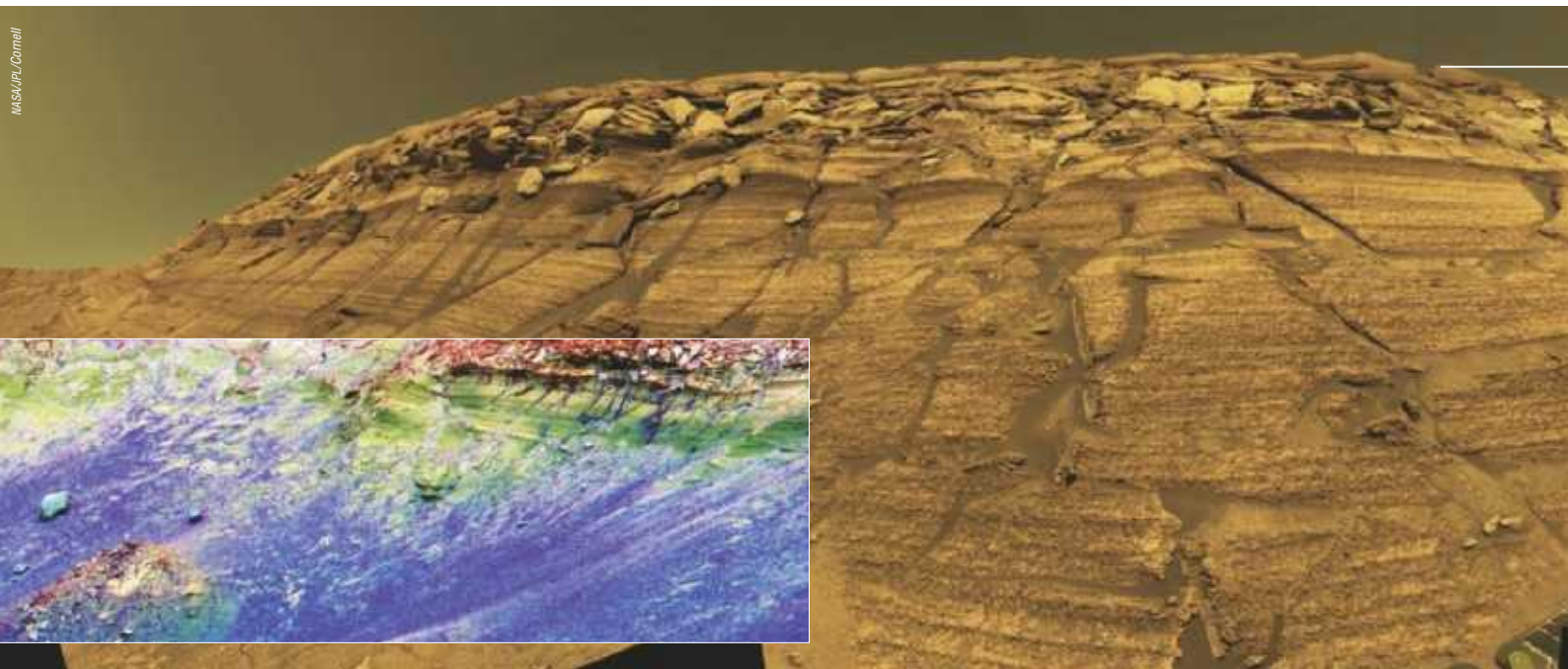




ces roches contiennent néanmoins une quantité significative d'olivine et de pyroxène. De fait, même pour ce qui a pu être un jour le fond d'un lac, l'eau semble avoir joué un rôle mineur au cours des derniers milliards d'années.

Le robot *Opportunity* s'est posé, lui, dans la plaine de *Meridiani*. C'est la première fois que les planétologues choisissaient une zone d'exploration en fonction de sa minéralogie. Les premières missions spatiales vers Mars avaient étudié la composition de sa surface en termes d'éléments chimiques, mais pour identifier les minéraux par leur composition et leur structure cristalline, il a fallu attendre que *Mars Global Surveyor*, l'orbiteur de la NASA équipé du spectromètre à émission thermique TES (pour *thermal emission spectrometer*), atteigne la planète en 1997. Dans les cartes minéralogiques ainsi établies, *Meridiani* se distinguait par son abondance en hématite cristalline, une signature possible de la présence d'eau.

Cet oxyde de fer, commun sur Terre, se forme en effet par différents processus faisant en général intervenir l'eau. L'un d'entre eux est la précipitation de fluides circulant à travers des sédiments ; un autre correspond au dépôt et à la déshydratation de minéraux ferreux riches en eau comme la goëthite, une roche ocre présente dans de nombreux sols désertiques. De surcroît, les roches riches en hématite de la plaine de *Meridiani* semblent s'être finement stratifiées et facilement érodées ; elles reposent sur la couche superficielle plus ancienne et constellée de cratères, ce qui suggère un dépôt sédimentaire ; et elles ont rempli les canaux préexistants ainsi que les régions de basse altitude, ce qui suggère qu'elles ont été déposées par un écoulement d'eau (des cendres volcaniques ou des poussières portées par les vents auraient recouvert l'ensemble du paysage).

