

Jean-Pierre Petit
Ancien directeur de recherche au CNRS
Spécialiste de Physique des Plasmas
(toujours en activité)
jppetit1937@yahoo.fr

à Monsieur le Président de la Commission de l'Enquête
Publique concernant la création de l'installation de bas ITER
Mairie de Saint Paul lez Durance
Aux bons soins de l'Hôtel de Ville, Place Jean Santini, 13115
Saint Paul lez Durance

Recommandé avec AR
Copies à :
Mr le Préfet des Bouches du Rhône
M. Christian Desplats, Conseiller Régional PACA
Mme Michèle Rivasi, Députée Européenne

Monsieur,

Nous avons eu l'occasion de nous rencontrer une première fois à la mairie de Saint Paul lez Durance, où vous nous aviez très gentiment reçus.

Je m'y suis rendu une seconde fois et ai été reçu alors par Monsieur Arnaud d'Escrivain, ingénieur en génie atomique, officier de marine en retraite, ancien commandant en second d'un sous-marin nucléaire.

Celui-ci m'a laissé entendre qu'il y aurait peu de chance que ma demande de rencontre avec des responsables scientifiques, émanant d'ITER ORGANIZATION, soit suivie d'effet. Il m'a également dit qu'il y avait de grandes chances pour que les conclusions de la commission d'enquête se traduisent par une approbation avec réserves.

Je pense que cela serait effectivement le cas, si les critiques étaient formulées sous un angle uniquement environnemental. Dans un article paru dans le journal régional la Marseillaise, en date du 21 juillet 2011

<http://www.lamarseillaise.fr/le-fait-du-jour/les-pro-et-les-opposants-affutent-leurs-arguments-23672.html>

la presse, après avoir entendu « les Verts », les membres du collectif STOP ITER et le service de communication d'ITER ORGANIZATION « fait le point » en titrant :

Les pros et les opposants affûtent leurs arguments

L'article ne fait mention que de réponses à des critiques d'ordre environnemental.

Le plus fort séisme survenu en France, bien que se situant assez près de Cadarache (à Lambesc, en 1909) a atteint la magnitude 6,02. En prévoyant pour ITER une assise capable de résister à magnitude 9, constituée d'un « mille feuille » présentant une alternance de couches de propriétés mécaniques différentes les responsables opposent leur réponse à la critique consistant à insister sur le fait « que l'installation sera construite à proximité d'une faille ».

Vis à vis des risques liés au tritium, je cite la réponse de Michel Claessens, en charge de la communication pour ITER, mentionnée dans l'article, qui indique : « La conception d'ITER est telle que, même en cas de brèche accidentelle dans le Tokamak, les niveaux de radioactivité à l'extérieur de l'enceinte seraient encore très faibles. Le Rapport préliminaire de sûreté d'ITER inclut une analyse des risques et événements susceptibles d'entraîner des accidents dans l'installation. Pendant l'exploitation normale, l'impact radiologique d'ITER sur les populations les plus exposées sera mille fois inférieur au rayonnement ionisant naturel. Dans les scénarios les plus pessimistes, comme un incendie dans l'installation de traitement du tritium, aucune évacuation des populations avoisinantes ou autre contre-mesure ne serait nécessaire ».

A propos du problème des déchets, citons cet extrait de l'article :

Le collectif dénonce, entre autres, le fait qu'ITER produirait, selon lui, plus de 30.000 tonnes hautement radioactives durant 400 à 800 ans. C'est un tout autre point de vue qu'avancent, depuis des années, les scientifiques travaillant sur ITER, pour eux : « Pendant les vingt années que durera la phase opérationnelle du projet, ITER produira quelque 1 200 tonnes de déchets. Les déchets issus du démantèlement seront constitués à 90% de déchets de très faible, faible et moyenne activité à vie courte. Au terme de 100 ans de décroissance naturelle, 6 000 tonnes de déchets conditionnés subsisteront-l'équivalent d'un cube de 10 mètres d'arête ».

A ce différents arguments, les scientifiques travaillant sur ITER mettront en avant l'énormité de l'enjeu :

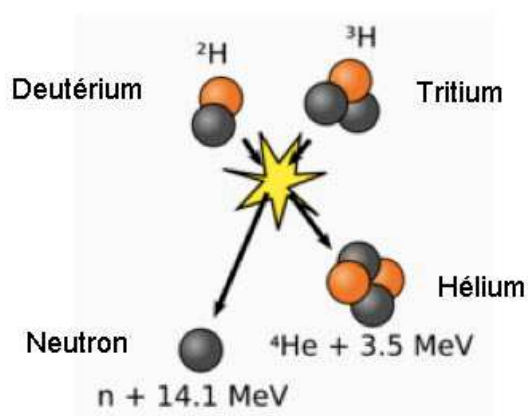
- *Mettre le soleil en éprouvette*
- *Disposer d'une énergie illimitée.*

Le but étant alors de résoudre les besoins en énergie de l'humanité toute entière. D'où la participation de 34 pays à cette entreprise, dont 7 pays européens, comme rappelé dans l'article.

Ce qui suit a été rédigé par un collectif de physiciens des plasmas, dont les noms figurent en fin de ce document.

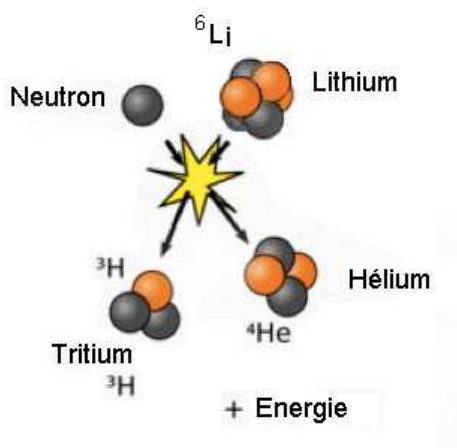
Le principe de base du fonctionnement d'un générateur à fusion, (qui n'est a priori pas le seul, ce qui sera évoqué en fin de cette lettre), dont l'expérience ITER ne représenterait que la première étape, est basé sur deux réactions nucléaires :

Une réaction de fusion, neutronigène



Celle-ci met en jeu deux isotopes de l'hydrogène, le deutérium et le tritium. Si le premier, non radioactif, est extrêmement abondant dans la nature, le second, ayant une demi-vie de 12,3 années, ne l'est pas. Dans un premier temps la machine ITER devrait fonctionner avec du tritium synthétisé dans les réacteurs CANDU, situés au Canada.

Il est totalement exclu d'alimenter un générateur à fusion complet, opérationnel, avec du tritium fabriqué dans une quelconque usine. Celui-ci devra être synthétisé in situ dans le réacteur lui-même, grâce à une réaction tritigène. Celle-ci est alors basée sur une seconde réaction nucléaire, tritigène, indissociable de la première :



Ce qui fait que, globalement, la réaction exo-énergétique s'écrit :

Deuterium + Lithium donne 2 Helium + énergie

Il y a 35 grammes de deutérium et 0,17 grammes de lithium dans chaque mètre cube d'eau de mer. Eu égard à la production d'énergie attendue, le coût de production de ces deux « combustibles » est quasi négligeable.

Il est donc exact de parler « d'énergie illimitée ».

La température au centre du soleil, qui tire son énergie de la fusion, est de 20 millions de degrés. Cette fusion ayant été réalisée (pendant une seconde) dans le tokamak anglais JET il n'est pas non plus erroné d'utiliser l'expression

L'image d'un « soleil en éprouvette » n'est pas fausse

Les réacteurs à fission fournissent du plutonium, à un rythme plus ou moins rapide. Ce plutonium est la base de la construction des armes nucléaires à fission (bombes A), elles-mêmes servant de détonateur pour le déclenchement d'armes à fusion (bombes « à hydrogène », thermonucléaires).

Le projet de réalisation de générateurs d'énergie utilisant la fusion est né d'une rencontre entre Reagan et Gorbatchev à Genève, en 1985, l'idée étant de faire émerger une filière nucléaire qui ne soit pas immédiatement tournée vers les armements (ce qui ne serait que partiellement exact car le tritium être utilisé pour le dopage de certaines armes nucléaires). Un an plus tard l'accident de Tchernobyl attira l'attention sur la dangerosité des réacteurs à fission, également synonymes de dissémination de l'arme nucléaire à travers le monde.

La fusion fut donc séance tenante parée de toutes les vertus. Au plan de la sécurité, on argua que des accidents comme ceux de Tchernobyl et de Fukushima ne pourraient survenir, puisqu'en cas de rupture de l'enveloppe du réacteur, la pression et la température baissant, les réactions de fusion cesseraient immédiatement. Les études et travaux allant dans le sens d'un futur développement de réacteur à fusion se poursuivirent, par ailleurs sous l'effet de plusieurs pressions supplémentaires :

- *La crainte de voir les réserves en hydrocarbures s'épuiser.*
- *Le souhait pour de nombreux pays de jouir d'une autonomie énergétique*
- *L'idée que les gaz à effet de serre, issus de la combustion des hydrocarbures pourraient provoquer un réchauffement climatique.*

En 1991 les scientifiques, dans leur machine JET (Joint European Torus) obtinrent les premières réactions de fusion (notables), d'abord avec un mélange deutérium-deutérium, porté à 150 millions de degrés, puis en effectuant des expériences probatoires avec un ménage deutérium-tritium, porté à 100 millions de degrés.

Cette machine européenne, un tokamak conceptuellement semblable à la machine ITER, a produit, par réactions de fusion, l'équivalent de 70% de l'énergie qui s'y trouvait injectée.

Dans la machine française Tore-Supra, implantée à Cadarache il a été possible de créer à l'intérieur d'une chambre toroïdale un champ magnétique de 4 teslas, délivré par un aimant supraconducteur, pendant une durée record de 6 minutes (dans une chambre de 25 mètres cubes, contre 840 mètres cubes pour ITER). Mais, en dépit des effets d'annonce ayant accompagné le lancement du projet, en 1982 (« le soleil en éprouvette, etc... »), la température obtenue dans ce second tokamak n'a pas permis d'obtenir des réactions de fusion. Le maintien d'un plasma à haute température a permis d'obtenir des données concernant la tenue d'une paroi en carbone, et de captation de cette énergie à travers cette paroi.

