

Cadarache et ITER :

de l'ocre de Roussillon à la fusion nucléaire

17 au 21 avril 2023

par Alain Michaud et Thierry Massard
photos A et MJ Michaud, E Perrot Minnot
illustrations extraites des exposés Cadarache et ITER



L'idée d'une visite du chantier du pharaonique projet international ITER, tokamak devant servir de banc de test à un futur prototype de réacteur à fusion nucléaire, espoir de source d'énergie « propre et inépuisable » pour l'humanité a été immédiatement adoptée au sein du Bureau de notre association, l'ARCEA CESTA ... décision immédiatement suivie par la proposition d'agrémenter cette journée de quelques balades dans les environs, dans cette région de Provence, riche de centres d'intérêts, aux ambiances colorées qui ont inspiré beaucoup d'artistes :

La journée « sciences et techniques » du 19 avril passée sur le Centre CEA de Cadarache le matin et sur le territoire international ITER l'après-midi, encadrée par deux journées à vocation touristique et culturelle, les 18 et 20 avril : voilà le programme.

Concernant l'hébergement, il n'y avait pas à se poser la question, la superbe maison d'hôtes du CEA « le Château de Cadarache » était là pour nous accueillir. Bâtie dont les origines remontent au 11^{ème} siècle, détruite puis reconstruite au 15^{ème} siècle par Honoré de Berre, sous le règne du « bon roi René », elle a été restaurée en 1919, inscrite au titre des monuments historiques en 1925 puis achetée par le CEA et transformée en Maison d'Hôtes. Les travaux récents d'isolation, de réfection totale des chambres et des sanitaires en font un lieu d'exception.



Arrivée au Château de Cadarache le 17/04 en fin d'après-midi, chacun des 18 participants venant par ses propres moyens, les uns en voiture, d'autres en train, avion et car.



On en profite pour admirer le magnifique site, implanté sur un monticule avec une vue panoramique d'où nous apercevons :



l'INSTN en premier plan, et à l'horizon le chantier ITER à gauche, le centre de Cadarache à droite,

et de l'autre côté, la vallée avec le confluent du Verdon et de la Durance.



19 heures, tout le monde se retrouve dans la salle à manger pour le dîner.



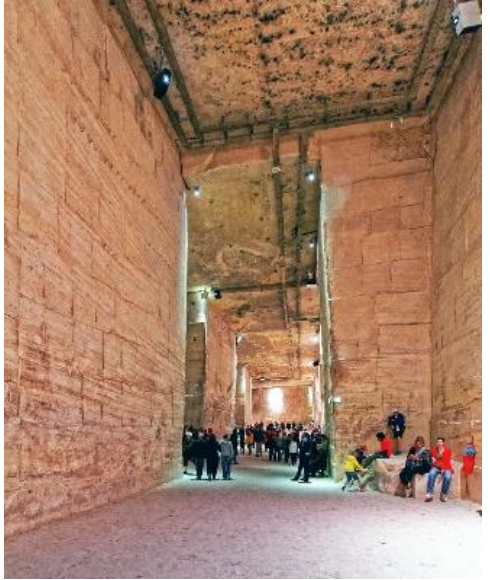
18 avril : Les Baux de Provence

Petit déjeuner de 7h à 8h. 9h, départ en car vers Les Baux de Provence.

Traversée de la belle région du massif des Alpilles pour une arrivée aux Baux de Provence, parking des carrières dans lesquelles, depuis quelques années, se déroule un magnifique spectacle sur des thèmes axés sur les arts picturaux. Cette année, les maîtres hollandais, de Vermeer à Van Gogh étaient à l'honneur ... avec un complément évoquant l'œuvre de Mondrian.

Dès l'entrée dans les gigantesques volumes laissés par l'exploitation du calcaire, nous pénétrons dans un autre monde ...

et quand le spectacle commence, toutes les parois s'illuminent et nous nous trouvons en immersion complète dans l'univers de ces artistes. La puissance du numérique met en scène les œuvres dans la réalité du quotidien, la lumière et la douce intimité des foyers ou la brutalité des éléments et des batailles navales.



