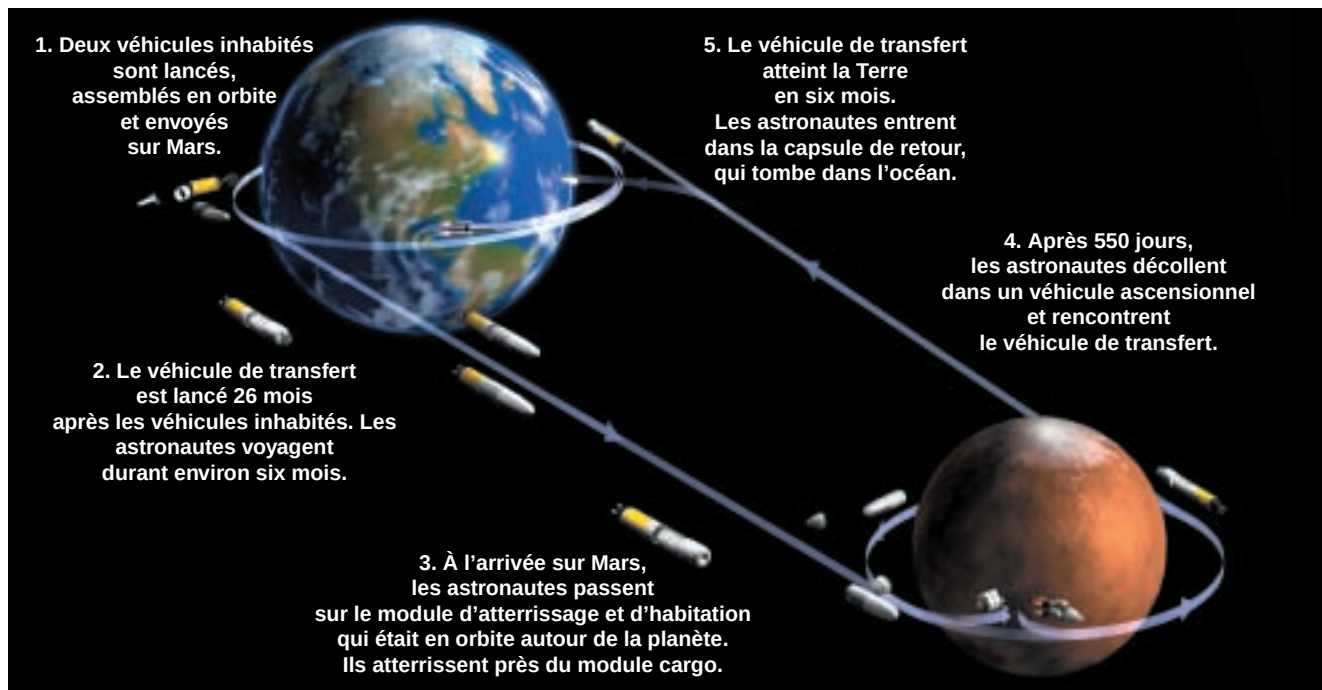




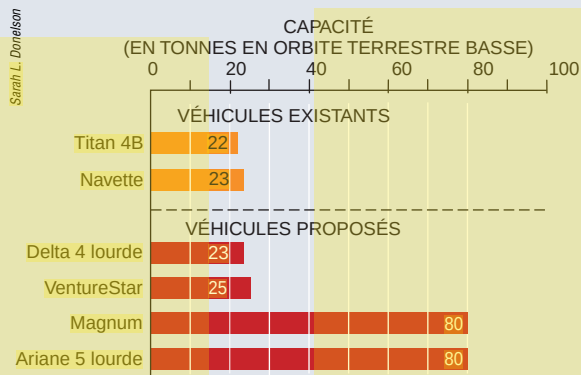
2. LA MISSION de référence de la NASA.

Lancement et assemblage

Toute expédition pour Mars commence par le lancement du véhicule spatial en orbite terrestre basse (à une altitude de 200 à 500 kilomètres). Le problème principal est que tout engin habité à propulsion chimique doit avoir une quantité énorme de carburant pour aller jusqu'à Mars, de sorte qu'il sera extrêmement lourd : au moins 130 tonnes, peut-être même le double. Aucun lanceur spatial actuel ne place une telle masse en orbite. Les navettes spatiales et les fusées de grande capacité, tel *Titan 4B*, emportent des charges utiles de 25 tonnes au maximum. De surcroît, avec des coûts actuels de lancement par la navette qui atteignent 100 millions de francs par tonne, le coût d'un engin spatial pour Mars est prohibitif.

