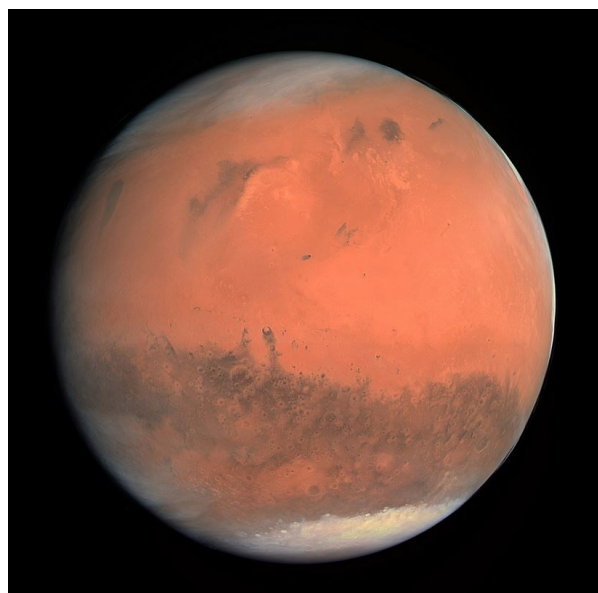




Source : CNES

Résumé

- En dépit de la présence d'eau sous forme de glace en surface et d'eau liquide dans le sous-sol, la vie sur Mars paraît peu probable dans les conditions actuelles et, si elle existe, est repoussée en profondeur.
- Après 43 missions envoyées vers la planète rouge, dont la dernière en date, *InSight* (NASA), a atterri le 26 novembre 2018 avec un sismomètre développé par le Centre national d'études spatiales (CNES), le vieux rêve de l'exploration humaine de Mars devient un projet crédible mais complexe et coûteux.
- Terra americana, avec 8 succès américains sur 17 tentatives d'atterrissage, Mars doit continuer à accueillir en priorité des missions robotisées. Notre participation à l'Agence spatiale européenne (ESA) et nos accords de coopération internationale doivent conforter le rôle de puissance spatiale de la France.

Mme Catherine Procaccia, Sénateur

■ Aller sur Mars, un vieux rêve...

Objet d'observation et de curiosité depuis l'Antiquité, notamment dans les civilisations mésopotamienne, babylonienne, égyptienne, chinoise et grecque, Mars n'a pas cessé de faire rêver le grand public et de fasciner les scientifiques⁽¹⁾. Elle tire son nom du dieu de la guerre en raison de son mouvement erratique vu de la Terre et de sa couleur rouge, due aux poussières riches en oxydes de fer que l'on trouve dans les couches superficielles de sa surface. Elle est vue pour la première fois à travers une lunette astronomique en 1610 par Galilée, mais il faut attendre Giovanni Schiaparelli pour établir en 1877 une première **carte de la planète**⁽²⁾. Il met en évidence des « **canaux martiens** », introduisant dans l'opinion, mais aussi chez certains scientifiques⁽³⁾, la notion de canaux artificiels structurés dans un réseau géométrique et, peut-être, construits par une civilisation extraterrestre. C'est par exemple l'interprétation faite par l'astronome Camille Flammarion dans ses travaux sur la planète Mars⁽⁴⁾, qu'il pense habitable. L'astronome américain Percival Lowell persiste ensuite dans l'idée d'un réseau de canaux d'irrigation⁽⁵⁾.

Ces thèses - à l'origine du **mythe des martiens**, qui a beaucoup inspiré les auteurs de science-fiction⁽⁶⁾ - ont été

invalidées au début du siècle dernier, puis peu à peu abandonnées par les scientifiques, grâce au perfectionnement des télescopes, leur précision croissante ayant permis de dévoiler que ces canaux rectilignes n'étaient que des **illusions d'optique**. La théorie de la vie martienne a également été contestée par les premières analyses spectroscopiques, qui démontraient il y a plus d'un siècle que Mars n'était pas habitable⁽⁷⁾. Ces découvertes, antérieures à l'ère spatiale, ont été complétées d'avancées grâce aux télescopes spatiaux, dont Hubble est un bel exemple, et, surtout, aux **missions en survol ou sur place**, devenues technologiquement possibles dans la seconde moitié du 20^e siècle.