Le final nous fait pénétrer dans le monde de Van Gogh et nous plonge dans ses paysages sous un soleil brûlant. Ses autoportraits nous fixent intensément...



Un magnifique spectacle.

Nous nous retrouvons pour la pause repas chez « la Reine Jeanne », un sympathique restaurant dans la ruelle principale de la petite ville des Baux de Provence.



Là, une guide nous prend en charge pour une promenade dans le village, jusqu'à la terrasse qui domine la plaine. Evocation de l'histoire de la ville, depuis la famille des Baux qui au 10^{ième} siècle construit le château (dont il ne reste que des ruines) sur cet emplacement hautement stratégique, perché sur un éperon rocheux. Le village périclité, victime du manque d'eau et des difficultés d'accès. Au 19^{ième} siècle, la découverte de minerai d'aluminium, la bauxite, ainsi que l'exploitation des carrières de calcaire, lui donne un regain d'activité. Mais sa renaissance n'advient réellement qu'après la seconde guerre mondiale lorsque des artistes s'y installent (Pablo Casal, Y. Brayer, ...) et que le tourisme lui apporte notoriété, entre autres grâce à Malraux qui classe le village dans la famille des « plus beaux villages de France ».

Une balade commentée, pas toujours facile dans ces petites ruelles escarpées, et retour à Cadarache.

19 avril : Centre CEA de Cadarache et ITER

Ce matin notre groupe au grand complet trépigne d'impatience devant le car qui nous accompagnera toute la journée. Matinée consacrée à la visite du centre de Cadarache. Pour certains c'est une réelle émotion de revenir sur un centre où ils ont œuvré au cours de leur carrière. Pour les autres c'est l'excitation de la découverte.

WEST

Notre guide est Pascale Romanetti responsable communication du Centre. Elle nous fait faire un grand tour du Centre avec une halte devant le Réacteur Jules Horowitz qui sera le prochain réacteur expérimental du CEA. Puis un grand parcours dans la vallée des réacteurs notamment CABRI qui joua un rôle important pour la filière des surgénérateurs Phénix et Superphénix. Passage devant le RES le réacteur de la DAM pour la propulsion navale en pleine extension.



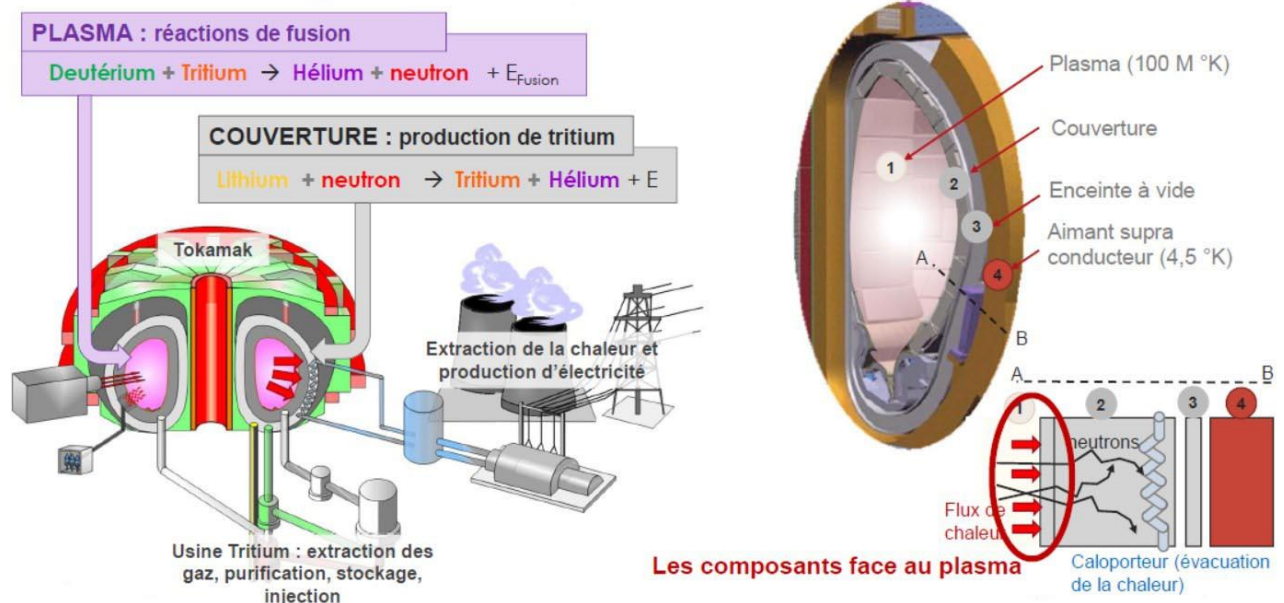
Enfin nous arrivons à l'IRFM (Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique) accueillis par Philippe Migaud responsable de l'ingénierie sur le tokamak WEST. Avec un exposé simple et didactique il nous donne quelques clés importantes pour comprendre la fusion et sa promesse d'une énergie abondante, verte et inépuisable.

