



Fission nucléaire

L'énergie est un facteur clé du développement économique, social et sanitaire.

L'augmentation de la population mondiale et le développement économique des pays émergents vont conduire d'ici une vingtaine d'années à un doublement des besoins mondiaux en énergie. La question majeure pour ce début de 21^{ème} siècle est de savoir comment satisfaire cette demande tout en limitant le recours aux énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon), responsables du réchauffement climatique et dont les réserves s'épuisent rapidement.

La politique d'avenir consiste à conjuguer la maîtrise des consommations, le développement des énergies renouvelables et l'énergie nucléaire.

Les réacteurs nucléaires : des premières générations à celles du futur



Chinon : centrale de génération 1



Belleville : centrale de génération 2



Maquette EPR : centrale de génération 3

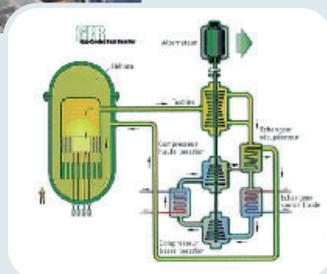


Schéma d'une centrale de génération 4

La mise en service des premières générations de réacteurs remonte à 1963 avec la filière Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG), dont l'exploitation a pris fin en 1994.

Les réacteurs à eau pressurisée (REP), dits de génération II, sont exploités depuis 1977. Actuellement, en France, 58 réacteurs de ce type produisent près de 80% de l'électricité consommée.

A l'horizon 2011, l'EPR (European Pressurised Reactor), réacteur de troisième génération, optimisant la filière à eau pressurisée, sera mis en service en Finlande, puis en France.

Dans le cadre du Forum International Génération IV, six concepts de réacteurs du futur sont à l'étude et visent à intégrer le nucléaire dans une logique de développement durable.

Ces réacteurs de quatrième génération seront plus performants, plus sûrs, utilisant jusqu'à cinquante fois moins de ressources naturelles, limitant le risque de prolifération et la quantité de déchets générés.

Le CEA axe principalement ses recherches sur les filières qui mettent en œuvre des réacteurs à neutrons rapides, refroidis au sodium ou au gaz, dans la perspective de la mise en service en France d'un prototype en 2020.

La recherche dans le domaine de la fission nucléaire à Cadarache

Depuis sa création en 1959, le Centre de Cadarache a été l'un des principaux contributeurs au développement des différentes filières de réacteurs nucléaires. Il dispose actuellement de compétences et d'installations de renommée internationale dans les domaines des réacteurs, des combustibles et de la technologie nucléaire.

Réacteur expérimental EOLE



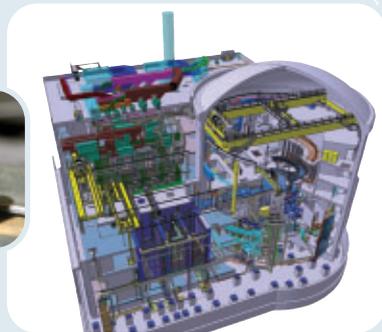
Simulation d'un mélange d'eau de refroidissement à l'intérieur d'un REP



Piscine du réacteur RES pour la propulsion nucléaire navale



Pastilles de combustible nucléaire utilisées actuellement (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium)



Réacteur expérimental Jules Horowitz



Expérience d'écoulement de corium pour la maîtrise de situations accidentelles

Les réacteurs nucléaires

Les activités et compétences de Cadarache concernent :

- la physique des réacteurs (neutronique et thermohydraulique), avec le développement de logiciels de simulation dont la qualification s'effectue à l'aide de supports expérimentaux, du banc d'essai jusqu'aux réacteurs de recherche.
- la conception des réacteurs électrogènes de 4^{ème} génération et des chaudières nucléaires pour la propulsion navale.
- l'amélioration continue dans le domaine de la sûreté nucléaire notamment par des expérimentations dans des réacteurs de recherche dédiés à l'étude de situations accidentelles.

La conception et la qualification des combustibles nucléaires actuels et futurs

Nos recherches associent simulation numérique et expérimentation pour :

- élaborer des lois physiques de comportement des matériaux,
- développer de nouveaux concepts de combustibles et fabriquer des combustibles expérimentaux pour les systèmes nucléaires du futur,
- tester le comportement des combustibles sous irradiation.

L'évolution des technologies nucléaires

Il s'agit principalement de définir, tester et qualifier les composants de réacteurs pour les différents systèmes nucléaires. Ces études intègrent l'analyse des performances des fluides caloporteurs et la maîtrise technologique des situations accidentelles telles que la fusion d'un cœur de réacteur.

