

Parlons futur avec la fusion nucléaire

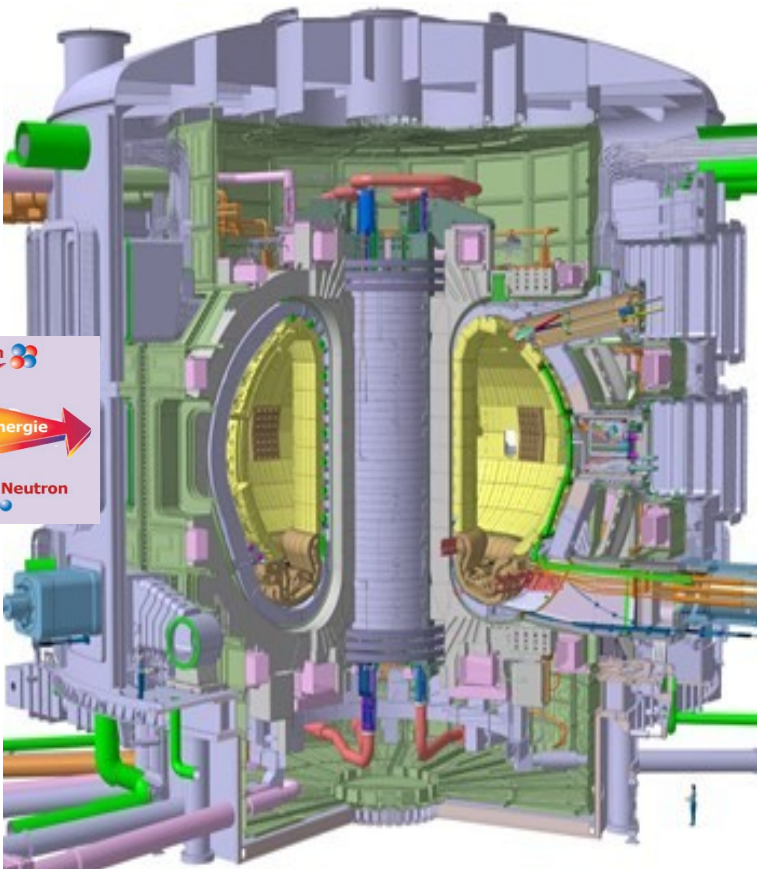
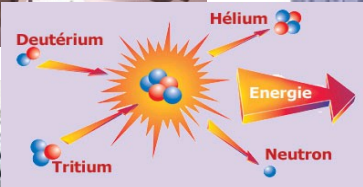
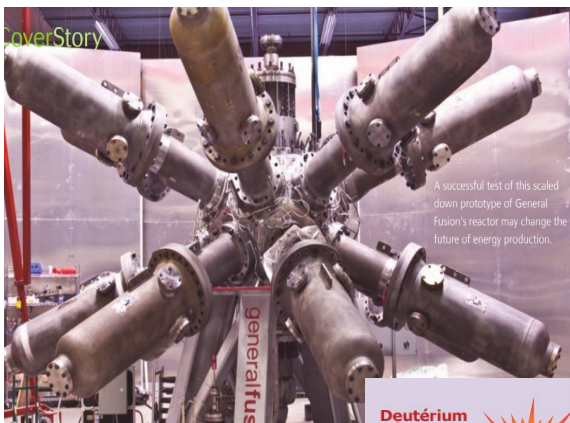


Table des matières

I – FUSION

La fusion nucléaire : un tournant dans l'histoire de l'humanité

Fusion thermonucléaire : plaidoyer pour un programme de R&D à marche forcée

États-Unis : poussée institutionnelle en faveur d'un programme Apollo sur la fusion

La fusion nucléaire, expression de la cognition humaine

II- FISSION

« Sortir du nucléaire » : un faux débat !

Parlons nucléaire du futur

Thorium et neutrons rapides : donnons un coup d'accélérateur au nucléaire du futur

La révolution silencieuse des centrales nucléaires flottantes

III- ESPACE

Exploration spatiale : l'optimisme d'un univers infini

Discours prononcé par Rudolph Bierent, doctorant à l'ONERA, à la [conférence de l'Institut Schiller des 25 et 26 février 2012 à Berlin.](#)

I – FUSION

La fusion nucléaire : un tournant dans l'histoire de l'humanité

Fusion thermonucléaire : plaidoyer pour un programme de R&D à marche forcée

États-Unis : poussée institutionnelle en faveur d'un programme Apollo sur la fusion

La fusion nucléaire, expression de la cognition humaine

La fusion nucléaire : un tournant dans l'histoire de l'humanité

Par la rédaction de [21st Century Science & Technology](#), avec Benoit Chalifoux et Yves Paumier du [groupe espace de Solidarité&Progrès](#).

Nous avons atteint le point où non seulement l'homme a la capacité de maîtriser les processus à l'œuvre au cœur du Soleil, mais où cela devient également une nécessité.

La conquête de la fusion est la prochaine étape dans l'évolution de l'humanité, dans la continuité des transitions passées entre l'usage du bois et du charbon, puis des hydrocarbures, suivis de la fission nucléaire. Avec la fusion, l'approvisionnement énergétique de l'économie devient pour la première fois relativement illimité, puisque le combustible contenu dans un litre d'eau de mer fournit autant d'énergie que 2 barils de pétrole. Mais il ne s'agit pas que d'une question de quantité.

En augmentant ce que l'économiste américain Lyndon LaRouche a défini comme la densité du flux d'énergie, nous acquérons la maîtrise d'un débit d'énergie plus élevé et surtout mieux organisé – autrement dit de meilleure qualité – par unité de surface, que ce soit dans l'usage des outils qui nous entourent, dans l'infrastructure ou les méthodes de production. (1)

Dans notre quête pour développer des méthodes de production de flux d'énergie toujours plus denses, chaque étape a servi de point d'appui pour passer au stade supérieur ; à condition toutefois de ne pas trop tarder en chemin. C'est en effet comme si la nature avait disséminé un peu partout dans la biosphère des petits fagots de bois d'allumage, devant nous servir à créer les conditions pour passer au stade supérieur. Il en va de même pour de nombreuses matières premières, comme le fer par exemple, qui ont été laissées sous forme de dépôts concentrés par le long travail des bactéries, comme si la nature avait soigneusement préparé ici aussi notre arrivée.

Avec la fusion, nous nous apprêtons à franchir un pas extraordinaire, à entrer dans une ère où le combustible disponible ainsi que les matières premières, ne seront plus limitées. Ceci n'a rien d'étonnant, puisque nous nous préparons à prendre le contrôle de processus qui sont à l'origine même de la naissance des étoiles ! Celles-ci naissent en effet, grâce à la fusion, au sein de nuages de gaz composés en grande partie d'hydrogène, qui forment l'essentiel de notre galaxie (du moins si nous excluons la mystérieuse matière noire).

Toutefois, nous avons déjà pris beaucoup de retard et avec la crise frappant les États-Unis et l'Europe, ainsi que les conséquences de l'explosion future de la bulle spéculative des énergies renouvelables et des gaz de schiste, nous risquons de compromettre à jamais nos efforts et nos chances de réussir la transition vers la fusion.

C'est pourquoi nous devons dès maintenant canaliser nos capacités créatrices et nos ressources physiques dans un effort de coopération mondial, afin d'accomplir rapidement les percées requises. Seul un programme à marche forcée comparable au Projet Manhattan ou au programme Apollo, mais cette fois à l'échelle internationale, nous permettra d'y arriver.

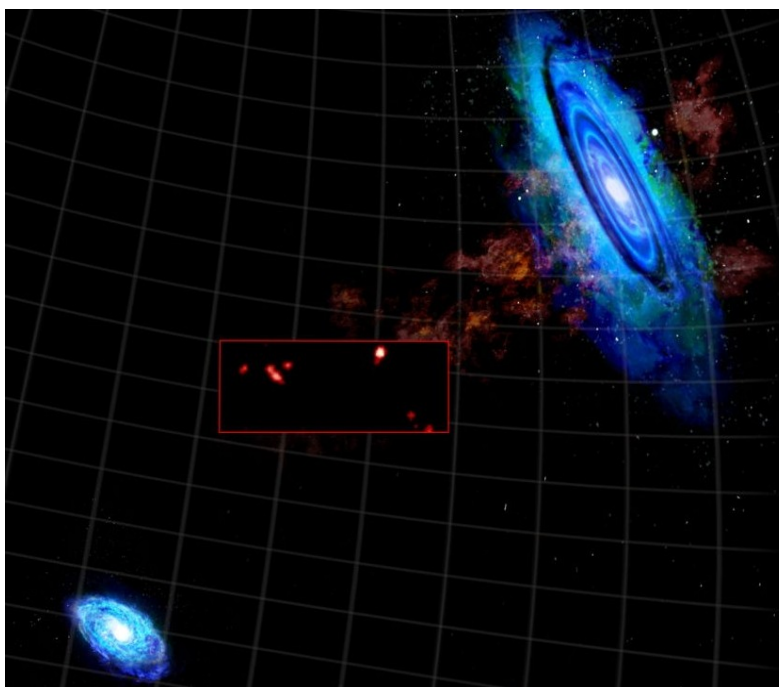


Figure 1.

Les nuages constitués d'hydrogène forment l'essentiel de la matière interstellaire. Ici, d'immenses nuages d'hydrogène neutre intergalactiques découverts pour la première fois en mai 2013 entre la galaxie d'Andromède et les galaxies du Triangle. (Credit : Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF)

Un effort coordonné à l'échelle internationale

Les lents progrès effectués dans la recherche sur la fusion au cours des dernières décennies ne sont pas dus à des problèmes scientifiques à proprement parler, mais à des problèmes politiques. La montée en puissance de l'idéologie malthusienne, du néolibéralisme (avec la mentalité de la rentabilité à court terme qui lui est associée), des politiques d'austérité (combinant malthusianisme et néolibéralisme) et la multiplication des guerres impériales, ont engendré des coupes massives dans la recherche consacrée à la fusion. Ainsi, aux États-Unis par exemple, le Congrès avait voté en 1980 une loi appelant à un programme de recherche ambitieux dans la fusion par confinement magnétique (le « Magnetic Fusion Energy Engineering Act » du député McCormack), visant à construire un prototype de réacteur Tokamak pour l'an 2000. Les fonds n'ont jamais été alloués, comme le montre le graphique de la figure 2.

Fusion par confinement magnétique (financement de la recherche)

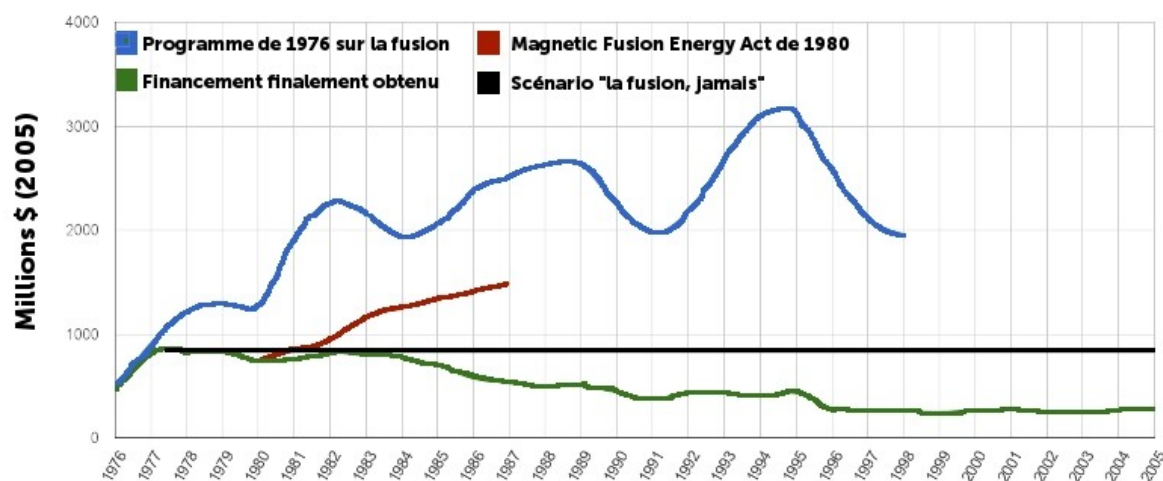


Figure 2. La courbe verte représente le niveau de financement réellement consenti par le Congrès américain. En 1980, ce dernier avait voté la loi Magnetic Fusion Engineering Act qui stipulait qu'il faudrait doubler le financement de la recherche sur la fusion à l'horizon 1990. La Loi affirmait également qu'un réacteur de démonstration (semblable à ITER) serait la prochaine étape pour les années 1990, et qu'en 2000 on aurait un prototype. Elle a été votée, puis signée par le président des États-Unis. Les financements devaient augmenter (courbe rouge), mais la situation a dégénéré vers un autre scénario, identifié au cours des années 1970 sous le nom de « fusion, jamais » (ligne horizontale noire). Il s'agissait du niveau de financement en-dessous duquel la fusion ne pourrait jamais être développée, même en maintenant des équipes de recherche en activité.

Le défi est ainsi plus politique que scientifique. La décision de faire passer l'humanité à l'économie de la fusion doit enfin être prise, une bonne fois pour toute, avant qu'il ne soit trop tard. Sinon l'économie mondiale risque fort de sombrer dans un processus de décadence irréversible.

Les scientifiques qui ont travaillé sur la fusion partout dans le monde et qui sont aujourd'hui à la retraite doivent être rappelés pour aider à l'élaboration d'une stratégie de recherche globale, couvrant toutes les options technologiques, en particulier celles qui ont été abandonnées pour des raisons budgétaires ou politiques. Ils aideront également à identifier celles qui pourraient bénéficier des nouvelles avancées dans le traitement des données, l'ingénierie et le contrôle des systèmes complexes hérités de l'ère spatiale.

Une fois libérés des considérations comptables et en mettant au premier plan celles qui sont liées à la science, à la technique et à l'ingénierie, un ambitieux programme de recherche et de développement pourra être lancé, combinant les capacités et les ressources des États-Unis, de la Russie, de la Chine, du Japon, de la Corée du Sud, du Canada, ainsi que celles des pays européens et autres pays à l'œuvre dans ce domaine. Des institutions comme l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) pourront également être mises à contribution.

Un effort de recherche et de développement prioritaire permettra également d'accroître les ressources pour les programmes déjà en cours, comme le projet ITER actuellement en construction à Cadarache dans le sud de la France. Celui-ci a subi d'importants délais en raison des coupes budgétaires et des vicissitudes politiques. Ainsi, tous les programmes nationaux et internationaux existants seront accélérés, et combinés à de nouveaux programmes dans un effort unifié pour arriver à des résultats probants d'ici une ou deux décennies.

S'il est vrai que la fusion ouvrira la voie à un monde où l'électricité sera disponible en quantité illimitée, d'autres domaines cruciaux de l'activité économique seront eux aussi bouleversés. Ce sera notamment le cas du traitement des matières premières et des déchets, de l'aménagement du territoire et des grands projets d'infrastructure, ainsi que des transports dans l'espace. Nous allons examiner ici ces domaines un à un, en commençant par la production d'électricité.

Électricité et magnétohydrodynamique

Les immenses quantités d'énergie libérées avec la production de noyaux d'hélium-4 et de neutrons (la fusion de première génération, voir encadré sur les réactions de fusion) permettront de générer d'immenses quantités de vapeur, qui pourra ensuite être convertie en électricité grâce à des turbines. L'abondance de deutérium dans l'eau de mer (et de tritium pouvant être fabriqué à partir du lithium, lui aussi abondant dans la croûte terrestre) nous affranchira de l'incessante inquiétude concernant la disponibilité du combustible par rapport aux besoins grandissants de l'humanité.

Les réactions de fusion

Lorsque deux atomes légers fusionnent (figure 3), un atome plus lourd est créé avec, souvent, la libération d'un neutron ou d'un proton. La masse combinée des produits de la réaction est plus faible que celle des atomes de départ. Cette différence de masse est transformée, selon la célèbre équation d'Einstein $E = mc^2$, en une importante énergie cinétique, dont hériteront les produits de la réaction.

En plus de la réaction deutérium-tritium, que l'on pourrait appeler « fusion de première génération » en raison de sa plus grande accessibilité, il existe d'autres types de réactions de fusion, dont presque toutes ont en commun d'utiliser des atomes légers très abondants dans la nature.

A masse de combustible égale, la fusion produit 3 à 4 fois plus d'énergie que la fission (que l'on pourra encore doubler à l'aide de la MHD au moment de la conversion en électricité), et surtout, donne naissance à des produits très peu radioactifs, sauf pour de faibles quantités d'isotopes instables que le flux de neutrons relâchés par la réaction peut dans certains cas générer.

Avec cent millions de degrés comme point de départ, la réaction deutérium-tritium ($2D-3T$) est la plus accessible. Le deutérium, isotope de l'hydrogène, peut être trouvé naturellement et en abondance dans les océans alors que le tritium, autre isotope de l'hydrogène, doit être produit artificiellement à partir du lithium : il disparaît rapidement en raison de sa courte demi-vie.

Ci-dessous (figure 4), les réactions de fusion les plus intéressantes du point de vue économique : elles sont relativement aisées à déclencher et les éléments utilisés sont disponibles en abondance.

He est l'hélium et B le bore, deux éléments faciles à trouver dans la nature. L'exposant en haut à gauche de chaque élément indique le nombre total de protons et neutrons présents dans le noyau de chaque atome. « t » est la température à partir de laquelle la réaction peut être déclenchée. Il est manifeste que la réaction $2D + 3T$ est la plus facile à déclencher. Elle comporte toutefois un grand inconvénient une partie de l'énergie cinétique relâchée est transportée par des neutrons ; ceux-ci peuvent déclencher des réactions secondaires et sont surtout difficiles à canaliser, car dépourvus de charge électrique.

Quant à la réaction $2D + 2D$, elle est plus difficile à analyser car elle donne lieu à deux branches de produits (voir la réaction n°2 à droite) qui pourront réagir à nouveau entre eux. La troisième réaction, deutérium-hélium3, amènera de nombreux bienfaits grâce aux protons qui sont générés, beaucoup plus faciles, en raison de leur charge positive, à canaliser que les neutrons de la première réaction. La quatrième réaction, mariant un proton seul avec un atome de bore, est très intéressante car elle ne produit que de l'hélium ; par contre c'est celle qui exige la température d'ignition la plus élevée.

1) ${}^2D + {}^3T$	$\rightarrow {}^4He + n$	$t = 116$ millions de degrés
2) ${}^2D + {}^2D$	$\rightarrow {}^3T + p$ (50%) et $\rightarrow {}^3He + n$ (50%)	$t = 174$ millions de degrés
3) ${}^2D + {}^3He$	$\rightarrow {}^4He + p$	$t = 673$ millions de degrés
4) $p + {}^{11}B$	$\rightarrow 3 {}^4He$	$t = 1,428$ milliard de degrés

Figure 4.

Soulignons toutefois que souvent, en science, une fois qu'on a atteint, grâce à une percée technologique, un ordre de grandeur donné, la même technologie permet de doubler voire même décupler une quantité désirée. Ainsi, passer de 100 millions à 600 millions de degrés ne devrait pas être à terme un grand problème.

La production d'électricité à partir de vapeur d'eau demeure malgré tout un processus primitif, le seul qui nous soit accessible avec les technologies actuelles. Seul un tiers de la chaleur transportée par la vapeur d'eau peut être converti en électricité, un pourcentage qui peut être amélioré si nous arrivons à produire, selon le célèbre principe de Carnot, de la vapeur encore plus chaude.

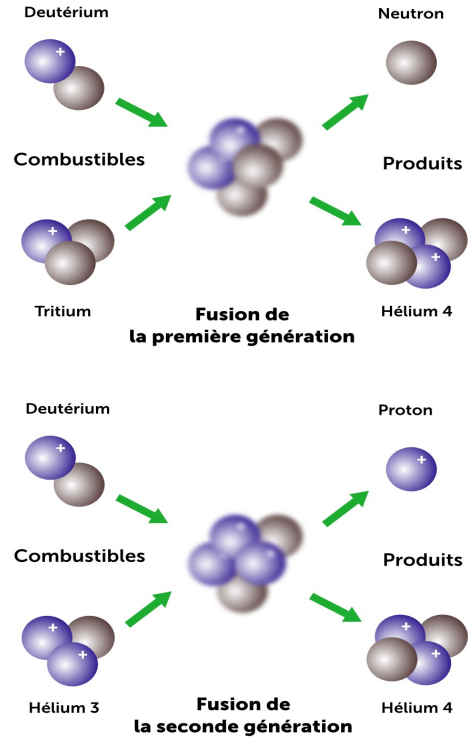


Figure 3.

L'arrivée de la fusion nous permettra d'ajouter de nouvelles possibilités à cette pratique deux fois centenaire qui consiste à convertir de la vapeur d'eau en énergie motrice ou en électricité. Ainsi, la vapeur ne régnera plus toute seule, car une nouvelle méthode nous permettra de convertir directement l'énergie obtenue et de doubler la quantité d'électricité produite par unité de masse de combustible.

Cette nouvelle méthode est la magnétohydrodynamique (MHD), dont le principe de base consiste à faire passer des plasmas à haute température par un champ magnétique. Celui-ci crée un courant électrique à l'intérieur du plasma, qui est ensuite extrait par des électrodes situées tout au long de son parcours. L'absence de toute partie mécanique (car c'est le plasma qui se déplace) permet d'éliminer les intermédiaires et par conséquent les pertes.

Avec la MHD, et en y ajoutant des turbines pour récupérer et convertir la chaleur résiduelle, nous pourrions atteindre un taux d'efficacité de 80 %, comme le montrent des travaux effectués à la fin des années 1970 par des chercheurs du Laboratoire national d'Argonne aux Etats-Unis.

Un programme de recherche prioritaire mondial permettra de raviver ces travaux et de les adapter non seulement aux nouveaux réacteurs, mais également à ceux fonctionnant avec la fission. Dans le cas de la fusion toutefois, et en particulier celle de « deuxième génération » (deutérium/hélium-3) produisant des protons électriquement chargés plutôt que des neutrons, il sera plus facile de tirer tout le potentiel de la MHD.

Le traitement des matières premières et des déchets

Avec la fusion, nous serons en mesure de créer et de maintenir des plasmas à des températures de dizaines ou même des centaines de millions de degrés. (A titre d'exemple, la température au cœur du Soleil est de 15 millions de degrés « seulement », de 5700 degrés à sa surface et de 5 millions de degrés au sein de la couronne.)

A ces températures, il n'y a pas de substance connue qui tienne le choc ! Tous les minéraux, les roches et les matériaux à recycler peuvent être facilement décomposés en leurs éléments constitutifs, ceux du tableau périodique. Cela n'a rien à voir avec les plasmas de basse température (torches à acétylène, à arc électrique ou à induction) qui n'ont ni les propriétés ni la puissance de ceux engendrés par la fusion, et qui sont utilisés pour le traitement des surfaces (voir encadré).

Ainsi, pour la transformation des matériaux et des matières premières, la torche à plasma de fusion pourra décomposer, et ce à grande échelle, plusieurs matériaux en leurs éléments constitutifs. Non seulement un kilomètre cube de matière première pourra-t-il nous donner plusieurs fois la production annuelle des grands pays exportateurs de fer, de cuivre, d'aluminium et autres éléments, mais les « déchets » industriels ou ménagers, chimiques ou nucléaires, pourront être également transformés en ressources utiles.

