

# MISSION HABITEE VERS MARS



30/05/2017

Est-elle possible ? Est-elle souhaitable ?

Ce document a pour but de rassembler de manière synthétique les conditions d'un voyage sur Mars de manière didactique, pour servir de support dans une animation conçue pour la fête de la science. L'idée est de s'adresser à un public généraliste, plutôt jeune.

# Mission habitée vers mars

## EST-ELLE POSSIBLE ? EST-ELLE SOUHAITABLE ?

### 1. CONTEXTE

Initialement thème de science-fiction, le voyage sur Mars est devenu pour certains l'un des objectifs à long terme de l'aéronautique à la suite du débarquement sur la lune en 1969.

Mais un tel projet demande des moyens financiers, technologiques et humains sans commune mesure avec le programme Apollo qui avait, de plus, bénéficié des effets cumulés de la course aux armements (guerre froide) et d'une embellie économique sans précédent.

Depuis le début des années 1960, différentes études sur le sujet ont été réalisées et ont exploré les scénarios et les solutions techniques. Les avant-projets les plus aboutis émanent de la NASA, forte de son rôle de pionnier et d'agence spatiale civile la mieux dotée. Elle propose une solution (Mars Design Reference Architecture), qui nécessite de placer entre 850 et 1 250 tonnes en orbite terrestre basse via une dizaine de lancements. Il existe également des associations de passionnés, comme la Mars Society qui préconise une solution moins coûteuse – Mars Direct – ne nécessitant que deux lancements. Tous ces scénarios nécessitent que des technologies clés soient développées et testées préalablement.

Il existe par ailleurs un débat de fond sur la justification d'un tel projet qui doit mobiliser des ressources financières énormes alors que la planète peine à résoudre ses problèmes d'approvisionnement énergétique face à l'accroissement de population mondiale. De plus ce projet présente des risques importants alors que le succès des missions robotisées sur Mars démontre la validité de cette approche pour explorer la planète. Grâce à ceux-ci, d'ailleurs, l'homme a découvert que Mars n'offrait pas un environnement particulièrement accueillant. Face à l'étude in situ de la géologie de la planète par des astronautes, le mythe de la frontière, très vivace aux États-Unis, ne parvenait pas à convaincre les décideurs de franchir le pas.

La NASA développe deux engins – le lanceur lourd SLS et le vaisseau spatial interplanétaire Orion – qui pourraient participer à une mission martienne. Mais, depuis l'abandon du programme Constellation, il n'existait pas en 2015, au sein des agences spatiales de projets, même à long terme, de mission habitée vers Mars qui aient reçu un commencement de mise en œuvre.

Mais Donald Trump survint, alors, ... !!<sup>1</sup>

Alors "Y a qu'à" ? Malheureusement, il ne suffit pas de le décider. Encore faut-il choisir entre différentes solutions qui ont toutes des implications structurantes tant financières, que technologiques et humaines : plusieurs paramètres ont un impact décisif sur la mission, en particulier la durée du voyage ( trajet aller et retour et séjour sur le sol martien, le cadencement des vols (pré-déploiement ou lancements simultanés), le système

---

<sup>1</sup> Le président des Etats-Unis, Donald Trump, a signé mardi 21 mars 2017 une loi définissant l'objectif central de la Nasa sur les décennies à venir : les missions habitées vers l'espace lointain, avec la planète Mars en ligne de mire.

de propulsion interplanétaire (chimique, nucléaire thermique, nucléaire électrique, ...), le type d'insertion en orbite martienne (aérocapture ou freinage propulsif), les modalités de descente sur le sol martien, le nombre d'astronautes, (typiquement entre 3 et 6), leur bien-être, leur sécurité et leur protection physique, et enfin l'exploitation de ressources locales, ou pas, pour la production des ergols permettant le retour en orbite Martienne.

## 2. MARS, COMMENT ON Y VA, (OU COMMENT PARCOURIR 500 MILLIONS DE KM).

### 2.1 Durée du voyage.

La durée du voyage (aller-retour et séjour sur Mars) dépend de la trajectoire retenue, ce qui impacte le système de propulsion interplanétaire et la quantité de carburant emportée. Ce choix répond à plusieurs contraintes économiques et scientifiques :

- Consommer le moins de carburant possible pour effectuer le trajet Terre-Mars. Selon la trajectoire retenue, l'impact peut être considérable sur la quantité à emporter et sur la taille du vaisseau. On estime généralement que le coût de l'opération s'élève à 20 000 US\$ par kg embarqué.
- Protéger l'équipage dans l'espace interplanétaire : un séjour prolongé augmente les risques d'exposition aux radiations et de décalcification en absence de dispositif de gravité artificielle.
- Réaliser les objectifs scientifiques de la mission nécessite une durée de séjour sur le sol martien suffisante pour leurs accomplissements.
- Minimiser la quantité de ravitaillement à emporter.

### 2.2 Quand partir ?

En rêve, on devrait pouvoir partir vers la planète Mars n'importe quand, suivant ses envies ou ses besoins comme on prend sa voiture ou le train. Mais dans la réalité, compte tenu des distances et du temps pour les parcourir, il faut mieux attendre que Mars et la Terre soient au plus près. En effet, chacune sur leurs orbites, Mars et la Terre s'éloignent et se rapprochent au fil des variations des positions des deux planètes autour du soleil.

Mars se déplace sur une orbite située à l'extérieur de celle de la Terre et sur le même plan que celle-ci. Sa distance avec la Terre varie fortement : lorsqu'elle se situe derrière le Soleil vu de la Terre, elle se trouve à 400 millions de Km, tandis qu'elle n'est éloignée que de 56 millions de km lorsqu'elle occupe la position relative opposée<sup>2</sup>.

Les deux planètes se déplacent à des vitesses considérables sur leur orbite (près de 30 Km/s pour la Terre, 21 Km/s pour Mars). Cette vitesse est communiquée au vaisseau lorsqu'il décolle de la Terre. Ceci rend impossible avec les capacités des fusées actuelles d'effectuer une route directe vers Mars qui nécessiterait d'annuler en partie l'énorme vitesse acquise au départ<sup>3</sup>.

En première approximation, la trajectoire qui consomme le moins de carburant consiste à lancer le vaisseau sur une orbite elliptique qui tangente l'orbite terrestre au départ et l'orbite martienne à son arrivée (orbite de Hohmann)<sup>4</sup>. Cette trajectoire ne peut être parcourue dans un temps raisonnable que lorsque les positions relatives de la Terre et de Mars sont dans une configuration particulière. Les périodes les plus favorables sont appelées "fenêtres" de lancement dans le langage des explorateurs de la planète Mars. Il s'écoule plus de deux ans entre deux fenêtres favorables. Donc, si vous ratez la dernière fusée vers Mars où la Terre il

---

<sup>2</sup> 400 millions de Km représente plus de 1000 fois la distance terre-lune parcourue en 3 jours par la Mission Apollo.

<sup>3</sup> La vitesse de libération est de 11Km/h pour la Terre et 5 Km/h pour Mars.

<sup>4</sup> Voir le chapitre "Pour en savoir plus", [L'orbite de Hohmann](#), (voir § 7.1).

vous faudra attendre 26 mois avant la prochaine navette !! Ce n'est pas trop grave si vous attendez sur Terre, mais si vous êtes sur Mars !! La durée d'une "fenêtre" est de 3 semaines environ.

Le temps mis par un vaisseau pour parcourir le trajet Terre-Mars dans la configuration la plus favorable tout en réduisant la consommation de carburant au minimum est **de 258 jours**. En dépensant beaucoup de carburant, mais dans des limites raisonnables, on peut réduire cette durée à 180 jours.

Ainsi, les scientifiques chargés des missions envoyées vers Mars choisissent le moment du départ pile poil pendant les fenêtres favorables afin de bénéficier du chemin le plus court, bien moins coûteux en énergie.

### 2.3 D'où partir ?

De la Lune ? de l'ISS ? Non, la meilleure base de lancement pour le voyage vers Mars est la Terre elle-même.

En effet, notre bonne vieille Terre tourne autour du Soleil à la vitesse de 30 Km/s ; ajoutez cette vitesse à celle de propulsion de la fusée (plus de 11 Km/s, vitesse de libération) et voilà notre fusée qui s'élance vers l'espace en additionnant ces deux forces de poussée.

De plus, il existe un autre "gisement" de vitesse à exploiter. En effet, la Terre tourne aussi sur elle-même et plus on s'éloigne de l'axe de rotation des pôles, plus cette vitesse augmente. Vous suivez ? Cette vitesse atteint donc son maximum à l'équateur (environ 0.46 km/s soit 1 666 Km/h).

La base de lancement de Kourou en Guyane française est bien placée à 5° de latitude nord de l'équateur.

Donc, la fusée ainsi propulsée depuis la Terre va additionner les vitesses de rotation, de révolution autour du Soleil et de poussée du lanceur.

### 2.4 À quelle vitesse ?

Pour décoller et s'arracher de la forte attraction terrestre, notre lanceur devra atteindre une vitesse dite de "libération"<sup>5</sup> de 11.2 Km/s minimum. Au-dessous de 7.8 Km/s, la fusée retombe et c'est la catastrophe ! Mais, inversement, si la fusée prend trop de vitesse (au-delà de 16.6 Km/s) aucune force de gravitation ne saurait la retenir et elle partirait hors de notre système solaire !!! Adieu la Terre, adieu Mars, à tout jamais !!

