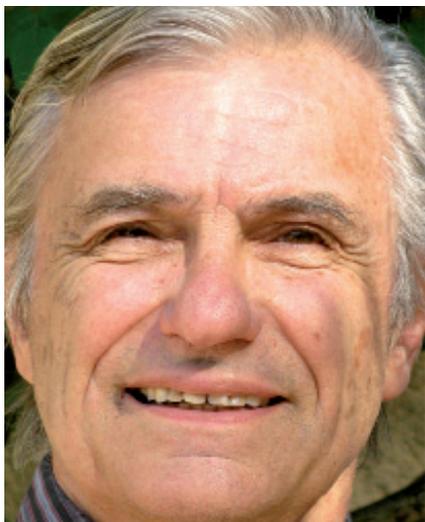


Les récents événements survenus au Japon dévoilent une nouvelle fois les dangers inhérents à la production d'électricité par voie nucléaire. La recherche de nouvelles sources d'énergie est plus que jamais d'actualité.

Jean-Pierre Petit, ancien directeur de recherche au CNRS, spécialiste de la physique des plasmas, fait le point pour les lecteurs de *NEXUS*.

Jean-Pierre Petit « Sortir du nucléaire, c'est une



Ancien directeur de recherche au CNRS, **Jean-Pierre Petit** est, à 74 ans, l'un des meilleurs spécialistes des plasmas bitempératures. En 1975, son intérêt pour le sujet ovni lui vaut d'être mis au ban de la communauté scientifique française, privé de tous crédits. Il persiste et met en œuvre une méthode d'annihilation de l'instabilité de Vélikhov* en effectuant ses expériences dans une chambre de bonne d'Aix-en-Provence, travail qu'il ira présenter à ses frais au VIII^e colloque international de MHD de Moscou. En 2008, 2009 et 2010, il a présenté ses travaux, dont certains explicitement liés à la propulsion des ovnis, dans différents colloques internationaux. Actuellement, il poursuit ses expériences de MHD grâce aux dons envoyés par les lecteurs de son site <http://www.jp-petit.org> et à l'argent collecté à travers la vente de livres. Il est l'auteur d'une bande dessinée scientifique, *Énergétiquement vôtre*, téléchargeable gratuitement à partir du site de son association Savoir sans Frontières (http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Francais/energetiquement_votre.htm).

*[Http://en.wikipedia.org/Electrothermal_instability](http://en.wikipedia.org/Electrothermal_instability)



Exercice d'utilisation de masques à gaz dans un village ukrainien proche de Tchernobyl, en 2006.

question de survie ! »»

NEXUS: Quelques semaines après la terrible catastrophe de Fukushima au Japon, le débat sur le nucléaire est relancé. Pouvez-vous expliquer un tel accident ?

JPP: Le mot qui semble s'imposer est « principe de précaution », qui n'a pas été suivi dans toute la politique nucléaire menée au Japon. Avant de revenir sur le choc japonais, il me semble important d'expliquer le fonctionnement d'une centrale nucléaire.

Un réacteur nucléaire est construit autour d'une chaudière, qu'on appelle « cœur ». L'énergie nucléaire est produite par fission¹. La matière fissile de base est constituée par de l'uranium, qui se présente à l'état naturel sous forme d'un mélange de deux isotopes, l'uranium 235

et l'uranium 238. Le premier est fissile, le second ne l'est pas. Un réacteur est chargé avec un mélange des deux. Les noyaux d'uranium 235 se décomposent naturellement en un temps moyen de 4,5 milliards d'années en émettant des neutrons qui filent à 20 kilomètres par seconde. Cette substance a une propriété : si ces neutrons frappent d'autres noyaux d'uranium 235, ceux-ci, déstabilisés, vont à leur tour se couper en deux et émettre des neutrons en dégageant aussi de l'énergie. Si la densité d'uranium 235 est suffisamment grande, on obtiendra un régime de réaction en chaîne². Dans la nature, le pourcentage d'uranium 235 est trop faible (0,7 %) pour que ces réactions se produisent. En France par exemple, pour une utilisation industrielle, on doit l'enrichir à 3 %

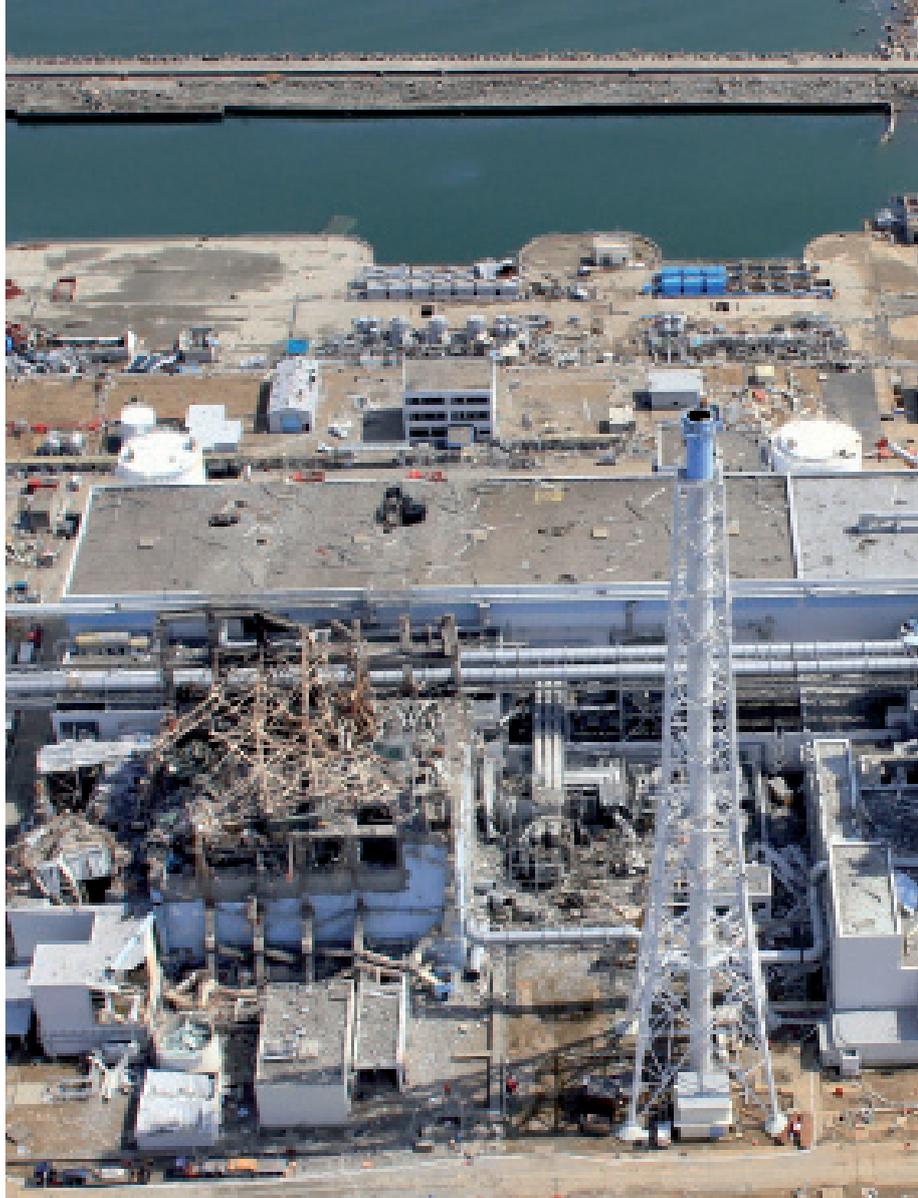
dans l'usine de Tricastin, par centrifugation. L'uranium « de qualité militaire », dont la concentration en uranium 235 peut aller jusqu'à 90 %, équipe les réacteurs nucléaires des sous-marins et peut servir à fabriquer des bombes A en constituant la masse critique.

Dans un réacteur qui contient 3 à 6 % d'uranium 235, on obtient plus facilement de nouvelles fissions avec des neutrons ralentis, dotés d'une plus faible vitesse: 2 km/s et un optimum. Quand un noyau d'uranium 235 fissionne, il émet des neutrons à 20 km/s. Dans un réacteur, qu'on appelait jadis « pile atomique », on aura des éléments « combustibles », qui se présentent sous la forme de pastilles empilées dans des « crayons », des tubes de zirconium qu'on appelle aussi « gaines ». Une soixantaine de ces crayons sont réunis dans des ensembles prismatiques qu'on appelle « assemblages ». Ces derniers baignent dans un milieu, appelé modérateur, qui ralentit les neutrons. Initialement, c'était de l'eau lourde. Puis on a utilisé du graphite. Aujourd'hui, la plupart des réacteurs utilisent de l'eau dite « légère », c'est-à-dire ordinaire. Dans les réacteurs « à eau bouillante » comme ceux de la centrale de Fukushima, le liquide surmonté de vapeur (mais les éléments combustibles, à refroidir, sont sous l'eau) est à 70-80 bars. Dans les deux cas, cette eau va jouer un rôle stabilisant pour le réacteur. Ce qui ralentit les neutrons, ce sont leurs collisions avec les molécules d'eau.

