

COMPTE-RENDU DE LA VISITE A CADARACHE ST PAUL LES DURANCE LE 18 SEPTEMBRE 2023

1. Organisation

Le déplacement s'est déroulé du 17 au 19 septembre 2023, 25 membres du CLIS ont visité les installations de Cadarache.

- Au programme :
- le matin, la visite du CEA, avec CHICADE qui est un atelier d'analyses des déchets radioactifs et CASCAD qui est un hall d'entreposage des déchets à sec et
- l'après-midi, visite du chantier du projet ITER. Le déjeuner a réuni des membres de la CLI de Cadarache pour des échanges informels.

2. Le site de Cadarache

Le site de Cadarache fait près de 2 000 ha, 1 600 étant consacrés au CEA, avec 22 km de clôtures et une zone de protection renforcée. Il y a plusieurs grandes thématiques de recherche, en particulier l'énergie décarbonée : fission, fusion, SMR et neutrons rapides, solaire, microalgues...

Sur la fission, il ne reste que le réacteur CABRI et en construction le réacteur Jules HOROWITZ ; le projet ASTRID est quant à lui suspendu. Si ces réacteurs expérimentaux ont la taille d'une machine à laver (pour une puissance de 100 W), les bâtiments sont de la taille de ceux d'un réacteur 900 MW classique. Ils sont conçus pour résister à un séisme de 9. Ces réacteurs permettent des tests de vieillissement sur les pièces de réacteur, la production de radioéléments pour diagnostics et thérapies, l'étude des accidents graves, l'analyse des combustibles ... 20 expériences peuvent être menées en simultanément.

A proximité du site, il y a aussi l'installation MEGASOL, une usine photovoltaïque. Dans l'enceinte militaire dédiée, nous trouvons le CEA militaire pour la recherche sur la propulsion, le cœur des sous-marins nucléaires est construit ici, et un centre de formation des marins est implanté également. Pour la fusion, les études portent sur la physique du plasma, le confinement par aimants supraconducteurs avec les installations TORE SUPRA puis WEST, qui sont les prémices du projet ITER situé à côté du site du CEA.

La moitié des installations sont en démantèlement / assainissement.

5 500 personnes environ travaillent sur le site, dont 2 000 appartenant au CEA.

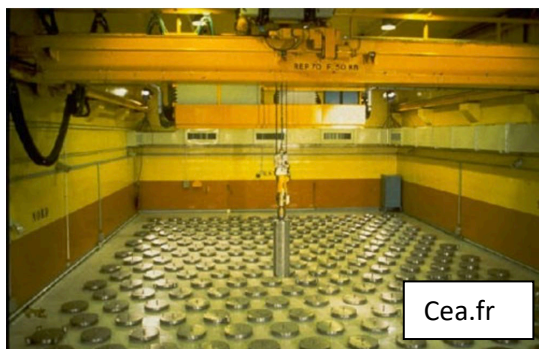
Au niveau sécurité, il y a une caserne dédiée dimensionnée pour 8 000 personnes, les pompiers sont spécifiquement formés au CEA pour la santé et la radioprotection.

3. CASCAD :

C'est la CASemate d'entreposage à sec de CADarache pour les combustibles irradiés. L'installation date des années 90 et est prévue pour fonctionner 50 ans. Elle est rattachée au réacteur PEGAZ dans l'INB 22. Dans les entreposages en piscine classiques, c'est l'eau qui permet de refroidir et qui fait la barrière aux radiations. Ici, c'est une barrière béton de 1m20 et l'évacuation de la chaleur se fait par convection naturelle (système passif). 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 avec filtre THE. Une ventilation forcée par ventilateur peut être mise en route en cas de besoin, mais n'a jamais été nécessaire. La température de la casemate doit rester en dessous de 80°C (pour maintenir les propriétés du béton qui contient de l'eau) Même avec la canicule et une température de 44°C, la casemate n'est montée qu'à 50°C. La sortie de la cheminée n'a pas de filtre, mais s'il y a détection de radioactivité, il y a détournement vers un conduit avec filtre THE. Il n'y a pas de matière radiolysable, donc pas de production d'hydrogène.