Ce problème de la vitesse à accumuler (voir plus haut comment) est donc très délicat et tout le processus de lancement doit donc se dérouler parfaitement bien afin que le vaisseau parte correctement vers Mars à la vitesse prodigieuse.

### 2.5 Comment "avancer" dans l'espace ?

Une fois dans l'espace, le vaisseau spatial (comme toutes les sondes qui sont envoyées vers Mars) avancera sans problème grâce à la force d'attraction du soleil (comme le font les planètes). Le vaisseau avancera comme sur des rails avant de ralentir peu à peu sa vitesse : quelques coups de moteurs permettront de replacer le vaisseau sur la bonne orbite et de garder une vitesse de croisière d'environ 25 km/s.

Le vaisseau pourra aussi bénéficier des "vents" solaires - des rafales de particules - qui poussera de temps à autre ses panneaux solaires tels des voiles ! Il pourra aussi profiter du champ gravitationnel des planètes qu'il croisera en se laissant "porter" mais sans se mettre en orbite autour de l'astre proche. Ces petits coups de pouce sont bien économiques et bénéfiques mais de nombreuses fois, les ingénieurs de vols devront corriger la trajectoire du vaisseau en jouant avec ses moteurs.

<sup>5</sup> Voir [La vitesse de libération](#). (§ 7.2).

Il existe plusieurs types de moteurs et moyens de propulsion dans l'espace<sup>6</sup>, chacun ayant ses avantages et ses défauts. Actuellement, le type de propulsion le plus couramment utilisé, appelé "moteur fusée", est la propulsion par éjection de gaz à grande vitesse à travers des tuyères. Ces moteurs chimiques utilisent des propergols solides ou des ergols liquides.

### 3. MARS : COMMENT ON "AMARSI" ?

C'est la partie déterminante de la Mission. Si le vaisseau ne s'insère pas correctement sur l'orbite martienne, il risque d'être emporté dans l'espace sans espoir de retour. Si l'"amarsissage" est raté c'est la destruction et l'impossibilité de repartir au cas où il y aurait des survivants.

La meilleure garantie d'un atterrissage convenable sur Mars, en minimisant les risques, est de procéder en deux étapes. C'est ce que font la plupart des scénarios envisagés.

**Le vaisseau se place d'abord en orbite basse autour de Mars après avoir réduit sa vitesse d'au moins 2,4 Km/s, si le voyage est effectué en 258 jours, (voir ci-dessus), ou plus si la durée du voyage est plus courte.**

Pour réduire la vitesse il y a deux moyens<sup>7</sup> :

- Utiliser le freinage dans l'atmosphère de la planète au risque de trop échauffer le bouclier thermique du vaisseau qui se désintégrerait.
- Utiliser un rétro freinage grâce aux moteurs embarqués au prix d'une consommation de carburant plus importante.

**L'atterrissage sur Mars est une phase cruciale.**

Il s'agit de faire "atterrir" des vaisseaux dont la masse est comprise entre 30 et 100 tonnes (de 20 à 50 fois celle du plus gros robot ayant atterri sur Mars jusqu'à présent) avec une précision de quelques dizaines de mètres (précision plusieurs centaines de fois supérieure à celle atteinte jusqu'à présent)<sup>8</sup>.

Les solutions techniques mises en œuvre auront des répercussions majeures sur les capacités et le coût d'une mission martienne.

Descendre sur le sol martien nécessite d'annuler la vitesse du vaisseau. À l'arrivée sur Mars (lorsque le vaisseau s'est mis en orbite basse) cette vitesse est d'environ 4,1 km/s (1,6 km/s pour la Lune et 8 km/s pour la Terre). Comme pour la mise en orbite basse, pour annuler cette vitesse il existe deux méthodes :

- Utiliser les forces de frottement dans l'atmosphère comme pour la mise en orbite.
- Lorsqu'une planète est dépourvue d'atmosphère comme sur la Lune on annule la vitesse en ayant recours à la poussée de moteurs.

La densité très faible de l'atmosphère de Mars (1% de celle de la Terre) la place, pour le scénario de descente, dans une situation intermédiaire entre la Terre et la Lune. Le robot Mars Science Laboratory, qui a atterri sur Mars en 2012, fut obligé de recourir à des moteurs pour se freiner à partir de l'altitude de 1500 mètres.

## 4. VIVRE SUR MARS.

### 4.1.1 Connaître l'environnement.

---

<sup>6</sup> Voir [La propulsion dans l'espace](#), (§ 7.3).

<sup>7</sup> Voir [Aérofrenage, Aérocapture, freinage propulsif](#), (§ 7.4)

<sup>8</sup> Voir [Descendre sur Mars](#), (§ 7.5)

Les différentes missions martiennes ont permis de mieux connaître Mars. Et l'environnement n'est pas tellement accueillant pour l'homme !

Mars<sup>9</sup>, la planète rouge, 4<sup>ème</sup> planète du système solaire est connue depuis l'antiquité. Sa couleur rouge est sans doute à l'origine de son nom, celui du Dieu romain de la guerre. Elle tourne sur elle-même en un peu plus d'un jour terrestre et l'année martienne est de 686 jours. Son atmosphère est principalement composée de dioxyde de carbone, d'azote et d'argon. La pression au niveau du sol est en moyenne 170 fois plus faible que sur Terre et présente une extrême variabilité. Sa pesanteur est plus faible ( $3.71 \text{ m/s}^2$ ). Son champ magnétique est nul.

Sa géologie, variée et complexe, présente de hauts plateaux voisinant les 10 Km de haut, des volcans de 400 Km de diamètre culminant à 20 Km. La plus haute montagne est l'Olympus Mons haute de 25 Km.

Elle possède également une énorme faille en surface (2 500 Km de long, 120 de largeur et 6 de profondeur), ainsi que de petites vallées ressemblant à un réseau fluvial qui montre à l'évidence la présence ancienne d'eau à la surface de Mars.

L'eau est d'ailleurs présente sur Mars, un peu dans l'atmosphère sous forme de vapeur (0.03 %), mais aussi dans certaines des roches cristallines qui composent sa surface (comme le gypse présent sur Mars)<sup>10</sup>, et dans les calottes glaciaires.

Le noyau de la planète est principalement composé d'un alliage de fer et de nickel à  $2\,000^\circ\text{C}$  ; son manteau contient des minéraux riches en fer et en magnésium et sa croûte est composée de roches cristallines. La couleur rouge de la planète est due aux oxydes de fer (rouille) présent en surface.

L'orbite de Mars, considérablement elliptique, induit des différences de températures d'environ  $70^\circ\text{C}$  entre l'aphélie (point de l'orbite d'une planète où elle se trouve à la plus grande distance du Soleil), et le périhélie (point de l'orbite où elle est la plus proche). Alors que la température moyenne de Mars est de  $-60^\circ\text{C}$  les températures peuvent varier de  $-130^\circ$  en hiver à  $-3^\circ\text{C}$  en été avec des écarts importants entre les pôles nord et sud.

#### 4.1.2 Vivre en milieu hostile.

L'équipage doit s'accommoder des conditions naturelles sur mars :

- La faible pression atmosphérique qui nécessite que l'astronaute soit revêtu d'une combinaison spatiale pressurisée sous peine d'une mort quasi instantanée par décompression. L'atmosphère ténue est composée à hauteur de 98 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). La lumière du soleil blanche y est aveuglante et quatre fois plus intense. Le son ne se propage pas.
- Les basses températures et l'amplitude des variations jour/nuit et été / hiver.
- L'absence de champ magnétique et la faible densité de l'atmosphère qui laissent passer une grande partie des rayons cosmiques et des particules émises par les éruptions solaires.
- Les tempêtes de poussières qui balayent périodiquement la surface de la planète.
- La gravité faible qui permet de soulever des charges relativement massives, mais nécessite d'alléger les combinaisons spatiales existantes qui sur la Lune étaient acceptables avec une gravité 6 fois moindre que sur Terre.
- Les communications avec la Terre sont ralenties : à la vitesse de la lumière un signal envoyé de Mars mettra en moyenne 15 minutes pour atteindre la Terre et autant pour la réponse.

Pour vivre les quelques 550 jours de présence sur Mars, l'équipage devra disposer :

<sup>9</sup> Voir [Comparaison Terre - Mars](#) (§ 7.6)

<sup>10</sup> Il est facile d'extraire de l'eau du gypse en chauffant 1 Kg de gypse à  $120^\circ\text{C}$ , on récupère 200 g d'eau.

- D'un habitat fixe ou mobile pressurisé muni d'un sas permettant les sorties.
- De rovers d'explorations, pressurisés (habitables) ou non suivant les missions à effectuer, robotisés et/ou télécommandés.
- D'une centrale électrique pour produire de l'énergie.
- D'instruments scientifiques (centrale météorologique, laboratoires fixes ou embarqués sur les rovers.
- D'équipement permettant la production d'oxygène, d'eau, et d'ergols pour le voyage de retour.
- De foreuses pour l'exploration et l'exploitation du sol.

Plusieurs stratégies d'exploration sont possibles :

- A partir d'un habitat fixe et de rovers pressurisés autonomes sur une semaine.
- A partir d'un habitat fixe et de rovers non pressurisés télécommandés depuis l'habitation pour les longues distances. Pour les courtes distances (<15 Km), l'explorateur embarque sur le rover avec son scaphandre.
- A partir d'un habitat mobile composés de plusieurs rovers pressurisés.