Si l'activité du réacteur croît, c'est-à-dire si le nombre de fissions par seconde augmente, et corrélativement le flux de neutrons, cette eau chauffe: elle se dilate. De ce fait, les distances entre les molécules d'eau croîtront et les neutrons rapides émis par la fusion auront, dans un volume d'eau égal (le tube où circule celle-ci), moins de chance d'entrer en collision avec ces molécules. Donc le pourcentage de neutrons ralentis va baisser.

Or, comme ce sont les neutrons lents qui provoquent les fissions des noyaux d'uranium, le rythme de ces fissions va baisser. La dilatation de l'eau contrarie cette montée en puissance et joue ainsi un rôle stabilisant.

Cet aspect a été le cheval de bataille des réacteurs utilisant l'eau comme modérateur, comme ralentisseur de neutrons, par rapport à ceux qui utilisent le graphite qui, ne se dilatant pas avec la chaleur (cas du réacteur de Tchernobyl), ne peut remplir le rôle de stabilisateur. Il y a un moyen de régler la puissance produite par le réacteur, grâce à d'autres éléments, ab-



Fukushima Dai-ichi après le séisme et le tsunami, le 14 mars 2011.

Au moment où on « arrête » le réacteur, la puissance qu'il produit se trouve divisée par dix, mais elle est loin d'être nulle. Cela correspondait à 60 mégawatts dans les réacteurs « arrêtés » de Fukushima.

sorbant les neutrons et les empêchant donc de provoquer d'autres fissions: des barres de cadmium. Dans les réacteurs français, ces barres sont suspendues. En cas de problème, elles peuvent tomber, par gravité, en une seconde.

Alors le réacteur ne produit plus du tout d'énergie?

Les fissions des noyaux d'uranium ont peuplé les éléments combustibles de noyaux, eux-mêmes instables, qui vont se décomposer, plus ou moins rapidement, en produisant de l'énergie. Typiquement, au moment où on « arrête » le réacteur, la puissance qu'il produit se trouve divisée par dix, mais elle est loin d'être nulle. Cela correspondait à 60 mégawatts dans les réacteurs « arrêtés » de Fukushima.

On ne peut donc pas cesser de refroidir ce cœur, par circulation d'eau, même quand ce réacteur est « arrêté ».

Au Japon, quand la secousse sismique a été



Mesure de la radioactivité à l'aide d'un compteur Geiger.

ressentie, les systèmes de sécurité des réacteurs ont fonctionné. Du moins, on peut le supposer. Au moment où j'écris ces lignes, nous n'en avons pas l'assurance.

C'est-à-dire que ces barres sont tombées ?

Dans les réacteurs japonais, ces barres de contrôle montent, au contraire. Certains réacteurs étaient « à l'arrêt ».

Vingt minutes plus tard, la vague du tsunami a mis hors service les systèmes de pompage d'eau de refroidissement et de prélèvement d'énergie thermique ainsi que les systèmes de secours fonctionnant avec des groupes électrogènes. Les réacteurs japonais ne fonctionnent pas avec de l'eau pressurisée, mais avec de l'eau bouillante. Le cœur baigne dans de l'eau, mais au-dessus, cette eau se transforme en vapeur et est directement envoyée vers les turbines à gaz. Ce circuit étant sous une pression de 70-80 atmosphères.

Quand le tsunami a mis hors service les sys-

La meilleure façon de mettre des réacteurs à l'abri d'un tsunami est de les loger en hauteur. Or les 54 réacteurs nucléaires japonais sont installés au ras des flots, de manière à pouvoir prélever l'eau de refroidissement dans la mer toute proche.

tèmes de pompage, la température s'est mise aussitôt à monter dans la cuve des réacteurs (une enceinte en acier, de 20 cm d'épaisseur), qui constitue le premier périmètre de confinement. Les circuits de pompage de secours n'ont pu être activés, faute de courant électrique. Tout avait été balayé. Il y a eu un début de fusion des tubes en zirconium contenant les éléments combustibles dont le contenu, devenu radioactif, a commencé à se mêler à la vapeur. Les molécules d'eau ont commencé à se dissocier quand la température a atteint 1000 °C. L'oxygène combiné au zirconium libère une grande quantité d'hydrogène.

Quelles actions ont alors été tentées ?

Selon les autorités japonaises, il y en a eu deux. Pour éviter que la cocotte-minute n'explose, on a laissé fuir l'hydrogène, mêlé à des fragments radioactifs. Dans le réacteur numéro 1, celui-ci s'est mélangé à l'air que renfermait le local en tôle situé au-dessus. En même temps, les ingénieurs ont fait circuler de l'eau de mer dans la cuve. Cela revenait à risquer de rendre cette unité inutilisable, à cause de la corrosion, et de plus à prendre le risque que le sel ne bloque les électrovannes, mais il n'y avait rien d'autre à faire. Assez vite, le mélange hydrogène oxygène a fait explosion, soufflant la toiture. Il y a eu surchauffe dans toutes les unités, avec début de fusion de leurs cœurs et injection d'eau de mer, qui s'est dissociée. Cela a entraîné une oxydation des gaines et un dégagement d'hydrogène.

Début de fusion des cœurs... qu'est-ce que c'est ?

Le réacteur de Three Mile Island, aux USA, a connu une fusion de 45 % du cœur, le 28 mars 1979. Cette unité était exactement du même type que les réacteurs de la centrale de Fukushima. Mais la cuve en acier a résisté.

Et à Fukushima, y a-t-il eu fusion des cœurs ?

Au moment où j'écris ces lignes, nous n'en savons rien. Il y a une forte présomption que les cuves d'un ou plusieurs réacteurs soient ouvertes, laissant échapper leur corium, mélange de combustible et de métal fondu. Si c'est le cas, c'est extrêmement grave. La violence de l'explosion survenue au numéro 3 méritera une explication. À côté des réacteurs, il y avait des « piscines » où se trouvaient entreposés des éléments « usés » (mais dégageant toujours radioactivité et chaleur, celles-ci étant absorbées par l'eau). Au-delà de ce constat technique, une conclusion s'impose.

Les réacteurs nucléaires susceptibles de subir des secousses sismiques sont dimensionnés de manière à pouvoir encaisser la force 7 sur l'échelle de Richter, c'est-à-dire une accélération horizontale d'un « g ». Or ceux de Fukushima ont subi les effets d'un séisme de force 9, qui représente une puissance 100 fois plus forte. Les digues de protection anti-tsunami ont été prévues pour des vagues de six mètres. Hélas ! celle de ce tsunami a atteint 14 mètres de haut. Par ailleurs, la meilleure façon de mettre des réacteurs à l'abri d'un tsunami est de les loger en hauteur. Une simple colline de 15-20 mètres de haut aurait suffi. Ce ne sont pas les reliefs qui manquent, dans un pays où 70 % du territoire est montagneux. Or les 54 réacteurs nucléaires japonais sont installés au ras des flots, de manière à pouvoir prélever l'eau de refroidissement (du circuit secondaire) dans la mer toute proche.

L'emplacement choisi pour ces réacteurs est la pire des solutions : l'immense plateau continental qui se situe en face présente une remontée du fond très progressive et se prête malheureusement au renforcement maximal d'un tsunami. Un réacteur nucléaire a au mieux un rendement de 30 %. 70 % de la chaleur produite est évacuée au final dans la mer, dans un fleuve, ou, dans le cas des réacteurs français, dans l'atmosphère, en vaporisant 500 litres d'eau par seconde dans les tours de refroidissement. Les Japonais ont trouvé commode et économique d'implanter leurs installations près de l'océan.

Donc le drame de Fukushima pourrait se rééditer à tout moment... Pourquoi avoir créé cette « épée de Damoclès » ?

Pour faire des économies, dépenser moins d'énergie pour le pompage de l'eau de refroidissement, situer l'unité de production électrique au plus près des centres de consommation... Le nucléaire, qu'il s'agisse du militaire ou du civil, est une épée de Damoclès gérée par « les barons de l'atome ».



Jouet et masque abandonnés dans une école de Pripyat, village proche de Tchernobyl et inhabitable pour plusieurs siècles, selon les spécialistes.

© Daniel Berehulak/Getty Images

Tchernobyl n'a donc pas servi de leçon ?

À Fukushima, il s'agissait d'un régime de fonctionnement auto-stabilisé des réacteurs à eau pressurisée. Le réacteur russe était d'un autre type, utilisant du graphite comme modérateur.

S'agissait-il d'installations vétustes ?

Pas du tout ! Ce réacteur venait d'être mis en service. À la demande des autorités soviétiques, ses ingénieurs procédaient à des tests pour s'assurer de sa sécurité.

Pourtant, il a toujours été question d'une fausse manœuvre, d'un non-respect de règles de sécurité...

C'est plus vicieux que cela. Le réacteur présentait une redoutable instabilité aux bas régimes, et c'est en faisant des tests dans ces conditions que la catastrophe est arrivée: le cœur est entré en criticité et a fondu totalement. Il y a eu un énorme dégagement d'énergie, qui a éjecté la dalle de béton de 12 tonnes recouvrant le réacteur et a expédié des débris de graphite aux alentours. Une masse de débris radioactifs en tous genres s'est constituée en nuage, lequel s'est répandu sur toute l'Europe³. La population a été irradiée en masse. On a sacrifié des pompiers, puis 600 jeunes pilotes d'hélicoptères, qui ont largué des sacs de ciment sur le « gueuloir » rougeoyant. Mais le pire restait à venir.

