



# PLANÈTE MARS



Numéro 45 Bulletin de l'association Planète Mars, 28 rue de la Gaîté 75014-Paris [www.planete-mars.com](http://www.planete-mars.com) octobre 10

ISSN 1772-0370

## EDITO : MARS, TERRAIN DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE

Alors que la NASA n'est pas sortie des turbulences générées par les nouvelles orientations de l'équipe Obama sur l'exploration, que l'Europe cherche toujours sa voie dans ce domaine entre les orientations US et la pression des nouveaux entrants (Japon, Chine, Inde), il est un secteur où la coopération européenne-américaine semble donner l'exemple : celui de l'exploration robotique de Mars. Confrontés tous les deux à des difficultés budgétaires, les USA et l'Europe se sont mis d'accord fin 2009 pour coopérer sur les prochaines missions au-delà du Mars Science Laboratory (MSL) dont le lancement est prévu fin 2011. D'ailleurs même cette mission, vue de loin comme purement américaine, fait appel à des expériences canadiennes, russes, espagnoles et françaises. Ainsi la France fournit-elle le CHEMCAM-MU (ensemble mât, laser, télescope, caméra), expérience qui, à coups de laser sur les roches, permettra de les analyser à distance.

Au-delà, donc, le programme Exomars est devenu fortement européen-américain. Ne comportant initialement qu'une seule mission, il est maintenant fait de deux missions successives. La première, sous maîtrise ESA, comporte un orbiteur qui recherchera des traces de gaz, comme le méthane, et leurs sources, et un atterrisseur sans rover. Cela permettra à l'Europe de maîtriser la rentrée atmosphérique martienne et l'atterrissage. La NASA contribue à cette mission en fournissant la majorité des instruments de l'orbiteur et le lancement prévu en 2016. La deuxième mission, sous responsabilité NASA, verra l'envoi de deux rovers sur Mars, l'un européen et l'autre américain. On se prend à imaginer les opérations nouvelles que pourront exécuter deux véhicules opérant conjointement en un même endroit de la planète. Le rover européen sera spécialisé dans la recherche de traces de vie. Le rover américain, lui, commencera la collecte d'échantillons destinés à être rapportés sur Terre lors d'une mission ultérieure. Cette mission utilisera un lanceur US pour un décollage prévu en 2018. La mission de retour d'échantillons pourrait avoir lieu en 2024.

Cette exploration robotique en commun trace-t-elle la voie pour les futurs vols humains en coopération vers Mars?

**Alain Souchier**

*Président de l'association Planète Mars*

### Dans ce numéro :

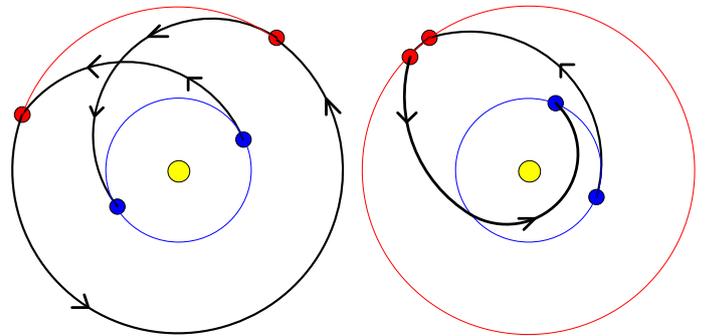
- Nous n'irons pas sur Mars en 39 jours p.1
- La vie de l'association p.4
- L'aventure Mars Express (première partie) p.5
- On to Mars ! Mars, nous voici ! p.8

*prochain numéro : janvier 2011...*

## NOUS N'IRONS PAS SUR MARS EN 39 JOURS (mais nous irons quand même !)

**Franklin Chang-Diaz, ancien astronaute et concepteur du propulseur VASIMR, annonce que cette technologie pourrait permettre d'aller sur Mars en 39 jours. Notre analyse.**

En 2002, Chang-Diaz affichait déjà dans l'une de ses présentations le chiffre de 39 jours pour aller sur Mars. Un chiffre qui fait rêver, particulièrement quand on sait qu'un trajet en propulsion chimique ou en propulsion nucléo-thermique nécessite au minimum 180 à 230 jours de trajet aller selon le type de trajectoire choisi (conjonction ou opposition).



**Trajectoires possibles en propulsion chimique ou nucléo-thermique :** à gauche (type « conjonction »), les trajets nécessitent environ 6 mois chacun et un séjour planétaire long (500-600 jours) ; le temps total de la mission est donc d'environ 2 ans ½ ; à droite (type « opposition »), la mission est globalement plus courte (1an ½) mais les temps de trajet sont plus longs (8 à 9 mois) et on ne passe qu'un ou deux mois sur place.

Depuis 2005, Franklin Chang-Diaz a quitté la NASA pour monter sa société Ad-Astra, et faire progresser la maturité de son propulseur VASIMR. En 2010, son « Mars en 39 jours » revient et fait grand bruit dans le monde du spatial, notamment car sa société est montrée en exemple de ce que souhaite le gouvernement américain pour le spatial : plus de rupture technologique et un rôle plus important des sociétés privées. Revenons un peu sur ces alléchants « 39 jours », dont la valeur non arrondie rappelle un peu les stratégies marketing classiques.

Comment fonctionne ce propulseur et pourquoi, et surtout pour quand, permettrait-il de réduire significativement la durée de missions martiennes habitées ?



