

Sujet : **La Terraformation de Mars**

Thème :
Environnement et Progrès

Sommaire

<u>Sommaire</u>	page 02
<u>Introduction</u>	page 03
<u>I. Pourquoi Mars</u>	page 04
A. Caractéristiques de Mars.....	page 04
B. Comparaisons Terre / Mars.....	page 12
C. Hypothèse de Vénus.....	page 13
<u>II. Comment Terraformer Mars ?</u>	page 15
A. Augmentation de la température.....	page 15
B. Réactivation de l'hydrosphère.....	page 16
C. Implantation de la biosphère.....	page 17
D. Prévision des différentes étapes.....	page 18
<u>III. Expérience</u>	page 21
A. Protocole expérimental.....	page 21
B. Résultats et interprétation	page 25
<u>IV. Pour ou Contre ?</u>	page 26
A. Contre la terraformation.....	page 26
B. Pour la terraformation.....	page 27
<u>Conclusion</u>	page 27
<u>Lexique</u>	page 28
<u>Annexes</u>	page 29

Introduction

« Monsieur, croyez-vous qu'un jour nous pourrions aller vivre sur une autre planète ?

_Oui, mais il faudrait d'abord rendre la planète vivable ; ce qui n'est le cas d'aucune planète connue à ce jour.

_Et comment pourrait-on transformer une planète ainsi ?

_Grace au processus de terraformation. »

En effet, le mot terraformation vient de l'anglais 'terraforming' et représente un processus qui consiste à rendre une planète habitable à l'homme, à l'image de la Terre.

Ce concept est apparu en 1942 dans un roman fantastique de Jack Williamson, c'est en effet lui qui a imaginé différentes étapes se rattachant à une terraformation et qui en est donc l'inventeur.

Ce qui est intéressant avec la terraformation, c'est qu'elle permettrait à l'homme de vivre sur une planète qui lui est totalement étrangère et en toute autonomie car n'importe quelle planète envisagée pour cette expérience est située très loin de la notre rendant les échanges très difficiles.

La terraformation, jusqu'en 1961, n'intéressait que les auteurs de science fiction et c'est cette année là que le premier scientifique, Carl Sagan, propose cette expérience sur Vénus.

Mais jusqu'à ce jour, seule la terraformation de la planète Mars est envisageable malgré les conditions extrêmes qui y règnent, prouvées par différentes missions réalisées jusqu'à aujourd'hui.

La terraformation représente un lourd investissement à ne pas prendre à la légère avec sûrement de grandes retombées scientifiques, comporte différentes étapes en fonction des planètes et constitue le projet le « plus extraordinaire de tous les temps ».

Tout d'abord, nous verrons pourquoi le choix de la planète à terraformer s'est posé sur Mars, puis comment atteindre nos objectifs sur celle-ci.

Enfin, nous parlerons de l'expérimentation faite dans le cadre de ce TPE ainsi que des problèmes et des intérêts de la terraformation.

I. Pourquoi Mars ?

Avant de terraformer une planète, il faut déjà savoir laquelle !
Pour ce choix il a fallu prendre en compte la distance des candidates par rapport à la Terre ainsi que leurs similitudes avec la Terre : Pluton la plus éloignée et totalement glacée ou encore Mercure avec des températures extrêmes variant entre 173°C et 490°C étaient à exclure.

Seules deux planètes respectaient ces conditions : Mars et Vénus.

A. Caractéristiques de Mars

Afin de Juger la capacité de Mars à être terraformer, il faut d'abord connaître ses caractéristiques.

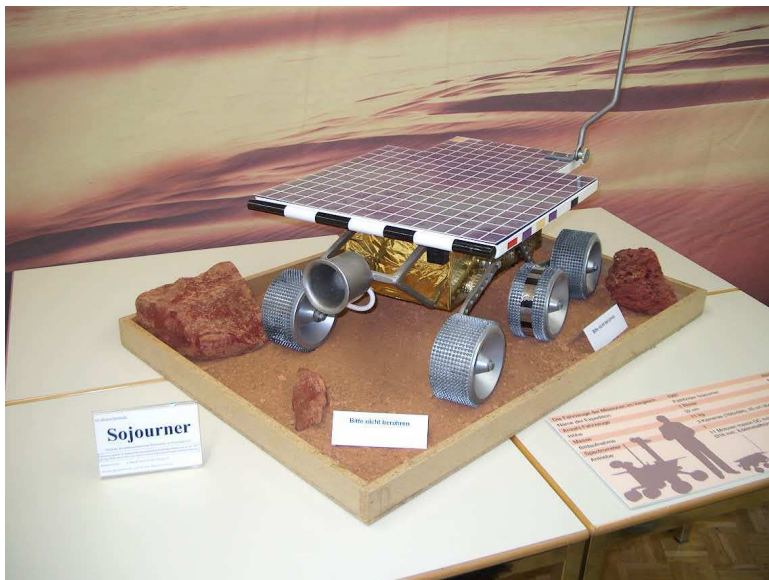
1. Les différentes missions

Pour cela, il a fallu explorer la planète au cours de missions à l'aide de satellites et de sondes ; celles-ci sont d'ailleurs de plus en plus performantes grâce à l'avancée technologique en aérospatiale ces dernières années.

a) Missions passées (annexe IV/A)

- Les premières sont les soviétiques en 1960 mais connaissent un échec avec *Mars1* qui ne part qu'en 1962 mais cesse d'émettre à mi-parcours.
- **1964** : la Nasa lance *Mariner4* qui est la première sonde à encore être active lors du survol de Mars et prend 21 photos et donnant en plus divers éléments. On apprend qu'il n'y a pas de canaux mais des cratères et une pression atmosphérique 10 fois plus faible que prévu.
- **1969** : *Mariner6* et *Mariner7* renouvellent l'exploit.
- **1971** : *Mariner9* est le premier satellite artificiel qui présente une carte de la planète.
- **1972** : Echec des capsules soviétiques *Mars2* et *Mars3*
- **1975** : La Nasa envoie deux grosses sondes composées d'un orbiteur et d'un atterrisseur et donc découverte du paysage martien. Les missions martiennes ne reprennent qu'à la fin des années 80, mais les échecs s'enchainent. Après les sondes russes *Phobos* et l'américaine *Mars Observer*, *Mars96*, qui emporte de nombreux instruments européens, échoue à son tour.
- **1997** : la petite sonde *Mars Pathfinder* et son petit robot *Sejourner*, dit «Rocky » est le premier à rouler sur Mars.

- **1999** : Perte de *Mars Climat Orbiter* (24/09/99), ce qui gêne la mission de *Mars Polar Lander* car elle devait servir de relais radio pour acheminer vers la Terre les données recueillies par celle-ci. A défaut, *Mars Polar Lander* peut avec son propre émetteur envoyer directement un signal vers les récepteurs du DSN - un réseau d'antennes réparties à travers le Monde - mais les images de plus grand volume ne pourraient parvenir qu'en moins grand nombre. Le DSN risquerait d'être surchargé et donc devrait faire appel à *Mars Global Surveyor*, en orbite autour de la planète depuis deux ans ; quitte à sacrifier un peu la mission de cartographie qui lui est assignée ainsi que l'émission des instructions à la sonde en cas de problèmes.
- **2003** : Etude de la surface de la planète grâce à *Mars Express* (CNES) avec son nouveau atterrisseur *Beagle2*.
- **2004** : *Mars Exploration Rover* (Nasa), avec son spectro-imageur découvre de l'eau sous forme de glace
- **2005** : *Mars Reconnaissance Orbiter* grâce à sa résolution de 20 à 30cm, apporte une cartographie détaillée de la planète.



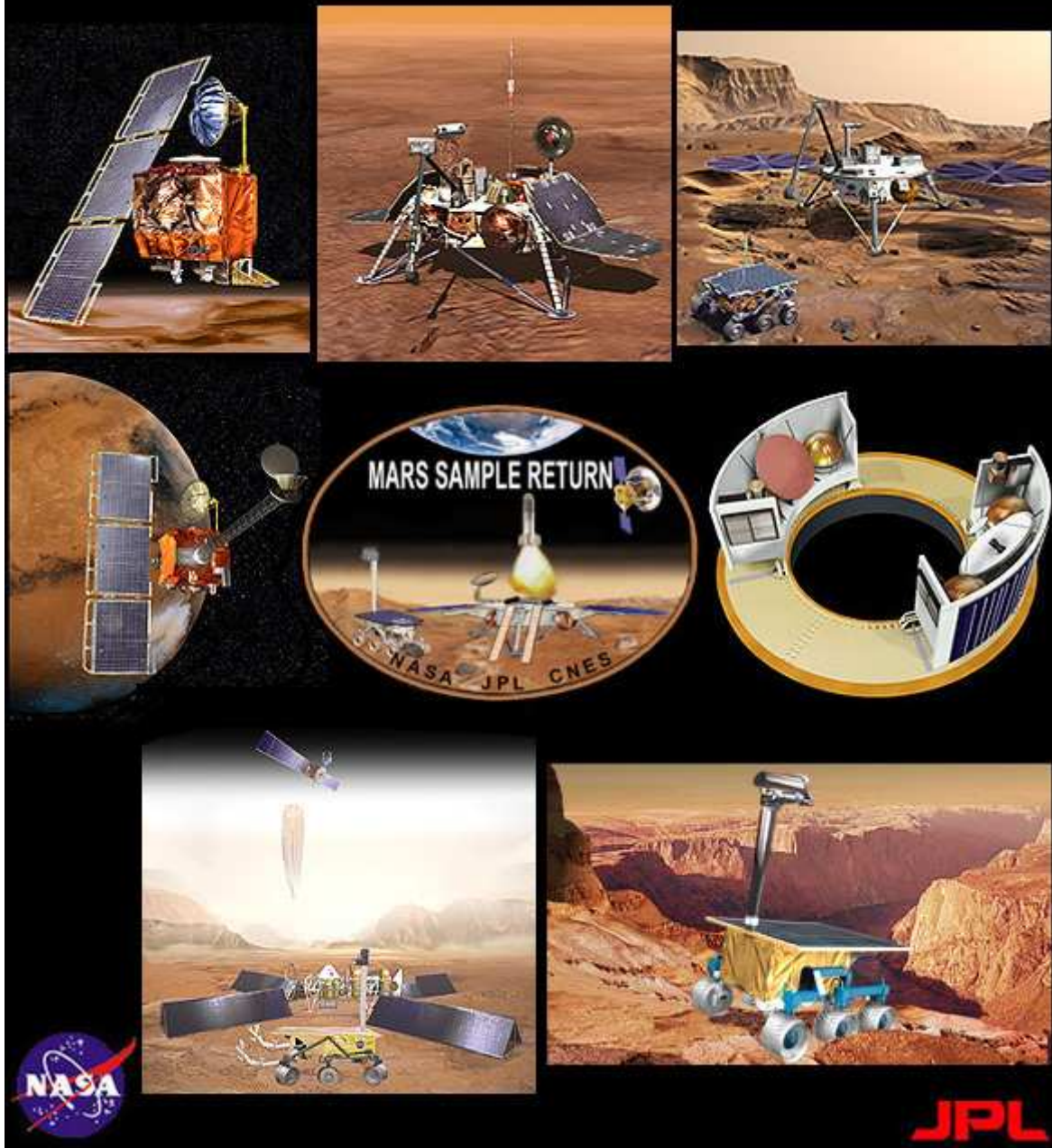
Le robot *Sejourner* de la petite sonde *Mars Pathfinder*.

Premier robot à avoir roulé sur Mars.

b) Missions futures (annexe IV/B)

- **2007** : *Smart Lander* sera le premier véhicule capable de parcourir plus de 100m par jour. *Mars Sample Return* possédera un orbiteur dédié à l'étude de l'atmosphère qui nous renseignera sur la structure interne, la profondeur et la nature de la nappe souterraine liquide. C'est une mission de test pour préparer la « grande » mission de 2011.
- **2009** : La Nasa enverra *Scout Mission*, des missions légères conçues à partir d'une plate-forme commune, elle comprendra des avions ou des ballons.
- **2011 (voire 2014)** : le CNES et la Nasa lanceront le programme commun *Mars Sample Return*, il s'agit du retour d'échantillons martiens en 2014 ou 2017. (Mais il se peut que ces dates soient retardées car le budget de la Nasa a baissé à cause de l'attentat du 11 septembre 2001.)

MARS EXPLORATION PROGRAM

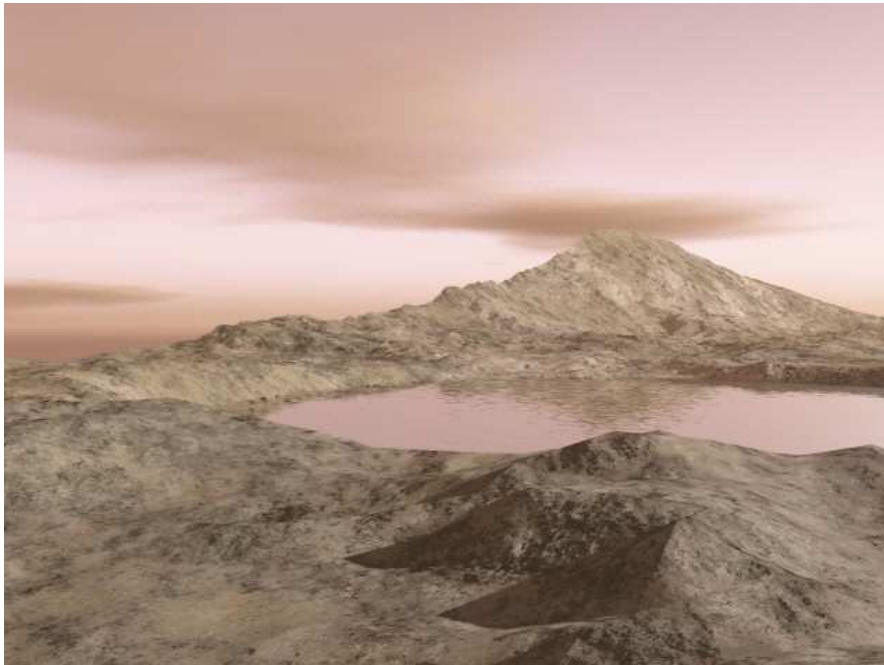


Les Programmes d'exploration de la Nasa concernant Mars.
Vue d'artiste des différentes missions ayant pour but l'exploration de Mars

2. Mars Jadis (annexe I/B/2)

On peut penser que Mars a un jour ressemblé à la Terre ; en effet la planète rouge possède le plus grand volcan du système solaire, *Olympus Mons* (Mont Olympe), 6000km de diamètre et 27000m de hauteur, qui témoigne de son activité interne passée. Pendant un ou deux milliards d'années, la Terre et Mars étaient probablement semblables. Il est possible que la vie soit apparue sur Mars au moment où, sur Terre, les premières bactéries s'ébattaient dans les océans primitifs (mais l'extinction rapide de leur monde n'a laissé aucune chance aux éventuels organismes martiens). C'est grâce aux photographies de Mars prises par les différents satellites que l'on a pu constater que de l'eau a coulé sur Mars. En effet, on aperçoit les vestiges de réseaux longs, sinueux avec peu d'affluents tels Nirgal Vallis et de petits réseaux complexes, avec de nombreux affluents.

On peut donc penser que Mars était une planète avec de grands lacs, des vallées, une activité volcanique importante mais aussi une atmosphère relativement épaisse et humide.



Représentation de Mars telle qu'elle était il y a 2 milliards d'années.

Nous pouvons distinguer un cratère rempli d'eau (représentant une activité volcanique importante) et une atmosphère relativement épaisse et humide (voire même quelques nuages).