Il faut noter qu'après son atterrissage, l'équipage, qui aura subi une longue période d'impesanteur durant son transit entre la Terre et Mars, ne sera sans doute pas disponible pour des tâches critiques avant plusieurs jours sinon plusieurs semaines, ce qui implique que des installations soient disponibles dès la prise de contact avec le sol martien.

## 5. MARS : COMMENT ON EN REVIENT ?

Le retour sur Terre nécessite que l'équipage s'arrache à la pesanteur martienne. Il faut ensuite que le vaisseau soit injecté sur une trajectoire de retour vers notre planète. Dans le scénario le plus probable préconisé par la NASA, le vaisseau lancé depuis la surface de Mars (celui avec lequel l'équipage est arrivé), joue uniquement un rôle de taxi et vient s'amarrer au vaisseau placé en orbite autour de Mars et chargé de ramener l'équipage sur Terre. Le rendez-vous entre les deux vaisseaux constitue une des phases les plus risquées de la mission.

La fusée qui décolle de Mars utilise des ergols en partie produits sur place grâce à la petite usine chimique extrayant l'oxygène de l'atmosphère martienne depuis l'atterrissage de l'engin sur Mars soit pratiquement 4 ans.

## 6. L'EQUIPAGE, LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES, LA SECURITE<sup>11,12</sup>.

Les défis liés à un voyage sur Mars sont en train d'être relevés. Peu à peu les éléments clés sont en phase de résolution : maîtrise de l'atterrissage, développement de cultures spatiales, recyclage de l'eau, production d'oxygène, production d'ergols à partir de l'atmosphère martiennes, ...

Tout serait donc prêt et il ne resterait plus qu'à fixer la date : 2030 – 2040 prophétise déjà certains pour ce nouveau grand pas dans l'histoire de l'homme.

Tout ? sauf, la grande fragilité de l'homme : le problème du rêve c'est le rêveur lui-même.

Quelles sont les principales contraintes du voyage vers Mars ; Comment y faire face ?

### 6.1.1 Les radiations (rayons cosmiques et éruptions solaires).

Ah les méchants rayons !!

---

<sup>11</sup> Voir <http://orbitmars.futura-sciences.com/explo-comment.php>.

<sup>12</sup> Science et vie (mai 2017).

Dans le vide spatial, ils fusent de partout et notamment du soleil. Ces toutes petites particules sont bourrées d'énergie et peuvent endommager l'ADN et démolir les cellules des êtres vivants en déclenchant cancers, mutations génétiques, etc.... Heureusement, sur Terre nous n'avons rien à craindre de ces pestes aussi petites que des protons ou des électrons car le champ magnétique de notre planète les dévie, mais, pour les voyageurs à destination de Mars, elles sont les pires ennemies. En effet, durant le voyage Terre - Mars les membres d'équipages seront exposés aux radiations pendant de longs mois. Au fond de particules cosmiques issus d'événements galactiques et extra galactiques et du vent solaire dont le flux est permanent pourront s'ajouter celles qui proviennent des éruptions solaires qui devront être prévues à l'avance par les ingénieurs et l'équipage devra s'en protéger dès que l'alerte leur aura été transmise. Mais comment s'en protéger ??

Pour protéger l'équipage des rayons cosmiques et des autres radiations, il faudra prévoir au cœur du vaisseau spatial un abris blindé. L'équipage s'y réfugiera pendant les éruptions solaires. Sur Mars il faudra prévoir un habitat protégé.

Indépendamment des éruptions "maîtrisable", une mission de deux ans et demi sur Mars exposerait les astronautes à une dose cumulée 50 fois supérieure à la dose réglementaire annuelle maximale tolérable pour les travailleurs à risque en France.

### 6.1.2 L'apesanteur.

Dans l'espace, ... on flotte ! Mais ce n'est pas tout !! La mécanique du corps se dérègle. Les connaissances actuelles en physiologie spatiale prédisent que les cosmonautes arriveront vivant mais en mauvais état sur Mars.

Voici la liste des troubles (peut-être non exhaustive !!) que peut causer l'apesanteur dans l'espace :

- Le mal de l'espace : se caractérise par des nausées des vertiges et des vomissements ...
- Les muscles "fondent" : Dans l'espace, de nombreux muscles ne sont pas utilisés ; donc, si on ne fait un exercice physique quotidien conséquent, les muscles s'atrophient, la force et la tonicité musculaire disparaissent peu à peu.
- Les os se fragilisent : Dans l'espace, les os deviennent moins solides et moins résistants (possibilités de fractures élevées au retour à la gravité). On peut perdre de l'os jusqu'à 1% de minéralisation par mois. Ces pertes peuvent dépasser 1% dans le bas du corps, alors qu'au contraire, le haut du corps (crâne) s'épaissit !!
- La répartition du sang est modifiée : L'absence de gravité modifie le flux sanguin : le sang monte plus facilement sur le haut du corps, ce qui augmente la tension artérielle. Le système cardio-vasculaire de l'organisme est ainsi touché par l'apesanteur.
- Les globules rouges se font plus rares.
- Le système respiratoire se dérègle.
- Le système immunitaire s'affaiblit. D'autant plus qu'il est aussi attaqué par les radiations, (voir ci-dessous).

Quelle poisse pour les futurs explorateurs de la planète Mars ! Leur voyage devra sûrement **se faire en gravité artificielle** afin d'échapper à tous ces troubles causés par l'apesanteur. Mais, les études restent encore à faire sur les techniques à mettre en œuvre pour que la gravité artificielle soit optimale dans le futur vaisseau spatial.

### 6.1.3 Sur le plan psychologique...

Sur le plan psychologique, les héros de la conquête martienne devront avoir des nerfs d'aciers.



Le voyage vers Mars sera bien pire que les jeux de télé réalité sur le plan psychologique ! En effet, ils vivront une aventure sans précédent : bien pire que dans le Loft de Loft Story ou le Château de la Star Academy! À environ 100 millions de kilomètre de la Terre et face à une aventure aussi périlleuse, qui ne perdrait pas les pédales ? Là-haut, il ne sera pas question d'élimination ni de rivalité ou de compétition, non, l'équipe de la mission devra rester solidaire, soudée. Les communications radios avec la Terre seront bien plus courtes et les réponses séparées de 30 minutes de délais chacune, il n'y aura pas de confessionnal ! Pire que dans tous les jeux de télé réalité !!... De plus, les futurs "lofteurs" de l'espace devront avoir chacun un espace réservé ou ils pourront se tenir seul afin de respecter un minimum de vie privée et d'intimité. Si ces règles ne sont pas bien respectées, la pression sous les crânes peut monter dangereusement chez certains membres d'équipages... Dans ce cas, gare à la casse ...

### 6.1.4 Alors, comment composer l'équipage ?

Le stress est intense, les risques sont permanents.

Une fois quitté l'orbite terrestre l'équipage est livré à lui-même.

Le dialogue en temps réel avec des interlocuteurs sur Terre devient impossible : le délai de communication est de 3 à 20 minutes selon les positions respectives de la Terre et de Mars, et toute communication devient même impossible (phénomène de blackout) lorsque le Soleil s'interpose entre les deux planètes (sauf à disposer d'un coûteux réseau de télécommunications par satellite).

L'équipage est confiné pour une période exceptionnellement longue (910 jours dans le scénario de conjonction) dans un espace très restreint.

Les membres d'équipage doivent être très soigneusement sélectionnés à la fois en fonction de leur aptitude à résoudre des problèmes, mais aussi à adopter le bon comportement en situation critique ou conflictuelle. L'expérience des missions de longue durée à bord des stations spatiales a démontré que, malgré le recours à des critères psychologiques pour la sélection des astronautes, des conflits pouvaient survenir. Les critères de sélection pour une mission martienne restent difficiles à établir. Il y a par ailleurs débat sur la nécessité ou non de sélectionner un équipage mixte et multiculturel (russe/américain, masculin/féminin, par exemple).

Un dépistage approfondi de problèmes médicaux potentiels, pouvant aller jusqu'à un examen génétique, est réalisé car le risque d'apparition d'une maladie est élevé compte tenu de la longueur de la mission.

Selon les scénarios résultant des études connues, l'équipage comporte de 3 à 6 (6 pour le scénario de référence de la NASA) spatonautes<sup>13</sup>. La limite supérieure est déterminée par le surcroît de masse que nécessite un équipier supplémentaire. Le nombre minimum découle de la gestion des risques (double redondance), de la somme des tâches à réaliser et des spécialités à maîtriser. Compte tenu du nombre de paramètres de la mission aujourd'hui non définis, ces chiffres sont purement indicatifs. Selon la NASA, les spécialités suivantes devront être maîtrisées par au moins une personne et constituer une spécialisation secondaire pour d'autres personnes : chirurgien/médecin, géologue, biologiste (ou un biogéochimiste), mécanicien (peut-être 2 (la survie de la mission dépend de la capacité de l'équipage à venir à bout des pannes), électricien/électronicien, commandement.