Il est prévu 200 kW de chargement maximum en chaleur, avec 600 W/puits. Le stockage est actuellement d'environ 85% de sa capacité avec 34 kW. L'extension de la casemate était déjà prévue dans le décret de 89. Mais il y a 107 puits réservés pour les militaires (dont 100 pleins). Une nouvelle installation est prévue en 2030 et devrait donc libérer ces puits. Ces déchets militaires restent des « matières » et ne sont pas destinés à CIGEO pour l'instant.

La casemate contient 319 puits verticaux suspendus à une dalle. Les puits font 346 mm de diamètre sur 7 m de haut.



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

Le CU est mis dans un conteneur soudé, étanche, en inox, avec plusieurs barrières. Les combustibles viennent de la propulsion navale (militaire), de Brennilis, différents types d'UOX, UNGG...

Les différents types de CU ne sont pas mélangés dans une même alvéole et restent propriétés de leurs producteurs. 2 installations produisent les conteneurs de format unique, avec une étanchéité extrême (testée à l'hélium). Les colis font 336 mm de diamètre pour des puits de 346 ; il y a une marge de 1 cm pour le grappin. Dans la cellule, on peut rechercher le krypton pour détecter une éventuelle fuite. Les puits sont la 2^{ème} barrière, leur tube est en inox de 8 mm d'épaisseur et boulonnés, avec un joint « hélicoflex ». Leur bouchon fait 1m20 de large et leur étanchéité est testée tous les ans. Le bas des tubes repose sur un plot qui permet d'absorber les accélérations d'un séisme ou d'amortir une chute (dimensionnement 1 150 kg/puits). Lors d'une chute de colis, le puits serait condamné (ce qui ne s'est jamais produit). 315 puits sont utilisables et il y a un puits de « servitude ».

Depuis la salle commande, il y a une télésurveillance permanente. La salle de gestion est protégée par une barrière de verre, tout se fait par bras téléguidé. Le pont est un matériel particulièrement sensible. Il a une double motorisation et il est très contrôlé. Il n'y a jamais eu de contaminations importantes. Quand les puits sont fermés, c'est en zone verte (pas besoin de protection particulière) ; dès qu'un puits est ouvert, c'est zone rouge. La gestion des déchets se fait par leurs coordonnées spatiales.

La ventilation nucléaire fonctionne H24. En 2024, il est prévu une étude de sobriété énergétique pour ne la faire fonctionner qu'en cas de nécessité (lorsqu'un puits est ouvert).

4. CHICADE

C'est un centre d'expertise et de caractérisation des déchets nucléaires, l'INB 156. Il fait partie de la DES, « Direction des Énergies », dont les programmes de recherches portent sur la production d'énergie bas carbone : hydrogène, panneaux solaires, fermeture du cycle du carbone, carburant vert à partir d'algues ... Mais aussi sur la gestion de ressources : minerais pour les batteries...

Cette direction travaille sur toute la chaîne, par exemple sur l'intermittence de l'éolien qui pose des problèmes sur le réseau (de l'eau stockée en hauteur permet de « stocker » l'énergie et la réinjecter au besoin), ou sur les biocarburants de 3^{ème} génération. Pour la fission, la Direction travaille à soutenir le parc actuel vieillissant, (si une centrale dure plus longtemps il y a moins de déchets au final). La DES comprend une unité DDSA qui travaille sur le démantèlement. 1 250 personnes y travaillent, sur 5 sites du CEA et 36 installations de recherche. Son budget annuel est de 740 M d'€ par an et 25 000 m³ de déchets sont conditionnés par an.

Ce site CHICADE est une plateforme technologique, d'expertise et de caractérisation des déchets pour ITER, l'ANDRA, EDF, l'ONDRAF, ORANO, Electrabel, Engie...

Cette installation est composée de grands halls, avec des enceintes blindées, des boîtes à gants, des casemates de mesure... Les analyses sont faites avec des méthodes non destructives (radiographie, spectrographie ...), mais aussi destructives (découpage du colis, chimie...).