Au-delà d'une simple séparation/concentration des éléments contenus dans les matières premières ou les déchets, une économie reposant sur la fusion permettra de créer des matériaux entièrement nouveaux, dotés de propriétés physiques inédites. On pourra même transmuter un élément du tableau périodique en un autre, ou en l'un de ses isotopes. Par exemple, les lasers petawatts se sont déjà montrés capables de transformer l'or en platine, et les possibilités de la transmutation dans le futur seront encore plus grandes.

Même si le développement de toutes ces possibilités demandera au moins une génération, leur réalisation dépendra de notre volonté à se mettre au travail dès aujourd'hui...

La torche à plasma de fusion : la redécouverte du feu

La torche à plasma actuelle

La torche à plasma actuelle est utilisée pour diverses actions de surface sur un objet : soit pour le recouvrir d'une peau dure ou réfractaire, un peu comme un vernis ; soit pour le recharger en matière après qu'il ait été ébréché, un peu comme un plombage dentaire.

Le principe consiste à insérer dans un jet de gaz à très haute température une poudre du matériau désiré, avant de le projeter sur la pièce. Il faut faire fondre très rapidement cette poudre pour quelle soit bien ramollie avant de s'écraser sur le support, qui se refroidira ensuite instantanément sans le chauffer, afin qu'il ne se dégrade pas. Il faut, pour fondre la poudre, une température de plus de 1000 degrés !

Nous aurons recours pour ce faire à trois types de torches : le chalumeau à acétylène (dont le dard atteint des températures de l'ordre de 3000 degrés) ; la torche à arc électrique (d'une température de 7000 degrés ou plus) ; et la torche électrique par induction (atteignant une température encore plus élevée).

La torche à arc électrique (voir figure 5) utilise deux électrodes pour générer dans un arc un fort courant capable d'ioniser et de chauffer le gaz. La torche par induction va profiter du fait qu'un jet de gaz ionisé est conducteur, pour y induire en son sein un courant. Ce mode est plus propre du fait de l'absence d'électrodes, mais plus compliqué à mettre en œuvre.

La caractéristique générale des torches à plasma actuelles est de travailler avec des températures inférieures à 10 000 °C, de faire fondre le matériau d'apport sans en changer la nature, et de ne pas altérer la pièce traitée qui restera à température normale, ou peu s'en faut.

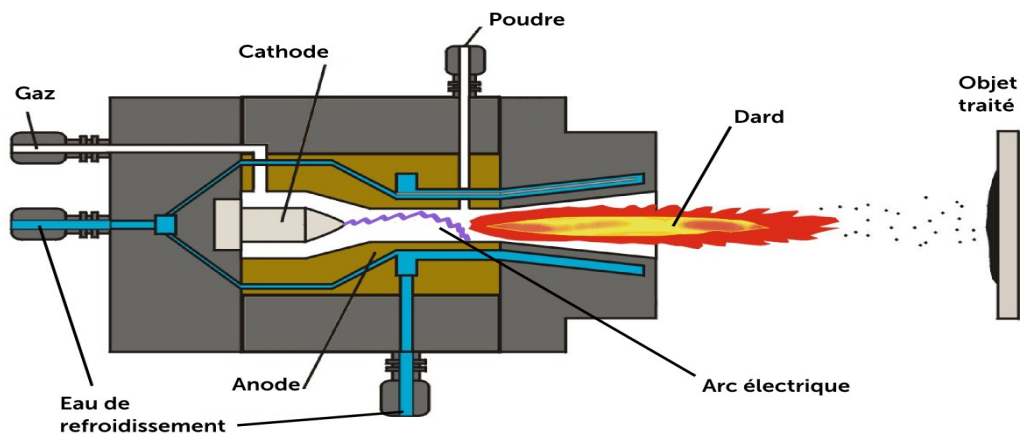


Figure 5. La torche à plasma à arc électrique. Schéma d'une torche à arc électrique, avec en haut à gauche l'entrée du gaz, qui passera ensuite dans l'arc électrique où il sera ionisé puis chauffé, et auquel on incorporera la poudre du matériau sélectionné avant pour former un jet à haute température, qui sera finalement projeté sur l'objet à traiter. Tous les types de torches actuellement disponibles produisent des flammes de moins de 10 000 degrés.

La torche à plasma de fusion

Avec la torche à plasma de fusion (figure 6), nous entrons dans un tout autre monde. Ne serait-ce que par la température du dard – on passe ici au-dessus du million de degrés – et du point de vue de la poudre injectée, il se passe quelque chose de radicalement différent : les composés chimiques (molécules) se désintègrent en leurs éléments atomiques de base, ceux de la table de Mendeleïev ! Tout produit injecté se trouve réduit à sa plus simple expression : on passe ainsi de milliards de composés chimiques à une grosse centaine d'éléments.

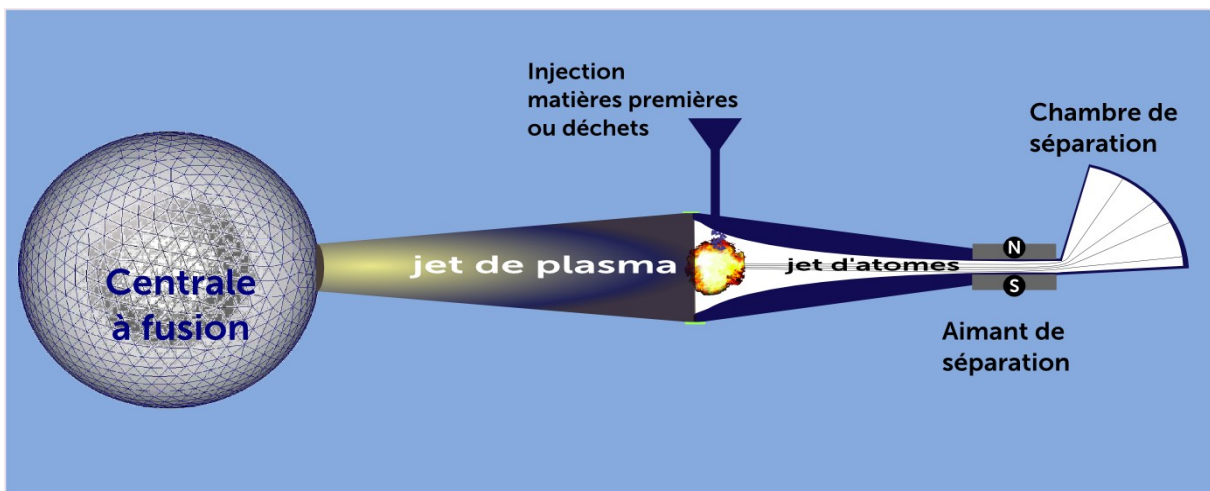


Figure 6. La torche à plasma de fusion. La torche à plasma de fusion utilise un procédé des plus simple : on injecte dans le jet de plasma issu du réacteur à fusion des morceaux du produit à décomposer, qui se sublimeront instantanément pour se mélanger au plasma. Et comme le jet est entièrement ionisé, il suffit de le faire passer quelques mètres plus loin entre deux longues plaques aimantées pour le diviser en ses composants élémentaires. Les atomes légers comme l'aluminium ou l'oxygène seront fortement déviés par le champ magnétique, et ceux plus lourds comme le plomb ou l'or le seront plus légèrement. Un tablier situé dans une chambre à vide et divisé en plusieurs cases récupère les atomes et fait tomber leur température jusqu'à l'état solide. Il ne reste plus qu'à les cueillir !

La première application évidente est le traitement des déchets urbains, industriels ou nucléaires. L'autre idée qui vient de suite est l'ajout d'une nouvelle dimension dans l'extraction minière. Là où les ressources sont épuisées selon les critères habituels, elles redeviennent exploitables : tout caillou, même le plus banal, pourra fournir des éléments de base de la chimie.

La pureté des matériaux produits est maximale et offre à la chimie industrielle des perspectives inenvisageables auparavant. Ce procédé est une réplique de la spectroscopie de masse, mais à bien plus grande échelle, et les quantités de matières traitées seront bien plus importantes que les simples traitements de surface effectués avec les torches actuelles.

Étant donné les flux de neutrons associés à la fusion de première génération, il faudra cependant attendre la fusion deutérium/hélium3 pour développer les torches à plasma de fusion.

L'aménagement du territoire et les grands projets d'infrastructure

Déjà, au début des travaux sur la fusion, des visionnaires comme le co-fondateur du Laboratoire Lawrence Livermore, le Dr Edwar Teller, pensaient que l'immense densité d'énergie fournie par les réactions de fusion pouvait être canalisée et utilisée pour le percement de canaux et de tunnels, l'aménagement de ports, l'exploitation de mines et autres activités demandant le déplacement de grandes quantités de terre. Aujourd'hui, avec ce type de technologies qui dégagent beaucoup moins de radioactivité que la fission, nous pourrions rapidement construire, à bien moindre coût, des projets hydrauliques de dimension continentale, (tels NAWAPA XXI en Amérique du nord et Transaqua en Afrique), ainsi qu'un deuxième canal à Panama ou un autre à travers l'isthme de Kra en Thaïlande, pour ne prendre que quelques exemples.

Les transports spatiaux

La maîtrise de la fusion nous permettra ainsi d'accroître massivement notre potentiel de densité démographique, ici même sur Terre. Cela ne signifie pas pour autant que nous renoncerons à aller dans l'espace, bien au contraire !

Avec la fusion nucléaire, nous ne serons plus obligés, dans nos voyages vers d'autres planètes (ou les astéroïdes et comètes), d'emprunter les traditionnelles orbites de Hohmann, ces « routes de l'espace » (voir figure 7) qui nous permettent de voyager certes à moindre frais mais qui nous imposent un temps fou pour nous rendre à destination. Avec la densité des radiations cosmiques interplanétaires (du moins selon les premières estimations que nous avons pu faire au cours du voyage de Curiosity vers Mars), il nous faudra faire appel à la fusion nucléaire.

Celui-ci est le mode de propulsion qui nous permettra, grâce à sa grande densité énergétique, de maintenir les moteurs en marche pendant une grande partie du parcours, et d'obtenir une accélération variable mais significative, et ce sans trop accroître la masse du carburant embarqué. Résultat : les temps de parcours pourront être réduits des deux tiers, des trois quarts ou même au-delà, facilitant grandement les voyages interplanétaires habités. Nous pourrions en plus multiplier les fenêtres de lancement et donc les aller-retours, sans devoir attendre les configurations favorables habituelles entre les planètes.

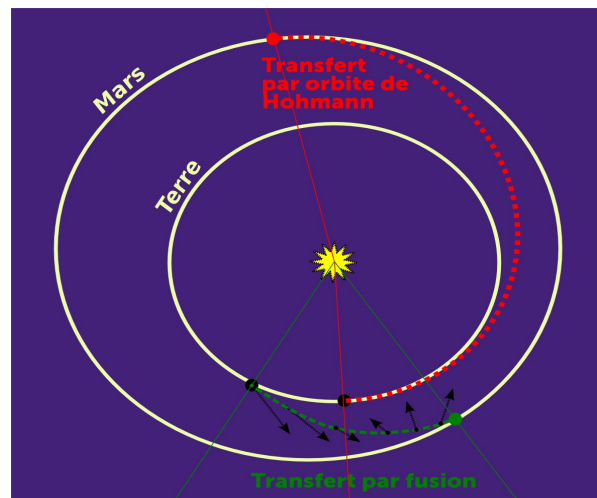


Figure 7. Comparaison en un transfert régulier par orbite de Hohmann entre les orbites la Terre et celle de Mars (en rouge) et un transfert en accélération continue grâce à la fusion (en vert).

Pour le cas où un astéroïde de masse importante viendrait à poser une menace pour la Terre (ou la Lune), la fusion nucléaire pourrait s'avérer le seul mode de propulsion nous permettant de rejoindre l'objet suffisamment à l'avance pour le dévier de sa trajectoire.

Nous avons vu dans l'encadré sur les réactions de fusion que les protons produits par la réaction de fusion de deuxième génération, celle fonctionnant au deutérium-hélium-3, sont chargés positivement. A l'aide d'un champ magnétique approprié, ceux-ci pourront aisément être extraits et canalisés afin de former, avec les noyaux d'hélium également issus de la réaction (plus l'ajout éventuel d'hydrogène liquide juste avant la sortie de la tuyère pour accroître les performances), un faisceau de particules dirigées et dotées d'une très grande énergie cinétique. En raison de la quasi-absence des neutrons produits par la première génération, un système de conversion thermique (toujours relativement lourd et inefficace) ne sera plus indispensable. Ceci diminuera d'autant le poids total de la fusée. Plusieurs projets de moteur de fusée à fusion nucléaire sont actuellement à l'étude.

La fusion deutérium-hélium-3 ouvrira également la voie à l'exploitation des vastes réserves d'hélium-3 présentes sur la Lune, dont une partie pourra être ramenée sur Terre. Grâce à la maîtrise ultérieure de la fusion de troisième génération, à partir de protons et d'atomes de bore, tous deux abondants sur Terre et n'exigeant aucune transformation préalable, l'humanité disposera alors d'une source d'énergie encore plus abondante pour les prochains siècles.

Conclusion

Le développement de plates-formes industrielles associées à l'économie de la fusion générera une vaste panoplie de technologies dans les domaines des lasers de haute puissance, des accélérateurs de particules, des générateurs de plasmas très chauds, des centres d'essai d'explosions dirigées et de propulseurs spatiaux, travaillant toutes en réseau et se complétant entre elles afin de transformer le système global de l'économie humaine en une force de dimension interplanétaire.

(1) Voir [notre enquête approfondie sur la densité du flux d'énergie](#).

La fusion nucléaire, expression de la cognition humaine

Cet article a été rédigé à partir d'une [émission avec Ben Deniston](#) sur le site [larouchepac.com](#).

Lors d'une conférence Internet le 21 septembre dernier, l'économiste américain Lyndon Larouche a souligné le fait que l'apparition de l'homme – en tant que processus cognitif – sur Terre, est révélée non pas par des signes d'ordre biologique, comme par exemple des caractéristiques morphologiques sur des restes d'ossements qui différencieraient l'humain du non-humain, mais plutôt par des signes d'ordre fonctionnel.

Parmi ces derniers, le signe le plus révélateur est l'usage du feu, qui a transformé de manière fondamentale la relation qu'entretient l'homme avec son environnement. C'est en effet le feu qui lui a permis de fabriquer des outils plus performants et de cuire ses aliments, deux fonctions qui ont considérablement amélioré sa qualité et son espérance de vie. C'est donc la trace de foyers éteints auprès d'ossements préhistoriques qui nous permet d'affirmer que ces ossements sont bien d'origine humaine.

Ainsi, ce qui définit l'homme, ce n'est pas sa nature biologique mais sa nature cognitive, et ce sont ces capacités cognitives qui lui permettent d'évoluer bien au-delà des limites inhérentes à chacune des autres espèces animales.

La maîtrise du feu par l'homme a également été la première étape, dans l'évolution de notre espèce et de nos sociétés, d'un processus caractérisé par l'utilisation de sources d'énergies de plus en plus denses. Nous sommes ainsi passés depuis la combustion du bois, par différentes étapes qui nous conduisent à la fusion thermonucléaire contrôlée – une percée, en fait, qui aurait déjà dû être accomplie depuis une vingtaine d'années.

Comme on le voit sur la figure 1 (les données sont fournies ici pour les Etats-Unis mais reflètent le même processus dans les autres pays), au cours de l'histoire des pays industrialisés, la densité du flux d'énergie (exprimée ici par la consommation par tête) a doublé trois fois en un peu plus de deux siècles (entre 1750 et le début des années 1970). L'on est ainsi passé – et à chaque fois avec une plus grande densité par gramme de matière première et une température de combustion plus élevée – du bois au charbon, puis aux produits pétroliers et enfin à la fission nucléaire. Dans

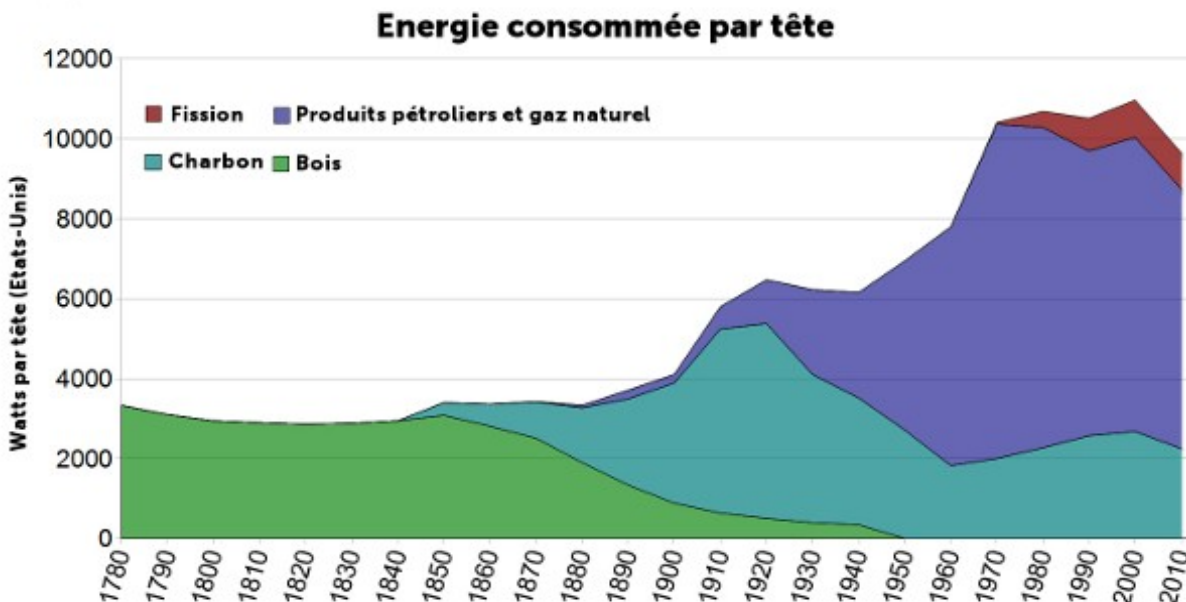


Figure 1.

On voit aussi sur la figure 1 que la fission n'a pas joué pleinement le rôle qui lui était dévolu. C'est ce qui est illustré par un aplatissement de la courbe : un processus d'effondrement généralisé s'est peu à peu installé dans les économies occidentales.

Le grand déficit énergétique

Le plus intéressant, toutefois, est de comparer cette courbe à celle que nous aurions obtenue si la fusion thermonucléaire avait été introduite comme principale source d'énergie – un processus qui aurait dû démarrer dans les années 1980 (voir figure 2). Il est clair que cet abîme entre les deux courbes, est la meilleure expression de l'effondrement économique que nous subissons à l'heure actuelle. D'où l'absence du plein emploi, ainsi que notre incapacité à soutenir les plus âgés et à assurer un avenir aux plus démunis.

Energie consommée par tête

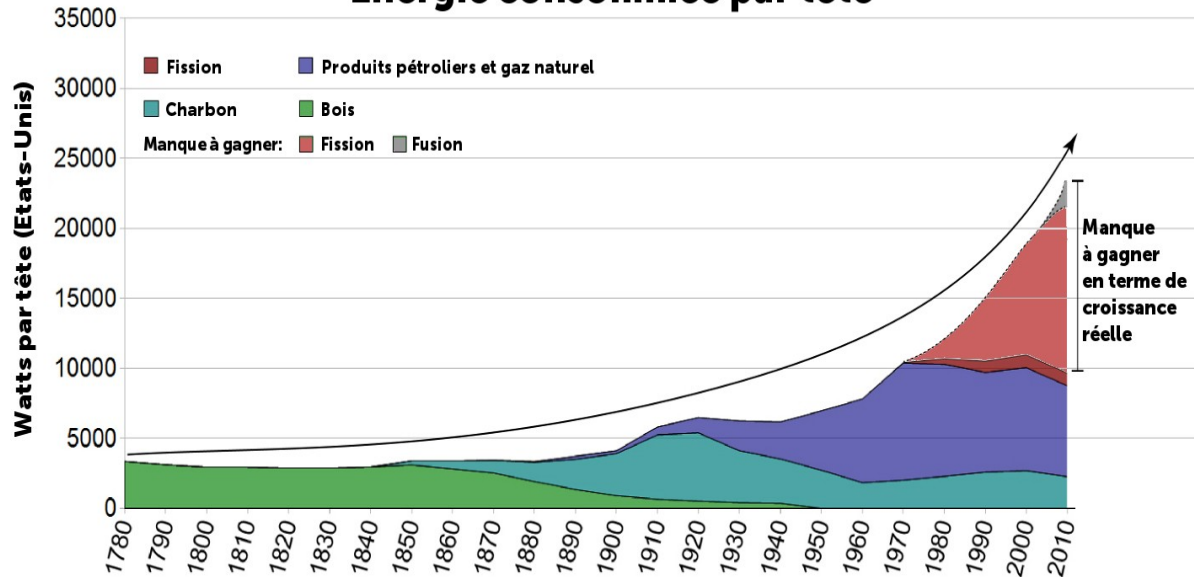


Figure 2.

Lorsque nous nous intéressons à la recherche sur la fusion, nous constatons que l'on nous parle constamment de percées à venir « d'ici 30 ans », alors que les années passent et que rien n'arrive. On nous dit régulièrement que les percées prévues n'ont pas pu être accomplies pour des raisons d'ordre technologique. En fait, il n'en est rien. En 1976, des développements significatifs ont eu lieu dans ce domaine, montrant que la fusion thermonucléaire contrôlée serait un jour une réalité. C'est à cette époque qu'on entreprit une étude systématique des conditions nécessaires au développement d'un réacteur de démonstration puis d'un prototype capable de produire de l'électricité à des fins commerciales. L'on définit dans le rapport publié à cette occasion, trois scénarios, en fonction du niveau de financement consenti, conduisant au développement d'un réacteur de démonstration soit pour 1990, soit pour 1998, soit pour 2004.

Le projet ITER, un réacteur par confinement magnétique actuellement en construction à Cadarache en France, a été conçu dans les années 1980 et aurait pu être opérationnel au cours des années 1990. Nous sommes en 2013 et sa réalisation s'achèvera dans les années 2020. L'origine de ce retard n'est pas d'ordre technologique mais bel et bien financier, ou plutôt politique, car ce sont les politiques qui décident des financements.

Fusion par confinement magnétique (financement de la recherche)

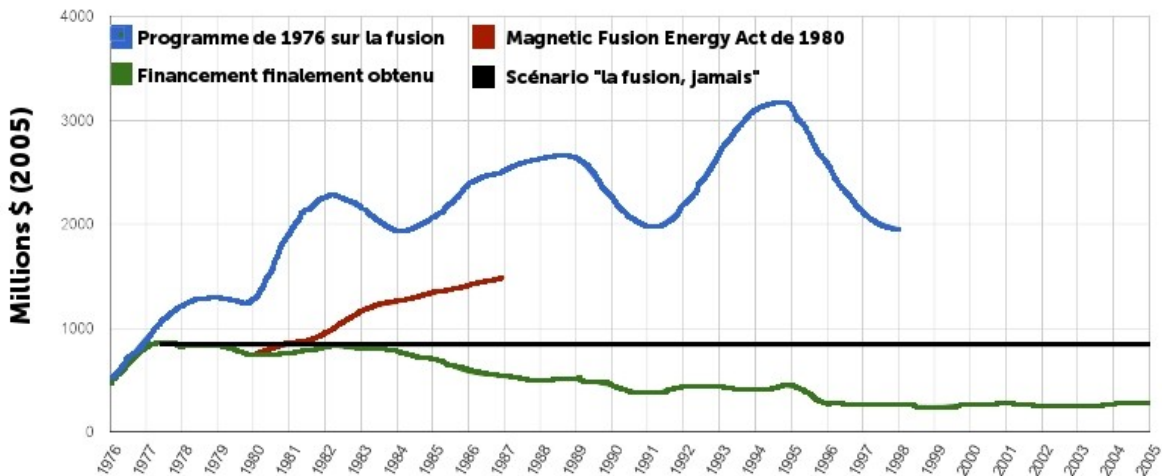


Figure 3.

