



Fission nucléaire

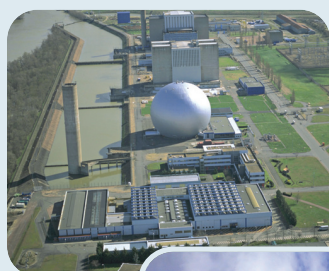
L'énergie est un facteur clé du développement économique, social et sanitaire.

L'augmentation de la population mondiale et le développement économique des pays émergents vont conduire d'ici quelques décennies 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 alternatives et de l'énergie nucléaire.

Les réacteurs nucléaires : des premières générations à celles du futur

Chinon :
centrale de
génération 1



Dampierre-en-Burly :
centrale de
génération 2



Maquette EPR :
centrale de
génération 3

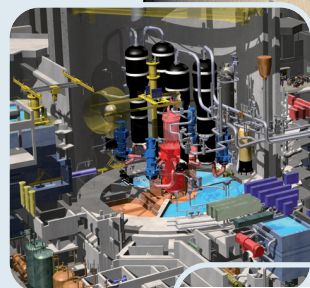
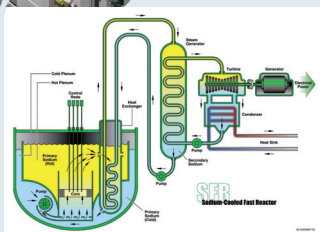


Schéma d'une
centrale de
génération 4



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 2, sont exploités depuis 1977. Actuellement, en France, 58 réacteurs de ce type produisent près de 80% de l'électricité consommée.

A l'horizon 2013, l'EPR (European Pressurised Reactor), réacteur de troisième génération, optimisant, dans les domaines de la sûreté et de la gestion des déchets, la filière à eau pressurisée, sera mis en service en Finlande, puis en France.

Dans le cadre du Forum International Génération 4, plusieurs 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, utiliseront jusqu'à cent fois moins de ressources naturelles, limiteront le risque de prolifération et la nocivité des déchets générés.

Le CEA oriente 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 du prototype ASTRID* en 2020.

* *Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration*

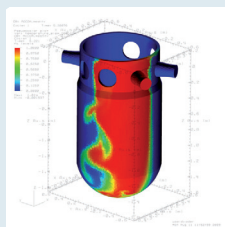
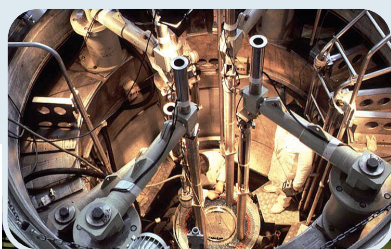
Fission nucléaire



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



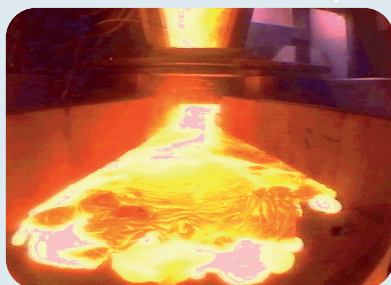
Piscine du réacteur RES pour la propulsion nucléaire navale



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



Réacteur expérimental Jules Horowitz (vue d'artiste)



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 la mise au point de logiciels de simulation dont la qualification s'effectue à l'aide de moyens 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 avec 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 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 de l'instrumentation nucléaire appliquée aux réacteurs et à la caractérisation de colis de déchets, d'objets archéologiques ou à la détection de matières explosives.



énergie atomique • énergies alternatives

CADARACHE

CEA Cadarache • 13108 Saint-Paul-lez-Durance
+33 (0)4 42 25 33 60 (visites) • +33 (0)4 42 25 70 00 (standard)
www-cad.cea.fr





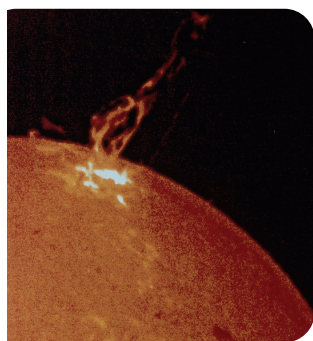
Fusion nucléaire

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

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

Pour cela, il faut chauffer et maintenir de l'hydrogène à une température de l'ordre de 150 millions de degrés, tout en le maintenant loin des parois situées autour. Le gaz à cette température est ionisé (plasma) et ce sont de puissants aimants agissant comme des rails invisibles qui en assure le confinement : 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 2019, elles seront également effectuées dans le réacteur international ITER.