Cadarache est également reconnu pour son expertise dans le domaine des mesures nucléaires appliquées à la caractérisation de colis de déchets, d'objets archéologiques ou à la détection de matières explosives.



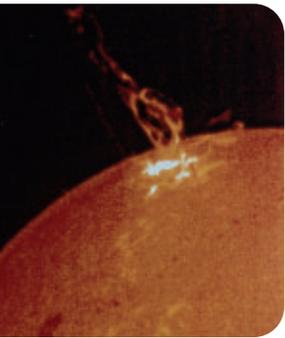
Fusion nucléaire

La fusion thermonucléaire vise à reproduire sur terre l'énergie des étoiles.

Lorsque la matière atteint des températures et des densités très élevées, comme au cœur du soleil, les atomes d'hydrogène fusionnent et libèrent une importante quantité d'énergie. C'est cette réaction que cherchent à reproduire sur terre les scientifiques.

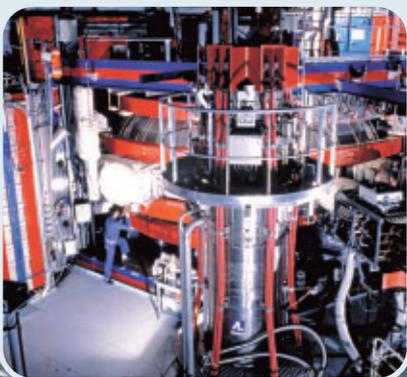
Pour cela, il faut atteindre et maintenir des températures de l'ordre de 100 millions de degrés, tout en étant capable d'isoler des parois de la machine, la matière à l'état de gaz ionisé (plasma) par de puissants aimants : c'est la configuration tokamak.

Les recherches sur la fusion à Cadarache s'effectuent actuellement dans l'installation TORE SUPRA, tokamak à aimant supraconducteur. A partir de 2018, elles seront également effectuées dans le réacteur international ITER.



Protubérance éruptive du bord du soleil

Depuis 1988, date de sa mise en service, l'installation de recherche TORE SUPRA est le plus grand tokamak à aimant supraconducteur du monde, portée par l'association européenne EURATOM/CEA.



Vue générale de TORE SUPRA



Chambre à vide de TORE SUPRA dans laquelle circule le plasma lors des essais

Dans cette machine, le confinement du plasma est obtenu par la superposition de deux champs magnétiques qui agissent comme des rails invisibles guidant les particules. C'est le fonctionnement quasi-ininterrompu de son aimant associé à des composants activement refroidis qui confère à TORE SUPRA la capacité de réaliser des plasmas performants sur des durées longues.

Pour atteindre ses objectifs scientifiques, TORE SUPRA dispose de moyens de chauffage du plasma par micro-ondes pour une puissance totale disponible de l'ordre de 15 MWth*.

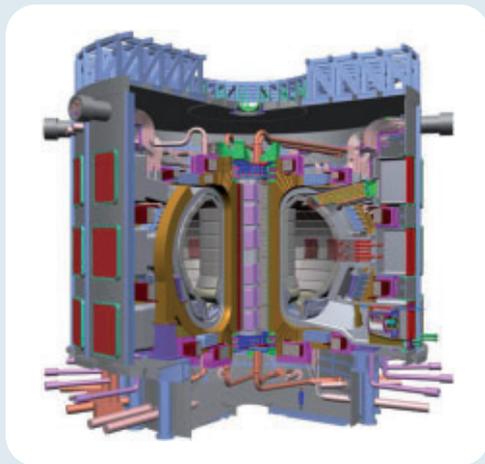
La paroi interne du tokamak est refroidie en permanence par un circuit d'eau à haute pression.

En complément, un dispositif particulier appelé limiteur plancher circulaire permet d'évacuer une grande partie de la puissance cédée par le plasma ; c'est ce qui a permis à TORE SUPRA d'obtenir en 2003 le plasma record avec une décharge de plus de six minutes, pendant laquelle a été injectée et extraite une énergie de l'ordre de 300 kWh.

Les équipes de Cadarache sont également impliquées dans les programmes conduits dans le tokamak JET en Grande-Bretagne qui, quant à lui, a établi en 1997 le record mondial de puissance de fusion avec 16 MW.

* MWth (Mega Watt thermiques) unité de mesure de la puissance thermique (chaleur)
MWe (Mega Watt électriques) unité de mesure de la puissance électrique

Cadarache accueille avec ITER, l'un des projets de recherche les plus importants du 21^{ème} siècle.