3. Mars de nos jours (annexes I/B/1 ; I/A/2 ; III ; V)

Caractéristique	Mars
Paramètres orbitaux	
Type	Planète tellurique
Connue	Depuis la préhistoire
Distance moyenne au Soleil	1,52 366 231 UA -227,92 .106 km
Distance mini au Soleil (périhélie*)	1,381 UA - 206,62 .106 km
Distance max. au Soleil (aphélie*)	1,666 UA - 249,23 .106 km
Période de révolution sidérale	686,980 jours (1,88 années terrestres)
Vitesse orbitale moyenne	24,13 km/s
Vitesse orbitale max	26,50 km/s
Vitesse orbitale mini	21,97 km/s
Inclinaison de l'orbite	1,85 061°
Inclinaison de l'axe	25,19°
Excentricité* de l'orbite	0,09 341 233
Durée d'un jour	24,6597 heures

Caractéristique	Mars
Paramètres planétaires	
Masse	0,64185 .1024 kg
Volume	16,318 .1010 km ³
Densité	3,933 g/cm ³ (eau=1)
Pression de surface	6,36 mbar en moyenne,
	de 4.0 à 8.7 selon les saisons
Diamètre équatorial	3397 km
Gravité	3,71 m/s ²
Vitesse de libération	5,03 km/s
Nombre de satellites naturels	2
Anneaux:	non
Irradiation solaire	589,2 W/m ²
	en moyenne environ -63°C (210K); de -140°C à +22°C
Température	
Principaux composant de l'atmosphère	Co ₂ (95,32%) - N ₂ (2,7%)

Informations générales :

Mars est la quatrième planète du système solaire, c'est une planète tellurique ayant un rayon deux fois plus petit que la Terre soit 3397km et une masse presque dix fois plus petite que celle de notre planète. Sa pesanteur est de 3.71m/S² ; sa période de rotation de 24h37minutes et 22.7 secondes donc une année martienne dure un an et 11 mois soit 686 jours et son inclinaison est de 25°19', ce qui confère à Mars un cycle semblable à des saisons. Celle-ci se remarque spécialement par la formation de calottes de CO₂ lors des périodes froides (-123°C pour que le CO₂ se condense) et de la sublimation de celle-ci en été.

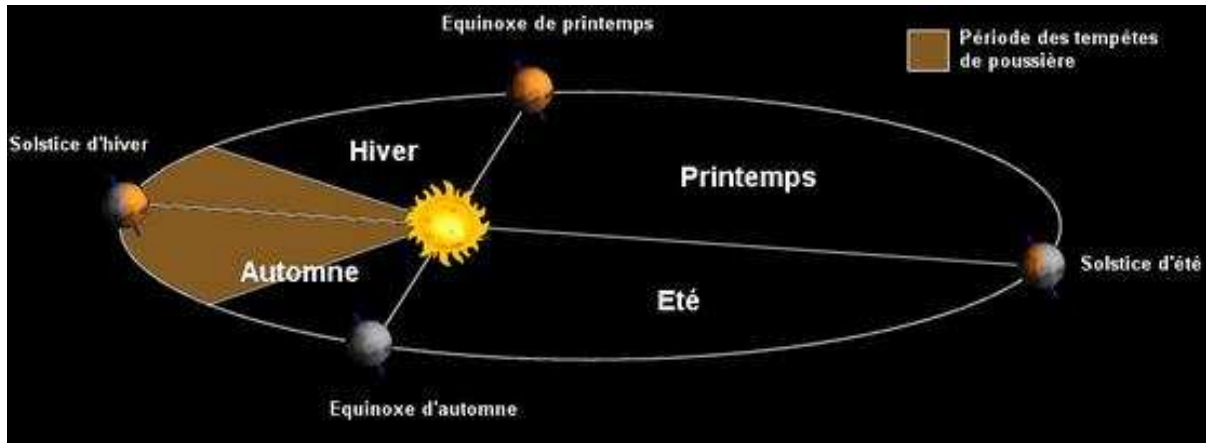


Schéma des saisons sur Mars

Tout comme sur Terre une inclinaison de l'axe de rotation de la planète provoque un cycle composé de plusieurs saisons.

a) Relief

Le relief comprend des cratères et des bassins d'impact analogues à ceux que l'on rencontre sur Mercure ou sur la Lune, mais aussi des plaines volcaniques, de nombreuses failles, des vallées sinueuses, des champs de dunes... On y observe tout à la fois des indices d'un bombardement météoritique ancien et des preuves d'une activité tectonique, de phénomènes de volcanisme très intense, d'érosion par l'eau, d'usure par le vent.

Les régions polaires sont recouvertes de calottes de glace et de neige carbonique, bien visibles depuis la Terre, qui s'étendent et régressent alternativement au rythme des saisons

La majeure partie de la surface est très vieille et parsemée de cratères, mais elle présente aussi des vallées et montagnes plus jeunes. De vastes régions montagneuses formées par d'anciens cratères constituent la presque totalité de l'hémisphère sud. L'hémisphère nord consiste en de nombreuses plaines beaucoup plus jeunes, plus élevées et dont l'histoire est beaucoup plus complexe.



Image représentant les calottes polaires Nord et Sud de Mars.

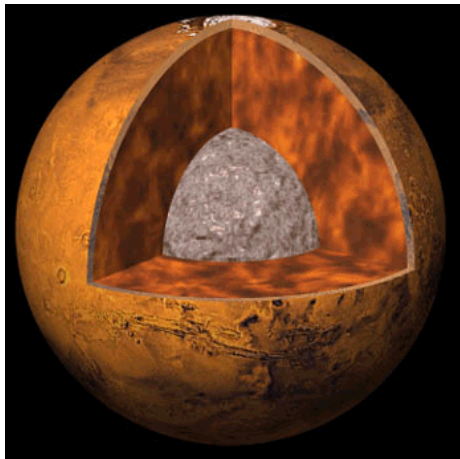
A droite, la calotte Nord de Mars et à gauche, plus grosse, la calotte Sud.

b) Structure et composition du sol

Les photographies transmises par les sondes Viking après leur atterrissage sur Mars, en 1976, montrent un sol rocailleux, auquel des oxydes de fer donnent une couleur rouge-orangé caractéristique. Comme sur la Lune, les roches constituant le sol sont des roches éruptives et des brèches, mais il semble que le régolite* soit plus important que le régolite lunaire, avec une épaisseur dépassant une centaine de mètres. L'analyse des échantillons du sol de Mars par le spectromètre à rayons X dont était équipé chaque engin Viking a fait apparaître une proportion d'environ 50 % d'oxygène, 20 % de silicium, 14 % de fer, de 2 à 7 % de d'aluminium et des proportions moindres d'autres éléments. Par rapport à la composition moyenne des roches terrestres, la différence réside essentiellement dans la teneur en fer, environ trois fois plus importante.

c) Structure interne

L'intérieur de Mars est uniquement connu grâce aux déductions faites à partir de la surface de Mars et des statistiques principales de la planète. Le scénario le plus probable est



que Mars possède un noyau dense d'environ 1700 km de rayon recouvert par un manteau de roches en fusion légèrement plus dense que le manteau terrestre ainsi qu'une fine croûte. Il semble que l'écorce ait une épaisseur moyenne de 40 à 50 km, atteignant plus de 80 km sous les hautes montagnes pour s'abaisser à 8 km seulement sous les grands bassins d'impact. Elle serait donc beaucoup plus épaisse que la croûte terrestre (30km). L'absence de champ magnétique indique que le noyau de Mars est probablement solide.

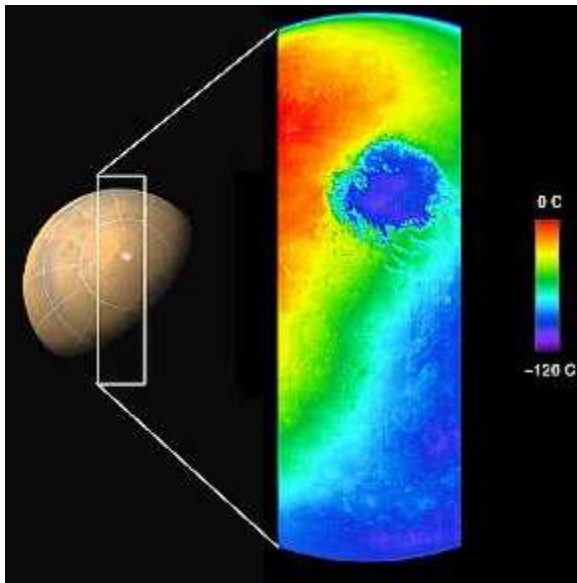
Tout comme Mercure et la Lune, Mars ne semble pas posséder de plaques tectoniques et il n'y a aucune preuve de mouvement horizontal de la surface.

d) Atmosphère

L'atmosphère martienne renferme 95,3% de gaz carbonique, 2,7% d'azote, 1,6 % d'argon et des traces d'oxygène, d'oxyde de carbone, de vapeur d'eau et d'autres gaz. La pression atmosphérique au niveau du sol des plaines varie de 5 à 7 millibars.

La pression atmosphérique n'est que de 6hPa, et ne permet pas la présence d'eau à l'état liquide sur sa surface (voir schéma du point triple : p12). L'atmosphère de Mars est composée principalement de dioxyde de carbone CO₂ (95,32%) mais aussi de 2,7 % de diazote, et de 1,6 % d'argon. Il y a également des traces de dioxygène (0,13 %), de monoxyde de carbone (0,07 %) ainsi que de vapeur d'eau. L'atmosphère de Mars contient très peu d'ozone (0,3 ppm, soit 1/60ème de l'épaisseur de la couche d'ozone terrestre) et Mars ne possède donc pas de protection contre le rayonnement UV.

e) Températures



Cliché d'une vision infrarouge de Mars obtenue par la caméra thermique de *Mars Odyssey*.

La température maximale de Mars est de 22°C mais peut descendre jusqu'à -143°C avec une moyenne de -53°C. Les causes de cette faible température sont nombreuses. La première est liée à son éloignement du Soleil, ce qui fait qu'elle ne reçoit que très peu d'énergie, de plus lorsque le sol est réchauffé par le Soleil une grande partie de cette énergie est réfléchi sous forme de rayon infrarouge. Cette énergie peut ne pas être perdue si la présence de gaz à effets de serre est assez importante, or la quantité de CO₂ (principal gaz à effet de serre sur Mars) n'est pas assez importante pour permettre un effet de serre. Il intervient aussi des tempêtes de poussières importantes engendrant de faibles augmentations de températures passagères. Au cours de celles-ci, des vents dont la vitesse dépasse 200 km/h, soulèvent des nuages de poussières qui peuvent monter jusqu'à 50 km d'altitude. Des tempêtes particulièrement violentes ont été observées en 1892, 1924, 1941, 1956 et 1971, modifiant la forme et la teinte de certaines régions vues de la Terre.

f) La présence d'eau

Nous avons précédemment vu que la température et la pression atmosphérique de Mars ne permettaient pas à l'eau de se maintenir à l'état liquide à la surface de Mars, mais qu'il existe encore une infime part d'eau dans l'atmosphère de la planète ainsi que de grandes réserves d'eau gelée voire même liquide sous la surface.

g) Conclusion

Pour conclure on peut donc dire que Mars de nos temps est un désert froid et hostile, avec des dunes de sables, des lits de fleuves et des lacs asséchés, une atmosphère irrespirable composée de 95% de dioxyde de carbone. Telle est l'image de la planète aujourd'hui. Les températures à sa surface sont instables : il fait -100°C pendant la nuit et +15°C l'après midi... Malgré ces températures glaciales, l'eau ne gèle pas mais s'évapore immédiatement à cause de la pression atmosphérique martienne très faible. Pour couronner le tout, un vent fort souffle, se transformant parfois en tempêtes de sable dangereuses.

B. Comparaisons Terre / Mars

	Mars	Terre
Distance moyenne au soleil (10^6 km)	228	150
Masse (10^{24} kg)	0,6418	5,975
Volume (10^{10} km ³)	16,318	108,321
Rayon équatorial (km)	3397	6378
Rayon du noyau (km)	1700	3485
Densité moyenne (kg.m ⁻³)	3933	5515
Gravité à la surface (m.s ⁻²)	3,69	9,78
Vitesse de libération (km.s ⁻¹)	5,03	11,19
Période de rotation	24h 37min 23s	23h 56min 4s
Période de révolution	686,98 jours	365,256 jours
Vitesse orbitale moyenne (km.s ⁻¹)	24,13	29,78
Inclinaison par rapport à l'écliptique (°)	1,85	0
Pression à la surface (mbar)	6	1000
Température moyenne (°C)	-53	15
Atmosphère	Dioxyde de carbone (95,3%) Diazote (2,7%) Argon (1,6%) Dioxygène (0,13%) Autres (0,1%)	Diazote (78%) Dioxygène (21%) Argon (0,9%) Autres (0,1%)
Satellites	Deimos (10km x12 x16) Phobos (18km x22 x28)	Lune (3476 km de diamètre)

Au niveau de la gravité, celle de Mars est moins de trois fois inférieure à la Terre, ensuite Mars a aussi des saisons et sa période de révolution est deux fois supérieure à celle de la Terre et une période de rotation semblable, ce qui est important pour l'acclimatation des êtres vivants et une inclinaison notable pour les saisons et le climat (suivant que la planète se trouve en aphélie ou en périhélie). En ce qui concerne la température, malgré une distance au soleil est assez similaire, la Terre est plus chaude que Mars. Pour recréer les conditions terrestres, il faudrait augmenter la température sur Mars.

Pour installer de la vie, il faudrait aussi augmenter la pression de plus de 150 fois. Quand à l'atmosphère martienne, elle est ténue par rapport à la Terre et se compose à 95% de CO₂. De plus, contrairement à la Terre, l'eau liquide n'existe pas : elle est présente sous forme de boue gelée donc l'hydrosphère devra être « installée ». Mars est composé, comme la Terre, d'une



croûte, d'un manteau et d'un noyau.

(Mars a aussi des points communs au niveau des paysages, évoquant les grands déserts terrestres. Ses dunes rappellent celles du Sahara, et la gigantesque fracture de Valles Marineris s'apparente au Grand Canyon du Colorado.) Mais sur Mars l'atmosphère n'oppose qu'un très faible effet de serre aux rigueurs de l'espace, et ce désert est plus froid que l'antarctique.

Mars a beaucoup de points communs avec la terre. Elle tourne sur elle-même en un peu plus d'un jour terrestre et l'inclinaison de son axe de rotation sur le plan de son orbite induit, comme chez nous, des saisons bien marquées. Ainsi sa température moyenne en est relativement proche et presque adaptée à la vie. Chacun de ses pôles est recouvert d'une calotte glaciaire de neige carbonique qui s'étend en hiver et se contracte en été. Ses paysages ainsi que des traces de lits de rivière montrent que de l'eau liquide a un jour coulé sur Mars. Donc si une planète du système solaire devait être habitée, ce serait vraisemblablement notre petite sœur Mars, planète dont les caractéristiques générales sont les plus proches de notre planète bleue.

Toutefois la présence d'eau liquide à la surface est actuellement physiquement impossible. Par contre, en profondeur, où la pression est plus élevée, il est possible qu'il y ait de l'eau liquide. Finalement il semble que Mars soit une planète facilement terraformable, car elle a conservée la plus grande partie de ses réserves de CO₂ sous une forme solide et donc facilement exploitable.

C. Hypothèse de Vénus (annexe II/A/1)

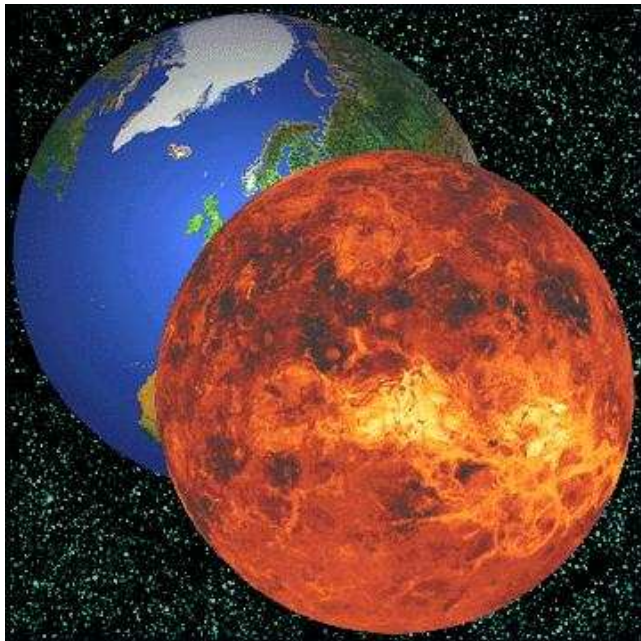


Image de Vénus et de la Terre

Vénus, au premier plan, est légèrement plus petite que la Terre.

