

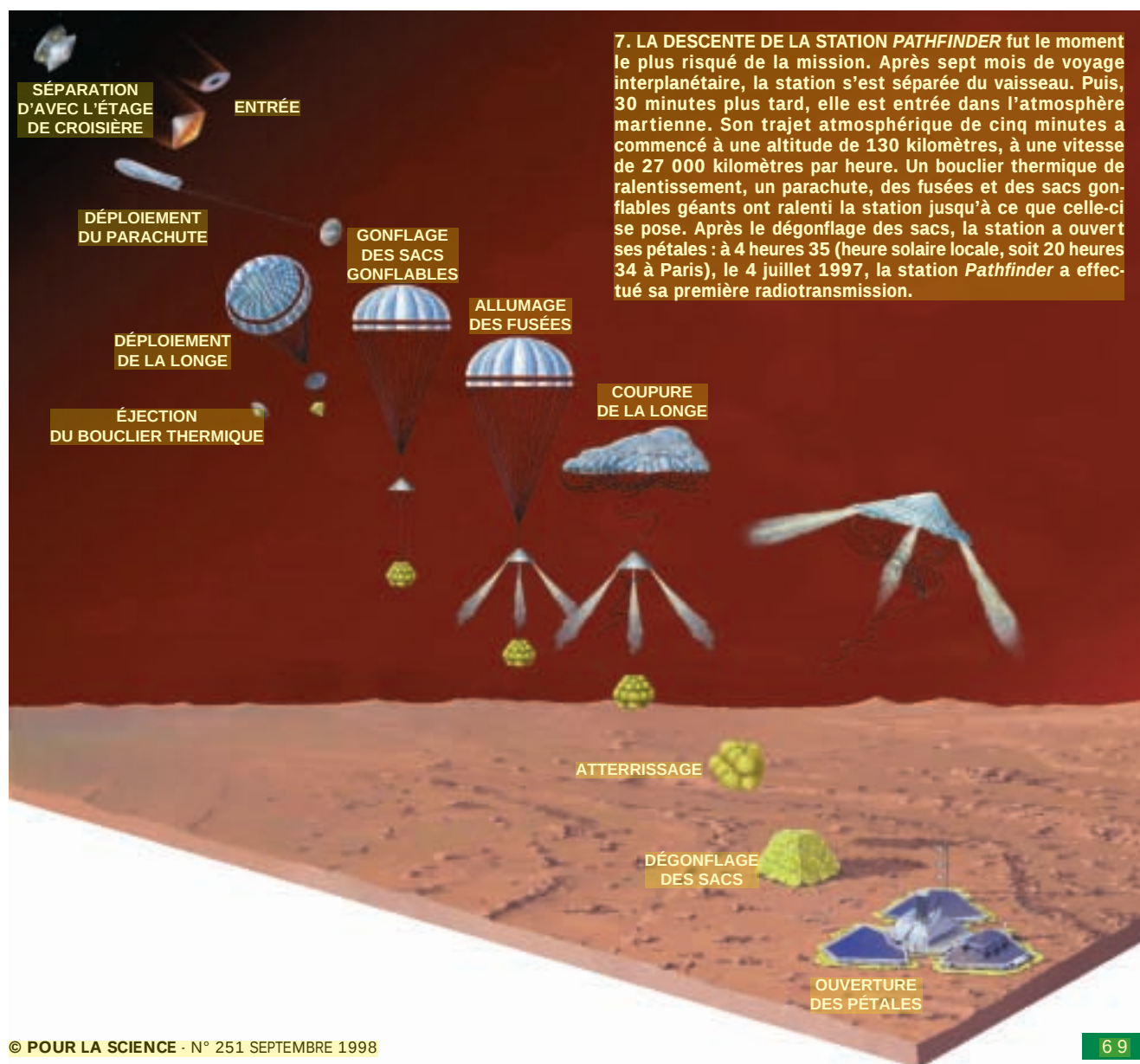
d'un oxyde de fer très magnétique, la maghémite. Cette découverte est un argument supplémentaire en faveur d'un passé humide : la dissolution dans l'eau des matériaux de la croûte aurait libéré le fer, et la maghémite serait un précipité obtenu par congélation et dessiccation.