La masse de produits fissiles, formant un magma en fusion au fond du réacteur, a commencé à tout traverser puis à descendre... descendre...

À proximité d'un fleuve aussi puissant, la nappe phréatique était à vingt mètres sous le réacteur. Si le magma continuait de s'enfoncer, en faisant fondre la roche sur son passage, et s'il touchait la nappe phréatique, celle-ci aurait été polluée de manière irrémédiable, contaminant la rivière Pripyat, au bord de laquelle la centrale est installée, affluent du Dniepr, un des principaux fleuves de Russie, qui se jette dans la mer Noire après avoir traversé l'Ukraine. Pour éviter cela, les Russes creusèrent d'arrache-pied, en progressant de 13 mètres par jour, un tunnel sous le réacteur, se terminant par une chambre de 30 mètres sur 30, où ils ont coulé du béton, pour stopper la descente du magma. Un millier de mineurs, irradiés, a été sacrifié. Puis il a fallu dégager les toits du réacteur de blocs de graphite hautement radioactifs. On a d'abord utilisé des robots puis ils sont tombés en panne, leur électronique étant détruite par les rayonnements ionisants. Alors on a utilisé les hommes.

Les Russes ont construit à la hâte un sarcophage immense, mélange de béton et de plomb, qui a coûté 18 milliards de dollars.

Destiné à durer trente ans, on a entrepris de le remplacer en le recouvrant d'une structure métallique, avec un financement européen. Cette nouvelle couverture est prévue pour tenir un siècle.

Un siècle... et après ?

Après, il faudra recommencer. Cette nécropole recèle cent kilos de plutonium, hautement toxique, capable de tuer cent millions d'êtres humains. Si les Russes n'avaient pas fait



Tchernobyl 1986 : les « liquidateurs » évacuent le graphite.

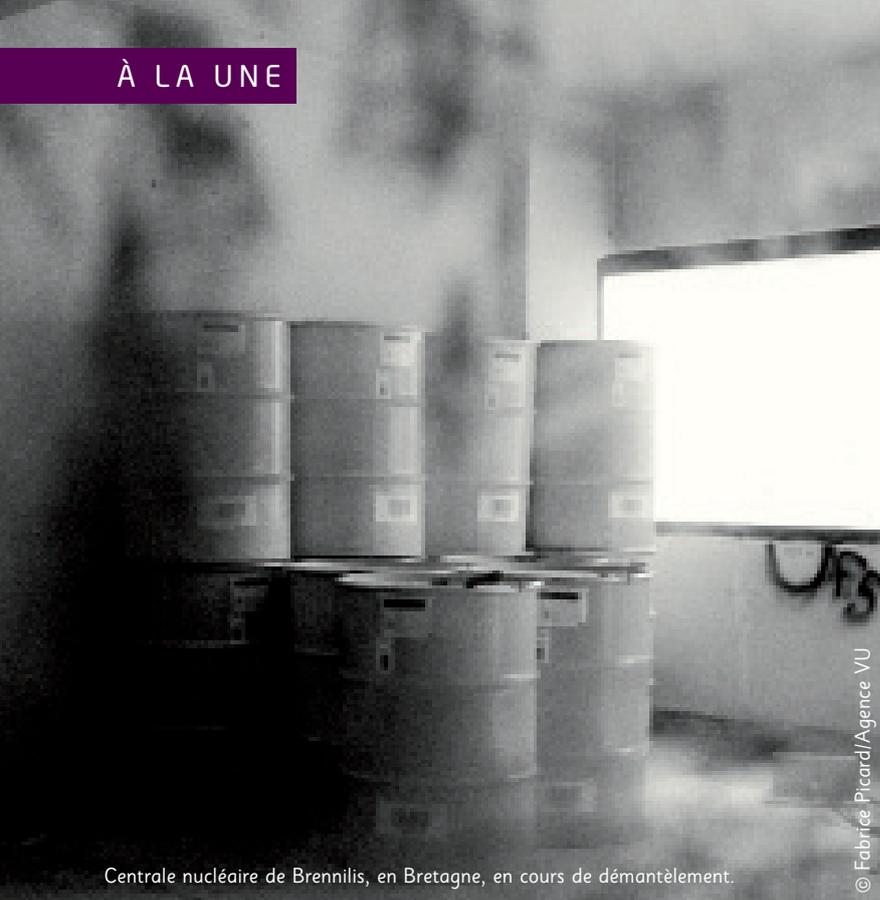
Si les Russes n'avaient pas fait sacrifier des vies humaines, il y aurait eu une seconde explosion, rendant l'Europe entière inhabitable pour 24 000 ans.

sacrifier des vies humaines, il y aurait eu une seconde explosion, rendant l'Europe entière inhabitable. Celle-ci se serait produite quand l'eau située sous le réacteur se serait dissociée au contact du magma, le mélange obtenu, hydrogène-oxygène, aurait explosé, dispersant le contenu radioactif aux quatre vents, sur tous les pays européens.

Pendant combien de temps l'Europe aurait-elle été contaminée ?

Pendant 24 000 ans. Le nucléaire, c'est ça. Dans les mois qui ont suivi la catastrophe, cinq cent mille volontaires, des « liquidateurs », ont tenté de nettoyer d'immenses territoires sur lesquels les poussières radioactives se sont déposées. On a brossé, lavé à grande eau, détruit des maisons, des villages entiers, enterré les débris dans des fosses. Il a fallu prendre les vers de terre de vitesse. En effet, ceux-ci se nourrissent de terre, qu'ils rejettent derrière eux. Ce sont des artisans discrets et utiles, qui travaillent la terre à leur façon. Mais, dans le cas de Tchernobyl, ils ont emmené les radionucléides déposés à la surface jusqu'à 20 cm de profondeur. Cette terre est contaminée à jamais. Par endroits, les cultures sont interdites. Ailleurs on s'accommode du fait que les plantes, enfonçant leurs racines dans cette terre empoisonnée, se gorgent de substances radioactives. Aujourd'hui, en Ukraine et en Biélorussie, pour faire son marché, il faut se munir d'un compteur Geiger.





Centrale nucléaire de Brennilis, en Bretagne, en cours de démantèlement.

© Fabrice Picard/Agence VU

Que faire des déchets ?

Le lobby nucléaire n'a aucune solution rapide et efficace à apporter à ce problème. Pire encore, on dispose aujourd'hui d'un surgénérateur à neutrons rapides: le Superphénix, implanté à Creys-Malville, dans l'Isère. La décision de le construire a été prise par Giscard d'Estaing en 1976.

Comme je l'ai expliqué, on ralentit les neutrons de fission pour faciliter de nouvelles fissions de l'uranium 235. Pour le plutonium, c'est l'inverse. Celui-ci ne fonctionne qu'avec des neutrons rapides. Par ailleurs, en utilisant un réacteur fonctionnant au plutonium, celui-ci, expédiant des neutrons rapides dans une couverture fertile en uranium 238, transforme ce dernier en plutonium 239. C'est d'ailleurs comme cela qu'on a fabriqué cette engeance, qui n'existe pas dans la nature, en bombardant du 238 avec des neutrons rapides. C'est avec celui-ci qu'on fait les bombes A, la première ayant été expérimentée sur Nagasaki. Un surgénérateur produit de la chaleur et transforme cette « cendre » de la fission qu'est l'uranium 238, non fissile en... nouveau plutonium. C'est dans cette perspective que la France a créé son centre de retraitement de la Hague, qui reçoit le contenu des réacteurs, après déchargement. Il accueille ces « cendres » de la fusion, mélange d'uranium 238, de plutonium 239 et de multiples déchets radioactifs, lesquels sont séparés.

En 1998, le toit du hall des pompes du Superphénix, mal calculé, s'effondre sous le poids de la neige. Coup de chance, ce jour-là, le réacteur était arrêté, sinon c'était la catastrophe.

Ce qui n'est pas réutilisable est enfermé dans un produit vitrifié et stocké⁴. L'État cherche des sites de stockage dans l'Hexagone. Les industriels sont autorisés par décret à incorporer des déchets radioactifs dans les matériaux de construction, dans les emballages, etc. En utilisant les « éléments nobles » de cette « cendre », la France fabrique le MOX, un combustible fissile qui contient 7 % de plutonium et équipe déjà 20 % de nos réacteurs, ainsi que le réacteur numéro 3 de Fukushima. Quant au surgénérateur à neutrons rapides, c'est une bombe en puissance. En 1998, le toit du hall des pompes du Superphénix, mal calculé, s'effondre sous le poids de la neige. Coup de chance, ce jour-là, le réacteur était arrêté, sinon c'était la catastrophe. Des voix s'élèvent aussitôt. Le réacteur est arrêté. À l'heure actuelle, on ne sait pas comment le démanteler ni comment démanteler les centrales nucléaires. J'ai été stupéfait de voir à l'époque des gens comme Sébastien Balibar et le prix Nobel de physique feu Georges Charpak dire que c'était la seule solution pour assurer les besoins de la France en énergie, et son autonomie.