Dans ce type de générateur à fusion, schématiquement, la quantité d'énergie produite croît comme le volume de la machine, c'est à dire comme le cube de sa dimension caractéristique. Les pertes s'effectuent à la paroi et croissent donc comme la surface de la chambre toroïdale, laquelle croît comme le carré de la dimension de la machine.

En passant du JET à la machine ITER, deux fois plus grande, on peut donc espérer gagner au moins un facteur deux sur le rapport $Q = \text{énergie produite}/\text{énergie injectée}$, et obtenir un rapport $Q = 1,4$, supérieur à l'unité.

Ceci constitue l'objectif numéro un de l'expérience ITER : démontrer qu'un réacteur à fusion peut produire *plus d'énergie qu'il n'en consomme*. Il n'y a aucune raison pour que cet objectif ne soit pas atteint. Les concepteurs du projet espèrent obtenir un Q supérieur à 5.

Le fait d'utiliser un aimant supraconducteur permet en outre d'étendre le domaine de fonctionnement sur plusieurs centaines de secondes. Il est tout à fait possible que ce second objectif soit atteint également. Le calendrier d'ITER prévoit que les premiers essais avec production d'énergie devraient se situer (au minimum, sauf imprévu) en 2030, *c'est à dire dans 18 ans*.

Est-ce à dire que ces deux résultats seront suffisants pour passer à l'étape suivante : à la construction de DEMO, machine complète, démonstrateur de viabilité d'un générateur utilisant l'énergie de fusion ?

Rien n'est moins sûr.

Cette lettre n'est pas composée par une suite de questions, que je souhaiterais poser aux concepteurs d'ITER, qui en général font formuler leurs réponses par leur « service de communication ».

ITER n'est pas « un projet », pour reprendre l'expression employée dans l'article paru dans la Marseille, mais

Une expérience à 15 milliards d'euros

comportant de nombreux points très problématiques et critiquables. On peut commencer par dire que cette entreprise *n'a jamais fait l'objet d'un débat au sein de la communauté scientifique internationale*. Les décisions ont été prises au niveau politique, et nombre de ces décideurs, dans tous les pays concernés, seraient bien en peine de produire un discours qui dépasse le niveau de l'intense propagande diffusée depuis des années par les promoteurs d'ITER et une description plus que schématique de cette filière.

Aujourd'hui ITER ORGANIZATION présente un dossier formulant une demande d'autorisation de création de « l'installation nucléaire de base ITER ».

Il est étonnant que l'abondant dossier soumis à la commission soit si avare en données techniques concernant l'installation elle-même, l'essentiel de l'épais dossier comportant des données relatives au site, à l'environnement et à la sécurité.

Comme l'ont fait remarquer des élus, c'est un fait sans précédent connu, qu'une telle entreprise, aussi importante, soit soumise à la sauvette, pendant la période estivale (5 juin – 5 août 2011) comme s'il se fut agi de l'implantation d'un pont, d'un rond point, ou d'une décharge municipale, en mettant le dossier dans des mairies de localités situées autour du site

à une distance inférieure à 15 kilomètres (de simple villages). Aucun dossier n'a été par exemple proposé à la consultation dans la ville d'Aix-en-Provence). Nous allons montrer que « cette expérience ITER » comporte de nombreux points d'ombre, de nombreux aspects aléatoires.

Pour chacun de ceux-ci, la réponse (officiuse), invariable est :

- **Seule l'expérience apportera la réponse.**

Qu'une seule de ces réponses s'avère négative et c'est l'ensemble de l'entreprise qui se trouvera compromise, et ses chances de succès gravement remises en question.

1) **Le problème de la résistance des matériaux constituant la première paroi**

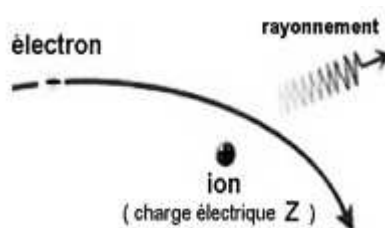
Si la construction d'ITER est entreprise, c'est sans disposer de données fiables sur la tenue de sa « première paroi ». Celle-ci doit faire face à une éventuelle disruption du plasma (instabilité) pouvant occasionner des excursions de flux thermique très importantes. ITER sera deux fois plus grand que le réacteur anglais JET. Sur tous les plans, tous les ingénieurs et chercheurs confirmeront qu'en la matière, ce changement d'échelle pourrait avoir des conséquences imprévues, difficiles à gérer, en particulier dans le domaine des instabilités du plasma, qui provoquent des « disruptions », capable d'endommager sérieusement « la première paroi » du réacteur.

Si les neutrons produits par les réactions de fission sont porteur d'une énergie de 2 MeV (deux méga électron-volts), les neutrons de fusion ont une énergie sept fois plus importante (14 MeV). La tenue des matériaux, vis à vis d'un flux intense de neutrons possédant cette énergie, comme le souligne le prix Nobel Japonais Masatoshi Koshiha *constitue un domaine totalement inexploré.*

Seule l'expérience apportera des réponses à cette question

Quand Tore Supra avait été construit on avait pensé qu'un revêtement en tuiles de carbone (des CFC, très voisines de celles qui tapissent les parois de la navette spatiale) ferait l'affaire. Le carbone se sublime à 2500°C et quand ces atomes, détachés de la paroi, s'ionisent, ils sont porteurs de six charges électriques.

Cette donnée est importante, et nous verrons plus loin pourquoi. Ces « ions lourds » induisent une perte radiative par « rayonnement de freinage » ou « bremsstrahlung » qui croît comme le carré de la charge électrique.



Rayonnement de freinage

La modicité de la charge du carbone (chaque ion carbone entraîne une perte radiative égale à 36 fois celle due à des rencontres entre électrons et ions hydrogène) en faisait un bon candidat. Hélas ce type de revêtement dut être abandonné, pour plusieurs raisons.

- Le bombardement par les ions hydrogène s'accompagnait d'une création incontrôlable d'hydrocarbures (radioactifs, si formés à partir du tritium)
- A forte température, ce carbone se comporta comme une véritable éponge, absorbant l'hydrogène, donc le tritium, ce qui rendait l'ensemble du revêtement radioactif.
- Ses capacités de résistance à l'abrasion s'avèrent insuffisantes. D'où une explosion de la masse des déchets radioactifs, liée au fonctionnement de la machine, avant même que celle-ci ne produise de l'énergie.

Il faut ajouter un problème supplémentaire. L'enceinte d'un réacteur à fusion ne peut être fermée. Il faut un orifice, courant le long d'une fente circulaire, permettant d'absorber le gaz, et d'éliminer la « cendre » de la fusion, à savoir l'hélium. Le mélange frais, ou purifié est alors injecté à travers un second orifice, circulaire. Les spécialistes estiment que le bon fonctionnement du générateur imposera de maintenir un pourcentage d'ions hélium inférieur à 10%. Les essais effectués sur Tore Supra furent basés sur un système d'entrée-sortie affectant la forme d'un « tapis », nommé « limiteur ».



La chambre de Tore-Supra. En bas, son « limiteur »

- Au fil de 25 années d'essais, et en dépit de nombreuses et laborieuses modifications, il s'avéra que le carbone ne pourrait pas résister aux fortes températures régnant au voisinage de ce système d'entrée-sortie.

Le projet ITER ne s'appuie donc pas sur des résultats encourageants, sur lesquels on puisse tabler, vis à vis de cette première paroi, qui couvre, pour cette machine, mille mètres carrés. Le choix s'est alors porté sur deux matériaux :

- Le béryllium, le plus léger des métaux, dont la température de fusion est de 1280°C et qui, en s'ionisant, acquiert 4 charges électriques, ce qui fait que les pertes radiatives, par rayonnement de freinage, sont 16 fois supérieures à celles liées à des rencontres électron-ion hydrogène. Celui-ci couvrirait 700 mètres carrés de la surface interne.

Les problèmes de tenue des matériaux dans des réacteurs utilisant la fusion thermonucléaire font l'objet d'un programme international de recherche appelé IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility¹).

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/International_Fusion_Materials_Irradiation_Facility

L'IFMIF est un projet de recherche, managé par le Japon, l'Union Européenne, les Etats-Unis et la Russie, sous le contrôle de l'IAE (International Energy Agency). Ce programme, qui n'existe que sur le papier, est basé sur la mise en œuvre d'une source intense de neutrons, obtenus à l'aide d'un accélérateur de particules, en quantités suffisantes et pendant des temps suffisamment importants pour pouvoir tester le comportement de matériaux susceptibles de constituer la première paroi d'un réacteur de fusion.

Il eut été logique d'attendre, avant de se lancer dans « l'expérience ITER », que cette installation voie le jour et fournisse des informations fiables, concernant les matériaux à utiliser. Rappelons qu'un réacteur à fusion n'est pas une machine destinée à assurer un fonctionnement impulsionnel, mais doit assurer une production d'énergie *en régime permanent*.

En l'absence de ces renseignements de la plus haute importance, le feu vert a pourtant été donné. Ainsi, sur les mille mètres carrés de la première paroi d'ITER, 700 seront constitués de béryllium, le plus léger des métaux (très toxique et cancérigène) dont la température de fusion est de 1280°C.

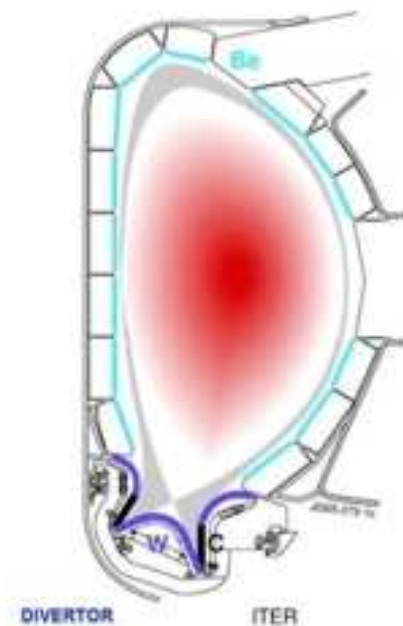
Si on pose (officieusement) aux spécialistes la question :

- **Pouvez-vous assurer que cette paroi, avec une température de fusion de 1280°C seulement, résistera ?**

Ils répondent :

- **Seule l'expérience apportera la réponse.**

Le tungstène, dont la température de fusion est de 3000° mais doté d'un cortège de 74 électrons, tapissera les 300 mètres carrés restants, constituant un nouveau système d'entrée-sortie, appelé *divertor*.