Les sociétés aérospatiales mettent au point des fusées plus rentables et des lanceurs réutilisables, mais aucun n'entrerait en orbite une charge utile de 130 tonnes. La fusée *Saturne 5* de l'époque d'*Apollo* ferait l'affaire, tout comme la fusée russe *Energia*, mais les lignes de fabrication de ces lanceurs ont été démantelées. Selon toute vraisemblance, le véhicule spatial martien devra être lancé par étapes, puis assemblé en orbite, de préférence grâce à des manœuvres d'amarage commandées à partir de la Terre. Une navette spatiale transporterait ensuite l'équipage jusqu'au véhicule assemblé.

Afin de minimiser le nombre de lancements et de rendez-vous en orbite, les ingénieurs de la NASA ont conçu une fusée, nommée *Magnum*, qui emmènerait 80 tonnes en orbite. Ainsi, deux lancements suffiraient pour le déploiement du véhicule pour Mars (le diagramme ci-contre compare les lanceurs). La fusée *Magnum* utiliserait



LES LANCEURS ACTUELS sont insuffisants pour assurer une mission humaine sur Mars. Propulser un vaisseau de 130 tonnes en orbite terrestre nécessiterait six lancements d'*Ariane 5*, de *Titan 4B*, d'une navette spatiale, de *Delta 4 Heavy* ou de *VentureStar*, mais seulement deux lancements de la fusée *Magnum* ou d'*Ariane 5* version lourde.

les mêmes pas de tir et les mêmes fusées d'appoint à poudre que les navettes spatiales. Ces dernières pourraient être attachées à une nouvelle fusée bi-étage équipée de trois moteurs RD0120, de conception russe. La fusée *Magnum* emporterait une charge utile de 28 tonnes de long, et le revêtement de l'étage supérieur de la fusée servirait également d'écran thermique pour le véhicule martien. La réutilisation de matériel existant réduirait le coût de cette fusée : environ 12 milliards de francs pour la conception et 12 millions de francs par tonne de charge utile à chaque lancement (des coûts dix fois inférieurs à ceux de la navette spatiale).

Par ailleurs, on peut construire un lanceur encore plus puissant à partir des composantes de la navette spatiale. *Ares*, ce nouveau lanceur, utiliserait un moteur d'étage supérieur à forte poussée pour placer le véhicule habité directement sur une trajectoire vers Mars.

En Europe, le Centre national d'études spatiales a étudié en 1991 une version lourde du lanceur *Ariane 5* : quatre boosters au lieu de deux, cinq moteurs SNECMA *Vulcain* au lieu d'un sur le corps central, un deuxième étage cryotechnique équipé d'un moteur *Vulcain*. Cette fusée serait capable de mettre plus de 80 tonnes en orbite basse et d'envoyer 26 tonnes vers Mars. Ce lanceur a plutôt été dimensionné pour des opérations lunaires, mais il entre dans la catégorie des lanceurs lourds susceptibles d'utilisation pour les opérations martiennes. Sa charge utile pourrait être nettement plus élevée, compte tenu des améliorations qui seront apportées aux éléments du lanceur *Ariane 5* d'ici là.

Les systèmes de propulsion

Comment propulser un véhicule spatial habité, d'une orbite terrestre jusqu'à Mars ? Les différents systèmes proposés ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Le principal compromis technique est entre la poussée de la fusée et son rendement énergétique. Les systèmes à forte poussée communiquent une accélération supérieure, mais ils consomment en général plus de carburant. Les systèmes à faible poussée prennent plus lentement de la vitesse, mais ils consomment moins.

Les deux systèmes sont complémentaires : les fusées à forte poussée transporteraient rapidement les astronautes, tandis que les systèmes à faible poussée convoieraient plus lentement du matériel ou des modules d'habitation vides.

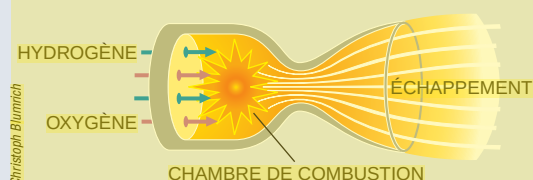
CODE DE COULEURS

→	CARBURANT
→	COURANT ÉLECTRIQUE
→	CHAMP MAGNÉTIQUE
→	OXYGÈNE

LA PROPULSION CHIMIQUE

La propulsion chimique est une technique éprouvée : la combustion de l'hydrogène et de l'oxygène produit des gaz dont la détente pousse la fusée. Elle engendre une poussée supérieure à celle de la plupart des autres techniques, mais avec un rendement inférieur. Les fusées chimiques nécessiteraient des quantités prodigieuses de carburant pour propulser un véhicule habité vers Mars. L'un des projets envi-