On ne peut pas utiliser de l'eau comme fluide caloporteur, refroidissant le cœur et transportant des calories, car celle-ci ralentit les neutrons. Il faut donc utiliser du sodium, qui circule, fondu, à 550° et... bout à 880°. Un surgénérateur utilise 5 000 tonnes de sodium fondu. Cette substance s'enflamme spontanément au contact de l'air et, au contact de l'eau, explose. On ne sait simplement pas éteindre un feu de sodium de plus de cinq cents kilos. Baignant dans ce sodium, le cœur de ce type de réacteur est constitué par une tonne de plutonium, de quoi tuer 10 milliards d'êtres humains.

Quid d'ITER, la voie de la fusion deutérium-tritium ?

C'est une impasse, d'un autre genre. La décision d'engager la France dans cet autre projet a été prise par le président de la République Jacques Chirac, sur la base du succès enregistré par le tokamak anglais JET (Joint European Torus), implanté à Culham. Après quatre décennies d'efforts, une seconde de fusion, enfin. On décide alors de construire ITER, un projet à 1 500 milliards d'euros. Objectif: obtenir une production d'énergie par fusion pendant une

minute, en 2030 ou plus. Après, on verra. Mais il y a deux écueils abyssaux. Feu le Prix Nobel Pierre-Gilles de Gennes, spécialiste en supraconducteurs, avait prédit que jamais l'aimant supraconducteur d'ITER ne résisterait à un bombardement de neutrons. Parmi la kyrielle de problèmes, le fait que les noyaux rapides, s'échappant du plasma et franchissant la barrière magnétique, iront polluer le plasma. Si la paroi est en tungstène, ce seront ces atomes-là qui s'ioniseront séance tenante, portant 74 charges électriques. Le refroidissement du plasma est essentiellement radiatif et découle de l'interaction entre les électrons et les noyaux, chargés positivement. La perte croît comme le carré de la charge. Donc chaque ion tungstène engendrera une perte radiative équivalente à celle due à 5 476 ions hydrogène. Si on ne sait pas dépolluer le plasma en continu, la chaudière s'éteindra.

A-t-on prévu un système de dépollution ?

Comme on peut le voir sur ce schéma d'ITER (ci-dessous), deux « rigoles » (D et E) courent à la base de la chambre torique. C'est à l'aide de ce dispositif, appelé « divertor », qu'on espère capturer ces ions lourds.

Ce dispositif a-t-il déjà été testé ?

Jamais. Le nucléaire est un business, avec des lignes de chiffres, des postes, des contrats de sous-traitance, des cessions de brevets, des fabrications sous licence. ITER est un... plan

Feu le Prix Nobel Pierre-Gilles de Gennes, spécialiste en supraconducteurs, avait prédit que jamais l'aimant supraconducteur d'ITER ne résisterait à un bombardement de neutrons.

social. La France, en un demi-siècle, a vendu du nucléaire à tous les pays de la planète, et continue de le faire. Elle a construit pour l'État hébreu le réacteur Dimona, où ont été conçues les bombes dont les Israéliens nient encore l'existence. John Fitzgerald Kennedy a été le seul président à s'en inquiéter et à réclamer l'inspection de ce centre, camouflé en usine textile. Il fut immédiatement assassiné. Plus récemment, Barack Obama, lors de sa première conférence de presse, à Washington, questionné à ce sujet par la doyenne des journalistes présents, déclara qu'il réagirait aussitôt s'il avait vent d'une production d'armes de destruction massive dans un pays du Moyen-Orient...⁵ La France a construit le réacteur nucléaire Osirak, vendu à Saddam Hussein. Elle est aussi à l'origine du nucléaire iranien. Et peu de temps après son accession à la présidence, Nicolas Sarkozy a souhaité vendre des réacteurs « à son ami Khadafi ».

La physique des plasmas propose-t-elle une alternative sérieuse ?

Comme vous le rappelez dans votre dernier numéro [NEXUS n° 73, mars-avril 2011], un article de mon ami Malcom Haines, dans *Physical Review Letters*, fait état en 2006 d'une percée fantastique. Pour la petite histoire, dans les années 70, Gerold Yonas, à Sandia, au Nouveau-Mexique, construit un générateur d'impulsions électriques en forme de camembert. L'invention délivre des « pêches » impressionnantes : 18 millions d'ampères en cent nanosecondes ! Le but : focaliser ces électrons sur une cible pour en obtenir la fission. Trente ans plus tard, personne ne pense plus à la fusion à l'aide de ce procédé. Mais les militaires souhaitent disposer d'une puissante source de rayons X pour tester la résistance de leurs ogives aux armes antimissiles (des bombes A qui, explosant dans l'espace, irradiant des rayons X qui peuvent griller les circuits électroniques des têtes nucléaires, perturber leur guidage, leurs mécanismes de mise à feu). Gerold Yonas, reprenant une

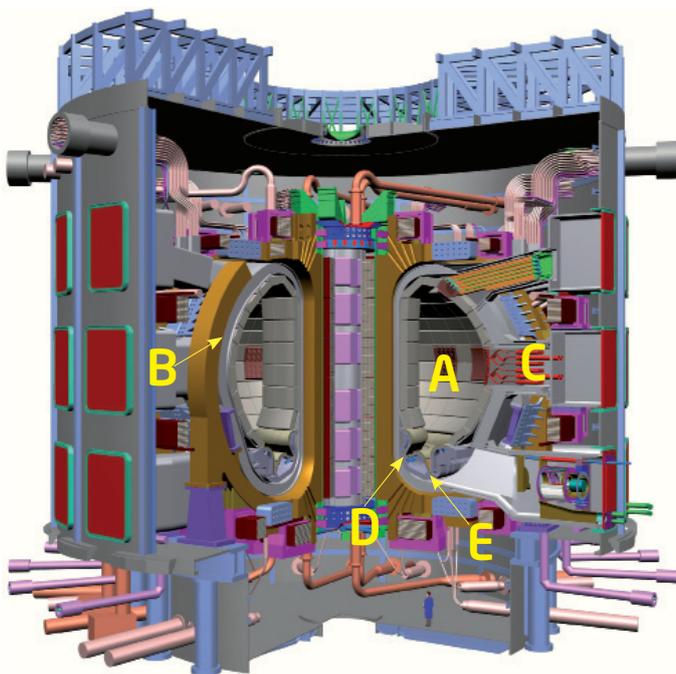


Schéma d'ITER.

A : la chambre à plasma, torique

B : l'aimant, supraconducteur

C : chauffage

D et E : les rigoles censées assurer la dépollution du plasma

idée du Russe Valentin Smirnov, directeur du département de fusion de l'Institut Kurtchatov⁶ de Moscou, envoie ce courant, non selon les génératrices d'un cylindre de cuivre, que des instabilités MHD (magnétohydrodynamique) empêchent d'imploser correctement vers son axe, mais dans une cage faite de 240 fils d'inco. Plus modeste, Gerold Yonas ne cherche plus à obtenir la fusion. Mais, en comprimant un cylindre en polystyrène, il obtient un, puis plusieurs dizaines de millions de degrés, et une production spectaculaire de rayons X, se chiffrant en centaines de térawatts. Mais les grandes découvertes sont souvent le fruit du hasard. Un jour, son adjoint Chris Deeney enlève le cylindre de polystyrène cible, « pour voir », et l'inattendu se produit : les 240 fils convergent vers l'axe et donnent un cordon de plasma d'un millimètre et demi de diamètre. Le calcul [NDLR : équation de Bennett, voir NEXUS n° 73] indique que la température des ions doit être de trois milliards de degrés ! À titre indicatif, c'est 200 fois la température régnant au cœur du Soleil, 30 fois celle obtenue avec un tokamak et sept fois celle qui règne au cœur de la boule de feu d'une bombe thermonucléaire.

Concernant ces trois milliards de degrés allégués par Malcolm Haines, y aurait-il eu selon vous des erreurs dans le décodage des données issues des mesures spectroscopiques ?

Gerold Yonas était perplexé et a demandé des mesures, par spectroscopie et élargissement de raies. Celles-ci ont confirmé, avec une fente large, puis étroite, la valeur calculée. Si cette température n'avait pas été atteinte, le cordon de plasma se serait écrasé sous l'effet d'une pression magnétique de 90 millions d'atmosphères qui découle sans ambiguïté de la valeur du courant : 18 millions d'ampères, et du diamètre du filament : 1,5 mm. C'est ce que traduit l'équation de Bennett en 1935. Selon celle-ci, difficilement contestable, la température croît comme le carré de l'intensité électrique. Mais il existe un autre phénomène, hautement déconcertant. Cette énergie, sous forme de chaleur, est trop élevée pour représenter la simple conversion de l'énergie cinétique des ions, qui conver-

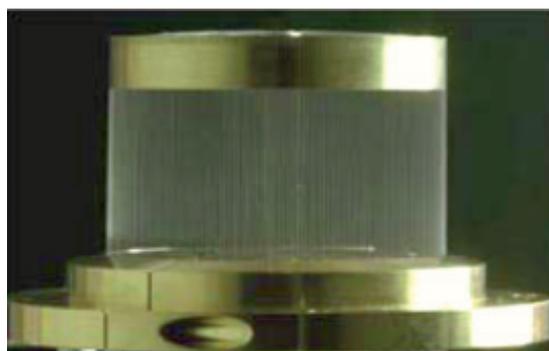
Trois milliards de degrés, c'est 200 fois la température régnant au cœur du Soleil, 30 fois celle obtenue avec un tokamak et sept fois celle qui règne au cœur de la boule de feu d'une bombe thermonucléaire.



gent vers l'axe à 600 km/s. Elle excède cette énergie cinétique d'un facteur trois à cinq. Le chauffage serait-il imputable à l'effet Joule ? Il passe quand même 68 000 ampères dans chacun de ces fils, fins comme des cheveux ! Là encore, le calcul indique que pour obtenir trois milliards de degrés il faudrait tabler sur un temps de huit microsecondes, ce qui est plus de mille fois plus long que le temps de l'expérience (le plasma reste confiné pendant six nanosecondes).