Dans la figure 3, la partie en vert représente le niveau de financement effectivement consenti par le Congrès

américain. En 1980, ce dernier avait voté la loi Magnetic Fusion Engineering Act qui stipulait qu'il faudrait doubler le financement de la recherche sur la fusion à l'horizon 1980 (la partie en rouge dans le graphique). La Loi affirmait également qu'un réacteur de démonstration (semblable à ITER) serait la prochaine étape pour les années 1990, et qu'en 2000 on aurait un prototype. La loi a été votée, puis signée par le président des Etats-Unis. Les financements devaient augmenter (courbe rouge de la figure 3), mais la situation a dégénéré vers un autre scénario, identifié au cours des années 1970 sous le nom de « fusion, jamais » (ligne horizontale noire). Il s'agissait du niveau de financement en-dessous duquel la fusion ne pourrait jamais être développée, même en maintenant des équipes de recherche en activité.

Ainsi, « la fusion dans trente ans » est une fraude, car le niveau de financement des recherches est resté, au cours des trois dernières décennies, en dessous du seuil à partir duquel les percées nécessaires auraient pu être effectuées.

Pour obtenir ces percées, trois voies sont possibles : la fusion par confinement magnétique, à l'intérieur d'un tokamak, telle qu'illustrée par le programme ITER actuellement en construction, la fusion par confinement inertiel, faisant appel à des faisceaux laser pour comprimer de petites billes de combustible, et la machine Z qui utilise un générateur de rayons X. Il faut accroître le financement des trois voies et passer, dans le cas de la fusion par laser, de l'approche purement militaire décidée en 1995 par Jacques Chirac, à l'approche civile, certes plus difficile au départ car faisant appel à des cibles plus petites, plus difficiles à allumer mais plus faciles à contrôler. C'est le vœu exprimé par le « père de la fusion par laser » [Jean Robieux](#), le scientifique français qui a posé l'hypothèse à l'origine de cette deuxième voie, juste avant son [décès en 2012](#).

Il est urgent que nous mettions fin à l'aventurisme militaire qui a dominé la politique mondiale depuis la chute du mur de Berlin et que nous nous employions à garantir que la fusion thermonucléaire devienne rapidement une réalité. Seule la fusion permettra à l'espèce humaine de se montrer à la hauteur du potentiel qui s'est manifesté en elle la première fois, lorsqu'elle s'est rendue maîtresse du feu, il y a de cela deux millions d'années.

Fusion thermonucléaire : plaidoyer pour un programme de R&D à marche forcée

9 octobre 2013

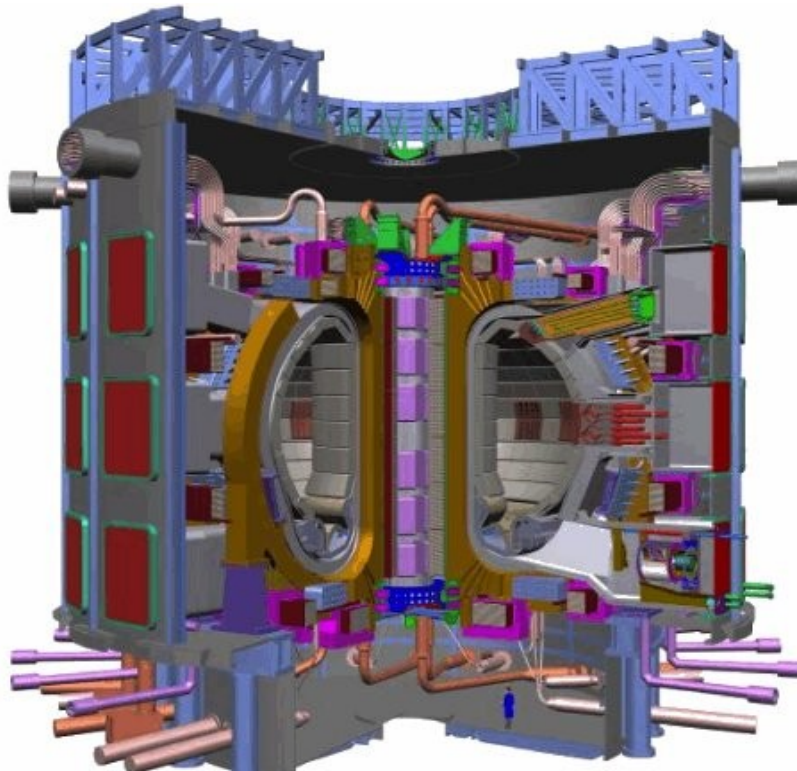
« L'heure est venue de faire un grand pas en avant dans notre relation avec la nature, en faisant du développement d'une économie fondée sur la fusion (la maîtrise de la puissance des étoiles) notre principal objectif économique physique à long terme. »

Cette citation est tirée de l'introduction d'un rapport spécial du magazine [21st Century Science & Technology](#), dans lequel l'équipe scientifique du Comité d'action politique de M. LaRouche présente la perspective du développement de la fusion comme source d'énergie potentiellement illimitée. De là, l'humanité pourra passer à une économie fondée sur une densité de flux d'énergie supérieure, fondée sur la fusion.

Pourquoi la fusion thermonucléaire ? Une réaction de fusion est environ quatre millions de fois plus énergétique qu'une réaction chimique, comme la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz. Alors qu'une centrale à charbon de 1000 MW consomme 2,7 millions de tonnes de charbon par an, une centrale à fusion ne nécessitera que 250 kilos de combustible, la moitié en deutérium et la moitié en tritium.

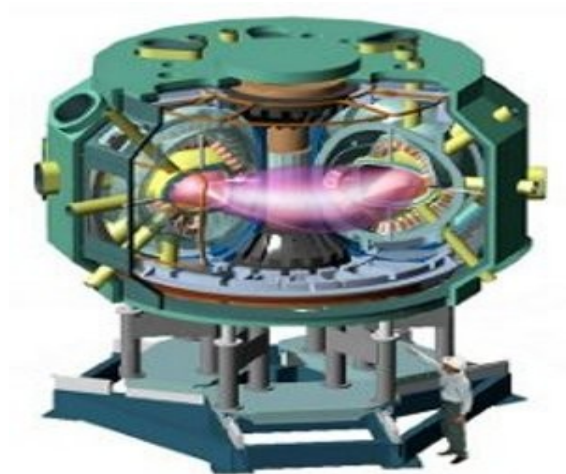
Le principal projet international pour maîtriser l'énergie de fusion est **ITER**, aujourd'hui en construction à Cadarache, en France. ITER est une machine à fusion du type Tokamak, dans laquelle le plasma, chauffé à 150 millions de degrés Celsius, est contenu dans un engin en forme de tore par des champs magnétiques extrêmement forts. C'est la suite du Joint European Torus, qui en tant que preuve du principe avait produit pour la première fois une pointe de 16 MW d'énergie, ce qui est encore en-dessous du point d'équilibre (breakeven).

ITER, qui devrait être opérationnel dès 2020, dépassera ce seuil pour démontrer la faisabilité d'un futur réacteur à fusion commercialisable. Un autre projet prometteur est la machine du Wendelstein 7-X, construite à Greifswald, en Allemagne, un « **Stellarator** » avec une forme quelque peu différente et plus compliquée que le Tokamak.



ITER

Il existe aussi une autre approche très différente, que l'on appelle le confinement inertiel. Elle utilise des lasers à haute énergie pour faire brûler une petite bille de combustible à fusion. En Europe, le **Laser Mégajoule**, toujours en cours de construction, devrait pouvoir projeter environ 1,8 MJ d'énergie de laser sur ses cibles, le rendant environ aussi énergétique que son homologue américain, le National Ignition Facility (NIF).



Stellarator



Laser Mégajoule

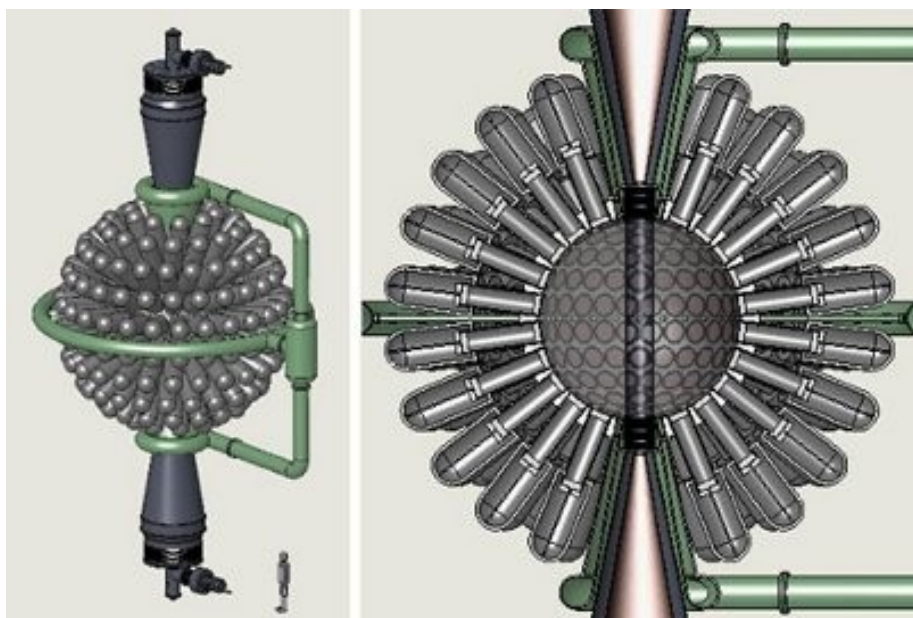
Toutefois, tant aux États-Unis qu'en Europe, la recherche sur la fusion est largement sous financée, en raison à la fois de réductions budgétaires générales au niveau de la recherche scientifique et du sabotage du progrès technologique pour des raisons « écologistes ». Le financement de la recherche sur la fusion est inférieur à toutes les projections, même inférieur au niveau de financement prévu à partir de 1978 pour les années suivantes, qui était pourtant déjà à l'époque reconnu comme trop faible.

Si le progrès sur l'énergie de fusion [a été si lent ces quatre dernières décennies](#), c'est dû aux décisions politiques, non pas aux impossibilités scientifiques. En 1980, par exemple, le Congrès américain avait adopté une loi (Magnetic Fusion Energy Engineering Act, de McCormack), prévoyant des investissements massifs dans la fusion et la construction d'un prototype de réacteur par confinement magnétique, dès l'an 2000. Cependant, les percées n'ont jamais été réalisées tout simplement parce que le programme n'a jamais été financé.

Ce qu'il faut aujourd'hui est un programme à marche forcée pour développer l'énergie de fusion. ITER doit devenir opérationnel bien plus vite que prévu actuellement, d'autres projets complémentaires doivent être lancés immédiatement et les recherches ailleurs doivent être soutenues, dont les travaux avancés en Chine avec l'Experimental Advanced Superconducting Tokamak (EAST), en Corée du sud avec le Superconducting Tokamak Reactor (K-STAR) et le projet conjoint russo-italien IGNITOR, entre autres.

Au Canada, la compagnie [General Fusion](#) est une approche hybride, appelée fusion à « cible magnétisée », qui se situe entre les deux méthodes conventionnelles, elle permet l'emploi d'un réacteur comparativement peu énergivore. Se basant sur le concept LINUS développé dans les années 1970 par l'U.S. Naval Research Laboratory, le réacteur de Gligue est par la suite pompé dans un cercle jusqu'à ce que la force centrifuge crée un vortex (tourbillon) en son centre.

À l'intérieur de ce vortex, les injecteurs à plasma propulsent au-dessus et au-dessous des « bouffées » de plasma entourées d'un champ magnétique. Comme pour des anneaux de fumée

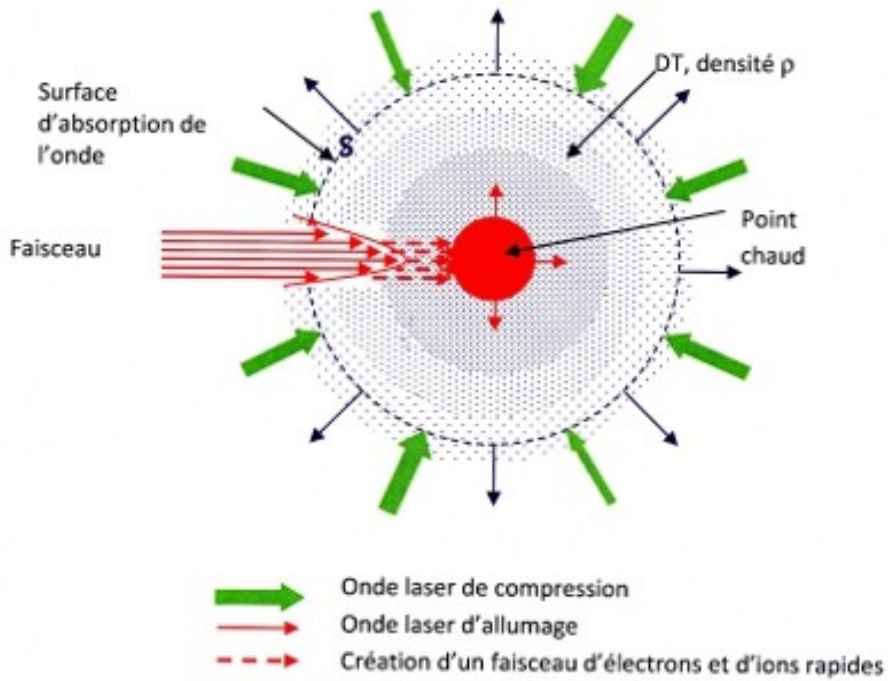


General Fusion

soufflés à l'intérieur d'un tube, ces « cibles magnétisées » se percutent au cœur du réacteur. Alors que les cibles se combinent, 200 pistons à vapeur frappent simultanément le compartiment sphérique, envoyant une onde de choc à travers le métal fondu. Cette onde fait s'effondrer le vortex et comprime le plasma, le réchauffant de façon adiabatique (comme pour les moteurs diesel), afin de produire un court éclair d'énergie de fusion.

Il faudrait également accélérer la recherche sur la **fusion par laser**, de concert avec une approche plus large comprenant des axes de recherche précédemment mis de côté, comme la machine FUSOR.

Benoit Chalifoux



La fusion par laser

États-Unis : poussée institutionnelle en faveur d'un programme Apollo sur la fusion

Benoit Chalifoux

11 octobre 2013 -L'[American Security Project \(ASP\)](#), un groupe de réflexion créé en 2006 pour s'opposer à la politique belliqueuse des États-Unis suite aux attentats du 11 septembre 2001, a publié en mars de cette année un rapport intitulé « *Fusion power : a 10 Year Plan to Energy Security* » (La fusion nucléaire, un plan de dix ans vers la sécurité énergétique), pour promouvoir l'adoption d'un programme à marche forcée dans la fusion nucléaire.

L'institution, dirigée par l'ancien sénateur démocrate Gary Hart, consultant dans le domaine de la sécurité nationale, appelle ainsi, à l'image du projet Apollo du président Kennedy pour mettre un homme sur la Lune en une seule décennie, à l'adoption d'un programme pour construire un réacteur de fusion nucléaire commercial d'ici 10 ans.

Hart et son collègue Norman Augustine, ancien PDG du géant aérospatial Lockheed Martin, ont publié le 2 avril 2013 un article dans le magazine Forbes (1) résumant le contenu du rapport de la manière suivante :

« L'*American Security Project*, un groupe de réflexion non partisan sur la sécurité nationale, au conseil duquel nous siégeons, a publié un nouveau rapport (...) détaillant comment les États-Unis peuvent accélérer le développement de la fusion. Le programme Apollo de la génération actuelle devrait être la recherche et le développement innovants dans la fusion. Il nous faut une volonté nationale pour développer l'énergie de fusion. Ceci impliquerait de consacrer **30 milliards de dollars pour les dix prochaines années** dans le but de démontrer la faisabilité de la fusion comme source d'énergie. Ceci ouvrira la voie à la production à des fins commerciales d'une énergie capable d'assurer la prospérité des États-Unis pour plusieurs siècles.

*Nous pouvons commencer dès maintenant. Si nous sommes sérieux à propos du développement de la fusion, le président doit nommer un **Commissaire à la fusion** disposant de l'autorité nécessaire pour coordonner et canaliser la recherche, le développement et la mise en service de la fusion comme source d'énergie, en introduisant en particulier de nouveaux domaines de recherche et de développement au sein de nos laboratoires nationaux. Nous savons que tout programme gouvernemental est composé d'entités se chevauchant et d'autorités budgétaires différentes. Un commissaire à la fusion pourrait éliminer les doublons et éviter les délais bureaucratiques. »*

Le rapport en tant que tel insiste sur le caractère impératif, pour la sécurité nationale des États-Unis, de la nécessité de démontrer la faisabilité de la fusion comme source d'énergie commerciale, afin de préparer la construction d'un réacteur à part entière pouvant relancer la prospérité du pays. La fusion nucléaire, rappelle le rapport, est une source d'énergie sûre, « qui ne dépend pas de l'entretien d'une réaction en chaîne » ; « pratiquement illimitée », le deutérium se trouvant en grandes quantités dans les océans et le tritium pouvant être fabriqué à partir du lithium lui aussi abondant ; et n'engendre que de l'hélium et des neutrons rapides comme sous-produits de la réaction, et par conséquent « aucun des déchets radioactifs de longue durée produits dans les réacteurs à fission conventionnels ».

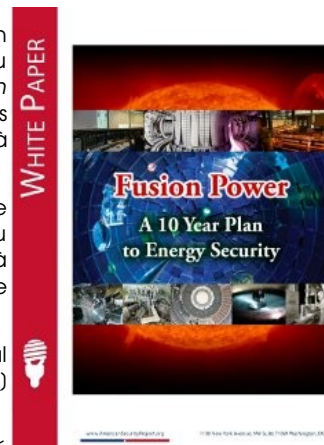
Le rapport décrit ensuite les progrès exponentiels accomplis au cours des années 1980 et 1990 dans la recherche en termes d'énergie produite, jusqu'à ce qu'ils soient bridés par les nombreuses coupes budgétaires. Cette progression était, au cours de cette période, plus rapide que celle de la capacité-mémoire des microprocesseurs informatiques.

Le rapport recense les principales voies de recherche et programmes en cours aux États-Unis et dans divers pays, soulignant le retard pris par les États-Unis dans le domaine du confinement magnétique. Plusieurs pays ont construit (la Chine et la Corée du Sud) ou sont en train de construire (Japon et [Allemagne](#)) des machines (tokamaks et stellarators) faisant appel à la supraconductivité, sans parler bien entendu d'[ITER](#), auquel participent les États-Unis, en voie de construction à Cadarache en France. Pour la fusion par confinement inertiel (fusion-laser), le pays dispose certes de l'installation la plus performante (la [National Ignition Facility](#) du Laboratoire national Lawrence Livermore), mais les coupes budgétaires des deux dernières années ont considérablement nui à la poursuite des travaux.

Des programmes faisant appel à des technologies hybrides (combinaisons de confinement magnétique et inertiel) sont actuellement en cours un peu partout dans le monde, tant dans les domaines privés que publics. Si le rapport ne cite ici que les programmes américains (dont la machine à striction axiale MagLIF du Laboratoire national de Sandia, également connue sous le nom de [Z-Machine](#)), il ne mentionne pas le projet en cours de la start-up canadienne [General Fusion](#), consistant à construire un prototype, d'ici une dizaine d'année, de réacteur à fusion à cible magnétisée acoustiquement assistée (Magnetic Fusion Target).

Quoi qu'il en soit, le rapport insiste sur le fait qu'il est trop tôt pour choisir quel type d'approche est la plus prometteuse, et qu'il faut par conséquent poursuivre « des voies multiples et parallèles » afin d'accroître les probabilités de succès.

(1) Intitulé « un Défi pour les États-Unis : développons la fusion d'ici une décennie » (Challenge to America : Develop Fusion Power Within the Decade).



II- FISSION

« Sortir du nucléaire » : un faux débat !

Éditorial de Gilles Gervais

Parlons nucléaire du futur

par Yves Paumier

Thorium et neutrons rapides : donnons un coup d'accélérateur au nucléaire du futur

Par Karel Vereycken

La révolution silencieuse des centrales nucléaires flottantes

Par Karel Vereycken

«Sortir du nucléaire» : un faux débat !

25 septembre 2012

Qu' il s'agisse de la mise en œuvre de la « **transition écologique** » (1) si cher au Président François Hollande et à la quasi-totalité des partis politiques en France, ou de la Chancelière Angela Merkel qui promet de donner suite à l'appel lancé en Allemagne pour la « **décarbonisation** » (2) complète de la production énergétique, ou simplement le « **sortir du nucléaire** » de la première ministre Pauline Marois alors qu'elle annonce la fermeture de la centrale nucléaire Gentilly II, tous ces politiciens, qu'ils en soient conscients ou non, se sont rendus complices, même indirectement, d'une oligarchie financière malthusienne qui a pris la décision d'accélérer, à la fois, la désindustrialisation des pays du secteur avancé et la dépeupulation et le génocide dans les pays sous-développés.



Lors de la fondation du **World Wildlife Fund** (3) en 1961, il s'agissait pour leurs altesses royales le **Prince Philip d'Édimbourg** et le **Prince Bernhard des Pays-Bas**, avec l'appui financier de l'élite anglo-saxonne du **1001 Club**, de réduire la population mondiale non plus sous le nom de l'eugénisme comme dans les années 30, mais avec le nouveau paradigme de société postindustrielle et avec une version moderne des mouvements *pour un retour à la nature*.

Aujourd'hui les dieux de l'Olympe financier, opérant depuis leurs antres au cœur de la City et à Wall Street, ne peuvent tolérer de nouveaux *Prométhéens porte-feu* comme les Marie Curie, Lise Meitner, Paul Langevin et Albert Einstein.



Albert Einstein et Marie Curie

En fait l'oligarchie tente d'empêcher par tous les moyens que le plus grand nombre s'enthousiasme à propos de cette merveilleuse épopée que représente la découverte et la maîtrise de l'atome et qu'en honorant la mémoire vivante de ces pionniers une jeunesse se lève pour prendre le relais et assurer le futur.

Des hordes contre la science au service de l'empire

À Birmingham en 1791, des émeutiers saccagent et mettent le feu à la bibliothèque et au laboratoire du savant et collaborateur de Benjamin Franklin, Joseph Priestley, au grand soulagement du roi George III humilié par les « idées de 1776 ». Un autre associé de Franklin, le grand chimiste Antoine Lavoisier est guillotiné le 8 mai 1794 sous la Terreur par les Jacobins influencés par les officines de Jeremy Bentham depuis l'Angleterre. En refusant d'accorder un délai d'exécution à Lavoisier afin qu'il puisse terminer une expérience scientifique, le magistrat du Tribunal s'exclame en prononçant la sentence : « *La République n'a pas besoin de Savants, ni de Chimistes ...* »

Les Luddites, les « briseurs de machines » du début du 19e siècle en Angleterre ont, à maintes reprises au cours du 20e siècle, servis de modèle pour la création de divers mouvements contre la science et la technologie financés par des fondations reliées à la City et à Wall Street. Aujourd'hui, si vous grattez sous le vernis des verts-écologistes radicaux vous retrouvez les chemises brunes des jeunes hitlériennes et leur « *mouvement de retour à la nature* ».