## 7. CONCLUSION.

### Vous rêvez dorénavant de Mars ?

Dans quinze ou vingt ans, j'espère... Quel âge est-ce que j'aurai ? (Un silence, puis un sourire) Je serai expérimenté ! Mars, ce sera la plus grande aventure du XXIe siècle. La mission Apollo puissance 10 ! Si ce

---

<sup>13</sup> Spationaute (en France), Cosmonaute (en Russie), Astronaute (aux USA), Taïkonaute (en Chine) désigne chacun des membres d'une expédition spatiale.

n'est pas moi qui pars, peu importe, j'aurai aidé. Ce qui compte c'est d'y aller, que l'Europe et la France aient leur place. Je lèverai la main pour partir, bien sûr. On lèvera tous la main.

**Thomas Pesquet**, Le Monde, 18/06/2017, Interview de Pascal Krémer " Thomas Pesquet : « Quand on aperçoit l'ISS, c'est "Star Wars" ! " »

## 8. POUR EN SAVOIR PLUS.

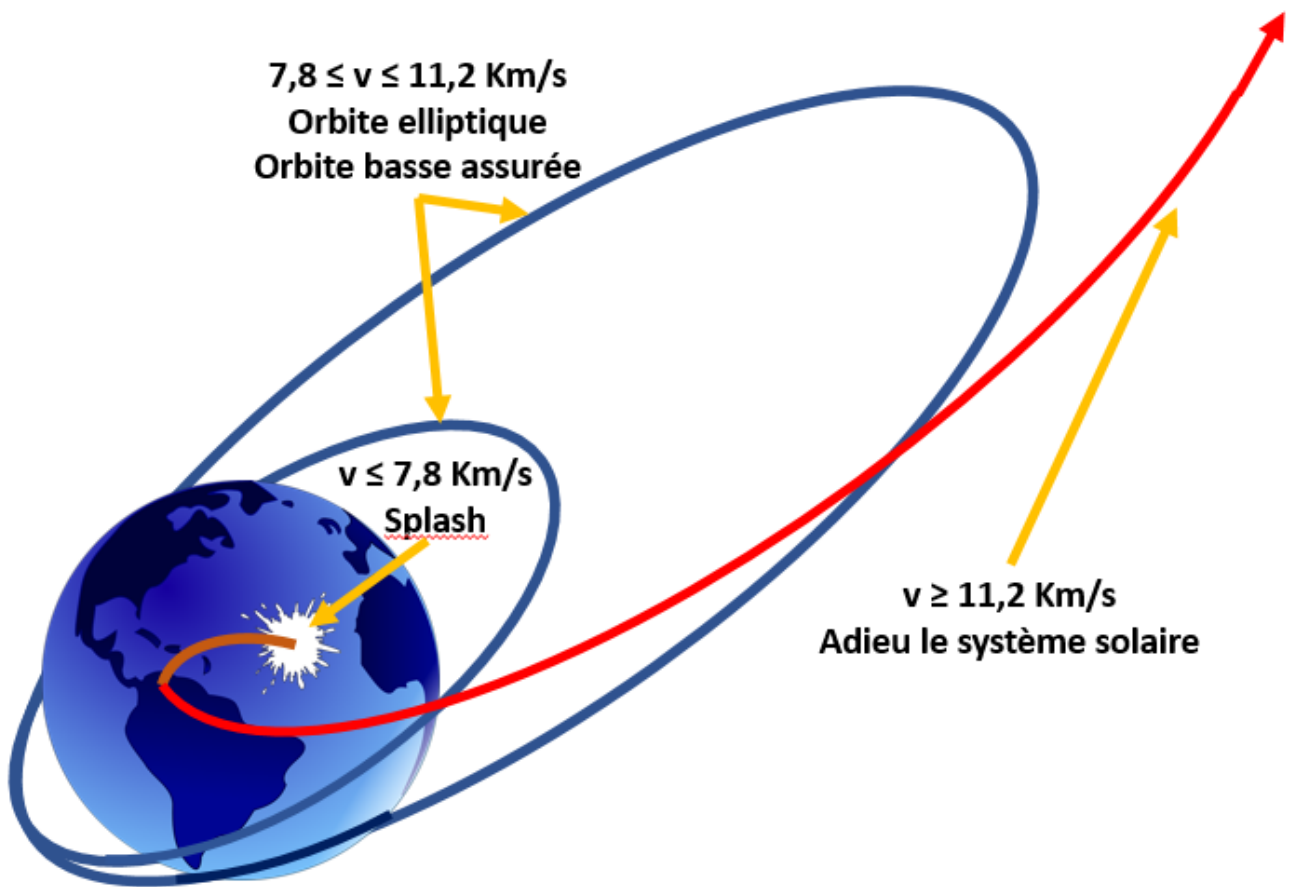
### 8.1 L'orbite de Hohmann

La trajectoire qui consomme le moins de carburant consiste à lancer le vaisseau sur une orbite elliptique qui tangente l'orbite terrienne au départ et l'orbite martienne à son arrivée (orbite de Hohmann). Cette trajectoire ne peut être parcourue dans un temps raisonnable que lorsque les positions relatives de la Terre et de Mars sont dans une configuration particulière. Il s'écoule près de 2 ans entre deux configurations favorables. Le temps mis par un vaisseau pour parcourir le trajet Terre-Mars dans la configuration la plus favorable tout en réduisant la consommation de carburant au minimum est de 258 jours. En dépensant beaucoup de carburant, mais dans des limites raisonnables, on peut réduire cette durée à 180 jours.

Déroulement des scénarios d'opposition et de conjonction dans le système héliocentré.	
1 : Lancement de l'équipage, 2 : Atterrissage sur Mars, 3 : Décollage du sol de Mars, 4 Assistance gravitationnelle de Vénus (scénario d'opposition uniquement), 5 Retour sur Terre.	
<b>Scénario d'opposition</b> (Durée 640 jours dont 30 sur Mars)	<b>Scénario de conjonction</b> (Durée 910 jours dont 550 sur Mars)
Le trajet aller se déroule dans les mêmes conditions que l'autre scénario. La durée du séjour sur Mars est minimisée en limitant les objectifs scientifiques soit environ 30 jours. Le trajet de retour s'effectue dans une configuration beaucoup plus défavorable : il dure 430 jours et nécessite de bénéficier de l'assistance gravitationnelle de Vénus. Le seul avantage de cette mission est de réduire sa durée totale à 640 jours ce qui limite dans l'esprit de ses auteurs le temps d'exposition aux rayonnements.	L'équipage décolle au moment le plus favorable et atterrit sur la planète Mars au bout de 180 jours de voyage. Il séjourne 550 jours sur le sol martien jusqu'à l'ouverture de la fenêtre de lancement la plus favorable. Le trajet de retour dure également 180 jours. La durée totale de la mission est de 910 jours.

Le scénario de conjonction a largement la préférence des scientifiques. Le scénario d'opposition qui ne permet qu'un séjour d'environ 30 jours sur le sol martien ne permet pas de réaliser l'exploration de l'ensemble de la zone pouvant être atteinte grâce aux systèmes de mobilité mise à disposition de l'équipage. Ce scénario limite la possibilité de recueillir des échantillons de sol prélevés à grande profondeur grâce à la foreuse. La brièveté du séjour ne permet pas de réorienter les recherches en fonction des découvertes ou d'optimiser de manière itérative les échantillons de sol et de roche collectés. À l'opposé les deux seuls inconvénients sont une exposition plus longue des astronautes aux rayons cosmiques et un cout légèrement supérieur.

## 8.2 La vitesse de libération.



## 8.3 La propulsion dans l'espace.

Pour se soustraire à la gravité de la Terre, et pour voyager dans l'espace, une grande quantité d'énergie est nécessaire. La source d'énergie et son carburant doivent en plus être embarqués dans le vaisseau, ce qui représente encore aujourd'hui un défi technique considérable.

Depuis les premiers systèmes de propulsion, hérités des missiles V2, ces derniers se sont perfectionnés, ont gagné en efficacité et en complexité pour aujourd'hui envisager un aller-retour habité vers d'autres planètes.

Il existe plusieurs types de propulsions, adaptés à une utilisation précise : certaines produiront une forte poussée pendant une durée limitée pour échapper à la gravité de la Terre, par exemple, tandis que d'autres produiront une poussée modérée mais sur de très longues périodes (voyages interplanétaires, correction de trajectoire, aérofreinage).

### 8.3.1 Propulsion par réaction.

La propulsion engendrée par un moteur-fusée est basée sur un principe très simple : il s'agit de la troisième loi de Newton, dite de l'action et de la réaction.

« Tout corps A exerçant une force sur un corps B subit une force d'intensité égale, de même direction mais de sens opposé, exercée par le corps B. »

La propulsion chimique est le système de propulsion actuellement utilisé en majorité : en effet, c'est le seul système assez développé pour échapper à la gravité terrestre. La poussée est produite par la réaction entre un carburant et un comburant, appelés ergols. Cette réaction produit un gaz sous très haute pression, qui est expulsé par l'intermédiaire d'une tuyère, pour produire la force de poussée et propulser le vaisseau (La forme de la tuyère est un élément clé pour la performance du système).

Le principal inconvénient de ce système réside dans le fait qu'il nécessite une réserve très importante de carburant, car malgré la forte poussée produite, le rendement est assez faible (beaucoup de carburant consommé pour une poussée relativement faible). De plus, dans le cas d'une propulsion dans l'espace, le comburant et le carburant doivent être emportés, puisque l'air (le comburant utilisé sur Terre) n'est pas présent dans l'espace. Bien que les ingénieurs en astronautique aient acquis une certaine maîtrise du domaine lors de la course à l'espace, le moteur en lui-même reste assez difficile à réaliser, à cause des contraintes physiques énormes que subissent les composants (par exemple, la tuyère doit résister à des températures atteignant 3300°C) ainsi que de l'extrême complexité du système d'alimentation en carburant (pour que la propulsion soit efficace, le carburant doit être pressurisé avant d'être injecté dans la chambre de combustion).