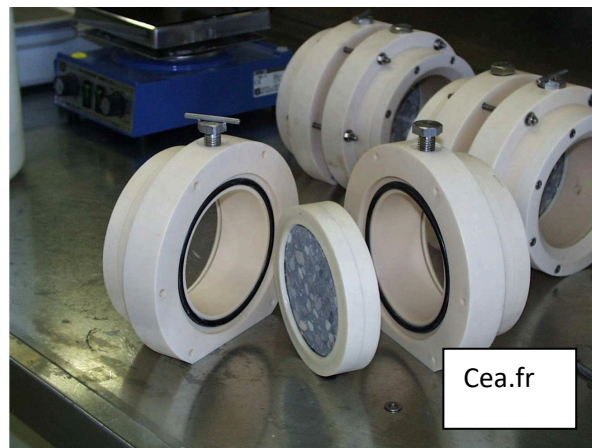
Une chambre à fission permet de mesurer le flux neutronique dans les réacteurs. Le flux thermique suivant le flux neutronique, peut endommager les crayons ; les analyses permettent d'étudier la rupture de gaine. Le labo permet également d'étudier les caractères physicochimiques des déchets selon les demandes de l'ANDRA (chaque type de déchets ayant sa filière) ou de mesurer des coefficients de diffusion (du tritium sur une carotte de déchets ou sur la peinture prévue pour ITER qui doit être étanche au tritium).

D'autres mesures sont possibles : capacité de piégeage, coefficient de perméabilité, gaz hélium, résistance à la compression, lixiviation...

Il y a différents types d'imageries possibles : neutronique, passives et actives, spectrométrie gamma, tomographie...

Il est possible de faire l'inventaire du contenu d'un colis de déchets, mais aussi de faire des essais de cimentation de cendres au taux maximum, de développer le procédé de constitution d'un colis (cas des 870 L avec un mortier défini spécifiquement).

Les membres visitent ensuite un hall, le laboratoire et la fosse pour l'imagerie qui permet d'étudier des colis de 1m40 maximum, et de 5 T (limite de la plateforme tournante). C'est une analyse « haute énergie » à rayons X (16 MeV) et l'appareil va justement être remplacé par un plus puissant, qui permettra de traverser de plus grandes quantités de matière. Dans le laboratoire, on nous présente une étude des enveloppes bétonnées pour l'ANDRA. Elle analyse la vitesse de passage d'eau tritiée à travers une tranche de béton de 2 cm, mesures s'étalant sur une période de 3 à 4 ans.



5. ITER

Suite à une présentation en salle, les membres ont pu découvrir le site du chantier.

Le projet ITER est une coopération de 35 pays, les 7 membres sont l'UE, le Japon, la Corée du Sud, les USA, la Russie, la Chine et l'Inde. Tous participent à hauteur de 9%, sauf l'UE à 45%. Les contributions sont majoritairement en nature (bobine, alimentation, bouclier thermique...) mais aussi financière (10-20%). Le budget de 20 Md d'€ est passé à 30 Md : 8,2 Md pour la construction, 12,5 pour les fournitures en nature, 300 M/an pour la phase d'exploitation, et enfin 28,1 M pour l'arrêt et le démantèlement.

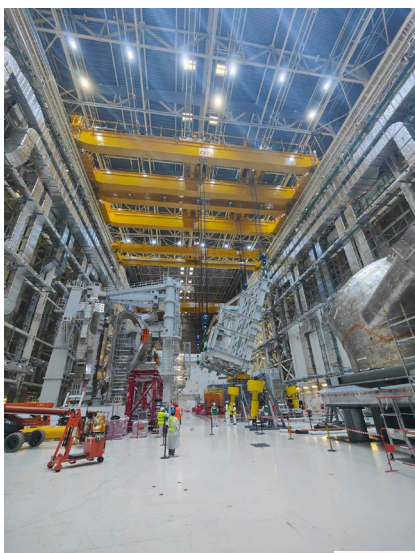
Le chantier de construction a débuté en 2010 mais a pris beaucoup de retard. Le démarrage était prévu en plasma non nucléaire en 2025, le plasma nucléaire en 2035, mais un nouveau programme devrait voir le jour en 2024, avec probablement une seule phase vers 2030. L'exploitation devrait durer 20 ans, et le démantèlement 10 ans. Les convois nécessaires à la construction d'ITER ont impliqué des modifications conséquentes de la voirie jusqu'au site de Cadarache. Les livraisons se font de nuit, les autoroutes sont fermées depuis Marseille (Fos) jusqu'à Cadarache.