La notion d'énergie repose sur un concept scientifique, la **densité du flux d'énergie** (4). La source d'énergie qu'utilise une société ne doit en aucun cas reposer sur un choix personnel arbitraire ou même un « choix de société » dans le sens d'un consensus populaire, ou d'un vote majoritaire lors d'un référendum. Si telle est notre approche, nous nous dirigeons à coup sûr vers un suicide collectif : une réduction massive de la population à 1 ou 2 milliards d'êtres humains, ce que le **Prince Philip** (5) considère comme l'idéal d'un équilibre planétaire !



La densité du flux d'énergie

Quand est-il des investissements dans la recherche sur les énergies renouvelables et les subventions massives à la production de ces formes d'énergie ?

« *La réalité est que, du fait de la densité trop faible de flux de ces énergies à la source, leur capacité de produire est incomparablement moindre que celle du nucléaire et des hydrocarbures. Le fait que 1,86 grammes d'uranium suffisent*

pour produire la même quantité d'énergie que 23,5 tonnes de bois, 6,15 tonnes de charbon ou 30 barils de pétrole (soit 4760 litres), illustre ce principe de la plus grande densité.

« Difficile d'imaginer ce que serait l'équivalent en solaire ou en éoliennes, tellement elles sont moins denses. La densité du solaire se mesure au degré d'ensoleillement le jour par m². Dans nos contrées, elle se situe aux environs de 200 à 350 W/m², c'est-à-dire deux ampoules de 100 watts. Comparez cela aux 750 watts d'électricité qu'il faut pour accomplir le même travail (faire tourner un moteur ou autre appareil) que fournirait un cheval de labour !

« Il est donc clair que si transition écologique veut dire remplacer les énergies actuelles par des renouvelables (solaires, éoliennes, ...) ou par des énergies comme le gaz de schiste, la contraction du niveau de production d'énergie sera telle qu'elle aboutira à la mort de milliards d'individus et à un chaos innommable dans la société humaine. Il faut imaginer une chute comparable du niveau démographique actuel à celui du Moyen-âge ! » (6)

Tableau comparatif	
Combustible de départ	Energie libérée en giga joules par tonne
Vent (calculé pour une tonne d'air à 15°C)	0,000 000 000 019
Eau (moulin à eau, roue de 5,2 m de diamètre)	0,000 051
Eau (chute du barrage de Serre-Ponçon, hauteur 123m)	0,0012
Bois (séché à l'air)	15
Charbon	29,3
Pétrole	42
Uranium (dans un réacteur classique)	420 000
Uranium (dans un surgénérateur)	25 200 000
Deutérium-tritium	378 000 000
Rayonnement solaire	Impossible à calculer, le poids des photons étant nul

Note : La masse d'un mètre cube d'air à 15 °C est de 1,225 kg. Dans tous les cas, il s'agit de l'énergie théoriquement libérée sans compter les pertes dues à la récupération et à la conversion en d'autres formes d'énergie. Le terme « combustible » est employé ici au sens figuré.

Tableau comparatif	
Méthode de production d'énergie	Densité de puissance (W/cm ³)
Solaire	0,000 000 000 002 44
Eolien	0,000 002 32
Moulin à eau	0,04
Machine à vapeur	0,45
Turbine hydroélectrique	1,4
Moteur à combustion interne	11,9
Fission nucléaire (REP 900) pr. volumique du combustible	354
Fission nucléaire (SWR 1000) pr. volumique du cœur	3,55
Fusion nucléaire par laser pr. volumique du combustible	716 000 000 000
Fusion nucléaire par laser pr. volumique du cœur	0,7

Tableau comparatif	
Mode de production	Surface occupée en hectares par MW d'électricité
Centrale thermique de Vaires-sur-Marne	Fioul domestique 0,01
Centrale nucléaire (fission) de Cruas, en Ardèche	0,04
Centrale nucléaire (fusion par laser)	0,01
Parc d'éoliennes	5,53
Centrale solaire P510 près de Séville en Espagne	5,45
Réservoir et barrage hydroélectrique de Serre-Ponçon	7,42

Note :

Selon l'Ademe, il faut laisser un espace de 400 mètres entre deux éoliennes de 5 MW, sans compter les 126 mètres qu'occupe chacune, en tournant pour suivre la direction du vent. Le total du terrain occupé est donc un carré de 526 m de côté.

Pour la centrale nucléaire à fusion par laser, nous avons pris une surface 3 fois plus grande que le seul bâtiment occupé par le laser mégajoule (LMJ) en construction près de Bordeaux. Cet équipement devrait fournir la puissance nécessaire au maintien d'un processus continu et contrôlé de réactions de fusion.

Avec l'introduction d'un laser d'allumage (le concept actuel ne fait appel qu'aux lasers de compression) le volume total de verre nécessaire au fonctionnement des lasers pourra être diminué pour laisser place à l'appareillage permettant l'extraction de la chaleur et la production d'électricité.

La transmutation des déchets nucléaires

« Il ne se passe pas un seul jour sans voir « l'opinion publique » s'indigner du « scandale » des déchets nucléaires. Si l'on admet volontiers que l'énergie nucléaire civile possède quantité d'avantages, une bonne partie de la population mondiale reste convaincue que le « problème » des déchets hautement radioactifs est insoluble. Les solutions proposées jusqu'ici, notamment l'enfouissement des déchets, ne sont acceptables ni sur le plan technique (nombre de sites limité, stockage complexe, longue durée de vie, etc.), ni sur le plan moral (on lègue le problème aux générations futures).

« Pourtant, cette situation pourrait très vite changer si l'Europe, et la Belgique en particulier, décident de lancer le projet très prometteur du réacteur de recherche **Myrrha (Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications)**, conçu par le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK-CEN) de Mol, à une cinquantaine de kilomètres d'Anvers.

« Ce projet vise, entre autres, à démontrer la faisabilité technique, via la fission nucléaire, de la « transmutation » (terme emprunté aux alchimistes) des déchets radioactifs à longue durée de vie en déchets à durée de vie écourtée ou en atomes stables inoffensifs, voire en ressources nouvelles. « Myrrha est un projet qui dépasse les frontières de la Belgique. Il intéresse toute la communauté scientifique nucléaire nationale et internationale », affirme Bertrand Barré, ancien directeur de la communication scientifique d'Areva.

« Rappelons que les découvertes de l'isotope et de la transmutation datent du début du XXe siècle. Les noyaux des atomes d'un même élément de la table de Mendeleïev peuvent avoir le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons. On dit alors qu'ils sont des isotopes de l'élément en question. Il s'agit d'atomes identiques du point de vue de la chimie, mais différents du point de vue nucléaire. Par exemple, les carbone-12, carbone-13 et carbone-14 sont trois isotopes du carbone. Le 12 représente les six protons et six neutrons du noyau, le 13 représente six protons et sept neutrons et le 14 correspond à six protons et huit neutrons. Les six protons définissent ces trois entités comme étant des isotopes de carbone, et c'est leur nombre de neutrons qui les différencie.

« A la même époque on découvre que l'émission d'un rayonnement à partir de l'uranium s'accompagne de l'apparition de nouveaux éléments chimiques, notamment du thorium qui a sa place propre dans le tableau de Mendeleïev. Dans ce cas là on parle de transmutation.

« Avec le réacteur Myrrha, une première catégorie de déchets, importante, pourra être traitée : les actinides (terres rares) plutonium, neptunium, américium et curium. Si ces éléments sont irradiés par la réaction de fission, ils disparaissent et une palette de nouveaux produits de fission radioactifs à durée de vie plus courte (3 à 7 ans) apparaît. Cette transformation change entièrement la donne en ce qui concerne le stockage des déchets, car tant leur volume que la durée de leur toxicité sont totalement altérés.

« Mieux encore : en bombardant, par exemple avec des neutrons, deux radio-isotopes, le technétium 99 et l'iode 129, dont la demi-vie est respectivement de 200000 et de 16 millions d'années, le premier se transmute en technétium 100, dont la demi-vie n'est que de quelques secondes, et le second en gaz rare : le xénon, stable et très demandé ! Tel le roi Midas capable de transformer le plomb en or, Myrrha pourrait transmuter des déchets hautement radioactifs en matières plus faciles à gérer, voire en ressources précieuses pour l'homme et son développement.

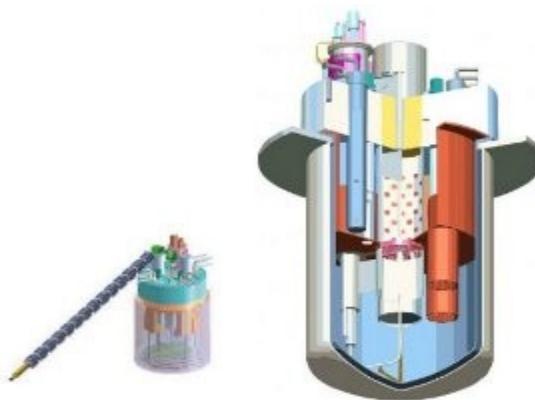
« ...Autre avantage immédiat : la production de radio-isotopes dont on manque cruellement aujourd'hui pour traiter certains cancers et qui ne peuvent être produits dans les systèmes actuels. Rappelons que suite au non remplacement d'un certain nombre de réacteurs de recherche nucléaires, nous sommes confrontés à une pénurie aiguë de radio-isotopes à usage médical, produits à 80%, non pas par dame nature, mais par les réacteurs de recherche !

« On peut donc se demander avec étonnement pourquoi les écologistes, par ailleurs si fanatiques à exiger le tri sélectif des déchets ménagers, ne militent pas en faveur du recyclage des déchets radioactifs et du projet Myrrha ! » (7)

Le contrecoup culturel

Nous laisserons nos lecteurs sur une note d'optimisme avec ce passage tiré du très beau texte *L'héritage d'Apollo*, (8) écrit en 1974 par Krafft Ehrlicke, ce grand humaniste et ardent défenseur de l'exploration spatiale décédé en 1984 :

« Il est ironique de constater que les photos de la Terre prises depuis une grande distance par les astronautes d'Apollo contribuèrent à ce changement. La vue de notre planète comme un joyau d'un bleu chatoyant sur le fond noir feutré de l'espace engendra non seulement une perspective plus éclairée et mieux informée de l'environnement terrestre, couplée à une préoccupation réfléchie concernant notre environnement et le parcours de l'humanité, mais cela fit également apparaître dans plusieurs esprits le spectre moins bien éclairé et néo-ptolémaïque d'un monde fermé au centre d'un néant apparemment hostile, entouré de mondes sans vie et inutiles.



« Ceci constitua un choc en soi. La nature humaine est le produit de ce qui apparût autrefois comme un environnement infini et indestructible. Pendant des milliers de siècles l'homme parcourait une terre sans fin. Les vents illimités, les mers rugissantes, les horizons toujours plus distants, les étoiles dans un ciel sans limite ont fait naître l'infinité dans la nature humaine et doté son esprit d'une volonté indomptable de se réaliser pleinement, de rêver, d'atteindre, de gagner et de laisser une marque sur le monde infini.

« La crise émotionnelle de notre temps découle dans une large mesure du fait que la Terre a cessé d'être ce type de monde. Notre planète est devenue petite, non seulement d'un point de vue astronomique mais également socio-économique et écologique, semblant paralyser l'homme dans une impasse avec ses rêves infinis. A ceux qui ne peuvent voir qu'une fin à la croissance, l'humanité se voit enfermée dans une minuscule réserve cosmique exigeant la soumission à ses contraintes, au moment même où elle semblait pouvoir y exercer un contrôle sans précédent. Pour un esprit pessimiste, désillusionné – et ne voyant qu'à court terme – le concept de « vaisseau Terre » formulé par Adlai Stevenson est devenu le point de fixation émotionnel de la résignation de non-croissance accompagnant la nouvelle vision tournée vers l'intérieur et le rejet du programme spatial comme un « gaspillage de moyens ».

« La cause sous-jacente générale de ces développements est que nous nous trouvons à un point critique dans l'interaction continue de la vie avec l'environnement. Le nouveau système de la vie humaine et le système vivant de la biosphère plus ancien ont commencé à se confronter à travers les demandes croissantes de l'homme en terme de nourriture, d'espace vital, d'énergie, de matières premières et de gestion des déchets. Ce développement récent a été le centre de l'attention et des accusations en termes des effets négatifs sur la société et l'environnement de la productivité industrielle. Dans son sillage, elle a suscité l'appréhension à l'égard du progrès technologique. Mais une prise de position antagoniste de l'environnementalisme à l'égard de l'industrie est contre-productive. L'humanité ne peut de toute évidence exister sans productivité industrielle, ni sans la biosphère ; et la biosphère ne pourrait subsister si l'humanité n'allégeait pas la charge de ses activités par le progrès technologique. Une humanité qui ne progresse pas dans sa maîtrise de la technologie et la qualité de sa productivité industrielle devient un fardeau insoutenable pour la biosphère. Une technologie et une industrie déclinantes, ou même stagnantes, ne sont pas une solution viable ni pour l'humanité ni pour la biosphère. »



Gilles Gervais (*)

(* l'auteur remercie Karel Vereycken pour les citations tirées de son excellent article *Le Projet Myrrha : L'avenir de l'humanité passe par la transmutation des déchets nucléaires.*)

Notes :

1- Christine Bierre : Notre révolution technologique contre leur transition écologique.
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=2232

2- Helga Zepp-LaRouche : Gleichschaltung* anti-nucléaire ? NON, merci !
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=532

3-WWF : La télévision publique allemande dénonce l'écologie oligarchique.
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=721

4-Benoit Chalifoux : Enquête sur la densité de flux d'énergie.
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=511

5-Karel Vereycken : Le Prince Philip, le WWF et la conspiration Bénédictine
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=386

6- Christine Bierre :
http://www.committeerepubliccanada.ca/spip.php?page=article1&id_article=2232

7-Karel Vereycken : Le projet *Myrrha* : L'avenir de l'humanité passe par la transmutation des déchets nucléaires.
<http://www.solidariteetprogres.org/Le-projet-MYRRHA-l-avenir-de-l-humanite-passe-par-la-transmutation-des-05909>

8-Krafft Ehricke : *L'héritage d'Apollo*, discours prononcé en 1974, traduit par Benoit Chalifoux.
<http://www.solidariteetprogres.org/Krafft-Ehricke-Il-n-y-a-pas-de-limite-a-la-creativite-humaine-08748#T3>

Parlons nucléaire du futur

Dans le secteur avancé, le réveil du nucléaire prend la forme de la commande par la Finlande de l'EPR, suivie de la France. Nous reviendrons sur ce réacteur, mais apprécions tout d'abord l'expérience de la Finlande qui a les réacteurs les plus performants au monde, ceci grâce à une combinaison historique astucieuse de réacteurs rustiques issus de l'ère soviétique, dotés néanmoins d'équipements et de procédures de contrôle d'origine occidentale. Ceci devrait être un paradoxe intéressant pour les technocrates français qui ne voient, comme approche, que la série des paliers standards.

EPR : le programme franco-allemand

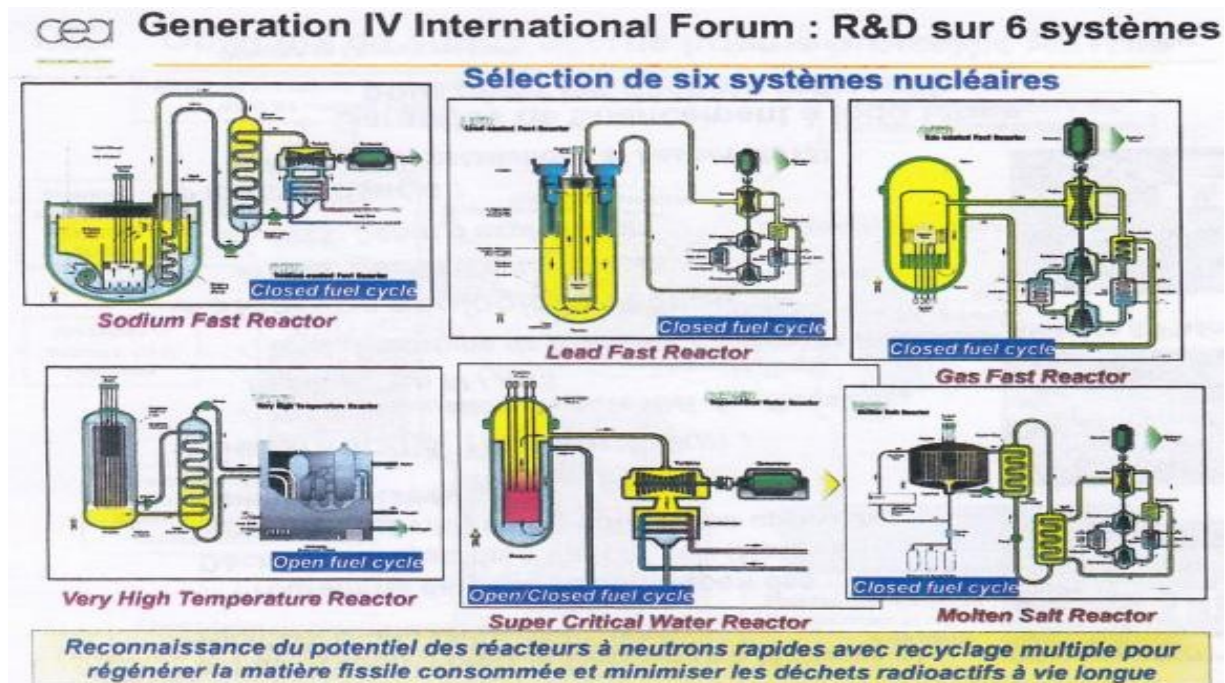
Comme la 141R est LE modèle de la machine à vapeur, dans la perfection homogène de sa réalisation, l'EPR sera probablement LA référence de ce début de siècle. Il s'agit d'un réacteur classique à eau pressurisée, technologie que la France domine, de taille et de puissance d'un « cran » au-dessus des modèles précédents : 1600 MW(e), contre 1,250 MW(e) actuel. Il aura quatre circuits au lieu de trois pour l'évacuation de la chaleur produite, 60 ans de vie (40 ans), un rendement amélioré de 37 % (34 %) et une sobriété gagnée en amont et en aval. Le combustible sera plus enrichi (5 % au lieu de 3,5 %) ; ceci apporte des avantages multiples lors de la combustion, puisqu'une tonne de combustible fournira 70 GWj/t contre 50 auparavant. Pour reprendre l'image de M. Lung (1), c'est comme nos voitures qui consomment 5 litres au 100 km alors qu'elles absorbaient 30 litres pour la même performance dans les années 70 : ce n'est pourtant dû qu'à l'amélioration continue du moteur de M. Diesel. La sécurité de l'installation a encore été affinée et l'entretien préventif a été réduit, pour une électricité 10 % moins chère. Bref, le must à ce jour.

La concurrence n'est d'ailleurs pas en reste, avec l'ABWR, réalisé conjointement par des japonais et des américains, qui est déjà en exploitation au Japon, l'APWR de Westinghouse, le CE 80+ de Combustion Engineering et le BWR 90+ d'ABB Atomic.

Mais comme le dit Areva, le constructeur de l'EPR, c'est une évolution, pas une révolution.

La quatrième génération

La prospective actuelle dans la technologie des réacteurs nucléaires prend la forme policée et encadrée d'un programme dit de quatrième génération, nommé Gen 4. Il s'agit d'un lieu de réflexion global, plus que d'un programme en tant que tel. Areva y sera présent, mais travaillera aussi en dehors de Gen 4 ; et la quatrième génération ne sera pas contenue toute entière dans Gen 4. Les participants sont en général les ministères de l'énergie, sauf pour la France, où c'est le CEA qui la représente.



Ce programme rassemble les USA, le Japon, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la France, la Corée du Sud, l'Afrique du Sud, la Suisse, le Royaume-Uni et l'Europe. Les USA cherchant à chapeauter le tout, les Russes s'en sont exclus, et les français sont restés mais avec précaution. Quand aux Indiens, dépourvus d'uranium, ils continuent leurs avancées dans la surgénération du thorium, initiée avec les réacteurs canadiens Candu à eau lourde. Les Russes ont fait pour leur part en novembre 2002 une contre-proposition, nommée INPRO, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel.

L'accord Gen 4 s'est fait sur un nombre restreint d'options, de manière à pouvoir les étudier en profondeur. Il y en a six :

1. les réacteurs à haute température
2. les réacteurs à gaz
3. les réacteurs à sels fondus
4. les réacteurs à eau supercritique
5. les réacteurs au sodium caloporteur
6. les réacteurs au plomb caloporteur

Trois de ces réacteurs seront des surgénérateurs (options 3, 5 et 6), et éventuellement un quatrième (option 4). Trois opèrent à basse pression (options 3, 5 et 6). Un seul utilise encore de l'eau (4), et l'hélium sert à évacuer la chaleur pour deux d'entre eux (1 et 2). Si d'autres voies sont susceptibles d'apparaître, cela nous donne tout de même une bonne idée des orientations en cours.

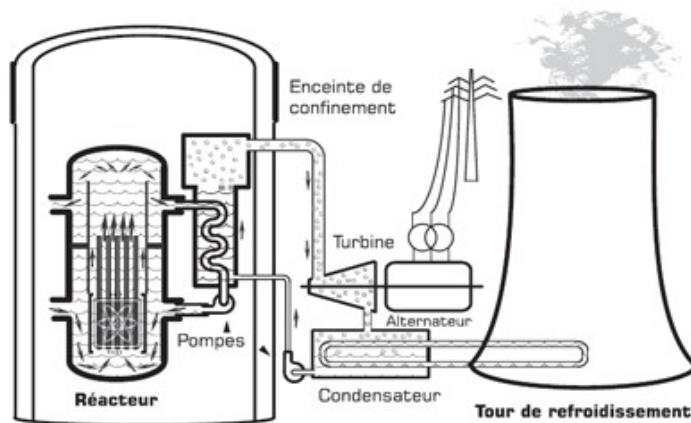
Les États et les entreprises doivent se répartir la recherche : la France planchera sur les projets à haute température, mais comme tous les participants, elle suivra de près et participera peu ou prou aux autres options. Les autres « chefs de file » devront être le Japon pour le réacteur rapide refroidi au sodium, les USA pour le réacteur rapide à gaz refroidi à l'hélium, le Canada pour le réacteur à eau supercritique, la Suisse est sollicitée pour le réacteur rapide refroidi au plomb-bismuth, et le réacteur à sels fondus est sans parrain pour l'instant. Rien de plus précis n'est aujourd'hui connu sur la répartition des efforts prévus de chacun depuis la dernière réunion de février 2005. Mais qu'y a-t-il derrière ces options ?

Anatomie des options à l'étude

Les réacteurs à haute température

Distinguons ici deux types : les très hautes températures vers 1000°C et plus, et les hautes températures, vers 850°C. Soulignons que les réacteurs actuels fonctionnent à environ 350°C, comparés aux centrales thermiques qui fonctionnent à 600 ou 700°C.

Dès ce dernier niveau, beaucoup de réactions chimiques sont envisageables et la chimie nous en fournit toujours de nouvelles. Les très hautes températures visent quant à elles le cracking de l'eau en hydrogène. Cela signifie qu'on envisage sérieusement, pour la chimie et les transports, de remplacer à terme le pétrole par ce gaz prometteur. Cela présage aussi d'un stockage de l'électricité sous forme de pile à combustible. Bref un redémarrage de la chimie industrielle innovante, si toutefois il existe encore des étudiants pour se lancer dans ces domaines difficiles. La France en est aux études de faisabilité du premier type, et d'autres pays sont sur le coup, comme l'Allemagne, le Japon, la Chine et les USA.