En termes simples, la fusion nucléaire est le processus par lequel deux noyaux atomiques légers s'unissent pour en former un seul plus lourd en libérant une énorme quantité d'énergie. Les réactions de fusion se produisent dans un état de la matière appelé plasma.

La réaction la plus utilisée est la réaction de deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium, qui conduit à un atome d'Hélium, un neutron et beaucoup d'énergie !!!



Il « suffit » alors d'utiliser la chaleur de la réaction pour chauffer un fluide et produire de l'électricité. Le neutron est aussi très utile. En réagissant avec des matériaux au Lithium situés dans le réacteur, il génère du tritium ce qui permet de produire le combustible pour entretenir la réaction. Voici donc le grand principe d'un réacteur de fusion.



Le plasma doit être confiné dans un espace toroïdal. Pour cela on utilise les forces magnétiques produites par des bobines électriques qui produisent un champ magnétique intense. Sur WEST, elles sont fabriquées dans un matériau supraconducteur un alliage Indium Titane. Les bobines sont immergées dans un cryostat à 1,5 Kelvin afin de développer le champ magnétique désiré.



Le tokamak WEST se dresse devant nous : un monstre torique de métal entouré d'un grand nombre d'instruments servant à mesurer les quelques centaines de paramètres d'un plasma ! Cet instrument est véritablement au service du projet ITER. Il permet de tester les matériaux qui seront face au plasma et qui doivent absorber jusqu'à 50 MW/m² sans se détériorer. Le matériau retenu est le Tungstène (W dans la table de Mendeleïev) d'où l'acronyme de WEST¹. Le Tungstène est très résistant en température, il crée peu ou pas de pollution dans le plasma, il n'adsorbe pas le tritium. En fait il n'est que la première couche d'un ensemble très complexe qui est testé sur la machine du CEA. Le tokamak WEST est capable de produire des plasmas sur des temps longs de plusieurs minutes ce qui permet de tester les solutions qui seront utilisées sur ITER.



La visite du Hall de WEST est impressionnante. La salle de commande ressemble à la salle de contrôle d'Ariane à Kourou. Il faut du monde et du talent pour maîtriser le plasma pendant des temps longs. Un peu comme dans un rodéo, le plasma ne demande qu'à échapper aux expérimentateurs.

WEST est une machine complexe mais qui a permis et permet encore de grandes avancées pour la fusion : plasmas longs, matériaux innovants, bobines supraconductrices fonctionnant à 1,4K. Ces éléments se retrouveront sur ITER et permettront à cette grande machine de faire un grand pas vers la conception d'une centrale nucléaire de fusion produisant de l'électricité en grande quantité.