Le ciel de Mars a la même couleur de caramel que sur les images provenant des stations *Viking*. D'après des images du télescope spatial *Hubble*, on avait imaginé, à tort, que l'atmosphère était très claire et pouvait même apparaître bleue pour un observateur à la surface de la planète. En fait, soit l'atmosphère contient toujours une fine poussière soulevée par des tempêtes locales, soit l'opacité atmosphérique varie notablement sur des intervalles courts. La sonde a mesuré la taille (environ un micromètre) et la forme des particules, ainsi que la



NASA/Jet Propulsion Laboratory

6. CE CONGLOMÉRAT PRÉSUMÉ est, jusqu'à présent, la preuve la plus convaincante d'un passé martien chaud et humide. Ce rocher nommé Ender présente des alvéoles et des inclusions de galets : il se serait, comme d'autres rochers, formé dans un courant d'eau. La station *Pathfinder* est visible en arrière-plan ; le mât ajouré porte la caméra de la station, et le mât de droite porte les capteurs météorologiques.



Tom Moore

quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère (l'équivalent d'un centième de millimètre de pluie sur toute la surface de la planète) : comme les stations *Viking* l'avaient mesuré, Mars est aujourd'hui plus sèche et plus poussiéreuse que n'importe quel désert terrestre.

Les capteurs météorologiques ont enregistré les fluctuations de la température et de la pression. La température atteignait un maximum de -10°C chaque jour à 14 heures (temps solaire local), et un minimum de -76°C , juste avant le lever du soleil. Les températures matinales varient rapidement avec l'heure et avec l'altitude. Les capteurs situés à 0,25, 0,5 et 1 mètre au-dessus de la station mesuraient des températures différentes : sur Mars, le matin, notre nez serait plus froid que nos pieds d'au moins 20°C , parce que l'air, qui se refroidit pendant la nuit, est réchauffé par la surface, d'où il s'élève en petits tourbillons ; l'après-midi, lorsque l'air est réchauffé, la température est homogène.

Une pression minimale, un peu inférieure à 6,7 millibars (environ 0,67 pour cent de la pression atmosphérique terrestre au niveau de la mer), a été atteinte 20 jours martiens après l'atterrissage :



8. CES NUAGES BLEUS, VAPOREUX, dans le ciel crépusculaire de cette photographie prise 39 jours après l'arrivée de la station *Pathfinder* sur Mars, sont probablement composés d'eau gelée. Pendant la nuit, l'eau, présente sous la forme de vapeur dans l'atmosphère, gèle autour de fines particules de poussière ; puis, après le lever du soleil, la glace se sublime. La quantité totale de vapeur d'eau dans l'atmosphère martienne est aujourd'hui faible : si elle tombait en pluie, elle formerait une couche liquide de moins d'un centième de millimètre à la surface de la planète. La station *Pathfinder* a transmis les mêmes images de l'atmosphère que les stations *Viking* il y a plus de 20 ans.

sur Mars, la pression atmosphérique varie avec les saisons, car, pendant l'hiver, 20 à 30 pour cent de l'atmosphère gèle au pôle en une épaisse couche de dioxyde de carbone solide. Ce vingtième jour, l'épaisseur de l'atmosphère était donc minimale, et celle de la calotte polaire maximale. Au début de l'après-midi, des tourbillons de poussière balayaient périodiquement la station, qui a détecté des variations de pression soudaines et brèves, semblables à celles qui avaient été observées par les stations et par les orbiteurs *Viking*. Ces tourbillons seraient une source importante de la poussière dans l'atmosphère martienne. Mis à part ces tourbillons, les vents dominants étaient faibles (soufflant à moins de 36 kilomètres-heure) et variables.