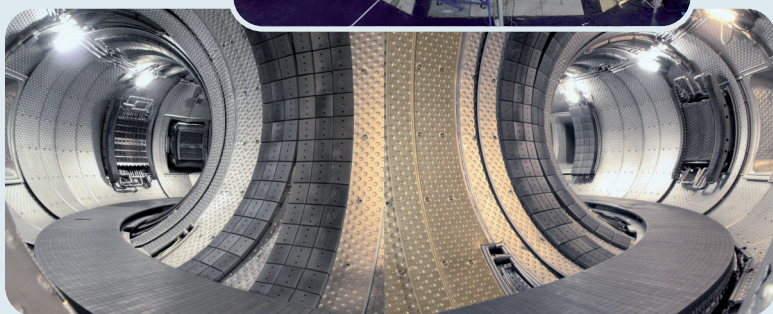


Protubérance éruptive
du bord du soleil

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

Grâce à ses technologies innovantes Tore Supra expérimente des plasmas performants de longues durées, programme indispensable dans la perspective d'un réacteur à fusion.

Plus chaud, plus dense pendant plus longtemps c'est un des défis de l'expérimentation sur TORE SUPRA.

L'utilisation de matériaux supraconducteurs assure un fonctionnement quasi-ininterrompu de l'aimant et permet à Tore Supra de réaliser des plasmas sur des durées longues.

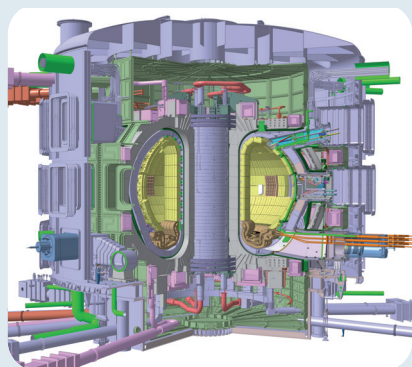
Tore Supra dispose de moyens de chauffage du plasma par microondes pour une puissance totale disponible de l'ordre de 15 MW. La paroi interne du tokamak est refroidie en permanence par un circuit d'eau à haute pression. En complément, un dispositif particulier appelé limiteur plancher circulaire permet d'évacuer une grande partie de la puissance cédée par le plasma.

Tore Supra obtient en 2003 le record mondial de durée avec un plasma de plus de six minutes, dans lequel il a été injecté et extrait une énergie de l'ordre de 300 kWh.

Les équipes de Cadarache sont également impliquées dans les autres programmes européens plus particulièrement au JET en Grande-Bretagne qui, lui, a établi en 1997 le record mondial de puissance de fusion avec 16 MW produits pendant une seconde. Depuis 2007 les équipes de Cadarache participent à de nombreux développements pour ITER et dans le cadre de "l'approche élargie" à différents projets au Japon.

Le Programme international ITER

Implanté en lisière du site CEA de Cadarache, ITER est un des programmes de recherche les plus importants du 21^{ème} siècle.



Le "Tokamak"
ITER



Une plateforme
de 40 hectares
a été aménagée
pour accueillir
l'installation



Vue d'artiste
de l'installation.
Au centre,
le « bâtiment
tokamak »

Dans le cadre d'une collaboration scientifique sans équivalent dans l'histoire, la Chine, l'Union Européenne, l'Inde, le Japon, la Corée, la Russie et les Etats-Unis entendent démontrer la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion.

La maîtrise de la fusion garantira à l'humanité l'accès à une source d'énergie inépuisable, sûre et pratiquement sans impact sur l'environnement.

Au mois de juin 2005, les partenaires d'ITER se sont unanimement prononcés en faveur du site proposé par l'Europe : une zone de 180 hectares, située sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance (13), mitoyenne du CEA-Cadarache.

La proximité du CEA-Cadarache offre à ITER les ressources d'un exceptionnel environnement de recherche et d'expertise technologique.

