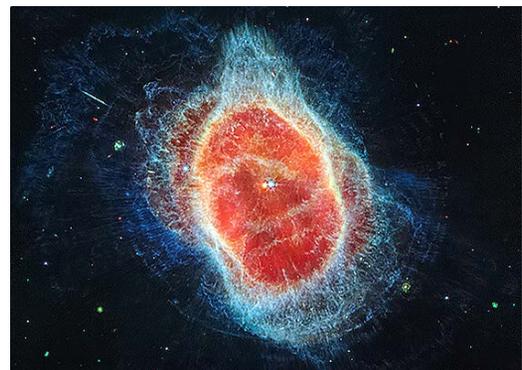
#### Hommage à Bernard Bigot

Administrateur général du CEA de 2009 à 2015, après avoir été Haut-commissaire à l'énergie atomique entre 2003 et 2009, Bernard Bigot est décédé le 14 mai 2022. Normalien, agrégé de physique et docteur en chimie, auteur de nombreuses publications scientifiques sur la chimie théorique, Bernard Bigot a réussi à conjuguer carrière scientifique, universitaire et administrative. C'est à lui que le CEA doit son nouveau positionnement et son ouverture aux énergies alternatives. De nombreuses réussites scientifiques ont jalonné ses deux mandats.

### DÉCOUVERTES ET AVANCÉES

#### Webb livre des images de l'Univers d'il y a 13 milliards d'années

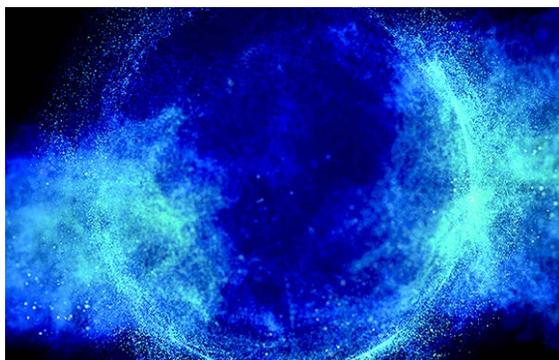
Lancé le 25 décembre 2021, depuis Kourou en Guyane, le télescope spatial James Webb est le plus grand jamais construit. Il est entré dans une phase d'exploitation en 2022, avec les quatre instruments de mesure à son bord, dont Miri et son imageur Mirim développés par le CEA. Plusieurs images spectaculaires prises dans l'infrarouge ont été publiées, dont certaines ont été projetées lors d'un événement organisé par le CEA, le CNRS et le CNES, le 13 juillet, à Paris Plages.



PHYSIQUE

**Redémarrage du grand collisionneur de hadrons**

Le grand collisionneur de hadrons (LHC) a redémarré en juillet 2022 pour sa troisième période d'exploitation. Il a enregistré ses premières collisions de protons à une énergie inédite de 13,6 milliers de milliards d'électronvolts (TeV) après une interruption de plus de trois ans. Il prévoit ainsi de doubler, d'ici 2025, la statistique accumulée de boson de Higgs, découvert en 2012, ouvrant la voie vers des mesures de précision de ses propriétés. Les expériences ATLAS et ALICE intègrent notamment de nouveaux équipements dans lesquelles le CEA a joué un rôle important : roues à muons et électronique de déclenchement du calorimètre à l'argon liquide pour l'expérience ATLAS ; et trajectographe interne ITS2 et trajectographe à muons aux petits angles MFT pour ALICE.



BREVET

**Cession du brevet d'exploitation commerciale d'un dispositif pour la recherche de traces d'explosifs**

Dans le cadre du programme interministériel de lutte contre les menaces NRBC (nucléaires, radiologiques, biologiques, chimiques et explosifs), un système de prélèvement rapide de particules d'explosif comprises entre quelques microns et 1 mm, SYMOPREP, a été développé et breveté au centre du Ripault. Son objectif ? Optimiser l'efficacité du prélèvement. Les essais ont montré que les traces d'explosif organique pouvaient être collectées sur des surfaces complexes avec une efficacité plus de dix fois supérieure aux prélèvements standards réalisés par frottis. Sur la base de ces résultats, un contrat de cession du brevet d'exploitation commerciale de SYMOPREP a été conclu en avril 2022 entre le CEA et la société française AMGD.

