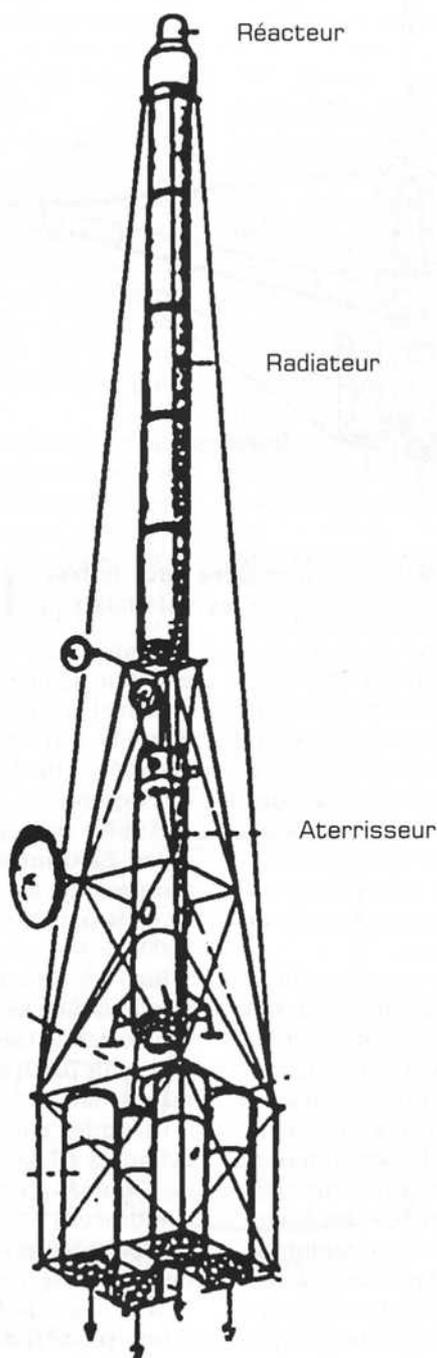


Un pari audacieux

La propulsion spatiale par fusion

En dépit d'un accroissement considérable de sa fiabilité, notre astronautique est restée très conventionnelle et des concepts comme la fusée Saturn, le Shuttle, Ariane 5, Delta 4 et Atlas 5 reposent sur des principes techniques définis et mis en œuvre au cours de la Seconde Guerre mondiale dans le V2 de Werner von Braun. Bien qu'incapable de dépasser l'orbite basse, la navette spatiale américaine constitue un plus dans le transport d'équipages et de matériel. Les recherches sur les propulseurs aérobies (utilisant l'oxygène de l'air comme comburant) marquent le pas; de plus, ils relèvent du domaine conventionnel et ne pourraient nous permettre par exemple, de coloniser Mars. Ces contraintes n'affectent pas les formes de propulsion de type nucléaire, qui, outre leurs performances très supérieures en matière de durée de trajet et de masse d'emport par rapport aux moteurs chimiques, possèdent une configuration où la source d'énergie est indépendante de la matière éjectée qui, dans ce cas, est appelée « propulsif ». Ce propulsif, très efficace dans le cas de l'hydrogène liquide, n'est pas le produit d'une réaction chimique. C'est la raison pour laquelle le nucléaire spatial est considéré comme une forme de propulsion non propergolique¹. Ses performances sont, comme nous l'avons dit, incomparablement supérieures aux formes de propulsion chimique. Nous reviendrons sur cet aspect des choses en montrant les avantages, mais aussi les limites, des moteurs non propergoliques et en présentant de manière objective une solution autrement plus performante et nécessaire, à savoir la propulsion par fusion inertielle. Plus que d'autres modes propulsifs possibles faisant appel à la fusion, celle-ci semble mieux adaptée aux voyages spatiaux lointains comme le montrent les études effectuées par des spécialistes comme Friedwardt Winterberg, W.A. Reupke, Kammash, D. Galbraith et

PHILIPPE JAMET



plus récemment (2000-2001) par Robert W. Bussard qui travailla dans le passé sur le programme Rover de recherche-développement sur le nucléo-thermique et participa à la mise au point des réacteurs du projet Nerva.