Quelques jours après s'être posé, *Opportunity* a confirmé que *Meridiani* s'était trouvée sous l'eau par le passé. Le robot a repéré des affleurements de roches sédimentaires en couches, les premières trouvées sur Mars. Les roches contien-

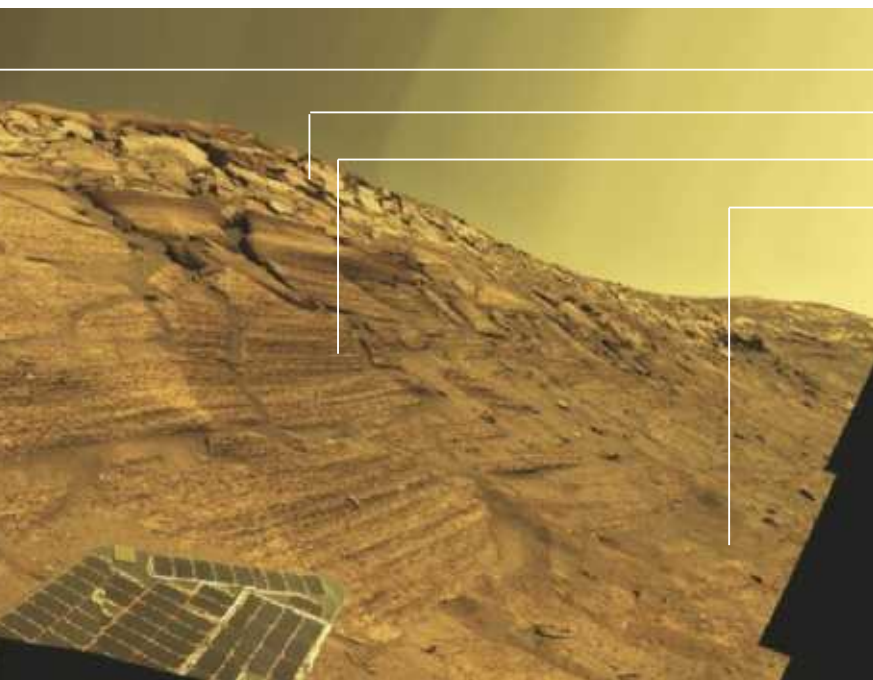
nent tant de sulfate, de 30 à 40 pour cent de leur masse, que seule l'évaporation d'une eau riche en soufre peut en rendre compte. L'hématite est présente sous forme de boulettes de quelques millimètres de diamètre surnommées myrtilles, ancrées dans la roche ou dispersées sur le sol.

Opportunity a exploré pendant six mois un des affleurements, nommé *Burns Cliff*, pour la première fois sous différents angles, à la façon des géologues sur Terre. Les 11 couches visibles se présentent sous la forme d'une série de dunes de sable mouillées par des eaux de surface et de sous-sol. Elles comportent de nombreux grains de sulfates formés par l'évaporation d'eau stagnante, peut-être dans les dépressions (nommées *playas*) entre les dunes. En comparant cela à des phénomènes terrestres similaires, on conclut que les roches de *Burns Cliff* ont dû se former en plusieurs centaines de milliers d'années. Les boulettes d'hématite se sont sans doute formées plus tardivement à partir des fluides riches en fer qui circulaient dans les sédiments.

L'hématite, un marqueur d'eau

Même la morphologie des plaines de *Meridiani*, un des paysages les plus plats de tout le Système solaire, évoque le fond d'un lac. L'étendue de l'hématite suggère que c'était un grand lac isolé ou une petite mer plutôt qu'une partie d'un grand océan. Plusieurs cratères au Sud et à l'Ouest du dépôt principal d'hématite contiennent aussi des roches stratifiées riches en hématite ; peut-être constituaient-ils des lacs séparés. L'eau était, en tout cas, omniprésente dans cette région.

En somme, les deux sondes semblent s'être posées sur deux planètes totalement différentes, l'une plus sèche que tous les déserts de la Terre, l'autre parsemée de lacs. Mars présente-t-elle deux visages très contrastés, ou ses paysages se déclinent-ils à l'infini ? Ces deux sites, séparés par des milliers de kilomètres, représentent-ils l'ensemble du spectre de la composition rocheuse et de l'activité aqueuse sur Mars ?