Dans le cadre de la propulsion spatiale, il existe de nombreux couples d'ergols (la plupart étant liquides) dont l'efficacité est variable. Parmi ceux encore utilisés, on trouve :

- Le couple dihydrogène liquide / dioxygène liquide. Il est notamment utilisé dans la fusée Ariane 5 et la Navette Spatiale Américaine.
- Le couple dioxygène liquide / Kérosène. Il a été utilisé notamment dans la fusée Saturn V, célèbre pour avoir emmené les premiers hommes sur la Lune.
- Le couple diméthylhydrazine asymétrique / Peroxyde d'azote. Ce couple est assez efficace, mais le diméthylhydrazine est hautement toxique et cancérigène.

### 8.3.2 La propulsion thermonucléaire<sup>14</sup>.

La propulsion nucléaire permet d'envisager une rupture technologique pour les explorations lointaines. Aujourd'hui, l'industrie spatiale utilise des combustibles solides et liquides (pour la propulsion, voir ci-dessus) et

<sup>14</sup> <http://www.sfen.org/fr/rgn/le-nucleaire-emmenera-lhomme-sur-mars>

des batteries ou des panneaux solaires (pour l'électricité). Cependant, ces technologies ont des limites incompatibles avec des explorations spatiales de longue durée : durée de vie des batteries, insuffisance d'énergie solaire au-delà de l'orbite de Jupiter pour les panneaux photovoltaïques, carburant lourd à transporter.

La propulsion navale a montré qu'il était possible d'embarquer des systèmes propulsifs nucléaires, soit pour la production d'électricité (nucléaire électrique), soit pour insuffler directement la vapeur générée dans les turbines (nucléaire thermique). Ces deux modes d'utilisation de l'atome sont envisageables pour des applications spatiales.

Dans **la propulsion nucléaire électrique**, l'énergie dégagée par la réaction en chaîne permet d'alimenter un moteur qui va alors ioniser un gaz propulseur et l'accélérer dans un puissant champ électrique. L'avantage de ce système est qu'il produit une quantité relativement élevée d'électricité sur une longue période allant jusqu'à plusieurs années.

La poussée de la propulsion ionique alimentée par du nucléaire n'est toutefois pas suffisante pour quitter l'attraction terrestre. Cette option technologique est surtout envisagée pour le transport du fret car la durée des vols est longue.

**Le nucléaire thermique** utilise directement la chaleur du réacteur pour chauffer les gaz et provoquer une expulsion. Et donc la propulsion. L'avantage de ce système est que l'efficacité du système réacteur/propulseur est plus élevée si l'on peut éviter une conversion en énergie électrique au milieu. Par contre, cette technologie ne peut être utilisée pour fournir de l'électricité au vaisseau spatial.

Selon Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA et auteur de l'ouvrage **Faire des sciences avec Star Wars**, le nucléaire thermique permettrait de rejoindre Mars « en quelques semaines » au lieu des six mois nécessaires actuellement. La NASA en est également convaincue. L'Agence américaine travaille actuellement sur un mode de propulsion qui permettrait d'atteindre Mars en 39 jours !

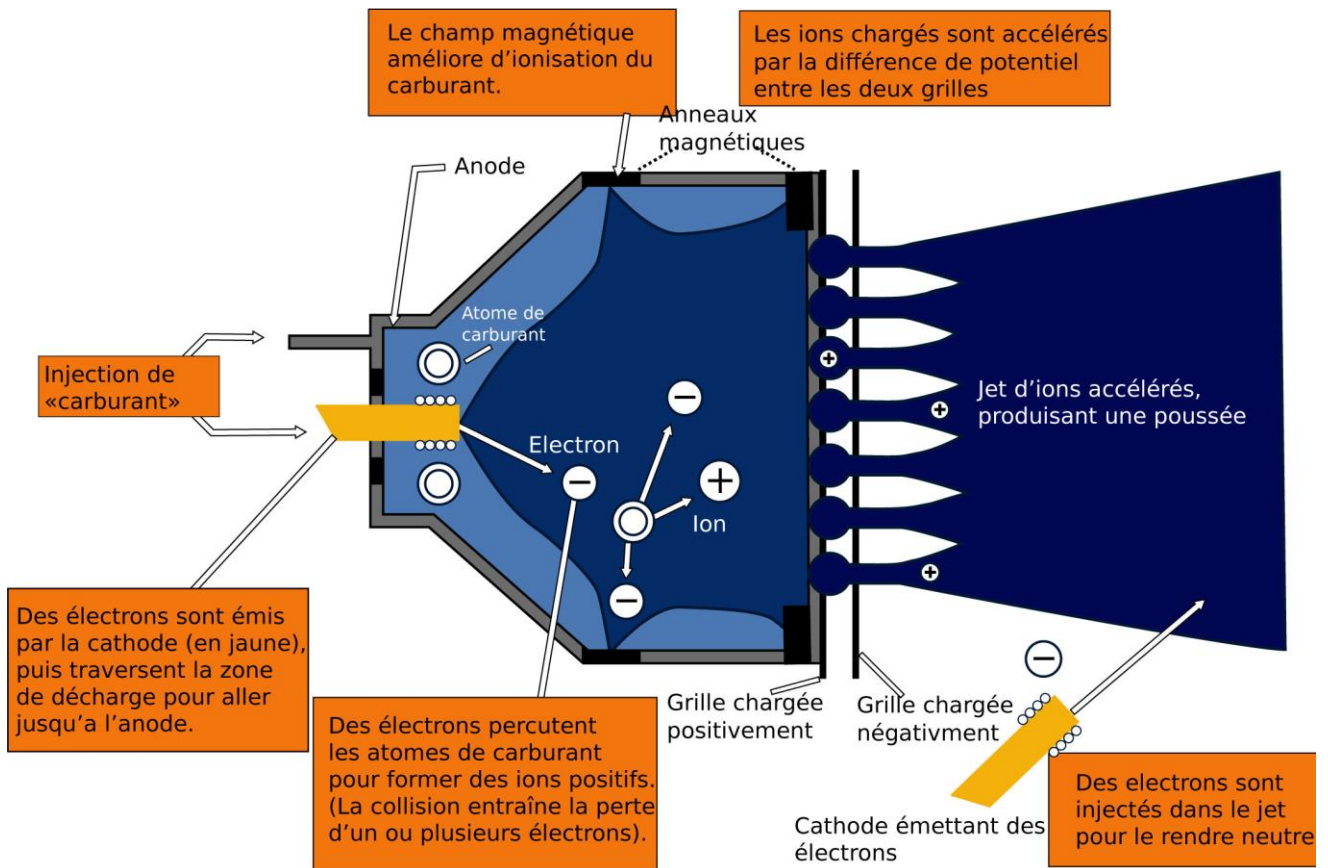
En outre, le nucléaire thermique permettrait de tracer une trajectoire plus directe dans l'espace, au lieu d'essayer d'utiliser les champs gravitationnels des planètes pour déterminer la trajectoire, ce qui permettrait de raccourcir les temps de vols. La principale contrainte réside dans la résistance des matériaux. Lesquels doivent résister à une température du fluide (hydrogène) de 3 000 °C au contact du combustible...

### 8.3.3 La propulsion ionique.

D'autres moteurs utilisent une réaction non chimique pour la production de la poussée. Leur puissance reste souvent modeste, mais grâce à une faible consommation, ils procurent une accélération constante de très longue durée (permettant ainsi d'atteindre de grandes vitesses après une longue accélération). Ils sont utilisés pour la propulsion de sondes ou de véhicules interplanétaires. C'est le cas des moteurs ioniques.

Ce type de propulsion, comme son nom l'indique, utilise des ions (des atomes ayant perdu ou gagné des électrons, et devenant ainsi chargés) accélérés par un champ électrique ou magnétique (ou les deux combinés) pour créer une force de poussée, et donc assurer la propulsion de l'engin. Comparés aux moteurs chimiques, les moteurs ioniques produisent une poussée relativement faible, mais possèdent une impulsion spécifique très grande (de l'ordre de 3000 secondes), ce qui les rend intéressants dans des voyages interplanétaires. De plus, la mise en œuvre d'un système propulsif ionique est généralement facile, puisque, outre le fait que le principe de propulsion soit assez simple, l'énergie électrique qu'il utilise est, à ce jour, assez bien maîtrisée, ce qui apporte une plus grande flexibilité au niveau de la réalisation et de l'intégration du moteur au vaisseau spatial. Ces systèmes font actuellement l'objet de recherches poussées, et de nouveaux moteurs toujours plus puissants sortent des laboratoires de recherche notamment le NASA Jet Propulsion Laborator).

La NASA estime à trois mois le temps de trajet nécessaire pour atteindre Mars avec un vaisseau équipé d'un tel système. Il reste cependant encore à l'état expérimental.



### 8.3.4 D'autres systèmes.

D'autres systèmes de propulsion originaux sont imaginés, mais le développement technologique actuel ne permet pas de les mettre en œuvre. Parmi ces systèmes "exotiques", on trouve les voiles solaires (poussées par le rayonnement solaire), et, à l'extrême, un propulseur à antimatière qui permettrait de convertir toute la masse des réactifs, un échantillon de matière et son antimatière, en énergie.

