

Un océan martien a peut-être aussi existé. Dès 1973, Henry Faul, de l'Université de Pennsylvanie, l'a proposé dans un article au titre romantique : *La falaise de Nix Olympica*. Les observations disponibles à l'époque n'ont convaincu aucune revue scientifique de le publier, mais les informations acquises durant les missions *Viking* lui ont redonné du crédit.

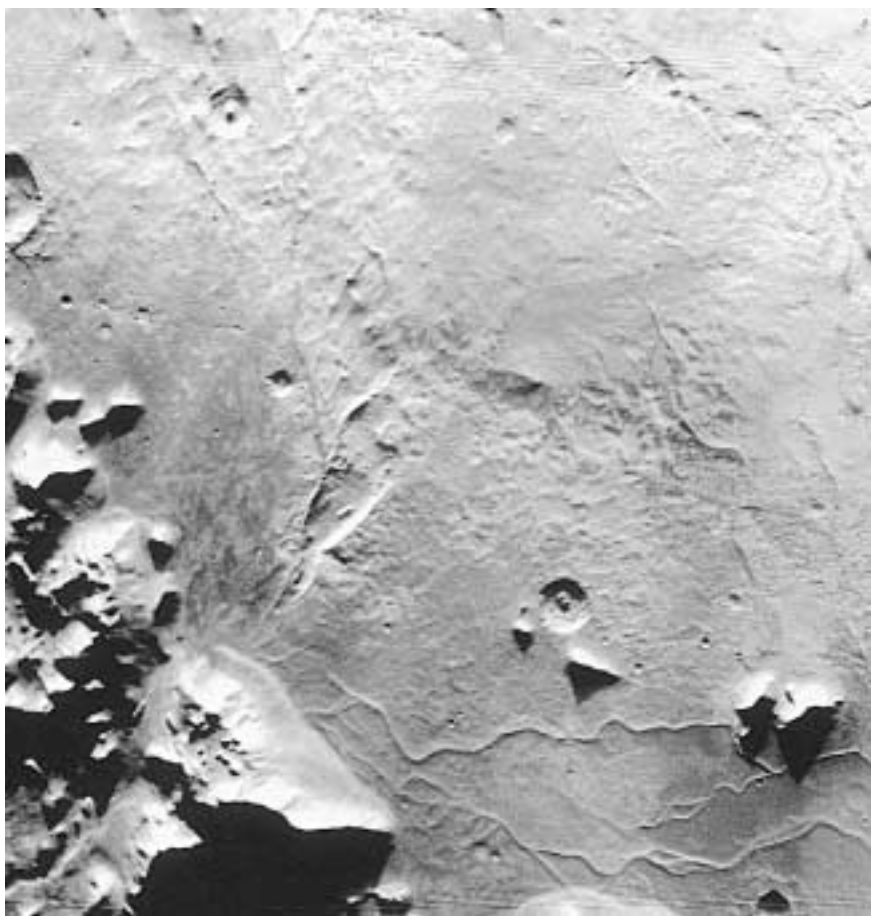
Ainsi, en 1989, Timothy Parker et ses collègues du Laboratoire de propulsion spatiale de Pasadena observèrent que de nombreuses formations, dans les plaines nordiques, paraissaient résulter d'une érosion côtière et reformulèrent l'hypothèse d'un océan septentrional, en la cachant derrière le titre banal de *Morphologie de transition dans la région occidentale Deuteronilus Mensae de Mars : conséquences pour la modification de la limite entre les basses et les hautes terres*. Le titre de leur article suivant, *Géomorphologie côtière des plaines septentrionales de Mars*, était plus explicite. Nous avons nommé Oceanus Borealis cet océan qui couvrirait probablement une superficie quatre fois supérieure à celle de l'océan Arctique, et nous avons proposé un modèle des cycles de l'eau sur Mars qui prend en compte cet océan. La plupart des planétologues admettent aujourd'hui que de vastes étendues d'eau se sont formées périodiquement dans les plaines septentrionales de Mars, mais peu acceptent qu'il y ait eu un véritable océan. Selon certains, il ne s'agissait que d'un océan de boue.

La nature des roches martiennes témoigne aussi de la présence passée d'eau sur la planète : de la Terre, la spectroscopie de Mars révèle la présence de minéraux argileux, et les deux sondes *Viking* qui se posèrent sur Mars découvrirent que le sol contient de 10 à 20 pour cent de sels. Les roches martiennes, comme les roches terrestres, forment des minéraux argileux et des sels par des réactions chimiques en présence d'eau.

