

**VOYAGE  
DANS  
L'ESPACE**

Épisode

64

---

**QU'EST-CE QUE CE SERAIT  
QUE DE VIVRE SUR MARS?**



**Est-ce un rêve envisageable?**

## Le balado et les fascicules

Depuis janvier 2018, Claude Lafleur et Mathieu Rancourt produisent un balado consacré à l'exploration de l'espace. Intitulé *Voyage dans l'espace*, il est diffusé sur la plate-forme soundcloud.com. Chaque épisode vous fait parcourir une dimension particulière, qu'il s'agisse de l'exploration d'une planète, de la recherche de vie dans l'Univers ou de l'aventure des astronautes et de ceux et celles qui rêvent d'espace.

Pour la plupart des balados, ils préparent un exposé détaillé, sous forme de questions/réponses. Il peut s'agir d'une conversation entre l'animateur de *Voyage dans l'espace* Mathieu et le passionné d'espace Claude, ou d'une entrevue avec un spécialiste (souvent un astronome). Ils publient ces exposés sous forme de fascicules, comme celui-ci.

Notez que le balado diffusé s'inspire librement des questions/réponses préparées à cet effet. Le texte qui suit n'est pas un verbatim de l'émission, mais plutôt une autre version; le balado et ce fascicule se complètent l'un et l'autre.

Tous les fascicules sont offerts aux abonnés du balado *Voyage dans l'espace*, abonnement au coût de 5\$/mois, via la plate-forme patreon.com.

**Mathieu Rancourt** est géographe et professionnel de recherche. **Claude Lafleur** est journaliste scientifique qui suit au quotidien depuis cinquante ans les péripéties de l'exploration spatiale.

L'équipe des fascicules:  
Rédaction: Claude Lafleur et  
François Forget (révision scientifique)  
Couverture: Mathieu Rancourt  
Illustrations: ESA, NASA

Courriel: [claude-lafleur1@videotron.ca](mailto:claude-lafleur1@videotron.ca)

© Copyright, Claude Lafleur, 2021

ISBN 978-2-925106-29-6 (pdf)

Balado: <https://soundcloud.com/voyage-danslespace/>

ISBN 978-2-925106-30-2 (kindle)

Abonnement:  
<https://www.patreon.com/voyagedanslespace>

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Québec, 2021

Dépôt légal: Bibliothèque nationale du Canada, 2021

Facebook: <https://www.facebook.com/voyagedanslespace/>



Un jour, des humains exploreront le sol de la planète rouge...

## Qu'est que ce serait que de vivre sur Mars?

Écoutez le balado *Qu'est que ce serait que de vivre sur Mars?* diffusé le 16 mai 2021.

Nombreux sont ceux et celles qui rêvent de vivre sur Mars ou, à tout le moins, qui rêvent du jour où des hommes et des femmes fouleront son sol. Cette planète a tout ce qu'il faut pour nous faire rêver, à commencer par de magnifiques paysages enrobés dans un ciel rose et qui font penser que nous sommes dans des déserts qu'on brûle d'envie d'explorer...

Cependant, vivre sur Mars, ce ne sera pas que d'avoir les deux pieds dans le sable rouge de la planète, mais ce sera de vivre dans un environnement et dans des conditions atmosphériques et climatiques fort différentes de celles que nous connaissons sur Terre.

C'est pourquoi nous faisons appel à un spécialiste et à un passionné de l'atmosphère de Mars: François Forget. Il s'agit en fait de l'un des chercheurs les plus qualifiés pour nous dire ce que ce serait que de vivre sur Mars.



L'astrophysicien François Forget.

François Forget est astrophysicien et spécialiste de l'étude du climat et de l'atmosphère des planètes, dont celui de la planète Mars. Il est directeur de recherche au CNRS et membre de l'Académie des sciences. Il travaille à la NASA et participe à de nombreuses missions spatiales, dont, comme nous le verrons, à *Mars Express*, *ExoMars TGO*, *Insight* et *Al'amal*.

Après avoir soutenu sa thèse sur l'étude de la planète Mars en 1996, cet ingénieur de formation devient chargé de recherche au Centre national de recherche scientifique (CNRS). Il y crée l'équipe Planétologie du Laboratoire de météorologie dynamique, puis il dirige le pôle Système solaire de l'Institut Pierre-Simon Laplace.

Il a publié deux livres grand public: *La Planète Mars: histoire d'un autre monde*, publié aux Éditions Belin en 2006, et *Système solaire et planètes*, chez Ellipse en 2009.

Ce chercheur a développé des modèles numériques conçus pour simuler les environnements sur diverses planètes (dont Mars, Vénus et Pluton) pour entre autres étudier l'habitabilité de celles-ci et des exoplanètes. Ses travaux servent également à mieux comprendre la Terre.

Nous allons donc explorer avec lui ce que ce serait que de s'installer et de vivre sur la planète rouge – un rêve que caressent plus d'un. Mais est-ce le cas de François Forget? C'est ce que nous allons découvrir...

## 1 – Un explorateur avant toute chose

**M. Forget, parlez-nous d'abord de votre cheminement. Comment en êtes-vous venu à vous intéresser tout jeune aux sciences, puis à l'exploration spatiale et éventuellement à la planète Mars?**

Le mot clé ici, c'est *exploration*. Lorsque j'étais jeune, comme beaucoup de jeunes, je rêvais d'être explorateur – plutôt que de devenir un chercheur scientifique.

À titre personnel, j'ai fait beaucoup de plongée sous-marine, beaucoup d'expéditions en montagne, de l'exploration polaire, etc. J'ai en outre mené des études de maths et de physique, mais j'avoue que j'ai grandi sans véritablement connaître le monde de la recherche scientifique. Je suis plutôt devenu ingénieur en pensant que, pour être chercheur scientifique ou astrophysicien, il fallait avoir beaucoup de chance, il fallait être un Einstein ou je ne sais quoi! Je dirais même que j'avais une certaine vision plutôt négative de ces pauvres chercheurs qui, j'imaginai, pas-

sent leur vie dans des caves à étudier quelque chose d'extrêmement précis!

Mais bien sûr, je me trompais car, lorsque je suis devenu ingénieur, j'ai dans un premier temps travaillé sur des projets de pipelines sous-marins, puis pour le compte de l'agence spatiale française, le CNES. Un bon jour, on m'a envoyé travailler à la NASA, participer à un projet lié à la planète Mars. À l'époque, dans les années 1990, on avait un projet de ballons destinés à flotter dans l'atmosphère de Mars. J'y ai bien sûr rencontré des chercheurs et c'est là que je me suis dit: «Eh bien oui, c'est ça que je veux faire!»

Je suis donc revenu en France où j'ai complété une thèse de doctorat en vue de devenir astrophysicien. Cela m'a ainsi permis de devenir chercheur spécialisé

dans l'environnement des planètes et, en particulier, de la planète Mars.



François Forget lors d'un exposé en 2018.

### Pourquoi cet intérêt tout particulier pour la planète Mars?

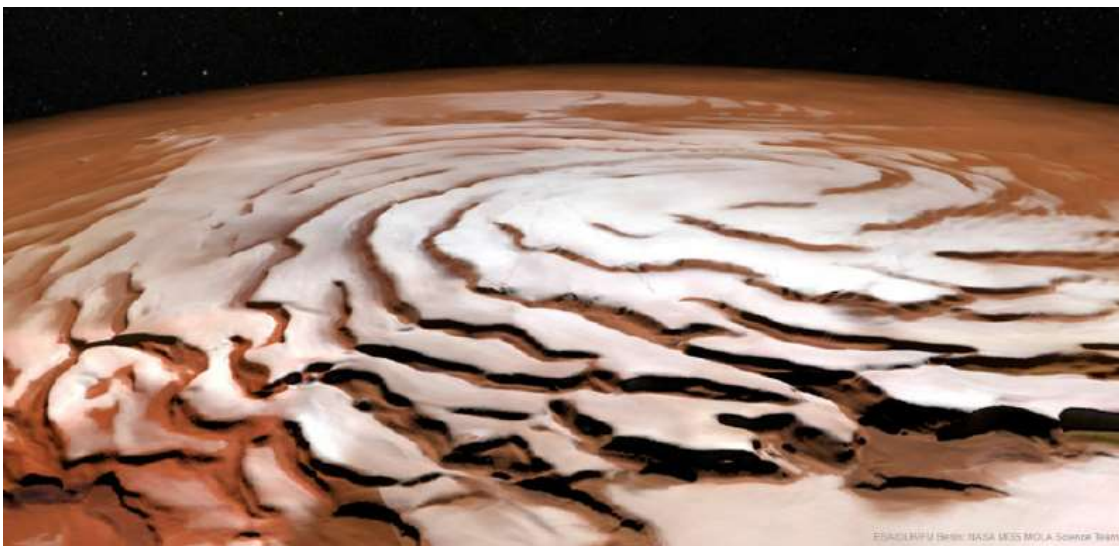
Je dois dire que j'aime bien toutes les planètes! Mais il se trouve que la planète Mars est assez particulière. Elle est particulièrement intéressante parce qu'elle ressemble beaucoup à la Terre. C'est ainsi qu'en étudiant cette planète, on apprend beaucoup sur notre propre monde. C'est un peu comme en médecine

lorsqu'on étudie les autres animaux pour comprendre comment fonctionne le corps humain. Pour poursuivre cette métaphore, disons que Mars, c'est un peu comme un singe, un chimpanzé, tandis que les autres planètes sont si différentes qu'on pourrait plutôt les assimiler à des pieuvres ou à des méduses!

Mars présente aussi cet intérêt particulier – et dont on parle souvent: la moitié de sa surface est très ancienne, elle date de 3½ à 4 milliards d'années. Et on a découvert que lorsque la planète était jeune, il y avait des lacs et des rivières à sa surface. Or, c'est aussi à cette époque que la vie est apparue sur Terre. Il est donc fascinant d'explorer la planète Mars «d'autrefois» pour voir ce qui s'y est passé. C'est un sujet qui me fascine.

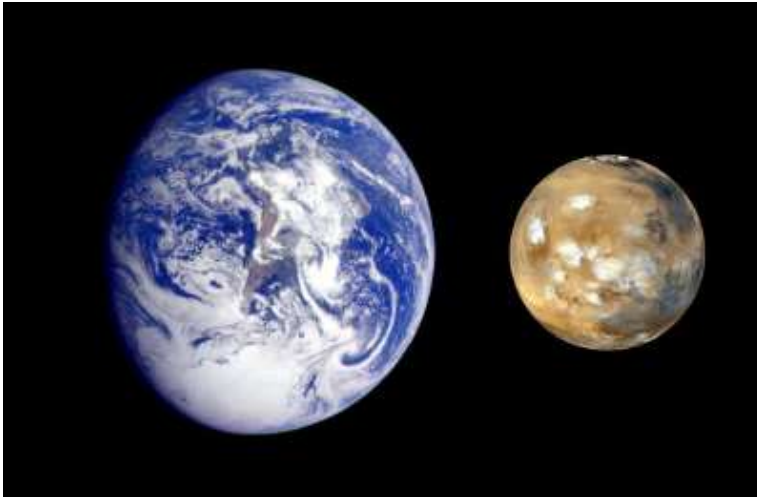
Disons enfin que Mars est plus facile d'accès que bien d'autres mondes – à part la Lune bien entendu –, ce qui fait qu'on y mène davantage de missions d'exploration. On peut même envisager un jour y envoyer des astronautes...

Enfin, à titre personnel, je considère que Mars ressemble tant à la Terre qu'on peut s'y prendre pour un explorateur.



Spectaculaire vue du pôle nord de Mars formé de couches successives de glace carbonique sculptée par les vents. Photo prise par la sonde européenne *Mars Express*. ([En savoir plus...](#))

## Comparaisons entre la Terre et Mars



Ce qui distingue à première vue les deux planètes, ce sont les teintes bleues et blanches de la Terre, dues à l'abondance de l'eau, tandis que Mars revêt des teintes rouges à cause de la présence de particules oxydées. Mars est un monde sans eau en surface et sa couleur est celle de la rouille.

|                                | Terre  | Mars  | Comparaisons   |
|--------------------------------|--|---|--|
| Taille des planètes            | 12 756 km  | 6 792 km  | Mars est deux fois plus petite que la Terre.   |
| Superficie                     | 510 millions de kilomètres-carré   | 145 millions de kilomètres-carré  | La superficie de Mars équivaut à peu près à celle de tous les continents terrestres.   |
| Distance moyenne du Soleil     | 150 millions de kilomètres   | 228 millions de kilomètres  | Mars gravite une fois de demie plus loin du Soleil que la Terre. Elle reçoit par conséquent deux fois moins d'énergie solaire que la Terre.  |
| Durée de l'année               | 365¼ jours   | 687 jours (terrestres)  | L'année martienne équivaut à 1,9 année terrestre, ou à 23 de nos mois.   |
| Durée de la journée            | 24 heures  | 24 h. 38 min.   | La journée martienne étant un peu plus longue que la nôtre, l'année martienne comprend 669½ jours martiens.  |
| Inclinaison de l'axe des pôles | 23,4°  | 25,2°   | Les deux planètes tournent sur elles-mêmes en étant légèrement penchées sur le côté, ce qui génère le cycle des saisons.   |
| Force de gravité               | 1 g (9,8 m/s <sup>2</sup> )  | 0,38 g (3,7 m/s <sup>2</sup> )  | La force de gravité sur Mars équivaut au tiers de celle qu'on subit sur Terre. C'est dire qu'une personne qui pèse 50 kg sur Terre n'en pèse plus que 19 kg sur Mars.  |
| Température moyenne            | 15 °C  | -63 °C  | En moyenne, les températures sur Mars sont de 80° plus basses que sur Terre.   |
| Extrêmes de température        | de -93° à 57°  | de -143 à 20°   |  |
| Composition de l'atmosphère    | 78,9% azote<br>20,9% oxygène<br>0,9% argon<br>0,4% eau<br>+traces de CO <sub>2</sub> , néon, hélium, méthane, etc. | 95,1% CO <sub>2</sub><br>2,59% azote<br>1,94% argon<br>0,16% oxygène<br>0,06% CO<br>0,03% eau | L'atmosphère de Mars est composée essentiellement de gaz carbonique tandis que celle de la Terre est constituée d'azote et d'oxygène. L'atmosphère martienne est très sèche (dénuée de toute humidité), ce qui n'est pas le cas sur Terre. |
| Pression atmosphérique         | 101 325 pascals (1,03 bar) (pression moyenne au niveau de la mer)  | 610 pascals (0,006 bar) (pression moyenne)  | La pression atmosphérique à la surface de Mars est cent fois moindre que celle sur Terre. Elle équivaut à la pression qu'on retrouve à 35 km d'altitude dans notre atmosphère.   |



Sur Mars, on se croirait souvent dans un désert terrestre mais, hélas il n'en est rien.