Cet effet Joule découle des collisions entre des électrons, qui s'écoulent dans le filament à 24 km/s. Mais, dans les conditions de cette expérience, les ions sont des cibles menues. Et quand des collisions se produisent, la quantité d'énergie transférée est proportionnelle au rapport de la masse de la particule la plus petite (l'électron) à celle de la plus lourde (un ion fer). Ce rapport est alors de 1/108 000. Exit l'effet Joule. Gerold Yonas confie alors le décodage de ces résultats à l'Anglais Malcolm Haines, qui explique qu'au sein du plasma se forment de minuscules « plasmoides », ou « spheromak » (termes utilisés par les Russes)

ou « points chauds » de moins d'un micron de diamètre, qui regroupent un à dix milliards d'ions et d'électrons, formant d'étranges structures compactes, capables de capter, au passage, l'énergie cinétique des électrons. C'est un phénomène de « résistivité turbu-



Le « liner » de Sandia : 240 fils de quelques microns de diamètre.



Dessin de Jean-Pierre Petit.

lente », une sorte de « super effet Joule ».

En 2006, j'analyse le papier de Malcolm Haines, dès sa sortie, et mets en ligne un long article dans sur site Internet. Je refais ses calculs et adhère aussitôt à sa théorie. La théorie prédit que la température des ions doit croître comme le carré de l'intensité électrique. Or, avant même l'obtention de ces résultats spectaculaires et inattendus, la décision avait été prise à Sandia de modifier la Z machine de A à Z, en ne gardant que le local, pour obtenir 26 000 ampères au lieu de 18 000. Donc, si l'analyse de Malcolm Haines est correcte, des températures de huit milliards de degrés pourraient être obtenues. Les Russes se mêlent de la partie en fournissant un nouveau composant, le LTD, qui permettrait de construire une machine développant 60 millions d'ampères. En fin de compression, théoriquement : une température de 40 milliards de degrés.

La découverte de Malcolm Haines a quelque chose de paradoxal. Depuis l'après-guerre, les scientifiques ont bataillé pour éviter les instabilités MHD (magnétohydrodynamique), ne serait-ce que pour pouvoir faire fonctionner un tokamak, enfin. Et là, au lieu de contrarier les efforts des hommes, elles démultiplient la résistance d'un cordon constitué par des ions métalliques au point d'y créer un « super effet Joule ».

Jusqu'en 2006, personne n'aurait songé une seule seconde atteindre et dépasser la température de 100 millions de degrés présente dans un tokamak, et encore moins atteindre

Si cette fusion non neutronique voyait le jour, il faudrait envoyer à la casse tous les réacteurs nucléaires existants.

sept fois celle qui règne au cœur de la boule de feu d'un engin thermonucléaire. Mais il y a plus fantastique encore. À partir d'un milliard de degrés, la fusion exo-énergétique du bore 11 et de l'hydrogène léger ^1H devient possible, donnant trois noyaux d'hélium ^4He , et pratiquement pas de neutrons (sinon par une minorité de réactions secondaires). Cette perspective fait qu'on devrait séance tenante stopper le projet ITER, parce qu'on a potentiellement mieux, beaucoup mieux : une fusion qui ne créerait pas de radioactivité, et dont les déchets permettraient de gonfler des dirigeables.

Vous voulez dire qu'on devrait créer des machines fonctionnant à une température d'un milliard de degrés, des « super tokamaks » ?

Votre voiture ne fonctionne pas avec une chaudière à vapeur. Si c'est un diesel, la combustion du carburant s'effectue à mille degrés, pendant un millième de seconde. Mais le moteur de votre voiture n'est pas à mille degrés. Il y a autant de différence entre les générateurs à fusion impulsionnelle qui pourraient découler de cette découverte et une machine comme ITER qu'entre un moteur diesel et une machine à vapeur. ITER, c'est la machine à vapeur du III^e millénaire. Mais ça ne s'arrête pas là. Si cette fusion non neutronique voyait le jour, il faudrait envoyer à la casse tous les réacteurs nucléaires existants.

La Z machine pourrait donc être transformée en générateur électrique ?

Il y aurait du travail à faire. Mais cette machine coûte le millième d'ITER. Il faudrait sans perdre une seconde démarrer des recherches en ce sens, en créant un centre européen, à vocation internationale. C'est ce que j'ai dit à Édouard de Pirey, à l'époque conseiller scientifique de Valérie Pécresse, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Je suis venu le voir avec une lettre que Valentin Smirnov, directeur du département de fusion de l'Institut Kurtchatov. Si la ministre avait accepté de la lire, un courrier officiel recommandant diplomatiquement ces recherches serait parti aussitôt.

Et alors ?

Alors, rien.

Pourquoi un tel silence ?

Vous n'imaginez pas que les gens du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) scieraient la branche sur laquelle ils sont assis. Les Américains ont poussé ces recherches, mais maintenant, ils désinforment. L'explication est simple : cette découverte débouche sur des bombes à fusion pure, des bombes thermonucléaires qui n'ont pas besoin d'utiliser une bombe A comme détonateur. Elles sont ainsi miniaturisables et non polluantes. Il y a donc un risque majeur qu'on les utilise, par opposition aux engins nucléaires actuels, qui sont aussi dangereux pour celui qui les lance que pour celui qui les reçoit. Autre risque majeur, cette technologie, qui shunte totalement l'étape de l'enrichissement isotopique, est proliférante. Du côté français, on hausse les épaules. J'ai donné une conférence à l'École polytechnique en 2008 à la demande des étudiants. J'avais invité les professeurs Rax et Chuvatin, qui enseignent la physique des plasmas à l'école. Non seulement ils ne sont pas venus, mais ils n'ont même pas répondu à l'invitation. Avant de répondre à vos questions, je leur ai envoyé un mail dans lequel je leur demandais de bien vouloir se prononcer sur les conclusions de Malcolm Haines et ses trois milliards de degrés. Pas de réponse. En 2008, je me suis rendu à Vilnius, en Lituanie, à l'occasion d'un congrès sur les hautes puissances pulsées dont relèvent les Z machines. J'y ai rencontré Keith Matzen et Randy McKee, responsables de l'engin à Sandia, dont l'intensité venait d'être portée de 18 millions à 26 millions d'ampères. Ils m'ont affirmé que Malcolm Haines s'était trompé, et que cette température était de dix à cent fois plus faible. Quand j'ai questionné Keith Matzen, à l'issue de son exposé devant 200 congressistes, en lui demandant quelle température avait été obtenue sur la Z machine américaine en 2005, il a bredouillé « *c'est une bonne question...* ».

J'ai écrit à Gerold Yonas. Réponse : « *Cette question me laisse aussi perplexe. Je vais demander à Keith Matzen de clarifier cela.* » Résultat : Keith Matzen m'a envoyé vers l'Israélien Itziak Maron, spécialiste de spectroscopie, en prétendant que celui-ci avait trouvé des erreurs dans l'interprétation des mesures

Ne vous attendez à rien côté français. La simple prise en compte de ces problèmes mettrait en danger le projet ITER, qui devrait être suspendu immédiatement, ainsi que l'ensemble de la politique nucléaire française.

de Malcolm Haines. Je lui ai écrit, et il a répondu à côté. Pour ces différentes raisons, j'ai souhaité échanger par mail avec Yonas et Maron. Malheureusement, je n'ai pas eu de réponse. En octobre 2010, je me suis rendu à un congrès sur les hautes puissances pulsées à Jeju en Corée. William Stygar, l'un des 18 cosignataires du papier présentant les derniers développements sur ZR, la Z machine « gonflée », apprenant que je serais présent, s'est fait porter pâle. Un chercheur de Sandia, Bryan Oliver, qui ne travaille pas sur le projet, m'a interpellé énergiquement : « *Jean-Pierre, il faut arrêter tout cela, m'a-t-il dit. Malcolm Haines s'est trompé, c'est tout. Cela arrive.* » Je lui ai demandé si les laboratoires Sandia avaient l'intention de publier un communiqué à ce sujet car ces expériences remontent à six années. « *Oui, oui, en 2011* », a-t-il répondu...