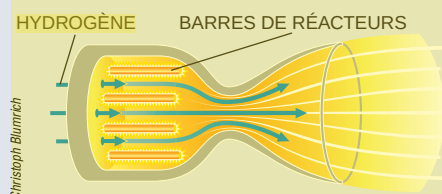
sagés nécessite, en orbite terrestre basse, un engin de 233 tonnes, dont 166 tonnes d'hydrogène et d'oxygène liquides. Ses sept moteurs RL-10 (un moteur classique utilisé sur de nombreuses fusées américaines) seraient disposés en trois étages de propulsion. Le premier étage enverrait le véhicule en orbite elliptique haute autour de la Terre ; le deuxième placerait le véhicule sur une trajectoire vers Mars ; et le troisième le ferait retourner vers la Terre à la fin de la mission. Chaque étage serait mis à feu pendant quelques minutes seulement, puis serait largué.



LA PROPULSION THERMONUCLÉAIRE

Dans les années 1960, le gouvernement américain a construit et testé au sol des fusées thermonucléaires dans le cadre du programme *Rover/NERVA*. Dans ces moteurs, un flot d'hydrogène liquide traverse un réacteur à cœur nucléaire solide, où le gaz est chauffé à plus de 2 500 °C avant d'être éjecté à grande vitesse par la tuyère de la fusée. La propulsion nucléaire fournit deux fois plus de quantité

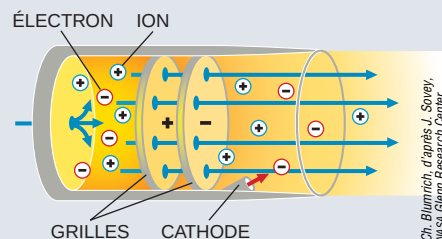
de mouvement par kilogramme de carburant que les fusées chimiques les plus performantes, et les réacteurs produisent de l'électricité pour le véhicule spatial. Un vaisseau habité de 170 tonnes, avec trois moteurs nucléaires et environ 90 tonnes d'hydrogène liquide, atteindrait Mars en six ou sept mois. Toutefois le public s'oppose à l'envoi dans l'espace d'un réacteur nucléaire : plusieurs systèmes de propulsion qui utilisent également des réacteurs nucléaires ont été aujourd'hui écartés.



LA PROPULSION IONIQUE

Conçue dans les années 1950, la propulsion ionique est l'une des techniques qui utilisent les champs électriques (plutôt que la chaleur) pour éjecter le gaz propulseur. Un gaz, comme le césium ou le xénon, passe dans une chambre où il est ionisé par un canon à électrons semblable à celui des tubes cathodiques des téléviseurs. Une tension électrique appliquée entre deux grilles de métal extrait les ions positifs, qui traversent la grille et sont éjectés dans l'espace.

Simultanément une cathode, à l'arrière du moteur, évacue les électrons dans le faisceau d'ions, de manière que le véhicule spatial n'accumule pas des charges négatives. En 1998, la sonde *Deep Space 1* était équipée d'un tel moteur. Celui-ci a consommé 2,5 kilowatts d'énergie solaire et produit une poussée faible (0,1 newton, c'est-à-dire la force d'un souffle humain), mais longue (plusieurs mois). Malheureusement, les grilles, qui à la fois accélèrent et retiennent les particules, ne peuvent être dimensionnées pour des moteurs de puissance voisine du mégawatt, requis pour les missions habitées vers Mars. De surcroît, un système de propulsion ionique nécessiterait de l'énergie produite par des réacteurs nucléaires, car des panneaux solaires de plus de 100 kilowatts seraient probablement difficiles à manier.



LA PROPULSION À EFFET HALL

Comme les systèmes de propulsion ionique, les moteurs à effet Hall utilisent un champ électrique pour accélérer des particules chargées positivement (en général, des noyaux de xénon). Le moteur crée diffé-

remment le champ électrique : un anneau d'aimants engendre d'abord un champ magnétique radial, qui fait circuler les ions autour de lui. Ce déplacement crée alors un champ électrique axial, qui assure l'éjection. Contrairement à la propulsion ionique classique, ce système ne comporte pas de grille et pourrait être agrandi plus facilement. Le rendement est inférieur, mais un second étage de propulsion l'améliorerait. Des petits moteurs-fusées à effet Hall volent sur des satellites russes depuis le début des années 1970 et la technique a récemment été adoptée par les États-Unis. Les derniers systèmes construits par les Russes consomment environ cinq kilowatts et engendrent une poussée de 0,2 newton. De son côté, l'Europe dispose du moteur SNECMA PPS1350 d'une poussée de 0,08 newton.