Pourquoi pas Vénus ?

Lors de leur formation, il y a 4,6 milliards d'années, Venus et la Terre devaient être très semblables. Tout au plus la Terre, plus éloignée du soleil, avait-elle une température légèrement plus basse. Grâce à cette relative fraîcheur, elle a accumulé durablement de grandes quantités d'eau liquide, qui ont dissous la majeure partie du gaz carbonique craché par les volcans.

Venus est la planète la plus proche de la Terre. Elle a donc toujours intéressé les scientifiques. Depuis 1961, une vingtaine de missions spatiales ont eu pour but d'approcher, de survoler ou d'explorer cette planète. Les plus importantes furent sans doute *Mariner 2*, qui survola la planète pour la première fois, et les sondes *Venera 9, 10, 13* et *14*, qui prirent les premières photos. Mais la plus grande réussite reste sans conteste la mission *Magellan* qui a permis de cartographier la planète. Grâce à toutes ces missions, d'importantes données ont pu être recueillies concernant Venus.

La Terre et Venus ont toujours été considérées comme jumelles, en effet elles ont beaucoup de points communs tels la taille même si Venus est légèrement plus petite que la Terre, ou les compositions chimiques et densités qui sont assez similaires.

Toutes ces ressemblances ont amené les scientifiques à penser que sous ses nuages denses, Vénus aurait pu être très semblable à notre planète et peut-être même héberger la vie.

Par contre, la différence majeure entre Vénus et la Terre reste la température et la pression atmosphérique : une température de 460°C à la surface et une pression 90 fois plus élevée que sur Terre. En effet cette très haute température est liée à la présence d'une grande quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de Vénus (Vapeur d'eau et CO_2). Contrairement à la Terre, les éventuels océans primitifs ne furent jamais suffisants sur Vénus pour piéger ce gaz à effet de serre. La teneur en gaz carbonique augmentant, la température s'est élevée et l'eau s'est évaporée, ce qui a encore accéléré l'accumulation du gaz carbonique. L'effet de serre s'est emballé, et aujourd'hui il fait 460°C sur Vénus, tandis que la pression au sol évoque celle qui règne dans les océans terrestres à 1000m de profondeur.

Une petite différence initiale a propulsé ces deux mondes vers des destins complètement différents ! L'atmosphère de Vénus, qui est des milliers de fois plus dense que celle de la Terre, est pratiquement immobile. Des sondes équipées de radars ont été utilisées pour cartographier Vénus à travers ses nuages, révélant la présence de nombreux volcans et une activité géologique comparable à celle de la Terre.

En revanche sa croûte ne semble pas fracturée en ces plaques tectoniques qui, sur la Terre, donnent naissance à des plissements et à des montagnes en se déplaçant les unes par rapport aux autres.

Toutefois, l'idée de terraformer Vénus n'avait très peu de chances d'aboutir, car l'atmosphère vénusienne n'est vraiment pas propice au développement d'une algue ou autre espèce pouvant éventuellement aider à terraformer la planète, même une espèce très résistante. De plus le graphite, sous l'effet de la chaleur, redonnerait vite naissance à du CO_2 atmosphérique.

II. Comment Terraformer Mars ? (annexes I/A ; II/B/1)

Bien que Mars semble être la planète la plus propice, la terraformation de celle-ci ne sera pas chose facile...en effet, seule la lithosphère n'a pas besoin de bouleversement, les trois autres enveloppes – l'atmosphère*, l'hydrosphère* et la biosphère* – doivent être radicalement modifiées voire même créées !

A. Augmentation de la température (annexes I/C/1 ; II/B/2/a)

Pour entamer le processus de terraformation de Mars, il faudrait commencer par élever la température des calottes polaires de quelques degrés seulement (environ 4°C). Pour cela, il existe deux méthodes complémentaires : la mise en orbite d'un miroir géant pour réfléchir vers le pôle Sud les rayons du soleil et l'utilisation de gaz à hauts pouvoirs à effet de serre : des « chlorofluorocarbones » appelés communément « CFC ».

1. Utilisation d'un miroir géant



Représentation artistique des miroirs en orbite stationnaire.

Il serait ici question d'un miroir en aluminium de 125 km de rayon et pesant 200 000 tonnes ! Celui-ci graviterait stationnairement à 214 000 km de Mars et permettrait une élévation de la température martienne de 5°C au pôle Sud. (4°C étant nécessaires à l'amorçage du processus).

2. L'effet de serre : un effet « boule de neige »

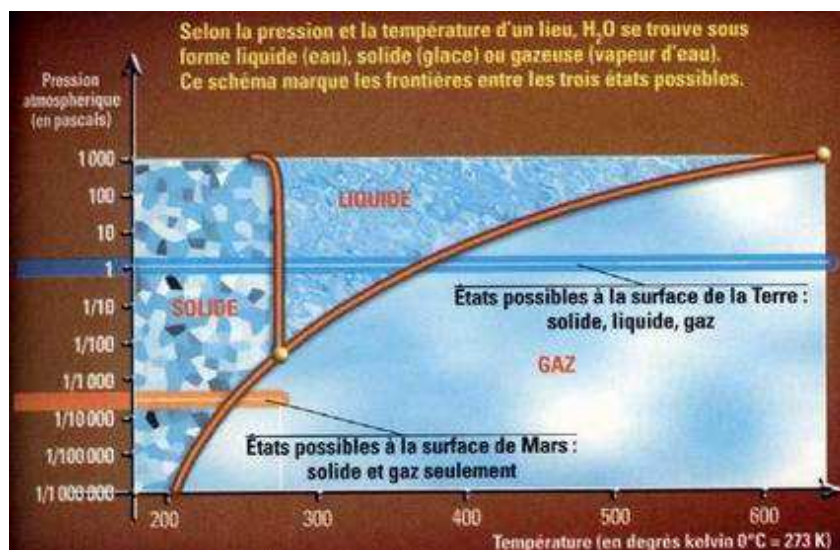


Schéma du « point triple »

Schéma des différents états possible de l'eau en fonction de la température et de la pression (sur Terre et sur Mars).

Une telle augmentation de la température provoquerait alors le début de la libération du CO₂ et de l'eau contenus dans la calotte polaire Sud de Mars dans l'atmosphère. En effet, à la faible pression actuelle de l'atmosphère martienne, l'eau ne peut exister sous forme liquide : la glace passe directement à l'état gazeux par le phénomène de sublimation (voir document « point triple »).

La vaporisation de ces deux gaz contribuerait à une augmentation de la pression, engendrant un effet de serre moindre, certes, mais suffisant pour augmenter un peu plus la température, elle-même favorisant la vaporisation de plus de gaz à effet de serre et ainsi de suite.

3. Les CFC

L'utilisation des miroirs et de l'effet de serre seraient donc tout à fait capables de réhabiliter l'atmosphère martienne mais le processus serait bien trop long !...

C'est pourquoi l'idée d'apporter des CFC* dans l'atmosphère martienne est apparue.

En effet, le pouvoir à effet de serre des CFC étant jusqu'à 10 000 fois plus élevé que celui du CO₂, ils permettraient d'accélérer énormément le processus : introduit en petite quantité, ils pourraient permettre une augmentation de température de 30°C !

De plus, il ne représenterait pas de risques comme c'est le cas sur Terre car ils ne sont nuisibles que pour la couche d'ozone. Or, celle-ci est inexistante sur Mars, il n'y a donc aucun risque de l'abimer.

Il existe cependant un problème : les CFC sont sensibles aux UV, contre lesquels l'atmosphère actuelle de Mars n'offre aucune protection.

Reste encore à trouver le moyen de production et le lieu (Terre ou Mars ?).

Suite à ce processus (long de 100 à 10 000 ans selon des études !), l'atmosphère martienne aurait une pression raisonnable et une température légèrement supérieure à zéro. Elle serait composée de CO₂ et d'eau (plus sûrement des CFC en faible quantité).

B. Réactivation de l'hydrosphère (annexes I/C/2 ; II/B/2/b)

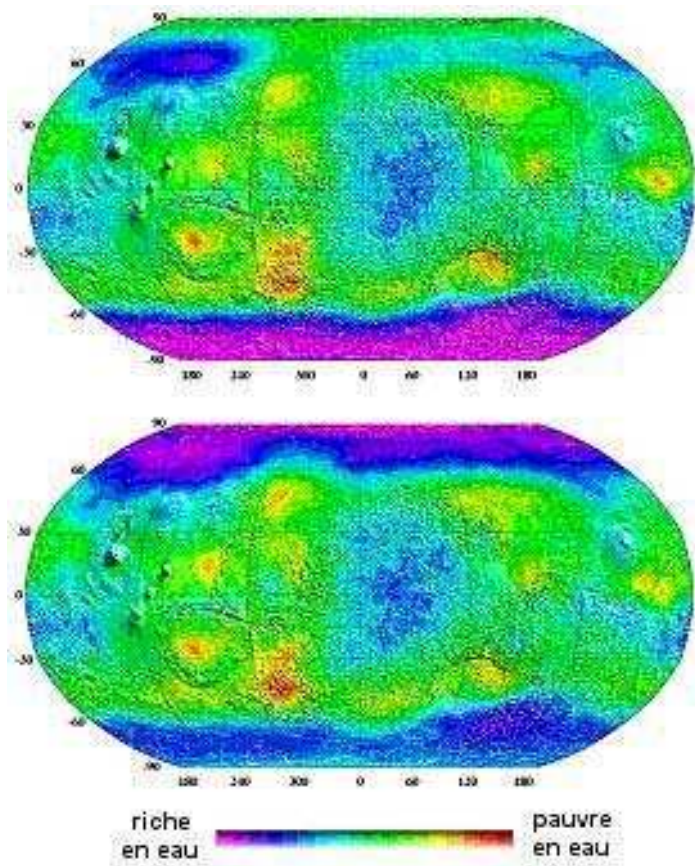
Il faudrait à présent recréer le cycle de l'eau c'est-à-dire de réactiver l'hydrosphère martienne.

Cette étape serait de loin la plus longue.

En effet, la vaporisation de l'eau et de CO₂ dans l'atmosphère martienne augmenterait la pression jusqu'à ce qu'elle soit assez élevée pour permettre la présence d'eau sous forme liquide. La température augmentant aussi l'eau commencerait et se condenser voir même directement se liquéfier aux pôles.

Ainsi, petit à petit, nous pourrions voir de l'eau liquide couler à nouveau dans les rivières et les fleuves martiens, un gigantesque océan se former dans l'hémisphère Nord et des nuages apparaître dans l'atmosphère.

Le cycle de l'eau serait donc amorcé et, tout comme sur Terre, se perpétuerait.



Carte de la répartition probable de l'eau sur Mars

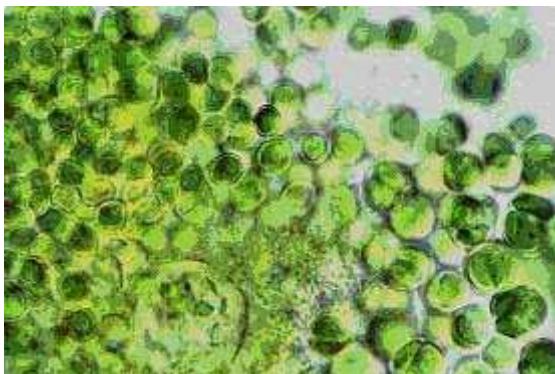
Cette carte illustre bien la répartition inégale de l'eau sur Mars. En effet, la quantité la plus importante d'eau se trouve bien au pôle Sud de la planète.

A présent, nous aurions une atmosphère constituée d'eau et de CO₂ (plus peut être une faible quantité de CFC) à une pression et une température croissantes ainsi qu'une hydrosphère se créant lentement.

C. Implantation de la biosphère (annexes I/C/3 ; II/B/2/c)

A ce stade là, planète ne serait vivable uniquement pour certains organismes comme les cyanobactéries qui seraient capables de résister aux UV contre lesquels l'atmosphère de Mars ne pourrait protéger.

Ces bactéries photosynthétiques (sûrement les *Chroococciopsis*), comme elles l'ont fait sur Terre il y a des millions d'années, absorberaient le CO₂ et rejetteraient de l'O₂, augmentant peu à peu le taux de O₂ et diminuant celui de CO₂.



Chroococciopsis

Bactéries capables de vivre dans des conditions extrêmes

Au fur et à mesure, l'atmosphère deviendrait respirable pour de petits végétaux (algues, mousses, lichens) puis pour de plus grands et ainsi de suite (c'est ce qu'on appelle éco-poïèse*) Ceux-ci permettraient de plus une accélération de la production d'O₂ et de la diminution la quantité de CO₂ ainsi que formeraient une réserve de nourriture renouvelable pour des futurs colons (Hommes ou animaux).

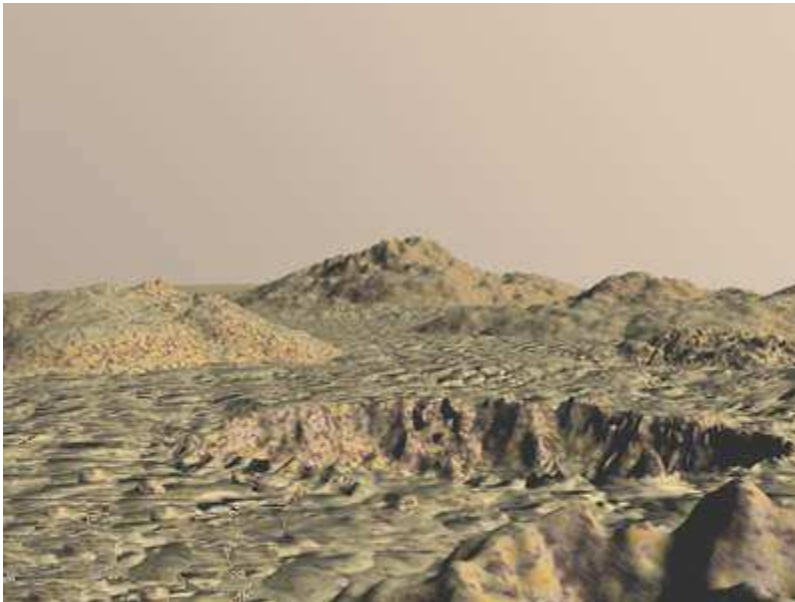
Suite à cette étape, Mars pourrait être considérée comme totalement terraformée : la vie y serait possible même pour l'homme.

En effet ; la quantité de O₂, la pression et la température seraient à présent suffisants.

D. Préviation des différentes étapes

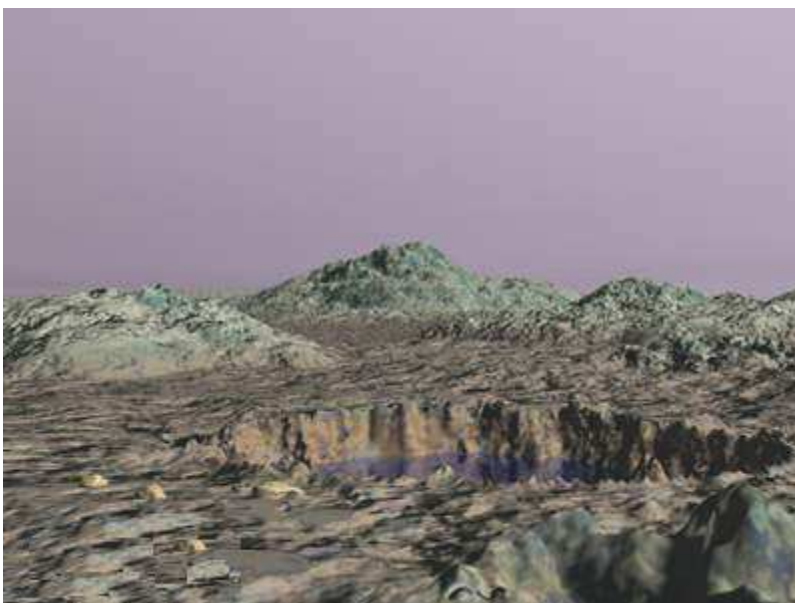
Ses étapes ne sont que prévisionnelles et ne peuvent être datées (ou alors trop approximativement pour les rendre crédibles).