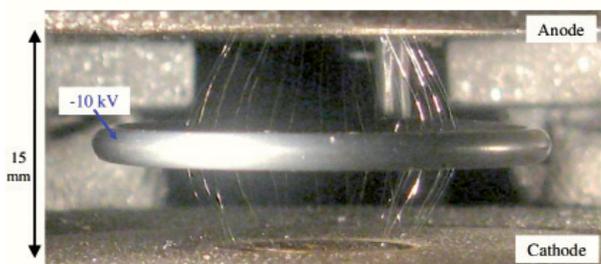
Je suis en contact avec Malcolm Haines. S'il avait commis une erreur, il se tiendrait coi. Mais au contraire, il compte participer à un congrès international consacré aux Z machines à Biarritz du 3 au 6 juin prochain. De plus, il a publié en 2008 un article expliquant pourquoi Itziak Maron, avec une machine qui ne développe que 350 000 ampères, ne pouvait pas obtenir un tel résultat, constater ce fabuleux chauffage par ce « super effet Joule ».

Et les Russes? Ce sont quand même les plus grands spécialistes de la physique des plasmas au monde. N'ont-ils pas, eux aussi, leur Z machine?

Ils en ont plusieurs, depuis longtemps, dont



Angara, une Z machine russe implantée à Troitsk, près de Moscou.



Liner sphéroïdal de Grabowski.

Angara, implantée à Troïtsk, près de Moscou. Comme la Z machine américaine, elle baigne dans l'eau. C'est indispensable pour « comprimer l'impulsion électrique », en passant d'une microseconde à 100 nanosecondes. Cette brièveté de la décharge est indispensable au succès de l'expérience. En effet, elle équivaut, avec le profil de montée suivant, à une impulsion de 10 mégahertz.

Les ingénieurs militaires français ont aussi une Z machine au centre de Gramat, dans le Lot. Mais celle-ci, travaillant à sec, est trop lente (800 nanosecondes). Les Russes ont cette rapidité, mais leur puissante machine ne développe que cinq millions d'ampères. C'est insuffisant. Lors d'un congrès sur les hautes puissances pulsées qui s'est déroulé sur l'île de Jeju en Corée du Sud, j'ai longuement discuté avec Eugène Grabowski, le responsable de la Z Machine russe. À noter que le liner à fils est aussi une invention russe, due à Valentin Smirnov. Les Russes, débordant d'idées, ont testé des liners coniques, recherchant « un effet de charge creuse ». Ils disent, sans donner de chiffres, « que cela a augmenté la température », mais la rusticité de leur montage et un courant insuffisant leur interdisent de faire jeu égal avec le laboratoire américain Sandia. En Corée, Eugène Grabowski a montré une idée récente que son équipe commence à tester : l'utilisation d'un liner sphéroïdal (voir photo ci-dessus).

Cette recherche a-t-elle encore ses chances ?

Ne vous attendez à rien côté français. La simple prise en compte de ces problèmes mettrait en danger le projet ITER, qui devrait être suspendu immédiatement, ainsi que l'ensemble de la politique nucléaire française. En Russie et dans d'autres pays, les laboratoires ne peuvent suivre pour les raisons de bête technologie évoquée plus haut. Avec leurs 26 millions d'ampères et leurs liners construits avec des fils de l'épaisseur d'un cheveu, les Américains sont loin devant tous les autres. Et qu'en font-ils ? Des armes. C'est la course à l'élaboration de bombes à fusion pure, drivées par des générateurs à explosif inventés par les Russes depuis les années cinquante.

Qu'en est-il du **solaire** ?

C'est l'application la plus facile à mettre en place.

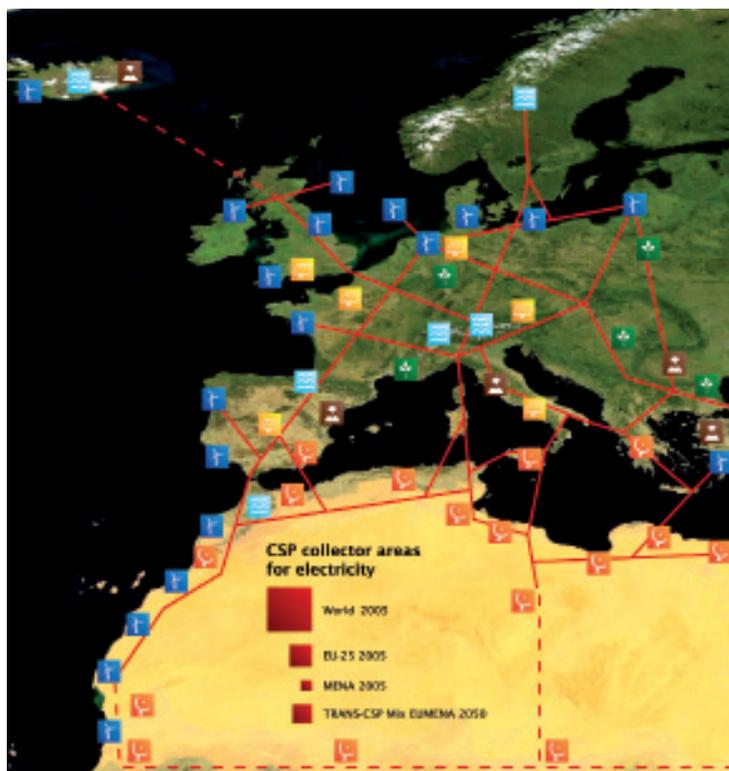
Pourtant, même en mettant des panneaux solaires sur tous les toits de France, on ne produira jamais les milliers de mégawatts indispensables au fonctionnement de nos industries. À moins de s'orienter vers une décroissance radicale...

Je suis parfaitement conscient que ce n'est pas avec des cellules photovoltaïques, des panneaux solaires et des éoliennes qu'on pourra développer ces énergies de remplacement dont nous avons besoin. L'énergie solaire, il faut la capter en abondance, avec des installations de grande envergure, dont les puissances se chiffrent alors en milliers de mégawatts.

Comme le projet de DESERTEC¹¹ ?

Oui. Il s'agit d'un projet éco-énergétique de grande envergure mené par la Desertec Foundation. Sur le site desertec.org, l'internaute peut observer une carte du Sahara qui expose la surface à équiper pour satisfaire les besoins du monde entier : un carré de 300 kilomètres sur 300 kilomètres. Cent par cent pour les

L'énergie solaire, il faut la capter en abondance, avec des installations de grande envergure, dont les puissances se chiffrent alors en milliers de mégawatts.



Projet Desertec : la superficie des carrés rouges correspond à la surface des capteurs solaires nécessaire pour satisfaire les besoins à différentes échelles (MENA = Moyen-Orient et Afrique du Nord ; EU = Europe ; World = monde entier).



Le réseau de transport de courant continu sous-marin sous haute tension en Europe. En rouge, les lignes existantes, en tireté bleu, les lignes en projet. La distance record (Allemagne-Norvège est de 450 km). http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:HVDC_Europe.svg

besoins européens. Apparemment, le transport d'énergie électrique ne pose aucun problème. Sur les sites de transformation de l'énergie solaire en énergie électrique, on installe des turbines à vapeur, couplées à des alternateurs. Ces systèmes sont identiques à ceux qui assurent la transformation de l'énergie nucléaire en énergie électrique. Du collecteur sort de la vapeur sous 80 bars, à 270 °C. Sauf que cette fois, la source d'énergie, c'est le Soleil. Étant donné que dans tout système de ce genre, il faut une source froide, on projette d'installer ces centrales près des côtes, pour que la vapeur se condense en utilisant la basse température de l'eau de mer. De plus, sur de grandes distances, le transport de l'énergie électrique s'effectue avec moins de perte en courant continu, sous haute tension.

Mais les alternateurs produisent du courant alternatif. N'est-ce pas grâce à cela que la tension dans des transformateurs peut être élevée? Sans oublier la diminution des pertes dans le transport?

La réduction des pertes n'est pas due au transport du courant alternatif, mais au déplacement du courant sous haute tension, en triphasé.

Faut-il donc abandonner l'invention de Tesla, le courant alternatif pour le transport de l'énergie électrique et revenir au courant continu d'Edison?

Pas du tout. Pour réduire les pertes en ligne, on est amené à transporter le courant sous haute tension, ce qui nécessite de produire le courant primaire en alternatif. En effet, on ne sait pas produire du courant continu en haute tension. Ensuite ce courant alternatif est « redressé », transformé en courant continu.

Le transport du courant sous haute tension et sa trans-

formation en courant continu s'effectuent-ils déjà ou est-ce encore à l'étude?

C'est opérationnel depuis longtemps dans de nombreux pays comme par exemple au Canada. Il y a moins de perte sur de grandes distances, en transportant du courant continu plutôt qu'en alternatif. Ces pertes sont étonnamment faibles : 3 % aux mille kilomètres. Les Canadiens utilisent des stations de redressement à l'échelle des puissances transportées, qui se chiffrent en milliers de mégawatts.

Ils ont des barrages hydroélectriques dans le Nord alors que l'usage de cette énergie produite est dans le Sud, à 1400 km. Les tensions sont couramment de 450 000 volts.

Que devient ce courant continu sous très haute tension à son arrivée?

