

# Compte-rendu de la visite à Cadarache

## St Paul les Durance, 29 juin 2015

### 1. Organisation

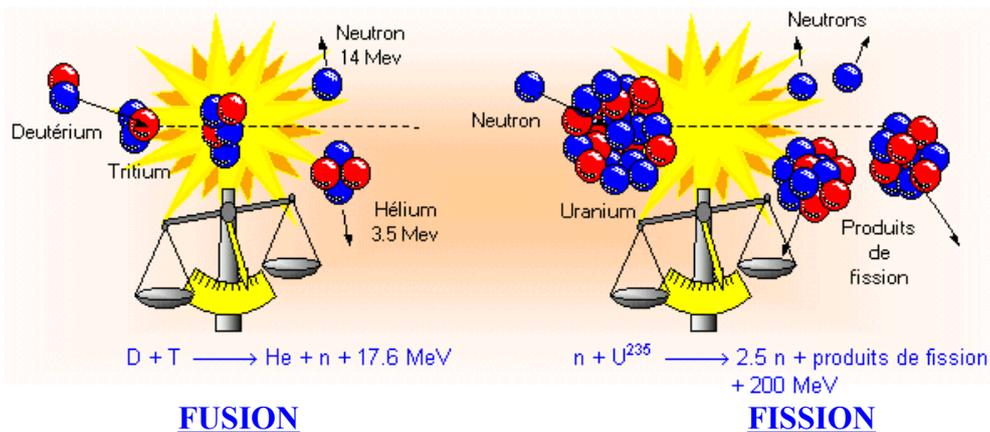
Le déplacement s'est déroulé du 28 au 30 juin 2015, nous avons été une vingtaine de membres du CLIS à visiter les installations du CEA de Cadarache : installations de stockage du CEDRA, installation CHICADE d'analyses des déchets, CASCAD qui entrepose des déchets à sec, présentation du projet ITER. En fin de journée, rencontre avec des membres de la CLI de Cadarache.

### 2. Le site de Cadarache

Le site a environ 50 ans et fait près de 3000 ha, 1600 étant consacrés au CEA dont 900 sont clôturés. Il y a 20 INB (soit la moitié des INB du CEA en France) et 1 INBS. La forêt représente tout de même 60% du site. Ce site du CEA a de particulier d'étudier de nombreux domaines de recherches : combustible, nouvelles générations, énergie de la fusion (TORE SUPRA, ITER), propulsion navale (RES en construction depuis 2003), le solaire (MEGASOL depuis 2014), la biomasse, le traitement des déchets (MAGENTA, ROTONDE pour les FA et TFA, AGATE pour les déchets liquides), outils de simulations et expérimentations (plateforme de calcul PLEIADE, réacteurs de recherche MASURCA et EOLE, analyse de la sûreté CABRI et PHEBUS, réacteur d'irradiation Jules HOROWITZ)... L'Est du site est consacré aux réacteurs de recherche, l'Ouest pour les recherches en support du nucléaire, en particulier la gestion des déchets.

6 000 personnes environ travaillent sur le site, appartenant au CEA, l'IRSN, AREVA..., le site est donc le 3<sup>ème</sup> employeur de la région.

ITER est à part et emploie actuellement 500 personnes, elles seront 3000 à terme.



### 3. Le CEDRA

C'est l'installation Conditionnement et Entreposage des Déchets RadioActifs, INB 164, qui a ouvert en 2006. C'est un site d'entreposage des déchets B (répartis en Faiblement et Moyennement irradiants FI et MI, ce sont majoritairement des MA mais il y a aussi quelques FA VL), en attente jusqu'à un 'exutoire définitif'. Il prend la relève du parc d'entreposage précédent, l'INB 56. La reprise des colis de cet ancien entreposage est prévue jusqu'en 2050. Il y a 3 types de colis. Les spécifications ont été définies en collaboration avec l'ANDRA. Les déchets faiblement irradiants sont répartis en 2 types de colis dont le colmatage est fait par du béton, et le conteneur lui-même est en acier. Ces colis font 870 L. La différence vient de la possibilité ou non de compacter les déchets avant mise en colis. Si le compactage n'est pas