## 2 – Mars, une petite Terre

**Présentez-nous Mars dans vos mots. Lorsqu'on vous demande qu'est-ce que la planète Mars, en quoi est-elle si intéressante, que répondez-vous?**

Mars est une petite Terre. C'est ce qui est particulier. Elle fait environ la moitié de la taille de la nôtre. Sa surface est presque égale à celle de tous les continents émergés de la Terre. Il y a donc beaucoup à explorer.

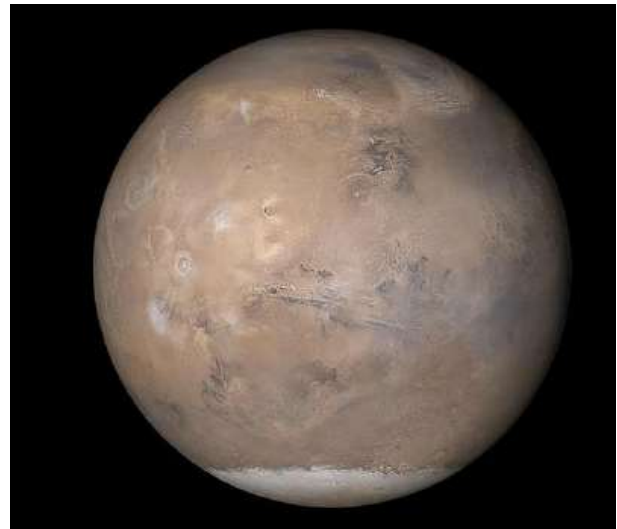
Par ailleurs, c'est une petite Terre très sèche, aride et glacée, mais avec beaucoup de points communs avec la Terre. Par exemple, la durée du jour martien est de 24 heures et 40 minutes – donc presque comme le nôtre.

Les saisons, sur Terre comme sur Mars, sont régies par le fait que l'axe de rotation des deux planètes est légèrement incliné par rapport au plan de l'orbite. Ce qui fait qu'en été dans l'hémisphère nord, celui-ci se tourne vers le Soleil. Il y fait donc plus chaud. Cette inclinaison, qu'on appelle l'*obliquité*, est presque la même pour les deux planètes, soit d'environ  $25^\circ$ . On retrouve donc le même rythme des saisons. Mais l'année martienne est plus longue que la nôtre [687 jours ou 23 mois]. Tout ça fait que sur Mars, on est un peu chez soi. Pourtant, bien sûr, la surface de la planète est très désertique.

Pour décrire le côté météorologique, on retrouve sur Mars des vents comme sur

Terre, des vents d'ouest avec des dépressions et des anticyclones aux moyennes latitudes (comme au Canada) et, si on va sous les tropiques, on retrouve des vents d'alizés, des vents de moussons.

Il y a donc beaucoup de points communs entre nos deux mondes.



À cause de ses teintes rouges, on a longtemps cru que la planète Mars était couverte de sang. On la considérait donc comme le dieu de la guerre!

**Comme vous l'avez mentionné lors de l'une de vos conférences, lorsqu'on regarde des photos prises à même le sol martien, on s'attend parfois presque à voir passer des dromadaires!**

À l'occasion d'une conférence donnée en 2018 et intitulée *Mars, la nouvelle vague*, François Forget observait:

«Mars est un grand désert qui ressemble beaucoup à la Terre. On se demande même parfois quand on verra passer des dromadaires!

Sur Mars, vous avez une fine atmosphère de CO<sub>2</sub>, d'environ un centième de ce qu'on a sur Terre. Et attention, même avec un gros pull et un masque à oxygène, ce n'est que du CO<sub>2</sub>; il faudra donc quand même enfilez un scaphandre. Ça ne suffira pas de mettre un gros pull et un masque à oxygène puisqu'à cette pression, votre sang et votre salive risquent de bouillir, ce qui ne serait pas très agréable! Il faut donc porter un scaphandre sur Mars.»

Puisque Mars est avant tout un désert et avec ce Soleil qui plombe, cela donne un peu l'impression d'être sur Terre. Mais il y a sur Mars une différence qui tout de suite saute aux yeux: le ciel est toujours orangé, et non pas bleu. La couleur de ce ciel vient de ce qu'il y a toujours des poussières minérales en suspension dans l'atmosphère – poussières soulevées par les vents. On a donc toujours un ciel orangé sur Mars.

Mais si vous regardez certaines photos de la NASA, on a parfois l'impression que le ciel est gris, blanc, voire bleu. C'est qu'il s'agit là d'images dont on a légèrement modifié les couleurs afin de mieux distinguer la surface et les contrastes. Mais ce n'est pas ce que nous verrions si on était sur place.



Ce tableau de la NASA reproduit l'effet blanchâtre qu'on verrait si on se trouvait sur Mars.

**Nous voyons donc le sol à peu près tel qu'il est tandis que le ciel est décoloré, ou bien est-ce toutes les couleurs qui sont changées?**

Ah ça, c'est une très bonne question! C'est même une question à laquelle il est difficile de répondre.

Ce qui se passerait si nous étions à la surface de Mars, c'est qu'on se trouverait dans une ambiance orangée. Notre cerveau ferait alors ce qu'on appelle la *balance des blancs*, c'est-à-dire qu'il corrigerait légèrement l'ambiance orangée, ce qui fait que notre œil verrait les couleurs comme si on était sur Terre. On ne trouverait donc pas que l'ambiance est si orangée que cela. Par contre, si vous vous servez de votre téléphone portable ou d'un appareil photo sans faire aucune correction, alors là, vous allez voir que les couleurs sont vraiment orangées.

J'ai pu moi-même l'expérimenter lorsque j'ai travaillé au centre de la NASA qui s'occupe des missions planétaires: le *Jet Propulsion Laboratory*. On y trouve une salle qui reproduit l'ambiance de Mars et où on teste les robots qui se trouveraient posés dans le sable de Mars afin, par exemple, de valider différentes opérations à mener à la surface de la planète.

Or, dans cette salle, il y a un système d'éclairage qui reproduit l'ambiance martienne. En allant dans cette salle, on se plonge donc dans l'éclairage qui règne sur Mars. Et vraiment, là, il se passe ce que je vous dis: au début, c'est un peu orangé mais au bout de quelques secondes, on voit tout à fait des teintes qui nous sont familières. Cependant, si on prend des photos, on voit bien que tout est orangé.

**C'est dire que notre cerveau, parce qu'on est habitué de voir le ciel bleu, a tendance à mettre les couleurs blanchâtres?**

Voilà!

### **Mars est-elle parfois verte?**

**Parlant de couleurs, avant l'ère spatiale, les astronomes avaient l'impression d'observer depuis la Terre le cycle des saisons martiennes. Ainsi, ils avaient l'impression qu'en été, Mars revêtait des teintes plus ou moins vertes tandis qu'en hiver, la planète leurs paraissait plus ou moins grise. S'agit-il de quelque chose qu'on peut réellement observer au télescope ou était-ce une vue de l'esprit, puisqu'on pensait à l'époque qu'il y avait de la vie sur Mars, qu'il y avait sans doute des champs et des forêts verdoyantes en été et grisâtres en hiver...? Voit-on le cycle des saisons en observant Mars au télescope?**

En fait, nous voyons assez facilement le cycle des saisons au niveau des calottes polaires. Lorsque l'automne arrive, durant l'hiver et jusqu'au printemps, l'hémisphère plongé en hiver se couvre de masses blanches – à la manière de ce qui se passe sur Terre lorsque le Canada et la Sibérie se couvrent de neige. C'est vrai-

ment l'équivalent. Et lorsque le printemps revient, la neige recule jusqu'au pôle où il ne reste plus qu'un glacier polaire. C'est ainsi que durant longtemps, on a cru que sur Mars, c'était comme sur Terre.



Les pôles enneigés de Mars, bien visibles en hiver et qui disparaissent presque totalement en été.

Sauf qu'on se trompait parce qu'en fait, l'essentiel de la neige qu'on observe sur Mars, et qui peut atteindre jusqu'à un mètre d'épaisseur chaque année, est en réalité de la neige carbonique, du CO<sub>2</sub> solide, du dioxyde de carbone gelé. Mais jusque dans les années 1960, les astronomes pensaient qu'il s'agissait de la glace d'eau. Sur cette base-là, donc, ils se trompaient à propos de ce qui se passe sur Mars.

Quant à l'impression qu'on peut avoir de la couleur du sol martien qui change parfois, c'est plutôt lié au fait qu'il y a plus ou moins de poussière dans l'atmosphère. On a donc l'impression que ça évolue, que ça change. Mais il s'agit de nuages qui sont aussi marqués par un cycle saisonnier; on voyait donc des changements.



Il y a parfois sur Mars d'intenses tempêtes de sable qui englobent la planète entière, comme l'illustre la photo de droite. Ces tempêtes peuvent durer des mois. Vue de la surface, le ciel demeure sombre toute la journée et durant des semaines.

On ne trouve rien de comparable sur Terre et on ne s'explique pas encore ce phénomène imprévisible.

Par contre, l'impression qu'on avait des endroits verdâtres sur Mars, ça, c'était une illusion.

Rappelons qu'à l'époque, on observait Mars à l'aide de lunettes astronomiques, plutôt qu'avec des télescopes. Or, le problème avec les lunettes, c'est qu'elles perturbent légèrement les couleurs – il y a des effets de prisme et parfois même des aberrations dans les couleurs, ce qui peut donner des effets bizarres. Lorsqu'on se concentre très fort pour regarder Mars, on peut parfois voir des couleurs bizarres...

débutants, avant de passer aux «véritables» télescopes.

Parfois même, certains parvenaient à percevoir des canaux. Mais il s'agissait d'illusions optiques. En fait, on voyait alors des lignes droites qui ne sont pas là. Il s'agissait de faux canaux. De la même manière, on voyait parfois des couleurs qui n'existent pas.

Voir à ce propos notre balado 38 – *Pourquoi Mars nous obsède-t-elle autant?*

### Télescope et lunette

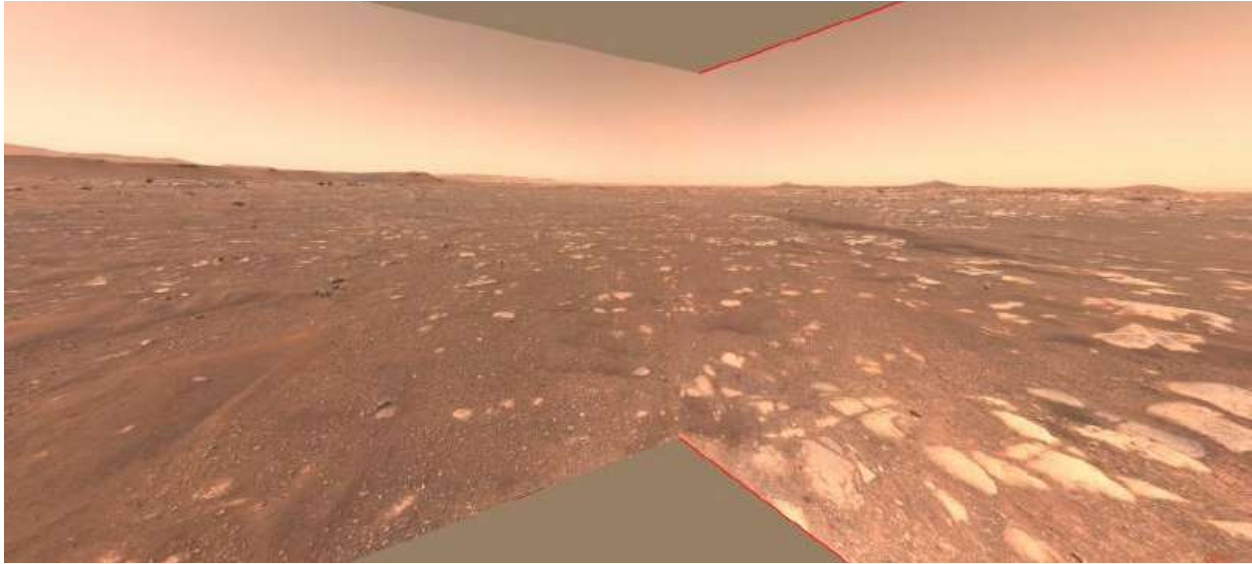
Un télescope est un long tube au fond duquel se trouve un miroir concave qui concentre l'image vers un oculaire (là où on regarde). Cet oculaire pouvant être situé en différents endroits, il existe différents types de télescope.

Quant à la lunette astronomique, il s'agit d'un tube sur lequel on place des lentilles aux deux extrémités. Ces lunettes s'assimilent à une longue-vue (ou à des jumelles). Plus le tube est long, plus la lunette est puissante.

C'est souvent ce type de télescope qu'utilisent les astronomes amateurs

**Il s'agit donc d'une combinaison de lunettes astronomiques qu'on utilisait avec ce que notre cerveau espérait voir; cela nous donnait l'impression qu'il pourrait y avoir plus de choses sur Mars qu'il y en a en réalité?**

Eh fait, il y a beaucoup de choses à voir sur Mars, il y a beaucoup d'actions. Déjà, à l'aide de simples lunettes, on voit clairement des nuages de CO<sub>2</sub>, du givre, des nuages de poussière, une atmosphère dont l'opacité change, ce qui génère parfois des impressions bizarres. Par contre, la couleur verte n'était qu'illusion.