**L'idée de VASIMR** remonte à 1979, alors que Chang-Diaz travaillait au MIT sur les miroirs magnétiques pour la fusion nucléaire. Il a ensuite mûri le concept pendant plusieurs années et déposé deux brevets. (DR)

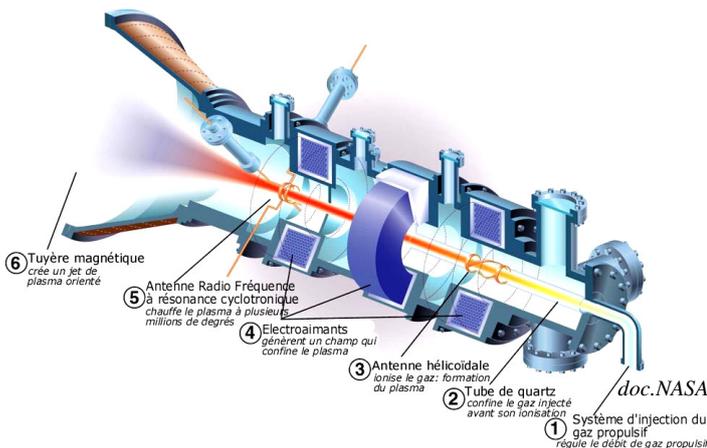
**Le concept de propulseur VASIMR et ses différences avec les autres propulseurs « électriques »**

VASIMR (pour Variable Specific Impulse Plasma Rocket) est un propulseur qui fonctionne avec une source de puissance électrique. Il peut fonctionner théoriquement avec différents ergols comme le Xénon, l'Argon, l'Hydrogène et le Deutérium. Le principe de fonctionnement des différents propulseurs « électriques » spatiaux est le même : on ionise un gaz neutre et on procède ensuite à une accélération, soit par un champ électrique agissant sur les ions (propulseurs ioniques à grille, propulseurs à effet Hall), soit par un champ électromagnétique agissant sur le plasma (propulseurs magnéto-plasma-dynamiques), c'est le cas de VASIMR.

Les propulseurs électrostatiques et les propulseurs électromagnétiques utilisent en général des électrodes pour l'étape d'ionisation. L'inconvénient est généralement que celles-ci peuvent être sensibles à l'usure lorsqu'on fonctionne à très forte puissance.

Pour cette étape d'ionisation, VASIMR utilise la technologie dite « Helicon » (ondes radiofréquence de 10-50 MHz qui communiquent de l'énergie aux électrons libres du gaz), **qui permet d'ioniser un gaz neutre sans utiliser d'électrodes. Cela constitue un avantage très important du propulseur VASIMR par rapport aux autres concepts de propulseurs pour les très fortes puissances.**

De plus, VASIMR utilise un procédé de chauffage du plasma par **résonance cyclotron des ions**, issu de travaux de recherche sur la fusion nucléaire : le plasma est confiné entre deux miroirs magnétiques, **ce qui permet d'atteindre des températures impossibles autrement (1 million de Kelvin !)** et d'obtenir de très bonnes performances. Au bout d'un moment, les particules sont tellement déstabilisées qu'elles finissent par se libérer des miroirs magnétiques. Elles sont alors accélérées dans une tuyère magnétique (en fait plus qu'une accélération, il s'agit de redresser leur vitesse qui est initialement perpendiculaire à l'axe de poussée souhaité).

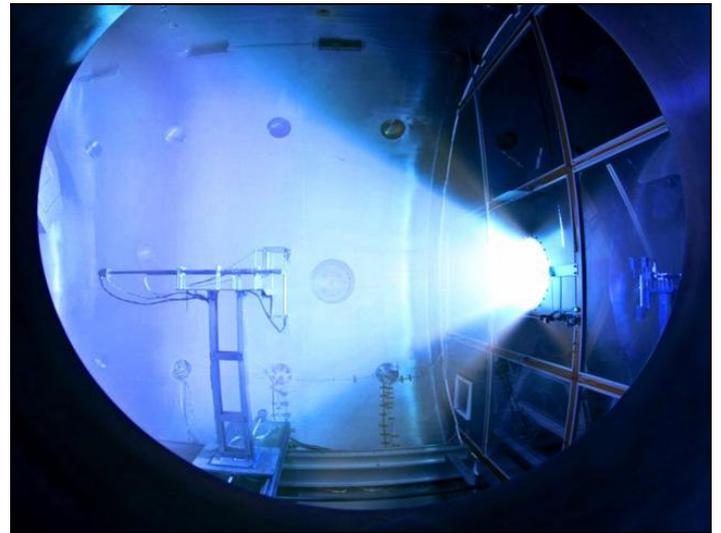


Une autre particularité de VASIMR est que, dans les propulseurs électriques « classiques », l'ionisation et l'accélération du plasma sont indissociables, alors que dans VASIMR on a deux étages bien distincts, alimentés en puissance séparément. Pour une même puissance d'alimentation, cela permet de jouer sur la puissance attribuée à chacune des étapes.

Cela permet de favoriser soit l'impulsion spécifique (plasma plus chaud avec étage de « chauffage » plus puissant), soit la poussée (plus de plasma, moins chaud avec un étage d'ionisa-

tion plus puissant). **VASIMR a donc une impulsion spécifique (Isp) qui peut, pour une puissance donnée, théoriquement varier d'un ordre de grandeur** (par exemple entre 3 000 s et 30 000 s pour l'hydrogène). Par contre, à puissance fixée, la poussée est inversement proportionnelle à l'Isp, et les très fortes Isp ne s'obtiennent que pour des poussées extrêmement faibles.

Dans le cas d'une trajectoire interplanétaire, cela permet d'optimiser la consommation d'ergols : lors des phases où l'attraction des planètes est forte, on chauffera une plus grande quantité de plasma pour avoir une plus forte poussée pour s'arracher de l'attraction de la Terre, par exemple, ou bien pour « freiner » quand on approche d'une planète. Et pendant le reste du trajet, on chauffera moins de plasma mais on le chauffera plus fort, pour consommer un minimum d'ergol tout en continuant à accélérer.



*L'impulsion spécifique correspond à la durée pendant laquelle 1 kg d'ergol peut fournir une poussée de 9,81 Newton. Plus elle est grande, moins le propulseur consomme d'ergol pour fournir une poussée donnée. Généralement, les propulseurs spatiaux ont une Isp fixe, caractéristique de l'ergol utilisé et de leur rendement. VASIMR (ici un essai en Argon) a lui une Isp variable.*

**En quoi VASIMR permet-il de réduire les temps de trajet ?**

En fait, tous les propulseurs électriques de forte puissance peuvent potentiellement réduire le temps de trajet, car ils permettent de fournir une poussée continue tout le long de la trajectoire.