possible, les déchets sont mis en vrac puis le mortier est ajouté. Ces colis sont directement manipulables et sont gerbés dans un 'bâtiment FI'. Il y a un 3<sup>ème</sup> type de colis pour les déchets plus irradiants, les MI, qui sont compactés avant d'être mis en colis inox de 500 L. Les déchets liquides quant à eux sont envoyés vers AGATE depuis 2014.

Chaque colis est référencé dans une base de données appelée CARAIBES (commune à tout le CEA), avec ses coordonnées de position (repère xyz), son n°, les fûts qui l'ont composés... Des colis sont pris aléatoirement (1%) et analysés dès leur arrivée. Sur les déchets FI, les colis sont envoyés à CHICADE, ouverts et vérifiés. Dans le cas des déchets MI, les vérifications se font dans une cellule.

Il y a 2 bâtiments FI déjà construits sur les 4 prévus à terme, et un bâtiment MI.

Les bâtiments FI sont des hangars avec surveillance de l'atmosphère, avec un système de pont hydraulique et portiques permettant d'accéder à tous les colis (empilés sur 4 de haut). Un bâtiment FI est prévu pour 4000 colis (soit 16 000 à terme), la cadence de remplissage est d'environ 350 colis par an.

Le bâtiment MI quant à lui est divisé en 3 modules, un seul est en cours actuellement. Ce bâtiment repose sur un système de puits, avec environ 200 alvéoles comportant des amortisseurs bi-coups (encaissant 2 chutes). Les colis de 500 L font 1,3 T et sont prévus pour une chute de 8 m. Il y a une ventilation avec traitement de l'air et contrôle radiologique. Une cellule d'examen a été mise en place, avec possibilité de récupérer le colis pour le vérifier dans le sous-sol de l'installation. Cette installation sera mise en service l'année prochaine. Après vérification à l'arrivée, ou de façon aléatoire, environ 20 colis sont repris par an. Chaque alvéole de 7 m permet de stocker 8 colis (ou 32 poubelles de 60 L de déchets en attente de conditionnement, maxi 2 ans). Des codes couleurs sur les bouchons des puits donnent des informations sur le chargement, le type de déchets... Ce module est conçu pour 1500 colis, ce qui représentera à terme, avec les 3 modules, au total près de 4000 colis. Le rythme de chargement est de 75 colis par an environ.

Une journée de travail représente une dose d'environ 1 microSv. 80% des déchets viennent de Cadarache, 20% viennent des autres installations du CEA, dont la partie militaire.



#### 4. CHICADE

---

C'est un centre assez récent de contrôle et de recherches sur les caractéristiques des déchets. Ce site permet la caractérisation des déchets avec des méthodes principalement non destructives (radiographie, spectrographie ...) mais aussi avec des méthodes destructives (découpage du colis, chimie...). Ces analyses se font sur demande de l'ANDRA. Cette installation est composée de 4 grands halls, 3 pour les FA, un pour les MA mais en vie courte.

Une première salle fait de la spectrométrie gamma. Le principe repose sur un détecteur contenant un cristal de germanium, refroidi à l'azote liquide, qui mesure les rayonnements produits par les déchets. Cela donne un spectre de pics qui donne les caractéristiques du déchet analysé (qualitatif). Selon la hauteur des pics, cela renseigne sur l'activité et donc la quantité du radioélément (quantitatif). Si des différences sont observées entre les informations déclarées et les analyses, l'ANDRA prend contact avec le producteur du colis. En moyenne, un colis passe un an sur le site pour les analyses.