### 3 - Dans l'atmosphère de Mars

**Parlons maintenant de l'atmosphère de Mars. Si nous avons les deux pieds dans le sable rouge de cette planète, nous serions dans un environnement fort différent de celui qui nous est familier sur Terre. Quelle impression aurait-on d'être sur Mars?**

Commençons positivement. Posons que nous y arrivons alors qu'il est 14 h., heure locale. Le jour martien durant 24 heures et 40 minutes, il y a véritablement de beaux après-midis sur Mars. Nous sommes donc au milieu de l'après-midi, la température ambiante est d'environ 20°. Le sol n'est donc pas froid, mais l'atmosphère au-dessus est légèrement plus fraîche... Vous ressentez une brise. Si vous êtes sous les tropiques, vous aurez des vents alizés qui soufflent à quelques kilomètres-heure. C'est confortable. Mais en réalité, ce n'est pas tout à fait cela... Ce n'est pas si simple que cela...

Il y a deux choses à retenir. La première, c'est que la nuit suivante, les températures vont chuter dans les -80 à -90 degrés Celsius. Et puis surtout, l'atmosphère est différente de celle de la Terre.

Tout d'abord, sa composition n'est pas la même: elle est faite à 95% de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) – on ne peut donc pas respirer du tout – et elle contient un peu d'azote et d'argon. [Sur Terre, notre atmosphère se compose de 78% d'azote et de 21% d'oxygène, avec des traces d'argon, de néon, d'hélium et d'eau.] Il nous faudrait donc au moins porter un masque à oxygène pour se promener sur Mars.

Mais même cela ne suffirait pas, puisque la pression atmosphérique est très faible: elle est cent fois plus faible que sur Terre. Or, on sait que la température d'ébullition de l'eau liquide dépend de la pression. C'est pourquoi, si vous allez en haute montagne, vous constaterez que l'eau bout à 80°, et non plus à 100°. Ainsi, il vous faut plus de temps pour faire cuire vos pâtes!

Mais à une pression cent fois plus faible que sur Mars, le point d'ébullition de l'eau avoisine 0°. En conséquence, votre sang et votre salive vont se mettre à bouillir. Vous allez tout de suite ressentir que votre salive se mettra à bouillir. Quant à votre sang, qui est sous pression, vous n'allez pas exploser, mais vous allez ressentir d'importantes enflures et des problèmes médicaux immédiats. Ajoutons même que la pression atmosphérique sur Mars n'est pas suffisante pour nous permettre de respirer. Il vous faut donc absolument porter un scaphandre.



Les explorateurs de Mars devront absolument porter des scaphandres s'ils veulent survivre.

Le fait est que sur Mars, il nous faut revêtir un scaphandre, un peu comme sur la Lune. Et étant donné la basse pression, ce scaphandre va devenir gonflé, presque comme un pneu de vélo.

C'est dire qu'on rencontre beaucoup de difficultés pour vivre sur Mars, alors qu'on souhaiterait y vivre avec facilité. Ce n'est pas possible.

**Et si on suppose qu'on pourrait exposer notre peau à l'environnement martien, ne risquerait-on pas d'attraper d'importants coups de Soleil, puisque le sol de la planète n'est pas aussi bien protégé que celui de la Terre?**

Mars se trouve une fois et demie plus éloignée du Soleil que la Terre. Elle reçoit par conséquent deux fois moins de rayonnement solaire que nous et, puisqu'il y a tout de même une atmosphère, les rayonnements très nocifs du Soleil sont quand même filtrés. Mais, malgré tout, oui, vous avez raison, on recevrait des ultraviolets, mais ceux-ci ne seront pas intenses au point de passer à travers un scaphandre pour causer des blessures.

### **De l'eau qui bout instantanément**

**Une atmosphère de CO<sub>2</sub> doit plaire aux plantes, n'est-ce pas? Pourrait-on mettre des plantes terrestres sur Mars?**

C'est une bonne question à laquelle on a rapidement envie de répondre oui.

Cependant, il semble qu'il ne puisse y avoir d'eau liquide à la surface de Mars puisqu'on est très proche du point d'ébullition. De fait, sur Mars, l'eau passe directement de la glace à la vapeur sans jamais passer par le stade de l'eau liquide.

Si on va en basse altitude dans des plaines, la pression est un peu plus élevée; or, il faut être au-dessus du *point triple de l'eau* (à une pression supérieure à 610 Pa) pour avoir de l'eau en phase liquide.

Puis, sous une pression supérieure à 610 Pascals (0,1 millibar), on peut avoir de l'eau liquide en théorie. Mais, en pratique, si vous prenez un verre d'eau et que vous le posez, il va s'évaporer inexorablement, quoi que vous fassiez. En fait, sur Mars, l'eau va s'évaporer si rapidement qu'on ne peut jamais avoir d'humidité; au contraire, c'est un monde ultra-sec.

En pratique, on ne peut guère avoir d'eau liquide à la surface et on n'en a même jamais vue. Or, la vie telle qu'on la connaît et telle qu'on peut la concevoir,

a absolument besoin d'eau liquide. Mars pose donc un véritable problème.

**Si on se mettait au fond d'un cratère ou dans une vallée, c'est-à-dire dans l'un des endroits les plus profonds qu'on puisse trouver sur Mars, aurait-on une pression qui permettrait à l'eau liquide d'exister et à des plantes de pousser?**

Si vous avez un verre d'eau pour arroser vos plantes et que la température dépasse quelques degrés, elle va bouillir directement. Le jour, alors que la température est à 20°, l'eau va bouillir tout de suite. Et une évaporation très rapide refroidit, de sorte qu'une partie de votre eau va bouillir et s'évaporer très vite, tandis qu'une autre partie va geler. Vous voyez que l'eau liquide sur Mars, c'est quelque chose de compliqué, elle est vraiment très instable. On peut en avoir, mais vraiment elle sèchera très vite.

En fait, tout se passe sur Mars comme si, sur Terre, on vivait dans un environnement où il fait 95°, où c'est ultra sec et balayé en permanence par des vents soufflés par un gros ventilateur. L'eau à l'état liquide ne demeurerait jamais longtemps. Ce ne serait donc pas facile d'arroser vos plantes dans de telles conditions!

### **Des vents... renversants?**

**On mesure des vents assez intenses sur Mars, mais dans une atmosphère cent fois plus ténue que la nôtre. Si donc on était sur Mars, ressentirait-on le vent souffler sur nous dans une atmosphère aussi fine?**

Vous avez raison, la densité de l'atmosphère est de cinquante à cent fois moindre que sur Terre. La densité de cette atmosphère de CO<sub>2</sub> est typiquement 70 fois plus faible que l'atmosphère d'azote et d'oxygène de la Terre. La force exercée par du vent étant proportionnelle à la densité de l'atmosphère, on ne sentirait donc pas grand-chose. Par contre, la force qu'on ressent est proportionnelle à la vitesse au carré, donc lorsque le vent est très fort, on le sent un peu tout de même.

Il y a donc du vent qui souffle, mais il n'est pas beaucoup plus intense que sur Terre; on a des vents qui vont de 20 à 50 km/h alors que les vents les plus forts avoisinent les 100 à 150 km/h, un peu comme sur Terre.

Je vous ai mentionné plus tôt qu'il y a beaucoup de particules de poussière dans l'atmosphère de Mars. Or, ces particules se déplacent à la vitesse du vent. Mais on les sent à peine, car elles sont microscopiques, un peu comme du talc. Elles vont cependant arriver sur vous à la vitesse du vent, mais la force du vent lui-même n'est pas très puissant.



Sur Mars, il y a des vents qui sculptent la surface.



Dans le film *Seul sur Mars* (2015), l'un des explorateurs est frappé par une antenne happée par le vent lors d'une violente tempête de sable. Il est ensuite malencontreusement abandonné sur la planète rouge...

**Ce n'est donc pas comme dans certains films d'Hollywood où on voit de terribles tempêtes souffler sur Mars, alors qu'en réalité, l'atmosphère est si ténue qu'on ne pourrait pas ressentir ce que nous montre Hollywood, n'est-ce pas?**

Là, vous faites référence en particulier à la scène du début du film *Seul sur Mars* qui montre une tempête de poussière très violente – quelque chose de très impressionnant... Mais qu'est-ce qu'on voit dans ce film?

On voit d'abord qu'il fait sombre durant la tempête. Eh bien ça, ce n'est pas faux puisqu'il y a des tempêtes sur Mars où l'épaisseur optique de la poussière monte énormément et rend tout très sombre. Donc, cela n'est pas faux.

Ensuite, on voit des graviers soulevés par les vents. Alors ça, c'est vraiment faux, puisque la poussière, même lors de grosses tempêtes, n'atteint que quelques microns de diamètre, au maximum. On ne verrait donc pas cette poussière tant elle est microscopique.

Enfin, le vent a l'air de bousculer les astronautes et même de faire basculer la fusée: ça non plus ce n'est pas vrai.

Par contre, dans le film, on voit que le vent parvient à soulever une antenne; et

bien, si on parle d'une antenne très légère, elle pourrait être transportée par le vent puisque celui-ci peut générer une force non négligeable. Et une fois soulevée par le vent, une antenne légère peut se déplacer assez vite. Elle peut venir à percuter un astronaute, mais pas au point de lui trancher la tête!

De la même manière, on parle du vol de l'hélicoptère *Ingenuity*; c'est là un vrai *challenge* puisqu'une fois en l'air, l'appareil va subir le vent.



Le petit hélicoptère (1,8 kg) *Ingenuity* sur Mars.

Afin que les batteries de l'hélicoptère soient bien chaudes et à pleine capacité, on est obligé de le faire voler en début d'après-midi sur Mars. Or, à ce moment-là, il y a beaucoup de turbulences liées à la convection de l'atmosphère – la surface de Mars est relativement chaude (à 20°), ce qui génère des rafales de vent. Ce ne sera donc pas facile pour l'hélicoptère de demeurer en l'air alors que la densité de l'atmosphère est si faible. Déjà qu'*Ingenuity* aura du mal à décoller et, une fois en l'air, il va subir les vents... Ce ne sera pas facile pour lui de se contrôler

et on aura peur qu'il bascule, qu'il atterrisse sur le côté, ce qui serait fatal.

François Forget tenait ces propos quelques jours seulement avant le premier vol d'*Ingenuity*. Or, nous savons à

présent que ce vol a eu lieu avec succès le 19 avril 2021. Durant 40 secondes, le petit hélicoptère est monté jusqu'à 10 mètres d'altitude, pour venir se poser sans problème. Il a par la suite réalisé avec brio une série de courts vols.



Sur Mars, il faudra vivre dans des habitacles pressurisés et sortir à l'extérieur toujours en scaphandre.

## **Pas facile de vivre dans un monde de poussière**

**Si donc on s'installait sur la planète Mars, quelles seraient nos conditions de vie, compte-tenu de tout ce que nous venons d'exposer?**

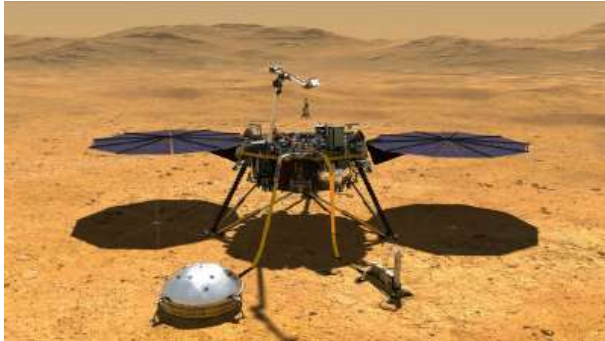
Vous aurez compris que la première chose, c'est que les astronautes qui visiteront Mars devront bien sûr résider dans un habitat pressurisé et doté d'un sas pour permettre les sorties à l'extérieur. J'ignore quelle stratégie au juste va être utilisée, mais c'est toujours compliqué de vivre dans un habitacle pressurisé, parce que tout est gonflé et très rigide. Et pour sortir en scaphandre, comme on le montre même dans les films, ce n'est jamais facile.

Par exemple, à bord de la Station spatiale internationale, les astronautes respirent de l'air comme sur Terre, à la pres-

sion d'une atmosphère – ce qui est préférable pour les séjours de longue durée. Mais lorsqu'ils doivent sortir à l'extérieur, les astronautes doivent se préparer durant des heures en respirant de l'oxygène pur afin de purger leur corps de l'azote, sinon ils risquent d'éprouver des problèmes de décompression. On ne peut donc pas sortir comme ça, sans préparation, de la station. Il faut passer par un sas, ce qui complique tout. Et une fois à l'extérieur, on se trouve dans un scaphandre gonflé qui peut être très rigide.

Il y a donc plein de complexités et je pense que c'est cela qu'il faut souligner au premier abord: le fait de vivre tout le temps dans un environnement pressurisé, un peu comme sur la Lune. D'ailleurs, l'environnement de Mars est plus proche de celui de la Lune que du nôtre, même si le ciel est orangé et la lumière est douce [en contraste avec le sol gris et le ciel noir de la Lune]. De ce point de vue, Mars est très comparable à la Lune.

Par ailleurs, un autre problème sera posé par la poussière que nous avons évoquée plus tôt, puisqu'il y a de la poussière partout et qu'il s'agit d'une poussière très envahissante. Nous le constatons avec nos robots qui explorent Mars.



La sonde *InSight* avec de chaque côté des panneaux solaires circulaires. À ses pieds, à gauche, le dôme blanc qui abrite le sismomètre français.

La poussière nous pose plein de problème. Par exemple, dans le cas de la sonde *InSight*, on a en ce moment de gros soucis parce que la poussière s'est accumulée partout, notamment sur ses panneaux solaires, ce qui fait qu'on ne recueille presque plus d'énergie du Soleil tant la poussière qui s'y est déposée est opaque. La mission est même sur le point de prendre fin à cause de cette poussière.