SANTÉ ET SCIENCES DU VIVANT



**Iseult : une antenne dédiée pour l'IRM le plus puissant au monde**

Pour construire l'IRM Iseult à 11,7 teslas installé à NeuroSpin, les équipes du CEA ont réalisé de nombreuses ruptures technologiques, dont une antenne dédiée qui a fait ses preuves en 2022. C'est ainsi que les chercheurs ont réussi à acquérir des images d'un cerveau ex vivo sans artefact. Prochaine étape : obtenir l'autorisation de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM) pour faire des images in vivo chez l'homme.

PRIX



**Les équipes du CEA primées**

Les chercheurs du CEA ont remporté de nombreux prix en 2022, dont le prestigieux prix Gordon Bell pour le calcul haute performance. Il a été décerné à une équipe internationale menée par le CEA pour des travaux sur la simulation cinétique de plasma avec l'application WarpX. L'excellence du CEA s'est aussi conjuguée au féminin, avec le prix L'Oréal-Unesco pour deux jeunes chercheuses : Alexandra Colin et Elsa Ducrot. Une étudiante en radioprotection du CEA, Clara Degos, a quant à elle été lauréate du Prix Fem'Energia, de même que Céline Cruchet, technicienne en radiochimie, a reçu le prix Coup de cœur du jury.

ÉVÈNEMENT

**Salons 2022 : le CEA répond présent**

Après deux ans de pandémie et de rassemblements virtuels, les salons ont repris en 2022 et le CEA a pu y témoigner de ses avancées. Comme à Los Angeles, en janvier 2022, pour le CES (Consumer Electronics Show) où le CEA était présent avec sa prothèse intelligente et communicante FOLLOWKNEE, ainsi que trois startups. Ou à Lyon, en avril, pour la première édition du salon européen MIX.E dédié au mix énergétique bas carbone, un événement dont le CEA était sponsor premium. Énergies bas carbone également à l'honneur au Forum de l'économie circulaire pour la transition énergétique (FEET) à Montpellier en avril. Citons encore le BIG, le plus grand rassemblement business d'Europe, organisé par Bpifrance à Paris, en octobre.



ÉVÈNEMENT



**Des événements pour le grand public**

Pour éclairer les questions qui traversent la société et diffuser la culture scientifique, le CEA a déployé une multitude d'actions de médiation durant l'année. Citons par exemple la série de conférences « Science toi-même ! » au Centquatre-Paris, de février à juin. En mars a été organisée « La nuit des temps », une soirée dans plusieurs villes de France, ainsi que la journée d'accueil des lycéens « Scientifique, toi aussi ! ». Direction le festival d'Avignon en juillet, avec la pièce de théâtre « la Zircondition humaine ». Enfin, en octobre l'incontournable « Fête de la science », et en novembre « Les Utopiales », festival international de science-fiction de Nantes.

ÉVÈNEMENT

**2<sup>e</sup> édition de « La Fabrique Défense »**

Cet événement européen, lancé par le ministère des Armées, s'est tenu à Paris du 28 au 30 janvier 2022 en présence de 250 organismes partenaires. Il contribue à promouvoir l'esprit de défense auprès des 15-30 ans, à affermir le lien Armées-Nation et à constituer une « culture stratégique européenne ». La direction des applications militaires, au travers de son stand, a ainsi pu présenter ses activités, métiers et parcours de carrière.

DÉFENSE



**Visite du ministre des Armées à Valduc**

Sébastien Lecornu, ministre des Armées, a visité le centre de Valduc le 8 septembre 2022, en présence du Directeur des applications militaires et de la directrice du centre. Le ministre était accompagné du délégué général pour l'armement, de son adjoint, du chef de son cabinet militaire, et du chef de la division Forces Nucléaires de l'État-Major des Armées. Cette visite de travail a permis au ministre d'échanger avec le Directeur des applications militaires, en présence du Directeur des armes nucléaires, sur les missions de la DAM et ses grands enjeux et de mesurer, à travers les installations individuelles du centre, l'expertise des ingénieurs et techniciens qui travaillent à la fabrication des sous-ensembles nucléaires des armes de la dissuasion.