Il y a ensuite la cellule CINPHONIE, Cellule d'Irradiation Neutronique et PHotoNIque de grande dimension Enterrée, qui permet de faire de l'imagerie non destructive, depuis un an et demi environ. Cela permet de visualiser le liant, les déchets, la géographie interne du colis. Le principe repose sur un canon accélérateur linéaire qui produit un rayonnement qui est analysé pour donner une image, comme une radio. C'est une analyse 'haute énergie' qui permet de traverser de grande quantité de matière mais le colis est limité à 2 T. Il y a aussi la possibilité de faire une analyse par tomographe plus fine. La technique d'imagerie elle-même est rapide mais l'analyse des résultats prend environ une semaine.

Dans le bâtiment MA, il y a la cellule ALCESTE qui permet de faire des prélèvements par carottage (analyse destructive). Un outil en diamant ou acier permet de faire les prélèvements, sur des colis pouvant faire 8 T. Une des préoccupations principales est de gérer les poussières produites. Il faut compter 2 jours d'usinage pour traverser quelques mm ; une analyse prend donc environ 3 mois au total, en comptant la préparation au nettoyage de la cellule avant de passer à une autre analyse. Ces analyses demandent beaucoup de préparation en particulier, car tout se fait par télé-opération à distance. La cellule est bien sûr étanche, avec un air contrôlé, protégée par du béton baryté et une épaisseur de verre de 1 m. Les échantillons prélevés sont ensuite transmis aux différentes unités pour analyses.



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

Le LECD est le Laboratoire d'Expertise et de Caractérisation Destructive. Il permet une batterie de tests pour vérifier l'agrément d'un colis : mesure du coefficient de diffusion (avec de l'eau tritiée, ce qui permet d'analyser la capacité de rétention du colis, analyse sur 5-10 ans, développement en cours d'une technique pour avoir le résultat en 1 heure) ; test de lixiviation (analyse de relâchement de radionucléides dans l'eau) ; test à la compression (pour la capacité de gerbage) ; mesure de perméabilité (capacité de relâcher les gaz produits) ; mesure des gaz de dégazage ; capacité de piégeage de l'Hydrogène ...

CADECOL, c'est la Casemate DEcoupe de COLis pour l'analyse de colis jusqu'à 5 m<sup>3</sup>. L'analyse est assistée par ordinateur, avec un système vidéo à très fort zoom. CADECOL permet d'étudier tous les colis possibles à ALCESTE mais aussi des plus gros. La découpe se fait ici avec un câble diamant refroidi sous eau.

## 5. CASCAD

C'est l'INB 22, extension du réacteur PEGAZ, la CASemate de stockage à sec de CADarache pour les CU de réacteurs expérimentaux (contrairement aux piscines de stockage plus classiques chez EDF). C'est une casemate contenant 319 puits verticaux suspendus à une dalle, protégée avec 1,20 m de béton. Les puits font 350 mm de diamètre sur 8 m de haut et peuvent contenir jusqu'à 3 conteneurs pour les plus gros.

L'évacuation de la chaleur se fait par convection naturelle, le système est passif. Il n'y a jamais eu jusqu'à aujourd'hui d'inversion de sens de la convection. Il est à noter que le système de ventilation naturelle est celui retenu pour un éventuel stockage profond, ce qui permet d'avoir ici un retour d'expérience notable. Il y a 2 systèmes de ventilation : l'air de refroidissement non filtré mais surveillé avec possibilité de filtration par filtre THE ; l'air de la ventilation nucléaire qui est dans un circuit séparé et filtré. Une ventilation forcée peut être mise en route en cas de besoin mais cela n'a jamais été nécessaire, même lors de la canicule de 2003. L'intérêt du stockage à sec vient du fait qu'il y a beaucoup moins de charges d'entretien et de surveillance, c'est aussi beaucoup plus rentable en surface de stockage. La ventilation pour l'évacuation thermique marche tout le temps même en cas de coupure de courant. De plus, l'air est plus facile à contrôler que l'eau.