En propulsion chimique ou nucléo-thermique, les moteurs d'une mission martienne habitée débitent plusieurs centaines de kilos d'ergol par seconde... mais seulement pendant quelques dizaines de minutes à quelques heures. Les moteurs fournissent donc une accélération très importante au début. Cela place le vaisseau sur une trajectoire héliocentrique où sa vitesse initiale et l'attraction du Soleil le conduisent sans propulsion supplémentaire vers sa planète de destination, où il faudra alors de nouveau freiner avec une très forte poussée pour s'insérer en orbite.

Les propulseurs électriques (ou électromagnétiques) d'une mission martienne habitée ne débiteraient que quelques dizaines à quelques centaines de grammes par seconde... mais en continu sur la quasi-totalité de la trajectoire (il y aura probablement tout de même une phase non propulsée quand on sera

environ à mi-chemin car, à ce moment là, la poussée n'est pas vraiment utile). Ils fournissent donc une accélération plus faible mais tout au long du trajet, ce qui permet d'aller plus vite.

La clé de la réduction du temps de trajet pour une mission martienne habitée est **d'avoir une poussée continue de l'ordre de plusieurs centaines de Newton pour des propulseurs ayant une impulsion spécifique de l'ordre de quelques milliers de secondes.**

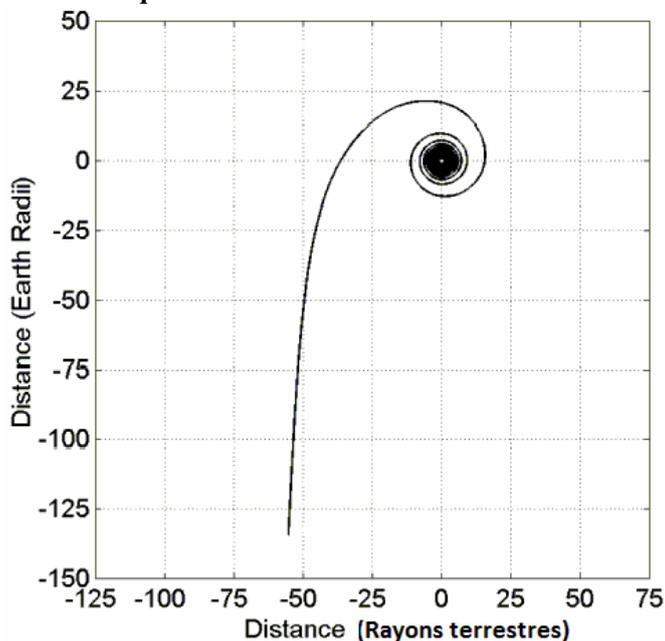
Mais ceci impose de **disposer d'une source électrique très puissante, fournissant au minimum plusieurs mégawatts...**

La capacité de VASIMR **d'optimiser son point de fonctionnement (Isp) le long de la trajectoire** offre les avantages spécifiques suivants par rapport à un propulseur à Isp fixe:

- soit de réduire le temps de trajet d'environ 10 jours pour une même proportion entre la masse au départ de la Terre et la masse utile en orbite martienne ;
- soit d'augmenter la proportion de masse utile pour une même durée de trajet (ou de réduire la masse en orbite terrestre pour une même masse emmenée en orbite martienne).

Plus on vise une trajectoire rapide et plus l'effet est important : d'après des calculs de Chang-Diaz datant de 2001, pour une trajectoire de 150 jours, VASIMR permet de gagner 10 % de masse utile par rapport à un propulseur à impulsion spécifique et poussée fixes. Ce chiffre monte à 35 % pour une trajectoire en 100 jours !

### Les trajectoires de missions martiennes habitées en propulsion électrique



Les trajectoires envisagées pour la propulsion électrique de missions martiennes habitées se décomposent en plusieurs phases :

- 1/ une phase de spirale continue ou bien d'arcs de poussée (moins consommateurs mais plus lents) en orbite terrestre (exemple du schéma ci-dessus d'une spirale en 30 jours) ;
- 2/ une phase de poussée continue interplanétaire : on accélère jusqu'à la moitié de la trajectoire, puis on « freine » sur le reste de la trajectoire (on inverse en fait la direction de la poussée) ;
- 3/ une phase de freinage final en spirale pour s'insérer en orbite

martienne.

Afin d'éviter aux astronautes les phases de spirale autour de la Terre, beaucoup de scénarios envisagent de n'envoyer les astronautes qu'une fois le véhicule arrivé sur une orbite terrestre très haute, juste avant le grand arc de poussée interplanétaire. A l'arrivée, il est également parfois envisagé de réaliser une manœuvre d'aérocapture d'un module avec l'équipage séparément du véhicule principal qui, lui, s'insère progressivement en orbite martienne.

La manœuvre d'aérocapture (on se sert de l'atmosphère martienne pour freiner au lieu d'utiliser des moteurs) est très délicate. D'une part d'un point de vue purement technique, mais également d'un point de vue physiologique car les astronautes subissent alors des décélérations très fortes, difficiles à supporter pour l'organisme, en particulier après un voyage spatial.

### Mars en 39 jours : trop ambitieux !

La traject aller Terre-Mars proposé par Chang-Diaz en 39 jours se décompose en fait en 3 étapes :

- une phase de spirale autour de la Terre de 8 jours, astronautes à bord ;
- une phase interplanétaire de 31 jours ;
- à l'issue de cette phase, un module avec les astronautes est libéré du véhicule principal et effectue une aérocapture.

**Mais pour réaliser une telle prouesse, VASIMR aurait besoin d'un réacteur nucléaire de 200 MW (200 000 kW) !**

Passons maintenant aux masses. Pour emmener en 39 jours un module habité de 20 tonnes sur la trajectoire finale d'aérocapture, Chang-Diaz estime qu'il faut un véhicule de 600 tonnes en orbite terrestre :

- 165 tonnes d'hydrogène pour la « spirale » ;
- 295 tonnes d'hydrogène pour la trajectoire interplanétaire ;
- 120 tonnes pour le générateur nucléaire, les moteurs et les réservoirs ;
- 20 tonnes « utiles » (le module habité).