Les réacteurs nucléo-thermiques (ainsi que nucléo-électriques qui ont beaucoup progressé (voir Fusion 101) offrent une technique qui pourrait nous permettre des vols habités de six mois vers Mars (en suivant une orbite de Hohmann), avec une faible gravité artificielle sur une partie rotative de l'habitat, qui serait sans conséquence pour la santé de l'équipage comme l'ont montré les missions de longue durée des cosmonautes soviétiques Polyakov et Romanenko sur la station MIR. Il apparaît possible de mener des missions de longue durée vers Mars et même un débarquement important d'hommes et de matériel, par étapes et à partir de deux gros vaisseaux assemblés en orbite lunaire et construits majoritairement avec des composants lunaires : ne viendraient de la Terre que les réacteurs nucléaires, l'avionique, l'informatique, les systèmes de survie et les appareils scientifiques, tous mis en orbite basse par un lanceur lourd de la classe 150 tonnes puis transférés vers l'orbite lunaire par un remorqueur utilisant soit la propulsion cryotechnique soit la propulsion nucléaire comme l'ont proposé Stanley Borowski et ses collaborateurs. Nous avons proposé une telle stratégie dans le dossier « Faire renaître la vie sur Mars » paru dans Fusion 63 (novembre-décembre 1996). Toutefois, après les premières étapes franchies d'implantation et d'industrialisation de Mars et la mise en place sur des bases solides des fondements de la science martienne, les impératifs de masse d'emport et de durée du trajet Terre-Mars et Mars-Terre nécessiteront des systèmes de propulsion bien plus performants que le nucléaire classique. S'y ajoutent comme justi-

ficatifs, les perspectives d'expansion de l'Homme dans le système solaire, la colonisation des satellites de Jupiter (Ganymède et Callisto), une base scientifique sur Titan (satellites de Saturne avec une forte chimie prébiotique) et la desserte de bases scientifiques installées sur les satellites de planètes lointaines comme Uranus (Titania, Obéron, Umbriel, Ariel) et Neptune (Triton). Pour tous ces astres du système solaire, l'investigation par l'Homme a été faite par des sondes bardées d'instruments scientifiques, et pour certaines, de capteurs alimentés en énergie électrique par des générateurs radio-isotopiques RTG, mais au prix de voyages ayant duré des années : ainsi la sonde Voyager 2, lancée le 20 août 1977, passa Jupiter le 9 juillet 1979, puis en août 1981, survola Saturne et ses satellites, Uranus le 24 janvier 1986 puis Neptune et son satellite Triton le 24 août 1989. Les chiffres sont sans appel et il aura fallu douze années à Voyager 2 pour accomplir sa mission.

libéralisme qui influence les politiques de la science et de la technologie en focalisant à l'excès sur des programmes à court terme) et pour des raisons de sous-estimation des barrières technologiques et fondamentales à franchir. D'autres voies que le confinement magnétique et inertiel ont été proposées par Andreï Sakharov et le mathématicien et physicien américain Leon Ledermann : celui-ci avait une approche de mode opératoire de la fusion thermonucléaire dérivée de la physique des particules et malgré plusieurs présentations de cette approche dans des colloques, aucun programme ne fut jamais lancé.

Outre les problèmes technologiques spécifiques à la propulsion par fusion, persiste une attitude mentale négative des décideurs : ceux-ci, par un raisonnement à courte vue, considèrent que toute percée dans le domaine technologique ne pourra dépasser le stade de concept sur papier que si elle correspond aussi à un besoin et à une demande du système technique et économique à court et

moyen terme qui font de cette percée une innovation, pour reprendre le terme employé par les économistes spécialisés dans le domaine du changement technique. Ce besoin et cette demande seront mal perçus par les acteurs du système économique si ceux-ci raisonnent d'une façon linéaire et dans le court terme ou, dans le cas du domaine spatial, en fonction d'une stratégie marketing, un nouveau moteur de développement spatial devant succéder à ou coexister avec celui qui l'a précédé.

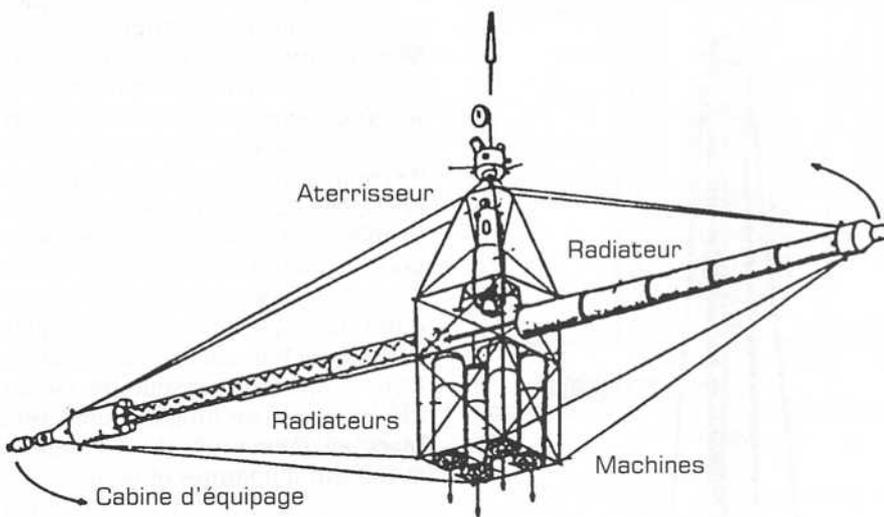
Pour ce qui concerne l'espace et la nécessité de programmes spatiaux à long terme nous permettant de coloniser tout le système solaire, il est indispensable de rejeter cette attitude car elle occulte la convergence entre les potentialités offertes par l'espace et les besoins et les demandes d'une société industrielle en expansion sur les plans économique, énergétique

et même démographique et écologique à plus long terme comme l'ont montré le pionnier Krafft Ehrlicke, le canadien FW. Schultz et *Fusion* dans un article paru en 1992, intitulé : « Tirer la croissance économique par la conquête de l'espace ».