■ ... en passe d'être une réalité pour l'homme et pas seulement pour la machine

Les **photographies de la sonde Mariner 4** en 1965 ont définitivement invalidé la thèse des « canaux martiens ». **43 missions** ont été envoyées vers Mars et ses deux lunes Phobos et Deimos depuis les années 1960. Elles ont pris deux formes : des missions autour de Mars (sondes et orbiteurs) ou sur place (atterrisseurs et robots mobiles ou rovers). Elles ont été, pour moins de la moitié d'entre elles, des succès.

Historique des principales missions martiennes

1962 : échec de la mission russe Mars 1 (sonde)
1965 : premier survol par la sonde américaine Mariner 4, qui prend les 22 premières photographies de la planète Mars
1971 : la sonde américaine Mariner 9 est placée en orbite, suivie du satellite de la mission russe Mars 3, dont l'atterrisseur se pose sur Mars, avant d'être détruit
1973 : échec de quatre missions russes (Mars 4, 5, 6 et 7)
1976 : deux atterrisseurs de la NASA, Viking 1 et 2, se posent et transmettent des données (images et analyses du sol)
1993 : échec de la mission américaine Mars Observer
1996 : échec de la mission russe Mars 96 qui transportait à son bord des instruments européens et succès de la NASA avec l'orbiteur Mars Global Surveyor (MGS), l'atterrisseur Mars Pathfinder et le premier rover sur Mars, Sojourner,
1997 : le projet européen Mars Express est conçu par l'ESA
1998 : envoi de la sonde japonaise Nozomi (ou Planet B)
1999 : échec des missions américaines Mars Polar Lander et Mars Climate Orbiter
2001 : succès de l'orbiteur américain Mars Odyssey
2003 : Mise en orbite de Mars Express (ESA), échec de l'atterrisseur Beagle 2, succès des rovers américains à vocation géologique Spirit et Opportunity
2005 : la mission américaine Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) cartographie Mars de manière détaillée
2008 : l'atterrisseur Phoenix de la NASA confirme la présence d'eau glacée à proximité de la calotte polaire Nord
2009 : signature par la NASA et l'ESA du programme d'exploration « Mars Exploration Joint Initiative » (MJJI)
2012 : le rover de la NASA MSL Curiosity procède avec le laser ChemCam (co-conception française) à des études géologiques et minéralogiques plus poussées
2014 : la sonde indienne Mars Orbiter Mission (MOM) est placée en orbite trois jours après la sonde américaine MAVEN, qui analyse l'évolution de l'atmosphère martienne
2016 : Mise en orbite de la sonde européenne ExoMars Trace Gas Orbiter, dont certains instruments sont russes (partenariat ESA-Roscosmos) et succès partiel du démonstrateur technologique Schiaparelli
2018 : l'atterrisseur de la NASA InSight doit analyser la structure interne de Mars grâce au sismomètre SEIS développé par le CNES et l'Institut de Physique du Globe de Paris et à un capteur de flux de chaleur fourni par l'agence spatiale allemande

Ces missions robotisées, qui représentent un poids total de 9 tonnes de matériel envoyées sur ou autour de Mars, montrent que cette planète a toujours été l'**un des enjeux de la course à l'espace** et que sa proximité relative en fait une **destination accessible pour une expédition humaine**⁽⁸⁾, même si la question du retour reste encore délicate.

Elles ont surtout permis d'améliorer nos connaissances sur cette planète.