Un véhicule de 600 tonnes en orbite terrestre nécessiterait forcément plusieurs rendez-vous d'assemblage en orbite, même avec un lanceur super-lourd. De plus, ces masses n'incluent pas d'hydrogène pour l'insertion en orbite martienne du véhicule principal, ni pour le retour : c'est-à-dire que cette mission suppose que le générateur nucléaire n'est utilisé que pour l'aller. Cela implique donc en plus qu'une mission cargo a déployé un véhicule de retour, lui aussi très lourd si on veut un retour aussi rapide.

Mais ce n'est pas tout, l'hypothèse la plus forte que fait Chang-Diaz pour les « 39 jours » est la masse d'un générateur nucléaire de 200 MW : il suppose que celui-ci ferait moins de 120 tonnes, soit **moins de 0,6 kg/kW** (et même encore moins si on retire aux 120 tonnes la masse des moteurs, des réservoirs, etc.). **Cette valeur est extrêmement optimiste**, même en supposant des technologies ultra-avancées (réacteur nucléaire à cœur gazeux et conversion magnétohydrodynamique). Si on veut maintenir l'ambition de 39 jours mais en prenant une masse de générateur un peu moins utopique, quoique encore très éloignée de nos capacités technologiques, comme 2 ou 3 kg/kW, **ce n'est plus 600 tonnes mais plus du double qu'il faudrait assembler en orbite terrestre !**

Mars en 39 jours, ce n'est donc vraiment pas pour tout de suite, car les technologies de générateur électronucléaire qu'il faut

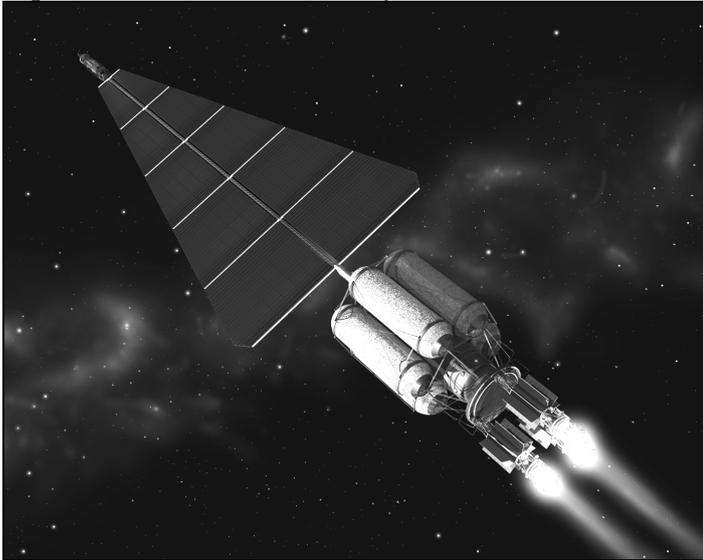
drait développer relèvent quasiment de la science-fiction !

### Mars en 90 jours : plus raisonnable et très attractif

Alors sommes-nous « condamnés » aux trajets en 6 mois minimum ? Rassurons-nous, à une échelle de temps plus accessible, il serait envisageable de développer un réacteur nucléaire d'une dizaine de mégawatts, qui permettrait un trajet en 3 mois. Une durée qui permettrait de diviser par deux les doses de rayonnement cosmique reçues par les astronautes, et de réaliser des missions de 7 mois, avec 1 mois sur place !

Chang-Diaz envisage aussi cette possibilité avec le moteur VASIMR. Il propose d'emmener 61 tonnes vers Mars en 90 jours pour seulement 188 tonnes en orbite terrestre. Même si, là encore, l'hypothèse qu'il utilise sur la masse du générateur nucléaire est très largement discutable (4 kg/kW incluant également la masse des réservoirs, des moteurs, etc. pour un réacteur de 12 MW), le scénario est beaucoup plus alléchant.

En effet, même avec une hypothèse de masse du générateur plus élevée (par exemple 10 kg/kW), **on arriverait tout de même à des masses en orbite terrestres inférieures à celles de scénarios en propulsion chimique ou nucléo-thermique, et pour des durées de mission déjà nettement raccourcies !**



*Vue d'artiste d'un vaisseau martien habité propulsé par moteurs VASIMR : le réacteur du générateur électronucléaire est à l'extrême pointe avant, suivi des gigantesques panneaux du radiateur. Les moteurs sont à l'extrémité droite, derrière le vaisseau, entouré des réservoirs d'ergol. (dessin d'Alexandre Szames)*

### Christophe Colomb n'a pas attendu le Concorde pour traverser l'Atlantique

Malgré tout, ces scénarios utilisant des propulseurs électriques et des réacteurs nucléaires très puissants ne verront probablement pas le jour avant quelques dizaines d'années.

Outre les aspects d'acceptation du nucléaire, des générateurs spatiaux à ce niveau de puissance représentent un challenge technologique très ambitieux et nécessiteraient des temps de développement longs : les réacteurs qui ont déjà volé dans l'espace délivraient moins de 10 kW ! En ce qui concerne les propulseurs, il y a également plusieurs barrières technologiques à lever, notamment la durée de vie de ces moteurs à ces niveaux de puissance jamais atteints. Pour le moment VASIMR a fonctionné à 200 kW mais pendant seulement 15 secondes,

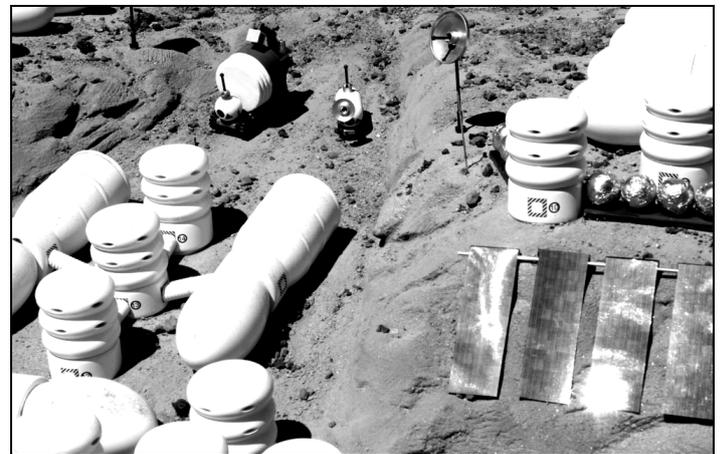
alors qu'il faudrait plusieurs milliers d'heures de fonctionnement pour une mission martienne.