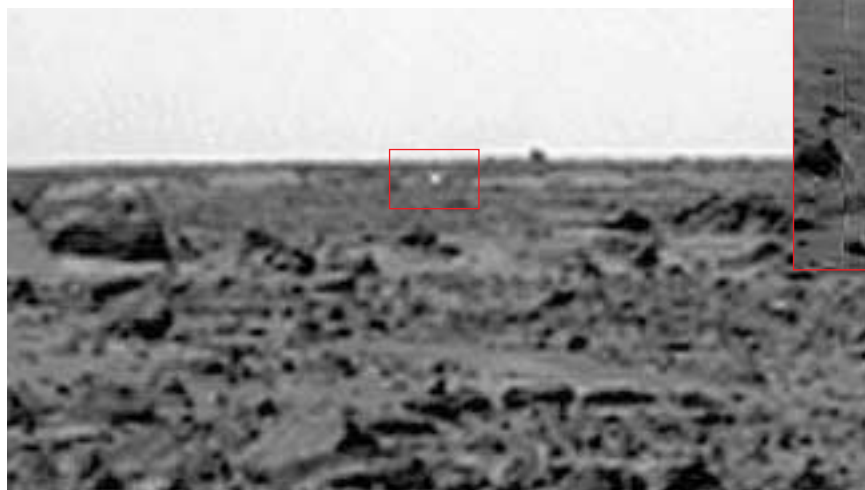
Pathfinder a mesuré les conditions atmosphériques à plus haute altitude, lors de sa descente. La haute atmosphère (au-dessus de 60 kilomètres) était plus froide que ce qu'indiquaient les mesures de *Viking*. Cette différence pourrait sim-

Mars était autrefois plus chaude et plus humide

Les observations de Mars réalisées depuis une trentaine d'années font penser que la planète, au début de son histoire, ressemblait

beaucoup à la Terre, par la présence de pluies, de rivières, de lacs, et peut-être d'un océan. *Pathfinder* a corroboré cette hypothèse (en rouge).

CARACTÉRISTIQUE GÉOLOGIQUE	ORIGINE PROBABLE	INFORMATION
Réseaux de vallées fluviales	Écoulement d'eau souterrain ou d'eau de pluie	Soit l'atmosphère était plus épaisse (permettant les pluies), soit la température interne de la planète, supérieure, a fait fondre le sous-sol (provoquant des crues)
Chenal central ("thalweg") dans des vallées plus larges	Écoulement le long du centre de la vallée	Les vallées se sont formées par écoulement d'eau, pas par glissement de terrain ni par érosion des eaux souterraines
Probables fonds de lacs, avec des réseaux d'écoulement ; dépôts stratifiés dans des canyons	Écoulement vers un lac, par des chenaux	L'eau a existé en surface, pendant une durée inconnue
Zones ressemblant à des grèves et à des plages, et terrasses formées par l'érosion	Ligne côtière possible	L'hémisphère Nord a peut-être porté un océan
Cratères sans bords et terrain ancien fortement érodé	Érosion rapide	Surface altérée par l'eau, y compris par la pluie
Galets arrondis et possibles conglomérats rocheux	Formation de roches dans un courant d'eau	L'eau liquide était stable (l'atmosphère était plus épaisse et plus chaude)
Sable abondant	Action de l'eau sur les roches	L'eau abondait
Poussière fortement magnétique	Taches ou ciment de maghémite (un oxyde de fer) sur des grains de silicate de taille micrométrique	Le cycle hydrologique actif a lessivé le fer des matériaux de la croûte pour former la maghémite



9. DES ÉLÉMENTS DE PATHFINDER apparaissent comme des taches brillantes sur ces images très agrandies. Le bouclier thermique (à gauche) est tombé environ deux kilomètres au Sud-Ouest de la station. Le couvercle arrière (à droite) est posé à un peu plus d'un kilomètre au Sud-Est. Ces points de chute et la position de la station indiquent qu'un vent soufflait du Sud-Ouest.

plement provenir des différences dans la saison et dans l'heure d'arrivée : *Pathfinder* est arrivé à 13 heures (heure solaire locale), tandis que *Viking* est arrivé à 16 heures, quand l'atmosphère était naturellement plus chaude. Pour la basse atmosphère, les mesures des deux missions sont semblables : de la poussière est mélangée uniformément à un air comparativement plus chaud.