Sédiments riches en sulfates déposés par l'eau

Sable laminé d'origine éolienne

Sable éolien déposé en couches rugueuses

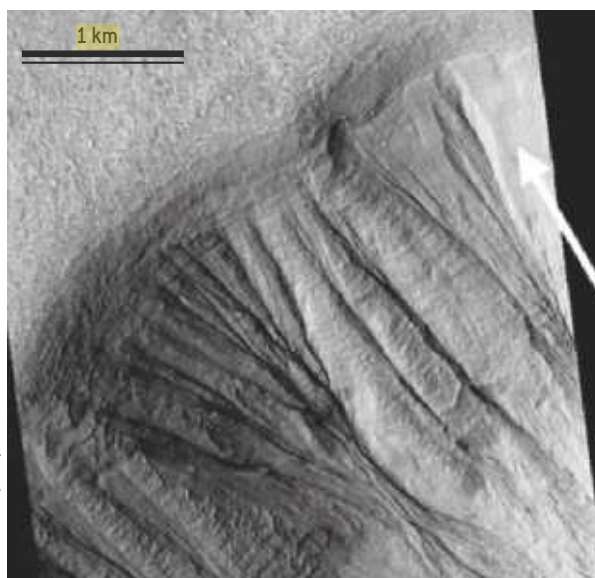
Sable en vrac

2. Burns Cliff est un affleurement rocheux intensivement exploré par le robot *Opportunity*. Cette falaise, haute comme trois étages, forme une partie du bord du cratère *Endurance*, situé à 700 mètres du lieu où s'est posé le robot. Les couches supérieures, comme celles du site d'atterrissage, sont riches en sels de sulfate (en rouge et jaune sur le cartouche en fausses couleurs) et ont probablement été déposées lors des inondations et assèchements successifs de la région. En dessous se trouvent de fines couches rugueuses, composées d'un mélange d'hématite, un minéral lié à l'eau, et de basaltes incompatibles avec l'eau. Il s'agit sans doute d'anciennes dunes de sable restées sèches la plupart du temps, mais situées près d'un grand bassin aqueux. Le fond du cratère est couvert de sable basaltique (en bleu).

Pour répondre à ces questions, les scientifiques se sont replongés dans les données orbitales de *Mars Global Surveyor*.

Depuis huit ans, le spectromètre TES de cet orbiteur scrute les roches et les sables martiens. Il a révélé qu'ils sont constitués presque exclusivement de minéraux volcaniques tels le feldspath, le pyroxène et l'olivine, à savoir les composants du basalte. Au printemps de 2004, l'orbiteur *Mars Express* de l'Agence spatiale européenne, avec son spectromètre OMEGA fonctionnant dans l'infrarouge proche, s'est joint aux efforts et a confirmé la présence massive de ces minéraux. On trouve de l'olivine jusqu'à 4,5 kilomètres sous la surface dans les parois des canyons de *Valles Marineris*, et elle est présente dans toutes les plaines équatoriales, y compris au fond des canaux. La découverte de basalte, roche qui recouvre en grande partie la surface de la Terre et de la Lune, n'a pas été une grande surprise (sur Terre, la lave basaltique, primitive, s'est formée lors de la première fusion du manteau de la planète et continue de jaillir des failles océaniques, créant les fonds marins).

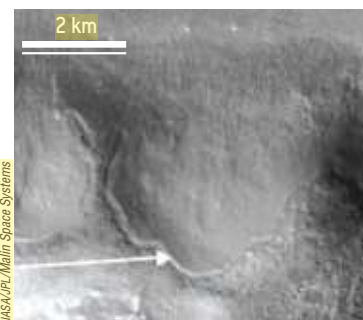
Plus surprenant : alors que les roches des terrains anciens et couverts de cratères sont basaltiques, les roches plus jeunes des plaines du Nord ressemblent à un type de lave plus évolué, l'andésite : elles contiennent davantage de verre et de minéraux riches en silice, mais moins de minéraux ferreux. Sur Terre, l'andésite se forme lorsque les plaques tectoniques mélangent, en plongeant, de l'eau à des roches souterraines fondues. La présence possible d'andésite sur Mars est intrigante. Elle indique peut-être que le manteau martien est plus riche en eau que le manteau terrestre, ou que la lave plus jeune a fondu à des températures, ou pressions, différentes de celles du vieux basalte. Certains scientifiques avancent que les supposées andésites sont en fait du basalte déguisé : un brouillard d'eau ou d'acide aurait réagi avec le minéral pour donner à sa surface une apparence d'andésite. Les planétologues devront attendre des études au sol détaillées de ces roches pour répondre à cette question.



NASA/JPL/Malin Space Systems/P. Christensen



ESA/AFU/BERLIN (G. Neukum)



NASA/JPL/Malin Space Systems

3. L'orbiteur *Mars Odyssey* a détecté des dépôts de neige sur les versants froids des montagnes (flèche blanche en haut et en bas à droite). Cette neige est peut-être à l'origine de l'eau qui a récemment creusé des ravins (en haut). Si des micro-organismes vivent sur Mars, ces névés sont le lieu idéal pour les chercher. La sonde *Mars Express* a pour sa part observé les traces de glaciers récents qui se sont écoulés dans un cratère (à gauche).