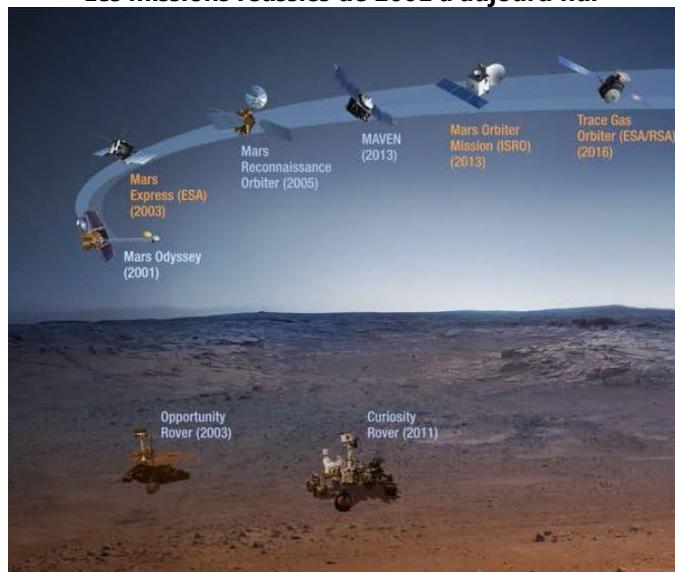
■ Bilan synthétique des connaissances sur Mars

Moitié moins grande que la Terre et d'une masse 10 fois plus faible, Mars est soumise à une **gravité de l'ordre du tiers de la nôtre** et est exempte de champ magnétique interne. Dans ces conditions, et en raison d'une atmosphère 60 fois moins massive (120 fois moins dense) que sur Terre, la surface y est très exposée **aux rayons cosmiques et solaires ionisants**. Deux fois moins ensoleillée que la Terre car 1,5 fois plus éloignée du Soleil, cette planète désertique connaît en surface des **écarts de température importants** (de -133°C à +27°C) avec une moyenne d'environ **-55°C**. Une journée solaire y dure 24 heures 37 minutes et 23 secondes tandis que sa période orbitale dure près de 687 jours terrestres. Son atmosphère, composée à plus de 96 % de dioxyde de carbone⁽⁹⁾, est très chargée en poussière et connaît des **tempêtes particulièrement violentes** qui peuvent durer plusieurs semaines et soulever les poussières jusqu'à 80 km d'altitude.

Son **relief accidenté**, fait de cratères, de volcans et de vallées, révèle une histoire géologiquement active, avec une dichotomie entre les « jeunes » plaines de l'hémisphère nord et les zones plus anciennes et fortement cratérisées de l'hémisphère sud. La chronologie de Mars se divise en trois époques géologiques⁽¹⁰⁾. Bien que les nombreuses traces d'écoulements observées soient sèches, Mars contient une **quantité importante d'eau** sous forme de glace près de la surface et sur ses **calottes polaires**, mais aussi d'eau liquide dans son sous-sol⁽¹¹⁾. La présence d'eau liquide en surface n'est pas possible en raison d'un passage rapide de l'état solide à l'état gazeux par sublimation, compte tenu des conditions actuelles de pression et de température.

La présence d'eau et de carbone ont été des facteurs ayant pu y faciliter **l'apparition de la vie**, mais les sondes et les explorations robotisées n'ont pas encore permis d'en trouver des traces : les **molécules organiques** détectées par Curiosity dans des roches sédimentaires datant d'environ 3,5 milliards d'années pourraient résulter de processus physicochimiques abiotiques et ne pas être d'origine biologique⁽¹²⁾. Il faut observer qu'en plus de ses températures froides, Mars est stérile en surface sous l'effet des rayonnements cosmiques et solaires et des perchlorates, puissants oxydants⁽¹³⁾. Le fait que Mars ne semble **ni habitable ni habitée ne veut pas dire qu'elle ne l'a jamais été**.

Les missions réussies de 2001 à aujourd'hui



Les missions en 2018 et au-delà



NB : les missions américaines sont en bleu, les autres en jaunes
Source : NASA

Selon la NASA, qui s'appuie sur le travail de chercheurs, la vie sur Mars, si elle existe, serait **repoussée dans le sous-sol**, à une profondeur d'au moins 7,5 mètres⁽¹⁴⁾.