Cependant, il est clair que si nous devons terraformer Mars un jour, ces étapes arriveront obligatoirement.



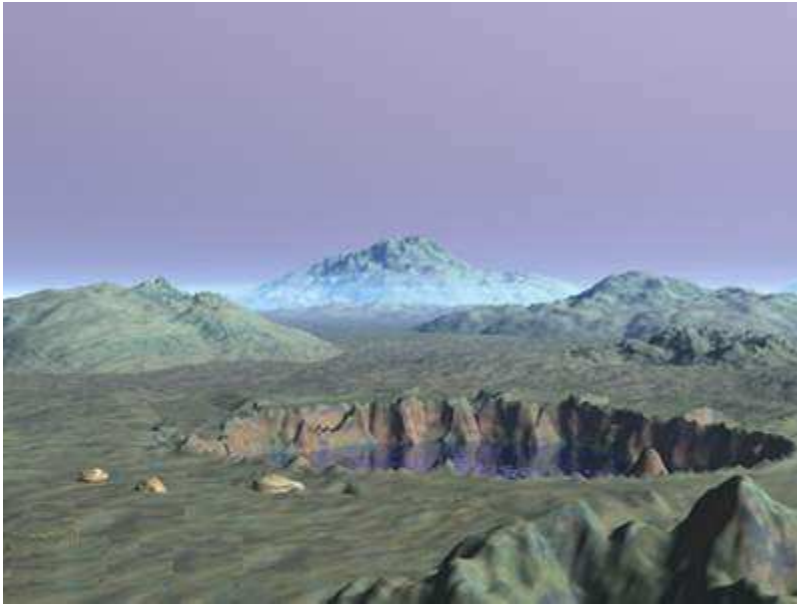
Etape 1

Mars actuelle : Pression atmosphérique et température très basses ; pas d'eau liquide. Atmosphère composée uniquement de CO₂.



Etape 2

L'atmosphère s'est épaissie.



Etape 3

L'atmosphère s'épaissit encore.



Etape 4

L'épaississement de l'atmosphère (= augmentation de la pression) ainsi que l'augmentation de la température (effet de serre) permettent la présence d'eau sous forme liquide.



Etape 5

Introduction de bactéries puis des premiers végétaux (algues, lichens, mousses).



Etape 6

La biosphère a été réactivée.
L'atmosphère ressemble de plus en plus à celle de la Terre.



Etape 7

Apparition de nuages et développement de la végétation (des végétaux de plus en plus diversifiés peuvent être introduits).



Etape 8

Le taux de O₂ ne cesse d'augmenter alors que le taux de CO₂ diminue (car la végétation ne cesse de se développer).



Etape 9

Les caractéristiques de Mars sont identiques à celles de la Terre.

Mars est totalement terraformée.

L'espèce humaine (et pourquoi pas les animaux) peuvent à présent y vivre.

III. Expérience

Nous avons décidé de réaliser une expérience modélisant une partie du processus de terraformation : la fonte de la calotte polaire.

Pour mettre ce phénomène en évidence et surtout pour pouvoir réaliser l'expérience, nous avons été contraints de ne pas respecter l'intégralité des conditions dans lesquelles se passerait cette étape (pression, températures, hydrométrie). Mais ceci n'altère pas le but de l'expérience : montrer que le miroir pourrait faire fondre la calotte polaire Sud martienne.

(Nous avons considéré que le processus de sublimation du CO₂ été assez entamé pour permettre la présence d'eau liquide, c'est à dire environ à l'étape 4 de la modélisation précédente).

A. Protocole expérimental

1. Principe

Nous avons tout d'abord reproduit la composition chimique de l'atmosphère martienne : uniquement du CO₂ (98% en réalité).

Ensuite, nous en avons rempli une bouteille de 5L vide .

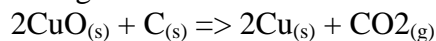
Nous avons alors inséré de la glace pilée (représentant la calotte polaire) et allumé deux lampes pointées en direction de celle-ci (représentant le miroir) pendant environ une heure.

La paroi de la bouteille représente l'atmosphère naissant de Mars.

2. Production du CO₂ anhydre

Afin de produire du CO₂, nous avons utilisé une réaction vue durant l'année de seconde au cours du TP « Le cuivre dans tous ces états ».

Il s'agit d'une réaction entre le carbone et l'oxyde de cuivre lorsqu'on élève la température :



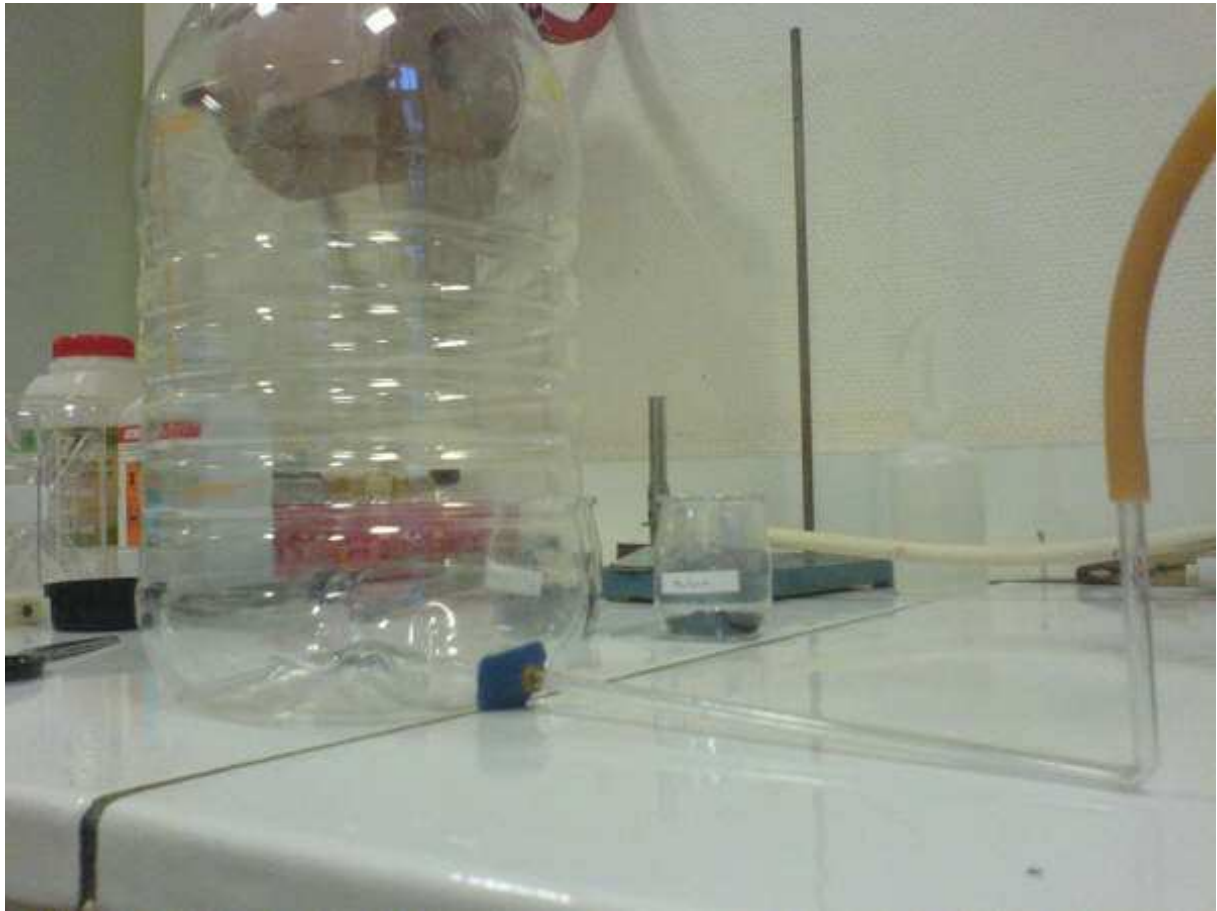
Nous avons donc mesuré les proportions nécessaires à produire 10L, pesé celles-ci et mélangé les quantités pesées dans un ballon. Il ne nous restait plus alors qu'à chauffer le mélange grâce à un chauffe-ballon pour lancer la réaction.

Afin de voir si oui ou non de la glace s'était évaporée, il nous a fallu trouver un moyen de rendre anhydre* le CO₂ destiné à chasser l'air contenu dans la bouteille.

Pour cela, nous avons, au cours du circuit amenant le CO₂ à la bouteille, placé un deuxième ballon contenant du chlorure de Calcium (gaz à fort pouvoir desséchant).



Le CO₂ étant plus lourd que l'air, il nous a suffi de le faire arriver au bas de la bouteille pour chasser l'air par une extrémité supérieure. Nous avons donc percé la bouteille à chaud et à deux endroits : en bas et dans le capuchon. Les trous ont du être faits par rapport au diamètre du tube de verre qui devait les traverser. L'étanchéité a été assurée par des caoutchoucs insérés en force et par de la pâte à modeler.



L'évacuation de l'air s'est faite par le haut avec la possibilité de tester le gaz sortant à l'eau de chaux. En effet, lorsque le CO_2 a chassé tout l'air, il finit par sortir par le haut et trouble l'eau de chaux.

3. Vaporisation de la glace pilée

Tout d'abord, pendant que le CO₂ remplissait la bouteille, nous avons rendu anhydre du sulfate de cuivre en le chauffant à la flamme d'un bec Bunsen.



Nous avons ensuite préparé un filtre à café rempli de sulfate de cuivre anhydre (CuSO₄) mélangé à du chlorure de calcium (CaCl₂) afin que le sulfate de cuivre ne bleuisse pas de suite et trop facilement.

Lorsque le CO₂ a eu envahi la totalité de la bouteille, nous avons ouvert le capuchon (le CO₂ étant lourd, il n'a pu s'échapper qu'en quantité négligeable) et introduit la glace pilée. Aussitôt, nous avons inséré et fixé par le capuchon, le filtre à café (témoin de la présence d'eau dans l'atmosphère de la bouteille) et allumé deux lampes dirigées vers le fond de la bouteille.



Nous avons alors attendu environ une heure pour recueillir les résultats.

B. Résultats et interprétation

1. Résultats attendus

Comme nous l'espérons, le sulfate de cuivre contenu dans le filtre à bleui ; ce qui indique la présence d'eau dans l'atmosphère de la bouteille (sous forme gazeuse) ainsi qu'au fond (sous forme solide et liquide). Cela prouve donc bien, qu'avec une pression plus élevée et l'utilisation des miroirs, l'eau pourrait aisément exister sous ces trois états sur Mars (et redonner vie à son hydrosphère).



Nous avons aussi pu vérifier que la création du CO₂ avait fonctionné à merveille car nous avons observé une tâche orangée sous le ballon contenant les réactifs. Cette tâche caractéristique du cuivre prouve bien que la réaction a eu lieu.



2. Problèmes encourus

Limités par le temps, nous n'avons pas pu terminer notre expérience à la première tentative. Nous avons donc conservé l'installation (normalement étanche) durant toute une semaine, y compris le CO₂ produit dans la bouteille que nous n'avons eu qu'à compléter la séance d'après.

Il y a eu aussi un autre problème. Le dispositif à l'eau de chaux pour déterminer le moment où la bouteille serait pleine de CO₂ n'a pas fonctionné : le CO₂ n'était pas produit assez rapidement pour qu'il y ait une pression suffisante pour faire buller la sortie de gaz dans les tubes à essai contenant l'eau de chaux.

IV. Pour ou Contre ? (I/D ; II/C)

Quand on voit en quoi consiste la terraformation, on peut se demander pourquoi la réaliser et dans quel but : c'est en effet un financement énorme avec de gros budgets à long terme pour peut être n'aboutir à rien.

En revanche, on peut aussi penser que le terraforming est bon pour l'humanité et qu'un jour, peut être, nous n'aurons pas le choix.

A. Contre la terraformation

1. Risques de bactéries

Il existe des risques qui pourraient rendre ce projet impossible ou craint par la population ; en effet, on peut se poser la question d'une existence de forme de vie telle que des bactéries ou des virus.

Pouvant survivre à des températures variant entre -12°C et -113 °C et pour un taux d'acidité compris entre 0 et 11 certains micro-organismes pourraient nuire à notre système immunitaire qui ne serait pas apte à se défendre face à eux.

Ces conditions très extrêmes se retrouvent sur Mars laissant la question de leurs existences en suspens mais à ce jour aucune preuve n'a été trouvée confirmant cette hypothèse.

2. Le coût

La terraformation est une entreprise de grande envergure s'étalant sur une durée comprise entre 100 et 10 000 ans et pourrait être une perte de temps énorme sans compter les coûts financiers : la terraformation de Mars est estimée à plusieurs milliards de dollars ce qui représente une somme colossale et jusqu'à ce jour les commanditaires ne veulent pas investir une somme pareille car ici c'est l'argent du contribuable dont il est question.

A l'heure actuelle, seul un projet à court terme a été intégré aux projets en cours. Pour l'instant aucune décision réelle n'a été prise.

B. Pour le terraformation

D'après les événements récents tels que le réchauffement de la planète ou l'effet de serre, on peut prendre le terraforming de Mars comme une sorte d'issue de secours.

Ces 2 changements ont des effets sur notre environnement et vivre sur Mars serait la solution à nos problèmes.

Le fait que notre Terre soit en surpopulation encourage aussi cette voie là : bien que Mars soit un peu plus petite que notre planète, ce serait un grand espace supplémentaire pour notre développement, qui ne serait que bénéfique.

Dans une hypothèse plus catastrophique, il n'est pas impossible qu'un jour l'orbite de la Terre croise une météorite ou une comète, ce qui nous serait fatal et dans ce cas là aussi l'option de Mars nous sauverait.

Tous ces risques encourus par la Terre font de la terraformation de Mars une solution idéale à nos problèmes mais pas seulement : en allant sur Mars nous pourrions en apprendre un peu plus sur notre planète et sur nous ; cette planète peut être une réponse à certaines de nos questions.

C'est une entreprise extraordinaire que nous pourrions réaliser là avec de grandes retombées scientifiques et une impression de pouvoir pour notre civilisation : alors pourquoi ne pas tenter l'expérience ?

Conclusion

Comme nous avons essayé de l'expliquer tout au long de notre TPE, nous pourrions peut être vivre un jour sur Mars : planète la plus propice. En effet, techniquement, cette planète peut être dite « terraformable » car il suffirait d'augmenter de 4°C la température du pôle sud pour enclencher le processus : « La Terraformation ».

Cependant, il persiste un « mais » à cela : l'éthique et le coût financier.

De même, le concept peut engendrer la destruction des paysages martiens, ce qui pourrait être une perte terrible pour la science ; il existe aussi un risque de contamination biologique qui pourrait s'avérer dangereux pour l'Homme.

La Terre est une planète fragile et isolée. Ainsi, une catastrophe cosmique pourrait aisément provoquer la fin de l'humanité. Mars représenterait alors une terre d'accueil, de refuge. Ce concept pourrait donc être, dans un futur lointain, l'unique moyen pour la survie de l'espèce humaine.

Lexique

Périhélie : Point situé sur l'orbite d'une planète ou d'une comète quand celle-ci est la plus proche du soleil.

Aphélie : Point situé sur l'orbite d'une planète ou d'une comète quand celle-ci est la plus éloignée du soleil.

Excentricité : Caractéristique de l'allongement de l'orbite, position d'un point qui s'écarte d'un autre point donné comme centre (une excentricité de 0 représente un cercle).

Biosphère : La biosphère fait partie des couches de la Terre, c'est une enveloppe qui comprend la masse organique des être vivants d'une planète.

Atmosphère : L'atmosphère est une couche de la Terre, c'est la couche gazeuse qui l'entoure ainsi que certaines planètes ou astres.

Hydrosphère : L'hydrosphère fait partie des enveloppes de la Terre, elle comprend les eaux et les glaces seulement.