ITER

Après cette visite du Centre de Cadarache nous nous sentons bien armés pour aborder la visite d'ITER l'après-midi. Arrivés au poste de garde nous recevons nos EPI (équipements de protection). Equipés d'un casque, de lunettes, de chaussures de sécurité et de gants nous nous dirigeons vers l'immense chantier qui s'étale devant nos yeux depuis un belvédère qui surplombe les quelques 50 hectares concédés par la France pour l'édification d'ITER.



¹ Tungsten (W) Environment in Steady-state Tokamak

Notre hôte Alain Bécoulet, directeur de l'ingénierie, va nous faire une présentation introductive afin de nous familiariser avec ce grand projet qu'est ITER.

Alain nous rappelle que le projet ITER consiste à réaliser le premier démonstrateur de réacteur de fusion fonctionnant avec la réaction DT. Vu l'ampleur de la tâche, ITER est un projet international. Il est né en 2007 de la volonté commune de Ronald REAGAN et de Mikhaïl GORBATCHEV de lancer un grand projet pour le bien de l'humanité. Sept grands pays – Chine, Union européenne, Inde, Japon, Corée, Russie, et USA se sont associés pour réaliser ce fabuleux challenge.



Défi global, réponse globale

Les sept Membres d'ITER représentent plus de 50% de la population mondiale et 85% du PIB de la planète

Chine UE Inde Japon Corée Russie USA

Malgré les vicissitudes de l'histoire, le projet se poursuit au rythme prévu. Chaque pays fournit sa contribution en nature sous la forme de parties de la machine ITER. La France a un rôle particulier puisqu'elle accueille sur son territoire la machine ITER et en assure l'assemblage. Un gigantesque chantier international où plusieurs milliers de personnes travaillent chaque jour.

ITER est, comme WEST, une machine de type TOKAMAK mais sa taille est 40 fois plus grande que celle de WEST. C'est le plus grand Tokamak jamais construit. Il utilise les technologies développées sur les précédentes machines mais cette fois il les réunit toutes à une échelle beaucoup plus grande afin de produire quelques centaines de MW.

Le tokamak ITER

Chambre à vide: ~ 8 000 t.
Bobines TF: 18 x 360 t.
Bobines PF: 6 de ~ 200 à ~400 t.
Solénoïde central: ~ 1 000 t.
Etc.
Total ~ 23 000 t.

3,5 fois la masse de la Tour Eiffel!

Mais ITER ne produira pas d'électricité. Ce sera le rôle des machines suivantes qui naîtront de l'expérience d'ITER et qui seront construites par chaque partenaire d'ITER. Ces machines appelées DEMO seront la tête de pont pour de futures centrales de production d'électricité. Mais n'allons pas trop vite... il faut d'abord finir la machine ITER et la faire fonctionner avec des plasmas contenant du tritium et du deutérium. Une aventure qu'Alain Bécoulet nous promet pour la prochaine décennie. Le coût du projet ITER est estimé à ce jour à 44 milliards d'euros !

Direction maintenant vers le hall d'assemblage.

Cet énorme bâtiment mesure près de 60 m de haut afin de pouvoir glisser par le haut les neuf secteurs qui formeront le tore de confinement du plasma équipé des bobines supraconductrices toroïdales verticales.



Un secteur est déjà en place dans le cryostat, un énorme récipient qui maintient les bobines dans le froid absolu et entoure la chambre à vide où circulera le plasma. Puis viendront les bobines poloïdales horizontales. Ces dernières sont les seules fabrications sur le chantier en raison de leur taille impossible à faire voyager. Une usine dédiée a été construite sur le chantier pour leur réalisation. Enfin un solénoïde central complète l'ensemble du dispositif magnétique pour la maîtrise du plasma. Un ensemble de 23000 tonnes, soit 3,5 fois la tour Eiffel, avec des températures qui vont de 150 millions de degrés Celsius dans le plasma à moins de 2 Kelvin (-271°C) dans le cryostat.

sur la photo de gauche, on peut voir dans le hall de montage le premier module du solénoïde central (en jaune) et plus loin, sur son bâti de manutention, un secteur du tore (photo de droite).