ITER est une étape-clé dans l'histoire des recherches sur l'énergie de fusion. L'installation intègre l'expérience et les développements technologiques accumulés par les programmes de fusion dans le monde entier, notamment le JET européen au Royaume-Uni, Tore Supra (CEA-Euratom) à Cadarache, JT-60 au Japon, ou encore TFTR et DIII-D aux Etats-Unis.

ITER est une expérience scientifique à très grande échelle. L'objectif de l'installation est de produire, à partir de la fusion du deutérium et du tritium – deux isotopes de l'hydrogène – dix fois plus d'énergie (500 MW) qu'elle n'en aura reçu.

ITER testera également les matériaux et certains systèmes destinés au prochain « démonstrateur » préindustriel DEMO, ainsi qu'aux futurs réacteurs de fusion industriels.

ITER en quelques chiffres

Température de plasma	150 millions ° C	La température du Soleil est de 15 000 000 °C
Température des bobines supra-conductrices	4 K (– 269° C)	C'est quasiment la température du vide spatial
Volume de la chambre à vide	840 mètres-cube	Le volume de la chambre à vide du JET, le plus grand tokamak au monde, est de 100 mètres-cubes
Masse de la machine	23 000 tonnes	La masse du porte-avions Charles-de-Gaulle est de 28 000 tonnes
Masse de chacune des 18 bobines de champ toroïdal	360 tonnes	C'est la masse d'un Boeing 747 à pleine charge, carburant et passagers
Hauteur du bâtiment tokamak	57 mètres	L'Arc de Triomphe de Paris s'élève à 50 mètres
Masse des plus gros composants livrés sur le site	~ 850 tonnes	Masse du plus gros composant Airbus < 100 tonnes



CADARACHE

CEA Cadarache • 13108 Saint-Paul-lez-Durance
+33 (0)4 42 25 33 60 (visites) • +33 (0)4 42 25 70 00 (standard)
www-cad.cea.fr





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 :

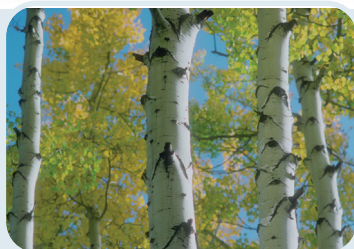
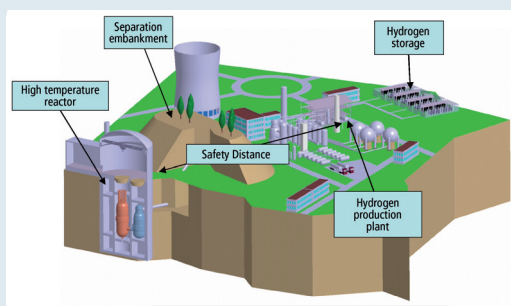
- la production en masse d'hydrogène et la maîtrise des procédés,
- la démonstration d'applications innovantes en solaire thermique et photovoltaïque.

Par ailleurs, Cadarache pilote le projet de démonstrateur pré-industriel, Syndiese, pour la production de biocarburants de 2^{ème} génération à Bure-Saudron (Meuse/Haute-Marne).



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



Ressources forestières

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 aussi conduites afin de définir et de qualifier les composants qui permettront de récupérer et transférer la chaleur produite par ces réacteurs.

Des études technologiques sont aussi 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 :

L'objectif du projet pré-industriel, Syndiese, est de démontrer la faisabilité technique et économique d'une chaîne complète de production de biocarburants de 2^{ème} génération en France, depuis la collecte de la biomasse jusqu'à la synthèse de carburant. Cette production part de ressources forestières et agricoles non alimentaires locales. L'introduction d'hydrogène dans le procédé pour optimiser le rendement massique constituera une première mondiale.



Démontrer les applications innovantes en photovoltaïque et solaire thermique

Tests sur des panneaux solaires photovoltaïques



La plate-forme d'essais en ensoleillement réel de Cadarache constitue une des plates-formes de l'Institut National de l'Énergie Solaire (INES), implanté depuis 2005 à Chambéry. Dans ce cadre, sur 120 hectares du site hors clôture de Cadarache, une puissance solaire d'environ 80 MWe sera installée d'ici 2012 : projet MEGASOL. Plusieurs mini-boucles thermiques compléteront les dispositifs expérimentaux de la plate-forme solaire, alors que plus de 10000 m² de toitures de bâtiments du Centre seront équipés de panneaux photovoltaïques d'ici 2011.