Comment étudier ces roches ? En recueillant des roches martiennes qui ont été éjectées dans l'espace par les impacts d'astéroïdes ou de comètes et qui sont ensuite tombées sur la Terre. Selon Allan Treiman, de l'Institut d'études lunaires et planétaires de Houston, et James Gooding, de la NASA, des minéraux de certaines de ces météorites sont altérés chimiquement en présence d'eau salée froide, alors que d'autres le sont par des solutions hydrothermales



Bradford Washburn, avec l'aimable autorisation de Panopticon Gallery



NASA

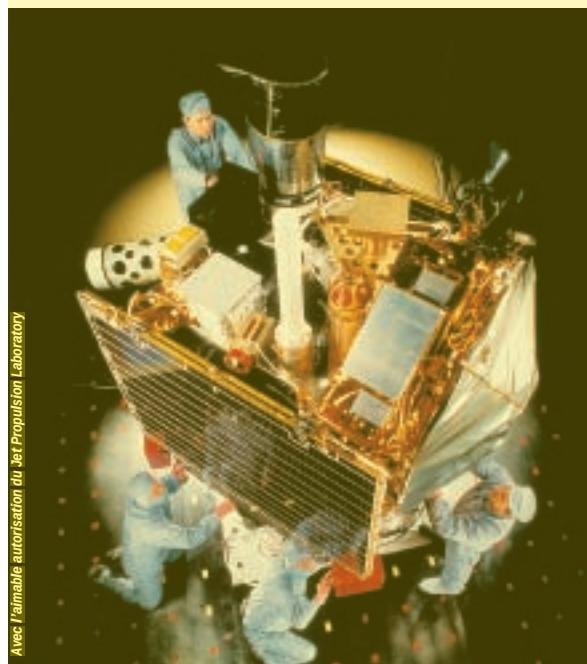
6. LES ESKERS sont des rides sinueuses, composées de sable et de gravier, qui sont déposées par les cours d'eau qui coulaient sous une couche de glace. Ils décorent le paysage près de la pointe d'un glacier dans la vallée de Tasnuna, en Alaska (*en haut*). Des eskers semblent aussi exister au fond du bassin d'Argyre, sur Mars (*en bas*), indiquant que des glaciers en fusion ont jadis couvert la région.

La procession des sondes martiennes

Huit programmes scientifiques d'exploration de Mars sont en cours ou en préparation (la mission russe *Mars '96* s'est perdue lors de son lancement, le 16 novembre 1996). La première sonde *Mars Global Surveyor* (ci-dessous, en haut) a été lancée le 5 novembre 1996 ; au cours de l'été 1997, elle se placera en orbite autour de Mars et dressera une carte précise de la surface.

Le 4 décembre 1996, la NASA a lancé *Mars Pathfinder*, qui se posera dans l'embouchure d'un ancien chenal d'écoulement, le 4 juillet 1997. Cet «amarsissage» se déroulera 21 ans, jour pour jour, après l'arrivée de *Viking 1* sur la planète rouge. *Mars Pathfinder* libérera un petit véhicule à six roues (ci-dessous, en bas) qui explorera les environs immédiats de la sonde.

Au cours des dix prochaines années, quatre vaisseaux spatiaux se placeront en orbite autour de Mars, et quatre sondes devraient se poser sur la planète (calendrier à droite). Une mission de récupération d'échantillons était prévue pour 2005,



Avec l'aimable autorisation du Jet Propulsion Laboratory

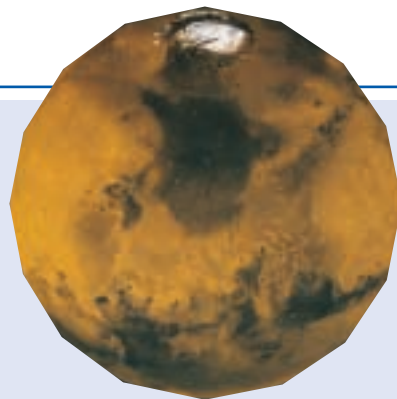
MARS SURVEYOR est ici en cours de préparation.

mais, après la découverte de possibles traces microscopiques de vie martienne, la NASA envisage d'accélérer ce projet. Une telle mission est toutefois techniquement complexe : la sonde transporterait assez d'hydrogène comme combustible pour le voyage de retour, mais elle devrait se réalimenter en oxygène, sur Mars : elle dissocierait le dioxyde de carbone, abondant et facilement accessible dans les dépôts gelés.



Avec l'aimable autorisation du Jet Propulsion Laboratory

CE ROBOT MOBILE explorera la surface de Mars.



Calendrier des missions vers Mars

5 novembre 1996 (États-Unis)

Mars Global Surveyor

La NASA a envoyé un vaisseau spatial qui se placera en orbite autour de Mars et effectuera un relevé de la surface de la planète. Il arrivera en juillet 1997.

4 décembre 1996 (États-Unis)

Mars Pathfinder

Cette sonde se posera dans un ancien chenal d'écoulement le 4 juillet 1997 ; elle libérera un robot mobile qui explorera le site.

1998-1999 (États-Unis)

Mars Surveyor

Une sonde en orbite poursuit les observations en insistant sur la localisation des dépôts isolés de dioxyde de carbone en surface. Un module explore la région polaire australe.