Après avoir franchi quelques étages d'échafaudage au centre du bâtiment, nous pouvons contempler de haut cet immense hall d'assemblage. La machine ITER est derrière un mur. On la devine mais on ne la verra pas cette fois-là car des opérations de montage nous en interdisent l'accès.

Il nous faudra revenir. Notre guide Hélène Delmotte nous encourage à revenir ou à conseiller à nos amis, à se rendre sur ce chantier pharaonique. L'accès est ouvert à tous et les « ITERiens » sont heureux de faire visiter leur domaine et de parler de la fusion. À bon entendeur...

Nous quittons à regret ce lieu magique où se construit peut-être l'avenir énergétique du monde. Mais nous nous promettons de revenir lorsque la bête s'éveillera...

20 avril : Aix et les mines d'ocre de Bruoux

Confiserie Léonard Parli

Après la journée « scientifique » nous repartons pour une étape gourmande d'abord, pour ensuite nous diriger vers une curiosité géologique, les carrières d'ocre de la région de Roussillon.

Etape incontournable quand on passe à Aix en Provence : la visite d'une confiserie spécialisée dans la fabrication des fruits confits et surtout, des fameux calissons.

Donc, 9h, embarquement dans le car, un mini car juste à la taille de notre petit groupe et cap sur le laboratoire du confiseur réputé Léonard Parli.

Accueillis par la responsable fabrication et après une brève entrée en matière, hygiène oblige : coiffés d'une charlotte, nous suivons notre guide dans les dédales de l'atelier de confiserie. Passons les détails pour résumer :

Elaboration des fruits confits :

- fruits de première qualité, de production locale dans la mesure du possible
- nettoyage, épépinage et découpe si besoin
- blanchiment et rafraîchissement
- « étuvage / macération » dans un sirop de sucre en plusieurs étapes, la teneur en sucre augmentant progressivement
- égouttage, glaçage au sucre glace (pour certaines présentations), séchage

Certains produits sont directement destinés à la vente, tels quels, d'autre seront préparés enrobés de chocolat de couverture, d'autres, comme le melon par exemple, serviront à la fabrication de la pâte pour les calissons.



Bien sûr, les aixois se disent les meilleurs en la matière, les aptésiens disent qu'à part eux, tous les autres ne sont que de pâles imitateurs ... allez savoir ! il n'y a qu'à goûter ... et pour ça, la maison Parli n'a pas été avare ! tout était vraiment délicieux.

Elaboration des calissons :

Là, sans conteste, c'est à Aix que revient la paternité des calissons. On trouve des traces de cette recette dans bien des pays orientaux, même chez les romains, mais la légende qui nous plaît le plus est bien aixoise. C'est au 15^{ième} siècle (tiens, on y revient !!!) que le bon roi René (toujours lui !), pour amadouer sa promise, revêche et acariâtre, et peu souriante le jour de son mariage, avait fait confectionner par son cuisinier une friandise. Goûtant ce bonbon, le visage de dame Jeanne s'éclaira d'un beau sourire ... elle demanda au cuisinier ce qu'était cette douceur et il lui répondit : « di câlin souns » qui veut dire « des câlins » en provençal ! et pour terminer l'histoire, on lui donna la forme d'un joli sourire !

Donc, petit bonbon à base de pâte d'amande, melon confit, orange confite, recouvert d'une fine croute de glaçage royal (sucre glace et blanc d'œuf), posé sur une fine feuille d'hostie.



Après avoir passé en revue toutes les étapes de fabrication, sans oublier l'ajout d'une pointe d'amande amère, une pause nous est proposée pour l'étape dégustation de cette délicieuse friandise.

Sur le parcours, halte dans le laboratoire « chocolat » où sont élaborés les couvertures pour des fruits confits (orangettes, tranches d'orange, calissons avec couverture chocolat etc. ...). Là encore, insistance sur la qualité « sans concession » de la matière première.