Il y a 3 barrières principales : le colis étanche/le puits en acier inoxydable avec son bouchon/la dépression de confinement de la zone des puits avec un contrôle de l'air.

Il est prévu 200 kW de chargement maxi en chaleur, avec 600 W/puits. La température de la casemate est surveillée, le béton doit rester en dessous de 80 °C.

Les combustibles viennent de la propulsion navale, des réacteurs de recherche de Cadarache plus d'autres sites du CEA. Les différents types de CU ne sont pas mélangés dans une même alvéole.

L'unité a démarré en 1990 et est conçue pour fonctionner 50 ans (2040). Le stockage est environ à 70% de sa capacité (60-65% en 2006, avec estimation du remplissage total pour 2015 ce qui n'est finalement pas le cas). L'extension de la casemate est toutefois déjà prévue pour permettre l'entreposage tampon avant d'aller à la Hague.



[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

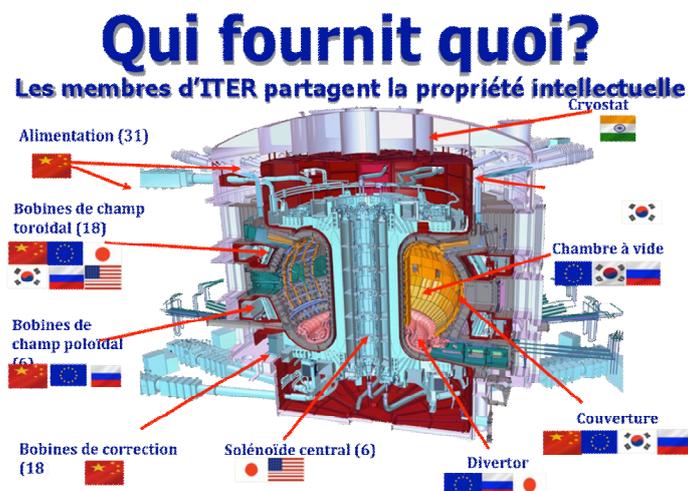
La gestion des déchets se fait par leurs coordonnées spatiales. La surveillance est en partie réalisée par EURATOM et l'ASN. Il y a une télésurveillance permanente. La salle de gestion est protégée par une barrière de verre, tout se fait par bras téléguidé. Les téléopérateurs font régulièrement des formations en particulier pour l'éventuelle récupération de colis. Lorsqu'un emballage n'est pas ouvert, il est possible de pénétrer dans la salle de stockage sans tenue de protection poussée.

## 6. Quelques installations présentes sur le site

- a. **Eole et Minerve** : 2 réacteurs expérimentaux de recherche
- b. **RJH** : le Réacteur Jules Horowitz est le futur plus gros réacteur de recherche et production (100 MW thermique), son bâtiment est aussi gros que celui d'un réacteur EDF. 200 plots antisismiques supportent les bâtiments de plusieurs centaines de milliers de T de béton. Il y a 400 kg de ferraille par m<sup>3</sup> de béton. Le refroidissement se fera par 3 circulations, avec pompage dans le canal de Provence et rejet avec maxi 1°C de différence de température. La recherche portera sur l'irradiation, la qualification du combustible et les matériaux. Les flux neutroniques seront 10 fois plus puissants, ce qui permettra de tester des échantillons d'acier de cuve ou de combustible (accélération du vieillissement). Il n'y aura pas de production d'électricité mais de radioéléments utilisés en médecine (production actuelle sur OSIRIS à Saclay mais qui doit fermer l'année prochaine). Le RJH sera capable de fournir 40% des besoins européens.
- c. **Mazurca** : il est actuellement à l'arrêt pour rénovation afin de permettre l'étude des réacteurs GEN IV, avec refroidissement au sodium.
- d. **Zone militaire** : elle se trouve au Nord du site, elle permet d'étudier les moteurs des sous-marins mais aussi l'entraînement des équipages marins nucléaires.
- e. **Tore supra** : c'est le 'père' d'ITER, un bâtiment avec un tokamak ou chambre torique de confinement magnétique, destinée à contrôler un plasma pour étudier la possibilité de la production d'énergie. Il a permis la plus longue fusion stable, de 6 min 30 (alors que JET en Angleterre a permis la fusion la plus énergétique). ITER devra faire le combiné de ces 2 meilleurs réacteurs, une fusion puissante et stable. Tore supra demande une alimentation électrique énorme, il est donc directement relié au réseau national (comme ITER et EURODIF).