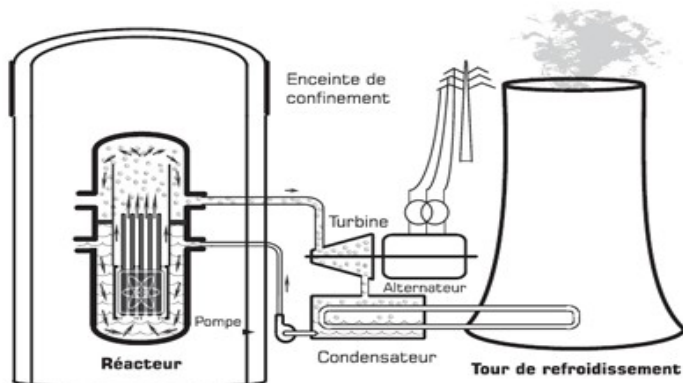


PWR. Réacteur à eau pressurisée

Les réacteurs à gaz

Les réacteurs à gaz autorisent une simplification drastique de la centrale de production d'électricité. Rappelons que le nucléaire actuel produit, dans une grosse cocotte minute, une eau sous pression très chaude (circuit primaire), qui réchauffe l'eau d'un second circuit (secondaire) et la vaporise. Cette vapeur est turbinée et condensée par un circuit de refroidissement (tertiaire). Cette turbine entraîne un alternateur qui, lui, produit enfin de l'électricité. Bref, beaucoup d'intermédiaires techniques.

L'innovation consiste ici à supprimer le second circuit. Comment ? On remplace l'eau du circuit primaire par le gaz hélium. Le gaz carbonique peut aussi le faire, il est très bon marché, mais il est moins pratique. L'hélium entraîne directement une turbine et une génératrice de courant. Autre avantage : la turbine tourne plus vite, et



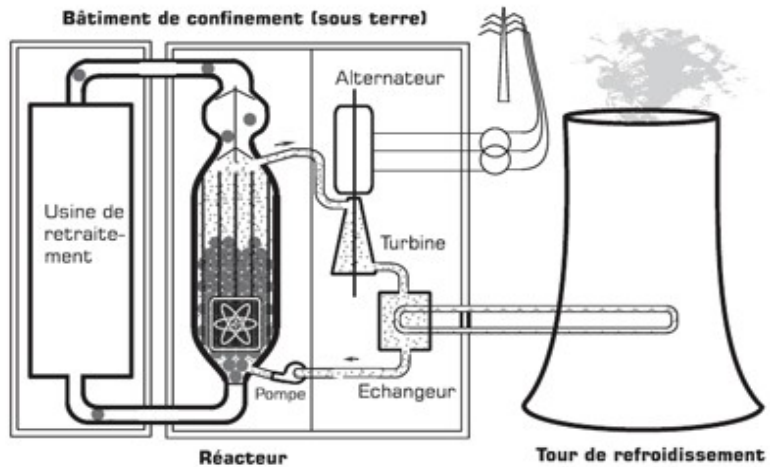
BWR. Réacteur à eau bouillante

l'alternateur est plus compact. Un alternateur compact peut être inséré dans l'îlot nucléaire et le tout enterré. En fin de compte, il y a miniaturisation de la centrale, et le démantèlement de fin de service s'en trouve grandement facilité. Dernier gros avantage, la radioactivité reste confinée dans le cœur, et ne pollue pas le circuit primaire, car l'hélium ne réagit pas avec les neutrons.

L'objectif à terme sera d'utiliser une innovation connue, les supraconducteurs à basse température (celle de l'air liquide), pour miniaturiser encore plus cette génératrice. Le circuit tertiaire restera, mais offrira une possibilité de cogénération plus réelle, car ce type de centrale plus petite fonctionnera en pool de plusieurs unités, et le sous-produit - eau chaude ou vapeur - sera toujours disponible. Tous les réacteurs à haute température sont des réacteurs à gaz.

Les réacteurs à lit de boulets

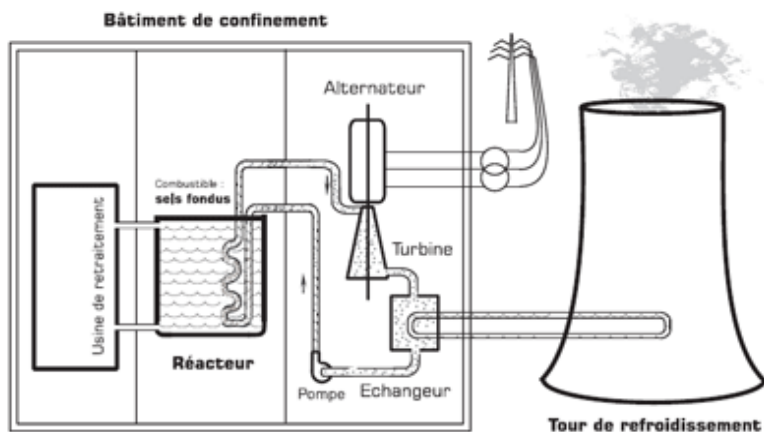
Ce sont des réacteurs à haute température avec un attrait particulier : le traitement continu. On charge des sphères de dix centimètres de diamètre par le haut du réacteur, et on en extrait autant en bas, pour les contrôler et éventuellement les remplacer. Ces boulets sont des coquilles de céramique pouvant soutenir de très hautes températures (carbure de silicium), entourant une matrice de carbone (qui joue un rôle de conducteur thermique et de modérateur nucléaire), qui emprisonne des grains de combustible. Ces grains d'un millimètre de diamètre sont constitués de coquilles de céramique entourant l'uranium. Les chinois se sont permis le luxe d'un essai réel de scénario catastrophe : toutes les sécurités d'un réacteur d'essai en fonctionnement furent neutralisées. Le résultat fut définitif : après une bouffée de chaleur, le réacteur est revenu à une température de deux degrés au-dessus de la norme de fonctionnement !



HTR. Réacteur à lit de boulets refroidi au gaz (hélium)

Les réacteurs à sels fondus

Le fluorure d'uranium est un sel qui fond avant 400°C, et un réacteur fonctionnant avec cet agent modérateur opère dans une fourchette de 700 à 800°C. Comme il s'agit d'un liquide, on peut extraire un mince filet de ces sels fondus pendant le fonctionnement du réacteur et les traiter pour en extraire les actinides secondaires, qui sont en quelque sorte, par leur trop grande propension à capturer les neutrons, un poison qui tue les réactions nucléaires en cours. On se contentait jusqu'à maintenant de changer régulièrement le combustible usagé pour le retraiter dans une usine spécialisée, où les restes purifiés de ces poisons sont mélangés avec du combustible neuf. Ici rien de tel, ce filet liquide va être directement traité en continu, « filtré » chimiquement en quelque sorte, et réinjecté dans le réacteur.



MSR. Réacteur à sels fondus refroidi au gaz (hélium)

L'avantage principal de ce type de réacteur réside dans sa sobriété en combustible et dans la diminution des réactions nucléaires secondaires parasites qui s'y produisent : le résultat est une quantité moindre de rejets et de produits militairement récupérables. Enfin la sécurité intrinsèque est comparable à celle obtenue avec les réacteurs à boulets.

Les réacteurs à eau supercritique

L'eau supercritique est utilisée pour ses qualités physiques, et non chimiques. Vers 530°C et sous très forte pression (25 MPa ou 255 kg/cm²) l'eau n'est dans un état ni liquide, ni gazeux, mais dans quelque chose qui est nommé supercritique. Dans cette phase, elle a une densité proche du liquide, permettant au tuyau sortant du réacteur de garder une taille proche de celle des réacteurs à eau liquide comme le PWR ou le REP classique français. Mais juste avant d'arriver à la turbine, elle peut changer de phase et fournir une vapeur sèche fort intéressante. Il existe de telles centrales conventionnelles produisant de l'eau supercritique. Il n'y a donc dans ce type de réacteur qu'une boucle entre le coeur et la turbine (comme dans les réacteurs à eau bouillante actuels BWR), et le gain de rendement se fait sur cet aspect. On vise les fortes puissances et les grosses centrales.

Les réacteurs au sodium caloporteur

Le sodium est un métal qui s'enflamme au contact de l'eau. Or il y a justement de l'eau dans le circuit tertiaire ! On insère donc actuellement par précaution un second circuit au sodium, entre le coeur du réacteur et le circuit du générateur. Mais malgré cette complication, le sodium a des qualités qui intéressent énormément les ingénieurs chargés d'organiser les flux de neutrons dans un réacteur. Beaucoup de praticiens veulent revenir au sodium, car il s'accommode de très fortes puissances, tout en restant à l'état liquide.

Les réacteurs pressurisés ne peuvent être beaucoup plus gros qu'ils ne le sont à présent, car tout accident de dépressurisation deviendrait fort problématique. Ils s'apparentent à la cocotte minute.

A contrario, la cuve qui contient le liquide (ici, le sodium, comme le plomb ou les sels fondus dans d'autres cas) n'a pas à supporter de fortes pressions et la conception du coeur est donc plus simple. La sécurité tient aussi au fait que ce liquide permet une dilatation homogène de toute la partie nucléaire, dilatation suffisante pour étouffer (rendre sous-critique) la réaction en cas d'accident. Le sodium, métal à l'état liquide entre 98°C et 880°C, possède à ce niveau de température une stabilité qui s'accommode bien des autres métaux qui constituent les assemblages de combustibles (oxyde ou métal) d'uranium et de plutonium.

Les réacteurs au plomb caloporteur

Le plomb a l'attrait d'une inflammabilité bien moindre que le sodium, même s'il est moins coopératif que ce dernier dans le coeur en fonctionnement. De cet inconvénient émerge un avantage en cas de catastrophe : le plomb sera un bon cercueil pour un coeur mort brutalement. Ce métal est par ailleurs plus fluide et permet une convection naturelle. Opérant entre 550 et 800°C, ce type de réacteur utilise comme combustible l'uranium sous forme métal, qui est plus intéressant que sous forme d'oxyde. Les Japonais, les Américains et les Russes ont chacun un réacteur en opération.

Vous avez dit « quatrième génération » ?

Mais pourquoi décrire ces projets comme étant de la quatrième génération ?

Au début, il s'agissait de maîtriser la réaction en chaîne. Tous ces réacteurs ne fonctionnent qu'avec une seule matière première : des neutrons ! Et pour en avoir il faut que le seul combustible disponible, l'uranium naturel, en donne suffisamment pour entretenir une réaction continue, sachant qu'il y a beaucoup de pertes. Au tout début, les réacteurs utilisaient de l'uranium naturel comme combustible, et l'eau lourde comme agent modérateur des neutrons et comme fluide caloporteur, car elle permettait de mieux utiliser les neutrons. Le graphite offre des caractéristiques semblables avec un faible enrichissement de l'uranium et fut lui aussi présent dès le début. La première génération se reconnaît à cette utilisation parcimonieuse des neutrons, et à la possibilité de procéder à des expériences annexes avec ces neutrons. La seconde génération permet de conquérir à la fois puissance et rendement. Le réacteur type issu des sous-marins américains devint la référence pour les grosses unités et leur utilisation fut centrée uniquement sur l'électronucléaire.

La troisième génération est née après l'accident de Three Miles Island, et l'idée s'imposa que la conception d'origine de la partie centrale devait palier aux défaillances humaines. C'est la génération actuelle. La quatrième génération inaugurera une première différenciation de l'utilisation de l'énergie produite. On atteindra des températures qui intéressent la chimie, permettant ainsi de concurrencer le pétrole, et des niveaux de sûreté qui concurrenceront le charbon pour l'eau chaude urbaine et industrielle, de même qu'une propreté qui attirera tout le monde sauf les romantiques.

Surgénérer ?

Derrière cette expression compliquée, il ne s'agit que d'un procédé de combustion plus perfectionné. C'est comme si vous deviez brûler du bois humide. Soit vous le brûlez tel quel dans une cheminée et vous obtenez beaucoup de fumée et d'imbrûlés, soit vous faites sécher les bûches avant de les glisser dans le feu. Cette opération de surgénération se fait pour l'instant en deux étapes, dans un réacteur et une usine de retraitement spécialisés, mais pour reprendre une image précédente, si avec un plein d'essence je fais 500 km, alors avec la surgénération je pourrai faire le tour de la terre.

Cogénération

Le nucléaire d'aujourd'hui, c'est avant tout de l'électronucléaire. Mais la demande en eau chaude peut être satisfaite sans trop pénaliser la production électrique. La cogénération consiste à récupérer l'eau chaude servant à condenser la vapeur qui sort du générateur - le troisième circuit - pour chauffer les immeubles. Mais on peut vouloir plus d'eau chaude ou même de la vapeur. On imagine donc qu'un savant dosage technique doit être mis en oeuvre. Qui a besoin d'eau chaude ou de vapeur à basse température ? L'industrie et les villes. Les raffineries de pétrole et d'autres complexes de ce genre, gourmands en électricité et en vapeur, seront donc les premiers utilisateurs. Mais une autre

étape marquera le nucléaire : sa pénétration dans le milieu urbain.

Si les pays riches se sont montrés jusqu'à présent capricieux à cet égard, les pays pauvres et les jeunes générations des pays riches seront moins dogmatiques et superstitieux. Les centrales intrinsèquement sûres existent déjà depuis longtemps mais le monde riche fut dominé par une idéologie anti-technologique, et les pays pauvres s'en sont vus interdire l'accès.

Est-il vrai que le nucléaire du futur ne polluera pas ? Il faut s'inscrire en faux contre une telle affirmation. Tout travail produit des rejets qui, en s'accumulant, forment des déchets. Même la fusion produira ses déchets, aussi sûrement que la digestion du plus succulent des repas ! La seule garantie à long terme réside uniquement en l'amélioration de la force de travail, l'homme, de son outil de travail pour la modification de la nature, et avec un État plus proche du bien commun. Il n'existe pas de poubelle ultime. Et puis, toute solution techniquement valable peut être pervertie par une corruption sociale. Mais Vernadsky nous montre comment la nature a, avant l'homme, résolu le problème de la pollution, par les plantes, de l'air naturellement chargé en gaz carbonique des périodes géologiques. Celles-ci produisent de l'oxygène comme déchet - horreur ! Mais la vie fut plus rapide et avant la mort lente par la pollution, les animaux fraîchement apparus créèrent vite une nouvelle dynamique.

Prolifération

Des efforts sont faits pour limiter la prolifération, c'est-à-dire le détournement du plutonium produit par la combustion à des fins militaires ; les réacteurs surgénérateurs sont « proliférant », ceux comme les réacteurs à lit de boulets le sont moins, mais on peut toujours « casser les boulets » et en tirer le plutonium. Pour être rigoureux, tout pays bien doté des compétences et des équipements nécessaires arrivera toujours à produire du plutonium militaire. La seule solution reste politique, en attendant que la science nucléaire puisse fournir des traceurs fins (particules subnucléaires). Cela ne se fera que dans une société qui aura déjà franchi le stade de la fusion nucléaire, l'étape qui suivra tous les programmes que nous venons de décrire.

Ces projets offrent-ils la meilleure combinaison pour essayer ?

L'avenir nous le dira, mais tous s'appuient sur une science du nucléaire bien établie. Tout pays ou toute entreprise qui s'aventurerait à prendre le risque d'intégrer un concept scientifique marginal, peut venir bousculer la donne et c'est heureux. C'est pourquoi je défends, après Mme Curie, la diffusion de masse de cette science républicaine. Mais dans cette perspective, ces projets sont-ils suffisants ? Il manque quelque chose : il n'y a aucune ouverture. On reste dans le nucléaire cocotte minute ou casserole, le cycle de Carnot pur et dur, sans ouverture vers l'énergie dirigée ni les plasmas, sans même parler du vivant. Tous ces projets font avancer lentement mais sûrement nos sociétés, mais un pari audacieux sur la fusion n'aurait-il pas des résultats certes moins prévisibles, mais tellement plus prometteurs ? Faute de clairvoyance, il faut intégrer (hors ITER) beaucoup de machines à plasma et d'autres accélérateurs spécialisés, vers la connaissance de la matière non condensée, vers les matériaux de demain, et une remise à plat de nos certitudes sur ce noyau pour sortir vite de la mono industrie du neutron. (2)

Parler du futur

Parler du futur, c'est se situer dans ce qu'il a de prévisible et se proposer un chemin pour y parvenir. C'est aussi respecter la population attendue à la fin de ce siècle, en nombre aussi bien qu'en qualité de vie. Un niveau de population donné détermine assez bien la densité énergétique et le type de ressource « naturelle » requis. En clair, on ne devrait plus utiliser le pétrole (hors pays émergents) pour être brûlé dans nos voitures ou nos navires, mais le réserver à la chimie. Imaginez que la filière graphite hélium fut même originellement développée pour équiper les avions ! Des centrales nucléaires volantes !

Pour le siècle qui vient de s'ouvrir, on ne peut connaître les technologies qui seront dominantes, mais on peut s'appuyer sur des sciences qui sont déjà nées.

On ne connaît qu'une seule forme d'utilisation du nucléaire à hautes doses : c'est sous forme de production d'énergie secondaire, la vapeur. Celle-ci est bien souvent utilisée pour générer de l'électricité, et le nucléaire est identifié - à tort - aux compagnies de production de courant. C'est peu dire qu'il faut s'attendre à de nouvelles formes d'utilisation.

La consommation d'énergie sera, dans le milieu de ce siècle, surtout destinée à la création de matériaux pour suppléer au manque de matières premières que fournissait la nature. L'eau douce est un besoin mondial criant qui a été mis en avant dès le début du nucléaire civil, et se fait sentir encore plus aujourd'hui. Tout retard pour suppléer à cette pénurie minérale provoquera des conflits sur les matières premières ou une résurgence du malthusianisme, si ce n'est déjà fait.

Quelles seront demain les nouvelles possibilités d'après la science d'aujourd'hui ?

La fusion thermonucléaire a un avenir certain. La preuve expérimentale de la possibilité d'allumer un (tout petit) soleil dans un espace confiné a déjà été apportée il y a une dizaine d'années. Le manque de volonté politique de nos dirigeants, leur subordination au monde financier et une idéologie pessimiste chez les professionnels a reporté sa mise en application dans un avenir lointain, comme 2070 par exemple, alors qu'elle serait réalisable beaucoup plus tôt avec une politique de grands projets.

L'équipement pour la fusion, c'est surtout ITER (voir l'encadré). Ce programme unique à dix milliards de dollars, soutenu par tous les grands pays, va se concrétiser dans la vallée du Rhône, dans la région la plus équipée du monde ou presque.

Mais c'est surtout l'ère de la fission qui formera le personnel et la culture civile et sociale indispensable pour demain. Là aussi des États (Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud, Canada) ou des alliances d'États et d'entreprises (Europe, USA,

Japon) se forment pour s'équiper du matériel disponible, et pour se risquer sur certaines options techniques. Et les pays les plus marginaux d'hier, sont les moins timorés au vu des alliances entre la Chine et l'Afrique du Sud sur les hautes températures, l'acquisition du Tokamak de recherche américain par les coréens, les accords de l'Inde avec différents partenaires pour le cycle du thorium, etc. Le secteur avancé s'était jusqu'ici reposé sur ses lauriers, mais pour arrêter l'extension des guerres impériales pour le contrôle des matières premières et du pétrole, certains gosses de riches devront se réveiller.

La science nucléaire continue néanmoins des percées surprenantes. Son domaine de définition flanche : depuis les conférences de Solvay et malgré De Broglie, la chimie agit sur les électrons périphériques de l'atome, alors que le noyau est le domaine du nucléaire. Les ordres de grandeurs sont sensés être bien différents aussi. Le premier ne peut « évidemment pas » agir sur le second, d'où le comportement souvent condescendant des nucléocrates vis-à-vis des chimistes.

Mais des expériences (3) jettent sur ce fossé quelques ponts. Qu'en sera-t-il d'une application pratique ? Le noyau lui-même est conçu comme un agrégat sphérique de protons, neutrons, et divers objets. Cette description est issue des conférences de Solvay, mais le jubilant Dr Moon, par exemple (4), s'est risqué à une autre géométrie. Un autre langage, s'il s'avère plus puissant, donc plus vrai, ne sera pas sans conséquences, comme ceux développés auparavant par Kepler, Leibniz, Lavoisier ou Claude Bernard.

Les tenants du modèle en place savent néanmoins nous décrire un noyau qui, dans certains cas, serait atteint de forte obésité (des dizaines de fois sa taille normale), ou de fortes difformités (un carré creux aux coins boursoufflés par exemple). On ne connaît pas encore de tentatives d'utilisation expérimentale de ces descriptions, mais on peut s'aventurer à prédire une étape révolutionnaire : quand un comportement cyclique ou bi-stable sera découvert, on pourra extraire l'énergie de fission autrement que thermiquement et avec une efficacité fantastique.

Ces spécialistes nous parlent aussi de bosons, de quarks et autres gluons. Là non plus, aucune application en vue sauf l'espoir de détecter des réactions nucléaires par leur signature et de développer, dans le cadre de la non-prolifération, de nouvelles formes de surveillance. Enfin la fission et la fusion sont décrites comme fonctionnant d'une manière statistique et géométriquement symétrique. Je soupçonne les militaires d'en savoir plus, et de pratiquer la fusion et la fission polarisée pour développer des réactions planaires ou coniques - c'est-à-dire orientées - et non sphériques. On entrevoit les utilisations militaires, mais plus encore pacifiques, et on devine un nouveau corps de science prêt à s'ouvrir devant nous.

Que manquera-t-il si un nouveau génie ouvre grand une voie nouvelle ? Une société à même de recevoir cette personne et son idée, apprend-t-on de l'histoire. Il y a autant de génies dans le pays le plus arriéré que dans celui le plus avancé, mais ce dernier offrira à notre homme (ou à notre femme, comme l'ont démontré celles qui ont été pionnières dans la recherche sur la radioactivité et la fission) des équipements beaucoup plus performants et diversifiés, permettant de développer des qualifications beaucoup plus vastes. On ne peut donc pas passer à la fusion nucléaire sans développer au préalable la fission à une échelle bien plus grande, et sans qualifier une force de travail savante.

Au-delà des grands principes physiques universels connus jusqu'ici, mais demeurant toujours dans le domaine du minéral et de l'énergie, l'astrophysique sera probablement le chemin le plus court pour susciter de nouvelles découvertes. Celle des réactions matière / antimatière est un bon exemple.

Enfin le vivant, sous une forme ou une autre, redeviendra une source d'énergie, et pas à un niveau ridicule comme celui de la conversion de la biomasse dans un simple fermenteur. Le sujet étant plus que vaste, nous ne l'aborderons pas ici, mais il doit être appréhendé comme une extension de l'agriculture intensive de pointe, avec forte présence des OGM. Cela nécessite de très lourds investissements, qui doivent être dirigés et orientés par l'Etat, car jouer avec le vivant en période naissante comporte un risque qu'il ne faut pas prendre à la légère, même si les avantages promettent d'être sans précédent. Laisser cela aux compagnies privées et à une logique de rentabilité à court terme relèverait d'une irresponsabilité totale.

Le nucléaire civil n'a que cinquante ans d'âge et, comparativement au domaine précédent, bénéficie d'un avantage certain : on reste dans le domaine du minéral, et dans une science nouvelle mais établie. Mais si l'on regarde la part des connaissances utilisées, on constate qu'il reste encore, dans le domaine de la fission proprement dite, un réservoir de conquêtes importantes à accomplir, comme la maîtrise de la durée de vie des radioéléments, par exemple. Et bien d'autres découvertes restent encore à venir.