■ Mars, nouvelle frontière américaine

Depuis « l'effet Spoutnik », mobilisation nationale qui a fait suite au choc du lancement soviétique du premier satellite artificiel en 1957, les États-Unis sont les **pionniers de l'exploration spatiale**. Dès les années 1960, les autorités américaines envisagent des voyages habités sur Mars, qui fait figure de « *terra americana* » selon Roger-Maurice Bonnet, ancien directeur scientifique de l'ESA. Sur 17 tentatives d'atterrissage sur Mars, on dénombre **huit succès, tous américains**. L'atterrisseur **InSight** s'est posé sur Mars le 26 novembre 2018 pour une mission de deux ans après avoir été lancé le 5 mai 2018. Le seul *rover* actif aujourd'hui est **Curiosity**, alimenté par une pile nucléaire, **Opportunity** étant mis en sommeil depuis l'été 2018 car ses panneaux solaires ne captent plus assez d'énergie à la suite d'une longue tempête de poussières. D'après Jacques Villain⁽¹⁵⁾, ingénieur spécialiste de la conquête spatiale, le **budget spatial civil et militaire américain** (environ 50 milliards de dollars par an) représente 80 % de l'ensemble des budgets spatiaux mondiaux. Il est nettement supérieur à toute l'Europe (environ huit milliards de dollars, dont trois pour la France), de la Russie et de la Chine (cinq milliards de dollars chacun). Le président Trump a récemment repris le projet annoncé en 2004 d'une **station en orbite lunaire devant servir de premier pas pour une expédition vers Mars**⁽¹⁶⁾. La NASA a annoncé qu'elle construirait dès 2022 le premier élément d'un relais vers l'espace

profond (*Deep Space Gateway* rebaptisé *Lunar Orbital Platform Gateway*). En 2020, la mission **Mars 2020** de la NASA devrait atteindre Mars avec un dérivé de Curiosity dans le but de tester la **fabrication d'oxygène** sur place et, surtout, de sélectionner 500 grammes d'échantillons en vue de leur retour sur Terre avec la future mission **Mars Sample Return**, qui reste à planifier et qui serait, elle, commune avec l'ESA. Cette dernière mission devrait permettre de mieux répondre à la question de l'apparition de la vie sur Mars et de démontrer si l'on peut au cours de ce siècle en revenir ou pas.

■ Les autres initiatives

À court terme et en poursuivant plusieurs objectifs⁽¹⁷⁾, l'ESA se prépare à l'envoi du **rover ExoMars en 2020**, à l'aide d'un lanceur, d'instruments, de véhicules de rentrée et de descente et d'un atterrisseur russes.

La France et l'exploration de Mars

Première puissance spatiale européenne, la France a abandonné le programme d'exploration Mars Premier pour des raisons budgétaires, tout en poursuivant des activités ambitieuses dans le cadre de coopérations internationales, à travers notamment la fourniture par le CNES d'instruments pour les programmes de la NASA et de l'ESA, à l'instar de Chemcam sur Curiosity, du sismomètre SEIS présent sur l'atterrisseur InSight (en s'appuyant sur l'Institut de Physique du Globe de Paris sur la société Sodern) et de Supercam pour la mission Mars 2020.

Depuis les années 1960, la **Russie**, à travers son agence spatiale Roscosmos, envisage des projets de missions spatiales habitées sur Mars, mais la grande majorité de ses missions opérationnelles ont échoué. D'autres

puissances spatiales émergent et projettent d'aller sur Mars (**Chine, Émirats arabes unis**) ou d'y retourner (**Japon** ou **Inde**⁽¹⁸⁾). Par ailleurs, bien que la place du secteur privé soit croissante dans le secteur spatial, la NASA s'appuyant par exemple de plus en plus sur des entreprises, les **initiatives privées** d'exploration de Mars sont peu réalistes. Allant plus loin que le tourisme spatial⁽¹⁹⁾, deux projets visent spécialement Mars : celui de **SpaceX** envisagé pour 2024⁽²⁰⁾ et celui encore moins crédible de **Mars One** en 2032. Enfin, l'organisation internationale **Mars Society**⁽²¹⁾ propose la « **terraformation** » à long terme de Mars, c'est-à-dire sa transformation en planète habitable. Bien que les technologies seraient disponibles pour certains⁽²²⁾, cette perspective paraît incertaine, voire irréaliste.