C.F.C. : Chlorofluorocarbure, gaz à fort pouvoir à effet de serre. Il a un effet néfaste sur l'ozone.

Anhydre : dépourvu d'eau.

Ecopoïèse : Installation sur une planète sans vie d'un écosystème s'autosuffisant.

Annexes

I. <http://orbitmars.futura-sciences.com/terramars.php>

A. Comment on fait ??



La recette du jour : Le Terraforming

Temps de préparation : ~1000 ans

Difficulté : + + + + + + + + + +

Ingrédients :

- 1 planète (Mars)
- 2 calottes polaires,
- 1 miroir géant,
- Plusieurs milliers de tonnes de dioxyde de carbone (CO₂)
- Une grande quantité de CFC (chlorofluorocarbones), traduction=> des super-gaz à effet de serre
- De nombreux microorganismes
- Quelques cyanobactéries
- De l'Imagination
- 1 génération entière d'êtres humains...

Prenez une planète, (exemple : la planète Mars), faites fondre ses calottes polaires en totalité pour en extraire le CO₂ (dioxyde de carbone) afin de réchauffer son atmosphère puis, faites de même pour le sol (régolite). Pour accélérer le processus de réchauffement (effet de serre), introduisez une bonne dose de CFC (des gaz à super effet de serre). Si ça ne suffit pas, rajoutez quelques microorganismes pour renforcer la pression atmosphérique. Saupoudrez de cyanobactéries producteurs de dioxygène et c'est fini !

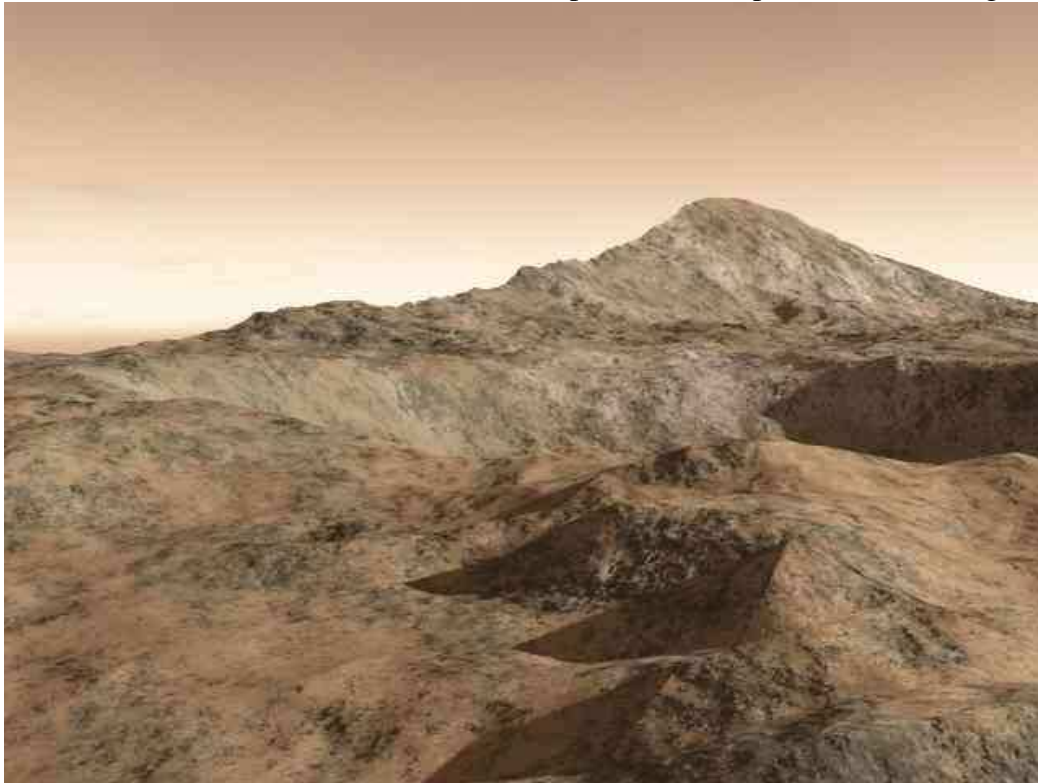
Maintenant, votre planète est terraformée ! L'Homme peut y vivre normalement sans masque à oxygène !

Bonne aventure !

B. Mars aujourd'hui et jadis

1. Mars aujourd'hui

Un désert froid et hostile, des dunes de sables, des lits de fleuves et des lacs asséchés, une atmosphère irrespirable composée de 95% de dioxyde de carbone... Telle est l'image de la planète aujourd'hui. Les températures à sa surface sont instables : il fait -100°C pendant la nuit et $+15$ l'après midi... Malgré ces températures glaciales, l'eau ne gèle pas mais s'évapore immédiatement à cause de la pression atmosphérique martienne très faible... Pour couronner le tout, un vent fort souffle, se transformant parfois en tempêtes de sable dangereuses...



Une poussière rougeâtre recouvre sa surface et dans l'air, de minuscules particules en suspension colorent le ciel d'une teinte rouge-rosée. Son atmosphère est fine et seuls quelques nuages de dioxyde de carbone y ont élu résidence.

2. Mars jadis

Mais, Mars n'a pas toujours eut cet aspect... Il y a 4, 3.5 ou 2 milliards d'années, Mars avait une atmosphère humide et son climat était chaud. On sait aussi qu'il y avait des océans, des fleuves et des rivières... l'eau a coulée sur Mars. (Prochainement, un dossier spécial sur l'Eau sur Mars : le passé et le présent)



Cette image représente la planète Mars telle qu'elle était il y a 2 milliards d'années : un cratère rempli d'eau, une activité volcanique importante et une atmosphère relativement épaisse et humide, on remarque même quelques nuages épais. Il faut donc rajeunir Mars de plusieurs milliards d'années !
Récit d'une extraordinaire chirurgie de rajeunissement :

C. Le processus du terraforming

1. Le CO2 et les CFC

Pour terraformer Mars, il faut tout d'abord augmenter la concentration en gaz carbonique de l'atmosphère martienne. Puis, ce gaz carbonique (CO₂) va enclencher le phénomène de l'effet de serre en piégeant la chaleur du soleil. L'effet de serre ? ça vous dit quelque chose ? eh oui ! malheureusement, notre planète en souffre considérablement ! En effet, sur Terre nous produisons trop de CO₂, donc, le cycle naturel est perturbé et les températures grimpent considérablement. En plus, ce CO₂ et les gaz à effet de serre que nous produisons détruisent notre couche d'ozone !

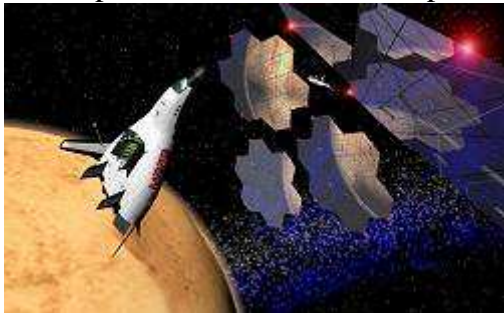
Mais, sur Mars, ce sera une autre histoire... En effet, la planète Mars n'a pas de couche d'ozone ! donc, aucun problème ! Nous ne risquons pas de l'abîmer puisqu'elle n'existe pas ! Il suffira de libérer dans son atmosphère assez de CO₂ pour la réchauffer.

On propose aussi d'utiliser des CFC (chlorofluorocarbones ...kesako ??) qui sont des gaz à super effet de serre. Il piègeront la chaleur et réchaufferont ainsi l'atmosphère martienne comme le CO₂ .

Avec quoi réchauffer la planète et produire du CO2 et des CFC?

Ce seront des usines chimiques et des centrales nucléaires qui produiront et dégageront le CO₂ et les CFC dans l'atmosphère martienne. Elles devront produire des dizaines de milliards de tonnes de gaz à effet de serre qui seront libérés dans l'atmosphère !!...

D'autre part, un gigantesque miroir de 250 km de diamètre sera placé à 214 000 km de Mars. Ce mastodonte pèsera 200 000 tonnes et sera ultra-fin, de l'ordre de quatre millièmes de mètre d'épaisseur. Il devra concentrer les rayons du soleil sur la planète, plus précisément sur les pôles, élevant ainsi la température de 5°C environ !



Les miroirs en orbite (crédit photo : droits réservés)

Pour réchauffer la planète, on prévoit aussi le largage de microbes qui produiraient des gaz contribuant à l'effet de serre comme le méthane.

2. Les réactions en chaîne

L'augmentation subite de la température de l'atmosphère martienne entraînera la fonte des calottes polaires ! Les calottes polaires martiennes sont composées de CO₂ solide (neige de dioxyde de carbone) et de glace. Cette fonte des calottes libérera donc tout le CO₂ contenu dans celles-ci accélérant encore plus le processus. Ainsi, l'atmosphère martienne s'épaissira, une couche nuageuse se formera favorisant une nouvelle hausse des températures grâce au phénomène d'effet de serre. Ceci entraînera une évaporation supplémentaire du CO₂ piégé dans le sol créant ainsi une chaîne de réactions successives : hausse de la pression atmosphérique et de la température...puis, le processus se perpétuera...

Les Conséquences :

Une fois l'eau des pôles totalement fondue, les lacs et les rivières réapparaîtront et formeront 400 à 600 ans plus tard, un océan peu profond qui recouvrira la quasi-totalité de l'hémisphère nord.

3. La production de dioxygène

Par contre, l'atmosphère ne sera pas respirable tout de suite après...

Il faudra rajouter sur Mars des microbes qui produiront de l'azote et enfin, des plantes primitives pourront être implantées qui absorberont le CO₂ et rejeteront le dioxygène dont nous avons besoin pour respirer.

Il faudra attendre encore très longtemps pour obtenir une atmosphère respirable car le dioxygène (oxygène) produit par les plantes ne s'accumule que très lentement. Il faudrait environ 100 000 ans pour produire une atmosphère respirable et riche en O₂ (dioxygène)!!



Voilà, le terraforming est terminé !

Maintenant, l'Homme peut se déplacer à la surface de Mars comme sur Terre.

Mars la Rouge est devenue Mars la Bleue !



D. Pour ou contre le terraforming ?

Sur cette question, les avis restent très partagés entre ceux qui sont pour et ceux qui sont contre le terraforming de la planète Mars...

Pour certains, le terraforming est une idée folle et absurde, une façon de jouer à Dieu.

Pour d'autres, c'est un projet grandiose et extraordinaire.

Aujourd'hui, nous l'avons vu, Mars est un désert hostile et mort, mais ce désert est aussi un paradis géologique immense qui pourrait nous apprendre plus sur notre passé et le passé de notre planète...(sa formation, l'apparition de la vie...)

Si nous la terraformons, nous n'aurons plus accès à ses magnifiques dunes de sable, ses superbes canyons et ses pôles en spirale...

Mais, aussi, d'un autre côté, terraformer Mars assurerait la survie de l'espèce humaine dans l'éventualité d'un impact météoritique ou de toute catastrophe majeure sur Terre. Ainsi, le terraforming permettrait d'établir une nouvelle branche de l'humanité comprenant de nouvelles technologies et une nouvelle culture et tous les progrès techniques, scientifiques.

II. <http://www.supinfo-projects.com/fr/2004/terraformation/> (extraits)

A. LE CHOIX D'UNE PLANETE

Ces dernières années, l'aérospatiale a connu une très forte avancé technologique. Cependant, très peu de sondes ont quitté le système solaire. Il faudra donc une planète assez proche pour envisager y transporter des hommes et du matériel. Les conditions ne devront pas être trop extrême (pas comme pluton, planète de glace ou Mercure dont les températures varie entre 173°C et 490°C). De plus, le cycle jour nuit, mois, année devra être semblable à celui de la Terre pour que des plantes, des animaux ou même des hommes puissent y survivre.



Pluton



Mercure

Enfin, le sol devra être constructible.

1. La Planète Vénus

Vénus est la planète le plus proche de la Terre. Elle a donc toujours intéressé les scientifiques. Depuis 1961, une vingtaine de missions spatiales ont eu pour but d'approcher, de survoler ou d'explorer cette planète. Les plus importantes furent sans doute Mariner 2 qui survola la planète pour la première fois, les sondes Venera 9, 10, 13 et 14, qui pris les premières photos. Mais la plus grande réussite reste sans conteste la mission Magellan qui a permis de cartographier la planète. Grâce à toutes ces missions, d'importantes données ont put être recueilli concernant Vénus.

Vénus a toujours été considérée comme jumelle de la Terre. En effet elles ont beaucoup de points communs :

- La taille : Vénus est légèrement plus petite que la Terre (95% du diamètre et 80% de la masse Terrestre).
- Les compositions chimiques et densités sont similaires.

Toutes ces ressemblance ont amené les scientifiques a pensé que sous ses nuages dense, Vénus aurait put être très semblable a notre planète et peut être même hébergé la vie.

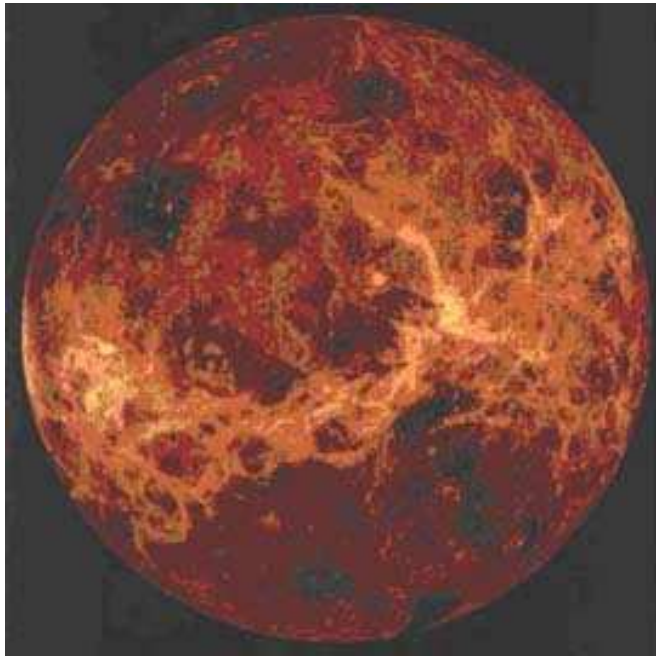


Schéma de Vénus sans son atmosphère, d'après la sonde Magellan

La différence majeure entre Vénus et la Terre reste la température et la pression atmosphérique. 460°C à la surface et une pression 90 fois plus élevée que sur Terre. Tout organisme déposé à la surface serait immédiatement cuit et écrasé. En 1961, le célèbre astronome américain Carl Sagan propose une solution pour rendre la planète Vénus plus accueillante. En effet, cette très haute température est liée à la grande quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de Vénus (vapeur d'eau et CO₂). L'idée de Sagan serait de déposer dans l'atmosphère vénusienne des algues du genre Nostocace. Grâce à la photosynthèse, ces algues pourraient transformer le gaz carbonique en oxygène. La circulation atmosphérique entrerait alors les algues dans les couches plus chaude et plus basse de l'atmosphère, où les cellules seraient finalement grillées, libérant alors du carbone minéral (graphite) ainsi que de la vapeur d'eau. La baisse de la quantité de CO₂ entraînerait alors un refroidissement de la planète. L'eau se condenserait ensuite en une couche de 30 cm à la surface de Vénus. L'algue Nostocaceae paraissait être parfaite pour cette opération car elle serait capable de résister aux conditions éprouvantes de l'atmosphère de Vénus et son rythme de croissance est supérieur au rythme de la cuisson.

Toutefois, cette idée n'avait que très peu de chance d'aboutir, car l'atmosphère vénusienne n'est vraiment pas propice au développement d'une algue, même une espèce très résistante. De plus, le graphite, sous l'effet de la chaleur, redonnerait vite naissance à du CO₂ atmosphérique.

De plus en plus de scientifiques s'intéressent sérieusement à la terraformation. L'étude la plus détaillée à ce jour est celle de Christopher McKay, Owen Toon et James Kasting. Ces scientifiques ont concentré leur attention sur la planète sans doute la plus prometteuse pour la terraformation : Mars.