La visite des ateliers terminée, passage obligé à la boutique où la plupart d'entre nous a cassé la tirelire (ce n'est pas donné !!!) pour rapporter un souvenir pour la famille ou les amis.



Aix en Provence

Là, ça va être court ... Notre jeune chauffeur de car, les yeux rivés sur son portable affichant GoogleMaps, s'est embarqué dans de petites ruelles improbables, limites piétonnes, avec des travaux et des déviations à n'en plus finir ... tant et si bien qu'il nous a suggéré de descendre et de finir à pied pour rejoindre le centre-ville, point de départ du Petit Train, étape suivante de notre périple.



Evidemment, comme on pouvait s'en douter, on l'a loupé ...

Rassemblement, chacun y allant de son avis sur le « où on était », « où était le restaurant prévu pour le repas », etc. etc. ...

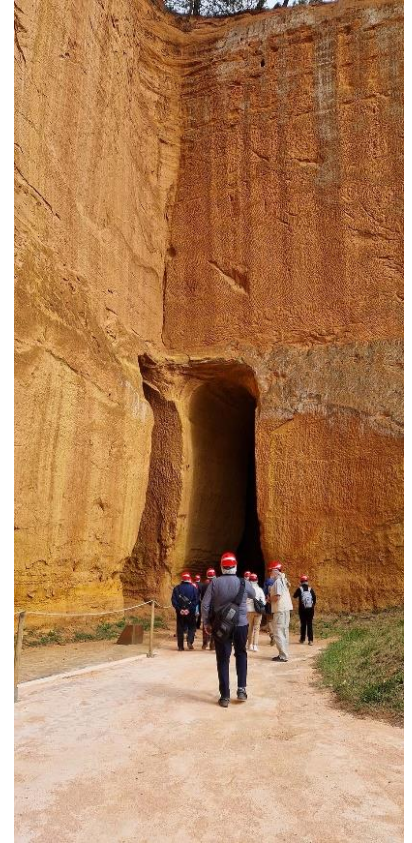
La pression retombée, (en fait, nous avons tous les docs nécessaires) nous avons sereinement pris la route, flânant sous les platanes du cours Mirabeau, et miracle, aucune perte en ligne, tout le groupe se retrouve au restau pour un apéro propre à renforcer la bonne humeur qui ne nous avait pas quittés !

Restaurant sympa, « 29 Miollis », service simple et agréable, bon dans l'assiette.

Le chauffeur avait fini par se sortir du guêpier dans lequel il s'était fourré et comme nous en étions convenus, nous attendait, garé en double file, devant le restaurant.

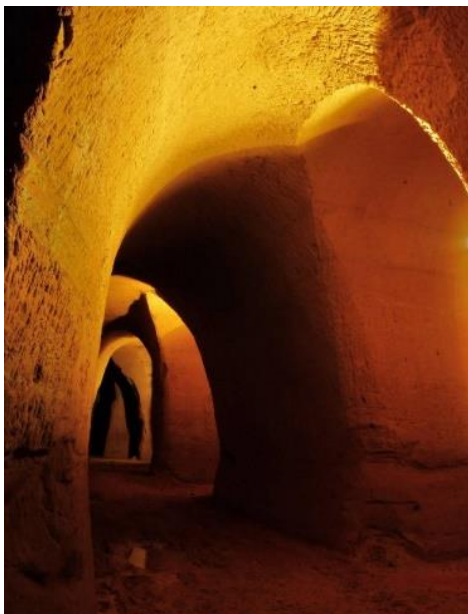
Carrières et mines d'ocre de Bruoux

Trajet en car un peu pénible, pas de clim et un chauffeur jonglant sans arrêt avec la ligne centrale (pestant au prétexte qu'on lui avait donné un car bon pour la casse et avec un défaut de parallélisme ...), une route de montagne sinueuse ... bref soulagement à l'arrivée aux mines de Bruoux.



Face à nous, une falaise ocre de 40 m de haut, dans laquelle une étroite entrée permet l'accès aux galeries.