■ Les difficultés inhérentes à une mission habitée

L'exploration humaine de cette planète, y compris pour un simple vol orbital, reste un défi :

- pour une raison de **complexité et de coût** tout d'abord. L'exploration humaine de l'espace a toujours été l'activité spatiale la plus onéreuse et Mars confirmera cette règle. Après le lancement successif et l'assemblage en orbite basse ou autour de la Lune de divers équipements spatiaux, les **difficultés techniques et logistiques** seront les plus grandes jamais rencontrées (longueur de la mission de l'ordre de 640 ou 910 jours dont six à neuf mois pour le seul trajet aller, avec de rares fenêtres de lancement⁽²³⁾, besoins inédits d'énergie, notamment de carburant, d'oxygène, d'eau, de nourriture et d'équipements divers, par exemple pour la gestion des déchets...). De plus, la **question du retour** reste sensible, car après l'atterrissage sur Mars, le décollage en vue du retour sera plus délicat que celui opéré depuis la Lune, en raison d'une gravité martienne plus importante. Cela impactera donc les besoins en carburant et ira même au-delà. Un lanceur de grande taille, décollant dans une fenêtre de lancement précise, à partir d'un emplacement remplissant des conditions spécifiques, sera ainsi nécessaire ;

- pour une raison de **risques importants** pour la vie et la santé des astronautes ensuite. Outre l'incertitude sur le retour, l'impensance sur longue durée, les éruptions solaires et les rayonnements cosmiques sont dangereux et appellent des précautions spécifiques. Au niveau psychologique, l'équipage sera soumis à un **stress intense** dans un volume habitable restreint, sur un temps long et sans possibilité d'assistance en temps réel depuis la Terre (délais de communication de trois à vingt minutes). Des conflits humains pourraient survenir. Les agences spatiales américaines, européennes et russes procèdent ainsi à des **expériences de confinement et de simulation**⁽²⁴⁾. L'habitat sur Mars devra tenir compte de ces **aspects psychologiques** et apporter une dimension conviviale, au-delà d'une adaptation au travail des astronautes, qui d'après la NASA devront chacun posséder au moins une des **compétences**

suivantes : commandement, médecine et chirurgie, géologie, biologie, mécanique, électricité et électronique. Des **moyens de déplacement** sur place seront nécessaires.

Exemple de base martienne expérimentale



Source : NASA

■ Les recommandations de l'Office

L'Office a formulé en 2012 dans un rapport sur la politique spatiale européenne⁽²⁵⁾ des recommandations qui restent d'actualité en matière de gouvernance, de stabilisation des budgets et d'indépendance. S'agissant plus spécifiquement de Mars, il est préconisé de :

- **privilégier les missions robotisées sur Mars par rapport à l'exploration humaine**, faire de cette dernière un **objectif de long terme** et conserver un **équilibre entre Mars et l'exploration du reste du système solaire**. Les coûts des missions sur Mars sont élevés (souvent autour d'un seuil minimal d'un milliard d'euros) et représenteront plusieurs dizaines de milliards d'euros en cas de vol habité, alors que les bénéfices pour la science, nos sociétés et nos économies ne semblent pas valoir un tel investissement. Les motivations symboliques ou politiques, en termes par exemple de prestige, semblent jouer un rôle plus important que les objectifs scientifiques, dans la mesure où les robots recueillent des données pour des coûts moindres. La recherche en matière de sciences du vivant n'a pas non plus besoin de mission habitée : des tests d'adaptation d'organismes aux conditions martiennes peuvent être conduits sans présence humaine ;

- **conforter le rôle de puissance spatiale de la France** au travers de l'ESA ainsi que dans des accords de coopération équitables avec les autres puissances spatiales : États-Unis, Russie et Japon, à l'image de la mission MMX d'exploration des lunes de Mars, à laquelle notre pays participe avec l'Allemagne. Le CNES doit continuer à fournir, avec nos laboratoires spatiaux, des instruments essentiels à la pointe de la technologie.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecst-index.asp>