**Publication de l'ouvrage sur les essais nucléaires en Polynésie française**

L'ouvrage « Les essais nucléaires en Polynésie française : Pourquoi, comment, et avec quelles conséquences ? » a été présenté à l'occasion d'une conférence de presse organisée le 29 novembre 2022 à Papeete (Tahiti). Son objectif premier est de mettre en perspective l'histoire des essais nucléaires en Polynésie française. Il traite à la fois de l'origine des expérimentations nucléaires françaises et du choix des sites en Polynésie française, de la manière dont ont été conduits ces essais dans le cadre d'une activité conjointe entre les Armées et la Direction des applications militaires du CEA, de leurs conséquences sanitaires et environnementales, mais aussi de la mémoire et de la reconnaissance de la contribution, incontestable, des Polynésiens à la dissuasion nucléaire française.

**PARTENARIAT**

**Signature de l'accord de collaboration relatif à la gestion des déchets bitumés**

Le contrat de collaboration entre le CEA, l'Andra, Orano et EDF sur le programme de R&D « Babylone » relatif à l'acceptation en stockage des déchets bitumés a été signé le 11 mars 2022. Le programme a pour objectif d'apporter des réponses cohérentes aux demandes des autorités de sûreté, afin de pouvoir stocker les déchets bitumés de La Hague et Marcoule, en l'état, à Cigéo. Il comporte deux volets axés sur la réactivité thermique et modélisation du comportement thermique, pilotés par le CEA, et un volet dédié au comportement à long terme sous reprise d'eau, piloté par l'Andra et dans lequel le CEA intervient également.



**Déclassement de l'installation nucléaire de base « Ulysse »**

L'INB18 (installation nucléaire de base n°18), dite « Ulysse », était un réacteur nucléaire qui avait pour vocation principale l'enseignement. Il était également utilisé pour des expérimentations sous flux neutronique. Construit entre janvier et juillet 1961, ce réacteur avait divergé pour la première fois le 23 juillet 1961. Le 9 février 2007, la fin de fonctionnement du réacteur Ulysse a été prononcée. La phase de démantèlement s'est étalée de 2014 à 2019, avant la publication définitive de l'arrêté de déclassement de l'installation au Journal Officiel en juillet 2022.



**Tomographie d'un crâne de mammoth**

L'installation Chicade à Cadarache a été sollicitée afin de réaliser la tomographie d'un crâne de mammoth, en provenance du Museum national d'histoire naturelle. L'analyse a permis de tout connaître de sa composition pour les équipes de restauration de cette pièce unique, datée d'environ un million d'années. Ce crâne n'avait jamais été restauré ni démonté depuis son exposition. Le mammoth de Durfort a été découvert en 1869, entièrement fossilisé. Il avait été reconstitué avec les moyens du 19e siècle pour garantir sa tenue : bois ? plâtre ? autre ? Grâce à la tomographie X à haute énergie (jusqu'à plusieurs centaines de fois l'énergie d'une radio médicale), le mystère a été levé. Les résultats permettent aux paléontologues d'accroître leurs connaissances sur cette espèce et sur les techniques de restauration utilisées au XIXe siècle pour de nombreux fossiles.



# Gouvernance

Retrouvez ici la carte d'identité du CEA en quelques informations essentielles.

## Organisation

Pour mener à bien ses missions, le CEA s'appuie sur quatre directions dites opérationnelles, dont les activités sont implantées sur 10 sites en France, et accompagnées par des directions fonctionnelles. Ces dernières couvrent l'ensemble des fonctions support de l'organisme : finances et programmes, ressources humaines et relations sociales, communication, juridique et contentieux, achats et partenariats, relations internationales, audit, risques et contrôle interne. Le CEA administre, par ailleurs, l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN), organisme d'enseignement supérieur et de formation continue dans les domaines des énergies bas carbone et des technologies de la santé.