Yves Paumier

Notes

1. cf. « Les réacteurs nucléaires du futur », par Michael Lung, *Fusion* n°89, janvier-février 2002.
2. cf. « Physique quantique : le défi non relevé de Planck », par Caroline Hartmann, *Fusion* n°89, janvier-février 2002.
3. cf. « Les monopôles : une nouvelle fenêtre d'observation sur l'univers physique », par Emmanuel Grenier, *Fusion* n°100, mars-avril 2004.
4. cf. « Modèle géométrique du noyau atomique », par Laurence Hecht, *Fusion* n°84, janvier-février 2001, et le dossier spécial du même auteur sur Robert J. Moon dans *Fusion* n°105, juin-juillet 2005.

Thorium et neutrons rapides : donnons un coup d'accélérateur au nucléaire du futur

4 février 2012

(Nouvelle Solidarité) — En temps normal, développer une nouvelle filière de réacteurs nucléaires prend au moins 30 ans : recherche & conception 10 ans, réalisation d'un prototype 10 ans, construction d'un modèle industriel 10 ans. Or, en France, historiquement un pays à la pointe de ce domaine (Becquerel, Curie, Langevin, etc.), ce que l'on appelle la IVe génération arrive peu, n'arrive pas ou est en retard. Alors que l'Inde, la Chine, la Russie et le Japon avancent à vitesse grand V dans ce domaine, nous risquons, comme sur le plan militaire en 40, d'être « *en retard d'un nucléaire* ».

A cela s'ajoute que l'on va devoir remplacer progressivement un parc de 58 réacteurs en fin de vie. Ainsi, qu'on l'aime ou qu'on ne l'aime pas, à cause de ce retard, bien que l' **Autorité de sûreté nucléaire (ASN)** certifie qu'on puisse encore exploiter dans la décennie à venir le réacteur de Fessenheim et d'autres dans des conditions optimales, on sera obligé, faute de disposer de mieux en temps et en heure, de remplacer ces réacteurs par des EPR. Il s'agit du haut de gamme des réacteurs à eau pressurisée d'ancienne génération (REP), mais équipés de systèmes de sécurité renforcés élaborés depuis l'accident survenu en 1979 aux États-Unis, à Three Mile Island.

Nous aurions été mieux loti si, au lieu de s'adapter au malthusianisme du Club de Rome et au « *court-termisme* » financier de la City et Wall Street, comme l'ont fait tous nos gouvernements depuis trente ans, nous nous étions engagé plus tôt à développer tout le potentiel du nucléaire du futur.

Attaqué au lance-roquettes en 1982, **Superphénix**, prototype de réacteur brûlant du plutonium et générant une partie de son propre combustible, a été abandonné en 1997. Le risque d'accident (par emballement) et le faible coût de l'uranium, affirmait-on à l'époque, ne « *justifiait pas* » ce type d'investissement.

En vérité, les réacteurs « *du futur* », et cela peut surprendre, ont été conçus et parfois testés, pour l'essentiel, dans une course contre la montre engagée par les États-Unis lors de la Deuxième Guerre mondiale pour maîtriser l'atome avant l'Allemagne hitlérienne. C'est dans le Tennessee, au **National Laboratory d'Oak Ridge (ORNL)**, que les chercheurs inventent alors plus de mille types différents de réacteurs. (1).

Sur 1000 façons d'exploiter l'atome seules 6 ont été retenues (pour leurs qualités de sécurité, de rendement énergétique, de réduction et d'élimination des déchets) par le groupe de pays qui constitue le Forum Génération IV. Les types de réacteurs varient en fonction du choix du combustible (uranium, plutonium, thorium, sous forme solide ou liquide), du modérateur (eau, graphite ou aucun) et du liquide ou gaz caloporteur et refroidissant (sodium, sels fondus, eau bouillante, eau pressurisée, eau lourde, plomb liquide, hélium, etc.) opérant en mode critique (réaction en chaîne auto-entretenu) ou sous-critique (réaction en chaîne entretenue par une source extérieure de neutrons, mode non-inclus dans la Génération IV mais appartenant au nucléaire du futur). Louis Armand, Jean Perrin, Pierre Auger et d'innombrables autres chercheurs français suivaient tout ce qui sortait du ORNL. Pour des raisons essentiellement politiques, militaires et commerciales, mais aussi de facilité de maniement, un seul modèle dominera et continue à dominer : celui des **réacteurs à eau pressurisée (REP) à uranium**.



Des sin du Réacteur Jules Horowitz (RJV), actuellement en cours de construction à Cadarache. Ce réacteur de recherche permettra de tester des matériaux et la production de radioéléments artificiels (REA) indispensables à la médecine moderne.

En France, c'est assez récemment avec la Commission Juppé-Rocard, qu'est débloqué d'une part, pour 2010-2017, les moyens (250 millions d'euros) de finaliser d'ici 2016 la construction d'un petit réacteur de recherche, le **Réacteur Jules Horowitz (RJV)** à Cadarache qui ambitionne de produire pour l'UE une bonne partie des radio-isotopes pour la médecine, et d'autre part que sont investis 600 millions d'euros dans la recherche sur un prototype de **réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na)**. Ce démonstrateur RNR de 600 MWe nommé **ASTRID** (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration), doit être opérationnel en 2023, pour la version industrielle, il va falloir attendre au moins 2040 ! Avec Astrid, l'échéance de 2023 vise également à maintenir les compétences du passé, permettant aux experts de former une nouvelle génération avant de partir à la retraite.

D'après le CEA, à partir de la même quantité d'uranium, un RNR produit 50 à 100 fois plus d'électricité qu'un REP. Un

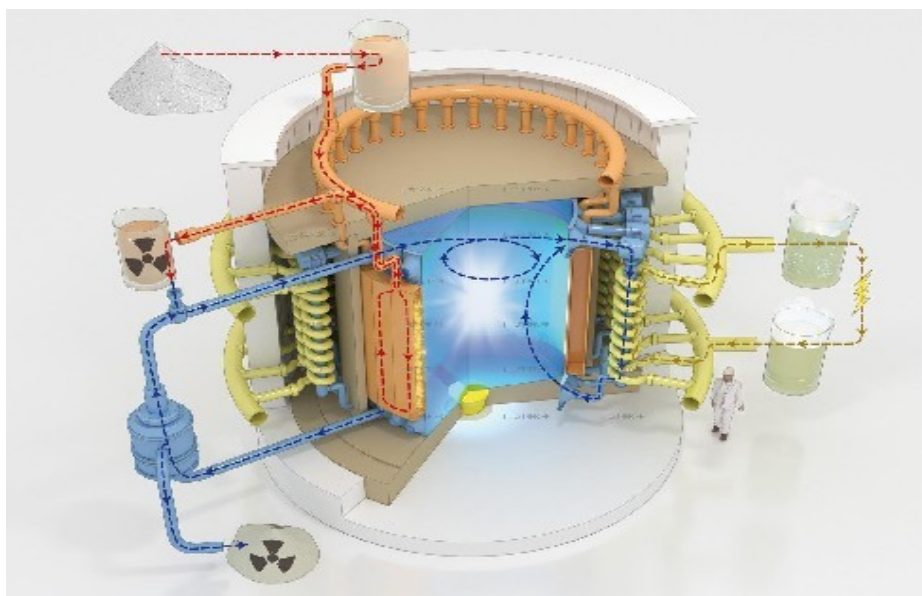
parc RNR d'une puissance équivalente à l'actuel parc EDF français pourrait ainsi fonctionner durant au moins 2500 ans avec les seuls combustibles « usés » et l'uranium appauvri ou de retraitement entreposés aujourd'hui dans les installations françaises ! Astrid vise également à démontrer que l'on peut, à l'échelle industrielle, réduire la toxicité des déchets. En principe, les RNR permettent la transmutation des actinides mineurs (notamment le neptunium, l'américium et le curium), part des déchets ultimes à haute activité et longue durée de vie.

Alors que les écologistes se plaignent (non sans raison) des déchets nucléaires, ils ont tout fait pour saboter les réacteurs de IVe génération permettant de résoudre le problème de façon satisfaisante.

Mais, par rapport à la politique française, nous disons : trop peu, trop tard !

Trop tard, nous l'avons indiqué ci-dessus. Trop peu, car plusieurs filières prometteuses ont été laissées de côté :

- D'abord, celle des petits réacteurs à haute température à lits de boulets (PBMR) étudiée en Allemagne et en Afrique du Sud. Les PBMR, qui sont des réacteurs à haute température (HTR) disposent par leur conception de systèmes de sécurité intrinsèques. Un des premiers a fonctionné au thorium (THTR) en 1983 à Hamm-Uentrop en Allemagne, abandonné en 1989.
- Ensuite, et surtout, on n'a pas encouragé, et l'on a même exercé des pressions pour faire cesser les recherches sur le réacteur à sels fondus (RSF) associé au cycle Thorium-Uranium 233 sur lequel travaille essentiellement, presque sans moyens, le CNRS et les chercheurs du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble (LPSC). Pourtant, ce type de réacteur, retenu comme un candidat valable par le Forum Gen IV, ajoute aux avantages du RNR des atouts environnementaux et de sécurité exceptionnelle.



Projet de réacteur à sels fondus associé au cycle Thorium-Uranium 233, véritable "nettoyeur" de déchets.

COMME LE RNR, le RSF :

- Permet de **multiplier la ressource**, en particulier en transformant le thorium, « fertile » et abondant dans la nature, en combustible : l'uranium 233 fissile.
- Opère à « pression ambiante » ce qui réduit considérablement le risque de fuites.
- Permet, contrairement au MOX, d' **incinérer tous les isotopes du plutonium**. Les réacteurs du futur sont des « nettoyeurs » car ils permettent d'incinérer la quasi-totalité des actinides mineurs (neptunium ; américium, curium et dans le cas du thorium le protactinium), produisant donc plus d'énergie et 200 fois **moins de déchets par unité de combustible** (2), dont la durée de vie n'est que de 300 à 500 ans, ce qui change la donne pour le stockage.

DIFFERENT DU RNR, le RSF :

- **ne fait pas appel au sodium**, un produit hautement inflammable quand il entre en contact avec l'air ou l'eau. Plus généralement, il ne contient aucun matériaux réactifs dans et à proximité du cœur.
- élimine ou réduit de dangereuses manipulations : le combustible liquide permet le retraitement du combustible sur place et ne nécessite pas l'arrêt du réacteur.
- **élimine tout danger de fonte du cœur**.
- **ne risque pas l'auto-emballement** en cas d'accident (car, comme les REP français, son coefficient de

vide est négatif, alors que celui de Superphénix était positif).

• **permet le transfert du combustible en quelques minutes** dans une configuration de sécurité passive en cas d'incident ou d'accident grave.

En pratique, c'est une folie d'opposer une filière à l'autre, car elles se complètent : les REP et les EPR nous permettront de fertiliser le thorium. Les vingt réacteurs français équipés pour brûler du MOX peuvent utiliser du thorium. Ensemble, les RNR et les RSF permettront de multiplier nos ressources. **C'est la complémentarité des réacteurs qui nous donnera l'énergie nécessaire pour l'humanité et une marge pour développer la fusion thermonucléaire.**

Si la France mène des études intéressantes dans ce domaine (ITER, etc.), en réalité, hélas, le pessimisme règne et peu sont ceux qui croient que l'on puisse en faire une source d'énergie. Pourtant, si avec la Gen IV l'homme peut se rendre sur la Lune, sans la fusion, explorer Mars restera un doux rêve.

C'est pour cela qu'il est utile de rappeler les différences entre aujourd'hui et l'époque de Oak Ridge.

A l'époque :

• En temps de guerre, on ne fixe **pas de limite financière pour réussir un objectif national situé à la frontière de la connaissance**. Peut-on le refaire en temps de paix ?

• A Oakridge, la plupart des chercheurs avaient **moins de trente ans**...

• L'ambition dépassait totalement l'idée de produire de l'électricité en soi. **On se fixait une contrainte précise** : par exemple, développer un moteur nucléaire disposant d'une grande autonomie pour des sous-marins. Aujourd'hui, on pourrait se fixer deux objectifs : un réacteur pour vaincre les déserts (dessalement), un autre pour voyager vers la Lune.

Il faut donc tout faire pour accélérer les recherches. Cela implique une visibilité sur les moyens investis dans ce secteur mais aussi, bien plus difficile, la formation de scientifiques et de personnel qualifié. Comme dans d'autres domaines, on constate surtout que ce qui manque à notre société, ce n'est pas « la connaissance », mais l'ambition de se projeter dans l'avenir... et dans l'espace.

[Extrait du programme présidentiel de Jacques Chirac](#) : Physique nucléaire : droit à l'énergie, au développement et à la vie.

Karel Vereycken

(1) Consulter utilement l'autobiographie d'Alvin M. Weinberg, *The First Nuclear Era, The Life and Times of a Technological Fixer*, American Institute of Physics, New York, 1994.

(2) Au lieu de consommer 200 tonnes d'uranium naturel par an et par Gwe, on ne consommerait que 1 tonne de thorium, d'où le facteur 200. Cette tonne de thorium est transformée en 1 tonne de produits de fission alors que 200 tonnes d'uranium se transforment en 170 tonnes d'uranium appauvri, 29 tonnes d'uranium de retraitement, 1 tonne de fission et 30 kg d'actinides mineurs. Le facteur 200 concerne donc les déchets les moins gênants (uranium appauvri et de retraitement). Par contre, les 30 kg d'actinides mineurs en moins font vraiment la différence au niveau du dimensionnement du site de stockage.

(3) Au lieu de consommer 200 tonnes d'uranium naturel par an et par Gwe, on ne consommerait que 1 tonne de thorium, d'où le facteur 200. Cette tonne de thorium est transformée en 1 tonne de produits de fission alors que 200 tonnes d'uranium se transforment en 170 tonnes d'uranium appauvri, 29 tonnes d'uranium de retraitement, 1 tonne de fission et 30 kg d'actinides mineurs. Le facteur 200 concerne donc les déchets les moins gênants (uranium appauvri et de retraitement). Par contre, les 30 kg d'actinides mineurs en moins font vraiment la différence au niveau du dimensionnement du site de stockage.

La révolution silencieuse des centrales nucléaires flottantes

Construire une centrale nucléaire de poche, flottante et capable d'être installée partout où l'on a besoin d'électricité... Le pari paraît fou ! Il est pourtant en train de se réaliser. En France, pays où l'on se plaît à répéter que l'énergie nucléaire est un atout stratégique majeur, l'information est presque passée inaperçue. Pourtant, depuis cet été, la Russie a relevé le défi de produire en série de petites centrales nucléaires sur barges flottantes.

Comme l'a fait savoir Vladimir Poutine à son homologue François Fillon, en visite à Sotchi en septembre, les compétences de la France en matière de gestion des déchets nucléaires intéressent les Russes, qui ont eux-mêmes un précieux savoir-faire sur les petits réacteurs, délaissés par Areva. Rosatom, l'établissement public russe du nucléaire, est demandeur depuis des mois d'un partenariat stratégique avec Areva qui se laisse désirer. Au lieu d'innover et d'œuvrer pour un nucléaire « citoyen » et du futur ([miniaturisation](#), [fusion](#), [réacteurs de génération IV](#), etc.), la France se cantonne une fois de plus à la position des Romains du Bas-Empire : frileux, on s'efforce d'être « les meilleurs » dans ce qui existe déjà. Ainsi, en concentrant sa stratégie industrielle presque exclusivement sur la vente de gros réacteurs « haut de gamme » du type EPR, la France risque de rater le grand rendez-vous, non seulement avec la renaissance mondiale du nucléaire en cours, mais avec le développement de l'humanité tout court.

Histoire

L'idée de centrales nucléaires flottantes, imaginées par les Américains dès les années 1960, a refait surface en 1990 lors d'une rencontre entre le professeur Larion Lebedev, le directeur Recherche & Développement de l'agence fédérale russe de l'énergie atomique Rosatom, et les Présidents du Guatemala, du Nicaragua et du Salvador. Alors que les Russes démilitarisaient un grand nombre de leurs sous-marins, ces chefs d'Etat ont souhaité en accueillir au large de leurs côtes... pour produire de l'électricité et de l'eau douce ! (Une idée pour la Bretagne ?)



Le Sturgis (MH-1A) - Une centrale nucléaire flottante américaine de 45 MW construite en 1967 par le Génie militaire américain pour approvisionner la zone du Canal de Panama.

De prime abord, cela pose de gros problèmes, notamment parce que les réacteurs de sous-marins ne sont pas conçus pour faire du suivi de charge, parce qu'un équipage ne peut vivre à longueur d'année dans un sous-marin et surtout parce que le combustible utilisé dans les sous-marins est enrichi à 95 %, ce qui est inconcevable pour une application civile, la limite supérieure étant fixée à 20%. Cependant, l'idée a fait son chemin. L'ingénieur naval Sergei Kirienko, actuellement à la tête de Rosatom, a fini par se laisser convaincre de la validité du projet et a soutenu le projet de barge auprès de cinq ministres successifs.



Maquette d'une barge nucléaire flottante

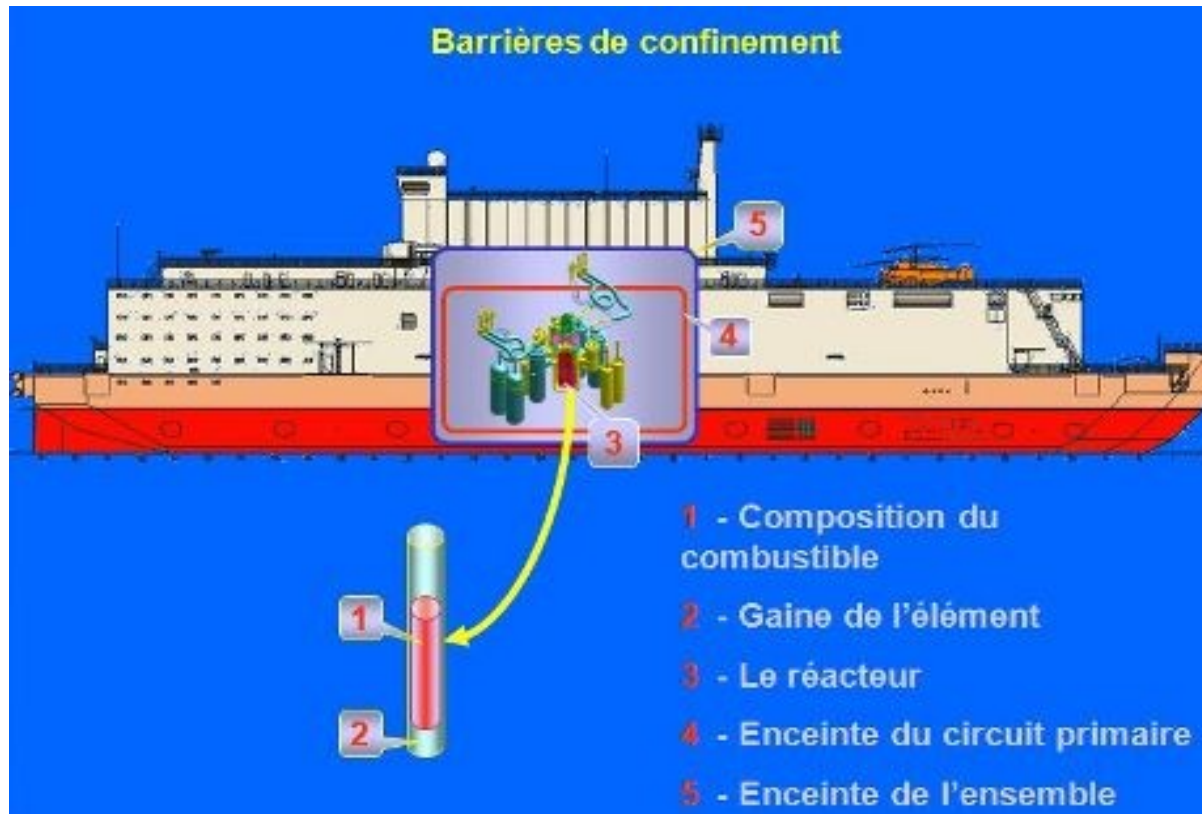
Quelques données techniques

Lancée en grande pompe le 30 juin dernier, l'*Akademik Lomonosov*, la barge de la première centrale nucléaire flottante du monde, a pris la mer depuis Saint-Pétersbourg en Russie. Cette unité, d'une longueur de 144 mètres pour une largeur de 30 mètres, doit entrer en service d'ici avril 2012. Elle comporte de quoi héberger dans de bonnes conditions de confort un équipage de 58 personnes dont la relève sera effectuée tous les trois mois. Cependant, avant de prendre la direction de la péninsule du Kamtchatka, dans l'océan Pacifique, où le *Lomonosov* sera installé au large de la ville de Vilyuchinsk, la centrale flottante devra faire une halte préliminaire à Mourmansk pour « faire le plein » d'uranium. On y embarquera un cœur de réacteur chargé ainsi que du combustible (enrichi à 14%) pour trois rechargements du cœur, soit suffisamment de carburant pour fonctionner une douzaine d'années, délai au-delà duquel la barge devra rentrer à son port d'attache pour déchargement complet et révision générale.



Le 30 juin 2010, lancement à Saint-Pétersbourg de l'*Akademik Lomonosov*, la barge de la centrale nucléaire flottante russe

Au centre de la barge, deux petits réacteurs KLT-40S produisant chacun 35 MW (soit 70 MW en tout), c'est-à-dire vingt fois moins que les 1600 MW de l'EPR français non flottant, mais assez pour produire l'énergie thermique nécessaire pour dessaler 240 000 m³ d'eau de mer par jour ou approvisionner en électricité une ville de 200 000 habitants. La puissance maximale de réacteur susceptible d'être installée sur une barge pourra atteindre 300MW électrique. Au-delà de cette puissance, la taille du circuit primaire pose des problèmes de refroidissement considérables.



Les réacteurs KLT-40S bénéficient de l'expérience accumulée sur 460 sous-marins et 15 brise-glaces russes, certains de ces réacteurs ayant fonctionné pendant plus de 200 000 heures. Ils comportent 6 systèmes de sécurité active et 4 systèmes de sécurité passive. Les barges à double coque peuvent résister à l'attaque d'une torpille. La chute d'avion est également prévue. Lors de sa conférence du 25 janvier aux Arts et Métiers, à Paris, le professeur Lebedev s'est plu à rappeler que lorsque le sous-marin Kursk a sombré en mer de Barents, en août 2000, suite à une explosion qui ravagea le bâtiment, le réacteur s'était mis seul en sûreté. Après récupération de l'épave, on a constaté qu'il était en parfait état et aurait pu être remis en route.

Avantages multiples

Offrir une telle mobilité à une source d'énergie performante offre des avantages inespérés et permet d'effectuer un « saut qualitatif » vers une « plateforme d'infrastructure supérieure ».

De nombreux sites géologiques difficiles, où l'homme opère mais se retrouve en quelque sorte « enclavé » par l'océan, pourraient ainsi disposer d'une source d'énergie performante capable de fournir de l'électricité, de l'eau et peut-être, dans une phase ultérieure, des radio-isotopes médicaux. Rappelons simplement que le réacteur de recherche BR-2 installé au centre de Mol (Belgique) n'a qu'une « faible » puissance de 100 MW mais permet de produire [des radio-isotopes indispensables pour la médecine](#). Son successeur, [Myrrha, en voie de construction, permettra de transmuter certains déchets](#) et de produire des éléments électroniques haut de gamme, notamment pour l'industrie automobile.