Installation de recherche ITER



Vue d'artiste du site ITER dans la forêt domaniale de Cadarache

Limite du site CEA Cadarache

Machine de recherche TORE SUPRA



En choisissant d'implanter ITER à proximité du CEA Cadarache, les partenaires du projet ITER bénéficient d'un environnement exceptionnel de chercheurs et d'expertise scientifique et technologique.

Constituant une étape clé dans l'histoire des recherches sur la fusion, ITER sera la première installation de recherche au monde à intégrer les développements technologiques conduits en parallèle en Europe avec TORE SUPRA à Cadarache ou le JET en Angleterre et dans le monde avec le JT-60 au Japon et le TFTR aux Etats-Unis par exemple.

ITER a pour but de démontrer la faisabilité de la fusion comme une source d'énergie potentielle. Cette dernière étape de recherche franchie, ce sera au démonstrateur DEMO de produire de l'électricité en 2040.

De très hautes températures doivent être atteintes dans ITER pour créer des réactions de fusion qui ressemblent à celles qui existent au cœur du soleil. Ces températures permettent aux atomes de deutérium et de tritium (isotopes de l'hydrogène), introduits sous forme gazeuse au cœur du réacteur de recherche, de fusionner. Avec ITER, il s'agit d'obtenir des réactions de fusion avec une énergie dix fois supérieure (500 MW) à celle qui aura été fournie (50 MW).

Il s'agit aussi de tester des équipements pour les futurs réacteurs industriels de fusion.

ITER constitue l'une des plus importantes collaborations internationales. Le projet rassemble la Chine, les Etats-Unis, l'Europe, la Fédération de Russie, l'Inde, le Japon et la République de Corée, soit plus de la moitié de la population mondiale.

ITER en quelques chiffres (estimations)

	Phase de construction (10 ans)	Phase d'exploitation (20 ans)
Nombre de personnes employées directement par ITER	500 à Cadarache	1 000 à Cadarache dont 600 pour l'exploitation et 400 scientifiques
Emplois indirects ou induits	3 000 en France dont 1 400 en PACA	3 250 en France dont 2 400 en PACA
Montant des dépenses estimées	180 millions d'euros par an sur 10 ans dont 100 en PACA	165 millions d'euros par an sur 20 ans dont 135 en PACA

Nouvelles Technologies de l'Énergie

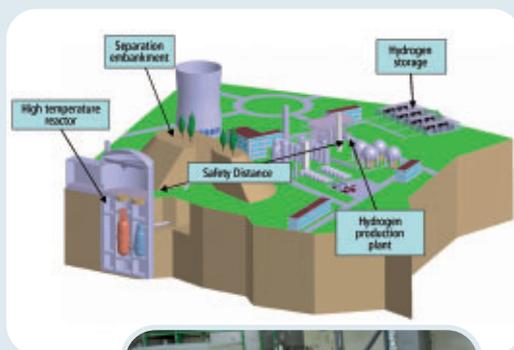
Le Centre de Cadarache est impliqué dans les recherches sur l'hydrogène, la production de carburants de synthèse et le solaire.

Les recherches sont axées notamment sur :

- la production en masse d'hydrogène et la maîtrise des procédés,
- les procédés à haute température de valorisation énergétique de la biomasse,
- les essais de composants photovoltaïques en ensoleillement réel.



L'hydrogène et les carburants de synthèse pourraient constituer des vecteurs énergétiques de substitution au pétrole dans les prochaines décennies.



Vue d'artiste du couplage d'un réacteur nucléaire avec une usine de production d'hydrogène

A Cadarache, des recherches sont conduites pour produire de l'hydrogène à partir d'énergie nucléaire.

Les procédés de production d'hydrogène nécessitent des températures élevées qui pourraient être obtenues dans des réacteurs nucléaires de quatrième génération.

Des études technologiques sont ainsi conduites afin de définir et de qualifier les composants qui permettront de récupérer et transférer la chaleur produite par ces réacteurs.

La biomasse, ressource forestière et agricole, est une source d'énergie renouvelable non génératrice de gaz à effet de serre. Elle est potentiellement utilisable pour produire des carburants de synthèse, compatibles avec les moteurs traditionnels. Le programme de recherche concerne un procédé thermochimique mettant en œuvre une étape de gazéification de la biomasse à haute température.



Pilote BIOMASSE

Les essais de composants photovoltaïques en ensoleillement réel permettent de réaliser des tests nécessitant une qualité d'ensoleillement particulière



test sur des panneaux solaires photovoltaïques

A Cadarache, les recherches sur le solaire se concentrent sur la thermique de l'habitat (composants, intégration au bâtiment...) et la production d'électricité par modules photovoltaïques (connexion au réseau, habitats isolés, pompage et traitement de l'eau...). Ces essais s'inscrivent dans le cadre de projets européens et français ou de prestations aux industriels. Environ 1 millier de modules photovoltaïques sont disponibles sur le site.