Au cœur de Mars

De surcroît, les signaux radio de *Pathfinder* ont permis d'analyser la rotation de Mars. Pendant les communications avec la Terre, un repérage quotidien utilisant l'effet Doppler (qui nous fait entendre plus ou moins aigu le son d'une sirène d'ambulance selon qu'elle s'approche ou qu'elle s'éloigne de nous) et un étalonnage bidirectionnel ont permis de calculer la position de la station à 100 mètres près. En comparant ces mesures avec celles réalisées par *Viking* 21 ans auparavant, nous avons calculé la vitesse de précession de l'axe de rotation de Mars (la précession est le mouvement de rotation de l'axe de rotation de la planète autour de la perpendiculaire au plan de l'orbite). Comme cette vitesse de précession est reliée au moment d'inertie de la planète, nous avons, pour la première fois, calculé ce moment d'inertie.

Ce résultat est important, car le moment d'inertie dépend de la composition interne de la planète, de sorte que nous pouvons maintenant tester des hypothèses sur celle-ci et sur cette composition. Nous supposons, d'après la composition des météorites martiennes, que Mars contenait un noyau métallique ; nous savons main-

tenant que le rayon de ce noyau est compris entre 1 300 et 2 400 kilomètres. En faisant des hypothèses sur la composition du manteau, déduites des compositions des météorites martiennes et des roches mesurées par le robot, les géologues peuvent désormais modéliser et calculer les températures internes.

Les mesures de la vitesse de rotation ont par ailleurs confirmé que celle-ci varie annuellement. Cette variation concorde avec les calculs fondés sur l'échange saisonnier de dioxyde de carbone entre l'atmosphère et les calottes polaires.

Au total, la planète Mars a beaucoup plus ressemblé à la Terre qu'on ne le pensait. Certains matériaux de la croûte ressemblent, par leur abondance en silicium, à la croûte continentale terrestre. En outre, les galets polis, les roches et les abondantes particules de la taille de grains de sable et de poussière confirment l'hypothèse d'un passé où la planète était riche en eau. Mars semble avoir été plus chaude et plus humide, comme la Terre primitive. En revanche, depuis la fin de cette époque, où les crues ont façonné le paysage observé par *Pathfinder* (il y a 1,8 à 3,5 milliards d'an-



10. DES SOLS DE PLUSIEURS COULEURS sont révélés par les roues du robot. Sur cette photographie, le robot gravit la Dune de la Sirène, un empilement de matériaux recouvert de granules sombres de la taille de grains de sable. Les traces des roues découvrent aussi une poussière rouge vif et un sol rouge plus sombre (en bas, à gauche). Les planétologues déduisent de ces traces les propriétés des matériaux de surface.

nées), Mars est une planète très différente de la Terre. Le site semble inaltéré depuis sa formation : il n'y avait pas d'eau sur Mars pendant les périodes récentes. Les informations en provenance du satellite *Mars Global Surveyor*, en orbite autour de la planète rouge, compléteront cette description et apporteront sans aucun doute un nouveau lot de surprises.

Matthew GOLOBEK est responsable scientifique de la mission *Mars Pathfinder*.

Mars, sous la direction de Hugh H. Kieffer, Bruce M. Jakosky, Conway W. Snyder et Mildred S. Matthews, University of Arizona Press, 1992.

Michael H. CARR, *Water on Mars*, Oxford University Press, 1996.

Matthew P. GOLOBEK et al., *Mars Path-*

finder Mission and Ares Vallis Landing Site, in *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, n° E2, pp. 3951-4229, 25 février 1997.

Matthew P. GOLOBEK et al., *Mars Pathfinder*, in *Science*, vol. 278, pp. 1734-1774, 5 décembre 1997.

Jeffrey KARGEL et Robert STROM, *Les changements climatiques sur Mars*, in *Pour la Science*, janvier 1997.