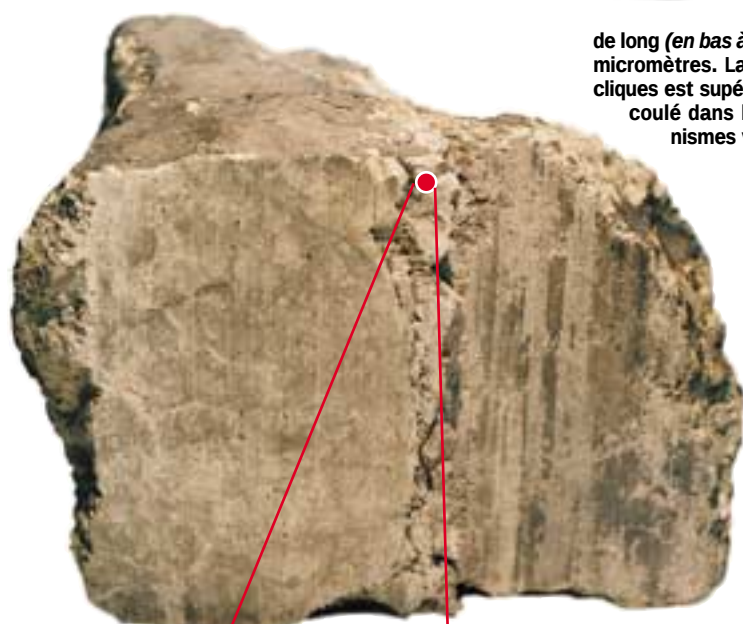




2. LA MÉTÉORITE MARTIENNE ALH84001

est représentée ici grande nature (en haut à gauche). Elle est principalement composée d'un oxyde de silicium nommé orthopyroxène.

La fissure verticale légèrement à droite du centre de la coupe (au centre) est une fracture à travers laquelle un liquide a coulé et a déposé des globules de carbonate. Un morceau de la météorite de deux millimètres de long (en bas à gauche) contient plusieurs globules, d'une dimension d'environ 200 micromètres. La concentration en molécules d'hydrocarbures aromatiques polycycliques est supérieure dans les globules carbonatés et autour d'eux : le liquide qui a coulé dans la fracture aurait contenu des produits de décomposition d'organismes vivants, qui se seraient déposés dans les globules en formation.



eu de l'eau liquide à la surface de Mars : les photographies de la planète prises par la sonde *Viking* et les observations de la mission *Mars Pathfinder*, en 1997, indiquent que de grands volumes d'eau ont sculpté cette surface il y a quelques milliards d'années, voire seulement quelques centaines de millions d'années. En outre, plusieurs météorites trouvées sur Terre et dont l'origine est fort probablement martienne, présentent des signes d'altération par l'eau : elles contiennent des carbonates, des sulfates, des hydrates et des argiles, qui ne se forment qu'en présence d'eau.

La météorite que nous avons étudiée, nommée ALH84001, a une forme de pomme de terre et elle pèse 1,9 kilogramme. C'est l'une des quelques météorites martiennes découvertes depuis le milieu des années 1970 dans l'Antarctique (voir l'encadré page 88) et dont l'origine a été établie par l'analyse isotopique des éléments chimiques constitutifs (les isotopes d'un élément chimique sont ses différentes formes, dont les noyaux atomiques contiennent le même nombre de protons, mais un nombre différent de neutrons). Elle aurait été arrachée de la surface de Mars par un impact violent d'astéroïde, puis capturée par l'attraction terrestre.

Au début des années 1980, Donald Bogard et Pratt Johnson, de la NASA, ont analysé les minuscules bulles de gaz emprisonnées dans les minéraux vitrifiés de plusieurs de ces météorites (cette vitrification aurait eu lieu lors de



collisions de comètes et d'astéroïdes avec les roches de la surface de Mars). Les bulles de gaz contenues dans cinq météorites ont la même composition chimique et isotopique, à un milliardième près, que l'atmosphère martienne analysée par les sondes *Viking*. Comment ne pas admettre que ces météorites proviennent de Mars?

L'hypothèse est corroborée par l'analyse chimique des minéraux et, notamment, par l'analyse isotopique de l'oxygène des silicates, oxydes de silicium qui sont le principal constituant des météorites. Au début des années 1970, Robert Clayton, et ses collaborateurs de l'Université de Chicago, ont montré que les abondances relatives d'oxygène 16, d'oxygène 17 et d'oxygène 18 dans les silicates sont caractéristiques de l'origine des météorites : les corps du Système solaire, formés dans des régions différentes du disque protoplanétaire qui entourait le Soleil au début de sa vie, ont des compositions isotopiques différentes en oxygène. Selon ce critère, on retrouve dans le même groupe ALH84001, les cinq météorites dont les bulles de gaz ont la même composition que l'atmosphère martienne et cinq autres météorites également trouvées dans l'Antarctique : toutes ces météorites seraient donc d'origine martienne.