<http://www.senat.fr/opecst>

Références

¹ Sept ouvrages en français sur Mars peuvent être mentionnés : François Forget, François Costard et Philippe Lognonné, *La planète Mars : histoire d'un autre monde*, 2014 ; Gilles Sparrow, *Mars, planète rouge*, 2016 ; Francis Rocard, *Planète rouge : dernières nouvelles de Mars*, 2006 ; Charles Frankel, *L'homme sur Mars, science ou fiction*, 2007 ; Jacques Villain, *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, 2011 ; et du même auteur, *À la conquête de l'Espace : de Spoutnik à l'homme sur Mars*, 2007. En anglais peuvent être mentionnés : les rapports de la NASA, *National Space Exploration Campaign*, 2018 et *Journey to Mars, Pioneering Next Steps in Space Exploration*, 2015 (consultables aux liens suivants : <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nationalspaceexplorationcampaign.pdf> et <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-releases-plan-outlining-next-steps-in-the-journey-to-mars>) ; le plan spatial stratégique et le rapport conjoint du Conseil américain de la recherche et des académies des sciences, de la médecine et de l'ingénierie, *Visions and Voyages for Planetary Science 2013-2022*, 2011 et *Pathways to Exploration : Rationales and Approaches for a U.S. Program of Human Space Exploration*, 2014 (consultables aux liens suivants : <https://solarsystem.nasa.gov/science-goals/about/> et <https://www.nap.edu/catalog/18801/pathways-to-exploration-rationales-and-approaches-for-a-us-program>) ; Buzz Aldrin, *Mission to Mars : My Vision for Space Exploration*, 2013 ; Frédéric Taylor, *The Scientific Exploration of Mars*, 2010 ; et Edik Seedhouse, *Martian Outpost*, 2009.

² Giovanni Schiaparelli, *La Vie sur la planète Mars*, 1877, consultable ici : <http://www.gutenberg.org/ebooks/7781>

³ Cf. l'ouvrage de George Basalla, *Civilized life in the Universe : scientists on intelligent extraterrestrials*, 2006.

⁴ Camille Flammarion, *La Planète Mars et ses conditions d'habitabilité*, 1892, repris dans le recueil en deux tomes *Centralisation et discussion de toutes les observations faites sur Mars*. Dès 1862, il développait une théorie de la vie martienne dans son ouvrage, *La Pluralité des mondes habités*.

⁵ Percival Lowell dénombre jusqu'à 400 canaux, creusés selon lui pour irriguer les zones situées de part et d'autre de l'équateur, avec l'eau contenue dans les calottes polaires, dans un contexte de changement climatique entraînant la désertification, cf. *Mars*, 1895, *Mars and its Canals*, 1906 et *Mars as the abode of life*, 1908.

⁶ La littérature est particulièrement riche : Herbert George Wells, *La Guerre des mondes*, Ray Bradbury, *Chroniques martiennes*, Leigh Brackett, *Le Livre de Mars*, Kim Stanley Robinson, *La Trilogie de Mars*, ou encore Andy Weir, *Seul sur Mars*. Jacques Garin en a dressé un bilan partiel dans *Mars et la science-fiction* et dans *La littérature française "martienne" de 1865 à 1958* (consultables ici : <http://gotomars.free.fr/>). Pour le cinéma, les films suivants peuvent être rappelés : *Seul sur Mars*, *Mission to Mars*, *The Last Days on Mars*, *Planète rouge*, *Destination Mars*, *Stranded*, *Ghosts of Mars*, *Les Chroniques de Mars*, *John Carter*, *Mars Attacks!* ou encore *Total recall*. Mars a même inspiré le premier mouvement de l'œuvre musicale de Gustav Holst *Les Planètes*, intitulé « Mars, celui qui apporte la guerre ».

⁷ Le biologiste Alfred Russel Wallace, dans *Is Mars habitable? A Critical Examination of Professor Lowell's Book "Mars and Its Canals" with an Alternative Explanation*, 1907, a conclu que Mars n'était ni habitée, ni habitable, après avoir estimé les températures et la pression sur Mars et démontré l'absence de vapeur d'eau, en utilisant des analyses spectroscopiques.