Le Divertor d'ITER (en bas)

Les spécialistes estiment que les ions tungstène seront porteurs de 50 à 60 charges électriques. C'est à dire que, vis à vis des pertes par rayonnement de freinage, chaque ion tungstène entraînera une perte radiative équivalant à 2500 à 3600 ions hydrogène.

A cette perte par rayonnement de freinage s'ajoutera la perte, importante, par rayonnement « libre-lié », où les électrons restés captifs autour des noyaux de tungstène subiront des transitions, du fait des collisions avec les électrons libres, suivies d'une désexcitation radiative.

Un engin comme DEMO ne sera pas conçu pour un fonctionnement limité à quelques centaines de secondes, mais pour un *fonctionnement continu*. Il sera lui aussi muni d'un divertor, d'un système « entrée-sortie », dont le rôle ne sera pas seulement d'éliminer l'hélium produit et de réinjecter du mélange frais, mais de *dépolluer* en continu le plasma des ions lourds qui seront arrachés à la paroi. Si un rythme suffisant d'extraction de ces ions lourds ne peut être assuré, la perte radiative sera alors si importante qu'elle empêchera tout fonctionnement de longue durée du générateur, ceci entraînant une baisse de température et la disparition des réactions de fusion. Cette question du divertor est actuellement étudiée sur la machine allemande ASDEX (Axially Symmetric Divertor Experiment) avec un revêtement de tungstène². Mais les temps de décharge de cette machine sont inférieurs à 10 secondes.

Si cette question de la dépollution en continu d'un générateur à fusion ne peut être gérée, ceci condamnerait irrémédiablement la formule.

Si on pose (officieusement) à des chercheurs spécialistes des tokamaks, la question :

² http://en.wikipedia.org/wiki/ASDEX_Upgrade

- **Pouvez-vous nous assurer que ce système de dépollution, d'extraction des ions lourds, pourra s'avérer suffisamment efficace pour permettre d'envisager le maintien en régime permanent d'un réacteur à fusion ?**

Ils répondent :

- **Seule l'expérience apportera la réponse.**

2) Le problème de l'aimant supraconducteur

Comme évoqué plus haut, on dispose de l'expérience accumulée sur la machine Tore-Supra, implantée à Cadarache, qui a pu créer un champ de 4 teslas dans un volume de 25 Mètres cubes pendant 6 minutes (contre 840 mètres cubes pour ITER).

Citons l'opinion exprimée par feu le prix Nobel Pierre-Gilles Degennes :

- *Connaissant assez bien les métaux supraconducteurs, je sais qu'ils sont extraordinairement fragiles. Alors, croire que des bobinages supraconducteurs servant à confiner le plasma, soumis à des flux de neutrons rapides comparables à une bombe H, auront la capacité de résister pendant toute la durée de vie d'un tel réacteur (dix à vingt ans), me paraît fou.*³

Fin de citation.

A la question :

- **Pensez-vous que l'aimant supraconducteur pourra résister à ce bombardement neutronique ?**

La réponse est encore :

- **Seule l'expérience apportera la réponse.**

Un autre prix Nobel, Japonais, le professeur Masatoshi Koshiha s'est déclaré totalement hostile au projet ITER, en disant qu'on n'avait jamais testé des matériaux à un flux de neutrons de 14 MeV, une énergie sept fois supérieure à celle des neutrons produits par la fusion, dont on sait qu'ils dégradent les parois et produisent, par transmutation, l'activation des parois en y créant des éléments radioactifs.

Il n'y a pour le moment, en attendant que l'installation IFMIF voie le jour, que deux endroits où on peut procéder à des expériences en insolant des matériaux avec un flux de neutrons à 14 MeV

- Dans la machine JET
- Dans la boule de feu d'une bombe à hydrogène.

A la question :

³ http://fr.wikipedia.org/wiki/International_Thermonuclear_Experimental_Reactor

- Pensez-vous que les parois et structures des générateurs à fusion, aboutissement des projets ITER-DEMO, indissociables, pourront résister valablement au flux de neutrons de fusion véhiculant 14 MeV ?

La réponse (officielle) est :

- Seule l'expérience apportera la réponse.

Quand le visiteur consulte le dossier de plusieurs milliers de pages dont la lecture lui est proposée dans le cadre de l'enquête publique, ouverte le 15 juin 2011, qui sera close le 5 août 2011, dans les diverses municipalités proches du futur site d'ITER, il ne trouve, concernant la description technique, que trois pages, dont le contenu ne diffère pas de la propagande servie au grand public depuis des années. C'est également le cas pour les documents soumis à examen, par exemple à l'Autorité environnementale – voir son avis du 23 mars 2011 - comportant la reproduction de la description schématique qui lui a été fournie :

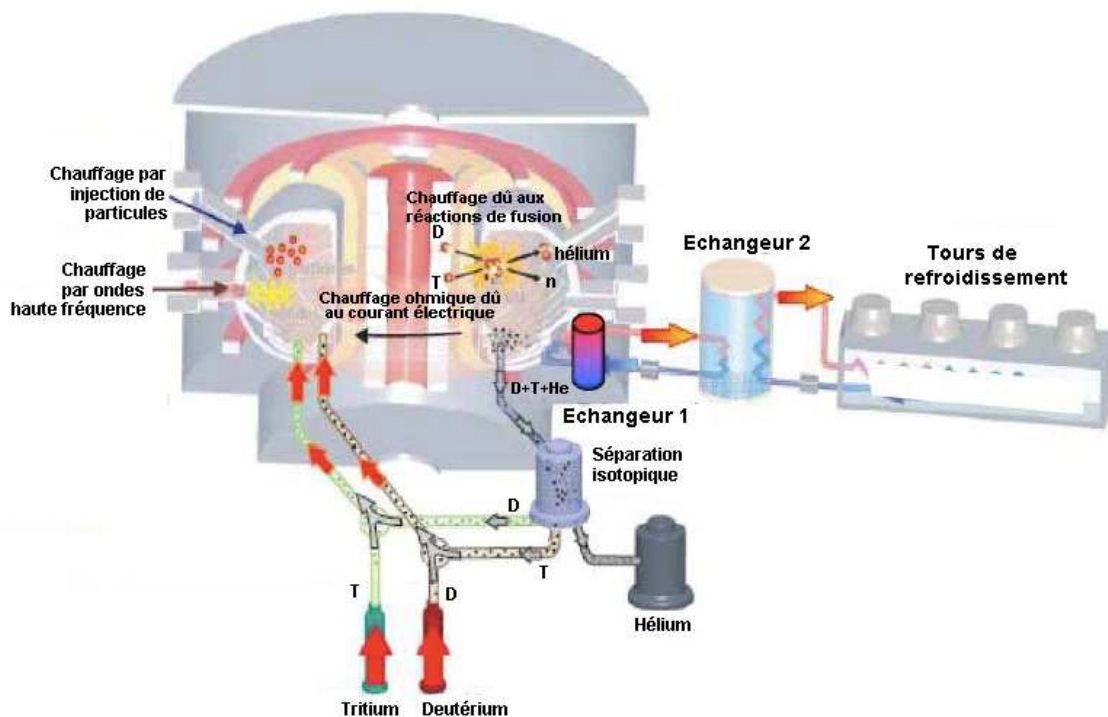


Schéma officiel d'ITER (extrait du dossier environnemental)⁴.

3) Problèmes liés à la couverture tritigène

Si les textes de ce genre, y compris les documents liés à l'enquête publique abondent quant aux éléments environnementaux, ils restent opaques vis à vis d'éléments essentiels

⁴ <http://www.cgedd.developpement-durable.gov>

comme la couverture tritigène, sans laquelle un réacteur à fusion ne saurait fonctionner. De quoi s'agit-il⁵ ?

Un réacteur à fusion est basé, non sur une réaction nucléaire, mais deux, *absolument indissociables*, ce qui a déjà été évoqué plus haut.

Si les expériences menées sur ITER se feront grâce à l'achat du tritium canadien, cela ne saurait être le cas pour son successeur DEMO, qui devra être équipé de sa couverture tritigène complète. Celle-ci se positionne entre la première paroi, de béryllium, et l'aimant supraconducteur. Ci-après le schéma extrait du site du CEA.

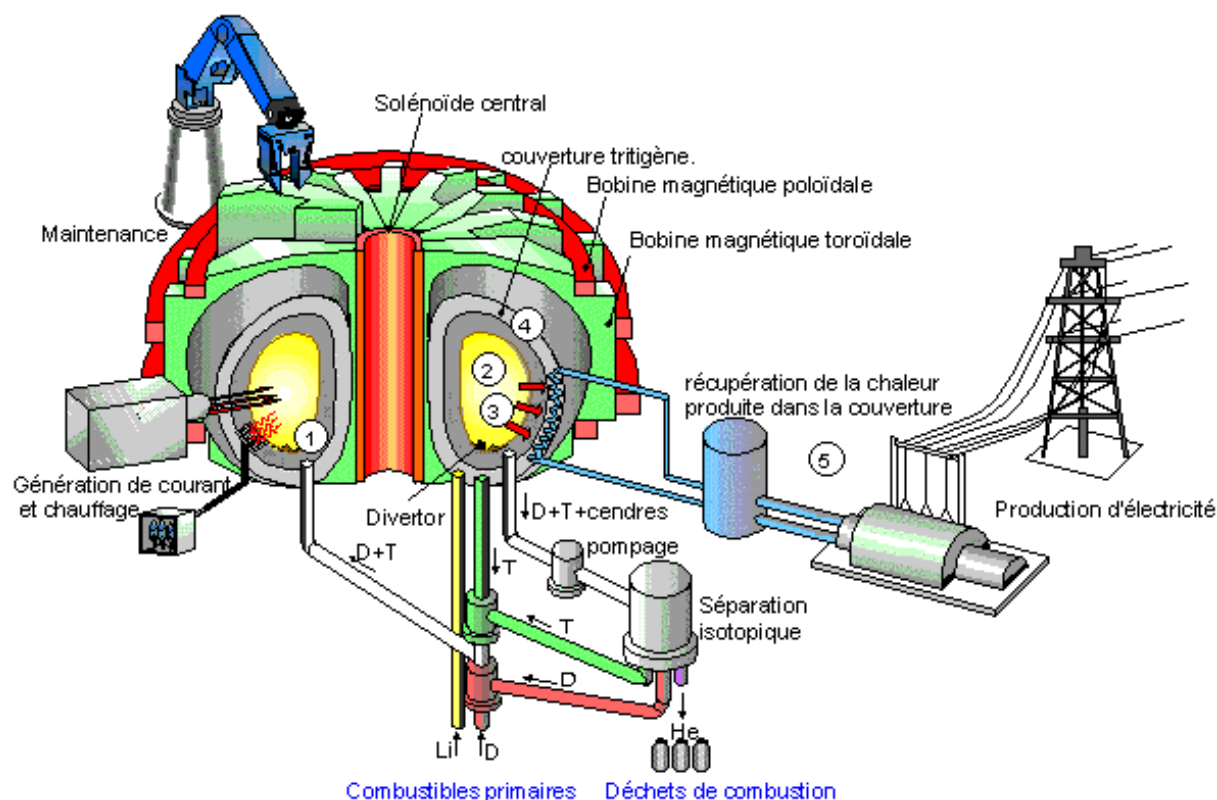
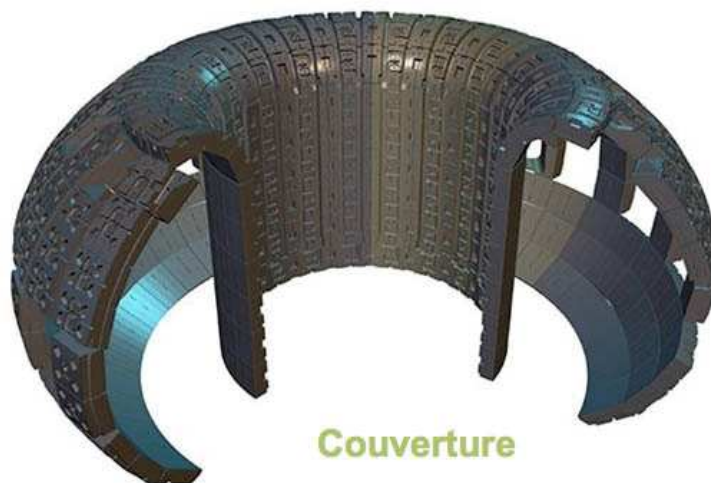