Il serait donc dommage d'attendre que ces technologies soient développées pour envoyer une première mission martienne ! Certes, les durées de mission en propulsion chimique paraissent longues... Mais quelle grande mission d'exploration ne le fut pas ? Vasco de Gamma mit environ 800 jours pour relier l'Europe à l'Inde par la mer en 1497 (300 jours sur Terre, 500 jours en mer environ) et Lewis & Clark partirent explorer le Pacifique nord-ouest pendant quasiment 900 jours (dont environ 600 jours en mer). Christophe Colomb aurait-il dû attendre le développement du Concorde pour aller en Amérique ?

Elisa Cliquet

## LA VIE DE L'ASSOCIATION

### ASSOCIATION PLANÈTE MARS



Nous avons réceptionné en juillet la maquette de colonie martienne commandée à l'école de designers Strate Collège (qui avait déjà réalisé notre maquette de base). Ce travail a été supervisé par nos architectes **Pierre Brulhet** et **Olivier Walter**. L'objet, après avoir bénéficié de finitions de détail exécutées avec talent par **Alain Souchier**, a fait un début de carrière remarqué à l'occasion des Journées Spatiales de Saint-Maximin, les 21 et 22 août.



*(doc A. Souchier)*

**Le stand Planète Mars aux Journées Spatiales de Saint-Maximin.** Cette manifestation, organisée par l'association Promespace, était une première ; **Alain Souchier** y avait installé un stand fourni (maquettes, panneaux, livres, TShirts...) et y a donné

une conférence. Auparavant, du 18 au 20 juin, **Boris Segret** et **Charles Frankel** avaient assuré notre présence, avec stand et deux conférences, aux Rencontres de l'Espace d'Auriol, manifestation qui nous accueille depuis plusieurs années.

Suite aux consultations approfondies menées par **Boris Segret**, nous avons pu lancer l'opération de refonte de notre site Internet, qui devrait aboutir avant la fin de l'année. L'objectif est de moderniser sa gestion et d'éliminer les quelques dysfonctionnements actuels, dont nous nous excusons auprès de ceux de nos visiteurs qui les auraient subis.



Une étape décisive a été franchie dans la concrétisation d'une action qui nous tient particulièrement à cœur, le projet **SOLAR ARCHIPEL**, qui vise à promouvoir les travaux d'étudiants dans le domaine de l'exploration du système solaire (et, bien entendu, tout particulièrement celle de Mars !). Le 1<sup>er</sup> juillet, en effet, l'Association Planète Mars, l'Union pour la Promotion de la Propulsion Photonique et la Société Astronomique de France ont signé une charte où elles déclarent unir leurs efforts en vue de créer un programme d'étude dont les objectifs seront : d'offrir un cadre de travail motivant ; de mettre en valeur les travaux réalisés ; de développer les relations entre réseaux sociaux « espace ». Planète Mars, de plus, attend de ces travaux des retombées concrètes contribuant à alimenter le dossier de l'exploration martienne, comme son expérience dans les études déjà menées au cours des dernières années en a démontré la possibilité. L'animateur de ce projet est notre collègue **Pascal Bultel**. Adresses utiles :

informations générales : [www.solar-archipel.net](http://www.solar-archipel.net)

forum étudiants : [www.webastro.net](http://www.webastro.net)

questions & inscriptions : [cp\\_solararchipel@solar-archipel.net](mailto:cp_solararchipel@solar-archipel.net)

### **THE MARS SOCIETY (TMS)**

La 13<sup>ème</sup> Convention de TMS s'est tenue début août à Dayton (Ohio). **Richard Heidmann**, membre du Comité de pilotage, y représentait Planète Mars. A noter la présence de nombreux intervenants extérieurs prestigieux et de communications particulièrement captivantes relatives à deux des programmes majeurs de TMS : le concours étudiants de rovers (un niveau de réalisation extraordinaire !) et les campagnes de simulation dans l'Utah. Sur ce dernier thème, Carole Stoker, chercheuse à la NASA, a mis en évidence la qualité du travail que permet une utilisation professionnelle de la station MDRS. La convention a aussi été l'occasion d'approfondir notre perception de la situation politique du programme d'exploration spatiale aux USA, alors que fait rage le débat sur l'orientation à lui donner et que la nécessité de développer un lanceur lourd dès 2011, sans attendre, semble s'imposer progressivement.

**Richard Heidmann**

## **L'AVENTURE MARS EXPRESS**

### **Première partie : de l'idée au succès**

*Avertissement : les faits rapportés dans cet article sont aussi exacts que possible. Les opinions exprimées n'engagent que l'auteur se remémorant subjectivement d'intenses années professionnelles et ne représentent pas la position officielle de l'Agence Spatiale Européenne.*



Comme toutes les grandes réussites, Mars Express naît d'une idée simple : ne pas laisser passer une occasion unique. Des circonstances exceptionnelles se présentent simultanément : la volonté des scientifiques de refaire voler les instruments européens abîmés dans l'Océan Pacifique lors de l'échec du lancement de la sonde russe Mars 96 ; l'explosion de popularité d'Internet, grâce auquel la NASA a habilement valorisé les exploits de la voiturette Sojourner et ravivé l'intérêt pour l'exploration martienne ; le développement, déjà bien engagé et riche de possibilités de réutilisation, de la sonde cométaire Rosetta, mission clé du programme scientifique de l'ESA, et de sa station sol de 35 mètres en construction à New Norcia, en Australie ; la proximité historique de la Terre et de Mars en 2003, permettant d'envoyer un satellite de masse raisonnable avec une fusée Soyouz de puissance et de coût modérés.

*« Excellent aussi pour les opérateurs, la communauté avec Rosetta. A systèmes de bord identiques, opérations identiques... mais piloter, un satellite comme une automobile, ne s'apprend guère en observant les autres conducteurs. Plus que la simple manipulation des systèmes de bord, le contrôle d'un vaisseau complexe comme Mars Express va demander du doigté pour accomplir sa propre mission - comment hériter cette expérience de Rosetta ? Et une station sol pour deux missions, comment partager ? »*

En quatre ans, l'Europe construit sa première sonde planétaire – un record qui a bien mérité le qualificatif « express ». Le premier succès de Mars Express, c'est d'exister.