### 1- Siège social

#### Centres d'étude civils

- 2- Paris-Saclay (établissements de Fontenay-aux-Roses et de Saclay)
- 3- Grenoble
- 4- Marcoule
- 5- Cadarache

#### Centres pour les applications militaires

- 6- DAM Île de France
- 7- Le Ripault
- 8- Valduc
- 9- Cesta
- 10- Gramat



## ◆ 4 directions opérationnelles

### La Direction des applications militaires (DAM)

La Direction des applications militaires du CEA est chargée de missions au service de la défense et de la sécurité de la France. Elle conçoit, fabrique et garantit la sûreté et la fiabilité des têtes nucléaires de la dissuasion. Elle conçoit et réalise les chaufferies nucléaires qui propulsent les bâtiments de la Marine nationale. Elle apporte aussi un appui technique aux autorités dans la lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme. Elle met également son expertise au service de la Défense pour évaluer et maîtriser les effets et la vulnérabilité des armements conventionnels.

### La Direction des énergies (DES)

La Direction des énergies du CEA apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation pour la mise en œuvre d'un système énergétique bas carbone. Avec une approche intégrée du système énergétique, la DES s'intéresse à tous les modes de production d'énergie bas carbone (énergie nucléaire, nouvelles technologies de l'énergie), à leurs interactions au sein du réseau (stockage, pilotage, conversion), et à la problématique des ressources dans une logique d'économie circulaire des matières. Le tout prenant en compte les dimensions technico-économiques, sociétales et politiques.

### La Direction de la recherche technologique (DRT)

La Direction de la recherche technologique du CEA aborde les grands enjeux sociétaux et industriels du XXI<sup>e</sup> siècle en développant et en diffusant des technologies, pour tous les secteurs industriels et tous les types d'entreprises, qui contribuent à l'accompagnement de la transition numérique dans la société, à l'amélioration de la santé publique et au respect de la planète.

### La Direction de la recherche fondamentale (DRF)

La Direction de la recherche fondamentale du CEA exerce ses activités dans les domaines des biotechnologies et de la santé, des sciences de la matière et de l'Univers, de la physique, du climat et des nanosciences. Elle place au cœur de ses objectifs la production et la publication de connaissances et de savoir-faire au meilleur niveau mondial. Ses travaux constituent des sources indispensables pour les autres missions du CEA.

## ◆ 6 missions

La recherche sur l'atome reste stratégique pour les applications dans le domaine des nouvelles technologies, de la défense, des énergies bas carbone, du numérique et de la santé.

Le CEA intervient aujourd'hui dans 6 missions :

