

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025

1. Organisation

Le déplacement s'est déroulé du 6 au 9 juillet 2025 pour une vingtaine des membres du CLIS. Le lundi matin, le CEA a présenté ses activités, puis une visite de l'unité ATALANTE. Le midi était organisé un repas pour une rencontre des personnes du CEA. L'après-midi, a été dédié à la visite de l'unité CD, puis de l'espace INFODEM, consacré au démantèlement.



2. Le site de Marcoule

Marcoule est un site du CEA étudiant plus particulièrement le cycle du combustible, les déchets, l'assainissement et le démantèlement.

Le site a été inauguré en 1955 et comportait des réacteurs pour produire des matières stratégiques. Le 1^{er} réacteur UNGG 7 MW « G1 » a fonctionné de 1956 à 1968, les 2 suivants de 40 MW, G2 et G3, ont démarré respectivement en 1968 et 69 puis se sont arrêtés en 1980 et 84. Il y a aussi la préparation du combustible avec le « dégainage ». Le retraitement se faisait dans l'usine UP1, ancêtre de La Hague, pour extraire le plutonium, démarrée en 1968. Puis le démantèlement de UP1 a été lancé en 1997. L'AVM (Atelier de Vitrifaction de Marcoule) a fonctionné de 1978 à 2012. A la base, le site avait une vocation militaire avec le Plutonium (extraction, retraitement). Aujourd'hui, le site est plus orienté sur le civil, en recherche et développement, avec Atalante (cycle du combustible) et le « CD » (Confinement des Déchets). Actuellement, beaucoup de bâtiments sont en démantèlement. Atalante a été lancé en 1992 ; ce laboratoire est dédié aux Hautes Activités, à la R&D sur le cycle du

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

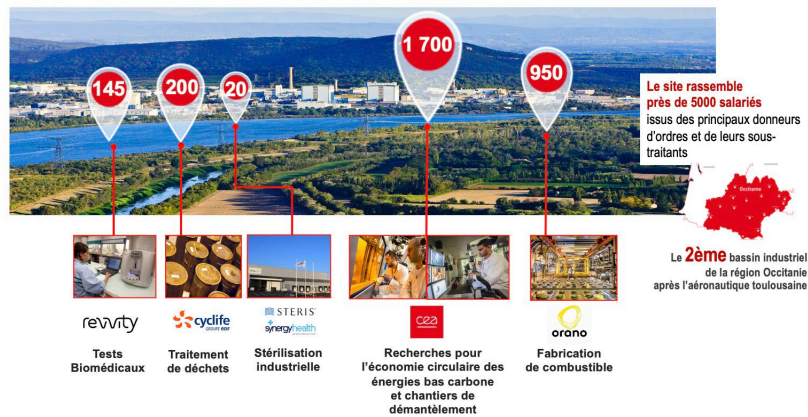
Site du CEA - 7 juillet 2025

combustible. Le site de Marcoule est connu pour son réacteur Phénix qui était un 'Réacteur à Neutrons Rapides' (RNR) installé en 1974 et arrêté en 2009 après 35 ans de recherche.

Depuis 1996, il y a un vaste chantier de démantèlement. L'assainissement/démantèlement des anciens bâtiments impliquent la gestion de leurs déchets, chaque installation étant particulière ; la gestion est innovante pour chacune.

Le site fait environ 300 ha, avec 3 INB (Atalante, Phenix, Diadem) et une INBS en démantèlement. Cela représente 30 laboratoires de recherche. L'ICSM se consacre à la chimie séparative, le LI2D sur le diagnostic des agents pathogènes. Ces laboratoires accueillent 120 chercheurs, 100 doctorants et post-doctorants, et 1000 stagiaires. Le site a produit 255 brevets, soit environ 20 brevets déposés par an.

Le site de Marcoule, une plateforme scientifique et industrielle unique en Occitanie



Site de Marcoule - CEA

Le CEA représente 1 700 personnes sur le site mais d'autres groupes travaillent aussi sur la plate-forme, comme ORANO (avec Melox) avec 950 personnes, Revvity (ex Bio assay, tests biomédicaux) avec 145 personnes, Steris (stérilisation industrielle) avec 20 personnes, Cyclife (traitements des déchets) avec 200 personnes... En tout cela représente environ 5000 salariés. Le site a un budget de 587 M d'€ annuellement, dont 77 M consacrés à la recherche.