*« Quatre ans pour arriver tous ensemble, concepteurs, constructeurs et opérateurs, au rendez-vous du lancement, puis six mois de croisière pour se préparer à l'arrivée à Mars, puis quelques semaines de mise en route pour pro-*

*duire des résultats scientifiques réguliers. Le temps sera court, et il s'accéléra. Comment l'organiser ? Gérer le temps passé dans l'espace, c'est le travail du "Spacecraft Operations Manager". Mon job. »*

Responsable des opérations de Mars Express depuis 1999, j'ai eu le privilège d'accompagner et de servir la première aventure planétaire européenne, de la préparation du lancement jusqu'à l'arrivée à Mars – et depuis, 9 000 révolutions autour de la Planète rouge.

*« Recruter et former une équipe d'ingénieurs, apprendre à piloter ensemble un vaisseau compliqué qui n'existe pas encore. Lire, comprendre la documentation des logiciels, des instruments, du vaisseau spatial complet ; imaginer comment il marchera et tout préparer en détail ; écrire et valider sur le simulateur des centaines de procédures. »*

Depuis plus de 40 ans, le Centre Européen d'Opérations Spatiales (ESOC) lance, pilote et exploite les satellites de l'ESA : démonstration de nouvelles technologies et de nouvelles applications, satellites pré-opérationnels, qui seront un jour transférés à des organismes dédiés comme Eumetsat pour la météorologie ou Eutelsat pour les télécommunications, satellites de télédétection, d'observation de la Terre, d'astronomie et sondes interplanétaires.

*« Mars Express, une occasion unique, comme tous les satellites de l'ESA. Pour chaque mission il faut apprendre à utiliser les systèmes de contrôle - maintenant la nouvelle génération SCOS-2000 -, valider les fonctions des logiciels sol et leur compatibilité avec le vaisseau spatial ; mettre en place un concept de mission et de planification... Il faudra inventer une routine ordinaire pour une mission extraordinaire. »*

Le rôle de pionnier d'une Agence spatiale se retrouve au cœur des traditions de l'ESOC : montrer la voie, et pourtant tout faire pour réussir du premier coup. Un centre spatial s'engage à garantir 100% de succès opérationnel. Au sol, comme à bord, tous les équipements vitaux sont (au moins) doublés, en disponibilité immédiate pour les phases critiques : ordinateurs, salles de contrôle, réseaux locaux et internationaux... Un schéma de partage des ressources terrestres permet de larges économies d'échelle, avec une intégration fine à l'intérieur des familles de mission (terrestre, planétaire, astronomique), tout en disposant de multiples solutions de secours. Pour les stations sol, la double est assurée dans le cadre de coopération mutuelle avec les autres agences spatiales comme la NASA. Si nécessaire, l'ESOC produit le courant électrique nécessaire à alimenter les systèmes opérationnels. Dans les phases critiques, même les opérateurs et les ingénieurs se « dédoublent » en équipe A et équipe B, qui veillent le satellite 24 heures sur 24, assurent un progrès rapide de la mise à poste, ou la reconfiguration du vaisseau spatial en cas de problème. Le personnel, entraîné lors d'un programme de simulations intensif, est prêt à faire face aux départs dans l'espace comme aux arrivées, par exemple à une planète.

*« Le matin du lancement, la chef du programme de simulations nous réunit dans la salle de contrôle pour nous souhaiter bonne chance et exhorter notre esprit d'équipe. Son slogan, sur un ruban rouge comme la planète que nous nous apprêtons à explorer :*

*“ Si le satellite peut le faire, vous pouvez le faire ”. »*

Voici Mars Express, Rosetta, Venus Express, par ordre d'entrée en scène : 2003, 2004, 2005. Pourtant Mars Express, plate-forme dérivée de Rosetta, aurait dû être lancé quelques mois plus tard que son modèle, bénéficiant aussi, après des économies de conception et de réalisation, d'un précieux retour d'expérience en vol. Hélas, un problème inattendu de la version surpuissante d'Ariane 5 destinée à lancer Rosetta retarde son départ de plus d'un an, vers une autre comète. Mais il n'y a qu'un Mars et les planètes n'attendent pas. Mars Express doit partir en juin 2003.

*« Alors le principe « Suivons Rosetta » que nous avons appliqué avec succès pour les ordinateurs de contrôle, les logiciels de calcul de trajectoire, les nouvelles stations sol, le simulateur et les procédures de base, ce principe ne s'applique plus aux vraies opérations ? Sautons-nous sans filet dans l'inconnu ? »*

Le voyage de la planète bleue à la planète rouge s'appelait « croisière », une croisière sans chaise longue. S'attaquant à un défi nouveau pour le spatial européen, le premier engin de la série rencontre en vol des problèmes de jeunesse, tout à fait normaux sans que concepteurs ni constructeurs n'aient démérité. De ces difficultés naîtront des améliorations significatives des logiciels de bord, qui bénéficieront en retour à Rosetta, et à Venus Express. Mais, pour les opérateurs de Mars Express qui doivent les résoudre en vol, ou les éviter en attendant que les concepteurs fournissent une correction logicielle, les anomalies semblent parfois tourner au cauchemar : quand la caméra chercheuse d'étoiles ne reconnaît aucune constellation ; quand le système électrique ne délivre que 70 % de l'énergie collectée par les panneaux solaires ; quand l'enregistreur bégaye au lieu d'envoyer des données régulières ; quand les logiciels de bord doivent être complètement remplacés en plein vol ; quand près de deux fois par mois le vaisseau spatial se protège en mode de secours, dont il faut le sortir au plus vite ; quand... Les six mois du transfert Terre-Mars semblent bien longs quand on doit résister à l'adversité, mais bien courts pour préparer l'arrivée. Dès la mi-croisière il faut reprendre les simulations, travailler sur le satellite virtuel sans oublier le vrai - ni les confondre quand s'entrecroisent problèmes réels et crises simulées.