## 7. ITER

Le projet ITER est une coopération de 35 pays, basée à Cadarache et qui implique la moitié de la population mondiale et 85% du PIB de la planète. Les 7 membres sont l'UE (France), le Japon, la Corée, les USA, la Russie, la Chine et l'Inde. De fait, le site est indépendant et n'est pas considéré comme un territoire français. Tous participent à hauteur de 9% sauf l'UE à 45%, les contributions sont en nature : bobine, alimentation, bouclier thermique ...



Source CEA

La construction est en cours, sur 180 ha, dont 42 ha de bâtiments. 10 ans de travaux étaient prévus (cœur de la machine en 2014 et 2018 pour les 1<sup>ères</sup> expériences) mais le planning est en cours de révision totale (pour novembre 2015). L'exploitation devrait durer 20 ans, et le démantèlement 25 ans.

Les convois nécessaires à la construction de ITER impliquent des modifications conséquentes de la voirie jusqu'au site de Cadarache (convois de 900 T ou 9 m de large ou 10 m de haut, ou 47 m de long). Les convois de tests en septembre 2013 pour la résistance des ouvrages et en avril 2014 pour la logistique ont permis de valider l'« itinéraire ITER » de 104 km entre Fos et le site. Les livraisons elles-mêmes ont débuté en janvier 2015. Les pièces trop volumineuses comme les aimants annulaires de 24 m de diamètre seront fabriquées sur place dans un hall de 12 000 m<sup>2</sup> (bâtiment de bobinage).

ITER sera une machine travaillant sur la fusion, par opposition aux réacteurs actuels dont le principe est la fission. ITER utilisera à cette fin du plasma (gaz ionisé). Le principe est celui des réactions qui ont lieu dans le soleil. La fusion utilise le deutérium et le tritium en les amenant à de très hautes températures (le tritium peut être remplacé par du lithium), le confinement de la matière se fera par un champ magnétique. L'hélium produit devra entretenir le plasma. Le chauffage se fera par effet joule (comme un grille pain) ou par onde électromagnétique (comme un micro onde) ou par injection de « neutres » (des particules énergétiques, c'est un peu l'équivalent de la vapeur d'un percolateur). Les 3 combinés permettent d'atteindre une température de 150 000 000 °C. Mais comme la chambre est quasi à vide, c'est plus de la vitesse que de la chaleur. Ce plasma ainsi chauffé ne peut rester dans une enceinte physique, c'est donc une cage magnétique, avec des aimants supra conducteurs produisant 300 000 fois le champ magnétique terrestre qui assurera le confinement.

L'alimentation électrique se fera par la ligne de l'actuelle unité TORE SUPRA qui sera doublée. Il n'y a pas de risque d'emballlement, s'il y a un problème électrique, la réaction s'arrête d'elle-même par manque d'énergie, idem si on arrête l'injection de tritium. La démonstration de faisabilité de la fusion est faite mais la réaction consomme un peu plus que ce qu'elle produit. Mais pour 50 MW entrant, ITER devrait produire 500 MW. Les avantages sont une source d'énergie inépuisable, pas de production de gaz à effet de serre, pas de déchets HAVL.