2. La Planète Mars

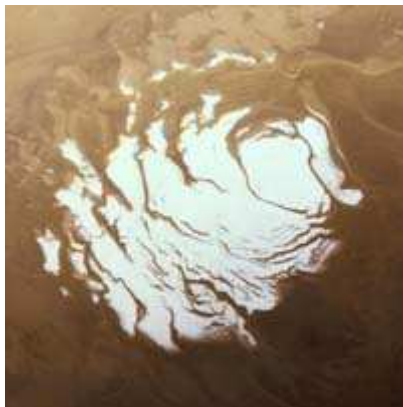
Quatrième planète à partir du soleil, Mars est communément désignée comme « la planète rouge » à cause de la teinte rougeâtre de ses roches, son sol et son ciel.



Depuis 1960, beaucoup de sondes ont été envoyées vers la planète Mars mais très peu y sont arrivées. C'est en 1964 que, pour la première fois, une sonde prend des clichés de la planète et récupère les premières données sur l'atmosphère Martienne. Il s'agissait de la sonde Mariner 4, envoyée par les américains. Ensuite, les sondes Mariner 6,7 et 9 permettront d'avoir de meilleurs clichés et de récupérer des informations plus précises quant à la composition de l'atmosphère Martienne.

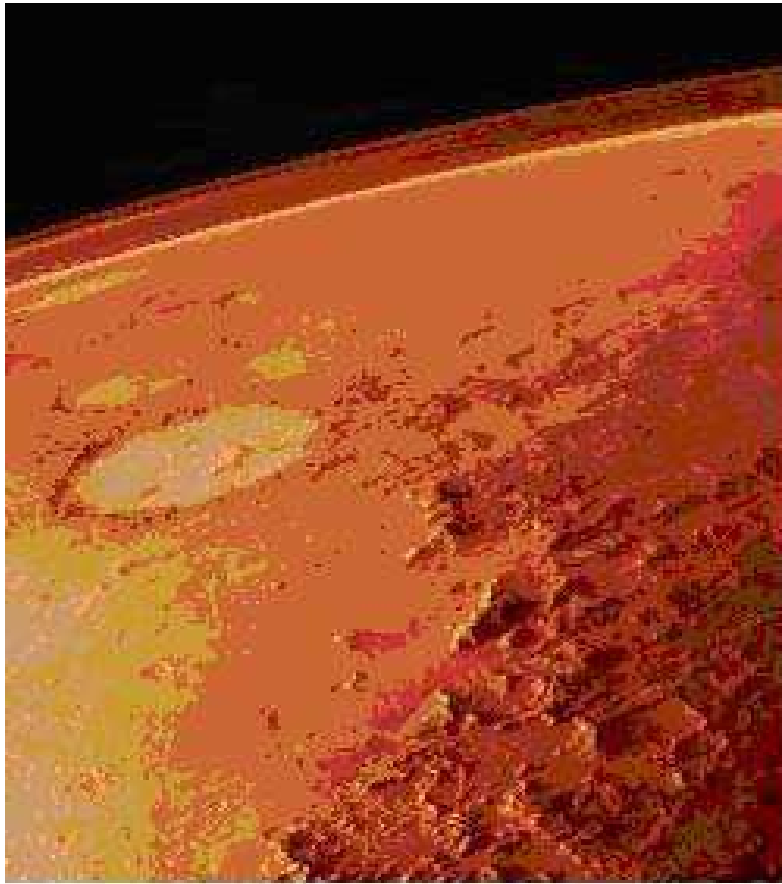


En 1975, la mission Viking prend les premières images depuis la planète. La mission avait aussi pour objectif de faire une cartographie plus détaillée de la surface martienne, d'étudier la composition chimique du sol et de l'atmosphère, ainsi que de réaliser plusieurs expériences pouvant révéler la présence de formes de vie simples sur la planète.

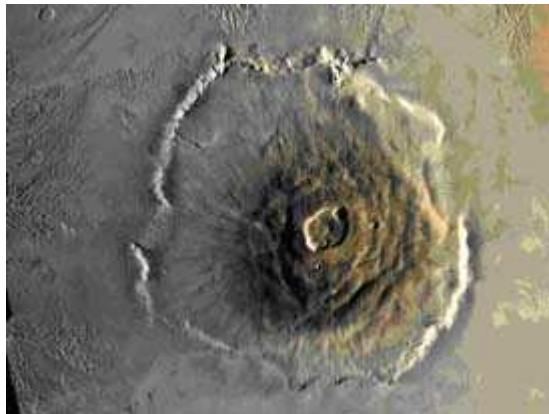


En 2001, sonde Mars Odyssey détecte autour de la calotte polaire nord une forte concentration en hydrogène, c'est-à-dire de la molécule d'eau. La planète Mars semble posséder une quantité colossale de glace d'eau au niveau des pôles.

Toutes ces missions ont permis d'accumuler de précieuses données sur Mars. C'est une planète peu accueillante pour la vie. La température est très basse, -53°C en moyenne, la pression atmosphérique est très faible (1/160^{ème} de la pression atmosphérique Terrestre), donc il ne peut pas y avoir d'eau à l'état liquide. L'atmosphère est irrespirable pour les humains (96% de CO_2). De plus, la surface subit un bombardement constant de rayons ultraviolet (rayons nocifs pour l'homme).



Malgré tout, il semblerait que Mars n'ait pas toujours été aussi inhospitalière. En effet, les nombreux reliefs présents à la surface de Mars montrent que la planète a possédé une atmosphère plus dense et plus humide, et un climat plus chaud. L'atmosphère principalement composée de CO₂, était dense pour permettre à l'eau de ruisseler sur les pentes martiennes et de former des rivières, lacs et des mers.



Mont Olympus qui culmine à 24km de haut

Finalement, il semble que Mars soit une planète facilement terraformable, car elle a conservé la plus grande partie de ses réserves de CO₂ sous une forme solide et donc facilement exploitable.

B. LA TERRAFORMATION DE LA PLANETE MARS

1. Principe de la Terraformation

Il existe deux manières générales pour effectuer la terraformation de Mars:

- La première est appelée éco-poésie (Haynes, 1990) qui signifie production d'un foyer ou fabrication d'un foyer. Le principe est d'effectuer une terraformation nécessitant peu de bouleversements et où l'on déclenche un processus qui s'auto entretient naturellement. Cette méthode est très lente. Elle est caractérisée par trois étapes majeures :
 1. Augmentation de la température et de la pression
 2. Création du cycle hydrologique
 3. Enrichissement en O₂



- L'autre manière de concevoir la terraformation est dite « industrielle ». Le but est alors d'utiliser la technologie au maximum afin d'arriver plus vite à nos fins, quitte à transformer radicalement l'aspect général de la planète. C'est une méthode prévue pour les « cas d'urgence » mais elle est loin d'être favorisée.

2. Les Techniques de la Terraformation de Mars

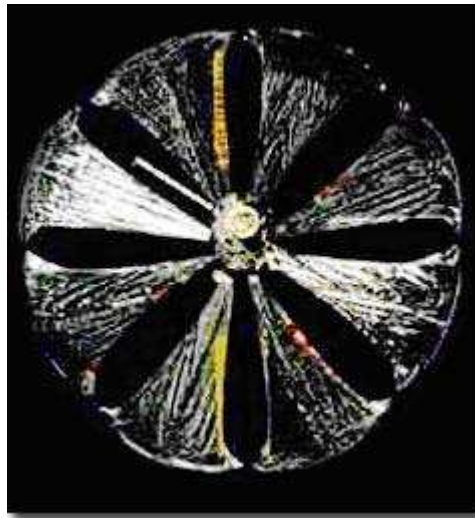
a) Augmentation de la température

La première technique envisageable serait d'augmenter la concentration de CO₂ dans l'atmosphère afin d'augmenter la température. En effet, le fait d'élever la concentration de CO₂ permet d'augmenter l'effet de serre et ainsi conserver la chaleur émise par le soleil. Pour le moment Mars possède 96% de CO₂ dans son atmosphère mais en très faible densité et donc en quantité insuffisante pour avoir un effet de serre efficace. Cependant, Mars possède aussi de CO₂ sous forme solide : Les calottes polaires et le régolite Martien. De plus, sur une année Martienne, la pression atmosphérique augmente de 20% lorsque les calottes fondent sous l'effet des rayons du soleil au printemps et que le CO₂ passe de l'état solide à l'état gazeux, et baisse de 20% en hiver. On peut donc envisager de réchauffer la calotte polaire Sud pour libérer une quantité de CO₂ qui va contribuer à augmenter la pression atmosphérique et produire un effet de serre permettant de poursuivre la fonte des calottes polaires.

Une étude réalisée par Robert Zubrin et Christopher McKay révèle que le fait d'augmenter la température de 4°C au niveau de la calotte polaire Sud suffirait à lancer le processus.

Différents moyens ont été envisager afin d'augmenter la température de Mars et ainsi déclencher l'effet de serre :

- La première serait l'utilisation de poussière noire saupoudrée sur les calottes afin d'en diminuer l'albédo, (rapport entre l'énergie incidente et celle réfléchi). Cette méthode a comme avantage d'être économique et facilement mis en oeuvre. Averner & MacElroy (1976) ont calculé qu'une diminution de l'albédo de 0,77 jusqu'à une valeur de 0,73 pourrait suffire pour initialiser un effet de serre en diminuant le taux d'énergie renvoyé dans l'espace.
- Une autre solution serait d'utiliser un système de miroir stationnaire dont l'équilibre s'effectuerait à partir des forces gravifiques de Mars d'une part, et de la pression du rayonnement lumineux à sa surface d'autre part. Ce miroir focaliserait les rayons du soleil sur les calottes polaires, permettant d'augmenter la température aux niveaux des pôles.



Miroir expérimental russe Znamya en orbite autour de la Terre

- On peut envisager l'utilisation des gaz à effet de serre autre que le CO₂ mais ayant des effets beaucoup plus puissant. Il faudrait donc relâcher dans l'atmosphère des CFC (chlorofluorocarbones) en quantité très importante afin de créer un effet de serre qui augmenterait la température à l'échelle du globe.
- Enfin, l'utilisation de cyanobactérie comme la *Deinococcus radiodurans* qui est très résistante face aux bombardements UV, pourrait survivre sur Mars lors de la première étape de la terraformation. Ces cyanobactéries utiliseraient le CO₂ contenue dans le régolite martien pour fournir du méthane et de l'ammoniac, qui sont des gaz à effet de serre bien plus efficace que le CO₂ mais dont le pouvoir réchauffant est inférieur aux CFC.

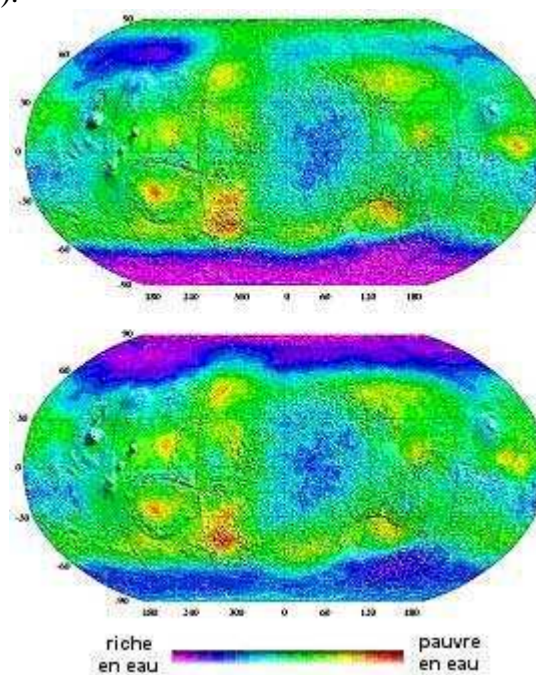


Bactérie *Deinococcus radiodurans*

Une fois que la température se sera élevée d'environ 60°C et donc que la concentration en CO₂ dans l'atmosphère aura augmenté, la pression atmosphérique sera environ égale à 1/10^{ème} de celle de la Terre, on pourra passer à la deuxième étape de la terraformation de la planète Mars.

b) Réactivation de l'hydrosphère

La deuxième étape est la plus importante mais aussi la plus longue, il s'agit de réactiver l'hydrosphère de la planète, qui signifie de redonner à Mars le cycle complet de l'eau entre le sol la surface et l'air. Cela nécessite d'énormes quantités d'eau. Les réserves les plus évidentes sont bien sur les calotte polaires, mais d'après les données rapportées par Mars Odyssey, le sous sol martien contiendrait aussi de grandes quantités d'eau sous forme de glace (pergélisol ou permafrost).



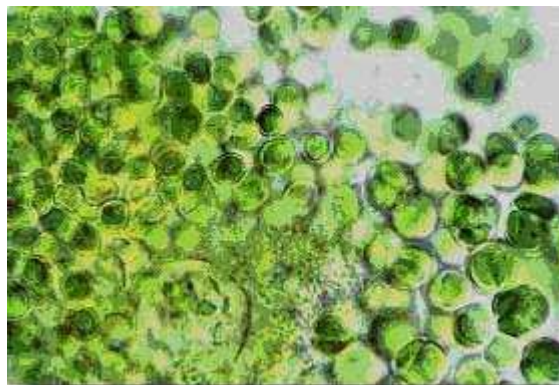
On estime la quantité d'eau contenu dans les calottes polaires à 5 trillions de tonnes. Cette eau devra être totalement vaporisée. Le pergélisol sera liquéfié sur une profondeur d'environ 10 mètres. La vapeur d'eau libérée aidera ensuite à l'augmentation de l'effet de serre et de la température. Puis, elle se condensera par endroit et ainsi des nuages se formeront et les premières pluies apparaîtront et avec elles les lacs, rivières, fleuves et océans.

c) Augmentation de la teneur en Oxygène

La dernière étape consiste en l'augmentation de la quantité d'oxygène dans l'atmosphère afin de la rendre respirable. Pour ce faire, on pourra utiliser des bactéries habituées à vivre dans des conditions extrêmes afin de résister aux dur condition de Mars du même genre que celles qui ont modifiées l'atmosphère Terrestre il y a des millions d'années en captant le CO₂ et en libérant de l'oxygène grâce à leur activité photosynthétique.

Les premières bactéries devront être anaérobiques, c'est-à-dire ne nécessitant pas d'eau et autotrophes, utilisant la photosynthèse pour produire leur propre énergie. Le problème est que les rayons ultraviolets ne sont pas filtrés sur Mars car il y a très peu de gaz type ozone pour les refléter.

Bactérie primitive de type cyanobactéries, semble convenir : la *Chroococcidiopsis*. En effet, elle a la caractéristique de pouvoir survivre dans des températures extrême, sans eau, et dans un environnement extrêmement salin. On peut trouver cette bactérie dans les régions désertiques, elle vit enfouie sous les roches, se cachant ainsi des UV. Cette bactérie pourrait convenir pour transformer le dioxyde de carbone contenu dans les régolites et l'eau en oxygène.



Chroococcidiopsis

Le but de cette manœuvre est d'amener la pression partielle en oxygène à la valeur de 1 mbar. Il sera ensuite possible d'introduire des mousses, des lichens et des plantes qui pourront se développer à la surface de Mars. La pression partielle pourra alors dépasser les 120 mbars.

Après ces trois étapes, la planète Mars sera entièrement terraformé et l'homme pourra vivre librement à la surface.



Mars Terraformée

C. INTERETS ET ETHIQUE DE LA TERRAFORMATION

1. Intérêt du terraforming

Après avoir étudié les problèmes techniques concernant la terraformation, il est nécessaire de bien comprendre pourquoi l'utilité de ce concept.

Outre le fantastique intérêt scientifique d'un tel tour de force, il faut considérer également l'intérêt pour l'humanité. Celui-ci réside dans le fait que la somme des connaissances que l'on acquerrait en terraformant Mars profiterait également à notre planète : avec des techniques de manipulation environnementales, un grand nombre des problèmes actuels trouveraient une solution grâce au problème martien (effet de serre, « trou » dans la couche d'ozone, pollution, etc...).

