

Terraformation de Mars

La **terraformation de Mars** est le processus hypothétique par lequel le climat, la surface, et les propriétés actuelles de Mars pourraient être délibérément modifiées afin de rendre la planète habitable pour les humains et toutes autres vies terrestres. Ce procédé permettant la colonisation sécurisée et durable de grandes régions de la planète.

Basé sur l'exemple de la Terre, l'environnement de la planète pourrait être altéré délibérément; cependant la faisabilité de créer une biosphère planétaire est indéterminée. Plusieurs des méthodes décrites ci-dessous pourraient être à la portée des capacités technologiques de l'humanité, mais les ressources économiques nécessaires à leur mise en place technique sont encore hors de portée.

Les raisons de la terraformation

La science fiction propose plusieurs théories sur les futures causes d'une colonisation de Mars. On retrouve entre autres la hausse de la demande en ressources^[1], une catastrophe remettant en cause l'avenir de la terre^[2], l'arrivée d'extraterrestres^[3] ou le tourisme spatial^[4].

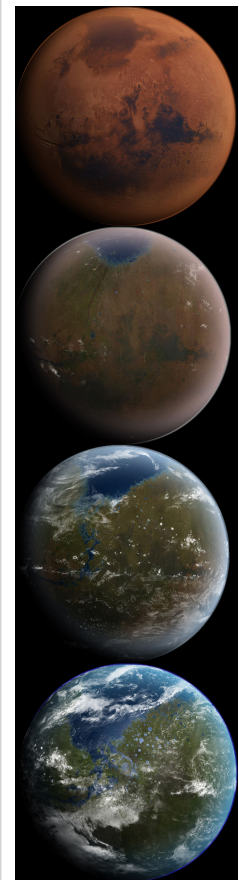
Grâce à la terraformation, l'humanité pourrait rendre Mars habitable. Mars pourrait alors se trouver dans la zone habitable autour du soleil, donnant à l'humanité quelques milliers d'années supplémentaires pour développer des technologies spatiales plus performantes qui autoriseraient la colonisation du bord extérieur du système solaire par l'humanité, avant que Mars ne devienne à son tour inhabitable du fait de l'augmentation de la chaleur solaire (déplacement de la zone habitable entourant le Soleil, cf. Habitabilité d'une planète).^[réf. souhaitée]

État des lieux

Le sol martien contient des minéraux qui pourraient théoriquement être utilisés pour la terraformation. Des recherches récentes ont en outre montré la présence de pergélisol sous la surface martienne à la latitude 60 ainsi qu'aux pôles, où il est mélangé avec de la glace sèche (CO_2 gelé). La présence d'eau dans le sous-sol a également été détectée en 2009 par la sonde Mars Reconnaissance Orbiter qui a révélé que des cratères d'impact récemment formés contenaient de la glace pure à 99 %^[5]. Avec la sublimation du dioxyde de carbone (CO_2) des pôles durant l'été martien, une petite quantité d'eau résiduelle est relâchée, que les vents balayent aux pôles à une vitesse approchant les 400 km/h. Cet événement saisonnier transporte une grande quantité de poussières et de vapeur d'eau dans l'atmosphère, donnant naissance à des cirrus similaires à ceux de la Terre.

L'oxygène n'est présent dans l'atmosphère que sous forme de traces, cependant il est présent en grande quantité sous la forme d'oxyde de fer sur la surface martienne (régolithe). De l'oxygène est aussi présent dans le sol sous la forme de nitrates^[6]. Une analyse d'échantillons du sol pris par la sonde spatiale Phoenix indique la présence de perchlorate, qui est utilisé par les générateurs chimiques d'oxygène. De plus, l'électrolyse pourrait être utilisée pour faire de l'oxygène et de l'hydrogène à partir de l'eau si une quantité suffisante d'électricité était disponible.