1 200 personnes travaillent sur ITER, plus 1 000 personnes pour le chantier. La future salle de contrôle est quasi finie. Un hall d'assemblage est accolé au bâtiment du tokamak.

D'autres bâtiments comprennent le système d'évacuation de la chaleur (dimensionné pour 1 200 MW), la conversion du courant alternatif en continu, l'injection de neutres (quasi fini).

Des modules du tore ont été jugés défectueux en 2023 et ont dû être démontés entraînant encore du retard.

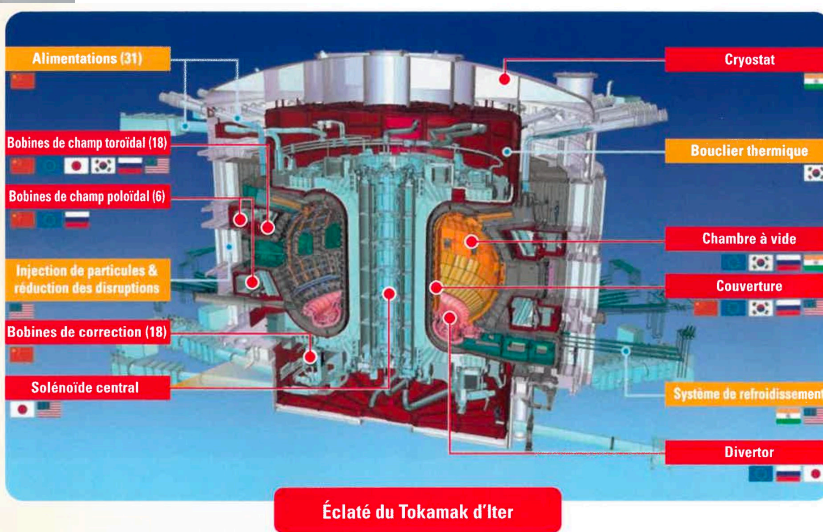
ITER sera une machine travaillant sur la fusion, par opposition aux réacteurs actuels dont le principe est la fission. ITER utilisera à cette fin du plasma (gaz ionisé). Le principe est celui des réactions dans le soleil.



La fusion utilise le deutérium et le tritium en les amenant à de très hautes températures dans une machine appelée Tokamak. 1 g de deutérium/tritium représente l'équivalent de 8 T de pétrole. Le confinement de la matière se fera par un champ magnétique avec 10 000 T d'aimants supra conducteurs refroidis à -269°C .

La démonstration de faisabilité de la fusion est faite, mais la réaction consomme un peu plus que ce qu'elle produit.

ITER devra démontrer la faisabilité à grande échelle, en produisant 10 fois plus d'énergie qu'injectée : 50 MW devront produire 500 MW ; le plasma devrait durer 400 à 600 s.



L'alimentation électrique se fait par une ligne de 400 000 V.

Les avantages de la fusion :

- pas de risque d'emballement,
- source d'énergie abondante,
- pas de production de CO₂,
- pas de déchets HA.

Le gaz dans le tokamak est chauffé par effet joule, par injection de particules neutres et par ondes magnétiques à 150 M de °C. L'énergie produite est sous forme de chaleur et sera évacuée par refroidissement sans production d'électricité ; ITER est un démonstrateur non productif.

Le projet ITER devrait être suivi du projet DEMO, un réacteur de recherche de démonstration de production (la chaleur produite chauffera de l'eau et sera convertie en électricité par des alternateurs comme dans les centrales actuelles), puis PROTO qui sera le prototype industriel, avant la phase finale réellement industrielle d'un parc de centrales basées sur la fusion.

Il n'y aura aucun déchet HA. A l'arrêt, le transfert de responsabilité ira à la France et donc à l'ANDRA, qui prendra en charge le démantèlement et tous les déchets.

Lors de la montée en puissance d'ITER, il y aura production de déchets de MA-VL.

Enfin 2 500 T de déchets MA VL sont prévues au démantèlement.