

D'autres observations mettent en évidence la différence de composition entre les structures des parois du canyon de l'Est et de l'Ouest, dont la ligne de démarcation passe par Coprates Chasma. Les cratères de météorites de huit à dix kilomètres de diamètre présentent un pic central qui se forme pendant le rebond consécutif à l'impact météoritique. Le pic contient des matériaux du sol provenant d'une profondeur comprise entre une et deux

fois le diamètre du cratère. À l'Ouest, les pics des cratères sont constitués de roches volcaniques, à l'Est de croûte primitive.

L'origine de cette séparation est encore discutée : elle pourrait représenter la limite d'un ancien mégacrater situé à l'Ouest, qui crée un bassin accumulant du matériel volcanique et s'enfonçant à mesure qu'il se remplit, ou bien une mégafaille qui déplace la croûte en profondeur à l'Ouest et la fait remonter en surface à l'Est.

Ainsi, les observations de la paroi permettent d'ébaucher l'histoire géologique de Mars et de Valles Marineris. Suite à la formation de la planète, le magma se serait différencié et aurait formé la croûte martienne il y a quatre milliards d'années. Puis le volcanisme, pendant le pré-Noachien et le Noachien, a recouvert la croûte primitive d'épais dépôts volcaniques. Cette couverture a été plus importante dans la partie Ouest de Valles Marineris.

## L'ÉVOLUTION DE VALLES MARINERIS

Les informations collectées par la sonde MRO et celles qui l'ont précédée permettent de reconstituer les grandes lignes de l'histoire géologique de Valles Marineris. Le canyon s'est formé à l'Est du dôme de Tharsis (a) il y a 3,5 milliards d'années. Cet ensemble volcanique serait à l'origine des forces qui se sont exercées sur la lithosphère (la croûte martienne et la partie supérieure du manteau), dont le comportement est élastique à grande échelle : la lithosphère a dû fléchir sous le poids du dôme de Tharsis et craquer à distance.

L'étude des parois du canyon montre qu'avant la formation de celui-ci, la croûte primitive a subi des altérations dans sa partie supérieure avec la

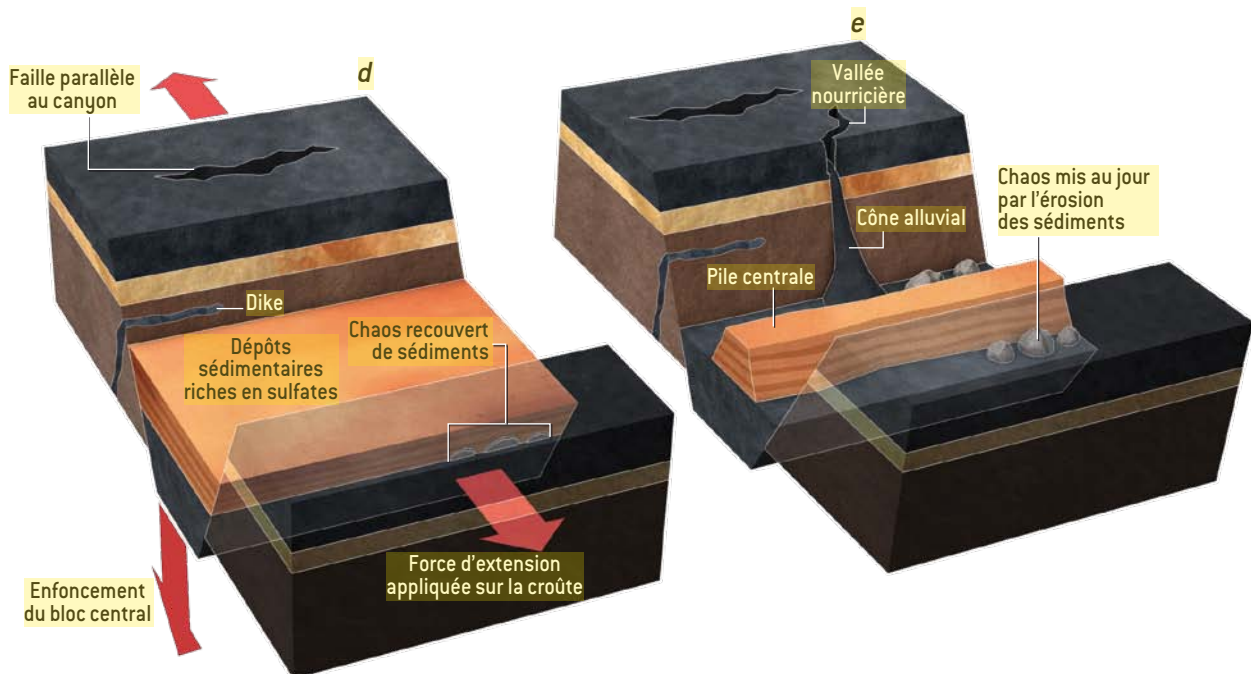
formation d'argile au contact de l'eau liquide (b). Puis à la fin du Noachien, il y a environ 3,7 milliards d'années, l'activité volcanique a recouvert l'ensemble de roche volcanique. La future région Ouest du canyon présente une épaisseur de matériau volcanique plus importante, sans doute parce qu'il existait dans cette zone un bassin qui s'est rempli de roche volcanique et qui s'est affaissé progressivement. La coupe (a) illustre une hypothèse sur la forme du bassin. À l'Est, l'épaisseur de roche volcanique est plus faible (c).