Mars avait un environnement relativement similaire à la Terre lors des premières étapes de son développement. Cette similarité est indiquée par l'épaisseur de l'atmosphère de Mars, ainsi que par la présence évidente d'eau liquide sur la surface de la planète dans le passé^[7]. L'atmosphère s'est atténuée pendant des milliards d'années avec la dispersion progressive des gaz dans l'espace, bien qu'ils se soient aussi partiellement condensés sous forme solide. L'eau, qui



Vue d'artiste du processus de terraformation de Mars; l'apparence finale de la planète est basée sur les données du Mars Global Surveyor.

auparavant se trouvait sur la surface martienne, n'est aujourd'hui présente qu'aux pôles et sous la surface de la planète, dans le permafrost. Le mécanisme qui conduisit aux conditions atmosphériques actuelles de Mars n'est pas connu, bien que plusieurs hypothèses aient été proposées. Une de ces hypothèses est que la gravité sur Mars a entraîné un relâchement des gaz légers de la haute atmosphère dans l'espace. L'absence évidente de plaques tectoniques sur Mars est un autre facteur possible puisque cette absence d'activité tectonique pourrait, en théorie, ralentir le recyclage des gaz en les enfermant dans les sédiments sans qu'ils ne puissent retourner dans l'atmosphère. Le manque d'activité géologique et l'absence de champ magnétique sont probablement une conséquence de la petite taille de Mars, ce qui autorise un refroidissement plus rapide de son intérieur comparativement à celui de la Terre. Cependant les détails d'un tel processus sont peu connus.

Enfin la température moyenne sur Mars avoisine les -60°C et la pression atmosphérique est 160 fois inférieure à celle qu'on trouve sur Terre.

Changements nécessaires

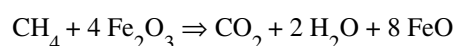
Terraformer Mars entraînerait deux changements majeurs et entrelacés : "reconstruction" de l'atmosphère et élévation de sa température. L'atmosphère de Mars est relativement fine et par conséquent la pression à la surface est de 0.6 kPa, à comparer aux 101.3 kPa sur Terre. L'atmosphère de Mars se compose de 95 % de dioxyde de carbone (CO_2), 3 % d'azote, 1.6 % d'argon et contient des traces d'oxygène, d'eau et de méthane. Puisque son atmosphère est principalement composée de CO_2 , un gaz à effet de serre connu, plus l'atmosphère se réchauffe, plus de CO_2 se répand dans l'atmosphère depuis les pôles, s'ajoutant encore à l'effet de serre. Ceci signifie que ces deux mécanismes, reconstituer l'atmosphère et la réchauffer, s'amplifieraient l'un l'autre, ce qui favoriserait la terraformation. Toutefois, à plus grande échelle, la maîtrise de certaines techniques devrait être nécessaire pour rendre ces théories valides.

Reconstruire l'atmosphère

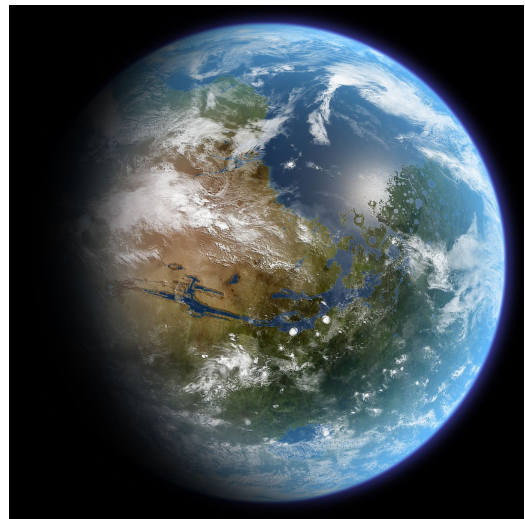
Le principal moyen de reconstituer l'atmosphère martienne est l'importation d'eau, qui peut provenir de la glace d'astéroïdes ou de la glace des lunes joviennes ou de Saturne. L'ajout d'eau et de chaleur à l'environnement martien permettrait de rendre ce monde sec et froid propice à la vie.

L'apport d'hydrogène pourrait aussi favoriser les modifications atmosphériques et hydrosphériques. Suivant la proportion de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'importation et la réaction de l'hydrogène produirait de la chaleur, de l'eau et du graphite via la réaction de Bosch. De même, l'hydrogène réagissant avec le dioxyde de carbone, via la réaction de Sabatier ajouterait du méthane et de l'eau. Un autre moyen serait d'importer du méthane ou d'autres hydrocarbures, qui sont communs dans l'atmosphère de Titan. Le méthane pourrait être diffusé dans l'atmosphère martienne ou il établirait l'effet de serre.