Les recherches phares du site de Marcoule portent sur l'énergie décarbonée, avec l'ISEC (Institut des Sciences et Technologies pour l'Economie Circulaire des Energie bas Carbone) depuis 2020.

Il y a 3 grands axes de recherches dans le cycle du combustible :

- Objectif fermeture du cycle du combustible : en amont recherche sur l'extraction, purification, enrichissement de l'U, amélioration des procédés de retraitement, multirecyclage, vitrification.
- Economie circulaire pour les autres énergies bas carbone : gestion durable des ressources et matières pour la transition énergétique (batterie, éolien, solaire, hydrogène).
- Soutien à l'assainissement/démantèlement : beaucoup d'innovations en France et à l'international, salle de réalité virtuelle, scénario de démantèlement, plateforme de robotique, conditionnement des déchets (verre, ciment, céramique...).

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025

Marcoule a un recul de 60 ans de recherche sur le démantèlement/assainissement, et a été un appui pour le démantèlement de Fukushima.

Marcoule travaille aussi sur la médecine du futur, avec le LI2D. C'est un laboratoire d'innovation technologique pour la détection et le diagnostic, travaillant par exemple sur les biomarqueurs pour des maladies infectieuses, la compréhension des mécanismes des pathologies, la mise au point de réactifs pour la détection de maladies.

En réponse aux questions de membres du CLIS, il est précisé que l'IA est utilisée sur le site pour des bras robotisés, découpes laser ; le CEA apporte son expertise sur les matériaux lors de collaboration avec le laboratoire de Bure ; Marcoule a des déchets historiques stockés sur le site, des déchets HA (RCD), majoritairement des MA-VL et en particulier des déchets bitumés en attente pour CIGEO (moyens particuliers pour gérer le risque incendie).

A la demande sur la qualité de la connaissance sur des colis de déchets anciens, il est précisé que le CEA a beaucoup de déchets non conditionnés, mais que pour les colis anciens ils sont bien caractérisés avec identification des déchets avant conditionnement en colis. Le site comporte des MA-VL et des HA assez froids mais qui sont prévus pour la zone HA (et non pas HA0 de la Phipil).

Sur les RNR, Marcoule maintient les compétences des 35 ans de fonctionnement de Phénix mais tout est arrêté ; le projet Astrid est abandonné. Il y aura éventuellement une relance, avec la 4^{ème} génération, ou les appels à projet avec la relance du nucléaire, une feuille de route devrait voir le jour à la fin de l'année.

3. ATALANTE

Le projet de cette INB a commencé en 1985, la DAC de 1989, le 1^{er} laboratoire date de 1992 et la 1^{ère} chaîne blindée de 1994. Atalante couvre 20 000 m², sur 3 étages, et comprend 9 chaînes blindées + 2 en soutien. Atalante emploie environ 300 personnes, les 2/3 pour la R&D et 1/3 en soutien et gestion.

C'est aussi 20 laboratoires et 250 boîtes à gants, à la pointe internationalement. Par exemple, C12 est une chaîne blindée en U, le travail s'y fait par télé-opération. Un thème abordé est le recyclage du combustible (mise en dissolution, extraction, travail sur tous les éléments du tableau de Mendeleïev), le travail se fait sur de la matière en quantité 'réelle'.

Le laboratoire LN1 (Laboratoire Niveau 1) est un laboratoire de chimie de caractérisation d'éléments radioactifs, mais les quantités manipulées sont très faibles (en 9 ans, 5 g de matière utilisée). LN1 date de 2005, avec des recherches amont sur les actinides, pour comprendre les mécanismes, pour faire de l'extraction en solution (phase aqueuse/phase organique qui permettent de séparer selon les affinités). Il utilise de la spectrographie de masse, de la RMN etc..., tout est au même endroit ce qui est assez unique dans le monde.

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025



Laboratoire avec boîtes à gants – Atalante. Photo CEA

Pour les C18/19, nous avons eu finalement une présentation en salle en lieu et place de la visite prévue. Sa thématique a porté sur l'économie circulaire des énergies bas carbone avec l'ISEC. Cela représente 500 permanents et 200 non permanents, une trentaine de laboratoires, 180 publications par an, et 20 brevets par an. Les recherches portent sur le cycle du combustible, l'assainissement/démantèlement, le soutien à la défense, le recyclage de matière. Il y a plusieurs départements dont l'ICSM (chimie séparative) et le DPME (procédé et matériaux).