Les tests en ensoleillement réel de la plate-forme de Cadarache constituent un soutien technologique à l'Institut National de l'Énergie Solaire, implanté depuis 2005 à Chambéry.



Biologie végétale et Microbiologie

Les recherches des biologistes du CEA Cadarache portent sur la compréhension des mécanismes d'adaptation mis en place par les végétaux, les microalgues et les bactéries dans des conditions environnementales très variées (pollutions diverses, rayonnements ionisants, forte lumière, manque d'eau...).

Elles visent également à étudier les voies de synthèse de molécules énergétiques telles que l'hydrogène ou les lipides de réserve, en vue de développer des procédés nouveaux de production de biocarburants.

Les travaux de recherche sont effectués dans le cadre d'étroites collaborations avec :

- le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) - des Universités (notamment Aix-Marseille II)
- l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) - l'Institut de Recherches pour le Développement (IRD)
- l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN), des entreprises...

Culture de plantes in vitro pour étudier la photosynthèse



Adaptation des plantes et des bactéries à l'environnement

Etude des mécanismes d'adaptation et de protection.
Processus fondamentaux de la photosynthèse.

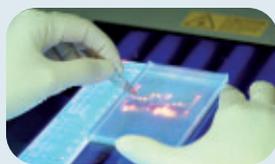
Attaque bactérienne de micelles de tributyl phosphate pour étudier sa biodégradation



Toxicologie chez les plantes et les bactéries

- Etude des mécanismes de tolérance aux toxiques, d'adaptation et de stockage.
- Etude des interactions racines - bactéries du sol et du transfert des toxiques (notamment des métaux lourds) du sol vers les plantes.

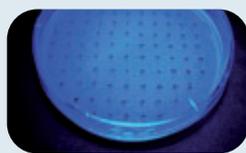
Gel d'ADN de plantes pour étudier les effets de l'irradiation



Radiobiologie

Etude de la réponse des plantes et des bactéries à des rayonnement ionisants.

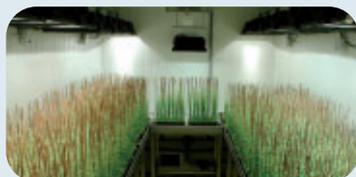
Recherche de microalgues à capacité de production d'hydrogène modifiée



Bioénergie

Étude des mécanismes de production d'hydrogène ou de biocarburant lipidique par les microalgues.

Phytotrons pour la culture en conditions contrôlées de plantes



Phytotechnologie

- Mise au point de systèmes de mesures et de culture de plantes en conditions contrôlées.
- Marquage isotopique (isotopes stables ou radioactifs).



Sûreté - Sécurité

La sécurité : une priorité absolue

Toute installation nucléaire, de sa création jusqu'à son déclassé, est sous le contrôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Dès sa conception, des principes fondamentaux de sûreté sont mis en œuvre :

- confinement des matières nucléaires : des barrières successives sont interposées entre les matières et l'environnement,
- analyse des risques associés au fonctionnement de l'installation en situation normale ou accidentelle,
- mise en place de moyens visant à réduire l'occurrence de ces risques et à en limiter les impacts éventuels.

Chaque installation du Centre fait l'objet de procédures strictes d'exploitation. Des contrôles internes et externes sont régulièrement effectués, ainsi que des remises à niveau, en particulier vis à vis des risques d'incendie ou de séisme.



Télémanipulation de combustibles irradiés isolés dans une cellule protégée

Radioprotection du personnel

A chaque poste de travail, les risques radiologiques sont identifiés et font l'objet de dispositions particulières afin de limiter, suivre et contrôler le niveau d'exposition aux rayonnements ionisants des salariés.

L'ensemble du personnel fait l'objet d'un suivi médical régulier tout au long de sa carrière par le service de santé au travail du Centre de Cadarache.



Contrôle de l'accès au site

Protection physique du site

Le contrôle d'accès au Centre, la sécurité routière, la surveillance incendie et le gardiennage sont assurés par les services de sécurité de Cadarache.