⁸ Comme l'explique Jacques Villain dans *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, « toutes les planètes du système solaire ne sont pas accessibles à l'homme. Et tout d'abord les grosses planètes Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Elles sont gazeuses. Il est donc impossible de s'y poser, et la gravité à leur surface empêcherait tout homme de s'y mouvoir et même d'y survivre. Restent alors les planètes telluriques telles que Mercure, Vénus et Mars. Les deux premières sont également interdites : il y fait trop chaud (plusieurs centaines de degrés), et pour Vénus qui possède une atmosphère, la pression au sol est quatre-vingt-dix fois supérieure à celle régnant sur Terre. Demeurent donc Mars mais aussi certains satellites de planètes tels que la Lune, Deimos et Phobos, satellites de Mars, Europe, satellite de Jupiter, Encelade et Titan, satellites de Saturne ».

⁹ Les autres gaz sont l'argon (2 %), l'azote (1,9 %), puis l'oxygène (0,14 %), le monoxyde de carbone (0,06 %), la vapeur d'eau (0,03 %) et le monoxyde d'azote (0,013 %), d'autres gaz étant présents sous la forme de traces. De très faibles quantités de méthane y auraient été décelées, or ce gaz ayant une durée de vie de 340 ans avant sa destruction par les photons ultraviolets, une source interne encore incertaine expliquerait sa présence.

¹⁰ Ces trois époques géologiques résultent de deux méthodes différentes : une comparaison de la cratérisation (conduisant à distinguer Noachien, Hespérien et Amazonien) ou la minéralogie couplée à la stratigraphie (identifiant un âge des argiles ou Phyllosien, un âge sulfurique dit Theiikien et un âge ferrique ou Sidérien).

¹¹ La sonde européenne Mars Express a, par exemple, identifié en juillet 2018 un lac sous-terrain d'eau liquide de 20 km de large, à 1,5 km sous la surface de Mars, près du pôle sud, cf. <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/astronomie-mars-lac-eau-liquide-decouvert-sous-surface-19652/>

¹² Cf. l'article paru dans *Science*, en juin 2018 : « Organic matter preserved in 3-billion-year-old mudstones at Gale crater, Mars » (Vol. 360, Issue 6393), <http://science.sciencemag.org/content/360/6393/1096.full>

¹³ Cf. l'article paru dans *Nature*, en juillet 2017 : « Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of UV light » (article n°4662), <https://www.nature.com/articles/s41598-017-04910-3>

¹⁴ Cf. l'article paru dans le n° 34 de *Geophysical Research Letters* : « Modelling the surface and subsurface Martian radiation environment : Implications for astrobiology, » ainsi que le communiqué de la NASA, (<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20080215a.html>) montrent que la vie sur Mars ne pourrait résider que dans le sous-sol.

¹⁵ Cf. *Irons-nous vraiment un jour sur Mars ?*, op.cit.

¹⁶ Le président Trump a annoncé le retour des États-Unis sur la lune et l'exploration habitée de Mars et signé le 11 décembre 2017, la *Space Policy Directive 1*, qui modifie le document « U.S. National Space Policy », publié en 2010, en remplaçant le paragraphe « *By 2025, begin crewed missions beyond the moon, including sending humans to an asteroid. By the mid-2030s, send humans to orbit Mars and return them safely to Earth* » par les mots suivants : « *Beginning with missions beyond low-Earth orbit, the United States will lead the return of humans to the Moon for long-term exploration and utilization, followed by human missions to Mars and other destinations* ». Après avoir interrompu le programme spatial de son prédécesseur, l'ancien président Obama avait déclaré vouloir envoyer des humains sur Mars dans la décennie 2030 : « *By the mid-2030, I believe we can send humans to orbit Mars and return them safely to Earth. And a landing on Mars will follow. And I expect to be around to see it* », cf. sa tribune publiée en octobre 2016 <https://edition.cnn.com/2016/10/11/opinions/america-will-take-giant-leap-to-mars-barack-obama/index.html>

¹⁷ Le rover recherchera des indices de vie passée ou présente avec une carotte de 2 mètres maximum de profondeur, étudiera le sous-sol martien, la présence d'eau et les gaz présents à l'état de trace dans l'atmosphère martienne, et caractérisera l'environnement à la surface, en vue de préparer des explorations humaines. Cf. <http://exploration.esa.int/mars/45082-rover-scientific-objectives/>

¹⁸ Avec un budget spatial d'un milliard de dollars par an, l'Inde a réussi en 2014 à placer une sonde en orbite autour de Mars, pour un coût de 74 millions de dollars environ.