1998-1999 (Japon)

Planète B

Un satellite explore la haute atmosphère de Mars.

2001 (États-Unis)

Mars '01

Un satellite et un module poursuivent des études de la surface de Mars.

2001 (Russie)

Mars '01

Un ou plusieurs modules, avec peut-être des véhicules mobiles, explorent la surface.

2003 (États-Unis)

Mars '03

Un satellite restera en orbite et une sonde se posera pour explorer des régions qui pourraient avoir abrité la vie.

2005 (États-Unis)

Mars Surveyor '05

Un vaisseau spatial se posera, recueillera des échantillons et les rapportera sur Terre.

plus chaudes. Ils en déduisent que Mars a eu un climat relativement chaud et humide, et que des sources chaudes auraient jailli à sa surface.

Le climat martien a-t-il un jour été propice à la vie? L'équipe de David McKay, de la NASA, a répondu positivement à cette question après avoir découvert, dans les fissures d'une météorite martienne de 3,5 milliards d'années, des composés organiques, des carbonates, des sulfures de fer et de la magnétite dont ils attribuent la formation à l'activité de micro-organismes. Ces conclusions sont toutefois vigoureusement contestées.

Le destin de l'eau

Qu'est devenue l'énorme quantité d'eau qui a un jour coulé à la surface de Mars? Une partie peut s'être infiltrée dans le sous-sol et avoir gelé dans le pergélisol; une autre peut s'être figée sur place (elle serait cachée sous un manteau de poussière et de sable, sur la majeure partie du sol des plaines septentrionales); une autre encore peut s'être évaporée, avant de se perdre dans l'espace ou de retomber en neige aux pôles.

Indépendamment, des physiciens ont étudié les isotopes de l'hydrogène dans la vapeur d'eau martienne et ils ont conclu que des quantités considérables de vapeur d'eau se sont échappées dans l'espace au cours du temps. Ce résultat théorique s'accorde avec la détection, par des sondes spatiales soviétiques, d'atomes d'oxygène et d'hydrogène (provenant de la dissociation de la vapeur d'eau par le rayonnement solaire) qui s'éloignent de Mars. La perte continue de ces éléments signifie qu'à une époque Mars contenait assez d'eau pour remplir Oceanus Borealis.

L'eau n'est pas la seule substance perdue par Mars : le dioxyde de carbone qui s'en est échappé aurait constitué une épaisse atmosphère, responsable d'une pression en surface trois fois supérieure à celle qui existe à la surface de la Terre. L'effet de serre créé par ce gaz aurait alors réchauffé la plupart de la surface de Mars au-dessus de 0 °C. C'est un élément supplémentaire en faveur de l'hypothèse d'un climat martien passé plus chaud et plus humide qu'aujourd'hui.

Quand et pendant combien de temps ce climat chaud et humide a-t-il régné sur Mars? Plusieurs périodes de réchauffement se seraient produites : la perte continue d'eau et de dioxyde

de carbone font supposer que le premier milliard d'années de l'existence de Mars fut relativement chaud et humide, mais certaines périodes chaudes seraient plus récentes. Selon Timothy Swindle, de l'Université d'Arizona, les minéraux d'une météorite martienne produits par altération aqueuse se seraient formés il y a 300 millions d'années à peine (avec toutefois une grande incertitude).

Si la morphologie martienne a été produite par des glaciers comme ceux qui existaient lors des périodes glaciaires terrestres, alors les conditions climatiques se sont maintenues quelques milliers d'années, mais pas plus d'un million d'années : notamment, elles n'ont pas duré assez pour que l'érosion efface les cratères d'impacts météoritiques, comme sur Terre. S'il n'y a pas eu d'érosion glaciaire généralisée, ces durées doivent être multi-

pliées par 10 ou par 100. En outre, au tout début de l'histoire de la planète, il y a quatre milliards d'années, avant la formation des cratères visibles aujourd'hui, l'érosion a pu durer plus longtemps, lissant le visage de Mars. En entrant dans l'âge mûr, ce visage est devenu froid, sec et grêlé, rajeuni seulement en certains endroits par de courtes périodes plus chaudes.

Mécanique céleste

D'où proviennent ces variations climatiques? Peut-être des variations de l'obliquité, c'est-à-dire de l'inclinaison de l'axe de rotation par rapport à la perpendiculaire au plan orbital. L'obliquité de Mars, comme celle de la Terre, est aujourd'hui d'environ 24 degrés. Jacques Laskar et Philippe Robutel, du Bureau des longitudes, ont calculé que cette inclinaison peut varier suivant



Avec l'aimable autorisation de Victor R. Baker



NASA

7. DES COLLINES EN FORME DE LARME, sculptées par les inondations du lac glaciaire Missoula, apparaissent dans le sol parsemé de vallées et de chenaux de l'Est de l'État de Washington (en haut). De telles collines effilées parsèment le fond des vastes chenaux d'écoulement sur Mars, se formant communément derrière des bords surélevés de cratères (en bas).