La gestion de la température se fera avec des usines cryogéniques (les aimants seront à 3°K), l'évacuation de la chaleur se fera par l'eau (canal de liaison entre le Canal de Provence et le canal EDF d'1,5 M de m<sup>3</sup> par an).

ITER sera une INB avec toute la réglementation qui s'y applique (risque nucléaire avec le tritium, chimique, neutronique, sismique etc.). Les barrières de confinement sont : la chambre à vide, le tore/le cryostat en acier sous vide/le bâtiment.

Au niveau rejet, ITER sera en dessous des normes (< 2.4 mSv), à quelques μSv. L'accident maximum avec ITER devrait être de niveau 4. Il n'y aura aucun déchet HA, 95 T par an de déchets technologiques TFA et FA-MA -VC, 5 T de MA-VL (déchet activés et tritiés, dans la chambre à vide). Enfin 30 000 T sont prévues au démantèlement (90% TFA et FA, 10% MA). Les estimations sont de 40 000 T de déchets au total de l'exploitation au démantèlement. Le stockage des déchets sera pour 90 % à 95 % sur les centres de l'Andra et en entreposage pour environ les 10 % à 5 % restants (tous les déchets resteront en France). L'entreposage des déchets MAVL et tritiés se fera pour 20 ans, ensuite les MAVL iraient à CIGEO, et les tritiés au CSA. Les FMA-VC et TFA seront entreposés 6 mois dans un bâtiment de gestion avant d'aller au CSA et au CSTFA. A l'arrêt, le transfert de responsabilité ira à la France qui prendra donc en charge tous les déchets. C'est surtout le tritium qui devra

être géré. Il a une période de 12 ans seulement (diminution de moitié) et son rayonnement est peu pénétrant (5 mm d'air suffisent à l'arrêter), il est très peu radiotoxique (1000 fois moins que le césium), la contamination est interne seulement, par absorption ou inhalation. Mais le tritium sert aussi de combustible donc il sera récupéré au maximum. Une étude de l'état de référence du site écologique, chimique et radiologique est prévue, suivie d'une surveillance avec plusieurs milliers d'analyses par an.



Source CEA

La 1<sup>ère</sup> machine à fusion en service était JET en Angleterre, puis il y a eu TORE SUPRA à Cadarache (voir ci-dessus), ITER est la suite du programme de recherche, avant DEMO qui sera le stade préindustriel en 2030. ITER coutera environ 13 Md d'euros répartis sur 35 pays sur 10 ans. Les retombées économiques devraient être de 4,23 Md d'euros, dont la moitié pour la France. Le projet mobilise 650 personnes et devrait créer plus de 4000 emplois en 2017.

## 8. Conclusion

---

Cette journée a été instructive, permettant d'avoir des informations sur l'amont de la chaîne déchets et sur les recherches pour le futur de la problématique des déchets. En effet, pendant la matinée, nous avons pu voir comment étaient gérés les déchets sur les sites producteurs avant la prise en charge par l'ANDRA. L'après midi, nous avons eu la présentation du projet ITER, avec une énergie basée sur la fusion, qui modifiera largement les déchets produits dans l'avenir et leur gestion.

### LEXIQUE

CEA : Commissariat à l'Energie Atomique  
CSA : Centre de Stockage de l'Aube  
CU : Combustible Usé  
FA : Faiblement Actif (catégorie de déchets)  
FMA VC : Faible et Moyennement Actif à Vie Courte (catégorie de déchets)  
INB : Installation Nucléaire de Base  
INBS : Installation Nucléaire de Base Secrète  
IRSN : Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire  
ITER : International Thermonuclear Experimental Reactor  
MAVL : Moyennement Actif à Vie Longue (catégorie de déchets)  
RES : Réacteur d'Essai (propulsion nucléaire)  
TFA : Très Faiblement Actif (catégorie de déchets)  
THE : Très Haute Efficacité (filtre à - )  
TORESUPRA : tokamak à aimant supraconducteur