¹⁹ Cf. pour les vols suborbitaux New Shepard de Blue Origin et Spaceships 1 et 2 de Virgin Galactic. Seuls sept touristes de l'espace ont effectué, à l'aide du vaisseau spatial Soyouz, des vols orbitaux vers la Station spatiale internationale, organisés par Space Adventures, pour un prix de 20 à 35 millions de dollars.

²⁰ Depuis 2013, Elon Musk envisage un transporteur pour la colonisation martienne (Mars Colonial Transporter) et a évoqué à l'automne 2017, une première mission habitée en 2024, ce qui est peu réaliste.

²¹ Avec ses 4 000 membres et 6 000 soutiens, elle agit comme un lobby tout en poursuivant depuis les années 1990, un projet de mission humaine à bas coût, appelé Mars Direct.

²² Cf. « *Technological Requirements for Terraforming Mars* » : <http://www.users.globalnet.co.uk/~mfogg/zubrin.htm>

²³ Cette durée varie selon le choix du scénario d'opposition ou de celui de conjonction. Les fenêtres de lancement se reproduisent tous les 26 mois, sur des périodes courtes. La trajectoire permettant de limiter le transport, le stockage de matériel et la consommation de carburant consiste à lancer le vaisseau sur une orbite elliptique dite de Hohmann qui tangente l'orbite terrestre au départ et l'orbite martienne à son arrivée. Le scénario de conjonction conduit à une durée de 910 jours (180 jours de trajet aller, 550 jours sur le sol martien et 180 jours de voyage retour) tandis que le scénario d'opposition réduit la mission à 640 jours (180 jours de trajet aller, 30 jours sur place et 430 jours de voyage retour). Cf. <http://tpeexplorationmars.wixsite.com/mars/blank-kjgjk>

²⁴ À l'image de l'expérience Mars500 conduite en 2011 avec trois Russes, un Italien, un Chinois et un Français. Cf. <http://mars500.imbp.ru/en/about.html>

²⁵ Cf. le rapport n° 114 (2012-2013) de Mme Catherine Procaccia et M. Bruno Sido sur « les enjeux et perspectives de la politique spatiale européenne », https://www.senat.fr/rap/r12-114/r12-114_mono.html

Experts et scientifiques consultés

Mme Claudie HAIGNERÉ, conseillère spéciale du directeur général de l'Agence spatiale européenne (ESA), membre du conseil scientifique de l'OPECST, ancienne ministre

Mme Sylvie ESPINASSE, responsable de l'équipe de coordination du directeur des programmes d'exploration humaine et robotique de l'Agence spatiale européenne (ESA)

M. Francis ROCARD, responsable des programmes d'exploration du système solaire au Centre national d'études spatiales (CNES)

M. Philippe LOGNONNÉ, professeur en géophysique et planétologie à l'Université Paris Diderot, responsable de l'équipe « Planétologie et sciences spatiales » de l'Institut de physique du globe de Paris, Institut universitaire de France, investigateur principal du SEIS pour la mission InSight

M. François POULET, responsable de l'équipe « Exploration spatiale » à l'Institut d'astrophysique spatiale (IAS)

M. Sébastien FONTAINE, directeur du planétarium du Palais de la découverte

M. François FORGET, directeur de recherche au CNRS, membre de l'Académie des sciences

M. Norbert PALUCH, conseiller pour le spatial auprès de l'ambassadeur de France aux États-Unis et représentant du CNES

M. Jean-Loup PUGET, directeur de recherche au CNRS, président du comité des programmes scientifiques du CNES, président du comité de la recherche spatiale de l'Académie des sciences, ancien directeur de l'Institut d'astrophysique spatiale