Schéma ITER source : (site du CEA)

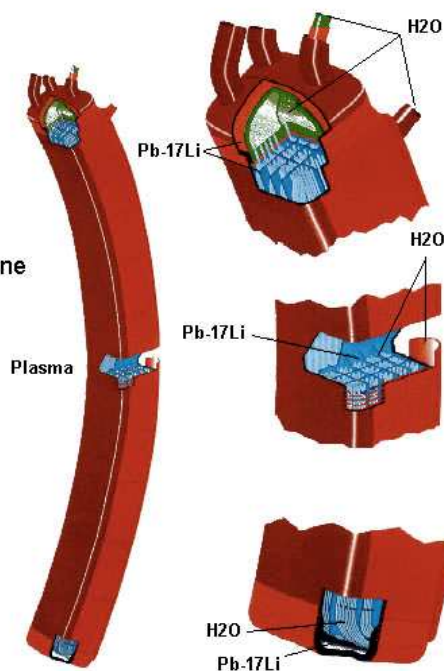
⁵ Source : site du CEA : <http://www-fusion-magnetique.cea.fr/cea/next/couvertures/blk.htm>



Géométrie de la couverture tritigène (site d'ITER)

Dans le réacteur, il faut reconstituer le tritium en permanence. Or la réaction de fusion deutérium-tritium ne produit qu'un unique neutron, lequel, étant insensible au champ magnétique, est émis de manière isotrope. Toutes les parties intérieures de la chambre de plasma ne seront pas adjacentes à une couverture tritigène. Sur le site d'ITER, à l'adresse indiquée⁶ en note, on trouvera la description de la couverture encaissant à la fois le flux de chaleur et le bombardement neutronique. Si on se fonde sur la réaction tritigène lithium plus neutron, comme cette couverture ne tapisse pas l'intégralité de la chambre, une régénération ne saurait être envisageable à 100 %. Il faut donc un *multiplieur de neutrons*. Le plomb peut assurer cette fonction. On trouvera donc dans le site du CEA la descriptions de modules tritigènes, WCLL, développés sous la responsabilité du CEA où *une circulation d'eau pressurisée* prélève les calories dégagées dans un mélange eutectique Lithium-Plomb, à l'état liquide (17 % de Lithium, 83 % de plomb).

Le concept WCLL (Water Cooled Lithium Lead), développé sous la responsabilité du CEA, utilise un métal liquide (le LiPb) comme matériau tritigène et l'eau comme réfrigérant



⁶ <http://www.ITER.org/fr/mach/Blanket>

Une formule qui, si les gestionnaires du projet DEMO optent pour elle, qui sera alors *foncièrement dangereuse*. Le Lithium brûle dans l'air, et explose au contact de l'eau.

Voisinaient alors une chambre contenant un plasma thermonucléaire, dont la température atteint 100 millions de degrés, à l'extérieur un aimant baignant dans de l'hélium liquide à 3°K et, coincés entre les deux, des cellules tritigènes où un mélange Lithium-Plomb à 500°C serait parcouru par des tubulures assurant une circulation d'eau sous pression, pour évacuer les calories.

Au stade de « l'expérience ITER » on ne procédera qu'à des tests sur des éléments de la couverture tritigène. Les quantités de Lithium et de Plomb resteront alors modestes, mais ça ne serait pas le cas pour DEMO, qui comportera obligatoirement une couverture complète.

La dangerosité d'un tel réacteur, ainsi équipé, soigneusement dissimulée au public, devient alors évidente.

Le Lithium, proche parent du magnésium, se combine à l'air, à l'eau et même à l'azote en donnant des nitrures. Tous ses composés sont toxiques. Le plomb engendre le saturnisme. Le tritium est radiotoxique, le béryllium engendre une maladie inguérissable, la béryllose, et est notoirement cancérigène. Au moindre incident, un incendie incontrôlable pourrait survenir, lequel affecterait immédiatement le bain d'hélium refroidissant les éléments supraconducteurs de l'aimant. Un aimant supraconducteur développant 5 teslas contient une quantité phénoménale d'énergie. En 2008 une rupture locale de supraconduction expédia, au CERN, un élément supraconducteur de 4 tonnes à plusieurs mètres. Le déclenchement de ce qui se transformerait vite en catastrophe environnementale peut partir d'un dysfonctionnement de l'aimant, affecté par le flux de neutrons à 14 MeV.

Il existe une solution moins dangereuse, également mentionnée dans « cette palette des formules possibles », où le lithium est présent dans une céramique, refroidie par une circulation d'hélium. Il faut alors prévoir un matériau multiplicateur de neutrons, et c'est précisément le béryllium qui remplirait cette fonction.

A la question :

- **Pensez-vous que l'ensemble « première paroi en béryllium, faisant office de multiplicateur de neutrons, plus éléments tritigènes sous forme de céramique refroidie à l'hélium » pourra assurer sa fonction de régénération du tritium (fonction « tritigène ») ?**

La réponse est

- **Seule l'expérience apportera la réponse.**

Dans les dossiers mis à la disposition du public dans la mairie de Saint Paul lez Durance on trouve, dans le volume 2 (« Démonstration Préliminaire de Sureté ») du dossier RPsR, par 68, le passage ci-après :

Le spectre des poussières présenté au tableau 2.3.19 en annexe a été établi à partir de

l'activation du tungstène (radiotoxicité supérieure de plus d'un ordre de grandeur par rapport à celle relevée dans le cas de l'activation du béryllium) en évaluant la contribution de chaque nucléide aux débits de dose ou à l'inhalation/l'ingestion et en maintenant les valeurs qui contribuent à plus de 0,1% pendant des laps de temps variant de 0 s à 6 mois après l'arrêt du Tokamak. Un spectre différent a été établi pour la caractérisation des déchets.

Le spectre des radionucléides dans l'eau de refroidissement présenté dans le tableau 2.3.20 en annexe, est basé sur l'activation de la corrosion des boucles de la première paroi à partir du code PactITER.

Les 6 Modules de la Couverture Expérimentale (TBM) peuvent aussi générer certains nucléides par l'activation du plomb-lithium, de lits de céramique lithiée, de lits de béryllium, de l'eau de refroidissement et d'autres matières fonctionnelles (par exemple isolateurs électriques). Les principaux nucléides produits dans les TBM sont issus de l'acier martensitique/ferritique à activation réduite ou RAFM (Reduced-Activation Martensitic/Ferritic comme le Fe55, le Mn54, ou Cr51...), de l'eau (C14, N16...), d'un surgénérateur céramique et multiplicateur du béryllium (tritium, Ar37, Fe 55, Co60...), du lithium-plomb (tritium, Pb203, Hg 203, Ar37, Po210...) et des isolateurs électriques SiC/SiC (C14, Al26). En raison des faibles masses des produits d'activation contenus dans les TBM, l'inventaire d'activation des nucléides de ces TBM est inférieur de plusieurs ordres de grandeur aux inventaires contenus dans les couvertures, les boucles de refroidissement ou les poussières. Même si certaines activités pouvaient entraîner une dispersion de matières radioactives des TBM (par exemple, la découpe de certains composants dans les Cellules de Port de TBM et dans l'Ensemble Cellules Chaudes), les inventaires ne seraient pas détectables au niveau de la cheminée grâce aux systèmes de confinement mis en oeuvre. Pour l'eau de refroidissement, un rejet de cet inventaire pourrait être envisagé, mais uniquement sous la forme de déchets liquides et non pas sous forme gazeuse (voir section 4.1.4.4

A la lecture de ces lignes, où est fait mention de l'activation de l'eau de refroidissement des TBM (des Modules régénérateurs de tritium) il semble que ce schéma d'éléments tritigènes, avec lithium liquide refroidi par eau, n'a pas été écarté, et pourra s'inscrire, avec le risque considérable lié à cette formule, dans le plan de développement futur du générateur à fusion thermonucléaire (DEMO). Cette mention jointe au fait que ce schéma figure toujours en tant que formule développé par le CEA, sur son site⁷, correspondrait-il à un oubli ?