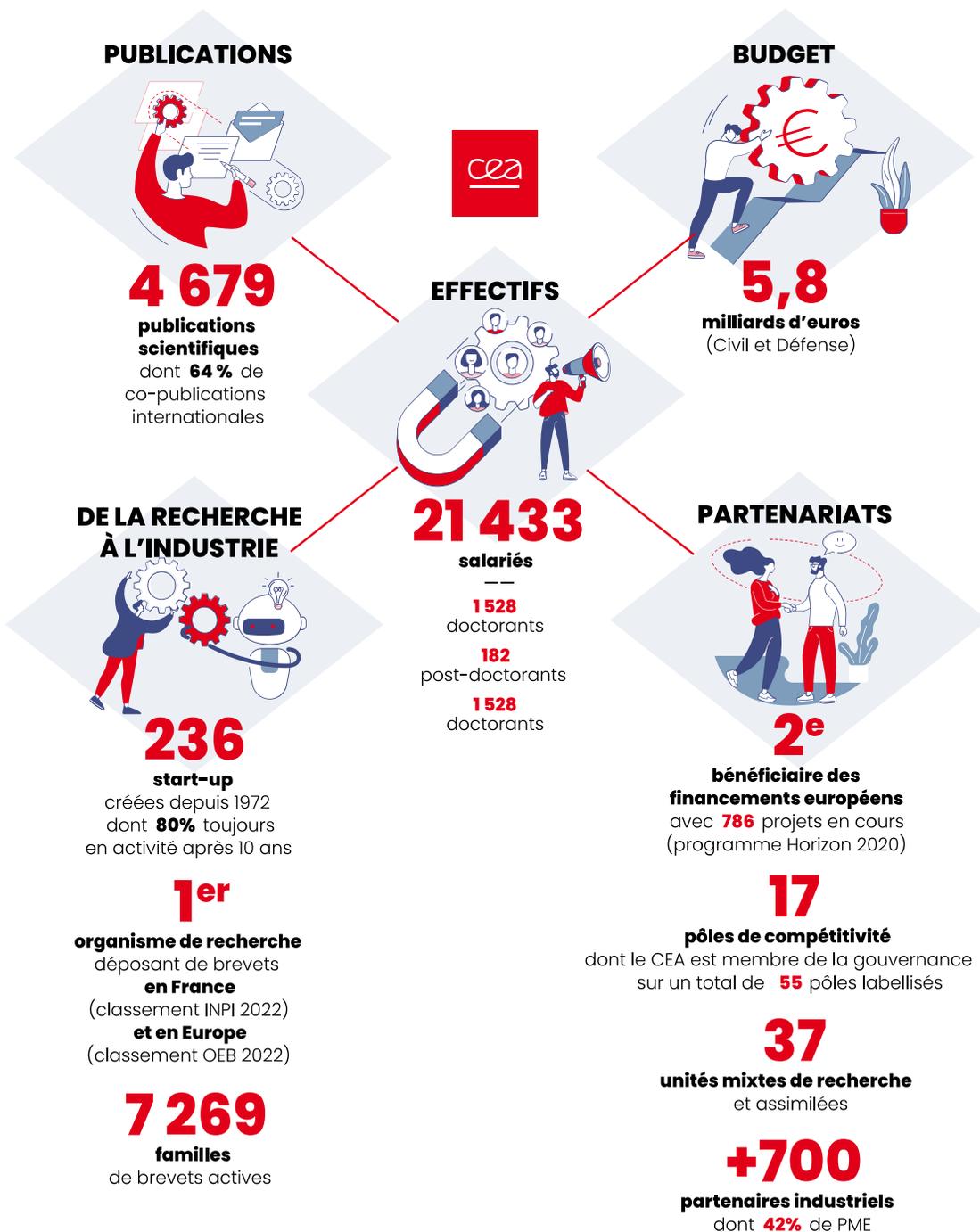
- ▶ **Défense et la sécurité**
- ▶ **Énergies**
- ▶ **Transition numérique**
- ▶ **Technologies pour la santé**
- ▶ **Recherche fondamentale**
- ▶ **Assainissement-démantèlement**

## ◆ 7 plateformes régionales de transfert de technologie (PRTT)

- ▶ Hauts-de-France (Lille)
- ▶ Grand Est (Metz)
- ▶ Région Sud (Cadarache et Nice)
- ▶ Occitanie Pyrénées-Méditerranée (Toulouse et Montpellier)
- ▶ Nouvelle-Aquitaine (Bordeaux)
- ▶ Pays de la Loire (Nantes)
- ▶ Bretagne (Quimper)

# Chiffres clés

Retrouvez ci-dessous l'ensemble des chiffres clés du CEA au 31 décembre 2022.



## Ressources humaines

Qu'il s'agisse de télétravail, de qualité de vie au travail, de recrutement, de formation, d'outils de travail ou de management, la politique de ressources humaines du CEA est tournée vers les salariés. Les avancées de 2022 en témoignent.



### Au cœur des évolutions sociétales

Attentif à l'évolution des modes de travail, le CEA a signé en juin 2022 un accord portant à cent le nombre de jours de télétravail. Avec un maximum de trois jours par semaine pour pouvoir préserver le collectif. Ce droit est accessible à tous les salariés qui, avec l'accord de leur manager, peuvent réaliser leurs tâches à distance.