Mais on espère qu'une rafale de vent va bientôt venir nettoyer les panneaux solaires d'*InSight*. C'est la chance qu'on a eue avec les rovers *Spirit* et *Opportunity*; de temps à autre, une rafale de vent venait nettoyer leurs panneaux solaires et hop, on pouvait à nouveau repartir! Mais dans le cas d'*InSight*, cela ne s'est pas encore produit. On est donc un peu inquiet.

Cette poussière s'insère partout, partout – dans les joints, dans les articulations, dans l'électronique... – et ce n'est pas facile de gérer tout cela.

**Soulignons que l'atmosphère de Mars est très «sale», c'est-à-dire qu'on y trouve beaucoup de poussière, bien davantage même que sur Terre.**

Eh oui, bien plus que sur Terre en effet. Pourtant, ici aussi, le vent soulève la poussière comme sur Mars. Par contre, nos précipitations de pluie font ce qu'on appelle le lessivage de l'air, c'est-à-dire que la pluie rabat au sol la poussière, de sorte que notre air demeure assez propre. C'est pourquoi sur Terre, le ciel est bleu et propre. Il peut par contre devenir parfois orange lorsqu'il y a une bonne tempête de sable ou lorsqu'il y a des incendies de forêt. Mais la pluie nettoie notre atmosphère et le ciel redevient bleu.

Sur Mars, le ciel est orange parce qu'il n'y a pas d'averse qui rabat la poussière au sol. L'atmosphère demeure toujours très poussiéreuse.

**Sur la Lune, les astronautes ont constaté que la poussière était un sérieux problème. En marchant, ils en soulevaient pas mal et ils salissaient beaucoup leur scaphandre. Au terme de leurs marches sur la Lune, ils devaient faire attention pour ramener le moins possible de poussière à bord de leur module lunaire.**

**La situation risque d'être semblable sur Mars, sinon même pire puisque l'atmosphère charrie la poussière. Il s'agit d'un sérieux problème sur la Lune et qui risque d'être encore plus sérieux sur Mars?**

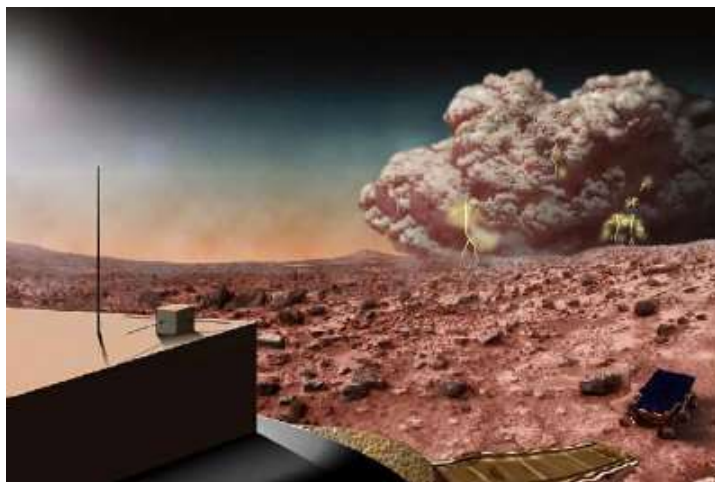
C'est un sérieux problème, en effet. Plusieurs fois, j'ai été invité à participer à des conférences pour parler de la poussière martienne à des ingénieurs qui préparent des missions martiennes. Pour eux, la poussière de Mars est un grand sujet d'inquiétude.

En fait, il y a un aspect de ce problème qui apparaît plus inquiétant que la poussière lunaire et un autre aspect moins inquiétant.

Ce qui rend le problème de la poussière martienne plus inquiétant, c'est le fait qu'il y a une atmosphère qui fait que celle-ci est transportée et que, quoi qu'on fasse, elle se dépose et s'accumule partout tout le temps, tandis que sur la Lune, rien ne bouge, ce qui fait que ce ne sont que les astronautes, que les roues des rovers ou que les rétrofusées des engins qui soulèvent la poussière. Autrement, il n'y a pas de poussière qui flottent dans l'air.

L'aspect qui rend la poussière martienne un peu moins inquiétante, c'est qu'il s'agit d'une «vieille poussière». Ça fait des millions d'années, voire plus, qu'elle est charriée par l'atmosphère. On peut donc imaginer – même si on n'a pas encore pu l'observer – que cette poussière est par conséquent érodée et arrondie. C'est-à-dire qu'on peut penser qu'à l'échelle microscopique, les grains de poussière martienne ne sont pas très anguleux, qu'ils sont un peu comme des galets microscopiques, qu'il s'agit d'une poussière usée et arrondie. De ce fait, elle serait moins corrosive que la poussière lunaire qui, elle, n'a pas une origine liée à l'atmosphère.

La poussière lunaire est ce qu'on appelle du *régolithe*, c'est-à-dire de la poussière qui provient du fait que la Lune est bombardée depuis des milliards d'années par des météorites de toute taille. À force d'être impactée de la sorte, cela crée une poussière qu'on peut imaginer faite de plein de cassures et d'arêtes tranchantes,



Représentation artistique d'une tempête de poussière martienne fonçant sur nous.

ce qui en fait de la poussière très corrosive.

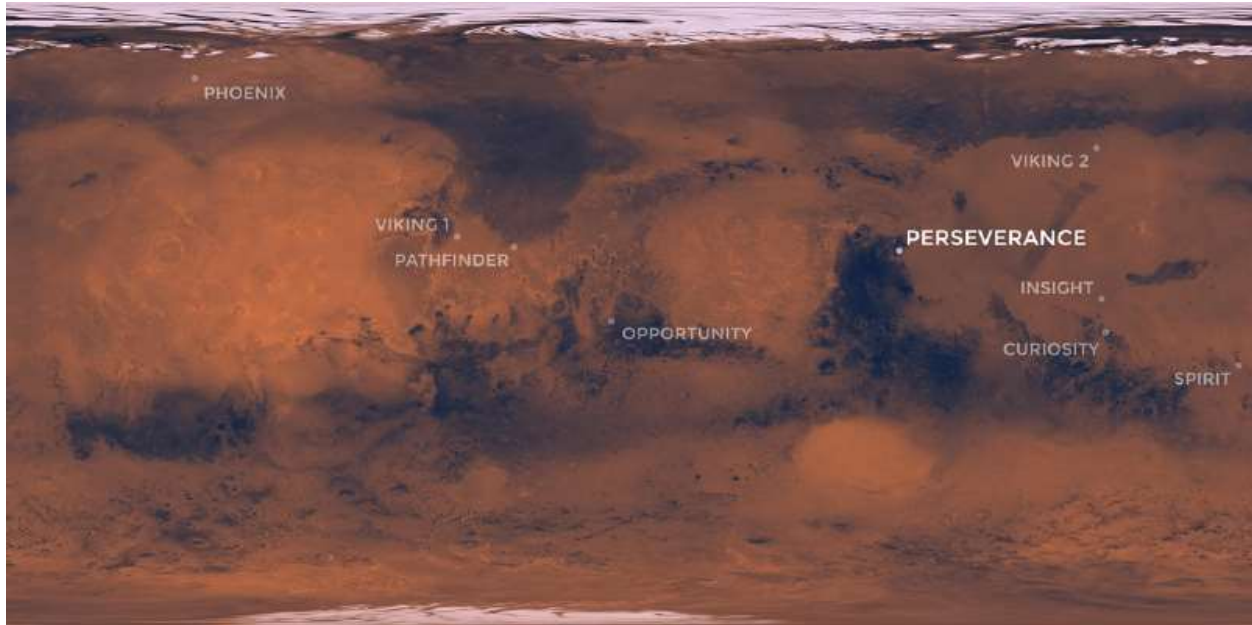
## Où devrait-on s'installer?

**Si nous avons à nous installer quelque part sur Mars – installer une base ou une colonie –, où serait-il préférable de le faire? Au fond d'un cratère, dans une vallée, sur une plaine?**

C'est un sujet de débat très intéressant puisqu'il y a des pour et des contre pour pas mal d'endroits différents.

Bien sûr, si on a l'intention d'y demeurer longtemps, on va éviter les régions polaires parce que là comme sur Terre, près d'un pôle, on va subir la nuit polaire durant des mois, ou à tout le moins des périodes de jour très courtes et de longues nuits polaires. Ce n'est pas l'idéal. On va donc plutôt choisir des latitudes plus basses, vers les tropiques. Par contre, si on descend jusqu'à l'équateur, il va alors nous manquer quelque chose d'essentiel et de disponible lorsqu'on s'installe plus au nord: de l'eau, sous forme de glace.

Il se trouve en effet que, lorsqu'on examine la surface de Mars, on a l'impression



Une carte de la planète Mars qui indique où se sont posées avec succès les sondes américaines, autrement dit: les endroits visités à ce jour.

qu'elle est très sèche. Mais en réalité, on a découvert par divers moyens que sur une grande partie de la planète, sous quelques centimètres de sable seulement, il y a de la glace d'eau disponible. C'est là une grande découverte qui va faciliter l'exploration humaine puisqu'on pourra facilement accéder à cette glace d'eau presque pure. Et cette eau est toute proche, sous quelques centimètres de sol seulement, pour peu qu'on n'aille pas trop près de l'équateur.

Donc, si on s'installe à haute latitude, il y a quantité d'eau mais on subira des hivers froids, tandis que si on s'installe en-dessous de 30° de latitude, il n'y a pas d'eau dans le sous-sol.

Avec l'un de mes collègues, Mathieu Vincendon, on a pu montrer que sur les pentes orientées vers le pôle, l'équivalent des faces nord des cratères, l'eau a pu s'accumuler sous le sable.

Mon avis est donc que le mieux est de s'installer dans un cratère – il y en a partout sur Mars – de façon à accéder à une pente orientée vers le pôle. De la sorte,

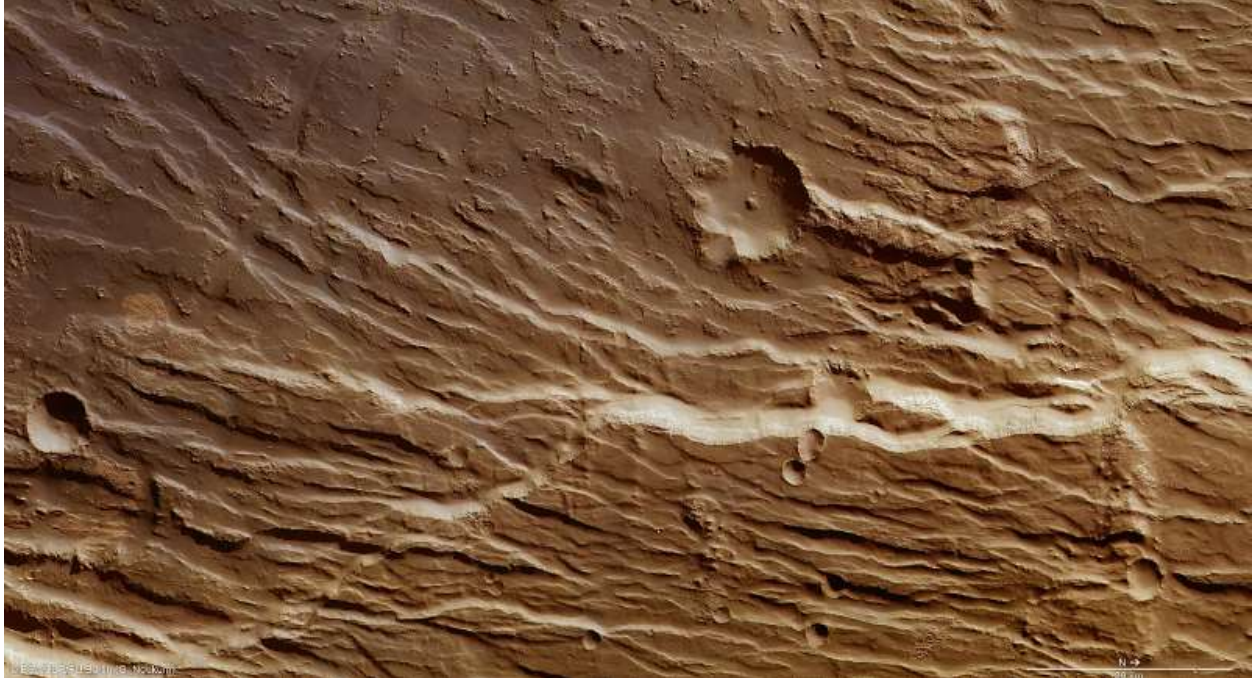
on pourra s'installer sous les tropiques – où il fait relativement chaud et où les saisons ne sont pas trop rigoureuses – et d'où on pourra se procurer des mètres-cube d'eau en grattant la pente nord.

### Il s'agirait donc de s'installer dans un cratère vers les 30° de latitude?

Ce serait mon choix personnel, mais sachez que vous aurez une réponse différente pour chaque spécialiste à qui vous poserez la question! Mais ce serait ma préférence.

Ensuite, il s'agira de déterminer quel site est plus ou moins intéressant pour telle ou telle raison scientifique, selon qu'on désire explorer un terrain très ancien, etc. Il y a quantité de débats et je pourrais prendre une heure pour vous lister les différents arguments pour et contre de s'installer à tel ou tel endroit!

**Y a-t-il un endroit sur Terre où on peut se faire une idée des conditions qui règnent à la surface de Mars? Y a-t-il quel-**



Sur Mars, il y a quantité de sites fascinants à explorer, comme par exemple des lits de rivière asséchée au fond desquels pourraient se trouver des traces de vie primitive.

**que part sur Terre – au sommet du Mont Everest par exemple – où on retrouverait des conditions plus ou moins semblables à celles de Mars?**

C'est une bonne question. L'endroit le plus intéressant de ce point de vue, c'est un site très particulier: les vallées sèches qu'on trouve en Antarctique, pas très loin de la base américaine de McMurdo.