Le méthane (ou les autres hydrocarbures) aiderait à augmenter significativement la pression atmosphérique martienne. De même ces gaz pourraient être utilisés pour produire, lors d'une étape ultérieure de la terraformation Mars, de l'eau et du CO_2 par la réaction :



Cette réaction pourrait être enclenchée par la chaleur ou par les radiations UV sur Mars.



Une vision d'artiste de Mars terraformé centré sur Valles Marineris. Tharsis est visible sur le côté gauche.

Avec le réchauffement de la planète, le CO_2 des pôles se sublimerait dans l'atmosphère et contribuerait à la chauffer. Les forts courants atmosphériques générés par le déplacement des gaz créeraient de grandes tempêtes de poussière, qui contribueraient à réchauffer directement la planète (par l'absorption des radiations solaires). La température de Mars pourrait alors être suffisamment élevée pour que le CO_2 ne se solidifie pas aux pôles, mais l'eau liquide ne serait pas encore présente à cause d'une pression trop faible.

Après la fin des forts tourbillons de poussière, la planète, plus chaude, pourrait probablement être habitable pour quelques formes de vie terrestre. Certaines formes d'algues et de bactéries qui sont capables de vivre en Antarctique seraient les principaux candidats. En remplissant quelques fusées de spores d'algues et en les faisant s'écraser aux pôles, où il y aurait encore la glace d'eau, ils pourraient non seulement grandir mais aussi se multiplier dans un environnement sans compétition, à haute radiation et à fort niveau de CO_2 .

Si les algues se propagent d'elles-mêmes sur la planète, cela aura pour effet de réduire l'albédo de celle-ci. En absorbant plus de lumière, le sol réchaufferait d'autant plus l'atmosphère. De plus, les algues relâcheraient peu à peu de l'oxygène dans l'atmosphère, bien que cela ne soit pas encore suffisant pour permettre aux humains de respirer. Si l'atmosphère devient plus dense, alors la pression s'élèvera à une valeur proche de celle de la Terre. Au début, et jusqu'à ce qu'il y ait suffisamment d'oxygène dans l'atmosphère, les humains n'auront besoin que d'un masque à oxygène. La réduction des métaux dans le sol pourrait aussi permettre de produire les matériaux nécessaires et de l'oxygène. De même, l'importation de plantes (ainsi qu'une vie microbienne inhérente aux sols fertiles) pourrait permettre aux humains de répandre la vie végétale sur Mars, ce qui accroîtrait l'apport en oxygène sur Mars.

Une autre méthode pour densifier l'atmosphère serait d'utiliser de l'ammoniac. Comme il est possible que la nature en ait stocké en grandes quantités sous forme gelée sur des astéroïdes du système solaire extérieur, il serait possible de les envoyer (par exemple en utilisant des bombes nucléaires) s'écraser sur Mars. Puisque l'ammoniac (NH_3) contient 85 % d'azote et se décompose facilement, cela permettrait d'étoffer l'atmosphère à l'aide d'un gaz inerte, le même qui dilue l'atmosphère terrestre.

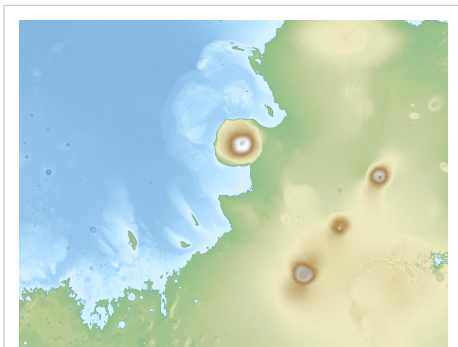
Réchauffer l'atmosphère

L'augmentation de la température de Mars est le point crucial de la terraformation de la planète. Pour y arriver, il s'agit d'augmenter l'effet de serre pour donner une impulsion au processus, qui s'amplifie ensuite de lui-même. Une impulsion initiale de 4°C pourrait s'avérer suffisante, d'après les études de Robert Zubrin, président de la Mars Society. Le processus serait ensuite assez long, à moins de tout faire soi-même.

Ces méthodes distinctes peuvent aussi être combinées en vue d'améliorer les résultats.

Miroirs

La première solution est d'utiliser des miroirs géants de 100 km de rayon et de 200000 tonnes en orbite. Ces miroirs réfléchiraient la lumière du soleil vers le pôle sud afin d'augmenter l'insolation de la planète^[8]. Ceci ferait fondre la calotte glaciaire et libérerait le CO_2 qu'elle contient. La construction de tels miroirs n'est pas évidente mais le projet russe Znamya de 1999 a montré un type de technologie utilisable même s'il ne s'agissait que de « petits » miroirs de 25 m de diamètre.