*« Après des mois de préparation, la manœuvre de capture par Mars, en trente commandes, dure quelques dizaines de minutes. Le principe du freinage par rétrofusée est simple, le moteur standard, le satellite configuré pour rester insensible aux perturbations mineures. Pendant une demi-heure qui ne peut être ni retardée ni rejouée, avec tous les collègues de l'industrie, du Projet, de l'ESOC, nous jouons notre réputation professionnelle – et pour les opérateurs, dans une certaine mesure notre avenir. C'est la nuit de Noël 2003. Dans l'escalier entre le centre de conférence, où journalistes et invités de marque vivent l'évènement avec un espoir joyeux, presque inconscient, et la salle de contrôle, où les ingénieurs attendent avec une anxiété non dissimulée, je reçois un texto de mon adjoint resté aux commandes :*

*“ Capture par Mars confirmée - précision 0,5%. ” »*

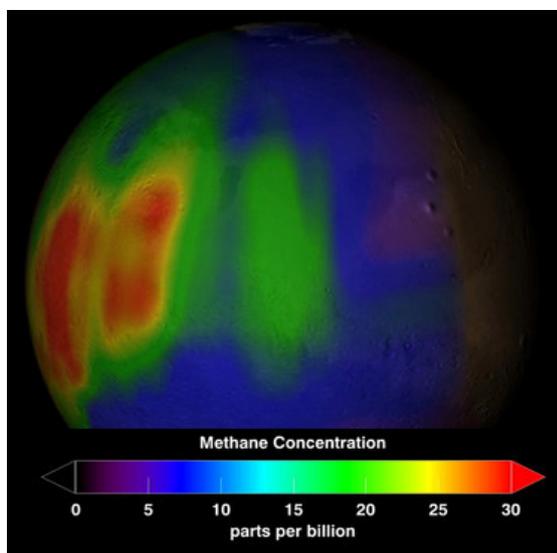
En quelques semaines et une dizaine d'autres manœuvres critiques, l'orbite finale est atteinte, quasi-polaire. Chaque passage au point le plus proche de la planète, le péricentre, est utilisé dans cette phase de « démonstration scientifique » de chaque instrument, séparément puis ensemble. Démonstration, mais déjà grandes premières : HRSC embarque des capacités stéréo couleur, si parlantes pour les géologues, par exemple. Dès les premières observations en janvier 2004, les images du Mont Olympe font le tour du monde, suivies de bien d'autres ; et le spectromètre infrarouge Omega démontre directement que la calotte polaire sud contient de la glace d'eau. Tous les instruments fonctionnent parfaitement.

*« Tous ? La perte du Beagle-2, petit atterrisseur d'exobiologie, qui n'a jamais envoyé de signal de la surface, aurait pu jeter une ombre sur la première mission martienne européenne. La première aussi, et la seule à ce jour, à avoir éjecté un atterrisseur avant d'être capturée par la planète – économie de masse oblige. Bien vite, la question du public « Vous avez retrouvé le Beagle ? » va se transformer en « Vous avez trouvé de l'eau ? » Le sensationnel cède la place à la science. »*



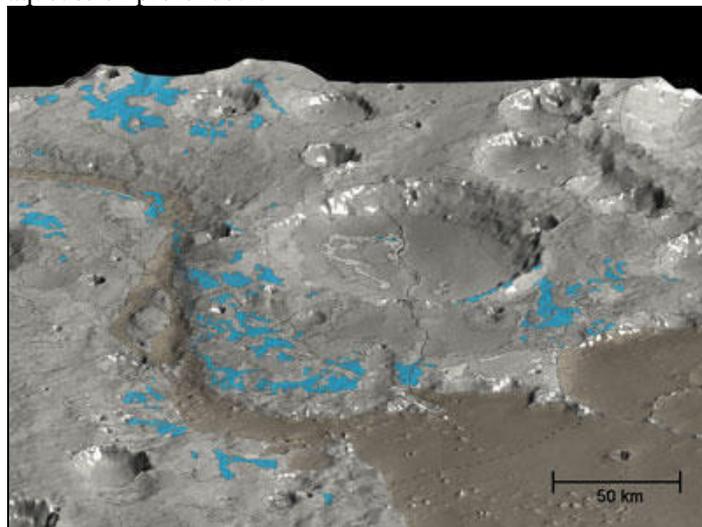
*Vue en perspective d'une partie de Valles Marineris, restituée par la caméra stéréoscopique à haute résolution HRSC. (doc. ESA/DLR/Univ.Berlin/Neukum)*

De 2004 à aujourd'hui Mars Express continue à collectionner les premières. La caméra stéréo couleur HRSC entreprend une couverture globale à moyenne et haute résolution (100 à 12 mètres par pixel), entre l'imagerie à basse ou très haute résolution des sondes américaines.



*Détection de traces de méthane. (doc. NASA)*

Aux limites de sa sensibilité, PFS découvre des traces de méthane, d'abord contestées car inattendues, puis confirmées par les observations terrestres ; à ce jour, leur origine reste inexpliquée. Le volcanisme pourrait avoir persisté jusqu'à des époques récentes, voire être encore actif vers le Pôle Nord. Au-dessus des régions de champ magnétique résiduel, Spicam détecte des aurores boréales. Marsis, le radar, mesure l'épaisseur des calottes polaires et confirme leur composition aqueuse en profondeur.



*Argiles (en bleu) découverts dans Marwth Vallis. (doc. ESA)*

Omega recense la distribution des argiles, témoins de la présence d'eau liquide pendant des périodes prolongées, sur les terres élevées de l'hémisphère Sud, puis dans les plaines du Nord, et réécrit l'histoire des bouleversements géologiques du premier milliard d'années de la planète. Aspera analyse les interactions avec le vent solaire pour comprendre comment l'atmosphère primitive, nécessaire à la présence d'eau liquide en surface, s'est échappée : pourquoi de Mars et pas (encore) de la Terre ?