Vous savez que l'Antarctique est presque partout recouvert de glaciers. Mais il existe une zone de vallées où il y a un microclimat lié à la circulation des vents et au fait qu'il y a des montagnes tout autour. C'est un endroit où il fait très sec. Le sol est par conséquent libre de glace, c'est un désert. À cet endroit, il fait extrêmement froid, la température moyenne est de  $-40^{\circ}$  environ, et même en été, il fait rarement au-dessus de  $-15^{\circ}$  ou  $-20^{\circ}$ . C'est un endroit qui ne dégèle jamais et où il n'y a vraiment pas d'eau.

Résultat: c'est un bon site pour mener quantité d'études sur comment l'environnement et la biologie peut évoluer dans un environnement ultra-sec. Car le plus étonnant, c'est qu'on y trouve des êtres vivants (des bactéries) qui survivent et même se développent dans cet environnement au moyen d'astuces très amusantes.

J'ai un collègue américain, Chris McKay, qui a fait quantité de découvertes dans cette région, tandis que les géologues y observent des phénomènes étonnants dans ce milieu où il n'y a presque pas d'eau liquide. Voilà l'un des endroits qui ressemblent le plus à Mars.

Il y a aussi d'autres endroits qui sont extrêmement secs, même s'il y fait chaud. Par exemple, le désert d'Atacama, au Chili, est souvent utilisé comme analogue à la planète Mars parce qu'il y fait extrêmement sec – il n'y pleut quasiment jamais – et où on trouve des conditions qui évoquent certains aspects de ce qui se passe sur la planète Mars.

Enfin, au Canada, il y a un endroit jadis utilisé comme «analogue» pour simuler des expéditions astronautes: il s'agit de l'île Devon (*Devon Island*) dans le Nunavut, où la NASA a mené quelques études.

Il s'agit là de régions qui ne font vraiment pas rêver! J'imagine que les personnes qui rêvent de s'installer sur Mars n'apprécieraient guère de telles conditions. Ce n'est pas très intéressant.

### Pourra-t-on un jour terraformer la planète Mars?

Un fantasme en science-fiction serait de *terraformer* Mars, de la transformer en un monde habitable, plus ou moins semblable à la Terre. Pourrait-on un jour, après possiblement des siècles de transformations, rendre la planète Mars un peu plus hospitalière? [Voir Terraformation de Mars.]

C'est un sujet qui passionne tout le monde et on me pose très souvent la question. Évidemment, cela fait rêver. Mais pour moi, ça ne me fait pas vraiment rêver, car c'est un peu comme si on envisageait transformer l'Antarctique en une île tropicale. À quoi bon!

Néanmoins, je comprends bien l'idée. C'est vrai que, ne serait-ce que d'augmenter la pression de l'atmosphère martienne afin de pouvoir nous balader non plus en scaphandre, mais avec une doudoune et un masque à oxygène, la vie serait tellement plus simple.

La grande mode de la *terraformation* de Mars a connu son apogée dans les années 1990 où, justement, mon collègue Chris McKay avait envisagé cette possibi-



Le film *Total Recall* (1990) présente une formidable illustration de ce que serait la terraformation de Mars... telle qu'imaginée par Hollywood.

lité. À l'époque, sur la base des connaissances qu'on possédait à propos de Mars, McKay avait dit que cette planète avait été propice à l'eau liquide il y a quelques milliards d'années – il y aurait eu autrefois des lacs, des rivières et une atmosphère beaucoup plus propices. Il s'est alors dit que peut-être que cette atmosphère est encore disponible quelque part – peut-être sous forme de glace carbonique – et que si on chauffait les régions polaires (où il y a beaucoup de glace), peut-être qu'on pourrait amener à injecter quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère de Mars. Or, le CO<sub>2</sub> étant un gaz à effet de serre, une abondance de CO<sub>2</sub> réchaufferait la planète.

McKay a fait des calculs pour en arriver à la conclusion qu'on devrait pouvoir faire basculer le climat martien dans un régime

chaud et *terraformer* ainsi la planète... peut-être pas au point de pouvoir s'y balader sans masque à oxygène, mais qu'on pourrait néanmoins améliorer les choses... Il a même spéculé qu'au terme de milliers d'années, on pourrait même y ajouter des plantes et de l'oxygène...

Bon, je m'arrête là puisque depuis ce temps, on s'est rendu compte que toutes les hypothèses de McKay ne fonctionnent pas. C'est-à-dire qu'on a énormément appris depuis les années 1990. Entre autres, quantité de missions planétaires ont montré qu'il n'y a pas assez de glace disponible sur Mars pour reconstituer une atmosphère. Au mieux, il y aurait assez de glace pour parvenir à doubler l'épaisseur de l'atmosphère, mais celle-ci est si faible que ça ne donnerait pas grand-chose de plus.

D'autres ont suggéré qu'on pourrait peut-être trouver sur Mars de quoi reconstituer une atmosphère à partir de roches propices à fabriquer du CO<sub>2</sub>. C'est ce qu'on appelle des *roches calcaires*, des *roches carbonates*. Si, par exemple, on prend de la craie et qu'on la brûle, celle-ci crache du CO<sub>2</sub>. Mais le problème, c'est qu'on ne trouve presque pas de carbonates sur Mars. On se demande même pourquoi il y en a si peu!

Résultat, tout montre maintenant qu'il n'y a pas du tout sur Mars de quoi recréer une atmosphère de n'importe quelle composition – il n'y a vraiment pas de quoi faire du gaz ou de l'air en quantité.

Par ailleurs, on pourrait imaginer qu'un jour, lorsqu'on aura développé les technologies nécessaires, on pourra apporter sur Mars de l'air et de l'eau en quantité au moyen de navettes spatiales ou encore, en détournant des comètes, puisque celles-

ci sont assez riches en gaz potentiels. Mais lorsqu'on fait les calculs, on réalise qu'il faudrait détourner des *millions* de comètes – des quantités absolument effarantes!

Bref, tout ça, ce sont des projets vraiment impossibles à réaliser. En fait, il sera nettement plus simple de construire de grands dômes sous lesquels on pourra vivre, ou de mettre au point des scaphandres ultraconfortables, etc.

Personnellement, j'entrevois davantage une science-fiction lointaine où on arrivera à vivre sur Mars au moyen de dômes et de scaphandres astucieux, plutôt qu'en terraformant la planète.

**En même temps, depuis les années 1990, notre conscience écologique s'est développée et peut-être bien que d'un point de vue éthique, ce serait désormais inacceptable de faire une telle chose, si c'était possible?**

C'est amusant, puisque dans les années 1990, lorsqu'il y a eu cet intérêt pour la terraformation de Mars, cela a fait naître un débat assez intéressant sur la question: qu'est-ce que l'écologie?

Lorsqu'on prend comme définition de l'écologie la promotion de la vie, à ce moment-là, on pourrait dire qu'établir sur Mars des conditions qui rendent possible la présence d'une vie serait quelque part une forme d'écologie. Par contre, si on prend une définition qui est plus proche de mes valeurs personnelles – c'est-à-dire préserver la nature telle qu'elle est – à ce moment-là, il ne faut pas toucher à Mars, de la même manière qu'on n'a pas trop envie de modifier le climat de l'Antarctique pour y aller en vacances.

## 4 – Les tribulations des explorateurs de Mars

### Succès et échecs des sondes martiennes, 1988-2020

| Sonde                                   | Lancement         | Nationalité | Type         | Résultat          |
|---|-------------------|-------------|--------------|-------------------|
| Fobos 1                                 | 7 juillet 1988    | Soviétique  | Orbiteur+    | Échec             |
| Fobos 2                                 | 12 juillet 1988   | Soviétique  | Orbiteur+    | Succès partiel    |
| Mars Observer                           | 25 septembre 1992 | Américaine  | Orbiteur     | Échec             |
| Mars Global Surveyor                    | 7 novembre 1996   | Américaine  | Orbiteur     | Grand succès      |
| Mars 96                                 | 16 novembre 1996  | Russe       | Orbiteur     | Échec             |
| Mars Pathfinder                         | 4 décembre 1996   | Américaine  | Atterrisseur | Succès            |
| Sojourner                               | 4 décembre 1996   | Américaine  | Astromobile  | Grand succès      |
| Nozomi / Planet-B                       | 3 juillet 1998    | Japonaise   | Orbiteur     | Échec             |
| Mars Climate Orbiter                    | 11 décembre 1998  | Américaine  | Orbiteur     | Échec             |
| Mars Polar Lander                       | 3 janvier 1999    | Américaine  | Atterrisseur | Échec             |
| 2001 Mars Odyssey                       | 7 avril 2001      | Américaine  | Orbiteur     | Grand succès      |
| Mars Express                            | 2 juin 2003       | Européenne  | Orbiteur     | Grand succès      |
| Beagle 2                                | 2 juin 2003       | Anglaise    | Atterrisseur | Échec             |
| Spirit                                  | 10 juin 2003      | Américaine  | Astromobile  | Grand succès      |
| Opportunity                             | 8 juillet 2003    | Américains  | Astromobile  | Grand succès      |
| MRO / Mars Reconnaissance Orbiter       | 12 août 2005      | Américaine  | Orbiteur     | Grand succès      |
| Phoenix                                 | 4 août 2007       | Américaine  | Atterrisseur | Succès            |
| Fobos-Grunt                             | 8 novembre 2011   | Russe       | Orbiteur++   | Échec             |
| Yinghuo 1                               | 8 novembre 2011   | Chinoise    | Orbiteur     | Échec             |
| Curiosity                               | 26 novembre 2011  | Américaine  | Astromobile  | Grand succès      |
| Mangalyaan / Mars Orbiter Mission (MOM) | 5 novembre 2013   | Indienne    | Orbiteur     | Succès            |
| MAVEN                                   | 18 novembre 2013  | Américaine  | Orbiteur     | Grand succès      |
| ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO)         | 14 mars 2016      | Européenne  | Orbiteur     | Grand succès      |
| Schiaparelli EDM Lander                 | 14 mars 2016      | Européenne  | Atterrisseur | Échec             |
| InSight                                 | 5 mai 2018        | Américaine  | Atterrisseur | Succès partiel    |
| MarCO A et B                            | 5 mai 2018        | Américaine  | Technologie  | Succès            |
| Al'amal / Hope (espoir)                 | 19 juillet 2020   | Arabe       | Orbiteur     | Succès (en cours) |
| Tianwen 1                               | 23 juillet 2020   | Chinoise    | Orbiteur     | Succès (en cours) |
| Tianwen atterrisseur                    | 23 juillet 2020   | Chinoise    | Atterrisseur | ? (à venir)       |
| Zhurong                                 | 23 juillet 2020   | Chinoise    | Astromobile  | ? (à venir)       |
| Perseverance                            | 30 juillet 2020   | Américaine  | Astromobile  | Succès (en cours) |
| Ingenuity                               | 30 juillet 2020   | Américaine  | Hélicoptère  | Succès (en cours) |

M. Forget, vous avez participé à une foule de missions d'exploration de la planète Mars. Lors d'une conférence que vous avez donnée en 2018 et qui s'intitule *Mars, la nouvelle vague*, vous nous présentiez un certain nombre de missions auxquelles vous avez participé. Pourriez-vous nous résumer votre parcours qui s'étend sur une bonne vingtaine d'années?

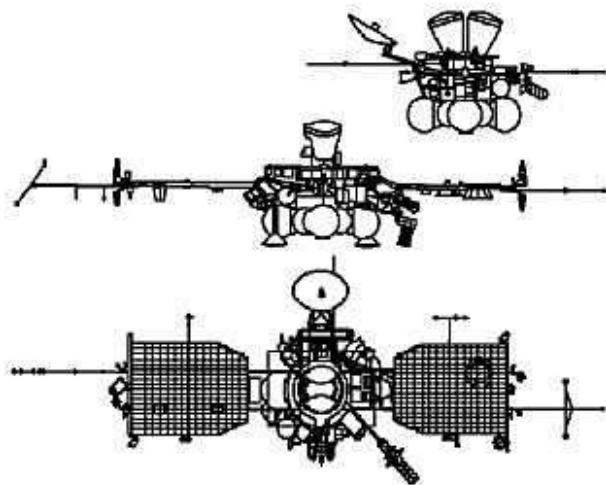
Au moins! Lorsque je raconte cela, j'en profite pour souligner le fait que l'exploration spatiale est une entreprise extrêmement périlleuse. Évidemment, on parle souvent des grands succès de l'exploration de Mars. On voit les chercheurs et les ingénieurs, dont je fais parfois partie, qui sautent de joie lorsqu'une mise en orbite ou un atterrissage réussit. La raison d'une telle joie, c'est qu'il arrive parfois que ça ne fonctionne pas.



La sonde américaine *Mars Observer*.

Pour faire très court, je vous ai raconté que j'ai commencé comme ingénieur pour l'agence spatiale française et que j'ai été envoyé à la NASA dans le cadre d'un projet russe – vous voyez déjà la complexité des projets internationaux. Je faisais alors partie d'une équipe qui travaillait à une importante mission de la NASA, *Mars Observer*, lancée en 1992.

Cette sonde devait se placer en orbite autour de Mars en août 1993. Hélas, au moment où elle est arrivée à destination, on ne sait pas trop ce qui s'est passé, mais la sonde a explosé. C'est-à-dire qu'au moment où on la préparait à réactiver ses moteurs-fusée, en vue de freiner aux abords de Mars pour se mettre en orbite, on a perdu tout contact avec elle...

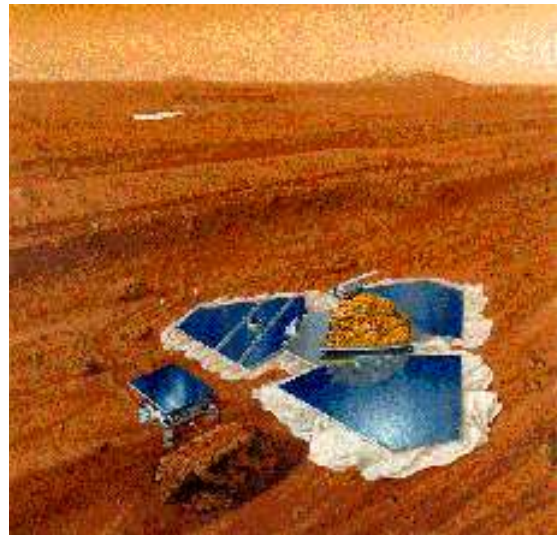


La sonde russe *Mars 96* vue sous trois angles.