De plus, l'humanité a depuis quelques années pris conscience de la menace éventuelle que représente l'espace : il est statistiquement envisageable qu'un bolide (météore ou comète) croise un jour l'orbite Terrestre. Nos chances de survie seraient alors plutôt minces. La possibilité de coloniser d'autres lieux assurerait la pérennité de l'espèce humaine. Un autre phénomène est également à surveiller, il s'agit de la surpopulation mondiale. Si l'humanité reste « confinée » sur Terre, la résolution de ce problème risque d'être impossible, car une diminution de la population signifierait la disparition d'une partie de l'espèce humaine. Encore une fois, la terraformation permettrait d'envisager l'avenir plus sereinement.

On peut ainsi retenir cinq bonnes raisons d'étudier sérieusement la terraformation : intérêt scientifique, intérêt technologique, maîtrise de l'environnement, survie et tout simplement curiosité.

2. L'éthique et la terraformation

a) L'anthropocentrisme

Ce système éthique repose sur le principe que seuls les êtres humains ont des droits et qu'ils sont tous égaux. L'homme a pour rôle de maintenir un endroit habitable pour les générations futures. Cette théorie protège donc l'ensemble de l'humanité. Vu sous cet aspect, la terraformation peut être envisagée. En effet, si l'on doit considérer Mars comme zone habitable, rien n'empêche de la modifier pour le bien de l'espèce humaine. Dans l'éventualité d'une catastrophe majeure sur Terre, le terraforming permettrait d'établir une nouvelle branche de l'humanité comprenant de nouvelles technologies, une nouvelle culture et tous les progrès techniques et scientifiques.

b) Le zoocentrisme

Dans le cadre du zoocentrisme, ce n'est plus seulement l'homme qui est concerné mais l'ensemble des espèces animales. Ainsi le but de cette théorie est de faire prospérer la vie là où cela est possible. Apparemment rien ne s'oppose au fait que l'homme puisse exporter la vie sur d'autres planètes, mais il faut prendre en considération l'éventualité d'une forme de vie indigène sur Mars. Cependant si cette dernière existe elle se caractérise par des organismes primitifs, or le zoocentrisme n'a jamais accordé de valeur intrinsèque à de tels êtres vivants. Ce n'est donc pas un obstacle concernant l'établissement de la terraformation, puisque le bénéfice profitera aux êtres conscients.

c) L'écocentrisme

La théorie de l'écocentrisme a pour but de maintenir la vie quelle que soit sa forme. L'être humain est alors considéré comme l'égal de toute créature vivante. Ce système éthique autorise donc la terraformation à une seule condition : que la planète Mars n'abrite aucune forme de vie. En effet dans le cas contraire il y aurait un risque de contamination biologique : l'arrivée d'organismes Terrestres pourrait aboutir à la disparition totale des écosystèmes martiens avant même que l'homme s'y soit intéressé.

d) Le préservationisme

Ce système éthique proscrit toute tentative de modifier son environnement et accorde une valeur forte aux entités non vivantes. Le préservationisme exclut donc l'usage de la terraformation. La planète rouge est peut être aride, stérile et déserte, mais elle n'en est pas moins belle. Selon cette politique la beauté de ses déserts doit donc être préservée. De plus les paysages martiens, vieux de plusieurs milliards d'années, racontent l'histoire de Mars et du système solaire à qui sait les lire ; leur destruction serait une perte terrible pour la science.

Il y a donc beaucoup de points de vue éthiques différents sur la terraformation, c'est pourquoi le débat auquel s'adonnent scientifiques et écologistes est très complexe. Avons nous le droit ou le devoir moral de transformer une planète qui nous est étrangère ? La réponse à cette question dépend en tout cas directement de la place que les décideurs accordent à l'homme par rapport à son environnement.

http://www.vulgum.org/article.php3?id_article=556

Mars est le Dieu de la guerre. La planète s'est probablement vue attribuer son nom de par sa couleur rouge. Un détail intéressant : le Dieu romain Mars était le Dieu de l'agriculture avant d'être associé avec le Dieu grec de la guerre Arès ; ceux qui sont en faveur de la colonisation et du terraformation de Mars préfèrent ce symbolisme.

Mars est connue depuis que l'Homme existe et joue un rôle important dans la science fiction car elle est un des endroits les plus favorables à la vie (en dehors de la Terre !) dans le système solaire. Les fameux "canaux" de Mars "observés" par Lowell et d'autres furent malheureusement purement imaginaires.

La première sonde à visiter Mars fut Mariner 4 en 1965. Plusieurs autres suivirent, y compris les deux sondes Viking qui se posèrent sur la surface de Mars en 1976. Les vaisseaux Viking étaient composés d'un "orbiter" et d'un "Lander" destinés à cartographier et à étudier la surface de Mars.

L'orbite de Mars est considérablement elliptique. Il en résulte une variation de température d'environ 30 °C dans les régions qui font face au Soleil. Dans l'ensemble, les sondes Viking montrèrent que les températures martiennes varient de -120 °C à 25 °C.

Bien que Mars soit plus petite que la Terre, sa surface présente à peu près la même superficie que les zones émergées de la Terre. Exceptée cette dernière, Mars possède le terrain le plus varié et le plus intéressant des planètes telluriques du système solaire :

- ▶ Le Mont Olympus qui culmine à 24 km est la plus haute montagne du système solaire. Le diamètre de sa base est de plus de 500 km et il est entouré d'une falaise de 6 km de haut.
- ▶ Le dôme de Tharsis est un énorme renflement sur la surface de Mars de 10 km de haut et 4000 km de long.
- ▶ Valles Marineris (vallée Mariner) : un système de cañons de 4000 km de long et de 2 à 7km de profondeur.
- ▶ Hellas Planitia : un cratère d'impact dans l'hémisphère sud de 6 km de profondeur et 2000 km de diamètre.

La majeure partie de la surface est très vieille et parsemée de cratères, mais elle présente aussi des vallées et montagnes plus jeunes. De vastes régions montagneuses formées par d'anciens cratères constituent la presque totalité de l'hémisphère sud. L'hémisphère nord consiste en de nombreuses plaines beaucoup plus jeunes, plus élevées et dont l'histoire est beaucoup plus complexe. Un brusque changement d'altitude de plusieurs kilomètres semble séparer les deux types de terrain. Les raisons de cette dichotomie globale et de ce changement soudain d'élévation sont inconnues (certains pensent qu'ils seraient dus à un important impact juste après l'accrétion de Mars). Récemment, certains scientifiques ont tout d'abord mis en doute ce changement d'élévation ; néanmoins la sonde Mars Global Surveyor devrait résoudre ce problème.

L'intérieur de Mars est uniquement connu grâce aux déductions faites à partir de la surface de Mars et des statistiques principales de la planète. Le scénario le plus probable est que Mars possède un noyau dense d'environ 1700 km de rayon recouvert par un manteau de roches en fusion légèrement plus dense que le manteau terrestre ainsi qu'une fine croûte. L'absence de champ magnétique indique que le noyau de Mars est probablement solide. De plus, la relative basse densité de Mars comparée à celle des autres planètes terrestres indique que son noyau contient sans doute une fraction relativement importante de soufre en plus du fer.

Tout comme Mercure et la Lune, Mars ne semble pas posséder de plaques tectoniques et il n'y a aucune preuve de mouvement horizontal de la surface. Ceci pourrait expliquer la vaste "boursofflure" de la région de Tharsis et ses volcans énormes : en effet, les points chauds en dessous de la croûte restent toujours dans une position fixe par rapport à la surface. Il existe de nombreuses traces d'érosion sur la surface de Mars, principalement liées à l'écoulement d'une substance liquide. Il est clair qu'à un certain moment de l'histoire de Mars, il a dû y avoir de l'eau à sa surface sous forme de larges lacs ou même d'océans. Néanmoins cela a dû se produire très brièvement et surtout il y a très longtemps. En effet, l'âge des traces d'érosion dans les canaux est estimée à 4 milliards d'années. (Valles Marineris ne fut pas formée par un processus d'érosion mais par l'étirement et le craquement de la croûte associés à la création de la région de Tharsis.)

Tôt dans son histoire, Mars ressemblait plus à la Terre. Tout comme elle, la plupart de son dioxyde de carbone fut recyclé en roches de carbonate. Mais sans plaques tectoniques, Mars est incapable de recycler les roches en dioxyde de carbone dans l'atmosphère et elle ne peut donc maintenir un effet de serre important. La surface de Mars est par conséquent plus froide que celle de la Terre si celle-ci orbitait à la même distance que Mars.

Mars possède tout de même une fine atmosphère composée principalement de minuscules quantités de dioxyde de carbone (95,3%), d'azote (2,7%), d'argon (1,6%) ainsi que de traces d'oxygène (0,15%) et d'eau (0,03%). La pression moyenne à la surface de Mars n'est que de 7 millibars (moins de 1% de celle de la Terre), mais elle varie beaucoup avec l'altitude, de 9 millibars dans les bassins les plus profonds, jusqu'à 1 millibar au sommet du mont Olympus.

L'atmosphère est cependant suffisamment dense pour supporter des vents très forts ainsi que d'énormes tempêtes de poussières qui peuvent parfois recouvrir la planète pendant des mois. Bien que l'atmosphère martienne soit principalement constituée de dioxyde de carbone, l'effet de serre sur Mars est assez important pour élever la température de la surface de seulement 5 °C.

Mars présente deux calottes glaciaires permanentes à ses pôles, composées principalement de dioxyde de carbone solide (appelé neige carbonique sur la Terre). Les calottes présentent une structure en couche, avec une alternance de glace et de poussières sombres. Pendant l'été dans les régions les plus au nord, le dioxyde du carbone sublime, révélant une couche de glace. On ne sait pas s'il existe une couche de glace similaire en dessous de la calotte du pôle sud car sa couche de dioxyde de carbone disparaît jamais complètement. Le mécanisme responsable de ce phénomène de couches est encore inconnu mais il pourrait être dû à des changements climatiques liés aux modifications à long terme de l'inclinaison de l'équateur martien par rapport à son plan orbital. Il pourrait aussi y avoir de la glace sous la surface du sol martien à des latitudes plus basses. De plus, l'étendue des calottes polaires modifie la pression atmosphérique globale d'environ 25%.

Des observations récentes effectuées par le Télescope Spatial Hubble ont révélé que les conditions lors des missions Viking pourraient ne pas avoir été typiques. En effet, l'atmosphère de Mars semble aujourd'hui être plus froide et plus sèche qu'à l'époque. Les landers Viking ont effectué des expériences visant à détecter la présence de vie sur Mars. Les résultats furent malheureusement négatifs. Cependant les expériences ont été effectuées sur une zone minuscule et pas forcément représentative. D'autres expériences seront réalisées par de futures missions vers Mars.

On pense qu'un petit nombre de météorites sont originaires de Mars. Le 6 Août 1996, David McKay annonça la première identification d'éléments organiques dans une météorite martienne. Les auteurs émettent par la suite l'hypothèse que ces éléments, en conjonction avec d'autres caractéristiques minéralogiques observées dans la météorite, pourraient être la preuve de l'existence d'anciens micro-organismes martiens. Cependant, bien que ces nouveaux faits soient importants, ils n'établissent en rien la preuve de l'existence de vie extra-terrestre. De nombreux travaux devront être effectués avant de pouvoir conclure sur cette importante question.

Mars possède un faible champ magnétique. Cette découverte inattendue fut révélée par la sonde Mars Global Surveyor juste quelques jours après être entrée dans l'orbite martienne. Cela pourrait avoir des conséquences importantes sur la structure de l'intérieur de Mars ainsi que sur l'histoire de son atmosphère ou la présence de vie dans son passé. Mars est aisément visible à l'œil nu en pleine nuit. Sa brillance apparente (sa magnitude) varie beaucoup en fonction de sa position relative avec la Terre. Mars possède 2 minuscules satellites qui décrivent leur orbite très près de la surface.

IV. <http://mars-terraforming.ifrance.com/page1.htm>

Mars est la quatrième planète à partir du soleil et est désignée communément comme la planète rouge. Les roches, le sol et le ciel ont en effet une teinte rougeâtre rosée. Cette couleur distincte a été observée par les astronomes tout au long de l'histoire. Les Égyptiens appelaient ainsi la planète Her Descher ce qui signifie la Rouge. Les Romains quant à eux lui ont donné ce nom en l'honneur du dieu de la guerre. D'autres civilisations lui ont également donné des noms similaires.

De toutes les planètes du système solaire, Mars est de loin celle qui nous fascine le plus. La planète a d'ailleurs pratiquement tout ce qu'il faut pour héberger la vie: une atmosphère et un climat tempéré ainsi que de l'eau aux pôles (et probablement sous la surface). De ce fait Mars est la seule planète du système solaire, à notre connaissance, sur laquelle on pourrait un jour s'installer.

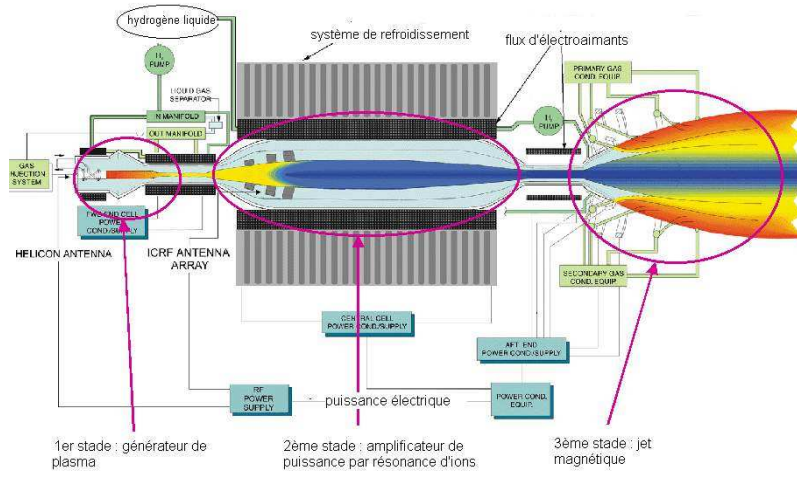
La libération du CO₂ contenu dans la calotte glacière pourrait donner naissance à une atmosphère beaucoup plus épaisse. Mais si les prédictions sont fausses et que Mars ne possède pas assez de CO₂ à injecter dans l'atmosphère, la tâche va se compliquer sérieusement.

Une autre raison pour les scientifiques d'anticiper la vie sur Mars venait des changements saisonniers apparents de la couleur à la surface de la planète. Ce phénomène amena à croire qu'une floraison de plantes martiennes pouvait se produire durant les mois les plus chauds suivie d'une hibernation végétale durant les mois les plus froids.



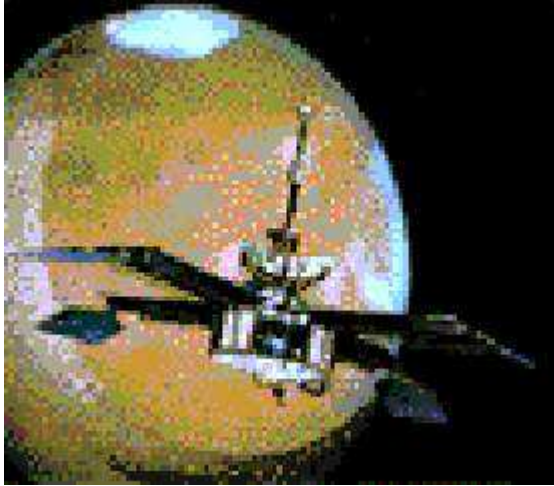
Moteur de type VASIMR

De nombreux systèmes de propulsion sont envisagés, pour équiper les fusées en partance vers la planète Mars, mais d'après des études que nous avons réalisées, nous avons conclu de la meilleure compatibilité du VASIMR, fusée à magnétoplasma à impulsions spécifiques variables du fait de sa «boîte de vitesse», qui lui permet une forte poussée, mais un rendement faible en «première», ainsi qu'une plus faible poussée, mais une vitesse d'éjection augmentée du fait de la fermeture de l'étranglement de sortie, en «cinquième». Grâce à ce système de propulsion, la durée du trajet serait alors réduite à uniquement 6 mois.