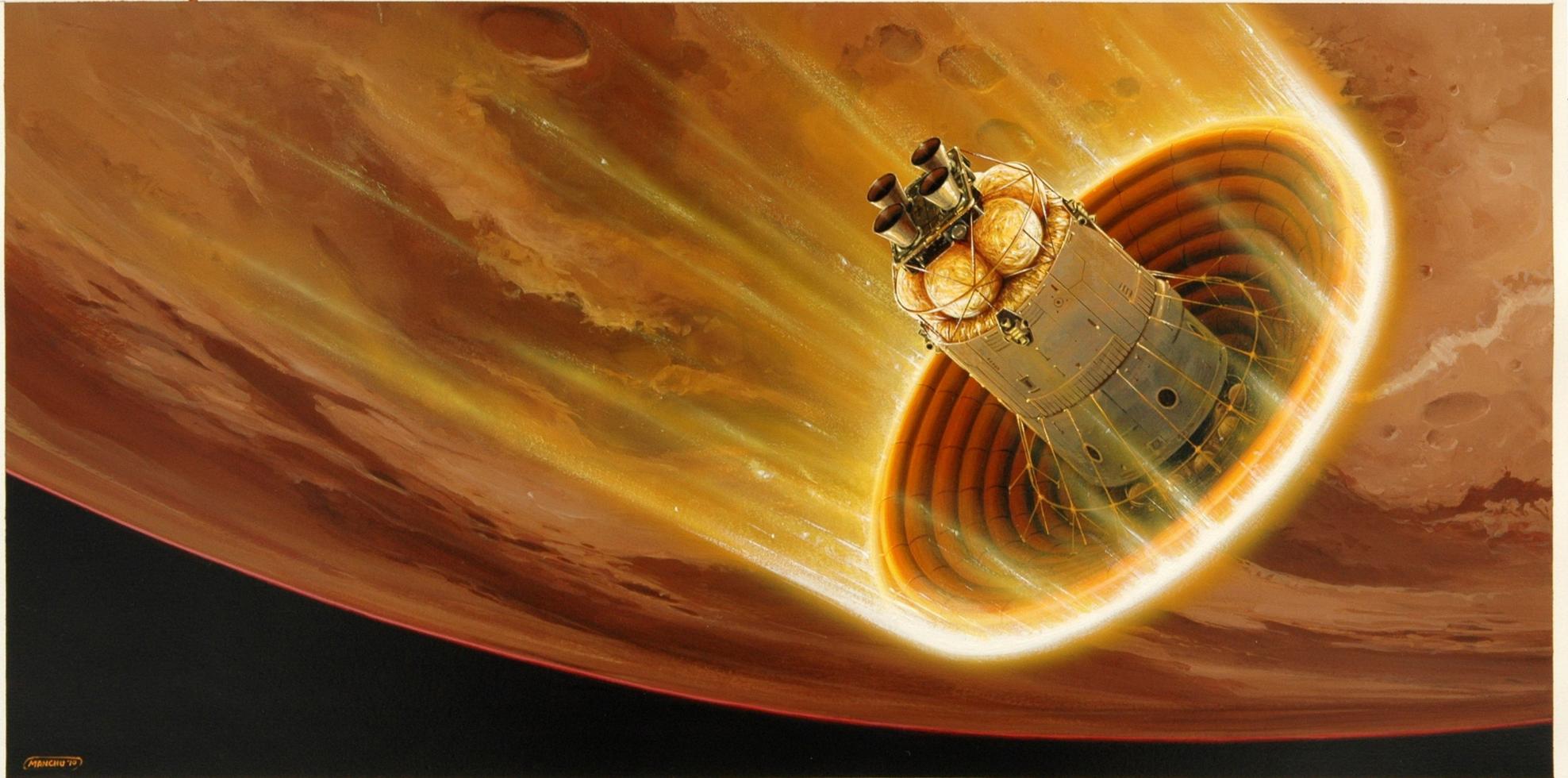
*« Notre petit vaisseau noir a embarqué une collection d'instruments pour occuper une niche qui peu à peu se révèle une mine d'or. La diversité des instruments, opérant sur une orbite unique alternant haute et basse altitude, offre de multiples combinaisons d'analyse de la surface et du sous-sol, de spectroscopie de l'atmosphère, de visites de la lune Phobos... Mars Express, c'est un hybride de sonde interplanétaire, de satellite imageur, de télédétection, de météo, et même un relais radio pour les atterrisseurs de la NASA. En somme, l'ambassade martienne de l'Europe ».*

**Michel Denis**

Spacecraft Operations Manager

*(la seconde partie de cet article : exploitation au quotidien et visions d'avenir, sera publiée dans le numéro 46 du bulletin).  
Merci à l'auteur pour ce témoignage passionnant de la vie d'un grand programme d'exploration spatiale.*

**Ont collaboré à ce numéro :** Pierre Brisson, Elisa Cliquet, Michel Denis, Dominique Guillaume, Richard Heidmann, Alain Souchier.  
**Achévé d'imprimer :** GRAFICOUL'EURE 27120-Gadencourt.  
**Dépôt légal :** octobre 2010



## On to Mars ! Mars nous voici !

Nouvelle illustration de Manchu, exécutée sous la supervision de Planète Mars, avec le plus grand souci de réalisme de la part de l'artiste.

(doc. APM/Manchu)

Le vaisseau habité d'une expédition vient d'entrer dans l'atmosphère martienne, qu'il utilise pour freiner sa vitesse d'approche, voisine de 6 km/s.

Représenté ici à environ 100 km d'altitude, il est enveloppé d'une couche de gaz à haute température (plasma) produite par la dissipation de l'énergie de freinage.

Le diamètre du bouclier est beaucoup plus imposant que celui des atterrisseurs robotisés actuels. En effet, la masse du vaisseau habité est vingt à trente fois plus importante, ce qui requiert une plus grande force de freinage. La solution retenue ici est celle d'un bouclier gonflable, qui présente l'avantage d'un encombrement minimisé pour la phase de lancement en orbite terrestre. La face exposée au plasma est revêtue d'une peau réfractaire et isolante.

A l'issue de cette phase de freinage aérodynamique, le vaisseau larguera ce bouclier, avant de réduire encore sa vitesse à l'aide de parachutes géants, puis de rétrofusées à poussée modulable, permettant un atterrissage précis et en douceur.

Cette remarquable illustration est disponible à la vente, sous forme de poster 50 x 100 cm.

**Pierre Brisson**