

La formation du dôme de Tharsis a exercé des contraintes sur la lithosphère, jusqu'à sa rupture et la formation du canyon.

Une autre manifestation volcanique est observable dans Valles Marineris. Il s'agit de filons verticaux, qui s'étirent dans la direction Est-Ouest, parallèles au canyon. Ces filons apparaissent dans la croûte primitive des parois du canyon sous la forme de bandes, longues de plusieurs kilomètres et larges d'environ 50 mètres (voir la figure 2b). Elles sont plus sombres et enrichies en olivine, un minéral silicaté. Ces filons correspondent très certainement à des cheminées volcaniques, nommées dikes, qui pénètrent dans la roche environnante. Le magma monte dans les cheminées puis refroidit ; il cristallise et forme de l'olivine. Ces dikes pourraient aussi expliquer l'empilement de laves observé au sommet des versants. Certaines cheminées ont pu émerger sur la partie supérieure des parois où de la lave s'est répandue.

De tels dikes sont fréquemment observés sur Terre, mais rarement sur de si grandes dimensions. Leur orientation parallèle au canyon suggère un lien avec la tectonique régionale, responsable de la formation d'une grande partie des paysages de Valles Marineris, et du canyon lui-même. La période de formation des dikes n'est pas connue, mais le magma aurait pu s'infiltrer dans des failles créées à la même période que le canyon. Selon Jeffrey Andrews-Hanna, de l'École des mines du Colorado, la dilatation du magma dans les dikes a permis de désolidariser les blocs de la lithosphère. Cela aurait favorisé l'effondrement du bloc central formant le fond du canyon. Les dikes renferment aussi des informations sur la composition primitive du manteau de la planète, où le magma prend sa source.

Manifestation de la tectonique

La tectonique, responsable en grande partie de l'ouverture du canyon, s'exprime aussi par la présence d'autres structures. Noctis Labyrinthus (voir la figure 2), la partie occidentale de Valles Marineris, est un ensemble complexe de dépressions fermées ou reliées par d'étroits couloirs parfois partiellement comblés de dépôts sédimentaires ou de matériau volcanique. Les bords de ces dépressions suivent soit la direction Est-Ouest des failles du graben de Valles Marineris, soit le sens d'un système de failles orien-

BIBLIOGRAPHIE

J. Flahaut *et al.*, **Morphology and geology of the ILD in Capri/Eos Chasma (Mars) from visible and infrared data**, *Icarus*, vol. 207, pp. 175-185, 2013.

J. C. Andrews-Hanna, **The formation of Valles Marineris : 3. Trough formation through super-isostasy, stress, sedimentation, and subsidence**, *Journal of Geophysical Research Planets*, vol. 117, n° E6, 2012.

J. Flahaut, **Minéralogie de Valles Marineris (Mars) par imagerie hyperspectrale : histoire magnétique et sédimentaire de la région**, thèse de doctorat de Université de Lyon 1, 2011.

B. K. Lucchitta *et al.*, **Topography of Valles Marineris : Implications of erosional and structural history**, *Journal of Geophysical Research Planets*, vol. 99, n° E2, pp. 3783-3798, 1994.

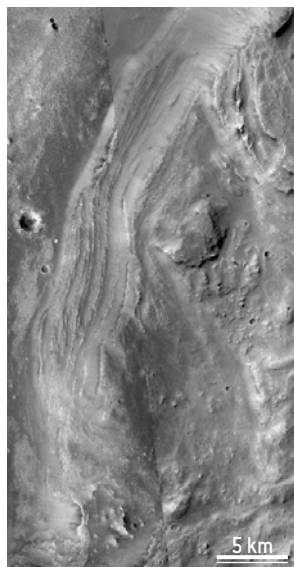
tées Nord-Sud visibles au Nord de Noctis Labyrinthus. L'origine de ces dépressions est encore débattue. Elle serait liée à des forces d'extension de la lithosphère et à un réchauffement de la croûte supérieure par du magma. Ce dernier phénomène aurait entraîné la fusion de glace contenue dans les premiers kilomètres de la croûte. L'eau aurait percolé en profondeur le long des failles d'extension en produisant un effondrement des roches au-dessus. On obtiendrait ainsi cette morphologie de dépressions fermées ou faiblement reliées.