Pour la Russie, engagée à explorer les ressources en hydrocarbures de l'Arctique, l'utilité est évidente. Chez nous, les grandes sociétés pétrolières, en charge d'approvisionner leurs plateformes de forage en mer ou au Canada, ont déjà manifesté leur intérêt pour ces centrales nucléaires flottantes, ou y travaillent discrètement elles-mêmes (Shell, Toshiba-Westinghouse, etc.).

Le cas de nombreuses îles est tout aussi flagrant. Si produire un kWh d'électricité au Cap Vert coûte aujourd'hui 0,2

dollar, un kWh d'une centrale nucléaire flottante n'en coûtera que 0,05, c'est-à-dire quatre fois moins. Sur la base d'un prix de vente de 0,10 dollar le kWh, le retour sur investissement serait de l'ordre de 6 ans, ce qui en fait un investissement très rentable.

La question de l'eau est également un facteur décisif. Dans un précédent numéro, nous avons largement documenté le rôle que pourrait jouer une telle barge flottante dans le cadre d'un programme infrastructurel pour verdier les déserts de Tunisie et d'Algérie (voir le [Plan Paumier-Roudaire](#), *Nouvelle Solidarité* n°20 du 5 novembre 2010).

A côté des réacteurs KLT40-S, destinés uniquement à des implantations en bord de mer, la Russie prévoit la finalisation d'un deuxième prototype. Faisant appel à 2 réacteurs moins puissants, les ABV-6M, une centrale nucléaire flottante pourra être déplacée jusqu'à l'intérieur des terres via le réseau fluvial. D'une puissance unitaire de 18 MW, ces centrales sont destinées à assurer l'approvisionnement en électricité et en chaleur des localités russes non connectées au réseau global. Une fois opérationnelles, trente unités de ce type doivent entrer en service entre 2013 et 2015. Rappelons qu'à l'heure actuelle, les deux tiers du territoire russe ne sont pas couverts par un réseau électrique centralisé.

Location

La construction d'une barge nucléaire du type Lomonosov est estimée à 227 millions d'euros, contre 4,5 milliards pour l'EPR actuellement en construction en Finlande. En pratique, c'est la location ou le leasing de ces barges qui semble la meilleure option. Par un traité reconnaissant l'extraterritorialité de telles barges, des pays n'ayant pas signé le protocole de non-prolifération ou ne disposant pas encore d'infrastructures lourdes pour équiper des centrales fixes, pourront néanmoins disposer de la puissance fournie par les centrales amarrées devant leurs côtes. Un tel accord assurera également que la matière radioactive (combustible, déchets, etc.) ne quitte jamais les barges et reste la propriété de la société russe partenaire du contrat. Comme n'importe quel producteur, cette dernière facturera l'électricité produite.

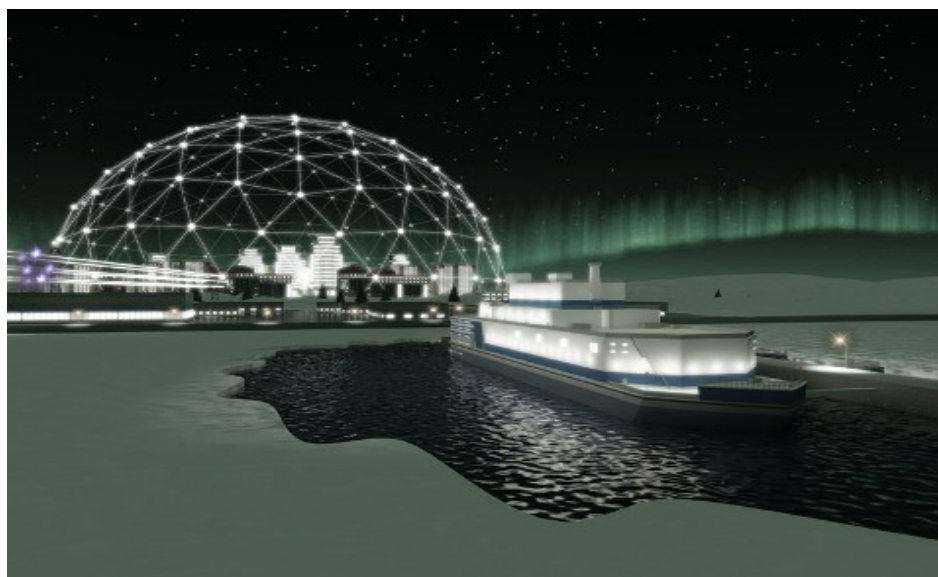
Les centrales nucléaires flottantes seront particulièrement utiles pour des pays en voie de développement ayant une façade maritime et ne disposant ni des moyens humains ni des moyens financiers leur permettant de construire et gérer des installations nucléaires en toute sécurité.

La Russie, qui va s'en équiper pour ses propres besoins, assure la promotion de son savoir-faire dans ce domaine. Une vingtaine de pays ont manifesté un intérêt soutenu, en particulier les pays d'Amérique latine précités, les îles du Cap vert, l'Afrique du Sud, la Namibie, l'Indonésie, les Philippines. Alors que l'Inde s'intéresse aux sous-marins nucléaires et que la Chine examine toutes les options disponibles pour s'équiper en énergie nucléaire, [la France devrait se réveiller de toute urgence sur ce dossier.](#)

Karel Vereycken



Centrale nucléaire flottante alimentant en eau et en électricité une plateforme pétrolière



III- ESPACE

Exploration spatiale : l'optimisme d'un univers infini

Discours prononcé par Rudolph Bierent, doctorant à l'ONERA, à la [conférence de l'Institut Schiller des 25 et 26 février 2012 à Berlin.](#)

Exploration spatiale : l'optimisme d'un univers infini

Discours prononcé par Rudolph Bierent, **doctorant à l'ONERA, à la conférence de l'Institut Schiller des 25 et 26 février à Berlin.**

Je remercie Helga Zepp-Larouche très chaleureusement pour m'avoir invité à parler à cette conférence.

J'ai été invité à parler de conquête spatiale, mais je tiens à rappeler avant toute chose une évidence, une banalité qui semble aujourd'hui oubliée, et qui oriente pourtant toute la vision que nous pouvons entretenir pour l'avenir de nos sociétés : nous vivons dans un monde infini.

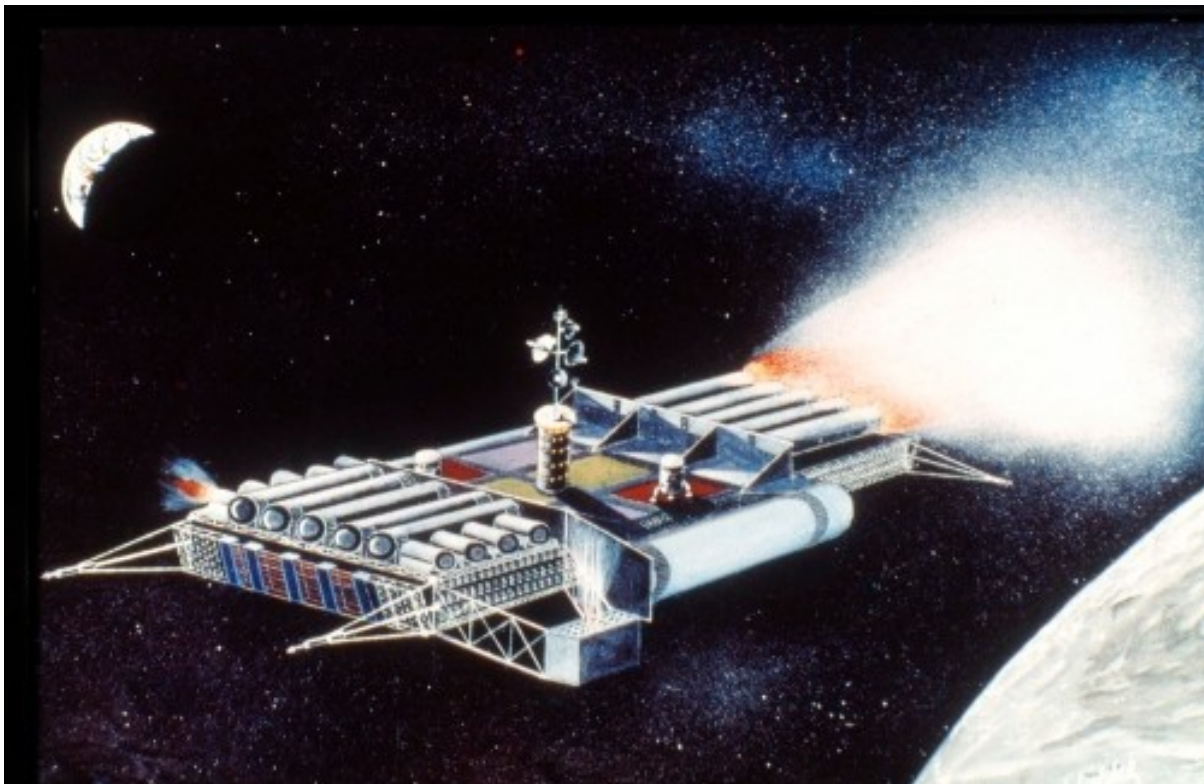
Ce fait ne semble pas avoir de conséquences particulières, mais amusons-nous tout de même à imaginer le contraire, que le monde est fini. Alors, il nous faut immédiatement admettre que les ressources sont finies, de même que le territoire à partager. Il nous faut considérer un problème d'accroissement de la population, pour des ressources qui s'amenuisent, et une angoisse naît subitement pour l'avenir. Certes, le progrès technologique nous soulage, car il apporte malgré tout son lot de bien-être et incite les gens à vivre avec plus tout en étant plus nombreux.

On commence cependant, peu à peu, à se méfier du progrès et des gens, puis on laisse s'installer la misère, et par conséquent la guerre et la famine, afin de réguler la population humaine comme s'il s'agissait d'animaux dénués du pouvoir de raison. On se réjouit enfin de ces horreurs car elles demeurent indispensables au bien-être d'autres hommes plus fortunés, qui ont droit à une vie digne. Telle est la logique du très pragmatique monde fini. On finit par détester l'homme et à ne déceler en lui que petitesse et égoïsme.

Quelle sale histoire. La réalité est heureusement bien plus belle ! Quelle hypothèse ridicule, un monde fini ! Il n'y a qu'à lever la tête pour se convaincre du contraire. Et là, je vous promets un grand élan d'optimisme et d'amour de la vie que ne saura jamais égaler un scénario de gestion des ressources d'un monde fini.

Cet élan d'optimisme a déjà existé, même si on peine aujourd'hui à y croire. Et d'ailleurs, on le doit pour beaucoup à deux grands scientifiques allemands qui ne sauraient vous être inconnus.

Il y a déjà plus de quarante ans, l'humanité a prouvé qu'elle était capable d'accéder à d'autres mondes. Il y a plus de quarante ans, l'homme a marché sur la Lune, réalisant ce qui n'aurait pu être une vingtaine d'années plus tôt qu'un scénario utopique. Ceci, on le doit tout d'abord à **Werner von Braun**, qui sut convaincre le Président Kennedy de lancer le programme Apollo, avec seulement dix ans pour réussir à poser un pied sur la Lune. Ensuite, un homme comme Krafft Ehrlicke a su conduire des progrès significatifs dans l'utilisation de propergols liquides pour la propulsion et a proposé de séparer le lancement de l'équipage et du cargo pour une meilleure efficacité respective de ces deux types de missions très différentes.



Ce vaisseau est un cargo spatial propulsé par l'énergie nucléaire, voyageant entre les orbites terrestre et lunaire. Il a été peint par Krafft Ehrlicke lui-même.

Mais surtout, **Krafft Ehricke** a développé une philosophie de la conquête spatiale pour le plus grand bien-être de l'humanité, où il démontre notre devoir inconditionnel de nous étendre dans l'univers, justement pour éviter que ne se réalise la terrible fable que je vous ai racontée au début. Car la stagnation de notre espèce ne peut signifier que son extinction, et je ne ferai pas partie de ceux qui se complaisent à ne rien faire, car il s'agit également d'un plaisir, tout en donnant un sens à l'existence, que de surmonter les défis auxquels nous sommes confrontés. C'est à cela que sert notre pouvoir de raison et c'est d'en faire usage qui fait de nous véritablement des êtres humains.

Lorsque l'humanité a su, il y a un peu plus de quarante ans, surmonter le défi de s'extraire de la Terre pour rejoindre un autre corps céleste, une immense vague d'optimisme a parcouru tous les esprits. Je n'y étais pas mais je le sais. Des gens parmi vous ici ont la chance de pouvoir en témoigner. Et je souhaite que la nouvelle génération exige elle aussi son morceau de l'infinité qui nous entoure. C'était le plan à long terme de Von Braun and Krafft Ehricke. Ils n'avaient pas seulement l'intention de poser un pied sur la Lune et d'en repartir. Ils avaient un plan, couvrant plus d'une cinquantaine d'années. Ils prévoient que l'homme aurait déjà établi, dès les années 90, une base occupée de façon permanente sur la Lune !

Pour quoi faire me direz-vous ?

Pour un grand nombre de choses.

Tout d'abord, la Lune est un astre qui recèle énormément de ressources pour notre usage à nous sur Terre. La Lune contient d'énormes quantités de titane, d'aluminium et de fer. Mais de plus, la Lune possède un avantage décisif pour l'extraction de ces métaux par rapport à la Terre. Elle n'a pas d'atmosphère. En effet, sur Terre, on s'efforce de créer un vide artificiel pour extraire le dioxygène du métal en fusion, afin que ce dernier ait les meilleures qualités mécaniques et anticorrosives qui soit. Ce vide coûte très cher à créer. Or, sur la Lune, on dispose gratuitement d'un vide de bien meilleure qualité que tout ce que l'on a jamais été capable de réaliser sur Terre. Tout cela grâce à l'absence d'atmosphère de la Lune ! Avec du titane lunaire parfaitement purifié, on pourrait par exemple construire sur Terre des ponts qui ne se corroderaient jamais et qui dureraient une éternité.

Il n'y a pas cependant qu'un avantage purement industriel à établir une base sur la Lune. Le potentiel scientifique est également énorme. Sur Terre, les observations du ciel sont de mauvaise qualité, à cause de la turbulence atmosphérique. Pour remédier à ce problème, le plus efficace a été justement de s'extraire de la turbulence atmosphérique en envoyant un télescope dans l'espace, comme le télescope Hubble. Les résultats de Hubble sont ceux qui nous ont permis de réaliser une révolution dans la compréhension de l'univers. Mais Hubble est un petit télescope. En effet, nous ne sommes pas capables d'emmener de gros miroirs dans une fusée, et les contraintes mécaniques lors du lancement de la fusée détériorent les qualités optiques du miroir. De plus, il est très difficile de réparer un télescope dans l'espace. Sur la Lune toutefois, il n'y a pas d'atmosphère et les observations, notamment sur sa face cachée, seraient d'excellente qualité. Il serait possible d'y construire des télescopes beaucoup plus gros que les télescopes en orbite, qui plus est avec de la silice lunaire. Et une fois de plus, grâce à l'absence d'atmosphère, les composants optiques fabriqués sur la Lune seraient bien plus performants.

Encore un avantage, la gravité sur la Lune est un sixième de celle sur la Terre, donc un miroir est beaucoup moins soumis aux contraintes de son propre poids. Il est par conséquent possible d'y construire des miroirs beaucoup plus gros que sur Terre.

On pourrait enfin répondre à des questions fondamentales. Grâce à une meilleure utilisation des techniques d'interférométrie, on pourrait détecter d'autres planètes de la taille de la Terre et situées à une distance raisonnable de leur étoile, et savoir si la notre planète est un objet exceptionnel ou non dans la galaxie. On pourrait aussi chercher des signatures de la vie dans les atmosphères de ces planètes. Un tel télescope serait une révolution dans notre compréhension de l'univers. La Lune est par conséquent notre meilleur espoir pour obtenir une réponse rapide à ces questions.

On peut également citer la possibilité de construire des accélérateurs de particules « à l'air libre » ou plus exactement en espace libre puisqu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune, alors que pour celui du CERN on doit se préoccuper d'imposer un vide sur des kilomètres de tunnel. La Lune recèle une importante réserve d'hélium 3, très rare sur Terre, un élément idéal pour réaliser la fusion nucléaire, la même source d'énergie que celle des étoiles, à l'origine de la lumière que nous recevons sur Terre chaque jour, promettant une abondance énergétique non polluante inconcevable, et tout ceci à partir d'une très petite quantité de matière.

De nombreuses autres applications pourraient être imaginées sur la Lune, comme l'utilisation gratuite du phénomène de supraconductivité lié aux conditions de froid qui y règnent.

Enfin, on peut également envisager une révolution médicale suite aux expériences que nous pourrions conduire sur la Lune. Pour cela, je m'en réfère aux travaux de l'équipe de jeunes chercheurs entourant LaRouche, qui démontrent l'influence de l'environnement électromagnétique sur le vivant, plus précisément sur la communication des cellules vivantes entre elles. Sur la Lune, nous serions hors d'atteinte du champ électromagnétique terrestre et on pourrait étudier cette notion de communication entre cellules. Là se trouve le véritable remède contre le cancer à mon avis, car il s'agit typiquement d'un problème de cellule ne répondant plus à l'organisme.

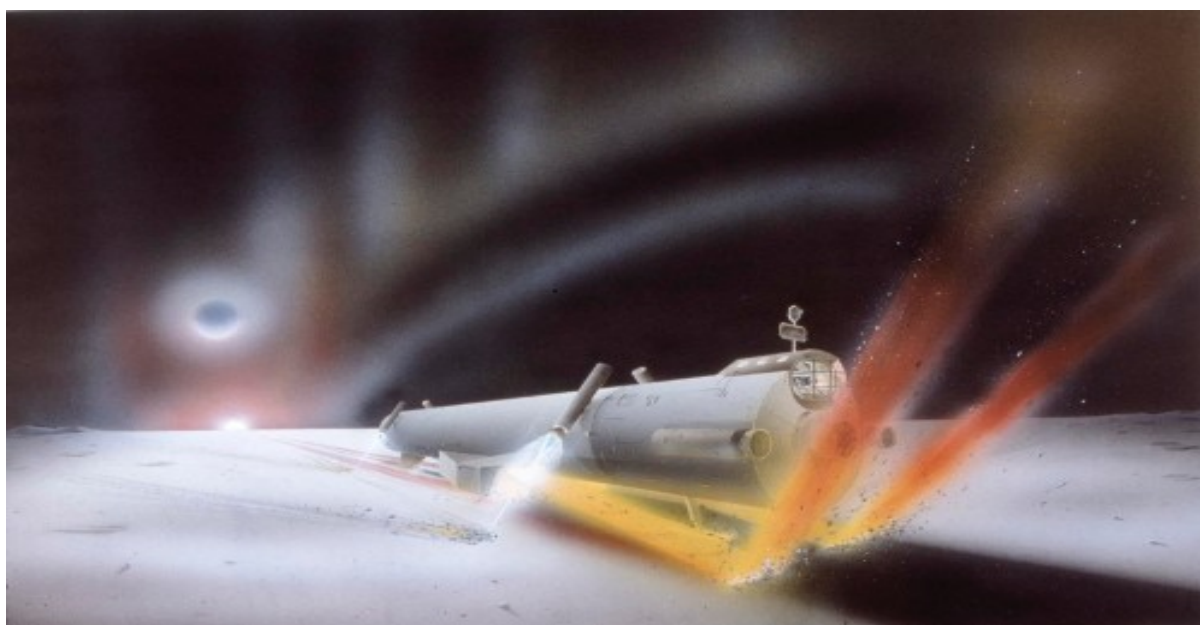
Tout ce que l'on sait faire aujourd'hui est d'avoir recours à des traitements chimiques pour détruire ces cellules mais on pourrait tout simplement imaginer de les « rallier à la raison ».

Comment y arriver ?

J'espère vous voyez à présent les avantages qu'aurait l'humanité à s'installer sur la Lune. Il ne nous manque pas grand chose pour être en mesure de réaliser ce type de projet. Il nous faut en premier lieu une fusée capable de transporter un cargo très lourd afin de déposer sur la Lune les premiers éléments d'une base qui serait ensuite assemblée et occupée par des astronautes.

A ce jour, il n'existe plus aucun lanceur lourd opérationnel dans le monde. Ont existé l'Energia russe et la fusée Saturne de la mission Apollo américaine. Ces fusées étaient capables d'emmener 100 tonnes dans la basse orbite terrestre (Low Earth Orbit). A titre de comparaison, Ariane aujourd'hui n'envoie qu'une vingtaine de tonnes en basse orbite. Faute de projets, les compétences des ingénieurs se perdent, et depuis l'abandon de la Navette spatiale, les Américains ne sont même plus capables aujourd'hui d'envoyer des hommes dans l'espace ! On ne lance plus que des satellites. Ce n'est pas cela l'exploration spatiale !

Avec la vision d'une base sur la Lune, nous avons besoin de développer de nouveaux lanceurs. Les Russes nous ont appelé à le faire, notamment avec le projet de navette Clipper, une fusée réutilisable. Bien sûr, sans vision d'avenir, les Européens ont refusé. Il nous faut aussi développer une navette, qui fera exclusivement le trajet entre la basse orbite terrestre et la basse orbite lunaire, et enfin un alunisseur pour se poser dans des régions situées près des pôles présentant du relief. Là-bas on peut trouver de l'eau, au fond des cratères jamais exposés à la lumière du Soleil.



Un alunoglisser, véhicule imaginé par Krafft Ehrlicke pour se poser en douceur sur la Lune. Peint par Chris Sloan sur les indications d'Ehrlicke

Tous ceux qui prônent l'exploration spatiale connaissent le programme nécessaire, mais on leur dit que c'est trop cher. Alors, pour une fois dans mon discours, je vais parler comme un pragmatique. L'espace nous fait bien au contraire gagner beaucoup d'argent, comme nul autre investissement ne saurait le faire. Avec le programme Apollo, on estime que pour chaque dollar investi le produit national brut des États-Unis s'est accru de deux dollars et demi, et le revenu de chaque américain de deux dollars en moyenne. Les dépenses de consommations se sont accrues quant à elles de un dollar et demi. Ces trois conséquences mises ensemble ont conduit à un retour pour l'impôt fédéral de 50 cents, sur chaque dollar investi au départ ! Vous ne pourrez jamais imaginer une meilleure affaire ! Et vous devez comprendre pourquoi.

Toutes les nouvelles technologies développées dans les domaines de l'informatique, de l'électronique et des matériaux pour le spatial se sont déversées dans l'industrie « civile ». Sans la conquête spatiale comme catalyseur, comme objectif à long terme, nous n'aurions jamais imaginé toutes ces solutions qui alimentent encore aujourd'hui ce qui reste de notre progrès, de notre économie, notre bien-être. C'est ça la vraie économie ! Une volonté, une vision du futur. Et c'est seulement après, sans véritablement le rechercher, que des bienfaits purement matériels voient le jour, et cela n'aurait jamais été possible avec une vision à court terme.

Il y a quelques années, j'ai rencontré plusieurs étudiants allemands à l'Agence spatiale européenne. Ils venaient tous pour la plupart de l'université de Stuttgart. D'ailleurs, à mon avis, c'est dans cette université que se trouve la meilleure formation en ingénierie spatiale de toute l'Europe. Très récemment, j'ai entendu parler d'eux. Ils développent un système permettant de ravitailler les vaisseaux dans l'espace. Je sais que ces étudiants sont créatifs, et je suis heureux que des jeunes aient encore la possibilité de s'investir dans ce genre de projet. Leur travail peut aboutir à une révolution pour le transport de gros tonnages vers la Lune. Avec un réapprovisionnement en basse orbite terrestre d'un lanceur lourd tel que celui qui a servi pour les missions Apollo, on peut espérer emmener une centaine de tonne de matériel sur la Lune. Sans ce réapprovisionnement, le même lanceur n'emmène que quelques tonnes.