Les recherches portent sur le cycle du nucléaire et le cycle des matières de la filière des énergies renouvelables (terres rares, métaux, matériaux critiques). Les recherches passent du niveau moléculaire à l'échelle du laboratoire puis à la qualification de procédés et enfin à l'intégration des procédés pour les besoins industriels. Contrairement à Atalante qui expérimente en HA, l'ICSM fait des expérimentations à froid et en boîte à gants. Ces recherches apportent un soutien aux usines de La Hague, Melox, permettant l'extension du domaine de fonctionnement ou la pérennisation des procédés. C'est aussi de l'innovation pour les ateliers du cycle des futures usines ou du soutien à la défense. Il y a des études sur les combustibles pour les réacteurs à base de sels fondus, sur la vitrification des déchets (développement et qualification de procédés à échelle 1, formulation des verres, comportement à long terme des colis de verre). Cela porte aussi sur l'enrichissement par séparation isotopique au laser ou sur les matières pour les énergies renouvelables (recyclage des panneaux photovoltaïques, batteries, panneaux, aimants).

En ce qui concerne la gestion des déchets vitrifiés, les études portent sur le comportement du verre en tenant compte du contact avec l'eau associé avec les radiations. Le procédé chimique PUREX permet de recycler mais il reste des déchets HA qui sont vitrifiés dans le verre R7T7 : est analysée ici l'évolution du verre dans les conditions de stockage profond. Atalante avec le bâtiment DHA permet de travailler sur les HA, il comprend 2 chaînes blindées C18 et C19, un laboratoire comprenant des boîtes à gants blindées et un laboratoire avec des boîtes à gants. Les études concernent plus particulièrement la durabilité, les procédés, les matériaux. Le C19 permet des études sur la lixiviation, les mesures physiques, les analyses physicochimiques. Le C18 étudie les synthèses de matériaux, la préparation d'échantillons.

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025

4. UNITÉ CD (conditionnement de déchets)

Présentation du laboratoire des matériaux, du LEMC, et du LDPV

a) Laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification

Le laboratoire travaille sur la formulation des verres : analyse de la qualité des verres produits pour étudier le comportement à long terme. Le verre présente comme intérêt sa structure amorphe (flexible), monolithique. Le verre accepte de nombreuses autres molécules dans sa structure et en grande quantité, ce qui permet la solubilisation du déchet au sein même du réseau vitreux (ce n'est pas un simple enrobage). Le déchet liquide est calciné en cendres, lesquelles sont coulées dans le verre liquide à 1000 – 1250 °C. Les analyses portent sur la viscosité, la présence de cristaux ... ce qui définit la qualité du verre. Le verre final obtenu a une densité assez élevée du fait des éléments lourds intégrés.

b) LEMC Laboratoire d'Etude des Matériaux en environnement Complexe

Le laboratoire travaille surtout sur la durabilité des verres, mais aussi le comportement des enrobés bitumineux ou les propriétés physicochimiques sous radiation gamma. Il est prestataire de recherche pour ORANO, EDF, ANDRA, ONDRAF, JAEA (Japon) ... Cela représente une vingtaine de personnes, plus des doctorants et post-doctorants. Les analyses sur le comportement du verre en condition de stockage montrent que le conteneur reste intègre sur des milliers d'années ; la rupture d'un conteneur n'intervient qu'après 3 800 ans. Après la rupture, il y a une arrivée d'eau en contact du verre. Les études portent sur l'analyse, de l'altération du verre par l'eau. Les modélisations montrent au départ une altération rapide puis il se forme une pellicule qui freine la migration des radionucléides, le phénomène est très dépendant de la température (plus lent si température plus basse).



Verre de confinement – photo CEA

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025

Ces matériaux montrent une durée de vie très longue, ce pour quoi ils sont conçus. Il y a différentes expérimentations pour analyser les différentes vitesses de corrosion ou altération par l'eau. Mais aussi une expérience sur la prise en compte des propriétés chimiques de l'eau avec de l'argilite, qui dure depuis 35 ans et permet la comparaison avec les modélisations prévues. Pour les analyses à long terme, ces échelles de temps imposent de passer d'un modèle conservatif à un modèle majorant. Par ailleurs, il y a des analyses archéologiques, sur des verres anthropiques de 1 800 ans (bateau échoué en Phénicie en mer à – 56 m), ce sont les 'verres des Embiez', soumis à une température constante de 12 °C. Ils permettent une observation des altérations et permettent la confrontation avec les modélisations. La pellicule d'altération a une épaisseur proportionnelle à la taille des fissures. D'autres verres sont utilisés : verres anthropiques scories de hauts fourneaux (minerai de fer) qui datent du 17^{ème} siècle ; verres basaltiques (éruption) qui sont beaucoup plus vieux et qui permettent encore la comparaison avec les modélisations. Les verres sont comparables même si les compositions sont différentes. Pour l'ANDRA, il y a eu le développement d'un modèle enveloppe qui a servi à l'étude de sûreté puis aux calculs de doses sur 1 M d'années.