Le Mont Olympe et sa région s'il y avait des océans sur Mars jusqu'au niveau 0 de référence.

Réduction de l'albédo

Réduire le coefficient d'albédo de la surface lui permettrait de mieux conserver la chaleur reçue^[9]. Actuellement de 0.77, le descendre à 0.73 pourrait permettre de vaporiser la calotte en 100 ans. Pour y arriver, la solution évoquée consiste à noircir la calotte en y déposant de la poussière, de la suie (provenant des lunes de Mars, Phobos et Deimos, car ils sont sombres et pourraient être transformés en poussière dans l'espace puis dispersés uniformément sur Mars), ou de la vie microbienne tel que les lichens (voir L'écopoïèse et l'oxygène) qui transfèreraient une grande partie de la chaleur à la surface avant de renvoyer l'autre partie dans l'espace. L'avantage des formes de vie est qu'elles peuvent se propager d'elles-mêmes. Toutefois les vents martiens, assez violents, posent un problème sérieux. De plus, le problème du régolithe reste entier.

Gaz à effet de serre

Puisque une stabilité climatique sur le long terme est nécessaire pour permettre l'établissement de population humaine, l'utilisation de gaz à effet de serre puissants est nécessaire, dont les halocarbones comme les chlorofluorocarbones (CFC) et les perfluorocarbones (ou PFC). Ces gaz sont les candidats les plus sérieux pour une insertion artificielle dans l'atmosphère martienne à cause de leurs effets. Cela peut évidemment être fait à relativement bon marché en envoyant des fusées contenant des CFC pour qu'elles s'écrasent sur Mars^[6]. Quand une fusée s'écraserait, son contenu s'échapperait dans l'atmosphère. Un rythme stable entre chaque « roquette de CFC » devrait être établi pendant un peu plus d'une décennie afin que les changements planétaires se fassent.

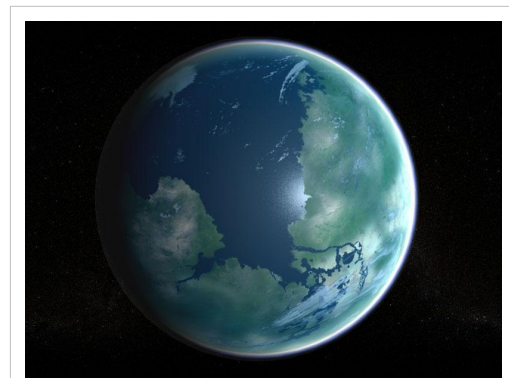
Miner des minéraux contenant du fluor est une source possible de CFC et PFC. Ils sont supposés y être au moins aussi communs que sur Terre. Ceci permettrait de produire sur place des composants nécessaires à l'effet de serre (CF_3SCF_3 , $\text{CF}_3\text{OCF}_2\text{OCF}_3$, $\text{CF}_3\text{SCF}_2\text{SCF}_3$, $\text{CF}_3\text{OCF}_2\text{NFCF}_3$) et donc de maintenir une température « confortable »^[10].

L'eau

La température plus agréable et l'atmosphère plus dense ne rendent pas la planète plus humide. Pour réactiver le cycle de l'eau, nécessaire au développement de la vie, on peut recourir à certains principes évoqués précédemment.

La calotte sud doit contenir une quantité importante libérée lors de sa fonte par exemple. Le sol en contient probablement également sous forme de permafrost / pergélisol. Ensuite, il faut la vaporiser, à l'aide des miroirs dont on concentre la lumière sur une zone restreinte, ou bien directement à partir d'un noyau de comète, glacé, qui s'écraserait à la surface. Ces méthodes restent préférables à l'emploi de bombes thermonucléaires, qui rendraient la planète radioactive.

Si l'eau se répand à la surface de la planète, un immense océan (Oceanus Borealis) recouvrira l'hémisphère nord de la planète et les cratères de l'hémisphère sud formeront de grands lacs pratiquement circulaires.