## 8.4 Aérofreinage, Aérocapture, freinage propulsif.

L'insertion en orbite martienne peut se faire selon 3 options : aérofreinage, aérocapture, ou freinage propulsif. C'est un paramètre structurant de la mission, car le choix retenu peut conduire à une réduction non négligeable de la quantité d'ergols à emporter, donc de la taille des vaisseaux et de la complexité d'un éventuel assemblage en orbite terrestre.

1. L'aérofreinage, ou freinage atmosphérique permet de modifier les caractéristiques de l'orbite elliptique d'un vaisseau spatial en utilisant les forces de frottement exercées par l'atmosphère de la planète. Il est progressif et peut nécessiter plusieurs passages dans l'atmosphère de la planète. L'aérofreinage consiste à passer dans les couches hautes de l'atmosphère martienne, ce qui conduit à une orbite allongée en sortie et nécessite un freinage propulsif complémentaire et plusieurs autres passages pour atteindre l'orbite finale recherchée. C'est la technique de l'aérofreinage qui est utilisée pour la rentrée dans l'atmosphère terrestre. Suivant la densité de l'atmosphère et les contraintes sur le réchauffement du bouclier thermique, il peut nécessiter plusieurs passages.
2. L'aérocapture est une technique qui peut théoriquement être utilisée par un vaisseau spatial qui s'approche d'un corps céleste pour le placer en orbite autour de celui-ci en un seul passage en utilisant uniquement le frottement généré par la traversée de l'atmosphère de cette planète et sans avoir recours à ses moteurs pour décélérer.

Le recours à la technique de l'aérocapture est une alternative à l'utilisation des moteurs qui consomment un carburant précieux : quand il arrive à proximité de Mars, le vaisseau longe la planète à une altitude suffisamment basse pour que la densité de l'atmosphère martienne exerce une pression aérodynamique qui le ralentisse suffisamment pour le placer en orbite autour de la planète. C'est une technique très délicate qui nécessite une navigation très précise pour ne pas soumettre le vaisseau à une agression thermique trop importante, qui pourrait entraîner la perte du vaisseau ou au contraire ne pas ralentir suffisamment ce qui renverrait le vaisseau sur une trajectoire de retour ou une orbite de très grande excentricité. Une contrainte supplémentaire est que la décélération doit être supportable par l'équipage (limite fixée à 5 g par la NASA).

Cette technique n'a jamais été expérimentée, contrairement à l'aérofreinage couramment utilisé.

3. Le freinage propulsif consiste à freiner grâce à un système de propulsion. Toutefois, plus la planète a une gravité importante, plus la quantité d'ergols nécessaire au freinage est grande. Dans le cas de Mars, une telle Manoeuvre demanderait une quantité énorme d'ergols.

## 8.5 Descendre sur Mars.

Comme pour la mise en orbite basse, pour annuler la vitesse il existe deux méthodes :

- Utiliser les forces de frottement dans l'atmosphère comme pour la mise en orbite.

C'est ce que font les vaisseaux habités qui reviennent sur Terre en décélérant légèrement ce qui fait décroître leur orbite de manière à entamer le processus. L'atmosphère fait alors tout le travail et la seule pénalité en poids est constituée par la masse du bouclier thermique qui protège le vaisseau de l'élévation de température très forte durant la phase de freinage (la masse de ce bouclier peut être néanmoins significative).

- Lorsqu'une planète est dépourvue d'atmosphère comme sur la Lune on annule la vitesse en ayant recours à la poussée de moteurs.

Cette solution est extrêmement coûteuse car elle nécessite de consacrer une grande partie de la masse du vaisseau au carburant utilisé. La masse qui doit être sacrifiée est proportionnelle à la gravité de la planète : poser sur la Lune le module Apollo sacrifie ainsi la moitié du poids du vaisseau au profit du carburant avec une vitesse à annuler 3 fois plus faible que sur Mars.

La densité très faible de l'atmosphère de Mars (1% de celle de la Terre) la place, pour le scénario de descente, dans une situation intermédiaire entre la Terre et la Lune. Le robot Mars Science Laboratory, qui a atterri sur Mars en 2012, fut obligé de recourir à des moteurs pour se freiner à partir de l'altitude de 1500 mètres. Le problème devient d'autant plus aigu que la charge à poser est lourde or les vaisseaux martiens du scénario de référence de la NASA ont une masse comprise entre 45 et 65 tonnes. Le deuxième problème soulevé par la faiblesse du frottement atmosphérique sur Mars est que la vitesse ne devient inférieure à Mach 1 (vitesse du son) que lorsque le vaisseau est très près du sol : le vaisseau et son équipage disposent de très peu de temps pour modifier le site d'atterrissage si la trajectoire du vaisseau l'amène sur une zone parsemée d'obstacles ou le conduit à une trop grande distance du lieu visé. De plus, cette contrainte interdit l'atterrissage sur des zones situées à des altitudes trop élevées (soit près de 50 % de la superficie de Mars).

Des recherches sont menées à la NASA pour améliorer l'efficacité du freinage dans une atmosphère peu dense. Différentes techniques sont à l'étude :

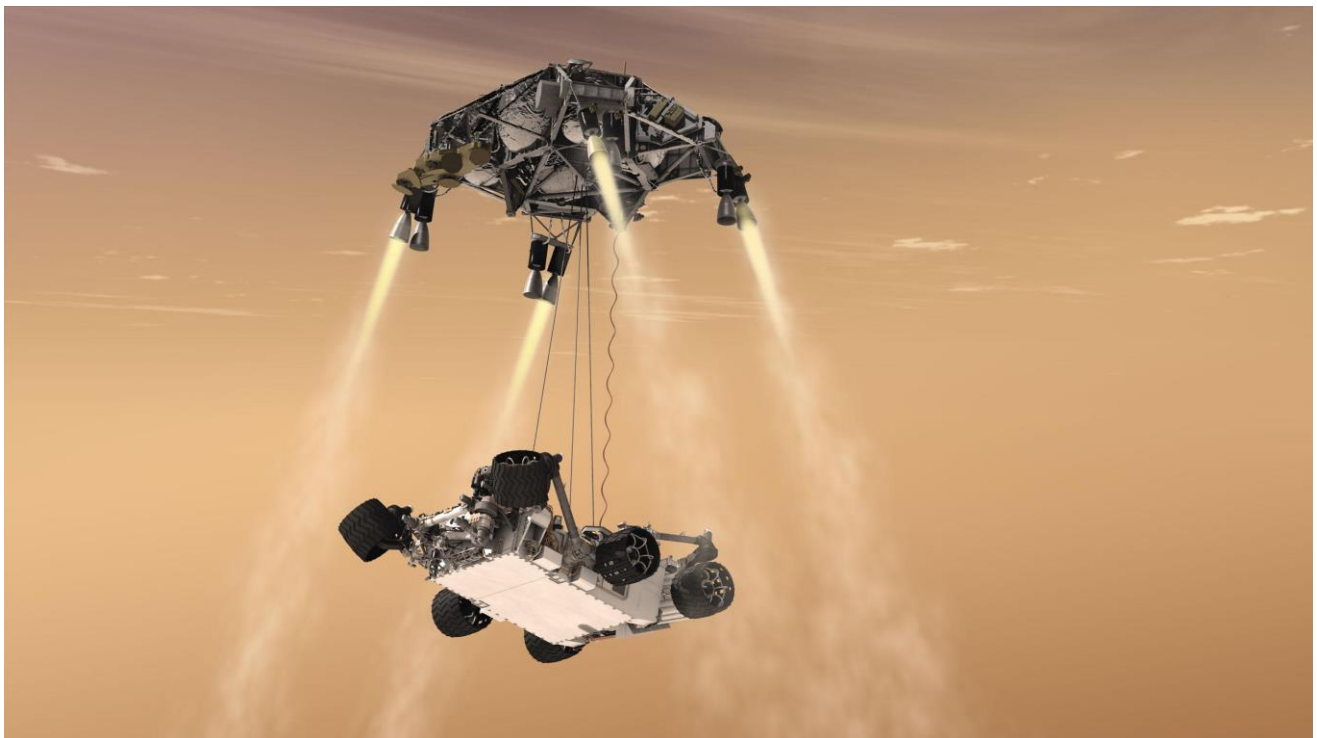
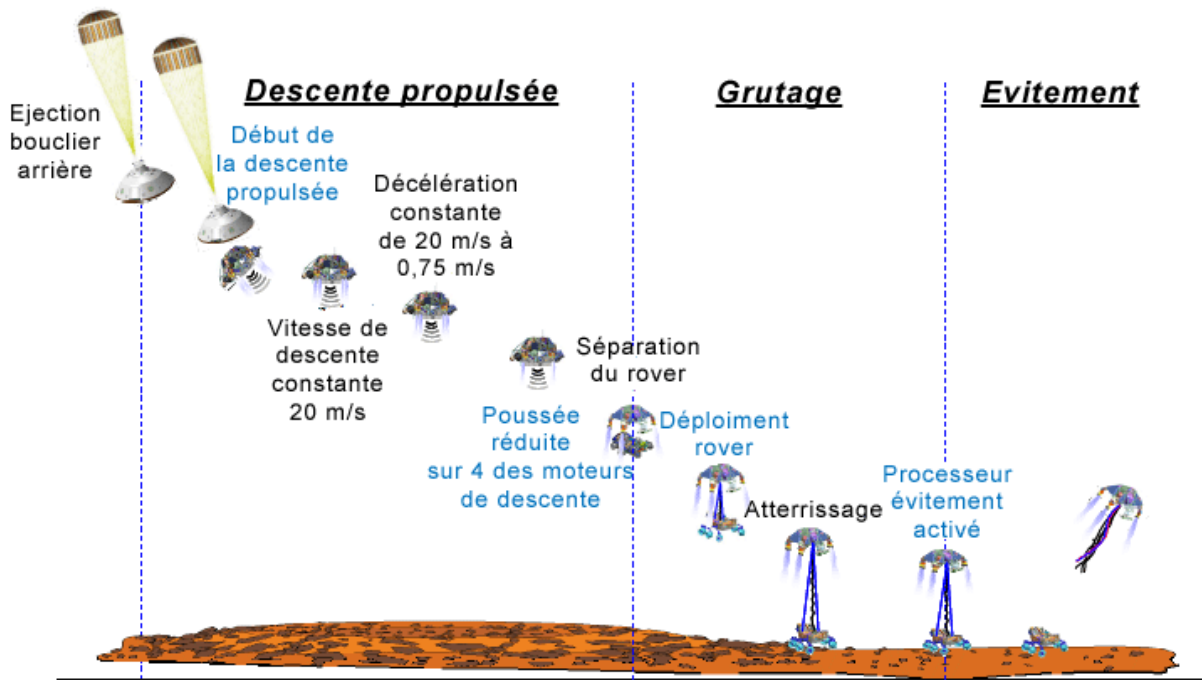
- Bouclier thermique gonflable offrant une surface de freinage beaucoup plus importante dans la phase haute de la descente.
- Structure en forme d'anneau gonflable en remorque du vaisseau à la manière d'une ancre flottante durant la phase haute du vol.
- Ballote (croisement entre un parachute et un ballon) déployé avant l'entrée dans l'atmosphère martienne et travaillant également à la manière d'une ancre flottante.
- Parachute de très grande dimension (près de 90 mètres de diamètre pour un module pesant 50 tonnes) déployé alors que le vaisseau est à vitesse hypersonique.