c) LDPV Laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification

Le laboratoire est une unité de vitrification à échelle 1 mais avec des isotopes stables, la même chimie sans la radioactivité. L'atelier AVM a permis l'invention de la vitrification à Marcoule. Le colis CSDV fait 400 kg de verre, il est coulé en 2 fois. Le chauffage se fait par induction (c'est le creuset métallique qui chauffe).



Coulée de verre – photo CEA

Il y a aussi le développement du creuset à froid qui est plus rapide, par induction seul le verre chauffe par effet Joule. Cela permet de plus monter en température, le verre est en contact avec un creuset froid et c'est donc beaucoup moins corrosif. La Hague utilise le procédé mais est toujours en demande de progrès. L'importance dans ce laboratoire est l'échelle 1 pour permettre des améliorations. Le processus de vitrification se fait en 2 étapes : calcination puis ajout de fritte de verre. A noter l'ajout de sucre organique, qui permet la production de gaz CO₂, lequel induit une expansion et donc une poudre plus fine. Le laboratoire travaille sur d'autres déchets provenant d'usine ou du démantèlement.

5. INFODEM

C'est une exposition sur l'assainissement et le démantèlement située dans l'ancien bâtiment du réacteur G1, tout premier réacteur électronucléaire français, produisant du plutonium et arrêté dans les années 60. Elle présente les sites en cours de démantèlement et assainissement,

Compte-rendu de la visite à Marcoule, Gard

Site du CEA - 7 juillet 2025

les stratégies, les méthodes, le développement technique associé. On y découvre des robots d'intervention et une salle d'immersion 3D, un film sur le démantèlement d'une cellule chaude, ainsi que l'ancien cœur du réacteur. Il est rappelé qu'il n'y a pas de seuil de libération en France, tous les déchets ont une filière nucléaire dédiée. Le démantèlement permet la découpe des déchets, l'assainissement permet de retirer la radioactivité résiduelle. Les premiers démantèlements ont débuté dans les années 60, le 1^{er} arrêt d'un réacteur (Brennilis) dans les années 80, les 1^{ères} installations de recherche débutent dans les années 80-90 mais c'est seulement fin 90 qu'il y a une vraie industrialisation du démantèlement/assainissement.

Les différentes phases du retrait du terme source à l'état initial : opérations de préparation au démantèlement (avec dossier puis décret) - opérations de démantèlement - assainissement - contrôles radiologiques (2 - 3 ans) - dossier de déclasserment - déclasserment.

Le CEA gère des chantiers très divers : réacteurs, laboratoires, piscines, ateliers, dont les tailles et les déchets sont très différents. Il y aussi les sites historiques dont la traçabilité est limitée. Le démantèlement représente 1 250 salariés sur 4 sites (Fontenay, Saclay, Marcoule et Cadarache), soit 15 INB. 25 000 m³ de déchets sont conditionnés par an, et il y a plus de 100 projets en assainissement/démantèlement. Le CEA a une unité dédiée au démantèlement. La priorisation des installations est fonction du terme source mobilisable (autrement dit ce qui pourrait fuir en cas d'accident).

Le CEA investit beaucoup dans des entreposages en attendant les stockages (autres que CIREs et CSA) car sinon les recherches devraient s'arrêter. L'entreposage se fait à sec, en puits (cf. DIADEM), et il n'y a pas besoin de décroissance de la température au vu des caractéristiques des déchets. Quelques installations de service : AGATE (traitement des effluents), ROTONDE, DIADEM, CDS, STEMA ... Cette filière implique 10 000 transports par an, 100 autorisations par an, 50 types d'emballages ... Sa R&D s'étale du court à long terme, en collaboration avec EDF, ONET, ANDRA, ENGIE, VEOLIA, ORANO, ONDRAF...