D'autre part, il faut également tenir compte du fait qu'en 2100 nous serons 12 milliards et que les calculs montrent qu'avec un taux de croissance démographique de 0,5% par an par rapport à la population actuelle, d'ici 5000 ans nous serions 275 milliards d'habitants sur Terre.

Bien sûr, bien avant cette date, la majorité de la population humaine se sera installée dans des villes de l'espace aux Points de Lagrange du système Terre-Lune (L1, L2, L3 mais plus particulièrement les zones de stabilité L4 et L5) ou sur Mars.

Parmi les concepts de villes de l'espace, existent les cylindres de O'Neill, le Tore de Von Braun ou le Tore de Stanford mais aucun n'est comparable au concept « Androcells » de Krafft Ehrlicke basé sur la fusion nucléaire et possédant une gravité artificielle à 80% de la gravité terrestre. Ehrlicke, conscient des limites inhérentes à la Lune en matière de capacité d'accueil d'une population humaine importante, avait imaginé



Page précédente : **Vaisseau nucléaire pour le fret.**
 Ci dessus : **Vaisseau nucléaire pour les vols habités.**

Si l'on veut pouvoir permettre l'expansion de l'homme dans le système solaire, il nous faut des solutions novatrices réduisant les temps de voyage à quelques mois entre la Terre et les planètes extérieures et à dix à quinze jours pour Mars, même lorsque les deux planètes ne sont pas en position favorable : besoins de matériel médical, scientifique et technologique causés par une situation inattendue et des missions de secours nécessitent un transit rapide dans les deux sens que ne nous permettent pas les technologies nucléaires classiques.

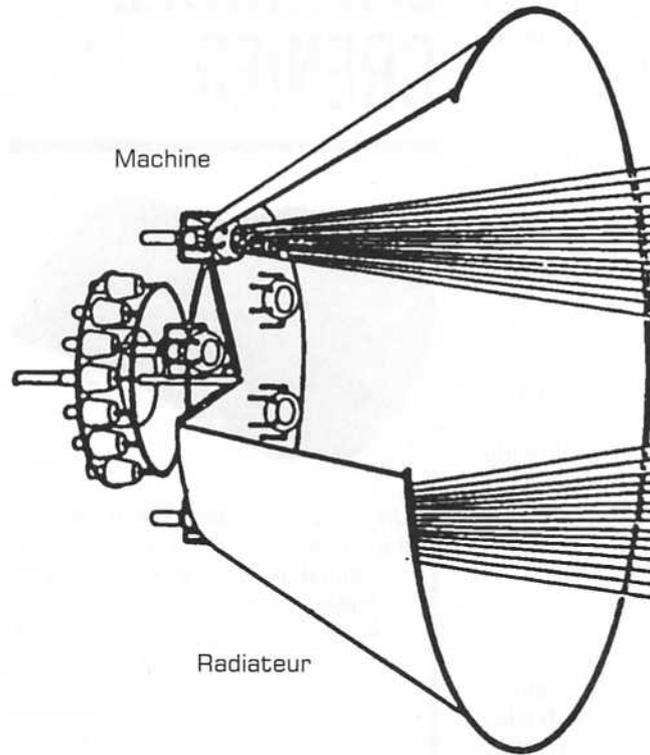
Sans nier l'intérêt de concepts futuristes qui pourraient nous permettre les premiers voyages interstellaires, la voie impérative en matière de recherche-développement est la fusion thermonucléaire contrôlée qui devra être miniaturisée pour être intégrée comme mode de propulsion à un vaisseau spatial. Malgré la récente décision d'implanter le réacteur expérimental ITER à Cadarache, les programmes de recherche sur la fusion (confinement magnétique avec ITER et tokamak et confinement inertiel par des lasers de grande puissance) ont pris un retard considérable, à la fois pour des raisons politiques (manque de volonté des pouvoirs publics, lobbies pétroliers peu désireux d'un concurrent redoutable en matière énergétique,

un système de villes mobiles pouvant répondre à des impératifs d'industrialisation ou stratégiques, dans tout le système solaire. Ces villes feraient appel à la fusion thermonucléaire non seulement pour la propulsion et la fourniture d'énergie, mais également pour l'extraction et le traitement des métaux des astéroïdes : ces opérations, qui feraient appel à des robots et des personnels qualifiés, serviraient pour la fourniture de matériaux stratégiques à la Terre et à la Lune et, également pour de nouvelles cités Androcells qui accueilleraient de nouveaux colons attirés par les possibilités offertes par ce type d'industrialisation et le haut niveau de vie engendrée par ce concept.