Un sol façonné par l'eau

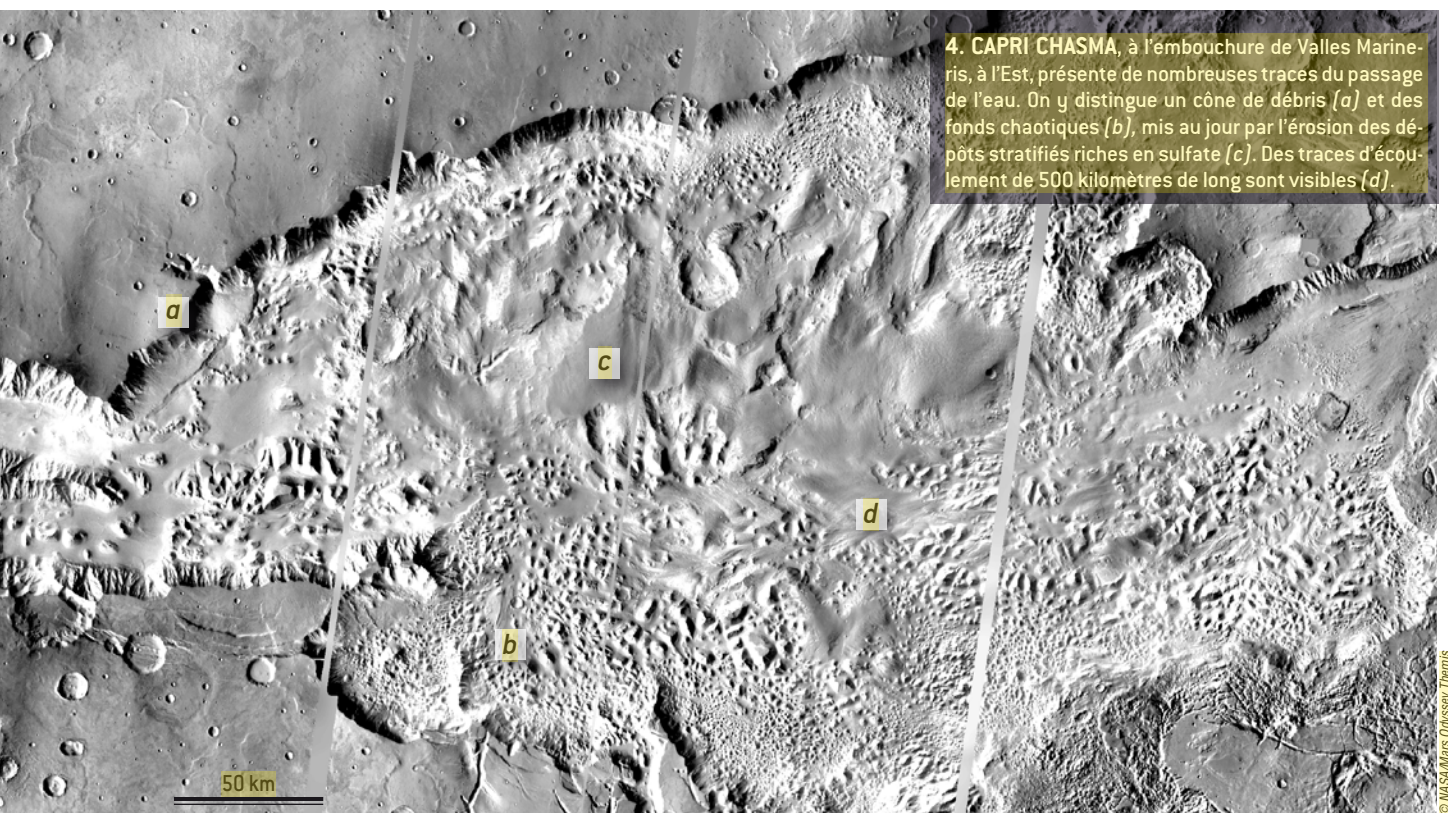
Mais ces témoignages confirment que le volcanisme et la tectonique ont largement participé à façonner Valles Marineris. Cependant, l'eau a aussi modelé ses paysages. Par exemple, les murs du canyon sont parfois recouverts de cônes alluviaux de forme triangulaire, qui prennent leur source dans des vallées nourricières en amont, sur les plateaux (voir la figure 2c). Cette physionomie les distingue des glissements de terrain. Les cônes sont formés d'un amas de matériaux transportés au pied des reliefs par l'eau.

À l'embouchure de Valles Marineris, à son extrémité Est, on observe des terrasses : des zones planes, étagées, ravinées au sein des murs par une activité fluviale soutenue (voir la figure 3).