Par ailleurs, pour rester à l'écoute des équipes et de leurs attentes, le CEA a renouvelé en 2021 son enquête de climat social et a mis en place en 2022 les actions issues de ses constats, notamment en matière de qualité de vie et conditions de travail (QVCT) et de simplification des processus. Cette enquête sera renouvelée prochainement.

**1047**

recrutements en CDI en 2022, dont 60 % ont moins de 35 ans.

Le CEA accueillait également 1 528 doctorants, 183 post-doctorants et 1 055 alternants au 31 décembre 2022.

### Des outils de travail simplifiés

Priorité des salariés, comme en témoigne l'enquête de 2021, la simplification des processus passe par des outils modernes. C'est dans ce but que le CEA a lancé en 2022 le programme Convergence. Il prévoit de moderniser les outils achats, finances et RH d'ici à 2026. L'occasion pour chacun de se réinterroger sur ses besoins pour alléger la charge procédurale.

En matière de formation, le CEA a par ailleurs poursuivi en 2022 le développement du Learning Management System (LMS) permettant de suivre des formations en mode hybride, mixant présentiel et distanciel.

Enfin, le processus de recrutement a également été revu et simplifié afin que chaque direction soit plus performante et réactive dans le choix de ses candidats.

**Environ  
3 000**

recrutements prévus d'ici à 2025.

### À l'écoute des salariés

En réponses à l'enquête CEA de 2021 et à celle diligentée par les partenaires sociaux, le CEA a travaillé en 2022 sur un plan de QVCT qui sera présenté aux instances représentatives en 2023. Il met l'accent sur sept axes : la stratégie et le sens au travail, le modèle managérial, la simplification des processus, l'accompagnement des RH, la charge de travail et le droit à la déconnexion, la valorisation du cadre de travail et la prévention des RPS.

## Formation et enseignement

La mission du CEA de transférer les connaissances acquises par ses laboratoires et de contribuer à l'enseignement supérieur est en grande partie portée par l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN), couvrant tous les niveaux de qualification, de l'opérateur jusqu'à l'ingénieur spécialisé.



L'INSTN délivre ses propres diplômes d'ingénieur spécialisé en génie atomique, de techniciens en radioprotection et de physiciens médicaux. Il est également partenaire d'une quarantaine de diplômes d'enseignement supérieur en intégrant, par convention, des pôles nationaux de recherche et de formation comme l'université Paris-Saclay, l'université Grenoble Alpes ou encore Aix-Marseille université. Il collabore avec de nombreuses écoles d'ingénieurs : Polytechnique, l'Ensta, Phelma... L'INSTN fait partie des onze écoles du réseau des écoles supérieures du développement durable, reconnu par le ministère de la Transition écologique. Il est désigné collaborant centre de l'AIEA. Également organisme de formation continue, l'INSTN permet aux salariés du CEA de gagner en compétences et accompagne le maintien et le développement des compétences des collaborateurs de tous les grands donneurs d'ordre de la filière nucléaire.

**700**

étudiants de bac +2  
à bac +7 formés chaque  
année à l'INSTN

### La formation, enjeu de souveraineté nationale dans la relance du nucléaire

Avec 220 000 emplois et plus de 2 600 entreprises, le nucléaire est la troisième filière industrielle française. Une filière que le gouvernement a décidé de relancer pour atteindre les objectifs de décarbonation et de souveraineté énergétique du pays. Cela va nécessiter de recruter 10 à 15 000 techniciens et ingénieurs par an dans les dix prochaines années. Ces talents sont indispensables pour les chantiers du nouveau nucléaire, dont les réacteurs EPR2, et pour les opérations de grand carénage. L'INSTN va y contribuer en formant chaque année plus de 700 étudiants, mais aussi en tant que membre de l'Université des métiers du nucléaire (UMN) chargée, par l'État, de mettre au point un plan d'action « compétences » de la filière. Le diplôme d'ingénieur spécialisé en génie atomique, délivré par le CEA depuis 1955, a déjà augmenté ses effectifs de 90 % en 5 ans.