Vue d'artiste des potentiels océans martiens

L'écopoïèse et l'oxygène

Une atmosphère suffisamment dense et de l'eau en abondance permettrait le développement de certaines bactéries primitives de la Terre. Cette phase d'emploi de bactéries s'appelle l'écopoïèse. En effet, certaines formes de vie supportent l'absence d'oxygène dans l'air et pourraient donc proliférer dans les conditions créées sur Mars. Se nourrissant du CO_2 pour la photosynthèse, ces bactéries introduiraient progressivement de l'oxygène dans l'air martien, ouvrant la voie à des plantes supérieures lorsque la pression partielle atteindra 1 mbar. L'Homme devra attendre ensuite environ 900 ans pour se défaire de son masque à oxygène et respirer de l'air avec une pression

partielle en oxygène de 120 mbar, minimum vital. Le taux de CO_2 devrait être réduit aussi par l'ajout de gaz inerte, comme l'azote, où on reparle des astéroïdes.

La génétique pourrait avoir un rôle dans ces opérations afin de créer des plantes réalisant la photosynthèse la plus efficace possible, pour accélérer le phénomène. Certains proposent parfois de sauter la phase bactérienne en brûlant directement le sol à l'aide des miroirs (voir miroirs) pour décomposer ses oxydes. On pense aussi que le contact entre l'eau et les oxydes libère directement de l'oxygène ce qui faciliterait le travail.

Cependant le processus est long, les technologies actuelles insuffisantes, sans parler des nombreuses inconnues qui persistent.

Limites

Radiations solaires

Certains considèrent que Mars n'est pas propice aux formes de vie à cause du haut niveau de radiation solaire. Privé de magnétosphère, l'atmosphère martienne se serait peu à peu amoindrie sous l'effet du soleil ; le vent solaire conférant de l'énergie aux particules des couches supérieures de l'atmosphère leur permettant d'atteindre la vitesse de libération et de quitter Mars. Cet effet a été détecté par les sondes en orbite autour de Mars. Une autre théorie considère que le vent solaire arrache des particules à la planète, particules qui se retrouvent piégées dans des bulles de champ magnétique appelées plasmoides^[11].

Cependant, le cas de Vénus montre que l'absence de magnétosphère n'empêche pas la présence d'une atmosphère épaisse. Une atmosphère épaisse fournit aussi une protection aux radiations solaires à la surface, comme cela se passe aux pôles terrestres avec les aurores. En ce sens l'absence de magnétosphère n'aurait probablement pas un impact sérieux sur l'habitabilité d'une Mars terraformée. Dans le passé, la Terre connaissait des périodes où la magnétosphère changeait de direction ou parfois s'effondrait.

Technologie

Même si les technologies nécessaires ne sont pas complètement hors de portée (la Fusion nucléaire, pour déplacer des astéroïdes et réduire le temps des voyages, ou la construction en orbite sont déjà en cours de développement par exemple) et même si l'Homme a toujours su créer les outils dont il a eu besoin, une telle entreprise n'est pas d'actualité. Il faudra dans un premier temps envisager des bases autonomes couvertes, en y maintenant un petit écosystème, ce qui posera déjà beaucoup de problèmes.

Éthique

Certains considèrent que, si la vie est déjà présente à la surface de la planète, l'importation d'êtres vivants terriens risquerait de faire disparaître la biologie martienne. Afin d'éviter la perte d'informations importantes, qu'elles concernent des êtres vivants ou même seulement la géologie, il semble qu'il faudra dans un premier temps explorer Mars sans la transformer, pour en retirer toutes les informations scientifiques.

Certains envisagent même d'adapter l'Homme à d'autres environnements plutôt que d'adapter l'environnement (doctrine du transhumanisme). En effet, les nanotechnologies pourraient permettre de faire en sorte que l'oxygène ne soit plus indispensable par exemple. D'autres annoncent que la colonisation de l'espace se fera plutôt par des stations spatiales que par la terraformation de différentes planètes.

Fiction

Mars la rouge, Mars la verte, Mars la Bleu sont des romans de science-fiction écrits par Kim Stanley Robinson racontant la Terraformation de Mars.