L'impression générale de cette « expérience ITER » est que ses concepteurs nous disent :

- *Donnez-nous quinze milliards d'euros, et carte blanche pour un projet problématique et aléatoire, qui au mieux, pourrait porter ses fruits à la fin du siècle, et laissez ITER ORGANIZATION gérer seule ce projet, sans que la communauté scientifique internationale n'ait de droit de regard.*

A la question, posée officieusement à des scientifiques liés au projet :

- **Pensez-vous que cette filière permettra de produire de l'électricité pour subvenir aux besoins de la planète ?**

La réponse est :

⁷ <http://www-fusion-magnetique.cea.fr/cea/next/couvertures/blk.htm>

- Oui, si on n'est pas à quelques décennies près et à quelques dizaines de milliards près (voire plus).

Le surgénérateur à neutrons rapides Superphenix, implanté à Creys-Malville, dans l'Isère, a nécessité l'introduction dans la cuve du réacteur de 5000 tonnes de sodium fondu, agissant comme fluide caloporteur primaire, à faible pouvoir modérateur. Ainsi des neutrons rapides pouvaient transformer en continu de l'uranium 238 en plutonium 239, corps radiotoxique, cancérigène, éminemment dangereux du fait de sa faculté de se fixer dans le corps humain (50 ans). Le sodium s'enflamme spontanément à l'air, explose au contact de l'eau (on ne sait pas éteindre des feux de sodium de plus de 500 kilos). *Cette dangerosité foncière à entraîné la suspension de l'activité de Superphenix, qu'on ne sait par ailleurs pas démanteler.* Même chose pour son homologue japonais, implanté à Monju, dont le bras de manipulation, situé dans la cuve du réacteur, s'est récemment décroché, rendant toute intervention impossible (...).

Ces projets ont été développés *sans que la communauté scientifiques internationale (et a fortiori les citoyens) aient été le moins du monde consultés.* Même chose pour la production du combustible MOX (Mixed Oxydes), composé à hauteur de 7% du plutonium extrait du retraitement des combustibles usés acheminés à l'usine de retraitement de la Hague. 20 % des réacteurs français en sont équipés, de même que le réacteurs numéro 3 de Fukushima.

Cette politique relève d'un aventurisme scientifique et technique, dénué de tout contrôle en amont.

L'entreprise ITER s'inscrit dans cette même politique et devrait fait l'objet

- **D'un moratoire**
- **D'un audit de la part de la communauté scientifique internationale, avant lancement.**
- **De la réalisation d'expériences préalables indispensables dans une installation IFMIF (qui n'existe présentement qu'au stade de projet), pour tester les capacités de résistance et le comportement des matériaux des parois, de la structure (activation), ainsi que d'éléments de l'aimant supraconducteur, vis à vis d'un intense flux de neutrons à 14 MeV.**

Il y a dans cet assemblage *formidablement et incroyablement complexe* qu'est ITER un nombre impressionnant d'inconnues de tous ordres. Nous pensons que les éléments expérimentaux disponibles sont tout à fait insuffisants pour engager 15 milliards d'euros, dès maintenant, dans un projet de recherche qui pourrait bien ne jamais aboutir.

4) « Le nucléaire ou l'éclairage à la bougie » : un mensonge.

La production d'énergie par fusion, au fil d'un bourrage de crâne sans précédent, est présentée comme *l'unique* chance de l'humanité de pouvoir satisfaire ses besoins en énergie.

C'est totalement faux. Il existe d'autres solutions, nombreuses, variées, à condition que certains pays du monde abandonnent leur obsession d'autarcie énergétique. Cette politique devrait être gérée à l'échelle internationale, impliquerait des *Grands Travaux*, générateurs d'emplois directement productifs, susceptibles d'attirer massivement des capitaux.

Une meilleure gestion de l'énergie disponible aurait, certes, un impact non négligeable sur le problème, y compris au niveau de productions domestiques locales. Mais, ce que le public, les politiques et même les scientifiques ignorent, c'est qu'il existe *des solutions à grande échelle, qui sont à la hauteur des besoins planétaires.* J'aurais mauvaise grâce à stigmatiser cette ignorance, étant donné qu'avant de me pencher sur ces questions, je les ignorais moi-même.

Un premier élément concerne la possibilité du transport de l'énergie électrique sur des distances se chiffrant en milliers de kilomètres. Classiquement, cette énergie est produite sous forme de courant alternatif, par des alternateurs. Puis la tension est élevée à hauteur de 400.000 volts pour (le standard français), grâce à des transformateurs, pour être transportée par des lignes haute tension, sur des distances n'excédant pas 200 kilomètres.

Au delà de 500 kilomètres les pertes en ligne rendent le procédé prohibitif.

Paradoxalement, sur des distances supérieures à mille kilomètres, c'est le courant continu haute tension qui apporte la solution.

Les pertes sont alors de 3% par mille kilomètres !

Ceux qui ont développé cette technique (connue de longue date) à grande échelle ont été les Canadiens, qui ont acheminé l'énorme puissance électrique disponible, dans le nord du pays, obtenue à partir de chutes d'eau de faible hauteur (dix mètres) mais d'un débit considérable vers les centres de consommation, situés 1400 km plus au sud, ce qui impliquait au passage le franchissement du Saint Laurent. Solution : produire le courant en alternatif haute tension, puis transformer ceci *en courant continu haute tension*, sous 450.000 volts, à l'aide de redresseurs de grande puissance. Enfin, à l'arrivée, retransformer ce courant continu en courant alternatif à l'aide *d'onduleurs* de puissance, puis en alternatif basse tension à l'aide de transformateurs. Un système qui est appelé HVDC (High Voltage Direct Current⁸).

L'ensemble de ce projet est géré par la société Hydro Québec, société fondée en 1944 qui, avec 60 centrales hydro-électriques (contre une unique centrale nucléaire) est le plus grand producteur mondial d'électricité (36.000 mégawatts, 4 millions de clients). La production électrique du Québec est à 92 % d'origine hydraulique.

⁸ http://fr.wikipedia.org/wiki/Courant_continu_haute_tension



Installation de redresseur du courant HT à Hydro Québec

Ce système n'est unique en aucune façon, puisque la France l'utilise pour envoyer le courant électrique produit par la centrale de Gravelines, Pas de Calais, via le Channel, à l'aide d'une ligne d'une longueur de 73 kilomètre, dont 46 km pour sa partie sous-marine. La puissance transportée sous 275.000 volts en continu est de 2000 mégawatts, soit la consommation de 2 millions de foyers anglais.

Le record actuel de distance, pour un acheminement par ligne sous-marine de puissance correspond au transport Norvège-Danemark, sur 450 km. Des transports sur 3000 kilomètres sont parfaitement envisageables.

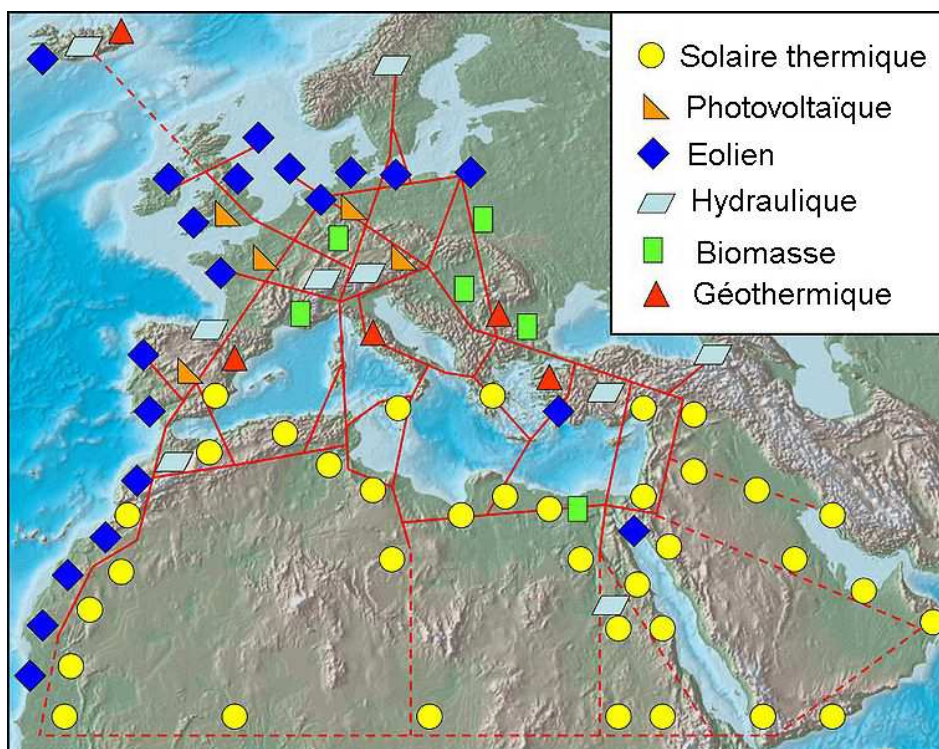
La puissance actuellement véhiculée par courant continu haute tension est, en comptant les installation existantes et celles en cours d'achèvement, tous pays confondus⁹, de 105.000 megawatts, dans 140 installations, couvrant 18 pays.

La formule est née dès 1885, avec des redresseurs à vapeur de mercure. Les premières transmissions de puissance, à hauteur de plusieurs centaines de mégawatts, apparaissent en 1965, avec des redresseurs à thyristors. Cette évolution ne fait que s'accélérer, tout simplement parce que, dans de nombreux pays, la distance entre les centres de production d'électricité et le lieux de consommation excède 1000 km, ce qui exclut l'acheminement par courant alternatif. Le record d'une transmission par courant continu est actuellement détenu par la ligne chinoise Xianjiaba-Shangai : 6400 MW, inaugurée en 2010. Cette technologie est, soit ignorée par les ingénieurs de l'électronucléaire, soit occultée par leur lobby, étant donnée les implications dommageables pour le « tout-nucléaire ».

En effet cette technique permet une décentralisation complète des unités de production. La carte ci-après est sur ce plan très parlante, à l'échelle de l'Europe. Des pays comme les Etats-Unis n'ont nullement besoin d'importer leur électricité, disposant d'un immense potentiel, dans leurs régions désertiques.

⁹ [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_installations_de HVDC](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_installations_de_HVDC)

L'épuisement des ressources en énergie est donc un mythe soigneusement entretenu. A elle seule, une liaison sous-marine Islande-Europe (distance Islande-Angleterre : 1200 km) permettrait de déverser sur tous les pays européens une véritable manne d'énergies éolienne, hydraulique et surtout géothermique. Un fait que semble (ou affectent) d'ignorer les parlementaires anglais, qui ont récemment choisi d'ignorer la leçon de Fukushima, en reconduisant leur programme de développement électronucléaire.