**De 10 000  
à 15 000**

recrutements par  
an dans le nucléaire  
au cours des dix  
prochaines années

## Intégrité scientifique

Parce que l'intégrité scientifique est indispensable à la crédibilité de la science et à la confiance que lui accorde la société, le CEA l'a placée au cœur de ses activités de recherche. Il y consacre des moyens importants pour sensibiliser et outiller ses 15 000 acteurs de recherche : ingénieurs, chercheurs, techniciens et gestionnaires de données, etc.



**15 000**

**acteurs de recherche :**  
ingénieurs, chercheurs,  
techniciens  
et gestionnaires  
de données, etc.

### Un réseau d'acteurs dédiés

Depuis 2021, 26 personnes déploient la politique d'intégrité scientifique au sein du CEA, sous la responsabilité du Référent à l'intégrité scientifique (RIS). Ce réseau se compose d'un comité et de 19 correspondants désignés dans les instituts ou les centres. Outre des réunions tous les trois mois, ces acteurs se sont retrouvés lors d'un séminaire annuel en octobre 2022, pour travailler sur la place du chercheur dans le débat public, en interaction avec des référents d'autres entités de recherche. Le RIS du CEA intervient par ailleurs dans les structures nationales sur le sujet : l'Office français d'intégrité scientifique (OFIS) et le Réseau national des référents à l'intégrité scientifique (RESINT).

### Des actions de sensibilisation et un module en e-learning

Au-delà des conférences que le RIS anime régulièrement dans les directions et instituts, le CEA a conçu en 2022 un module de formation en e-learning d'1h30 accessible à tous les acteurs de recherche travaillant au CEA, quel que soit leur métier ou leur statut. Objectif : leur permettre de se former à leur rythme aux enjeux de l'intégrité scientifique, son périmètre et ses méthodes, mais aussi aux différents types de manquements et aux moyens de prévention. Mis en ligne début 2023, ce module a été suivi par près de 500 personnes dès la première semaine.

### De nouveaux outils pour renforcer l'intégrité scientifique

Après le guide des bonnes pratiques CEA en matière d'autorat de publications, publié en 2021, le CEA a étoffé ses outils d'intégrité scientifique en 2022. Pour aider à prévenir le plagiat, un logiciel d'analyse de similitude a été expérimenté et le CEA envisage de l'optimiser en travaillant avec son éditeur. Par ailleurs, les chercheurs disposent désormais de clauses-types d'intégrité scientifique à insérer dans leurs contrats partenariaux ou leurs réponses aux appels à projets.

# CRÉDITS

---

## Film d'accueil

N/A

## Avant-propos de François Jacq

© CEA

## Innovation et sobriété

**Innovier sur tous les fronts** : © A. Aubert/CEA

Faits marquants : © M. Hartmann/CEA, © Franck Ardito, © CEA

**La sobriété au cœur des actions du CEA** : N/A

Faits marquants : © Red Dot/Unsplash, © Matthew Smith/Unsplash, © CEA

## Répondre aux enjeux de la souveraineté

**Au service de la souveraineté française**

Vidéo d'ouverture : N/A

Moteur de la recherche et de l'innovation : © RyanJLane

Faits marquants : © Inocel/CEA, © PEPR Cybersécurité/CEA

Soutenir les enjeux de défense nationale : © Marine nationale/Défense

Faits marquants : © CEA, © NAVAL GROUP, © CEA, © CEA, © CEA, © CEA,

**Accompagner la souveraineté européenne**

Vidéo d'ouverture : N/A

Le CEA engagé dans la présidence française de l'Union européenne (PFUE) : © Oliver Cole/Unsplash

Faits marquants : © Guillaume Périgois/Unsplash, © A. Aubert/CEA

Le CEA mobilisé pour le « Chips Act » : © A. Aubert/CEA

## Accélérer la transition énergétique

**Innovier pour un mix énergétique décarboné**

Vidéo d'ouverture : N/A

Les innovations dans les technologies des énergies : N/A

Faits marquants : © P. Stroppa/CEA, © P. Dumas/CEA, N/A, © P. Dumas/CEA, N/A, © CEA