Un long parcours

L'analyse isotopique permet aussi de reconstituer l'histoire d'ALH84001, avec la formation de la roche sur Mars, son voyage interplanétaire et son séjour sur Terre. Le dosage de trois groupes d'éléments radioactifs (les isotopes du rubidium et du strontium, ceux du néodyme et du samarium, et ceux de l'argon) a montré que 4,5 milliards d'années se sont écoulés depuis que la roche s'est solidifiée, à partir de matériaux en fusion. C'est beaucoup, même à l'échelle géologique : la cristallisation s'est produite peu après la formation de Mars il y a 4,55 milliards d'années. Par comparaison, les 11 autres météorites martiennes du groupe ont entre 1,3 milliard et 165 millions d'années.

La durée du voyage interplanétaire de la météorite est connue grâce à d'autres isotopes : l'hélium 3, le néon 21 et l'argon 38. Dans l'espace, les météorites sont bombardées par les rayons cosmiques, particules de grande énergie, qui produisent ces trois isotopes en interagissant avec les noyaux des atomes. Le calcul des vitesses de production et la mesure des abondances de ces isotopes indiquent la durée d'exposition de la météorite aux rayons cosmiques, donc son temps de transit entre Mars et la Terre : 16 millions d'années.

Enfin Timothy Jull, de l'Université d'Arizona, a estimé la durée de résidence de la météorite dans les glaces de l'Antarctique, à partir de l'abondance du carbone 14. Quand les silicates sont exposés aux rayons cosmiques dans l'espace, du carbone 14 est produit à partir d'azote 14. Puis un équilibre s'établit : cette production est compensée par la désintégration radioactive du carbone 14. Lorsque la météorite tombe sur Terre, la production de carbone 14 cesse, et l'équilibre est rompu : la désintégration dans la roche se poursuit, réduisant de moitié la quantité de carbone 14 tous les 5 700 ans. La différence entre l'abondance du carbone 14 à l'équilibre et celle qui est mesurée aujourd'hui dans les silicates de la météorite indique que cette dernière est sur Terre depuis 13 000 ans.

Dès sa découverte, en 1984, par la géologue américaine Roberta Score, la météorite ALH84001 a passionné les planétologues. De couleur gris verdâtre pâle, elle reposait dans le champ de glace qui se trouve à l'Ouest des monts Allan, en Antarctique. La composition de la roche indique qu'elle s'est formée lentement en profondeur ou dans la croûte primitive de Mars : constituée à 98 pour cent de gros grains d'orthopyroxène, un silicate de magnésium et de fer, elle contient aussi d'autres silicates, des aluminosilicates, des oxydes et des sulfures métalliques, ainsi que des carbonates et des silicates hydratés.

Nous étions surtout étonnés par la présence de globules de carbonate, de 20 à 250 micromètres de diamètre, qui tapissent les parois internes des fissures

de la météorite (voir la figure 2). Aucune des 11 autres météorites martiennes ne possède de tels globules, vraisemblablement déposés à partir d'un liquide saturé en dioxyde de carbone, qui a coulé dans les fissures après la formation des silicates. Ces globules carbonatés rassemblent plusieurs caractéristiques qui, isolément, ne prouvent pas l'existence de vie sur Mars mais qui, toutes ensemble, forment un faisceau d'indices très favorables : une vie microbienne a très certainement été en contact avec la roche, à une époque où le climat sur Mars était plus proche qu'aujourd'hui du climat terrestre.

Des informations précieuses proviennent tout d'abord d'analyses isotopiques, réalisées par Monica Grady, du Muséum britannique d'histoire naturelle, et d'équipes de la NASA et de l'Open University, en Grande-Bretagne. Dans les globules, le carbone 13 est plus abondant que dans n'importe quel carbonate terrestre naturel : ce carbonate ne s'est donc pas formé sur Terre, ni sur Mars. En outre, le carbone 13 est aussi plus abondant dans les globules de carbonate que dans les 11 autres météorites martiennes : cet enrichissement confirme la précipitation du carbonate à partir d'un liquide et non directement à partir de l'atmosphère martienne.

D'autre part, les abondances relatives des isotopes de l'oxygène indiquent que les globules se sont formés à des températures inférieures à 100 °C, compatible avec la vie microbienne telle que nous la connaissons sur Terre (des organismes survivent jusqu'à 115 °C environ). Ce résultat a été confirmé au début de 1997 par John Valley, de l'Université de Madison, mais il a été ensuite contesté par Ralph Harvey et ses collègues de l'Université Case Western Reserve, qui ont analysé la composition chimique des minéraux dans les carbonates et ont conclu que les carbonates se sont formés à 700 °C. Ce résultat contradictoire reste toutefois isolé, et il n'est pas certain que les carbonates analysés par cette équipe proviennent des globules.

Un autre indice de vie martienne est la présence, dans les globules carbonatés, de minéraux dont la nature et



3. UNE GOUTTELETTE D'EAU MARTIENNE a été extraite en 1991 par chauffage d'un morceau d'une météorite martienne. L'eau, qui

coulait jadis à la surface de Mars et n'y est plus présente que sous forme de glace, est indispensable à la vie.

NASA-Johnson Space Center