Je suis par la suite revenu en Europe et j'ai alors travaillé à une importante mission avec les Russes, qui s'appelait *Mars 96* et lancée en novembre 1996. Malheureusement, cette sonde a été perdue peu après son lancement pour se trouver au fond du Pacifique par suite d'une défaillance du lanceur russe.

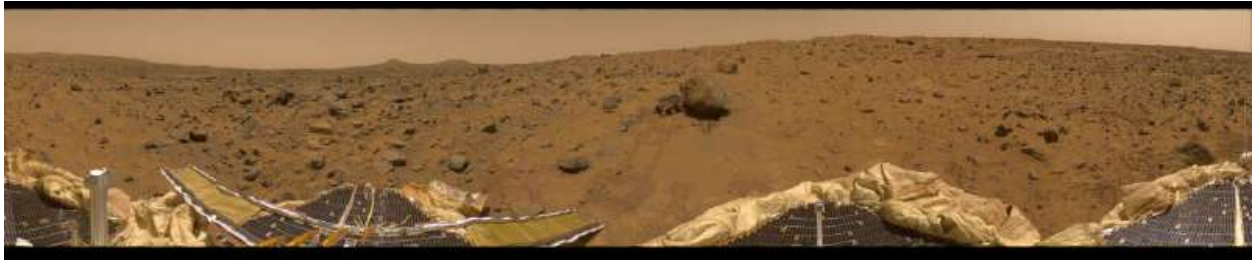


La sonde américaine *Mars Global Surveyor*.



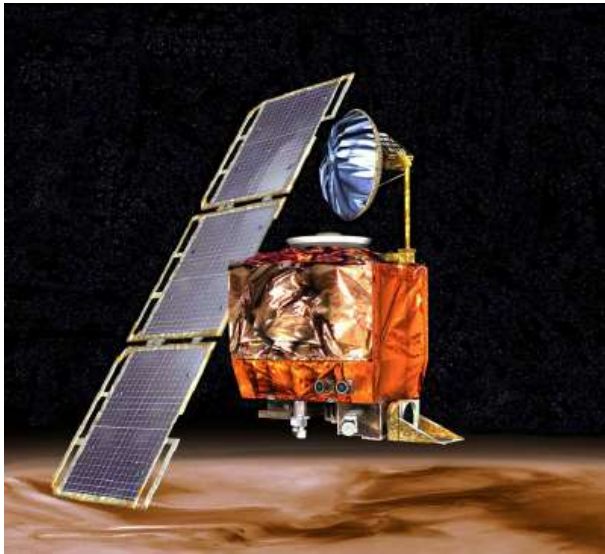
L'atterrisseur *Pathfinder* (à droite) avec, à ses côtés, le premier astromobile martien *Sojourner*.

Et tout le monde se souvient qu'en 1997, il y a eu deux belles missions américaines qui ont réussi (et auxquelles je ne participais pas): la mission *Mars Global Surveyor*, en orbite autour de la planète, et la sonde *Mars Pathfinder*, qui s'y est



À l'été 1997, *Pathfinder* (visible au premier plan) nous a donné de magnifiques panoramas de Mars.

posée. Même si je n'avais pas de rôle officiel, j'ai pas mal travaillé à ces missions.



La sonde américaine *Mars Climate Orbiter*.

Par contre, deux ans plus tard, j'étais dans l'équipe de la mission *Mars Climate Orbiter*, une mission américaine qui devait se mettre en orbite en septembre 1999. Hélas, à ce moment-là, on a perdu tout contact. Je me trouvais alors au *Jet Propulsion Laboratory*, en Californie, d'où était commandée la mission. Sur le coup, tout le monde s'est gratté la tête...

Mais on s'est rapidement rendu compte qu'il s'est passé un truc terrible. La sonde est passée beaucoup plus proche de Mars que prévu avec pour conséquence qu'elle a brûlé dans l'atmosphère. Pourquoi? Parce qu'on avait mal fait la correction de trajectoire dans les derniers jours.

Et pourquoi une telle erreur? Parce qu'il y a eu un malentendu dans l'utilisation des unités de calcul; selon l'industriel qui a fabriqué la sonde, les instructions d'utilisation du moteur conçu pour corriger la trajectoire étaient données en livres, tandis que la NASA utilise le système d'unités internationales, donc des newton.

Parfois, on raconte cette histoire en disant qu'on a confondu des miles avec des kilomètres, ce n'est pas tout à fait cela, mais presque...

En réalité, toutefois, il s'est passé d'autres choses, c'est plus compliqué qu'une simple confusion d'unités de mesure: il a fallu dans les faits une accumulation de problèmes pour qu'une telle chose puisse se produire. Le fait est que la sonde a brûlé, et c'était déjà ma troisième mission perdue.



La sonde américaine *Mars Polar Lander*.

Et puis juste après, en décembre de la même année, la sonde Mars Polar Lander s'est écrasée...



La sonde européenne *Mars Express*.

Mais par la suite, on a réussi à accomplir de belles missions, en Europe en particulier, où j'ai été très impliqué dès 2003. Il s'agit de la mission européenne Mars Express, dont une portion devait se placer en orbite. Cette dernière, qui fonctionne encore, a révolutionné notre connaissance de Mars. Il y avait aussi un atterrisseur, fourni par l'Angleterre: Beagle 2. [Le premier Beagle est le navire sur lequel le naturaliste Charles Darwin a fait sa célèbre expédition autour du monde, entre 1831 et 1836.]

Il faut savoir qu'en Europe, les pays contribuent comme ils peuvent à un projet tel que *Mars Express*. Ainsi, il y avait des spectromètres et spectro-imageurs français, un radar italien, une caméra allemande, etc. Quant aux Anglais, ils ont fourni un petit atterrisseur qui devait se poser à la surface de Mars. Cet atterrisseur a presque réussi sa mission, bien qu'à la fin, on n'a pas pu le faire fonctionner.

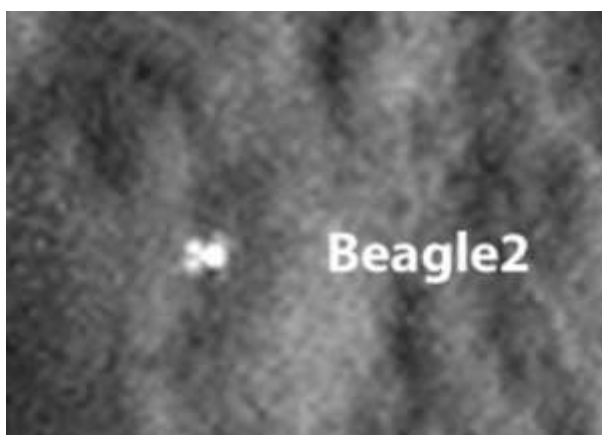
C'est ainsi que le petit *Beagle 2* a été relâché par la sonde *Mars Express* le 19 décembre 2003. Il a alors plongé vers l'atmosphère martienne à la vitesse de 20 000 km/h. Protégé par un bouclier thermique,



L'atterrisseur britannique *Beagle 2* tel qu'il aurait dû se déployer sur le sol martien.

il l'a traversée à vive allure avant de freiner à l'aide de deux parachutes. En arrivant à la surface de Mars, des *airbags* [coussins gonflables] se sont gonflés et, tel que prévu, la sonde a fait un premier rebond de 35 mètres de hauteur, puis une succession d'autres bonds. [Tout s'est passé comme prévu.] Toutefois hélas, on n'a jamais eu de nouvelles de l'atterrisseur, tout contact radio avait été perdu.

Récemment, une sonde gravitant autour de Mars est parvenue à photographier *Beagle 2*. On voit que celui-ci s'est posé, qu'il s'est ouvert correctement sauf qu'il n'est pas parvenu à établir un contact radio avec la Terre.



Le *Beagle 2*, apparemment bien déployé sur le sol de la planète Mars.

Pour vous donner une anecdote personnelle, disons que la première commission d'enquête sur l'accident de *Beagle 2* a conclu que c'était de ma faute!

Eh oui. On a conclu que les modèles d'atmosphère dont on s'est servi pour préparer l'atterrissage de *Beagle 2* – dont, en particulier, pour prévoir à quel moment déclencher l'ouverture des parachutes – étaient erronés. Or, c'était mon équipe qui avait fourni ces modèles!

Mais heureusement, par la suite, la commission officielle de l'Agence spatiale européenne et du gouvernement anglais a revisité le problème et a conclu que ce n'était pas de ma faute, mais que c'était autre chose... Dans le résumé de cette commission d'enquête, qui ne fait que quelques lignes, on prend la peine d'indiquer que ce n'est pas de ma faute. Ouf!

À présent, il y a les missions de cette année, en particulier une opération tout à fait étonnante: la mission des Émirats arabes unis. [Il s'agit de la mission *Al'amal*, dont nous avons parlé dans notre balado 47 – À l'assaut de la planète Mars.] C'est un satellite d'observation de la planète Mars, une mission très astucieuse.

C'est en outre très différent de travailler avec des Émiratis, puisque depuis la fondation de ce pays il y a cinquante ans, on fait la promotion de l'éducation des femmes. Il y a donc dans ce pays un biais culturel inverse au nôtre et qui a pour conséquence que ce sont surtout les femmes qui étudient les maths, les sciences et l'ingénierie. Résultat: l'équipe scientifique de la mission *Al'amal* est très féminine. Voilà qui est étonnant pour nous.

## ExoMars TGO: à la recherche de traces de gaz

Vous avez passé par-dessus la mission *ExoMars TGO*, la sonde européenne *Trace Gas Orbiter*. J'aimerais qu'on en parle un peu. Cette sonde avait entre autres pour but d'étudier la présence du méthane... Qu'a-t-on trouvé avec TGO?

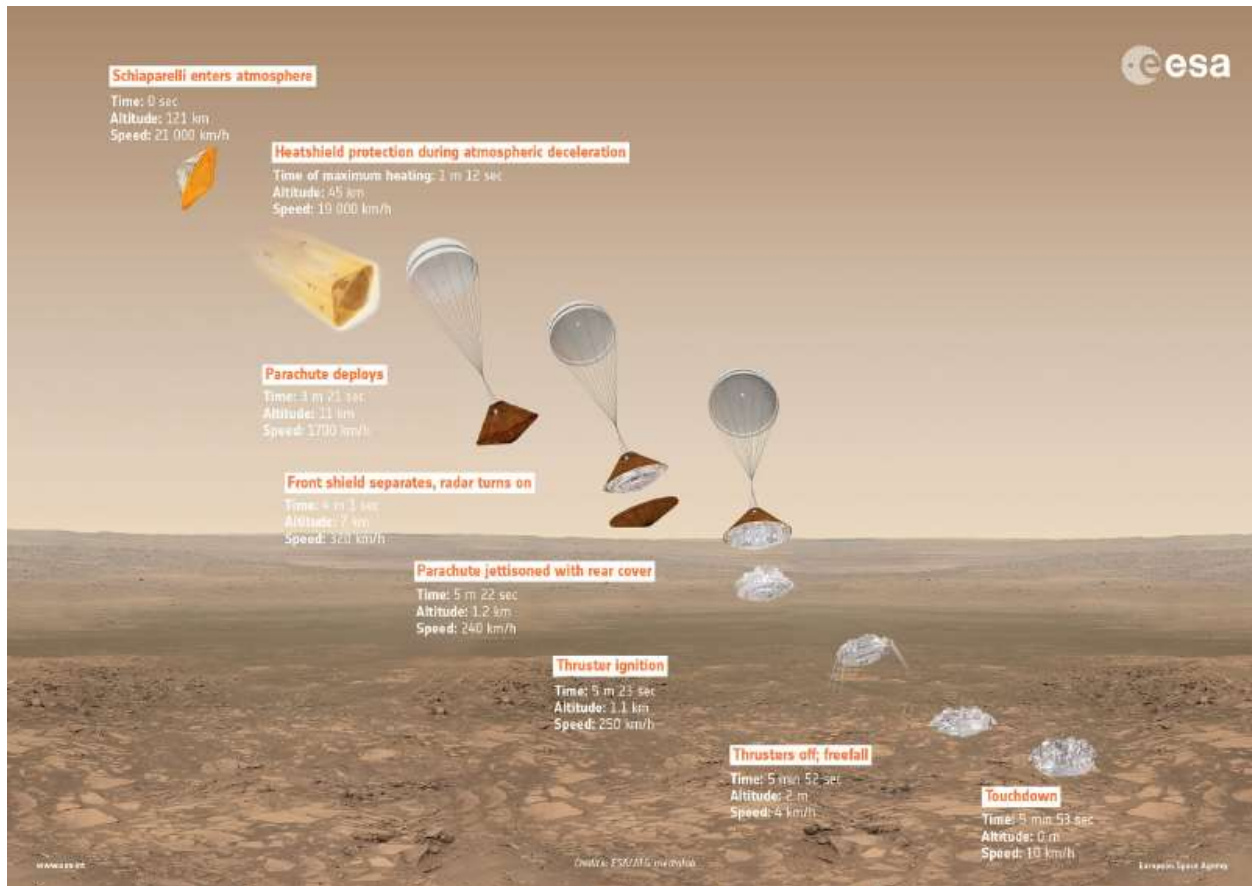
Dans sa conférence *Mars, la nouvelle vague* donnée en 2018, François Forget expliquait:

«Le méthane sur Mars est un sujet de controverse puisque certains instruments l'observent et d'autres pas. On se demande donc s'il y en a, et s'il y en a beaucoup... Et si c'est le cas, on se demandera alors d'où peut donc provenir ce méthane; pourrait-il peut-être avoir une origine biologique?

Or, le *Trace Gas Orbiter* va résoudre ce débat et le clore puisque la sensibilité de ses appareils de mesure est telle qu'il va pouvoir savoir s'il y a du méthane, où, quand, comment et quelle en est la source...»