Cependant, les parois du canyon ne sont pas les seuls témoins du passage de l'eau. L'eau a coulé, érodé, sculpté et redéposé des matériaux à de nombreuses reprises à l'intérieur du canyon. Le fond des chasmata situés à l'Est, tels Capri Chasma et Ganges Chasma, diffère des autres chasmata car il est recouvert d'un ensemble de buttes et de blocs anguleux, de quelques kilomètres d'envergure, formant une topographie rugueuse, ensemble nommé chaos ou fond chaotique (voir la figure 4). Les régions chaotiques sont fréquentes plus à l'Est de Valles Marineris, dans la région de Margarifer Terra, où elles sont observées en association avec des chenaux de débâcle, creusés par des déferlements d'eau. Ainsi, les buttes chaotiques recouvrant le fond de la partie Est du canyon ont été créées lors de brefs et intenses écoulements d'eau, sur et sous la surface, au moment de l'ouverture de Valles Marineris. Ces déferlements d'eau auraient été issus de la fonte de glace sous



3. LES PAROIS DE VALLES MARINERIS, à l'Est, ont été creusées par l'écoulement répété d'eau liquide. Elles ont formé des terrasses.



4. CAPRI CHASMA, à l'embouchure de Valles Marineris, à l'Est, présente de nombreuses traces du passage de l'eau. On y distingue un cône de débris [a] et des fonds chaotiques [b], mis au jour par l'érosion des dépôts stratifiés riches en sulfate [c]. Des traces d'écoulement de 500 kilomètres de long sont visibles [d].

la surface, liée ou non à du volcanisme. Cela a pu déstabiliser le sous-sol, causant l'effondrement des terrains et formant les reliefs accidentés.

Le plus grand réservoir de sulfates de Mars

Les dépôts stratifiés sont les formations les plus énigmatiques de la région. Le sol de presque tous les chasmata, y compris le fond chaotique, est recouvert de ces dépôts stratifiés, épais de plusieurs kilomètres, à sommet plat et à fort albédo. Leur origine est inconnue, mais ces dépôts seraient liés à une sédimentation en milieu lacustre, à l'altération de restes de matériaux constituant les murs des canyons, à la formation d'édifices volcaniques sous-glaciaires, ou à l'accumulation de dépôts éoliens ou volcaniques. Le spectromètre OMEGA à bord de *Mars Express* a montré que ces matériaux sont riches en sulfates. Le volume gigantesque des dépôts fait de Valles Marineris le plus grand réservoir de sulfates à la surface de la planète. La présence de sulfates implique l'action de l'eau liquide au moment ou après la formation de ces sédiments.

L'âge de ces dépôts est mal défini, mais il a été montré que la formation des sulfates est postérieure à l'ouverture du canyon et à la mise en place des fonds chaotiques qui ont été recouverts par les sédiments dans un premier temps. L'activité hydrologique ne s'arrête pas là, puisque les dépôts stratifiés ont été érodés, formant des buttes qui mettent au jour les fonds chaotiques. Bien qu'une grande partie de cette érosion puisse être attribuée au vent, qui laisse des crêtes sur les reliefs et qui accumule les particules les plus fines dans les dépressions, souvent sous forme de dunes, certaines morphologies caractéristiques ne peuvent correspondre qu'à une érosion par l'eau. C'est le cas des gigantesques stries Est-Ouest de Capri Chasma (voir la figure 4d). Ces marques d'écoulement s'étendent sur environ 500 kilomètres de longueur et 40 kilomètres de largeur et se terminent près des terrasses creusées dans les murs à l'embouchure Est du canyon.

L'étude des dépôts montre que la planète a connu un changement de conditions environnementales il y a 3,5 milliards d'années, au moment de l'ouverture du canyon, qui se traduit par une évolution

des types de dépôts sédimentaires. La présence de sulfates au sein de dépôts stratifiés, au cours de l'Hespérien, traduit une altération à pH acide, alors que les argiles détectées dans les laves des terrains noachiens se forment à un pH neutre. Néanmoins, ce changement de chimie en surface ne semble pas lié à un changement climatique brutal, puisque l'eau liquide aurait été présente en abondance dans la région durant tout l'Hespérien. Peut-être une étude plus approfondie de Valles Marineris nous révélera-t-elle les causes de ces modifications environnementales.

La sonde MRO a permis de faire des observations plus détaillées de Valles Marineris et a précisé l'histoire géologique de la région, même si la chronologie des événements qui ont façonné les paysages du canyon n'est pas encore parfaitement établie.

Ainsi, pendant les premiers « âges » de la planète rouge, la croûte primitive se serait formée et la couche d'argile se serait constituée sous l'influence de l'eau. Puis seraient venus les temps des bouleversements géologiques avec les éruptions volcaniques et l'ouverture du canyon. Enfin, l'érosion de l'eau aurait sculpté les parois et le sol de Valles Marineris. ■