Les différentes forces qui se sont exercées sur la lithosphère ne sont pas encore bien comprises, mais elles ont conduit à un enfoncement

du bloc central, qui constitue aujourd'hui le fond du canyon (d).

Les observations de MRO révèlent de nombreux détails sur Valles Marineris liés à une activité tectonique ou volcanique. On observe, par exemple, des failles et des dikes – des cheminées volcaniques – parallèles au canyon.

Aujourd'hui, l'eau ne coule plus dans le canyon. Mais de nombreuses traces persistent (e) : des traces d'érosion ou encore des cônes de débris. L'analyse des dépôts stratifiés riches en sulfates montre, en particulier, que les conditions environnementales de la planète ont changé il y a 3,5 milliards d'années.



Il y a 3,5 milliards d'années, des forces d'extension ont conduit à l'effondrement du bloc central, découpant des parois inclinées, parfois hautes de dix kilomètres. Des failles parallèles au canyon se sont formées. Les parois révèlent les dikes et leur forme linéaire caractéristique. L'effondrement des sols riches en glace, à l'Est, a créé des chaos, recouverts plus tard par des dépôts stratifiés riches en sulfates.

Les murs du canyon et les dépôts stratifiés ont été façonnés par des écoulements d'eau provenant des éruptions de Tharsis, à l'Ouest, ou du sous-sol. L'eau a aussi déferlé des plateaux par des vallées nourricières, charriant des dépôts qui se sont accumulés au pied des falaises sous la forme de cônes alluviaux.

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.

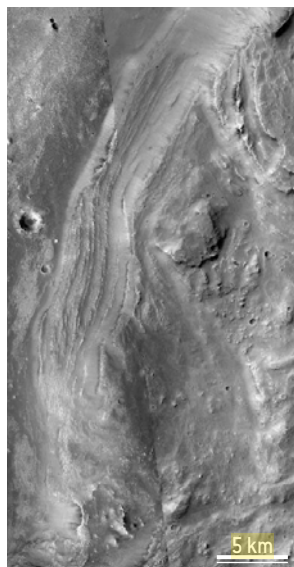
tées Nord-Sud visibles au Nord de Noctis Labyrinthus. L'origine de ces dépressions est encore débattue. Elle serait liée à des forces d'extension de la lithosphère et à un réchauffement de la croûte supérieure par du magma. Ce dernier phénomène aurait entraîné la fusion de glace contenue dans les premiers 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.