Objectif Mars

Comme Krafft Ehricke et Van Braun l'ont fait en leur temps, nous avons des idées pour les quarante prochaines années, en ce qui concerne l'exploration spatiale. La Lune est une excellente plate-forme pour la poursuite de l'exploration spatiale. La gravité y étant bien plus faible que sur la Terre, il est beaucoup plus facile d'y faire décoller des fusées. Le propergol pourra être produit sur place à partir des ressources lunaires. Mais surtout, pour atteindre un objectif comme Mars, nous aurons besoin d'une véritable rupture technologique, car nous devons raccourcir considérablement le trajet, qui de l'ordre d'une année avec la propulsion chimique actuelle. Il faut par conséquent développer la propulsion ionique.

Dans l'espace, il n'y a aucun support pour produire une poussée. Ainsi, le seul moyen pour une fusée de se déplacer est d'éjecter de la matière, provoquant une poussée dans la direction opposée. Plus la vitesse du gaz éjecté est grande, plus la poussée est grande. Aujourd'hui, on éjecte le produit de la combustion chimique d'hydrogène et d'oxygène. Mais cette combinaison n'éjecte pas la matière à une très grande vitesse.



Le quartier d'hiver de Séléropolis, la capitale lunaire. Peint par Krafft Ehricke

La propulsion ionique consiste tout d'abord à ioniser un gaz. Un ion est une particule avec une charge électrique. Grâce à cette charge électrique, on est capable d'appliquer une force à cette charge et de l'accélérer grâce à un champ électrique. L'ionisation, ainsi que l'accélération des particules, consomme beaucoup d'énergie électrique. Il faudra alors alimenter la fusée avec un réacteur nucléaire. Ainsi, avec un gaz beaucoup plus léger, on peut produire une poussée beaucoup plus efficace et raccourcir le temps de trajet vers Mars à une trentaine de jours !

C'est grâce au principe de l'augmentation de la densité d'énergie dans la fusée que l'on réussit ce défi qui consiste à rendre une planète comme Mars accessible. Pour la Lune la propulsion chimique suffit, car elle est située à seulement trois jours de distance avec ce mode de propulsion. Pour toute autre planète cependant, comme je vous l'ai dit, il nous faut autre chose.

J'ai partagé avec vous mes réflexions en ce qui concerne notre impératif d'explorer l'espace. J'ai tenté de vous convaincre que nous en avons besoin pour un futur proche, mais je ne peux pas vous faire une démonstration logique que nous devons le faire. C'est avant tout une foi. La même foi qui pousse les scientifiques à rechercher : une foi qu'il existe des lois qui décrivent la nature et l'univers, une foi en la capacité de l'homme à découvrir ces lois, et enfin une foi que l'homme doit faire usage de ces connaissances pour sa prospérité et son bien-être.

Tout commence avec une foi, une intuition. C'est la façon dont Max Planck ou Godfried Leibniz pensaient la science. On ne peut démontrer qu'après coup que son intuition était la bonne, une fois que vous avez effectivement fait une découverte. C'est la même chose avec l'exploration spatiale. J'ai la foi que l'expansion dans l'espace est notre futur, et qu'un jour, nous rirons du fait que nous étions condamnés à rester sur Terre, de la même façon que l'on a cru que la Terre était plate.

Nous devons croire en notre capacité à modeler le futur tel que nous le rêvons. L'espace est une étape naturelle pour le futur de l'humanité. Et la nouvelle génération est prête pour cela !

ANNEXE

NAWAPA : une vue d'ensemble

La mise en œuvre du NAWAPA signifie une prise de décision audacieuse afin de solutionner les besoins à long terme de l'humanité pour les 50 prochaines années en ce qui concerne la gestion de l'eau ainsi que celle des autres ressources déjà connues et nouvelles. Cela implique que la civilisation humaine prenne en main sa propre destinée, en gérant les phénomènes à l'échelle continentale et mondiale plutôt que locale.



Une véritable gestion de l'eau

Par ses spécificités topographiques et ses courants d'airs océaniques, l'Amérique du Nord voit le quart de toutes ses précipitations annuelles (pluies et neiges) tomber sur une mince frange du continent. Ce sont 1,600 kilomètres cube (km³) d'eau qui s'écoulent directement dans les océans Pacifique et Arctique, sans être assimilés par la biosphère continentale, donc gaspillés. Au même moment, une large partie de la section ouest du continent demeure aride et incultivable.

NAWAPA est la solution à cette mauvaise distribution des précipitations : en utilisant 11% des eaux de ruissellement, soit 170 km³, des barrages et des tunnels placés stratégiquement créeront un système de captage énorme, de nouveaux réservoirs et canaux, tirant ainsi profit de la topographie naturelle de la chaîne des Montagnes Rocheuses et permettant une distribution d'eau aux terres desséchées ainsi qu'aux réseaux fluviaux stratégiques. Avec 24 km³ d'eau pour les provinces des Prairies canadiennes, 85 km³ pour les états de l'Ouest des États-Unis et la région des Grands Lacs, et 29 km³ pour le Nord du Mexique, c'est 140,000 km² de terre qui seront irrigués, doublant ainsi la surface actuelle de terres irriguées à l'ouest du Mississippi, et remplaçant les ressources des eaux souterraines aujourd'hui insuffisantes avec une source continue s'écoulant par gravité. Cela permettra d'alléger les coûts de pompage pour l'industrie agricole rétablissant du même coup sa productivité.

Nous savons que 40% des précipitations sur les continents (Catégorie A) retournent directement par ruissellement ou par les nappes phréatiques vers les océans, alors que 60% des précipitations sur le continent (Catégorie B) se ré-évaporent et retombent sur le continent, se recyclant 2.7 fois avant de retourner dans les océans. En construisant NAWAPA, 170 km³ des précipitations de la Catégorie A seront intégrés à la Catégorie B, pour être utilisés plusieurs fois plutôt qu'une, en se ré-évaporant et répliquant le cycle sur le continent avant de sortir du système avec un rythme et une durée accrue par le biais des plantes et l'évapotranspiration des sols, ainsi que par d'autres techniques d'ingénierie biosphérique.

Le Réseau ferroviaire

Pour une construction efficace de NAWAPA et une utilisation optimale des régions du Nord :

- Plusieurs lignes de chemin de fer de l'Union Pacific, de la Burlington Northern Santa Fe, et du Canadien Pacifique, allant du Midwest américain à travers l'Idaho jusqu'à la tranchée des Montagnes Rocheuses, nécessiteront un doublement sinon un triplement des voies.
- Le chemin de fer Alaska-Canada doit être finalement complété, avec deux lignes doubles

connectant Prince George à Fairbanks et Dawson Creek à Fairbanks, totalisant 3,540 km de rail.

- 1569 km de lignes doubles joindront Fairbanks, Alaska, avec Egvekinot, Chukotka, incluant un tunnel et/ou un pont de 96 km traversant le détroit de Béring.

Création d'Emploi

NAWAPA lui-même créera directement et indirectement 4 millions d'emplois, en plus des 1,5 million possibles par l'usage de la technologie nucléaire pour produire 30 000 MW (mégawatts) d'électricité pour alimenter le système de pompage, pour un total de 5,5 millions de nouveaux emplois créés.

La révolution des Grands Lacs au Canada

Le Canal Érié fut une transformation révolutionnaire, ouvrant le Midwest américain au commerce et fit de la ville de New York une métropole. Également, les canaux pour le transport par barges du NAWAPA qui relieront le Lac Supérieur à l'Océan Pacifique, ainsi que la Baie d'Hudson, la Baie Georgienne et les mines du Labrador et du Québec aux Grands Lacs, transformeront les sols riches en minerai autrefois difficiles, voire impossibles à exploiter en raison de problèmes d'accès, menant vers une explosion du potentiel minier, industriel, technologique et scientifique le long des berges des canaux, comme ce fut le cas avec le corridor industriel du Mississippi.

Efficacité dans la conception

La conception du NAWAPA a été faite de manière à obtenir le plus grand impact pour le plus petit nombre de réservoirs et de systèmes de distribution. 3150 projets individuels de gestion d'eau avaient été autorisés ou proposés par les Corps d'ingénieurs de l'armée américaine en 1966, pour 3,330 km³ de capacité de stockage d'eau. NAWAPA ne nécessite que 369 projets individuels pour une capacité de stockage d'eau de 5,300 km³.

Liste des matériaux et procédés

Afin de construire les ponts, barrages, canaux, réservoirs, aqueducs et tunnels du NAWAPA, il faudra au moins :

- Des centaines de millions de poches de ciment, 441 millions de tonnes de fer, des dizaines de millions de tonnes de cuivre et d'aluminium, et une vaste panoplie de nouvelles machines seront requis pour construire le projet et déplacer environ 24,5 km³ de terre.
- Creuser 50 tunnels pour une distance totale de 1600 km, déplaçant 660 millions de mètres cube de roches, utilisant un nombre sans précédent de tunneliers, et possiblement de nouvelles techniques.
- Une quantité non-définie de demandes pour la production d'équipements électriques lourds, incluant : a) centrales énergétiques, incluant biefs, conduites forcées, portes de digue, turbines, unités de génératrices, appareillage et, b) stations de pompage, incluant de puissants moteurs, pompes, et valves, conduites d'entrée et de sortie.

Renaissance nucléaire

Le système de pompage Sawtooth en Idaho, haut de 750 mètres, nécessitera 26 000 MW d'énergie, qui pourront être fournis par 65 réacteurs modulaires de 400 MW chacun, comme le modèle PRISM de GE-Hitachi. La présente génération de réacteurs nucléaires canadiens CANDU-6 subviendra à la demande énergétique importante pour les stations de pompage le long de la voie maritime Canada-Grands Lacs.

Cependant, le défi que représente le développement des régions éloignées de l'Arctique nous donne l'opportunité de progresser vers des réacteurs nucléaires de la quatrième génération, à haute température et à sécurité intrinsèque. Ces réacteurs fourniront non seulement de l'électricité mais aussi une chaleur industrielle à très haute température, permettant ainsi le raffinement du pétrole sur place, la production d'essence synthétique et le dessalement de l'eau de mer.

Hydroélectricité

Grâce à l'utilisation du relief continental, NAWAPA générera annuellement 40 000 MW d'énergie en surplus au Canada (32 000 MW en Colombie-Britannique, 2000 MW au Yukon, 6000 MW au Manitoba) et 33 000 MW aux États-Unis, grâce à l'écoulement par gravité.

Réorganisation planétaire et hémisphérique

L'approche NAWAPA implique un changement dans l'organisation de la planète dans son ensemble, et sa mise en œuvre entraînera le développement d'autres pays en tant que véritables états-nations souverains, qui utiliseront la totalité de leur territoire pour accroître les bienfaits scientifiques ainsi que le pouvoir de leurs citoyens. L'accroissement de la densité des infrastructures et des techniques de gestion du sol mèneront à un accroissement garanti des pouvoirs productifs de la main-d'œuvre, par unité de surface, à un degré jamais vu auparavant, sur chaque continent où le principe sera mis en application.

Avancées scientifiques

En plus de transformer la planète grâce à sa gestion continentale de l'eau, NAWAPA est un programme scientifique dans le véritable sens du terme :

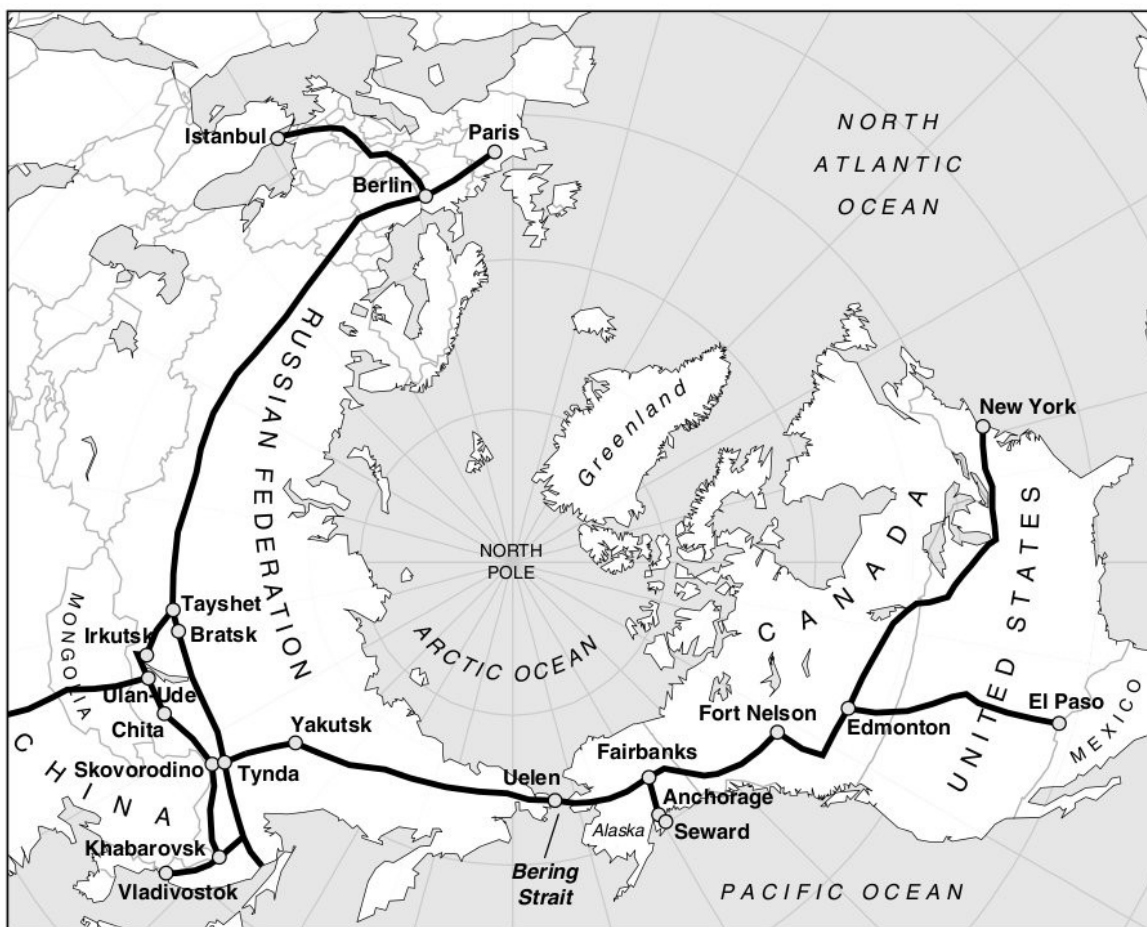
La mise en marche d'un système de gestion de réservoirs de cette taille, le long d'un corridor continu, engendrera très certainement des transformations qualitatives, quoique imprévisibles, dans la coordination scientifique et technologique générale.

La création de 50 larges tunnels, totalisant plus de 1600 kilomètres, donne une idée des percés à accomplir dans le domaine de la cartographie géologique, ainsi que des découvertes fondamentales à faire dans notre compréhension de la création biosphérique de la croûte terrestre, et la nature de ses minerais biogéniques utiles. Créer une présence humaine permanente et croissante dans les régions du Nord transformera notre perspective scientifique actuelle de l'Arctique, passant de stations de recherches isolées dans des conditions dangereuses et éloignées, à une capacité scientifique active.

Et puisque l'Arctique est à une proximité unique des conditions électromagnétiques singulières des régions polaires, une compréhension du système des relations électromagnétiques qui détermine les interactions magnétiques entre la Terre, le Soleil et le Système solaire, et qui a déterminé les processus évolutifs de la biosphère, pourra finalement être ajouté aux connaissances de l'homme et à son économie.

En restaurant une gestion stricte et constante du cycle hydrologique, de nouvelles percées verront le jour dans l'ingénierie biosphérique du climat, de la vie végétale, de l'eau souterraine et des sols. Par la gestion rapprochée des 240 réservoirs de NAWAPA, non seulement la production continentale de poissons et de protéines aquatiques sera multipliée plusieurs fois, mais de nouvelles frontières seront établies dans notre connaissance des impacts des réservoirs, et dans les méthodes de traitement de l'eau, maîtrisant ainsi l'utilisation et l'ingénierie des micro-organismes, poissons et plantes.

Avec la réalisation du projet NAWAPA, l'humanité, au lieu d'être assujettie aux caprices de la nature et des conditions locales, prendra en main sa propre évolution et celui de son environnement.



Appel à un Glass-Steagall global

En signant cet appel, nous prenons parti. Notre projet vise à créer les conditions d'une relance de l'économie physique au service de l'Homme. Nous sommes convaincus que cette démarche est la seule de nature à créer les ressources nécessaires aux générations futures et à stopper une logique de guerre.

1. **Dans tous les États de la zone transatlantique**, des lois doivent être votées afin d'instaurer un système de séparation des banques, à l'image de la loi Glass-Steagall de Franklin Roosevelt, adoptée le 16 juin 1933 et dont les principes existaient aussi dans les États européens jusqu'au début des années 1980, sous forme de réglementations strictes, en vertu desquelles le secteur bancaire avait un caractère industriel dominant rendant pratiquement impossible d'accéder à l'épargne privée pour mener des opérations spéculatives à risque.

Comme ce fut le cas aux États-Unis avant l'abrogation de la loi Glass-Steagall par la loi Gramm-Leach-Bliley, en 1999, il faut totalement séparer les banques commerciales (aux fonctions de dépôt et de crédit), des banques d'investissement et du secteur de l'assurance.

2. **Les banques commerciales doivent être protégées par l'État** tandis que les banques d'investissement doivent se charger elles-mêmes de mettre de l'ordre dans leurs bilans sans que les contribuables soient mis à contribution, ce qui veut dire, en pratique, que **des milliers de milliards de créances et de titres toxiques devront être annulés**, même si cela provoque l'insolvabilité des banques.

3. Dans la logique du nouveau principe de crédit, **un système de banque nationale, inspiré par le précédent d'Alexandre Hamilton, doit organiser l'émission de crédits à long terme et à faible taux d'intérêt** en faveur d'investissements destinés à augmenter la productivité de l'économie, en privilégiant un accroissement du flux de densité d'énergie et le progrès scientifique et technique.

4. Pour reconstruire l'économie réelle, **des accords de coopération à long terme entre États souverains doivent être conclus, ayant pour objectif la réalisation de projets d'infrastructure et de développement** définis dans le cadre d'un programme méditerranéen et Nord-américain pour un nouveau miracle économique, conçu comme l'extension nécessaire d'un pont terrestre mondial. Ces accords se traduiront de fait par un nouveau système de crédit et un nouveau Bretton Woods, dans la tradition de Franklin Roosevelt.

Introduire une loi sur la séparation des banques et l'instauration d'un système de crédit ne vise en aucun cas à une simple amélioration technique du système bancaire, mais plutôt à organiser la manière dont l'économie pourra assurer l'existence de l'humanité sur plusieurs générations à venir, afin que la richesse créée et constamment accrue puisse être transmise à ces générations. L'homme doit redevenir ainsi le centre et le but de l'économie.

Nous, soussignés, appelons de toute urgence les gouvernements et les parlements à remplir leur devoir constitutionnel et à adopter immédiatement le système de séparation des banques, afin de protéger le bien-être des peuples dont ils sont les représentants.

Je soutiens cet Appel pour un Glass-Steagall Global

Prénom _____

Nom _____

Profession _____

Organisation _____

Ville _____

Province _____

Téléphone _____

Courriel _____

En signant, je m'engage à ce que mon nom puisse être rendu public.



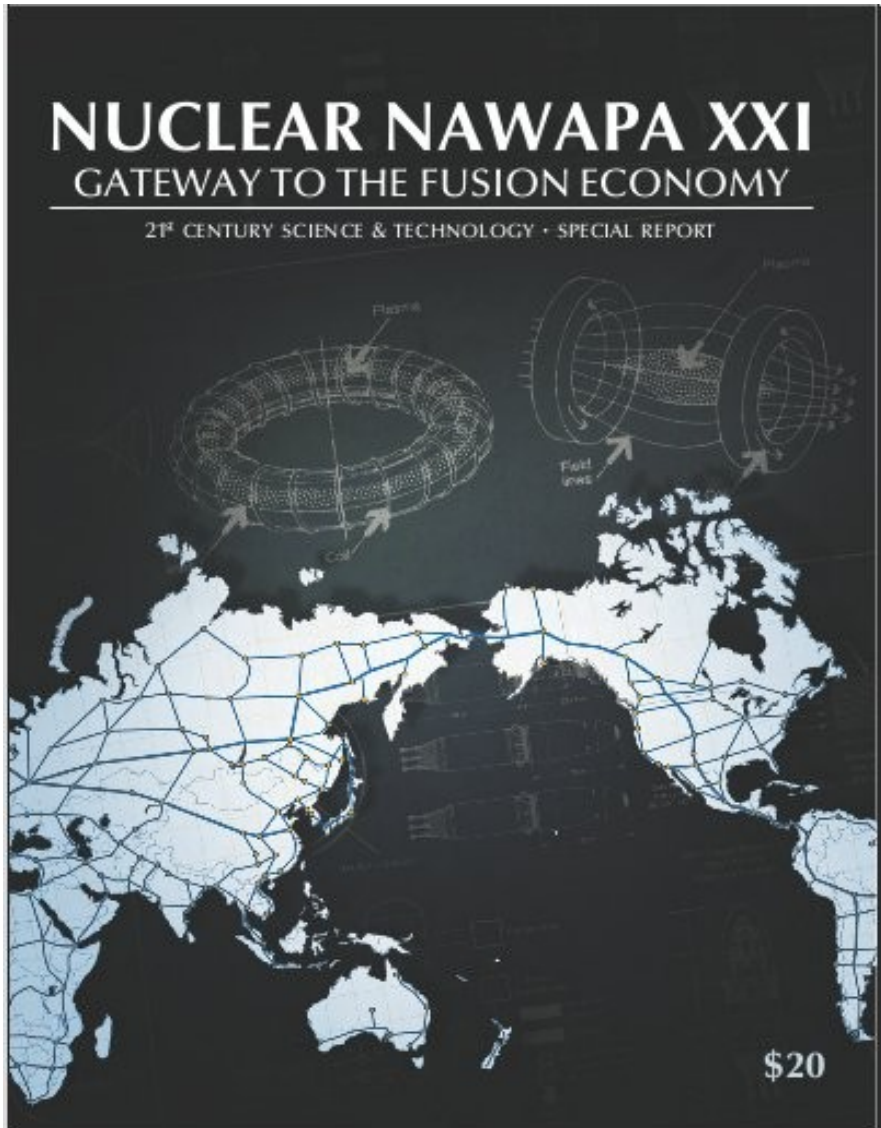
L'Art et la Science!
[l'espace, destination naturelle de l'humanité](#)



Amérique du Nord
[\(NAWAPA\) North American Water And Power Alliance : une vue d'ensemble](#)



[La science au peuple : retour sur l'amarsissage de Curiosity](#)



À lire :

'Nuclear NAWAPA XXI: Gateway to the Fusion Economy'
-Special report
(en anglais seulement)

Également
Les Bulletins du Comité

Je souhaite appuyer votre travail et vos efforts \$ _____.

Je souhaite recevoir votre publication bi-mensuelle \$65.



www.comiterepubliquecanada.ca
ecrivez@comiterepubliquecanada.ca
tél. (514)461-1557 (514)461-7209
Skype: cdi.crc

www.committeerepubliccanada.ca
writeto@committeerepubliccanada.ca