Ces équipes, rompues aux techniques d'intervention des sapeurs-pompiers et des forces de l'ordre, et dotées de moyens de télésurveillance, sont susceptibles d'intervenir lors d'incidents ou d'accidents de toutes natures : techniques, radiologiques ou chimiques, et également en cas d'incendie et de tentatives d'intrusion.



flotte d'intervention pour la sécurité incendie



Décontamination de véhicules lors d'un exercice

Gestion des situations accidentelles

Le Centre de Cadarache dispose d'un plan d'urgence interne (PUI). Ce plan d'urgence peut être déclenché par le directeur dès qu'une anomalie susceptible d'affecter la sécurité des personnes ou des installations est détectée. Le PUI décrit tous les dispositifs, mesures et moyens de secours à mettre en œuvre.

Plus de cinquante exercices de sécurité destinés à entraîner les équipes d'intervention sont organisés chaque année.

Si les conséquences d'une situation accidentelle sont susceptibles de s'étendre au-delà des limites du Centre, un Plan Particulier d'Intervention (PPI) peut être mis en œuvre.

Elaboré par la Préfecture des Bouches-du-Rhône et le CEA Cadarache, il vise à informer les populations, garantir leur sécurité et faciliter l'action des secours.

Les organismes de contrôle des activités du CEA Cadarache

Interne

Cellule de Sécurité d'Etablissement
Cellule de Sûreté et des Matières Nucléaires

Externe national

Autorité de Sûreté Nucléaire
Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE)
Autorité de Sûreté des activités de Défense (DSND)

Externe internationale

Euratom
Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA)...



Télesurveillance du site



Impact sur l'environnement



Pour mener à bien ses programmes de recherche, le CEA Cadarache exploite des installations nucléaires. Les déchets générés, leur devenir et leur impact sur l'environnement sont l'objet d'une attention constante :

- Gestion des déchets : collecte, transport, conditionnement, entreposage, transfert vers les sites de stockage dédiés en sont les principales étapes.
- Assainissement et démantèlement d'installations : sur Cadarache, plusieurs chantiers sont en cours concernant d'anciens réacteurs de recherche et ateliers technologiques.
- Surveillance de l'environnement : prélèvements, analyses, mesures et contrôles sont effectués quotidiennement.

→ **Tous les déchets radioactifs liquides ou solides sont gérés selon une réglementation extrêmement précise recouvrant leur transport, leur traitement et leur devenir**

Contrôle et
manutention
de fûts
de déchets



La collecte et le transport

Les déchets sont conditionnés dans des conteneurs spécifiques de transport selon leur nature.

Sur le Centre de Cadarache, en moyenne, 500 transports externes et 1 000 transports internes sont effectués chaque année.

De nouvelles installations pour le traitement et le conditionnement des déchets

Les déchets liquides font l'objet d'un traitement physico-chimique. Les déchets solides sont traités par des procédés industriels de décontamination, tri, découpe, compactage puis sont enrobés dans du ciment et conditionnés dans des conteneurs en acier ou en béton.

La station de traitement des déchets solides traite un millier de m³/an et la station de traitement des effluents de l'ordre de 650 m³/an.

Avec les nouvelles installations : CEDRA, ROTONDE, AGATE (traitement des effluents) et MAGENTA (magasin de matières), c'est toute la logistique des services nucléaires qui fait appel aux technologies les plus modernes.

ROTONDE :
tri et expédition de
colis de déchets
de faible et très
faible activité



CEDRA :
entreposage de
colis de déchets



Contrôle radiologique sur un colis de déchets de faible activité



Puits pour l'entreposage de déchets moyennement radioactifs

Le devenir des colis de déchets

Chaque colis de déchets fait l'objet de contrôles réguliers et est accompagné d'une fiche suiveuse qui caractérise son contenu chimique et radiologique.

Sur le Centre, les colis de déchets de moyenne activité sont entreposés dans des installations adaptées et surveillées.

Les colis de déchets de très faible et faible activité radiologique sont transférés vers les centres de stockage de l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA).

L'assainissement et le démantèlement des anciennes installations

Vue générale du réacteur RAPSODIE en cours de démantèlement



Les anciennes installations du CEA font l'objet d'un plan national d'assainissement et/ou de démantèlement.

Sur Cadarache, nos équipes pilotent ainsi plusieurs chantiers concernant d'anciens réacteurs de recherche ou des ateliers technologiques.

La surveillance de l'environnement

Laboratoire d'analyses du service de protection contre les rayonnements



Prélèvement d'échantillons pour la surveillance radiologique de l'environnement



Les rejets de chaque installation nucléaire de base ou installation classée pour la protection de l'environnement sont soumis à une réglementation précise fixée par les pouvoirs publics.

Quotidiennement, de très nombreux prélèvements d'air, d'eau, de sols et de végétaux font l'objet d'un ensemble d'analyses, de mesures et de contrôles permettant de connaître à tout instant et en tous points l'état radiologique des installations, du site et de son environnement proche.