Il est retransformé en courant alternatif haute tension à l'aide d'un onduleur. Là aussi, la technique est au point depuis longtemps. Près du lieu d'utilisation, un transfo abaisse la tension et le tour est joué. Un système permettant d'envoyer aux Anglais, via le Channel, 2000 MW sous 270 000 volts fonctionne depuis 1985¹² et représente l'alimentation de trois millions de foyers britanniques et 5 % de l'électricité dont a besoin le Royaume-Uni. La ligne (la portion immergée correspond à 46 km) a été ensouillée à 1,5 mètre de profondeur pour éviter qu'elle ne soit accrochée par les chaluts. À Grondines, à 100 km au sud de Québec, le courant continu¹³ est acheminé sous 450 000 volts en traversant le Saint-Laurent. Ce mode de transport du courant est dit HVDC (High Voltage Direct Current). Dans les liaisons sous-marines, le courant alternatif ne peut plus être utilisé au-delà de distances relativement courtes, de 50 à 100 km, car ce procédé engendre trop de pertes à cause des courants induits dans l'eau de mer, inconvénient que ne présente pas le courant continu.

Finalement, quel que soit le mode

Un système permettant d'envoyer aux Anglais, via le Channel, 2000 MW sous 270 000 volts fonctionne depuis 1985 et représente l'alimentation de trois millions de foyers britanniques et 5 % de l'électricité dont a besoin le Royaume-Uni.

de transport, aérien, sous-marin, souterrain, c'est le courant alternatif qui induit nécessairement une perte d'énergie...

C'est ça. La perte qui s'effectue dans l'air humide est loin d'être négligeable. Elle interdit le transport sur des distances supérieures à 500, voire à 1000 km. Le transport sous courant continu s'avère plus économique.

Des transmissions sur des distances de 1400 km ont été prévues, par exemple pour le transport de l'énergie du barrage des Trois-Gorges en Chine, vers des régions côtières. La société Siemens achève la mise en place d'une ligne qui acheminera 5 000 mégawatts vers les installations côtières. Le futur système chinois sera basé sur du 800 000 volts, avec des transports de 6400 MW, soit l'équivalent de 12 centrales thermiques. Le transport du courant sur de très grandes distances avec des pertes globales ne dépassant pas 15 % est donc un problème résolu.

Le projet Desertec implique de replacer les centrales énergétiques dans des régions potentiellement instables sur le plan politique. C'est l'argument massue des pro-nucléaires: l'autonomie avant tout.

Il existe une autre solution que d'implanter les centrales solaires de grande puissance dans le Sahel, ou sur les côtes africaines. Il existe des régions du monde où l'on trouve du soleil en abondance et où ce n'est pas la place qui manque.

Où par exemple ?

En mer. Il suffit d'envisager une production massive d'électricité, à partir du solaire, sur d'immenses barges. Comme par exemple les Alliés en Normandie qui lors du débarquement ont acheminé près de la côte d'immenses caissons en béton, entièrement cloisonnés, qui ont été coulés pour en faire des ports artificiels, sur la côte.

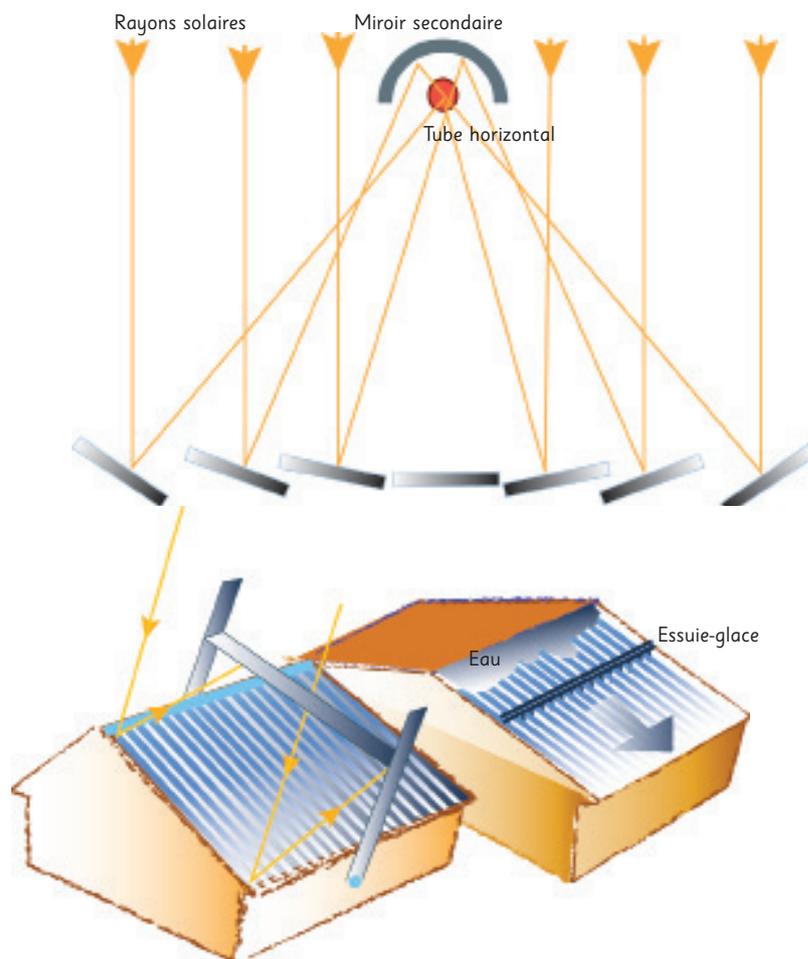
Si on veut sortir du nucléaire, il faut lancer des projets d'envergure de ce genre, et même bien au-delà. Dans le golfe du Mexique, on compte déjà 200 immenses plates-formes offshore pour l'exploitation pétrolière. Elles peuvent résister aux assauts de la mer. Si ces structures sont insensibles aux plus fortes tempêtes, c'est parce qu'elles dominent la mer, juchées sur leurs longues pattes qui les mettent

Au lieu d'enlaidir les jardins avec des panneaux solaires, il serait plus efficace de concevoir des parements de toiture transformant par simple collage un versant de toit plat en miroir de Fresnel.

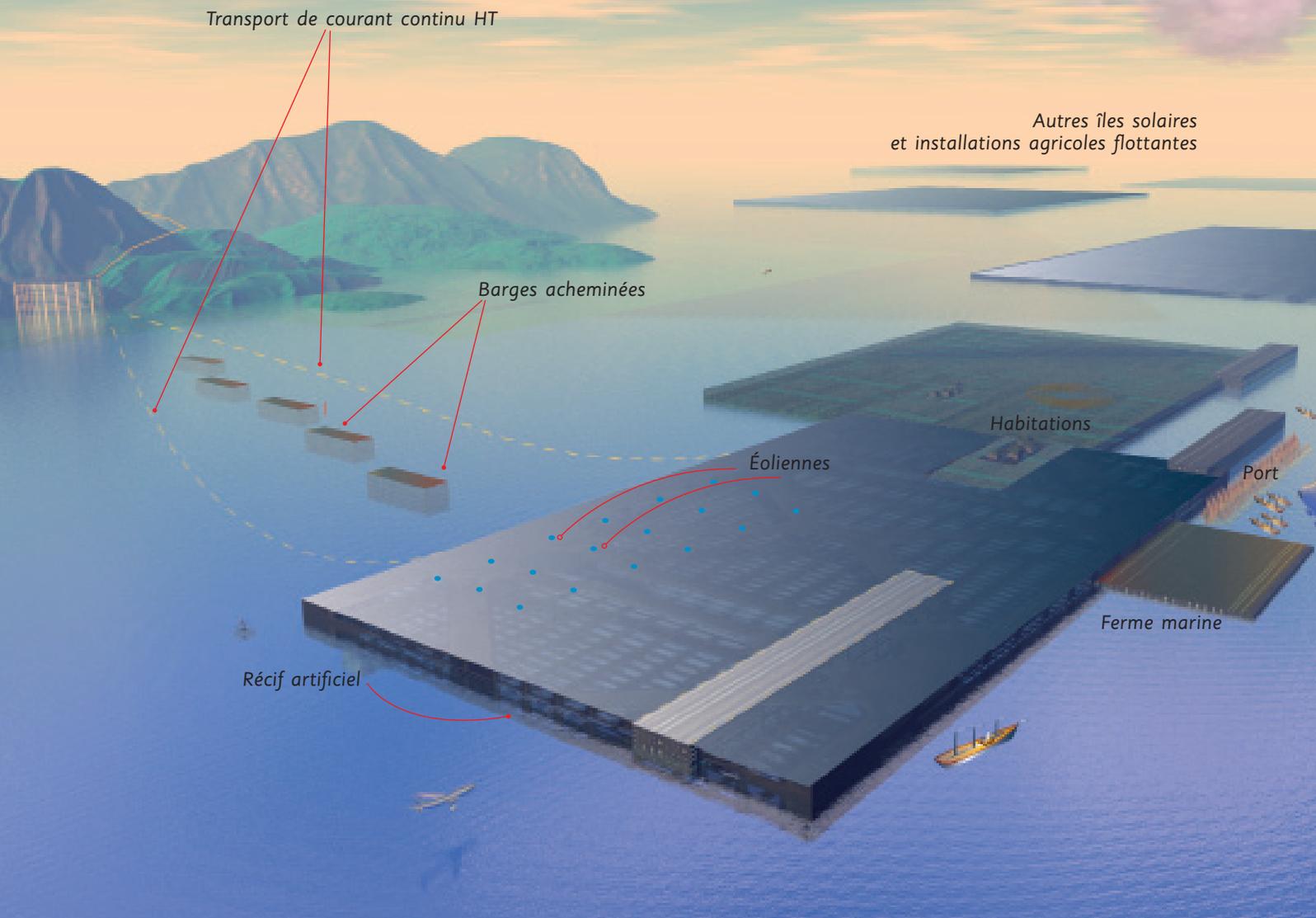
hors de portée des lames. Ces installations s'appuient soit sur le fond marin près des côtes, soit sur d'immenses flotteurs immergés quand la profondeur est trop grande. Elles sont alors positionnées de manière active grâce à une motorisation *ad hoc* et un repérage sur une balise située au fond, près de la tête du puits pétrolier. Quant à la sensibilité des caissons à l'assaut des vagues, cela dépend de leur taille. On peut imaginer des structures aussi grandes que des icebergs, avec une partie importante immergée. La houle n'a jamais fait bouger un iceberg.