Biologie environnementale et biotechnologie

Les défis majeurs pour les chercheurs en biologie de Cadarache sont de comprendre la réponse des bactéries et des plantes aux contraintes environnementales, aux polluants métalliques ou aux rayonnements ionisants et d'exploiter ces connaissances dans le cadre d'applications biotechnologiques (bio/phytoremédiation des sols ou des eaux contaminés, biodétecteurs...).

Par ailleurs, il s'agit aussi d'étudier le métabolisme énergétique des micro-algues afin de développer des stratégies de production de biocarburants (bio-hydrogène ou biodiesel).

Ces travaux de recherche sont conduits dans le cadre d'une unité mixte de recherche CEA, CNRS, et Université de la Méditerranée. Ils s'effectuent également en interaction avec le tissu socio-économique de la région (pôles de compétitivité : CAPENERGIES, MER-PACA, et EUROBIOMED) et des partenaires industriels.

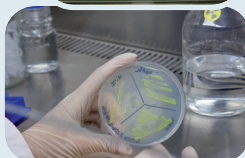
Mesure d'échanges gazeux sur une feuille d'Arabidopsis



Croissance de plantes ou de bactéries en présence d'éléments radioactifs



Recherche de micro-algues à capacité de production d'hydrogène modifiée



Enceinte de culture en conditions contrôlées



Adaptation des plantes et des bactéries à l'environnement

Etude des mécanismes de réponse aux contraintes environnementales (sécheresse, CO₂, irradiation, fortes lumières, carence nutritive en phosphate...)

Toxicologie chez les plantes et les bactéries

- Etude des mécanismes de résistance et d'accumulation des métaux lourds (cadmium, uranium, arsenic, plomb), polluants et nano-particules chez les plantes et bactéries.
- Etude des interactions moléculaires entre les protéines et les métaux.
- Développement de bio-détecteurs environnementaux et de procédés de bio-dépollution.

Bioénergie

- Etude des mécanismes de conversion et de stockage de l'énergie solaire par des micro-organismes photosynthétiques.
- Applications à la production de bio-hydrogène ou de biodiesel.

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 déclassement, est sous le contrôle d'une 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.

Télemanipulation de combustibles irradiés isolés dans une cellule protégée



Contrôle de l'accès au site



Flotte d'intervention pour la sécurité incendie



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.

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.

Sûreté - Sécurité



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 gère 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 Cadarache

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

Externe national

Autorité de Sûreté Nucléaire Civile (ASN)
Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)
Autorité de Sûreté Nucléaire des activités de Défense (ASND)
Haut-Fonctionnaire de Défense et de Sécurité (HFDS)

Externe international

Euratom
Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA)



Télesurveillance du site



CADARACHE

CEA Cadarache • 13108 Saint-Paul-lez-Durance
+33 (0)4 42 25 33 60 (visites) • +33 (0)4 42 25 70 00 (standard)
www-cad.cea.fr





Impact sur l'environnement

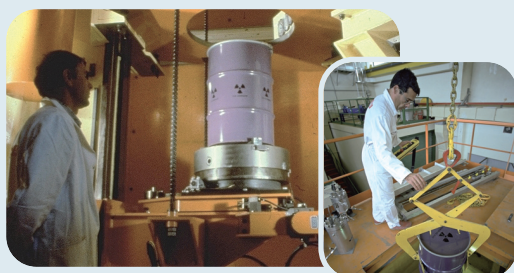
Pour mener à bien ses programmes de recherche, le CEA Cadarache exploite des installations nucléaires et des laboratoires de recherche. L'exploitation de ces installations génère des déchets et des effluents. Leur devenir et leur impact sur l'environnement sont l'objet d'une attention constante :

- 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 de très
faible activité



CEDRA :
entreposage de
colis de déchets



Impact sur l'environnement

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 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 en attendant leur renvoi dans un centre de stockage.

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

Atelier de technologie
du plutonium en cours
de démantèlement



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

Sur Cadarache, les équipes du CEA 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.

Dans l'environnement, la radioactivité induite par Cadarache n'est pas détectable. Les principaux résultats de ces analyses peuvent être consultés sur le site Internet du CEA Cadarache.