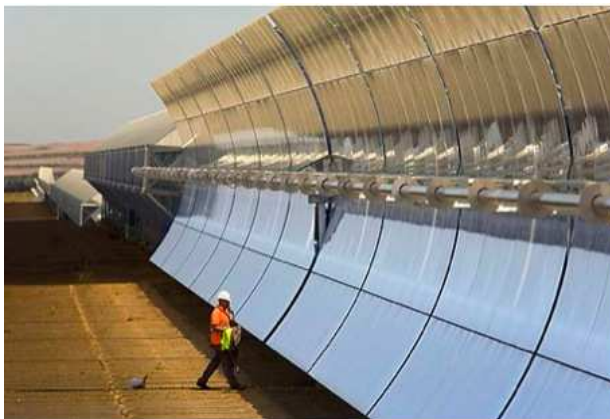


Un simple coup d'oeil à la côte ouest de l'Afrique permet de découvrir des milliers de kilomètres quasi désertiques, propices à des équipements de type solaire thermique ou éolien (les vents alizés assurent dans ces régions 4500 heures de vent par an, soit une moyenne de 12 heures par jour).

La carte ci-dessus nous fait découvrir, modulo des investissements en conséquence, un bouleversement géopolitique complet, les pays pauvres devenant des pays riches. En effet, une partie de la production pourrait contribuer à leur propre développement, ce qui n'est sans doute pas souhaité par les « nucléocrates » et « pétrocrates ».

90 % des pays du monde sont situés à moins de 3000 km d'un désert, la perte en ligne étant alors, sur une telle distance, de 15 %.

S'agissant du solaire, les discours de personnalités politiques et de soi-disant responsables et spécialistes montrent, en les voyant réduire la production d'énergie solaire au photovoltaïque qu'ils ignorent (ou veulent ignorer) le « solaire thermique », où l'énergie est captée, soit par des miroirs paraboliques, en simple tôle, et focalisée sur des tubes situés au foyer, portant un fluide caloporteur à 500°C.



Un des miroirs solaires de l'installation espagnole Andasol

Une autre formule, activement développée aux USA est basée sur des miroirs de Fresnel, disposés au sol, également orientable. Ici une installation pilote de la société Areva.



Miroirs de Fresnel linéaires, renvoyant les rayons vers le foyer, en haut, à droite

Cette énergie solaire peut aussi être renvoyée à l'aide de miroirs plans vers une « tour solaire », la température au point de focalisation atteignant cette fois 1000°C (simple détail : plus la température de la « source chaude » est élevée, meilleur est le rendement de Carnot).



Tour solaire, près de Séville, Espagne

Des installations de solaire thermique de grande puissance ont déjà vu le jour, en Espagne (Andasol), aux Etats-Unis, aux Emirats Arabes Unis, avec des puissances allant de 100 à 1000 MW. Les sociétés Total et Areva, soucieuses de ne pas mettre leurs œufs dans le même panier, gèrent les projet des Emirats et de l'Australie.

Le stockage d'une énergie sous forme thermique ne pose aucun problème (dans l'installation Andasol, en Espagne, celle-ci est stockée dans des bacs contenant des nitrates de potassium et de sodium à 500°C). Ces sels fondus, non dangereux, allient une forte capacité calorifique à une bonne conductivité thermique. Les substances permettant ce stockage sont nombreuses et on a montré récemment qu'on pourrait utiliser à cette fin de l'amiante, issue des désamiantages d'installations industrielles.

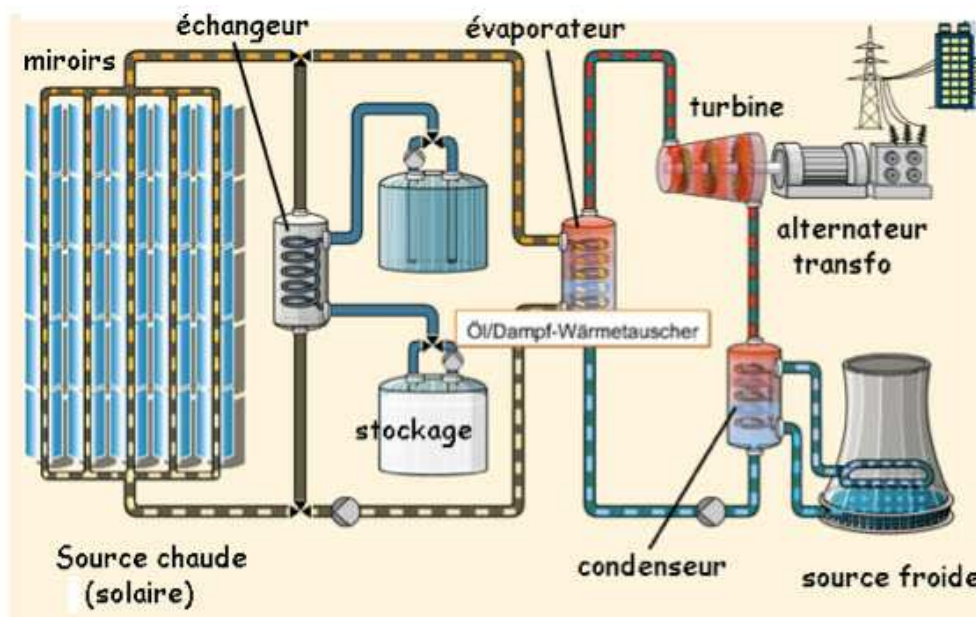


Schéma d'une installation solaire thermique

On note au passage que tout ce qui se trouve en aval de la source de chaleur ne diffère en rien de ce qu'on trouve dans une centrale nucléaire. Seule la source d'énergie change, exempte des défauts inhérents à l'énergie nucléaire (dangerosité et accumulation ingérable de déchets).

Le stockage de l'énergie peut s'effectuer sous de multiples formes, sur le lieu de production ou à distance, de manière gravitationnelle, quand on dispose de reliefs (Le sol japonais est constitué à 70 % par des montagnes), ou en produisant de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, ou sous forme de gaz comprimé, en eau profonde, dans des installations off shore.

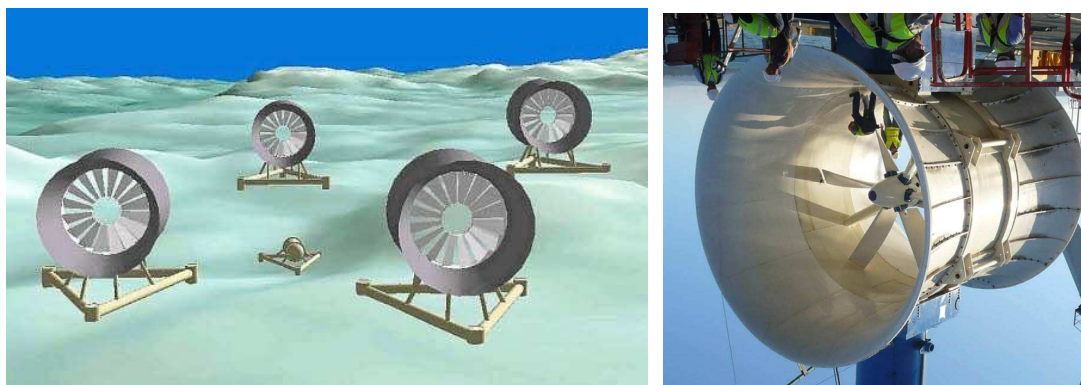
Ailleurs, comme aux Etats-Unis, l'énergie solaire est concentrée par des miroirs paraboliques sur un capteur actionnant un moteur Stirling et un alternateur.



Batterie de générateurs stirling solaires

Au tableau ci-dessus il conviendrait d'ajouter l'exploitation des différences de température entre surface et eau profonde, dans des lacs ou près de côtes, la puissance étant fournie par des moteurs Stirling.

On peut aussi adjoindre l'hydrolien, l'exploitation des courants, aux essais au large de la côte des USA, entre autre, avec des hydroliennes immergées dans le Gulf Stream. On ne saurait minimiser ce type de production d'énergie, avec un fluide circulant à vitesse modérée, au regard de l'éolien, en se souvenant que *l'eau est huit cent fois plus dense que l'air*. L'hydrolien n'est pas, en outre, soumis à des variations saisonnières ou quotidiennes importantes.



Hydroliennes à Venturi

La phrase « c'est le nucléaire ou l'éclairage à la bougie » est donc totalement mensongère.

Même sur le territoire français il existe des possibilités d'équipement de vastes surface pour une exploitation de l'énergie solaires sont disponibles, non seulement dans des régions semi désertiques, ou à l'abandon, ou dans des régions montagneuses dénuées d'intérêt touristique. Ajoutons un nombre respectable de mètres carrés auxquels personne ne pense. Il s'agit des surfaces (totales) occupées par les voies de chemin de fer et les autoroutes.

Quand on pense à des machines mues par de l'électricité, comme les TGV, on est tenté de se dire que jamais de tels engins ne pourront se mouvoir grâce à des capteurs placés sur leur toit. Mais récemment les Belges viennent d'équiper un tronçon d'une quarantaine de kilomètres, expérimental, menant d'Anvers à la Hollande. Là, un train électrique est alimenté par 16.000 panneaux solaires disposés sur une toiture recouvrant la voie. Il s'agit de dispositifs photovoltaïques, qui posent quelques problèmes de coût de matières premières. Mais cette alimentation pourrait très bien être assurée par du solaire thermique, avec des installations relais, l'ensemble pouvant non seulement assurer le déplacement de trains de fort tonnage, mais aussi alimenter les localités situées aux alentours, avec un stockage thermique dans des sels fondus, pour assurer une régulation générale de ce réseau.

Des ministres, des personnalités pro-nucléaires évoquent la nuisance d'ordre esthétique liée à la multiplication des panneaux solaires. Mais qui protesterait si on remplaçait les caténaires qui peuplent les voies d'un réseau devenu entièrement électrique, par des toitures inclinées, évoquant celles des toitures d'usines ?

Même chose pour les autoroutes. On voit des constructeurs s'ingénier à concevoir des voitures électriques ou des hybrides. Là encore, on peut imaginer une couverture généralisée

de tout le réseau autoroutier, avec un péage en conséquence. Les automobilistes ont alors deux choix. Soit ils ne disposent pas de véhicules équipés et ils peuvent alors continuer à emprunter ce réseau en brûlant des hydrocarbures. Un détail en passant : roulant sous un toit incliné, évoquant les couvertures « en dents de scie » des usines, et à l'abri du soleil, ils ne sont pas obligés d'utiliser, l'été, leur climatiseur de bord.