Imaginons qu'on peuple des kilomètres, voire des dizaines ou des centaines de kilomètres carrés de ces immenses unités. Il reste la vulnérabilité des miroirs solaires aux vents. À la première tempête, tout cela sera balayé.

À moins d'utiliser des miroirs de Fresnel. Vous en avez certainement déjà vu dans les supermarchés par exemple. Ils permettent aux caissières d'inspecter le contenu du caddy. Ils se trouvent aussi sur les vitres arrière de certains vans pour mieux juger de la distance d'obstacles, en marche arrière. Sur cette même



En haut, schéma de principe de profil du miroir inventé en 1822 par le Français Augustin Fresnel. En dessous, son application sur une toiture d'habitation.



base on peut concevoir des miroirs de Fresnel. Plans, ils se comportent, selon leur conception, comme des miroirs sphériques ou des miroirs cylindriques.

On pourrait configurer la pente d'une toiture, disposée au sud, en miroir de Fresnel, faisant converger l'énergie solaire sur un tube noir, situé au foyer. Une cinématique simple ferait que ce foyer se déplacerait dans la journée pour suivre le mouvement du Soleil. Il suffirait de deux bras articulés et de deux vis sans fin. Il serait opportun d'opter pour la disposition ci-après qui se prêterait mieux au nettoyage à l'aide d'un jet d'eau et du déplacement d'une brosse, comme les essuie-glaces.

Au lieu d'enlaidir les jardins avec des panneaux solaires, il serait plus efficace de concevoir des parements de toiture transformant par simple collage un versant de toit plat en miroir de Fresnel susceptible de capter, pour une maison modeste, des dizaines de kilowatts thermiques. Cette focalisation aurait l'avantage de produire de l'eau à plus forte température, voire de la

Ce projet n'est qu'un parmi d'autres, dont par exemple l'exploitation de l'énergie géothermique, l'éolien à très grande échelle, l'énergie des marées, des vagues, la fabrication de pétrole par des bactéries à partir des rejets industriels de CO₂, etc.

vapeur sous pression. On trouve déjà dans le commerce des mini-turbines à vapeur qu'on peut coupler avec ce système de captation d'énergie solaire par miroir de Fresnel. C'est la version « modèle réduit » des immenses installations qu'on peut concevoir, positionnées sur des plates-formes offshore. Celles-ci seront équipées de systèmes identiques à ceux qui équipent les réacteurs « à eau bouillante ». Si ces dispositifs n'étaient pas déjà radioactifs, du fait de la circulation d'une vapeur servant également à transporter les calories depuis le cœur d'un réacteur nucléaire, on pourrait les recycler. La source froide, c'est la mer. En immergeant le condenseur à une profondeur suffisante, on pourrait gagner en rendement en disposant d'une eau à 4 °C, correspondant à la densité maximale de l'eau de mer. Rien n'empêcherait, sur ces immenses étendues de captation off-shore d'énergies renouvelables, d'installer des éoliennes au-dessus et au-dessous des turbines captant l'énergie de courants.

Schéma d'une installation offshore de transformation d'énergie solaire en courant continu en 750 000 volts, acheminé par ligne sous-marine (puissance 5 000 MW).



Vingt jours après la catastrophe de Fukushima, Nicolas Sarkozy rencontre le Premier ministre Japonais Naoto Kan et affirme : « Pour limiter la production des gaz à effet de serre, il n'y a pas cent-cinquante solutions. Il y a le nucléaire. Il faut définir une norme de sécurité au niveau international ».

C'est faux. Le solaire version Fresnel n'entraîne aucun rejet de gaz à effet de serre et ne présente pas de danger particulier. Ce projet n'est qu'un parmi d'autres, dont par exemple l'exploitation de l'énergie géothermique, l'éolien à très grande échelle, l'énergie des marées, des vagues, la fabrication de pétrole par des bactéries à partir des rejets industriels de CO₂, etc.

Si une tempête d'une intensité exceptionnelle envoyait une installation dans le fond des océans, cela ferait le bonheur des poissons, c'est tout. Depuis longtemps on utilise l'énergie pour désaliniser l'eau de mer, à Dubaï entre autres. Ceci entraîne un accroissement local de la salinité qui serait sans incidence sur l'environnement si l'opération était menée assez loin des côtes. Par ailleurs, il serait opportun d'associer des fermes marines à ces installations. L'écosystème marin est plus actif près de la surface, jusqu'à quelques dizaines de mètres de profondeur, là où les algues peuvent capter l'énergie solaire.

Ces plates-formes offshore pourraient-elles aussi jouer le rôle de récifs coralliens, d'îles artificielles?

Tout à fait. Il y aurait prolifération d'algues nutritives, de coquillages, de poissons de roche, dont l'habitat serait favorisé.

Comment fait-on pour stocker de l'énergie? La nuit, le solaire ne fonctionne pas...

Il y a deux solutions. On peut stocker celle-ci à terre, si on dispose de reliefs en élevant de l'eau vers des lacs artificiels, énergie qu'on récupérera en laissant redescendre cette même eau dans la turbine d'un générateur.

Il est également possible d'utiliser l'énergie électrique pour stocker de l'air comprimé dans d'immenses cloches maintenues au fond par du lest. Tout cela relève d'une technologie du XIX^e siècle.

Pourtant, quand on comprime l'air, il s'échauffe fortement. Alors cette énergie-là, perdue?

Une idée récente a été mise en application¹⁴. Lors de la compression, on pulvérise de l'eau dans les cylindres qui absorbent la chaleur en passant à l'état de vapeur. Au cours de la détente, la condensation restitue cette énergie.

On se croirait revenu au temps de Jules Verne, quand à la fin du XIX^e siècle, on construisait la tour Eiffel, ou des bateaux de trois cents mètres de long.

Il nous faut avoir le même état d'esprit : viser grand !

Peut-on chiffrer de tels projets?

Oui, si l'on accorde quel prix à la vie humaine et si l'on se soucie du cadre de vie qu'on léguera aux générations à venir. J'aurais tendance à vous dire que l'ordre de grandeur de projets de ce genre serait le même que celui du coût de l'opération Overlord.

C'était en temps de guerre...

Mais nous sommes en guerre... contre le nucléaire ! ●

Notes

1. La fission nucléaire est le phénomène par lequel le noyau d'un atome lourd (noyau qui contient beaucoup de nucléons, tels les noyaux d'uranium et de plutonium) est divisé en plusieurs nucléides plus légers, généralement deux nucléides. Cette réaction nucléaire se traduit aussi par l'émission de neutrons et un dégagement d'énergie très important (≈ 200 MeV, à comparer aux énergies des réactions chimiques qui sont de l'ordre de l'eV).
2. [http://fr.wikipedia.org/wiki/Réaction_en_chaîne_\(nucléaire\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Réaction_en_chaîne_(nucléaire))
3. http://fr.wikipedia.org/wiki/Catastrophe_de_Tchernobyl#Conception_et_construction_du_r.C3.A9acteur
4. http://fr.wikipedia.org/wiki/Empoisonnement_au_xe_%C3%A9non et sur <http://cequevousdevezsavoir.wordpress.com/2011/03/19/la-bataille-de-tchernobyl/>
5. http://rme.ac-rouen.fr/dechets_nucleaires.htm
6. http://www.jp-petit.org/Israel_Palestine/Helene_Thomas/Helene_Thomas.htm
7. http://www.jp-petit.org/science/Z-machine/papier_Haines/papier_Haines.htm
8. <http://www.ufo-science.com/wpf/>
9. Dont j'avais suggéré le principe sur mon site, dès 2006.
10. Voir le numéro de mars 2011 de NEXUS.
11. <http://www.desertec.org/>
12. http://fr.wikipedia.org/wiki/IFA_2000
13. http://fr.wikipedia.org/wiki/Ligne_%C3%A0_haute_tension
14. <http://www.rtf.fr/stocker-energie-grace-lair-comprime/article>