Il s'agit d'une mission très importante et sur laquelle j'ai beaucoup travaillé. Il s'agissait d'une double mission. Il y avait d'abord un satellite d'observation qui s'est placé en orbite: le *ExoMars Trace Gas Orbiter* (TGO) ainsi qu'un atterrisseur baptisé *Schiaparelli*. Vous pouvez deviner ce qui est arrivé à ce dernier: il s'est malheureusement écrasé lui aussi!

# Autopsie d'un atterrissage raté



Série de manœuvres complexes de la traversée de l'atmosphère menant à l'atterrissage de *Schiaparelli*.

Dans son exposé *Mars, la nouvelle vague*, François Forget raconte comment s'est déroulé l'atterrissage de *Schiaparelli* le 19 octobre 2016:

Associé à la mission TGO, vous aviez un atterrisseur, *Schiaparelli*, sur lequel j'ai beaucoup travaillé. J'avais contribué à la conception du système d'atterrissage et, en particulier, d'établir les conditions météo durant la descente. L'idée de cette mission était avant tout d'*apprendre* à se poser sur Mars.

Que s'est-il donc passé? Nous sommes le 19 octobre 2016. L'atterrisseur *Schiaparelli* pénètre comme prévu dans l'atmosphère de Mars à la vitesse de 21 000 km/h. [Voir la [video](#) de l'ESA]



La séquence d'atterrissage débute lorsque l'orbiteur *ExoMars TGO* largue la capsule contenant l'atterrisseur *Schiaparelli* (à droite).



En pénétrant à grande vitesse dans l'atmosphère, la capsule s'échauffe sous la friction de l'air ambiant (du CO<sub>2</sub>).

Durant une bonne partie de la descente, jusqu'à environ 40 kilomètres d'altitude, l'engin chauffe énormément. Il cherche à dissiper son énergie cinétique pour progressivement atteindre une vitesse balistique. Ceci fait qu'arrivé à 11 000 mètres d'altitude, on va pouvoir déployer le parachute. Mais c'est là une opération très délicate puisque le parachute se déploie à des vitesses supersoniques, à 1700 km/h.

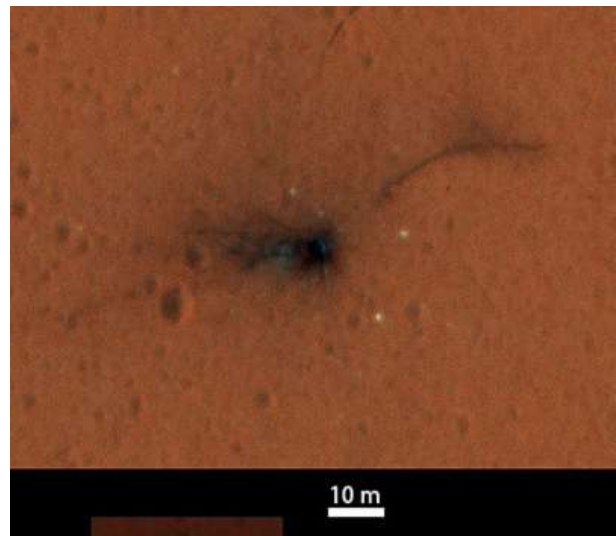
On freine donc, on freine... mais on évolue encore très, très rapidement. Parvenu à environ 7000 mètres d'altitude, on largue le bouclier thermique. À partir de là, des antennes radars peuvent évaluer l'altitude, ce qui permet à la sonde de contrôler sa descente. Tout ça a très bien fonctionné.

Et puis, on a tout largué, à 1200 mètres d'altitude. À partir de là, neuf rétrofusées ont été allumées afin d'effectuer une descente contrôlée jusqu'à la surface. Puis, parvenu juste au-dessus du sol, au dernier moment, ces moteurs-fusée sont coupés afin de ne pas perturber le sol. La sonde est munie de *crushable material* [de coussins compressibles] afin de lui permettre de se poser en douceur.

À partir de ce moment, elle devait fonctionner un certain temps depuis la surface de Mars et prendre des mesures scientifiques. Mais cela n'a pas fonctionné.

Sur l'écran de la salle de contrôle où je me trouvais, on recevait tout au long de la descente un faible signal radio en provenance de la sonde. [Ce signal indiquait que la sonde descendait normalement dans l'atmosphère de Mars.] Mais voilà que tout à coup, pouf, le signal s'arrête! Je connaissais par cœur la séquence de descente et j'ai soufflé à mon collègue Frank: «Aie...» Comme de fait, l'atterrissage n'avait pas réussi.

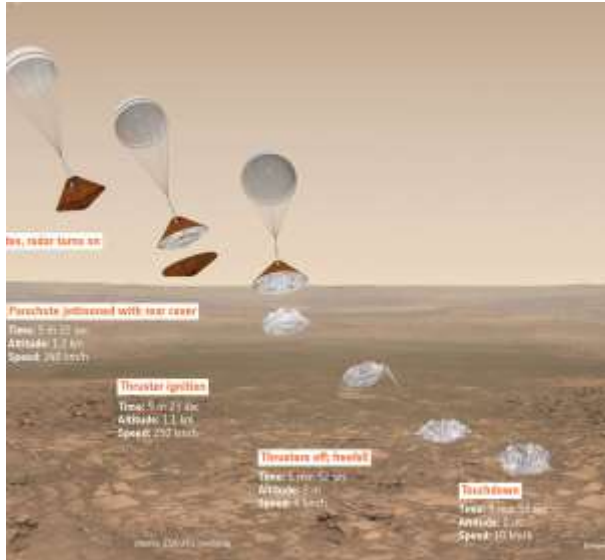
Quelques jours plus tard, la caméra haute-résolution de sonde américaine *Mars Reconnaissance Orbiter* a pris une photo du site d'atterrissage. On y voit différents morceaux de la sonde, dont le bouclier thermique et le parachute, mais surtout un petit cratère à l'endroit où la sonde devait se poser...



Le point d'atterrissage de *Schiaparelli*.

Que s'est-il donc passé?

On avait néanmoins enregistré un beau succès, c'est-à-dire que toutes les mesures [prises durant la descente] ont été transmises à la Terre. On a ainsi récupéré beaucoup d'information technique et même les mesures *in situ* de l'atmosphère durant la descente. On a donc pu mener l'enquête et voilà ce qui s'est passé.



Les derniers instants de *Schiaparelli*.

Lorsque le parachute s'est déployé, à 11 000 mètres d'altitude, cela a provoqué une très forte secousse. C'était normal [et prévu]. Mais il se trouve que ces secousses ont saturé le gyroscope, l'appareil qui sert à déterminer dans quelle direction l'engin évolue.

Ce capteur devait être saturé durant quelques millisecondes, mais il se trouve que cette saturation a perduré durant

presqu'une seconde. Le capteur [du gyroscope] a ainsi informé l'ordinateur de bord que celle-ci était en train de basculer. Or ça, ce n'était pas normal, on ne l'avait pas prévu. Il y a donc eu saturation du gyroscope durant 0,8 seconde.

Résultat: il y a eu confusion dans l'*attitude* de la sonde [c'est-à-dire dans son orientation dans l'espace]. L'ordinateur a été convaincu que la sonde avait basculé sur elle-même et qu'elle volait désormais presque la tête en bas... L'ordinateur a donc conclu que la sonde était déjà en-dessous de la surface de Mars! Donc, panique à bord: estimation de l'altitude négative, largage immédiat du parachute... Conséquence: la sonde a chuté de 3500 mètres et a *crashé*.

Voilà qui était extrêmement navrant, enrageant même, puisque ce qui était vraiment difficile, c'était le déploiement du parachute supersonique et le largage du bouclier, alors que c'est plutôt un petit bogue qui a tout gâché.

En conclusion: voyez à quel point il est difficile de se poser sur Mars.



L'atterrisseur *Schiaparelli* tel qu'il aurait dû reposer sur le sol martien.



Heureusement que depuis ce triste jour d'octobre 2016, la sonde *ExoMars TGO* poursuit normalement sa mission autour de Mars.

## Du méthane dans l'atmosphère de Mars? Oui ou... non!

Le *Trace Gas Orbiter*, comme son nom l'indique, avait pour objectif non seulement d'observer le méthane, mais également de repérer dans l'atmosphère, grâce à des méthodes astucieuses, les *gas traces* pour voir quel genre d'activités on pourrait détecter dans le sous-sol de la planète. Ces *gas traces* pourraient par exemple dévoiler la présence d'une activité volcanique ou, qui sait fantasme totale: une activité biologique.

La sonde *Trace Gas Orbiter* a été spécifiquement conçue pour repérer de minuscules traces de gaz, qui se retrouvent donc en très petite quantité, dans l'atmosphère de la planète rouge – ce que les spécialistes appellent communément des *gas traces*.

Il y avait aussi cette histoire de méthane sur Mars qui nous passionne depuis des années. C'est ainsi que dans les années 2000, des observations faites par té-

lescopes puis confirmées par des instruments à bord du rover américain *Curiosity*, indiquent qu'il y aurait du méthane sur Mars. Il pourrait même y avoir, en plus de petites traces de fond, des nuages de méthane – pas en grande quantité mais suffisamment pour nous intriguer et nous indiquer qu'il y a quelque chose qui se passe dans le sous-sol.

**Précisons que le méthane pourrait être d'origine biologique, d'où l'intérêt de savoir: y en a-t-il oui ou non et, si oui, d'où provient-il?**

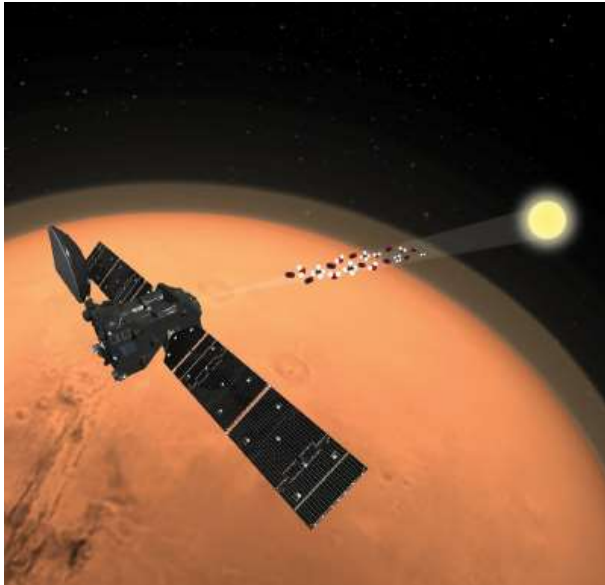
Vous faites bien de le préciser puisque le méthane, il y en a sur certains astres, comme Titan, mais cela n'indique pas qu'il y a de la vie pour autant. Par contre, sur Terre, il y a beaucoup de méthane qui est essentiellement d'origine biologique. Quant à Mars, la chimie de l'atmosphère est telle qu'il ne *devrait pas y avoir* de méthane.

Donc, le fait d'en repérer suppose une source quelconque, une source très intense. Il faudrait par exemple des milliers de volcans en activité, si ce méthane était d'origine volcanique. C'était donc un sujet vraiment intrigant, d'où notre excitation concernant la présence de ce gaz.

En fait, cette question était si intrigante qu'un collègue et moi avons publié un article dans la prestigieuse revue *Nature* intitulé: *Les observations du méthane sur Mars sont incompréhensibles du point de vue chimique et physique*. (C'est rare, notons-le, de pouvoir publier dans *Nature* un article sans résultat scientifique.) Dans cet article, on montrait que la présence du méthane est incompréhensible, qu'elle est inexplicable. La conclusion que nous énoncions était de ce fait: soit qu'on est face à une révolution scien-

tifique ou alors on pourrait être en présence d'un problème technique, c'est-à-dire qu'on croit détecter du méthane alors qu'en réalité, il n'y en pas.

Pourtant, le rover *Curiosity* a bien mesuré du méthane avec un instrument de qualité. Mais on se disait tout de même que ce n'était pas possible...



La sonde *ExoMars TGO* scrute l'atmosphère de Mars en analysant la lumière du Soleil passant à travers elle. De la sorte, TGO est capable de détecter des éléments chimiques en traces infimes.

Alors, qu'a trouvé le *Trace Gas Orbiter*? Eh bien... rien du tout! On a montré qu'il n'y a pas de méthane dans l'atmosphère de Mars. C'est une grande énigme puisque s'il y a des traces de méthane, celles-ci seraient en quantité nettement moindre que ce qu'a mesuré à la surface le rover *Curiosity*.

Vous me direz: oui mais vous, vous observez depuis l'orbite l'atmosphère de Mars, et non pas à la surface comme le fait *Curiosity*? C'est exact. Cependant, notre compréhension de l'atmosphère de Mars nous indique qu'elle doit être bien mélangée; si donc il y a du méthane, on devrait le voir même depuis l'orbite.

J'ai néanmoins très confiance en mes collègues américains puisqu'ils utilisent un instrument très précis et ils sont convaincus que celui-ci détecte du méthane. Mes collègues sont assez lucides et ne sont pas dogmatiques; ils tentent donc de comprendre pourquoi ils repèrent du méthane alors qu'il n'y en pas.

En ce qui concerne le *Trace Gas Orbiter*, je ne crois pas qu'il puisse s'agir d'une erreur d'instrumentation, car ce sont en fait deux instruments différents, gérés par des équipes complètement indépendantes qui ne mesurent pas de méthane, ni l'un ni l'autre, selon des méthodes différentes.

Je crois donc qu'il n'y en pas, que c'est une illusion. C'est mon hypothèse favorite. Mais il nous faut néanmoins résoudre le problème: qu'est-ce qui fait que *Curiosity* détecte du méthane?

**Cela reste donc un mystère à résoudre. Il n'y a donc pas de méthane...**

Pourtant *Curiosity* en mesure! On est en quelque sorte passé d'un mystère scientifique à un mystère plutôt technique: pourquoi *Curiosity* voit-il du méthane et pas le *Trace Gas Orbiter*, sachant que ce dernier est peut-être cinquante ou cent fois plus sensible que *Curiosity*? Avec TGO, on mesure des traces de gaz avec une précision diabolique! Si donc il y avait du méthane, on le verrait.