Soit leur véhicule comporte une motorisation électrique, logées dans les roues (il serait facile de modifier en conséquence tous les véhicules existants). Après avoir gagné l'entrée de l'autoroute, soit à l'aide de leur moteurs conventionnel, soit en se servant d'une petite réserve émanant d'une batterie de bord, ils peuvent déployer une perche, télescopique, semblable à celle des auto-tamponneuses des foires et aller capter l'énergie électrique en se connectant à un grillage disposé en toiture, vers le haut, et à une terre couvrant le long de la voie (suivant « les bandes de circulation »). L'automobiliste peut alors « rouler à l'électricité » en laissant même au système le soin d'assurer la conduite de son véhicule, asservi à suivre, à vitesse constante, les « terres » disposées au sol. D'où disparition des accidents routiers.

Arrivée à destination, sortant des voies équipées, il peut alors rétracter sa perche de captation, remettre son moteur thermique en marche et reprendre le volant. A moins qu'il ne décide de terminer son voyage en utilisant l'énergie électrique stockée dans une batterie de bord, toujours d'origine solaire.

Ces visions peuvent nous sembler futuristes, irréalistes, mais elles ne le sont pas plus que celles qui ont constitué, XIX^e siècle, à recouvrir de bitume les routes de terres ou à implanter des « voies ferrées », remplaçant les diligences, les locomotives faisant disparaître, rapidement, la traction animale. A propos de la couverture du réseau autoroutier, et à terme, routier, cette évolution pourrait se faire *progressivement*, ce nouveau réseau permettant la circulation de tous types de véhicules, adaptés ou non. A terme, l'industrie automobile devrait s'orienter vers des véhicules à faible traînée aérodynamique, d'une puissance limitée, capable de fonctionner au « tout électrique » sur ce réseau. En attendant cette transformation des véhicules, l'adaptation de ceux qui existent pourrait combiner une propulsion électrique, grâce à des moteurs logés dans les roues, bénéficiant d'un appoint issu de leur moteur thermique, si nécessaire. La souplesse de la formule permettrait de ne pas fermer ce réseau aux véhicules étrangers, non équipés.

En matière d'énergie, et de transports, en s'efforçant à tout prix de loger la réserve d'énergie électrique dans le véhicule, les concepteurs font simplement preuve d'un manque d'imagination.

Il faudrait un livre entier pour recenser toutes ces possibilités, adaptées aux possibilités géographiques, climatiques de chaque région.

Ce qui s'oppose à l'essor de cette exploitation massive des énergies renouvelables *est de nature exclusivement politique, et non technico-scientifique*. La plupart des technologies à mettre en oeuvre émergent, paradoxalement, du XIX^e siècle (la turbine à gaz, l'alternateur, le condenseur, le redresseur, l'onduleur).

Ainsi, des technologie vieilles de plus d'un siècle, ne nécessitant nulle recherche sophistiquée, mais seulement une volonté politique et des investissements en conséquence, sont disponibles pour résoudre les problèmes des besoins en énergie de l'humanité, les sources d'énergie étant

à la fois immenses et illimitées. A titre indicatif, l'équipement en solaire d'un carré de 300 km sur 300 km, au Sahara, suffirait à couvrir les besoins en électricité de la planète entière.

A l'inverse, des projets comme ITER représentent un acharnement à s'accrocher à des technologies nucléaires primitives, génératrices de déchets, dommageables pour l'environnement et la santé des individus. Si on voulait avancer une comparaison, référons nous aux premiers envols de machines plus lourdes que l'air, dotées d'un propulseur. La première image qui vient à l'esprit est celle de l'appareil de Clément Ader qui, à la fin de XIX^e siècle serait censé avoir permis l'envol d'un être humain à l'aide d'un moteur qui était une simple machine à vapeur.

Imaginons qu'à l'époque, sur cette base, après avoir vu l'avion d'Ader quitter le sol sur quelques mètres, sept pays européens aient conçu un projet d'envergure, dont l'aboutissement serait un avion à vapeur capable d'emporter des passagers à travers les océans.

Cette image ferait sourire. L'aviation ne prit son essor que quand apparurent les premiers moteurs à explosion, où les fluides mettant le piston en marche et celui où s'effectuait la combustion, interne, étaient le même. Alors que dans la machine à vapeur, l'énergie était fournie par la combustion de bois, de charbon, ou d'hydrocarbures, l'action motrice étant dévolue à de la vapeur, ce qui impliquait un transport d'énergie dans un échangeur (représentant l'essentiel du volume des locomotives).

Recourir à des techniques issues du XIX^e siècle pour résoudre, *dans l'urgence*, les besoins en énergie de l'humanité ne veut pas dire qu'il faille systématiquement tourner le dos à des percées scientifiques majeures. Mais la fission et la fusion deutérium-tritium, avec leur immense cortège de déchets radioactifs et leur dangerosité ne constituent pas une avancée majeure en matière de production d'énergie électrique. Ce ne sont jamais que les machines à vapeur du II^e et du III^e millénaire. Ces deux filières sont *neutronigènes*. Les réactions émettent des neutrons qui rendent, par transmutation, tout l'environnement radioactif. La fission, quant à elle, génère des déchets éminemment radiotoxiques, de longue durée de vie (100.000 ans et plus), absolument ingérables.

La croûte terrestre est en permanence agitée par des marées terrestres, liées au passage de la Lune¹⁰. A l'équateur, l'amplitude de ce mouvement vertical atteint 1,5 mètre. Cet effet de marée terrestre est loin d'être négligeable à des latitudes plus élevées. Ainsi, l'idée qu'un substrat rocheux puisse être inerte, sur de grands intervalles de temps, et permette un stockage souterrain sûr est un illusion. Les Allemands en ont fait la cruelle expérience avec les 30.000 fûts stockés dans la mine de sel de Asse, et les Américains commencent à se heurter aux mêmes problèmes.

Ce qu'on appelle « physique nucléaire » est née entre les mains de chimistes et il serait plus adéquat de parler de « chimie des noyaux ». La fission est une dissociation spontanée autocatalysée, mécanisme qu'on retrouve en chimie minérale. La fusion n'est qu'une réaction liant deux composants, exo-énergétique.

On peut raisonnablement s'attendre à ce que cette chimie des noyaux recèle les mêmes phénomènes que ceux qui ont tant déconcerté les chimistes dans le passé. Prenons pour exemple la combustion catalytique d'un hydrocarbure dans un poêle à catalyse. La

¹⁰ http://fr.wikipedia.org/wiki/Force_de_marée

combustion devenant complète, le système de chauffage n'émet alors que du CO₂ et de la vapeur d'eau, non toxiques, respirables, et ne nécessitent pas de système d'évacuation des produits de combustion par une cheminée. Qui aurait pu un jour imaginer, jusqu'au XIX^e siècle qu'on puisse un jour faire du feu chez soi dans une pièce exemple de cheminée, sans s'asphyxier immédiatement ?

Il existe des réactions chimiques qui produisent directement de l'électricité, avec un dégagement de chaleur infime.

Ce sont les piles, découvertes par l'Italien Volta.

Les physiciens de l'atome connaissent déjà « la fusion catalysée par des muons » (sortes d'électrons super-lourds, fabriqués à grands frais à l'aide d'un accélérateur de particules). Un procédé hélas non rentable, mais totalement différent de la filière classique de fusion D-T envisagée.

Nul ne peut dire que quelqu'un ne trouvera pas un mécanisme de catalyse, à froid, d'une réaction nucléaire, exo-énergétique, non neutronigène. Nul ne peut dire que n'apparaîtra pas non plus un système où ce genre de réaction produirait de l'électricité, sans dégager de chaleur. Quand ? Dans un an, dans dix ans, dans un siècle ? Nul ne peut le dire.

5) Le nouvel univers des plasmas ultra-denses et ultra-chauds

En 2004, de manière imprévue, un compresseur MHD, la Z-machine, permet d'obtenir pendant un bref instant, en comprimant un assemblage métallique, une température de plus de 200 keV, deux milliards de degrés.

Voir l'article paru en 2006 dans la prestigieuse revue Physical Review Letters , signé par le physicien des plasmas anglais Malcom Haines, qui est une référence en la matière. Le titre et les références de cet article sont :

Ion Viscous Heating in a Magnetohydrodynamically Unstable Ion Pinch Over 2×10^9 Kelvin

M.G.Haines, P.D.LePell, S.A.Coverdale, B.Jones, C. Deeney, J.P.Apruzese

Physical Review Letters 96, du 24 Fevrier 2006

Il est téléchargeable à :

http://www.jp-petit.org/science/Z-machine/article_Haines.pdf

Celui-ci vient de confirmer son analyse des données de l'expérience et cette température de plus de 200 keV, plus de deux milliards de degrés, à un colloque international consacré aux Z-machines qui s'est tenu à Biarritz, du 6 au 9 juin 2011, et qui réunissait les plus éminents spécialistes de ces questions. Haines a par ailleurs complété cette communication article de 168 pages, publié quelques jours plus tôt, dans une revue de physique des plasmas du plus haut niveau (Plasma Phys. Control. Fusion 53 093001, 2011), qui fait figure de référence en la matière.

A review of the dense Z-pinch

M. G. Haines

Blackett Laboratory, Imperial College, London SW7 2BW, UK

Plasma Phys. Control. Fusion **53** (2011) 093001 (168pp)

Il est téléchargeable à :

http://www.jp-petit.org/science/Z-machine/HAINES_juin_2011.pdf

Nous ne sommes plus là dans les spéculations. De telles températures nécessitent la mise en oeuvre de très forts courants (18 millions d'ampères aux Etats Unis en 2004, 26 millions en 2007, 50 millions d'ampères dans une machine actuellement en construction en Russie, sous la direction de Valentin Smirnov, directeur du département de la fusion à l'Institut Kurtchatov des hautes températures de Moscou).

Un tel accroissement des intensités électriques, associé à des temps de décharge impérativement brefs (de 75 à 150 nanosecondes) permet théoriquement d'atteindre 7 puis 20 milliards de degrés. Un saut qualitatif essentiel a ainsi été effectué, dans la voie d'une *fusion impulsionnelle*, qui est déjà une réalité (obtention de neutrons de 14 MeV avec des cibles contenant un mélange d'isotopes de l'hydrogène, selon de nombreuses communications à ce colloque de Biarritz).