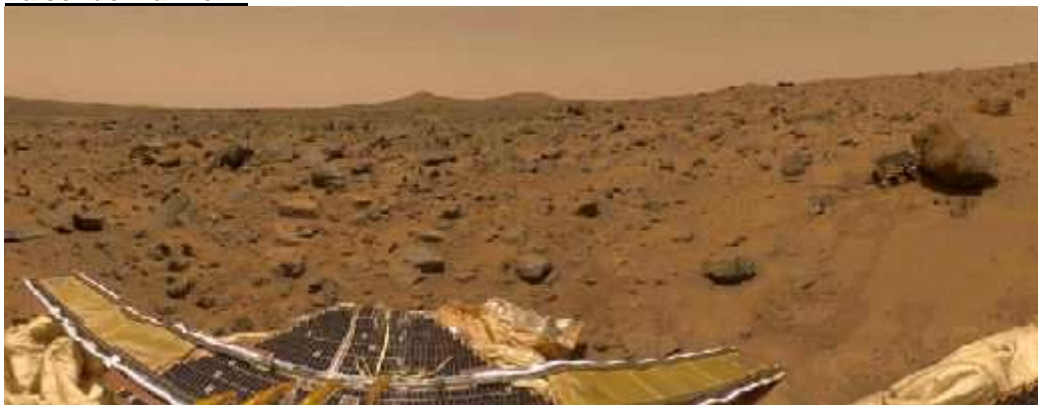


A. Les missions passées

Les premiers à s'élancer vers la planète rouge sont les Soviétiques, dès 1960. Après une série d'échecs aux lancements, Mars1 prend la route de Mars, fin 1962. Elle cesse d'émettre à mi-parcours. Deux ans plus tard, la Nasa lance Mariner4. La petite sonde est la première à être encore active lors du survol de Mars, c'est-à-dire près de deux ans après le lancement (voir étude des différents moyens de propulsion des fusées). Elle envoie 21 images de la surface martienne et des données sur l'atmosphère. Stupeur, il n'y a pas de canaux sur Mars, mais des cratères, et la pression atmosphérique est 10 fois plus faible que prévu. Le rêve d'une vie martienne évoluée disparaît alors. Mariner 6 et 7 renouvellent l'exploit en 1969, puis Mariner 9 devient le premier satellite artificiel de Mars en 1971 et dresse la carte de la planète. 3 ans après l'échec des capsules soviétiques, Mars 2 et 3 en 1972, la Nasa envoie 2 grosses sondes en 1975. Chaque Viking se compose d'un orbiteur qui se place en orbite autour de Mars, et d'un atterrisseur qui se pose en douceur à la surface, et nous fait découvrir le paysage martien. Les missions martiennes ne reprennent qu'à la fin des années 80, mais les échecs s'enchaînent. Après les sondes russes Phobos et l'américaine Mars Observer, Mars 96 qui emporte de nombreux instruments européens échoue à son tour.



La sonde Mariner 4



Panorama du sol martien pris par la sonde Mars Pathfinder en 1997



Vue d'artiste de la sonde Mars Pathfinder et de son robot

C'est finalement la petite sonde Mars Pathfinder de la Nasa qui renoue avec le succès en 1997. Son petit robot, Sojourner, dit "Rocky", est le premier à rouler sur Mars.

Mais la perte de Mars Climat Orbiter le 24 septembre 1999 gêne quelque peu la mission de Mars Polar Lander. En effet, la première, en orbite polaire autour de Mars, devait servir de relais radio pour acheminer vers la Terre les données recueillies par la seconde. A défaut Mars Polar Lander peut avec son propre émetteur envoyer directement un signal vers les récepteurs du DSN (Deep Space Network), un réseau d'antennes réparties à travers le monde.

La qualité de données scientifiques transmises n'est pas trop affectée. Seules les images aux plus grands volumes pourraient parvenir en moins grand nombre. Mais sans Orbiter Relais il est plus difficile d'envoyer des instructions à la sonde en cas de problème.

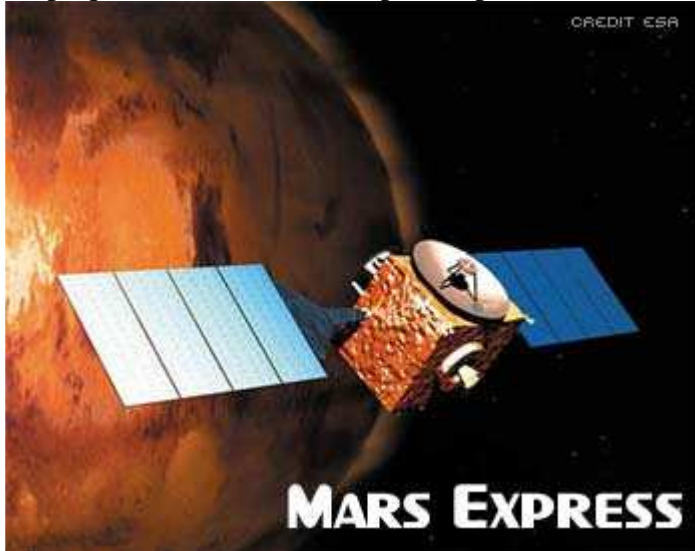
En outre, le DSN souffrirait actuellement de « surcharges » suite à des difficultés rencontrées avec la sonde Galileo. La Nasa fait donc appel à Mars Global Surveyor en orbite autour de la planète depuis deux ans pour assurer le relais, quitte à sacrifier un peu de la mission de cartographie qui lui est assignée. D'autres missions sont d'ores et déjà prévues, tout d'abord l'europpéenne Mars Express.

La prochaine grande étape relève du défi lancé par Ariane 5. Une mission franco-américaine, réalisée par le Cnes et la Nasa, permettra de collecter des échantillons sur le sol martien. Quelques années après, les précieux échantillons seront retournées vers la Terre pour analyse. Leur étude permettra de préparer le prochain grand défi, l'arrivée de l'homme sur Mars.

B. Les missions futures

Plusieurs missions d'études de Mars sont prévues dans les prochaines années :

- En 2003, Mars Express (CNES), réalisé sous la maîtrise d'œuvre d'Astrium (EADS/BEA), aura pour mission, avec l'atterrisseur Beagle 2, d'étudier la minéralogie et l'exobiologie à la surface de la planète. Mars Express prendra l'Espace le 6 juin prochain à bord d'une fusée Soyouz-Fregate depuis le cosmodrome de Baïkonour (Kazakhstan), afin de bénéficier de la distance minimale entre la Terre et Mars, soit 55 millions de kilomètres, ce qui ne se produit que tous les 17 ans. L'arrivée en orbite elliptique autour de Mars est prévue pour décembre 2003.



- En 2004, Mars Exploration Rover (NASA) possédera un spectro-imageur pour l'étude de la minéralogie et la recherche de l'eau liquide à la surface et en sous-sol. Un des robots emportera un disque dur comportant un très grand nombre de noms de Terriens. Si vous voulez que le vôtre y figure.
- En 2005, Mars Reconnaissance Orbiter dressera une cartographie détaillée de la planète à partir de photographies à une résolution de 20 à 30 cm.
- En 2007, Smart Lander sera le premier véhicule capable de parcourir plus de 100m par jour.
- En 2007, Mars Sample Return possédera un orbiteur dédié à l'étude de l'atmosphère et quatre atterrisseurs, munis de stations sismologiques et météorologiques (structure interne, profondeur et nature de nappe souterraine liquide). Il s'agit d'une mission de tests, avec essais d'aérocapture, pour préparer la "grande" mission de 2011 qui devra permettre le retour sur Terre des échantillons du sol martien.
- En 2009, La NASA enverra Scout Mission, des missions légères conçues à partir d'une plate-forme commune. Elle comprendra des avions ou des ballons.
- En 2011, ou certainement un peu plus tard (2014 ?), le CNES et la NASA lanceront le programme commun Mars Sample Return. Il s'agit du retour d'échantillons martiens en 2014 ou 2017.

Toutefois à la suite des attentats du 11 septembre 2001, le budget de la NASA a été fortement réduit et certaines missions risquent d'avoir une ou plusieurs années de retard, voire être annulées.



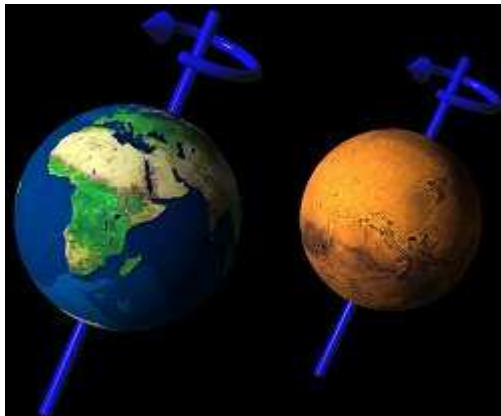
Le vaisseau ayant prélevé des échantillons du sol martien, s'apprête à rejoindre le module attendant en orbite

MARS EXPLORATION PROGRAM

The collage features several key elements of the Mars Exploration Program:

- Top Left:** A satellite in orbit around Mars, with its solar panels deployed.
- Top Middle:** A Mars lander on the surface, with its solar panels partially deployed.
- Top Right:** A Mars rover on the surface, with its solar panels deployed.
- Middle Left:** A satellite in orbit around Mars, with its solar panels deployed.
- Middle Center:** A circular inset titled "MARS SAMPLE RETURN" showing a lander on the surface with a sample return rover. The text "NASA JPL CNES" is visible at the bottom of the inset.
- Middle Right:** A cutaway view of a Mars lander, showing its internal components and the sample return rover.
- Bottom Left:** A Mars lander on the surface, with its solar panels deployed. The NASA logo is visible in the bottom left corner.
- Bottom Right:** A Mars rover on the surface, with its solar panels deployed. The JPL logo is visible in the bottom right corner.

	Mars	Terre
Distance moyenne au soleil (10^6 km)	228	150
Masse (10^{24} kg)	0,6418	5,975
Volume (10^{10} km ³)	16,318	108,321
Rayon équatorial (km)	3397	6378
Rayon du noyau (km)	1700	3485
Densité moyenne (kg.m ⁻³)	3933	5515
Gravité à la surface (m.s ⁻²)	3,69	9,78
Vitesse de libération (km.s ⁻¹)	5,03	11,19
Période de rotation	24h 37min 23s	23h 56min 4s
Période de révolution	686,98 jours	365,256 jours
Vitesse orbitale moyenne (km.s ⁻¹)	24,13	29,78
Inclinaison par rapport à l'écliptique (°)	1,85	0
Pression à la surface (mbar)	6	1000
Température moyenne (°C)	-53	15
Atmosphère	Dioxyde de carbone (95,3%) Diazote (2,7%) Argon (1,6%) Dioxygène (0,13%) Autres (0,1%)	Diazote (78%) Dioxygène (21%) Argon (0,9%) Autres (0,1%)
Satellites	Deimos (10km x12 x16) Phobos (18km x22 x28)	Lune (3476 km de diamètre)



Comparaison de l'inclinaison de la Terre et de Mars

La principale différence entre la Terre et Mars est bien entendu la présence de la vie sur la première.

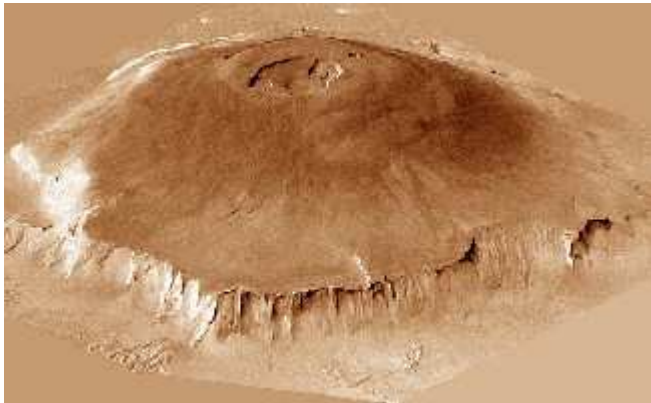
Si une planète du système solaire devait être habitée, ce serait vraisemblablement notre petite sœur Mars, planète dont les caractéristiques générales sont les plus proches de notre planète bleue. En effet, sa distance au Soleil n'est que peu différente de celle de la Terre. Ainsi sa température moyenne en est relativement proche et presque adaptée à la vie. Toutefois la présence d'eau liquide à la surface est actuellement physiquement impossible. Par contre, en profondeur, où la pression est plus élevée, il est possible qu'il y ait de l'eau liquide.

Les différents états possibles de l'eau selon la pression et la température

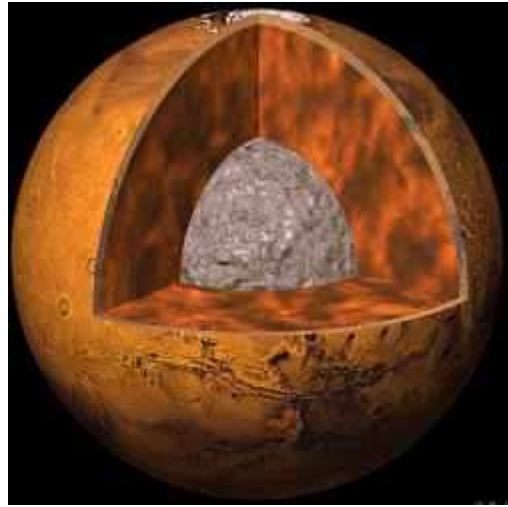
Mars est composée, comme la Terre, d'une croûte, d'un manteau, et d'un noyau. Sa surface est rouge à cause de la présence des ions Fe^{3+} dans les roches.

La surface de Mars est très marquée car la planète est géologiquement morte : elle n'a plus d'énergie interne. De ce fait, les volcans sont éteints ; la surface ne se renouvelle pas, donc les cratères de météores restent très apparents.

De plus, on observe des reliefs très forts : l'Olympus Mons, par exemple, culmine à 27 000 m sur 670 km de diamètre.



L'Olympus Mons



La structure interne de Mars

V. <http://www.interstars.net/index.php?article=mars-tableau>

Caractéristique	Mars	Terre
Paramètres orbitaux		
Type:	Planète tellurique	Planète tellurique
Connue:	Depuis la préhistoire	A votre avis ? ;)
Distance moyenne au Soleil:	1,52 366 231 UA -227,92 .106 km	1 UA - 149,60 .106 km
Distance mini. au Soleil (périhélie):	1,381 UA - 206,62 .106 km	0,983 4 UA - 147,09 .106 km
Distance max. au Soleil (aphélie):	1,666 UA - 249,23 .106 km	1,016 9 UA - 152,10 .106 km
Période de révolution sidérale:	686,980 jours (1,88 années terrestres)	365,256 jours
Vitesse orbitale moyenne:	24,13 km/s	29,78 km/s
Vitesse orbitale max. :	26,50 km/s	30,29 km/s
Vitesse orbitale mini. :	21,97 km/s	29,29 km/s
Inclinaison de l'orbite:	1,85 061°	0°
Inclinaison de l'axe:	25,19°	23,45°
Excentricité* de l'orbite:	0,09 341 233	0,0167
Durée d'un jour:	24,6597 heures	24 heures
Paramètres planétaires		
Masse:	0,64185 .1024 kg	5,973 6 .1024 kg
Volume:	16,318 .1010 km ³	108,1 .1010 km ³
Densité:	3,933 g/cm ³ (eau=1)	5,515 g/cm ³
Pression de surface	6,36 mbar en moyenne, de 4.0 à 8.7 selon les saisons	1014.10-3 bars
Diamètre équatorial:	3397 km	12 756,2 km
Gravité:	3,71 m/s ²	9,80 m/s ²
Vitesse de libération:	5,03 km/s	11,19 km/s
Nombre de satellites naturels:	2	1
Anneaux:	non	non
Irradiation solaire:	589,2 W/m ²	1367,6 W/m ²
Température:	en moyenne environ -63°C (210K); de -140°C à +22°C	15°c en moyenne
Principaux composant de l'atmosphère:	Co ₂ (95,32%) - N ₂ (2,7%)	N ₂ (78%), O ₂ (21%)
Depuis la Terre		
Distance mini. à la Terre:	55,7 .106 km	
Distance maxi. à la Terre:	401,3 .106 km	
Diamètre apparent max.:	25,1" (secondes d'arc)	
Diamètre apparent mini. :	3,5" (secondes d'arc)	