Ce système permettrait d'opérer très loin du Soleil car l'efficacité du nucléaire (fission et fusion) est indépendante de la distance par rapport au Soleil : ainsi on pourrait installer des bases scientifiques avancées sur les gros objets hybrides (présentant à la fois les caractères des astéroïdes et des comètes) de la ceinture de Kuiper, y faire des expériences scientifiques d'exobiologie, y extraire de l'eau et des métaux. Le système Androcells d'Ehricke pourrait également permettre un niveau élevé de vie à un nombre illimité d'êtres humains et de préparer les premières missions interstellaires à partir du nuage cométaire de Oort, qui serait accessible aux Androcells grâce à la propulsion par fusion, puis par la propulsion matière-antimatière ou quelque autre « invité inattendu du progrès technologique ».

Mais bien avant l'arrivée de tous ces nouveaux concepts, il nous faut déjà nous impliquer sur la propulsion par fusion comme l'ont fait le Dr. Winterberg (qui a reçu en 1978 la médaille d'or Hermann Oberth pour ses travaux sur la propulsion thermonucléaire) et aujourd'hui Robert Bussard. Edward Teller, qui joua un rôle de premier plan dans les recherches sur les armes de l'IDS (Initiative de Défense stratégique), pensait que la propulsion spatiale par fusion pouvait être mise au point avant que celle-ci, sur Terre, ne fournisse de l'énergie à des centrales fonctionnant en mode confinement magnétique ou inertiel. Teller, comme Winterberg, pensait que la réalisation de l'IDS aurait pu nous donner les instruments pour explorer toutes les lois de la nature et notamment la fusion par confinement inertiel car, comme le pensaient les auteurs précités, la fusion par confinement magnétique n'est pas très adéquate pour le vol spatial et dont nous n'en parlerons pas ici. Dans la fusion par confinement inertiel, des lasers ultra puissants et d'autres types de rayonnement, comme des faisceaux de particules, sont focalisés sur des petites billes contenant, par exemple, du deutérium et du tritium. Cette focalisation déclenche des explosions thermonucléaires suffisamment puissantes et en même temps concentrées pour que l'on puisse les confiner dans un réacteur capable d'en extraire l'énergie et propulser un vaisseau spatial. Comme l'a écrit Winterberg : « L'impulsion spécifique mesure en secondes

l'impulsion par unité de poids. Plus celle-ci est élevée, plus la source énergétique est efficace. La poussée est la force produite par l'expulsion des gaz. Seul un système de propulsion thermonucléaire combine à la fois des valeurs élevées de l'impulsion spécifique et de la poussée. Comparé à la propulsion chimique ordinaire, le passage à la propulsion thermonucléaire correspond au passage de la galère au navire à vapeur ». Dans un tel système les billes combustibles, approximativement de la taille d'un cachet d'aspirine, libèrent, après bombardement puis explosion, l'équivalent énergétique d'une dizaine de tonnes de TNT. Comme l'écrit encore Winterberg : « On voit immédiatement que le développement de telles



Propulseur à fusion à six unités avec accélération post-MPD.

fusées fait appel à la combinaison de deux technologies : la fusion, qui a lieu à des températures extrêmement élevées, et la supraconductivité, une des technologies des très basses températures. La température des boules de plasma créées par chaque microexplosion est si élevée qu'il faut éviter tout contact avec le vaisseau spatial. On résout ce problème de manière élégante en protégeant le vaisseau par un bouclier magnétique produit par les électroaimants supraconducteurs refroidis à l'hélium liquide ». Certaines études montrent tout l'intérêt d'utiliser comme combustible une combinaison deutérium-hélium3 mais des spécialistes comme Robert W. Bussard, qui défend le concept IEF (fusion par confinement inertiel électrostatique), estiment que le meilleur propergol pourrait être composé à base de deutérium dénommé DFP et chauffé par le moteur à fusion dans le cadre d'une configuration d'engin à un seul étage capable de mettre en orbite des charges utiles quatorze à dix-huit fois supérieures à celles des lanceurs lourds conventionnels.

La principale difficulté sera, nous l'avons déjà souligné, de miniaturiser les moteurs à fusion spatiaux par rapport à leurs homologues terrestres. Il suffit de regarder le gigantisme du laser français à mégajoules pour s'en convaincre.