Au centre du soleil : 20 millions de degrés. Dans un tokamak, de 100 à 150 millions de degrés. Dans la boule de feu d'une bombe à hydrogène : 500 millions de degrés. Sept fois plus dans les expériences américaines de 2004. Combien actuellement ? : Personne ne saurait le dire, la chape du secret défense, assortie à une très active désinformation, étant tombées, à l'Ouest comme à l'Est sur l'ensemble de ces recherches.

Pourquoi est-ce si important d'avoir effectué un tel saut en température ?

Les réactions de fusion nucléaires ne démarrent qu'à partir d'une température-seuil : 100 millions de degrés pour la plus basse valeur, correspondant au mélange deutérium-tritium. 150 millions de degrés pour une fusion deutérium-deutérium (début des réactions de fusion obtenues sur le JET anglais au début des années quatre vingt dix). .

Dans un premier temps, optant pour la réaction thermonucléaire la plus aisée à obtenir, avec un mélange deutérium-tritium, les chercheurs ont obtenu un résultat positif, dans ce confinement inertiel, en utilisant la technique du holraum (four en allemand). Une cage composée de nombreux fils métallique, du diamètre d'une cheveu (appelée « liner ») dans laquelle des dizaines de millions d'ampères se trouvent injectés comprime alors une cible faite d'un matériau léger, au centre duquel on loge une cible D-T. La compression du matériau léger le transforme en puissant émetteur de rayons X, qui provoque la fusion dans la cible. Si on se limitait à cette formule, cette fusion *neutronigène* ne serait que la version impulsionnelle du fonctionnement en continu visé dans DEMO. Mais à partir d'un milliard de degrés (largement dépassé dès 2004 aux Etats Unis) des réactions exo-énergétiques non-neutronigènes (ou très faiblement neutronigènes du fait de réactions secondaires) deviennent envisageables, telle la réaction

$^{11}\text{Bore} + ^1\text{Hydrogène}$ donnant quatre $^4\text{Hélium}$ et pas de neutrons.

Depuis 2004 les chercheurs sont passés d'un liner cylindrique à (inventé par le russe Smirnov) à un liner sphéroïdal (inventé par son élève Zakharov), assurant une compression beaucoup plus efficace. Dans cette seconde formule les fils métalliques, reliant la cathode à l'anode, sont électriquement chargés avant le tir et adoptent la forme des méridiens d'une sphère par répulsion électrostatique.

Sur le cahier mis à la disposition du public à la mairie de Saint Paul lez Durance, monsieur Xavier Laffont avait écrit

« ITER une expérience à 15 Milliard d'euros pour tester la fusion à 100 ou 150 million de degrés alors que parallèlement Russes et Américains avec des projets comme la Z-machine ou la ZR ont dépassé 2,5 Milliard de degrés! ITER n'est il pas déjà dépassé? »

Le président de la commission de l'Enquête Publique lui fit suivre, en date du 21 juillet 2011 une réponse, non signée, d'ITER ORGANIZATION, sous la forme d'un simple extrait d'un document, publié, dont voici la conclusion :

« Les Z-pinch sont aussi des options à configuration magnétique aussi complexe que toute les machines à fusion magnétique, à cela il faut ajouter que dans ce type de dispositif la fusion serait atteinte par ignition d'une capsule Deutérium-Tritium. Le contrôle de l'injection des capsules DT est un des problèmes majeurs de la fusion inertielle ».

Nous conseillons à l'auteur de cette réponse anonyme de se mettre à jour (voir plus haut), en faisant au passage remarquer que ces recherches sur les Z-pinches, extrêmement souples au plan du changement de configuration sont

Mille fois moins coûteuses que l'expérience ITER

Un chemin reste évidemment à faire pour que le système produise plus d'énergie qu'il n'en consomme, mais à la différence des tokamaks comme ITER et ses successeurs, où une température dépassant le milliard de degrés n'est pas envisageable celle-ci, dans les Z-machines, croît comme le carré de l'intensité électrique, et n'est a priori pas limitée. De plus la formule *se prête à une conversion directe de l'énergie en énergie électrique, par procédé magnétohydrodynamique (MHD).*

En effet, dans le cas d'une fusion aneutronique l'énergie apparaît alors sous la forme d'une petite masse de plasma constitué par de noyaux d'hélium portés à très haute température, porteurs de deux charges électrique. En permettant à ce plasma de s'étendre dans un champ magnétique, il se crée un courant induit et on obtient une conversion directe d'énergie thermique en électricité avec un rendement de 70%. Cette méthode est connue et a été expérimentée avec succès dès la fin des années cinquante, avec des explosifs conventionnels, dopés au césium (la substance la plus facilement ionisable de la table de Mendeleiev). On voit ici apparaître le concept d'un « deux-temps à fusion aneutronique », auquel il faudrait adjoindre un « volant d'inertie », c'est à dire un système de stockage partiel de l'énergie électrique, permettant d'assurer la compression suivante, dispositif qui ne relève nullement de la science-fiction. Tout cela éventuellement au rythme de 50 fois par seconde, pour que cet alternateur d'un nouveau genre produise du 50 périodes.

En considérant le calendrier du programme ITER-DEMO (premières expériences de fusion en 2030, dans 18 ans), on pourrait se demander si des résultats outsiders de fusion aneutronique ne pourraient pas émerger, à coût infiniment plus modeste, avant que la machine installée à Cadarache ne fasse ses premiers tirs !

La réponse d'ITER ORGANIZATION au questionnement de M. Laffont ressemble à celle que ferait un chaud partisan de la machine à vapeur (ce que serait DEMO, stricto sensu) à un homme qui évoquerait l'émergence possible du moteur diesel « où le problème de l'injection de carburant resterait un problème majeur ».

Ce thème du deux temps à fusion gêne les nucléocrates, qui nient toute possibilité de voir cette formule émerger et ont activement contrarié, depuis 2006, tout effort visant à développer de telles recherches en France.

La physique nucléaire, cette chimie des noyaux, n'en est donc qu'à ses balbutiements. Faut-il alors espérer qu'une fusion aneutronique voie le jour, envoyant au rencart centrales à fission ou à fusion D-T ? La réalité n'est hélas pas si rose. Dans les domaines de la fission et de la fusion, les humains ont commencé par créer des bombes, dans les deux cas. Là nous sommes confrontés à l'émergence, inéluctable et rapide (moins d'une décennie) de « bombes à fusion pure », d'engins thermonucléaires ne nécessitant pas de détonateur à fission, comme c'est le cas actuellement, cet impératif empêchant, à cause de la « masse critique » de voir la puissance de nos bombes descendre en dessous de 300 tonnes d'équivalent TNT.

Dans ces bombes à fusion pure, la très puissante décharge électrique, alimentant le mini compresseur MHD sera délivrée par un explosif (dès 1954 cette technique, inventée par le russe Andréï Sakharov lui avait permis de produire 100 millions d'ampères). Ces bombes seront miniaturisables et, si elle fonctionnent sur la base d'une réaction non-neutronigène, seront aussi des « bombes vertes », sans dommage pour l'environnement. Comme cette technologie ne requiert nullement de détenir une matière fissile, comme l'uranium 235, laborieusement extrait du minerai naturel (qui contient du 235 à hauteur de 0,7 %), par centrifugation, cette technologie sera *proliférante*.

Ce n'est que si nous survivons à ce nouveau « progrès » que, peut être, on se souciera des applications civiles, comme cela a été le cas pour la fission, en aujourd'hui pour la fusion.

Nous avons terminé cet article par cette brève évocation, guère encourageante d'un « progrès en cours de gestation, qui n'est que le reflet de la stupidité des êtres humains et gageons qu'à tout prendre il serait plus sage d'investir dans des énergies, solaire, éolienne, hydrolienne, géothermique, etc, sans retombées guerrières immédiates, autres que de pouvoir brûler à distance, comme le fit Archimède au siège de Syracuse, comme le veut la légende, les voiles des vaisseaux ennemis en y concentrant les rayons du soleil à l'aide de miroirs.

Nous souhaitons, dans le cadre de l'Enquête Publique, et en présence de membres de celle-ci, pouvoir présenter ces arguments devant les responsables *scientifiques* d'ITER ORGANIZATION (et non devant les classiques chargés de la « communication »), en leur posant en particulier les questions évoquées dans ce document et en filmant questions et réponses, en vidéo, celle-ci étant mis à disposition, dans le cadre de cette *enquête publique*, sur le net, seule démarche permettant d'éviter les classiques réponses « langue de bois ».

Le recours à un « expert indépendant », susceptible de fournir le support de la conclusions de la commission d'enquête, dans les délais qui lui sont impartis, n'est pas la solution pour conclure celle-ci, car un tel expert n'existe simplement pas, étant donné d'une l'étendue des problèmes liés à une recherche dont le but, l'essence n'est pas de « démontrer la faisabilité d'une extraction de puissance dégagée par la fusion avec $Q > 1$ et sur un temps se chiffrant en centaines de secondes », mais d'engager la France sur une voie débouchant sur la conception d'une machine produisant massivement de l'électricité, pour satisfaire aux besoins de l'humanité.

A moins que la commission considère comme suffisantes les trois pages insérées dans le volumineux dossier qui lui a été soumis, et qui sont censées présenter, d'une façon caricaturale, les aspects scientifiques et techniques de ce projet pharaonique.

A moins que la commission, ou un expert commis pour la circonstance, considère que cet aspect a déjà fait l'objet d'un débat au niveau scientifique et que cet aspect du problème peut être considéré comme acquis, ce qui est faux.

Nous demandons à ce que l'ensemble des projets ITER-DEMO fasse l'objet d'un audit international au sein des communautés scientifiques des pays concernés et que l'issue d'un tel débat soit connue.

Ce document a été composé par un collectif de scientifiques, dont les noms suivent :

- **Jean-Marie Brom**, Directeur de Recherche au CNRS, en activité, physicien nucléaire, France
- **Dominique Lalanne**, ancien Directeur de recherche en physique nucléaire et physique des particules au CNRS, retraité.
- **Christian Nazet**, retraité, ancien ingénieur-chercheur au DEA/DAM, spécialiste de la physique des plasmas thermonucléaires
- **Jean-Pierre Petit**, ancien directeur de recherche au CNRS, spécialiste de physique des plasmas.