Les innovations pour la sobriété énergétique : N/A

Faits marquants : N/A, © Y. Audic/CEA, N/A, © A. Aubert/CEA

Relier technologie et économie pour la sobriété énergétique : © CEA

Faits marquants : © Riccardo Annandale/Unsplash, © Federico Beccari/Unsplash

**Le CEA face aux enjeux climatiques** : N/A

Vidéo d'ouverture : N/A

Faits marquants : © François Dulac, © Science of the total Environment, © Konsta Punkka, © Jeremy Bishop/Unsplash

## Soutenir l'innovation industrielle

**Le numérique en pleine mutation** : N/A

Vidéo d'ouverture : N/A

Faits marquants : © CEA, © Arcure, © CEA, © CEA

**Les enjeux de la microélectronique** : N/A

Vidéo d'ouverture : N/A

Faits marquants : © CEA, N/A

**Des technologies de rupture innovantes et frugales**

Vidéo d'ouverture : N/A

La nouvelle révolution quantique : N/A

Faits marquants : N/A, © F. Henry/CEA

Au service de la médecine de demain : N/A

Faits marquants : © L. Godart/CEA, © CEA, © P. Avavian/CEA, N/A

## Ça s'est passé en 2022

Vidéo d'ouverture : N/A

© L. Godart/CEA, © NASA/ESA/CSA/STScI, © HADRONs, © PF. Grosjean/CEA, © CEA, © CEA, N/A, N/A, © CEA, © CEA, © CEA, © CEA

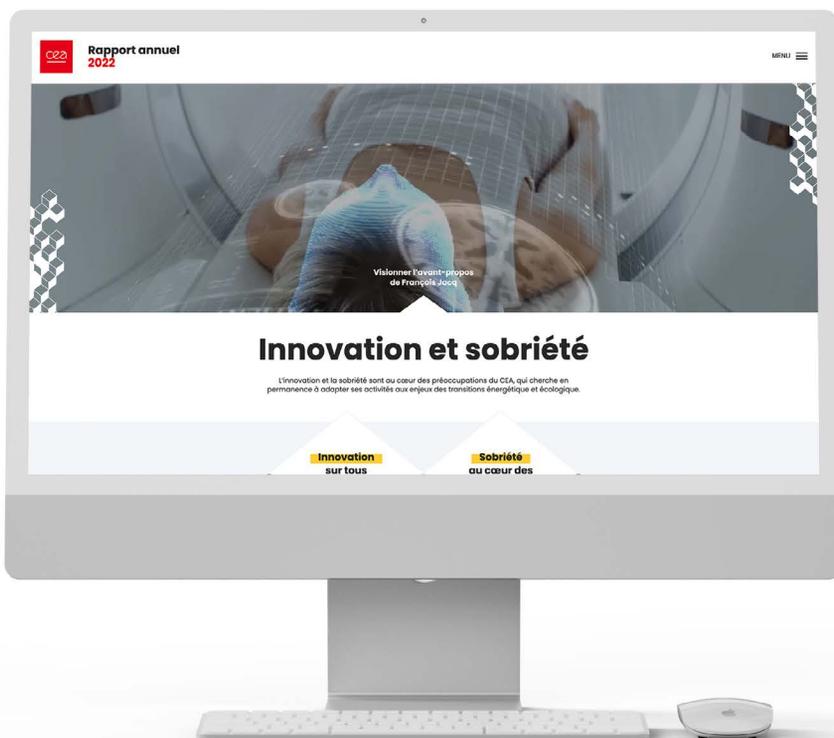
## Gouvernance

Vidéo d'ouverture : © CEA / AM. Gendre-Peter

---

Nous suivre sur...





Retrouvez également  
le rapport annuel du CEA sur  
[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

**Rapport  
annuel  
2022**