Références

- [1] Marshall T. Savage, *The Millennial Project: Colonizing the Galaxy in Eight Easy Steps* (Little Brown and Company, 1994) (<http://www.amazon.com/dp/0316771635>)
- [2] Le Cycle d'Hyperion de Dan Simmons
- [3] Altar Games, *UFO Aftermatch*, Cenega, PC, 2003
- [5] De la glace pure à 99% observée sur Mars (<http://www.techno-science.net/?onglet=news&news=7065>). Consulté le 29 septembre 2009.
- [6] Lovelock, James and Allaby, Michael *The Greening of Mars*
- [7] **(en)** James J. Wray, Scott L. Murchie, Steven W. Squyres, Frank P. Seelos et Livio L. Tornabene, « Diverse aqueous environments on ancient Mars revealed in the southern highlands », dans *Geology*, vol. 37, n° 11, novembre 2009, p. 1043-1046 (ISSN 1943-2682 (<http://worldcat.org/issn/1943-2682&lang=fr>)) [texte intégral (<http://geology.geoscienceworld.org/cgi/reprint/37/11/1043>) (le 8 janvier 2010)]
DOI: 10.1130/G30331A.1 (<http://dx.doi.org/10.1130/G30331A.1>)
- [8] Robert M. Zubrin (Pioneer Astronautics), Christopher P. McKay. NASA Ames Research Center, « Technological Requirements for Terraforming Mars (<http://www.users.globalnet.co.uk/~mfogg/zubrin.htm>) », 1993 ?
- [9] Peter Ahrens, « The Terraformation of Worlds (<http://www.nexialquest.com/The Terraformation of Worlds.pdf>) », Nexial Quest.
Consulté le 2007-10-18
- [10] Keeping Mars warm with new super greenhouse gases (<http://www.pnas.org/cgi/content/full/98/5/2154>)
- [11] Cosmos Online - Solar wind ripping chunks off Mars (<http://www.cosmosmagazine.com/news/2369/solar-wind-ripping-chunks-mars>)

Compléments

Articles connexes

- Colonisation de Mars
- Terraformation de Vénus
- *Total Recall*, une série de science fiction américaine des années 1990.
- La Trilogie de Mars, une trilogie de romans de science fiction de Kim Stanley Robinson.

Liens externes

- **(fr)** Terraformer Mars (<http://www.nirgal.net/terraformation.html>)
- **(en)** NASA - Aerospace Scholars: Terraforming Mars (<http://replay.waybackmachine.org/20070915152013/http://aerospacescholars.jsc.nasa.gov/HAS/cirr/em/10/10.cfm>) (*version du 15 September 2007 sur Internet Archive*)
- **(en)** Interview de Arthur C. Clarke sur la terraformation (<http://www.spectrum.ieee.org/oct07/5584>)
- **(en)** Colonie rouge (<http://www.redcolony.com/>)
- **(en)** *Terraformers Society of Canada* (<http://society.terraformers.ca/>)
- **(en)** *Research Paper: Technological Requirements for Terraforming Mars* (<http://www.users.globalnet.co.uk/~mfogg/zubrin.htm>)
- **(en)** *Peter Ahrens The Terraformation of Worlds* (<http://www.nexialquest.com/The Terraformation of Worlds.pdf>)
- **(en)** *MARSDRIVE: Colonizing Mars* (<http://www.marsdrive.com/>).
- **(en)** Mars Reborn (<http://www.worlddreambank.org/M/MRZ.HTM>), portrait d'un exemple de Mars terraformée, par Chris Wayan, 2003

Sources et contributeurs de l'article

Terraformation de Mars *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=63974464> *Contributeurs:* A2, Artvill, Bioman666, Bob Saint Clar, Chouca, CommonsDelinker, Dark Patate du 68, Didier Misson, Feldo, Grimlock, Ice Scream, Jybet, Kilianours, Lgd, Lithium57, ManaNano, Misc, Mutichou, Papatt, Thaumasnnot, Treehill, Vyk, 45 modifications anonymes

Source des images, licences et contributeurs

Image:MarsTransitionV.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:MarsTransitionV.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Daein Ballard

Image:TerraformedMarsGlobeRealistic.jpg *Source:* <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:TerraformedMarsGlobeRealistic.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Daein Ballard

File:Mars_-_Tharsis_with_ocean.jpg *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mars_-_Tharsis_with_ocean.jpg *Licence:* inconnu *Contributeurs:* Sémhur

Fichier:Mars Terra2.JPG *Source:* http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Mars_Terra2.JPG *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Chmee2, Edward, Hekerui, Honeplus, Marcelo-Silva, Marcok, Pieter Kuiper, Xhienne

Licence

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>