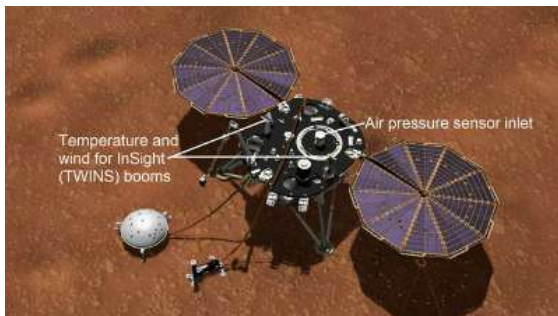
### **InSight: «une station météo juste pour nous!»**

Parmi les missions récentes auxquelles je participe et qui sont encore en fonction, il y a l'atterrisseur *InSight*. Celui-ci s'est posé sur Mars en novembre 2018.

Comme nous l'avons relaté dans notre balado 18 – *Un automne planétaire*, cette sonde américaine sert de plateforme principalement à deux instruments européens: un sismomètre français et un thermomètre allemand, conçus pour mesurer la température interne de la planète.

Pour nous, Français, c'est une mission très importante puisque l'un des deux instruments principaux a été fourni par mes collègues de l'Agence spatiale française. Il s'agit d'un sismomètre.

Mais *InSight*, c'est aussi une station géophysique porteuse d'une excellente station météo. Je m'occupe donc de cette météo, avec quelques collègues. En fait, on a l'impression d'avoir une petite station météo privée, juste pour nous! C'est vraiment très chouette.



La station météo d'*InSight*.

**Qu'est-ce que cette station météo vous a apporté? Qu'avez-vous appris depuis qu'*InSight* est en opération?**

On a déjà cumulé un peu plus d'une année martienne de données, équivalant à près de deux années terrestres.

Au chapitre météo, il y a des choses qu'on savait déjà mais qu'on a pu mesurer en un endroit précis de Mars, ce qui est très intéressant. On étudie entre autres le comportement de certains systèmes météo en mesurant les dépressions et les

anticyclones avec une très grande précision – ce que nous n'avions pas fait depuis la mission Viking des années 1970. Pour nous, c'est intéressant puisque cela nous permet d'étudier un phénomène qui existe sur Terre mais à partir d'un autre monde.

Mars est ainsi un super laboratoire naturel pour tester notre compréhension théorique de la météorologie, de la mécanique d'un fluide comme l'air, etc.

On mesure aussi d'autres phénomènes météo, comme les ondes de marée, on voit les vents, on peut ainsi tester nos modèles avec une très grande précision – les mêmes modèles qu'on utilise ici sur Terre. C'est donc un très bon test pour vérifier que les modèles qu'on utilise sur Terre, par exemple pour prévoir les changements climatiques, fonctionnent bien.

Par ailleurs, notre instrument météo installé sur *InSight* est sans précédent à certains égards parce qu'il a été conçu pour assister le sismomètre. Par conséquent, notre appareil prend des mesures extrêmement précises et à très haute fréquence (à toutes les secondes), ce qui permet d'obtenir beaucoup plus de détails. Cela permet d'une part de vérifier que certains tremblements de Mars enregistrés par le sismomètre ne sont pas de simples rafales de vent. En plus, cela permet d'observer des phénomènes étonnants qu'on a découverts; il s'agit de vibration-pression lors du passage de systèmes convectifs. C'est un peu technique mais scientifiquement parlant c'est passionnant, car il y a des choses bizarres qui se passent dans l'atmosphère de Mars, de petites oscillations sans équivalence sur Terre. Pour un météorologue, c'est extrêmement intéressant... mais pas facile à expliquer. Ça donnera lieu à de bons articles scientifiques!

## En attendant *Al'amal*

Et maintenant, vous participez à la mission scientifique arabe *Al'amal*. Est-ce que tout se passe bien? Nous savons que la sonde s'est placée en orbite autour de Mars à la mi-février. Tout fonctionne bien depuis ce temps, vous recevez des données?

Précisons que la sonde émiratie *Al'amal* (espoir en arabe) a été lancée par une fusée japonaise le 19 juillet 2020. Après sept mois de vol interplanétaire, elle s'est insérée en orbite autour de Mars le 9 février 2021.

Dans un premier temps, elle s'est placée sur une orbite très elliptique, dont l'altitude variait de 1000 à 49 380 kilomètres et faisant un angle de 20° par rapport à l'équateur martien. Depuis ce jour, la sonde utilise régulièrement ses moteurs-fusée afin de parvenir à son orbite scientifique, dont l'altitude variera de 20 000 à 43 000 kilomètres.

Tout se passe bien, même si on n'a pas encore reçu beaucoup de données parce qu'on est en train de finaliser la mise à poste de la sonde sur son orbite scientifique.

Ce qui s'est passé, c'est que lorsque la sonde est arrivée à Mars, elle est passée proche de la planète et a freiné durant presque trente minutes en allumant son moteur-fusée. Elle a donc été capturée par Mars. Ensuite, il y a une série de modifications de trajectoire; de temps à autre, on allume le moteur-fusée de la sonde afin de parvenir à l'orbite finale.

Ce qui fait l'originalité de cette mission, c'est le fait que les Arabes ont conçu

un engin très astucieux, doté d'instruments pas très innovants mais qui observeront la planète depuis une orbite haute, elle demeurera ainsi toujours à bonne distance de Mars [contrairement aux autres sondes orbitales qui l'ont précédée].



La sonde arabe *Al'amal* (espoir).

*Al'amal* prendra par conséquent de très belles images de la planète. Nous allons voir le disque de Mars, des croissants de la planète, etc. Et on demeurera toujours entre 20 000 et 40 000 kilomètres de Mars, une planète qui, par ailleurs, ne fait que 6400 kilomètres de diamètre. On la verra donc dans son entièreté.



La sonde *Al'amal* devrait prendre des clichés semblables à celui-ci, qui nous feront voir la planète dans son ensemble.

Et grâce aux instruments conçus pour observer l'atmosphère dont est dotée la sonde, on pourra mener des études de météorologie tout à fait originales comparées à ce qu'on a fait. Jusqu'à présent, on a plutôt observé Mars depuis des orbites basses, on a ainsi observé l'atmosphère par tranche, et non pas dans son entièreté. Voilà ce qui fait l'originalité de cette mission.

## Premières photos prises par la sonde *Al'amal*



Voici la première photo de Mars transmise par la sonde émiratie *Al'amal* le 10 février 2021, soit au lendemain de son arrivée à Mars. La sonde se trouvait alors à 27 700 km d'altitude de la planète. Le pôle nord est visible en haut à gauche de la photo.

Cette autre photo, prise le 25 février 2021, met en évidence *Olympus Mons*, le plus gigantesque volcan du Système solaire (visible sur la droite). Ce volcan, qui fait 650 kilomètres de diamètre et 21 km de hauteur, a été photographié par la sonde alors qu'elle se trouvait à 13 000 km d'altitude.



L'équipe émiratie de la mission *Al'amal*, les hommes en blanc, les femmes en noir.

# Conclusion

## Vous envoleriez-vous pour Mars?

Nous arrivons au terme de notre entretien et je ne puis m'empêcher de vous poser la question. Nombreux sont ceux et celles qui rêvent du jour où nous organiserons une expédition habitée vers Mars, avec toutes les contraintes que cela exige... Mais vous, si on vous offrait la possibilité de vous envoler pour Mars, iriez-vous?

Moi, à titre personnel, oui. Comme je l'ai évoqué au début, je suis un explorateur. J'adore cela. J'ai une passion pour l'exploration. Et bien entendu, l'exploration ultime pour moi, ce serait d'être astronaute, d'aller sur la Lune, sur Mars... Ce serait formidable!

Mais je me trouve à être de la génération des Européens qui n'a pas eu la chance de poser sa candidature comme astronaute. Je ne pense pas que j'aurais été sélectionné mais, hélas, je suis dans une tranche d'âge où le dernier recrutement remonte à trop longtemps, tandis qu'à l'occasion du plus récent, j'étais déjà trop vieux! Mais ce n'est pas grave, car je ne pense pas que j'aurais été sélectionné.

Mais quoi qu'il en soit, je serais partant pour une expédition vers Mars!

Il n'y a pas eu, malheureusement pour François Forget, de recrutement d'astronautes français entre 1990 et 2009.

Toutefois, je me dois de préciser que l'exploration de Mars ne se justifie pas à elle seule pour la science. C'est-à-dire que tout projet astronautique – la Station spatiale internationale, la Lune ou Mars – coûte extrêmement cher et la science ne peut les justifier à elle seule. Je ne puis

pas dire à un collègue médecin ou physicien: «Écoutez, c'est très bien vos études sur le cancer ou à propos des particules élémentaires, mais ce qui est plus important encore, ce sont les cailloux martiens»... au coût de centaines de milliards!

Par contre, il y a d'autres motivations pour faire de l'astronautique, pour envoyer des hommes dans l'espace. Il s'agit notamment de grands projets de collaboration internationale qui suscitent des vocations. Beaucoup d'entre nous sont ainsi favorables au fait qu'on se mette tous ensemble pour que des astronautes ambassadeurs se rendent pour nous sur Mars et que nous vivions tous ensemble cette extraordinaire aventure. La partie citoyenne que je suis serait ravie que, pour quelques dollars ou euros par an par personne, on puisse ainsi s'envoler vers Mars.

**Vous seriez donc prêt à accepter tous les sacrifices qu'impose un voyage vers Mars – s'absenter de la Terre durant deux bonnes années, être coupé de vos proches durant deux ans, etc.? Ce sacrifice vaudrait la peine pour vous?**

En fait, c'est facile à dire pour moi puisque maintenant, cela ne m'arrive pas! Mais lorsque j'étais un peu plus jeune et que j'aurais eu l'opportunité, je suis certain que j'aurais été volontaire! ▢

# Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

# Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*

|  |  |   |  |   |
|--|--|---|--|---|
| <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 16</p> <p>ALEXEI LEONOV</p>  <p>Le cosmonaute aux sept vies</p>                                      | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 17</p> <p>PARLOUS DE... CAPSULES SPATIALES</p>  <p>Pourquoi visiter les autres planètes ?</p>                  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 18</p> <p>FRINGE, LA PARACHUTE RECHUËTE DE LA VOI... 1968</p>  <p>Quand on n'a pas son parachute</p>              | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 19</p> <p>LA GRANDE PEUR DE 1910</p>  <p>Quand le passé est garant de l'avenir</p>  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 20</p> <p>PHOTONS D'EXPLORATION, LES ASTÉROÏDES</p>  <p>Et petits astères, qu'il nous surveillent tout le temps</p>   |
| <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 21</p> <p>DES DIÈES PAS COMME LES AUTRES...</p>  <p>Quand on ne sait rien, même pas qu'on est là</p> | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 22</p> <p>PRELUDES À APOLLO 11</p>  <p>La grande Fête de la course à la Lune</p>                               | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 23</p> <p>APOLLO 11 DANS LES CORRIDORS DE L'HISTOIRE</p>  <p>Et qu'on n'a pas souvent raconté...</p>              | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 24</p> <p>NOTRE UNIVERS, BILAN, MYSTÈRES ET... (SPOILER ALERT!)</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p> | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 25</p> <p>NOTRE UNIVERS, BILAN, MYSTÈRES ET... (SPOILER ALERT!)</p>  <p>À la frontière de nos connaissances... et même au-delà!</p>                         |
| <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 26</p> <p>LES SURPRISES DE L'ÉTÉ 2019</p>  <p>Des surprises pour les amateurs de l'espace</p>      | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 27</p> <p>POURQUOI MARS...</p>  <p>... nous obsède-t-elle autant?</p>  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 28</p> <p>OU EN SERONS-NOUS EN 2040?</p>  <p>Comment sera-t-elle l'habitation des premiers humains du Qatar</p> | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 29</p> <p>L'ASTRONOMIE PAR L'IMAGE</p>  <p>Avec un grand télescope spatial</p>  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 30</p> <p>LA LUNE, CETTE INCONNUE</p>  <p>On croit tout savoir à son sujet... Mais non</p>  |
| <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 31</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>1<sup>er</sup> partie: le Grand Tour</p>       | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 32</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>2<sup>e</sup> partie: destination Jupiter et Saturne</p> | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 33</p> <p>LA VOIE LACTÉE: MYSTÈRE DE L'UNIVERS</p>  <p>Le plus grand système de galaxies connues à ce jour</p>  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 34</p> <p>ET SI ÇA C'ÉTAIT PASÉ AUTREMENT...</p>  <p>Pourquoi la course à l'espace s'est-elle terminée en 1972</p>                | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 35</p> <p>1789, 2020, 4 L'AVENIR DE LA PLANÈTE MÈRE</p>  <p>À la recherche d'un air et de vie</p>   |
| <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 36</p> <p>LES MEILLEURES PLANÈTES INCROYABLES</p>  <p>Une diversité à n'en pas finir...</p>        | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 37</p> <p>LA GRANDE EXPÉDITION DES VOYAGERS</p>  <p>3<sup>e</sup> partie: aux confins du système solaire</p> | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 38</p> <p>LES GALAXIES AUX FRONTIÈRES DE LA COSMOLOGIE</p>  <p>Comment se fait-il que nous existions?</p>       | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 39</p> <p>LE SYSTÈME SOLAIRE N'EST PLUS CE QU'IL ÉTAIT</p>  <p>Notre univers spatialement...</p>                                  | <p><b>VOYAGE DANS L'ESPACE</b> Episode 40</p> <p>LE MÉTIER D'ASTRONAUTE</p>  <p>Après 40 ans de la NASA, un portrait de Claude Laffont</p> <p>Chapitre 3 Les multiples chemins vers l'espace</p> |

Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.

## Les Fascicules de *Voyage dans l'espace*



Note: les fascicules ci-dessus accompagnent les balados *Voyage dans l'espace* mais ce ne sont pas tous les balados qui sont accompagnés par un fascicule. Il «manque» donc des numéros.