Mais qu'est-ce que l'ocre ? quelle est son histoire ? Notre guide va répondre à toutes ces questions ...
L'ocre est une roche ferrique composée d'argile colorée par un hydroxyde de fer : l'hématite pour l'ocre rouge, la limonite pour la brune et goethite pour la jaune. Les ocres se trouvent dans le sol sous forme de sables ocreux composés à plus de 80 % de quartz.
Son utilisation comme couleur date du paléolithique, les peintures rupestres en témoignent.
Son exploitation date de la fin du 18^{ème} siècle avec la découverte du moyen d'extraction et en 1848 à Gargas, dans les Mines de Bruoux. L'exploitation a duré plus d'un siècle.



Les « ocriers », creusaient des galeries à coups de pioche, manipulaient des wagonnets et extrayaient les sables ocreux. Les mines sont creusées à l'horizontale, en partant par le haut de la galerie. Ces dernières atteignent plus de 15 m de haut, elles forment un réseau de plus de 40 km. Des puits verticaux débouchant à la surface permettent l'aération de la mine. Contrairement aux mines de charbon, pas de gaz dangereux ou toxiques, mais la poussière d'ocre restait un gros problème occasionnant des maladies respiratoires.

Il reste une carrière d'ocre à ciel ouvert à Gargas, exploitée par la Société des Ocres de France, basée à Apt. C'est la dernière en Europe.

Retour à ciel ouvert, dans un joli vallon verdoyant face à la falaise d'ocre, une magnifique harmonie de couleurs !



Trajet retour dans notre mini car, un peu de stress dans les lacets du Lubéron pour certains, mais arrivée sans encombre et à l'heure au Château de Cadarache.

Apéro surprise offert par le gérant de la Maison d'Hôtes, dernier diner, une bonne nuit de sommeil, et le lendemain, petit déjeuner avalé, chacun a repris la route.

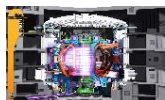
Que ce soit l'hébergement au Château, les visites techniques du Centre de Cadarache et d'ITER, les journées touristiques, chacun semblait ravi des 3 journées passées en région PACA.

les albums photos sur notre site via le menu ou clic sur l'image →

l'exposé sur WEST à Cadarache :



l'exposé sur ITER :



le site ITER : <https://www.iter.org/fr/accueil>



Pour terminer, je ne résiste pas à l'envie d'évoquer la rocambolesque aventure des terrains de la pointe du Cap Ferret ... aventure sans laquelle le CEA n'aurait pas implanté un centre de recherche à Cadarache ! Et à ce sujet, je reprends les quelques lignes rédigées dans le compte rendu d'une de nos précédentes balades sur le Bassin de 2010 :

Chambre des députés. Séance du 07 août 1919

Projet de loi relatif à l'échange de terrains entre l'Etat et monsieur Labro, ingénieur à Paris.

« M. Charles Labro a demandé à acquérir, par voie d'échange, 493 ha de terrain du Cap Ferret, dépendant de la forêt domaniale de Lège et Garonne, et a offert de contre céder le domaine de Cadarache (Bouches-du-Rhône) et partie de la forêt de Moissac (Var), le tout 2551 ha .»

L'acceptation est avantageuse pour l'Etat : « un cheval pour une alouette ». Mais l'alouette était bonne à plumer ! Des conditions sont toutefois exigées au sieur Labro : entretien de la dune littorale, maintien des parties boisées, mesures d'assainissement, ... conditions jamais tenues, bien entendu. Labro via une compagnie immobilière vend des concessions à tour de bras et réalise une énorme plus-value. Des maisons fleurissent sur toute la côte ouest du Cap Ferret.

Dès 1940, accentué par le déboisement exigé par les occupants pour des besoins de défense, le sable envahit les routes littorales et engloutit terrains et maisons ...

... et sur le terrain de Cadarache, acquit par l'Etat lors de cet échange, le centre de recherche du CEA « Cadarache » a vu le jour !