Si on a recours à la méthode coûteuse consistant à utiliser des moteurs sur une partie significative du vol (pour produire une décélération comprise entre 0,9 et 1,4 km/s, 20 à 30 % de la masse du vaisseau est sacrifiée au profit du carburant<sup>15</sup>), sa mise en œuvre est difficile car, à vitesse hypersonique, l'éjection des gaz des moteurs perturbe l'écoulement aérodynamique.

<sup>15</sup> RD Braun, RM Manning, Mars Exploration Entry, Descent and Landing Challenges, [http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.4frontierscorp.com%2Fdev%2Fassets%2FBraun\\_Per\\_on\\_Mars\\_EDL.pdf](http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http%3A%2F%2Fwww.4frontierscorp.com%2Fdev%2Fassets%2FBraun_Per_on_Mars_EDL.pdf)



Durant la phase finale un étage grue à la manière du robot Mars Science Laboratory peut être utilisé pour obtenir une vitesse verticale quasi nulle à l'atterrissage, (voir ci-dessous).



## 8.6 Comparaison Terre - Mars

Comparaison Terre - Mars		
	Terre	Mars
<b>Caractéristiques orbitales</b>		
Distance à l'aphélie (Km) (1)	152,1 10 <sup>6</sup>	249,13 10 <sup>6</sup>
Distance au périhélie (Km) (2)	147,1 10 <sup>6</sup>	206,7 10 <sup>6</sup>
Circonférence orbitale (Km)	9,39 10 <sup>8</sup>	1,43 10 <sup>9</sup>
Période de révolution (durée de l'année)	365,256 jours	686,98 jours
Vitesse orbitale moyenne (Km/s)	29,783	24,077
Excentricité	0,0167	0,0934
Inclinaison sur l'écliptique	0°	1,85°
<b>Caractéristiques physiques</b>		
Diamètre équatorial (Km)	12 756	6 794
Masse (Kg)	5,972 10 <sup>24</sup> soit 1 masse terrestre	6,418 .10 <sup>20</sup> milliards de tonnes soit 0,107 masse terrestre
Volume (Km <sup>3</sup> )	1,08 10 <sup>12</sup>	1,63 10 <sup>11</sup> (0,15 de la terre)
Densité	5,52	3,9
Période d'une rotation (une journée)	23 h 56 min 4 s	24 h 37 min 23 s
Vitesse de rotation à l'équateur (Km/h)	1674	868
Pesanteur (m/s <sup>2</sup> )	9,81	3,71
Vitesse de libération (Km/s)	11	5
Température moyenne	+ 22°C	- 60 à -20°C à l'équateur
Températures extrêmes	-34°C au pôle nord -50°C au pôle sud	-60 à -130° C au pôle nord -100 à -130°C au pôle sud
Champ magnétique (Tesla) (3)	4,5 10 <sup>-5</sup> composante horizontale 0,2 10 <sup>-4</sup>	0
Point culminant	Everest 8,85 Km	Olympus Mons 21,23 Km
<b>Caractéristiques atmosphériques</b>		
Pression atmosphérique (hecto Pascal)	1013	0,6 en moyenne, (170 fois moins que sur terre, extrême variabilité)
Diazote, N2	78%	1,89%
Dioxygène, O2	21%	0,15%
Dioxyde de carbone, CO2	400ppm	96%
Monoxyde d'azote, NO	traces	0,07%
Dioxyde d'azote, NO2	Trace	0
Hélium	5,24 ppm	0
Néon	18,8ppm	2,5 ppm
Argon	0,93%	1,93%
Vapeur d'eau	0,4% en volume, jusqu'à 4% en surface	0,03%
Hydrogène, H2	traces	traces (15ppm)
<b>Satellites</b>		
Satellites	Lune (3476 km de diamètre)	Corps irréguliers Deimos (10km x 12 x 16) Phobos (18km x 22 x 28)
Période de rotation	29 jours	Deimos : 67 h 08 min Phobos : 5 h 52 min

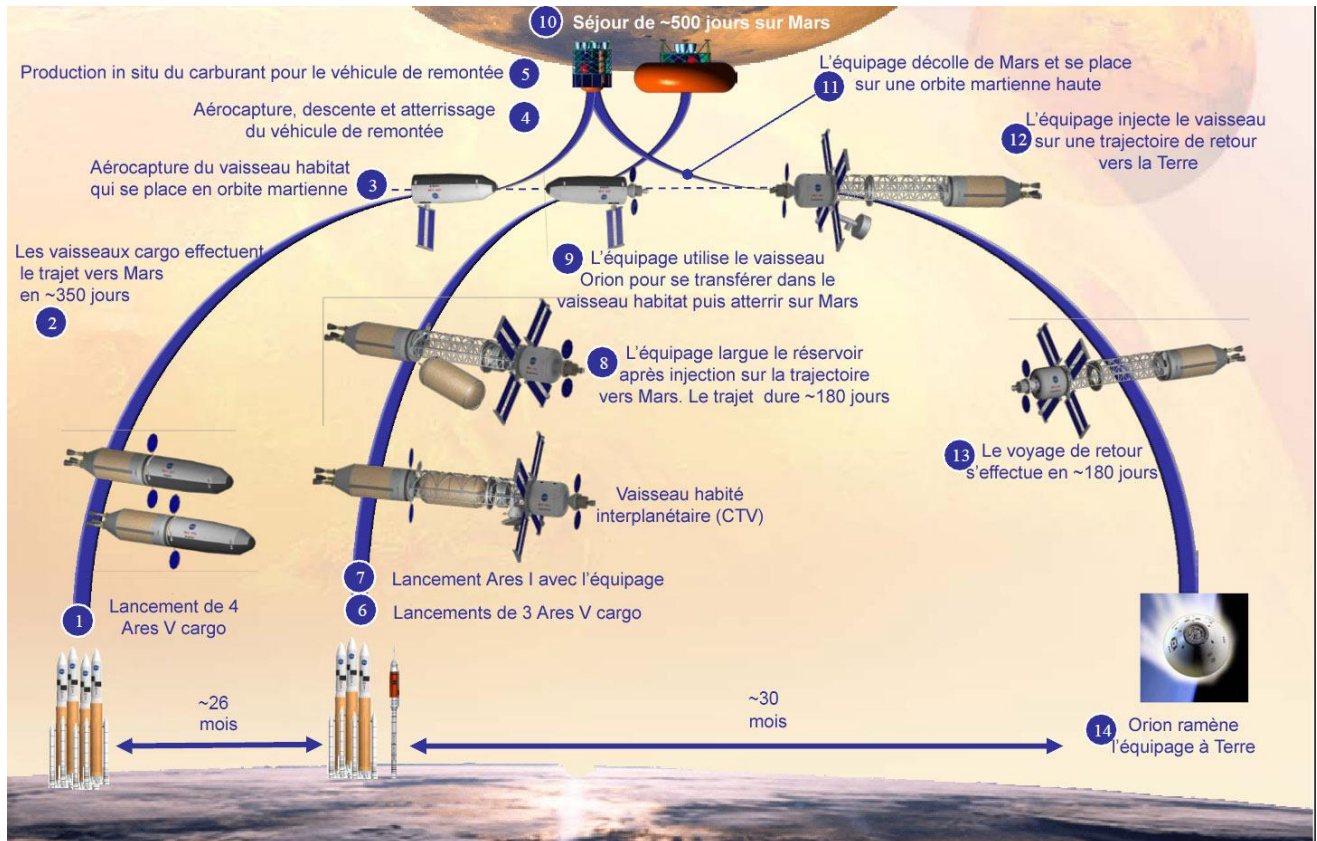
(1) **Aphélie** : Point de l'orbite d'une planète où elle se trouve à la plus grande distance du Soleil.

(2) **Périhélie** : Point de l'orbite d'une planète qui est le plus proche du Soleil

(3) Il existe des champs magnétiques rémanents sur Mars, environ 800 fois inférieurs au champ magnétique terrestre, vestiges vraisemblable d'un passé où la planète rouge ressemblait à la terre.

## 8.7 Un scénario de référence.

Entre 1988 (NASA Case studies) et 2009, la NASA a affiné un scénario de mission habitée vers Mars reposant sur les lancements successifs de différents engins spatiaux assemblés en orbite basse terrestre puis dirigés vers Mars. La version 5 de ce scénario est régulièrement actualisée et un addendum a été produit en 2014. (Voir le document de la NASA : Human Exploration of Mars Design Reference Architecture 5.0<sup>16</sup>). On s'appuie ici sur la synthèse de ce document contenue dans Wikipédia<sup>17</sup>. Extrait du rapport de la NASA la figure ci-dessous schématise le déroulement de la Mission :



Le déroulement de la Mission serait le suivant :

- Choix du scénario de conjonction. L'intérêt scientifique du scénario d'opposition est considéré comme trop limité.
- Pré positionnement de l'habitat martien et de l'étage de remontée qui décollent de la Terre 24 mois avant le départ de l'équipage :
  - Lancement et assemblage automatique en orbite basse terrestre.
  - Arrivé sur l'orbite martienne le vaisseau d'habitation martienne se met en attente de l'équipage.
  - Le vaisseau de remontée se pose sur le sol martien. Après l'atterrissage il se met à extraire de l'oxygène de l'atmosphère martienne pour produire un des ergols utilisés comme carburant pour la remontée en orbite mais également des consommables au bénéfice de l'équipage (production d'oxygène et eau) ;

<sup>16</sup> <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090012109.pdf> .

<sup>17</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mission\\_habit%C3%A9e\\_vers\\_Mars#cite\\_note-44](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mission_habit%C3%A9e_vers_Mars#cite_note-44) .

- Pour les phases propulsées entre la Terre et Mars - insertion sur une trajectoire de transfert vers Mars, insertion en orbite autour de Mars et pour le retour insertion sur une trajectoire de transfert vers la Terre - le rapport préconise la propulsion nucléaire qui permet de réduire considérablement la masse de carburant (la masse totale à placer en orbite basse terrestre passe de 1 252 tonnes à 849 tonnes) par rapport à une propulsion chimique (impulsion spécifique de 910 secondes contre 455 secondes).
- L'équipage (6 personnes) décolle 24 mois après le premier lancement à bord d'un vaisseau Orion lancé par une fusée Ares. Simultanément trois Ares V lancent en orbite basse respectivement un étage de propulsion (moteur et réservoir), un réservoir et l'habitat qui doit héberger l'équipage durant le trajet Terre Mars aller et retour (Transit Habitat). Les trois modules sont assemblés pour former le vaisseau qui effectuera l'aller-retour (Mars Transit Vehicle MTV). L'équipage amarre son vaisseau Orion à l'ensemble et embarque dans l'habitat.
- Pour la propulsion de l'habitat qui emporte l'équipage sur le trajet Terre-Mars, un réservoir supplémentaire d'hydrogène est ajouté pour le vol de retour. L'hydrogène contenu dans ce réservoir ne sera utilisé que près de 3 ans après le lancement.
- Le lancement de l'équipage s'accompagne du lancement des vaisseaux cargo de la mission suivante qui servent ainsi de secours en cas de défaillance des équipements déjà arrivés sur le sol martien. Ce scénario suppose donc que les missions martiennes s'enchaînent les unes derrière les autres.
- L'ensemble est injecté sur une trajectoire martienne en utilisant le propergol contenu dans le réservoir sans moteurs. Celui-ci est alors largué.
- Le vaisseau ralentit pour se mettre en orbite autour de Mars. Contrairement aux modules cargos envoyés 2 ans auparavant, il n'utilise pas la technique de l'aérocapture qui permet d'économiser les ergols.
- En orbite martienne l'équipage embarque dans un petit vaisseau (non décrit) qui lui permet de rejoindre l'habitat martien pré-positionné en orbite martienne 24 mois auparavant.
- L'habitat martien descend sur le sol martien. L'atterrissage sur Mars est considéré comme la phase la plus périlleuse de la mission. Deux options sont particulièrement détaillées : l'utilisation de la coiffe du lanceur renforcée et isolée sur le plan thermique et l'utilisation d'un bouclier thermique gonflable adapté aux vitesses hypersoniques et supersoniques. Un autre choix crucial est la masse de la charge utile maximale pouvant être posée en effet la complexité croît rapidement avec celle-ci.
- L'équipage séjourne sur le sol martien durant 500 jours.
- Le comburant (oxygène) de la fusée chargée de remonter l'équipage depuis le sol de Mars ainsi qu'une partie de l'oxygène utilisé par les astronautes est produit sur place par extraction de l'atmosphère martienne. Ce choix permet de réduire notablement la masse et le volume du lanceur et accroît l'autonomie de l'équipage.
- L'énergie sur le sol martien est fournie par un réacteur nucléaire de 30 kW.
- À la fin de son séjour, il utilise le véhicule de remontée qui a fabriqué automatiquement une partie de son carburant pour remonter en orbite martienne ;
- Après une manœuvre de rendez-vous, il embarque dans le vaisseau qui effectue le trajet Terre Mars. Celui-ci quitte l'orbite martienne en puisant dans son deuxième réservoir (celui situé dans l'étage doté de moteurs. Arrivé près de l'orbite terrestre, l'équipage embarque dans le vaisseau Orion et effectue sa rentrée dans l'atmosphère.

## 9. PRINCIPALES REFERENCES.

Human Exploration of Mars. Design Reference Architecture 5.0, BG Drake, (LB Johnson Space Center)  
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090012109.pdf> .

Seul sur Mars, deux en scène ! Planet Terre/éduscol/ENS Lyon, Roland Lehoucq (CEA Saclay), Pierre Thomas (ENS Lyon), <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/seul-sur-Mars-deux-en-scene.xml> .

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mission\\_habit%C3%A9e\\_vers\\_Mars#cite\\_note-44](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mission_habit%C3%A9e_vers_Mars#cite_note-44) .

<http://orbitmars.futura-sciences.com/explo-comment.php> , (Olivier Poch).

[http://www.maxisciences.com/mars/une-mission-habitee-vers-mars-serait-possible-d-ici-20-ans-d-039-apres-les-experts\\_art29438.html](http://www.maxisciences.com/mars/une-mission-habitee-vers-mars-serait-possible-d-ici-20-ans-d-039-apres-les-experts_art29438.html), (Maxime Lambert, le 06 mai 2013).

" Mars : pour certains, une mission habitée serait possible dès les années 2030", Rémy Decourt, Futura Sciences, publié le 06/04/2015.

"Vivre dans l'espace, pas si simple", Alexandra Pihen, Science et vie, Mai 2017.

## Table des matières

<b>1. CONTEXTE</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARS, COMMENT ON Y VA, (OU COMMENT PARCOURIR 500 MILLIONS DE KM). ...</b>	<b>2</b>
2.1 Durée du voyage.....	2
2.2 Quand partir ? .....	2
2.3 D'où partir ?.....	3
2.4 À quelle vitesse ? .....	3
2.5 Comment "avancer" dans l'espace ? .....	3
<b>3. MARS : COMMENT ON "AMARSI" ?</b> .....	<b>4</b>
<b>4. VIVRE SUR MARS</b> .....	<b>4</b>
4.1.1 Connaitre l'environnement. ....	4
4.1.2 Vivre en milieu hostile. ....	5
<b>5. MARS : COMMENT ON EN REVIENT ?</b> .....	<b>6</b>
<b>6. L'EQUIPAGE, LES CONTRAINTES PHYSIOLOGIQUES, LA SECURITE</b> .....	<b>6</b>
6.1.1 Les radiations (rayons cosmiques et éruptions solaires). ....	6
6.1.2 L'apesanteur.....	7
6.1.3 Sur le plan psychologique.....	7
6.1.4 Alors, comment composer l'équipage ? .....	8
<b>7. CONCLUSION.</b> .....	<b>8</b>
<b>8. POUR EN SAVOIR PLUS</b> .....	<b>9</b>
8.1 L'orbite de Hohmann .....	9
8.2 La vitesse de libération. ....	10
8.3 La propulsion dans l'espace. ....	11
8.3.1 Propulsion par réaction.....	11
8.3.2 La propulsion thermonucléaire.....	11
8.3.3 La propulsion ionique. ....	12
8.3.4 D'autres systèmes. ....	13
8.4 Aérofreinage, Aérocapture, freinage propulsif.....	14
8.5 Descendre sur Mars.....	15
8.6 Comparaison Terre - Mars .....	17
8.7 Un scénario de référence.....	18
<b>9. PRINCIPALES REFERENCES.</b> .....	<b>20</b>