

dernier est un graben, c'est-à-dire un fossé d'effondrement bordé de failles qui apparaissent sous l'influence de forces d'extension horizontales appliquées à la lithosphère. Le bloc central s'est affaissé et constitue le fond du canyon. Les blocs voisins forment les plateaux surplombant le canyon. La naissance de Valles Marineris date d'il y a environ 3,5 milliards d'années.

Les parois du canyon permettent de faire de la stratigraphie en étudiant les couches géologiques qui affleurent. En l'absence de bouleversements structuraux, les couches les plus profondes sont les plus anciennes. Ainsi, les roches les plus anciennes sont à la base des versants du canyon, alors que les plus récentes affleurent au sommet des plateaux. En outre, Valles Marineris présente les roches les plus anciennes exposées à la surface de la planète.

L'érosion et la tectonique rendent difficile l'étude de la stratigraphie. Les couches ne sont pas toujours visibles. Souvent, les parois sont le siège d'impressionnants glissements

de terrain (voir la figure 2d). Ces éboulements forment de vastes lobes de débris qui se sont écoulés sur le fond plat du canyon, jusqu'à 100 kilomètres de leur source. Leur forme ne dépend que de la géométrie du canyon, aussi bien pour les glissements de terrain les plus anciens (3,5 milliards d'années) que pour les plus récents (50 millions d'années). Ainsi, les phénomènes qui les ont provoqués sont probablement de même nature. Les volumes déposés s'étendent de 10 kilomètres cubes jusqu'à plus de 5000 kilomètres cubes, et sont donc en moyenne dix fois plus importants que les glissements terrestres. Cela s'explique surtout par une gravité martienne plus faible. Les glissements de terrain se terminent par un bourrelet caractéristique des écoulements de débris rapides, qui se mettent en place à des vitesses de plusieurs dizaines de kilomètres par heure. Cela implique des coefficients de frottement faibles, qui écartent les processus dominés par l'eau.

En certains endroits, l'analyse des strates reste possible et montre une différence

prononcée entre la partie Ouest et la partie Est de Valles Marineris. À l'Ouest, les murs du canyon sont constitués d'un empilement de couches horizontales et parallèles, d'aspect sombre et friable. Ces couches ont été interprétées comme une accumulation de laves et de cendres volcaniques sur plus d'une dizaine de kilomètres de hauteur. Ces laves proviendraient de l'activité des gigantesques volcans du dôme de Tharsis.

Le rôle des volcans

À l'Est, l'empilement de couches volcaniques est limité à la partie supérieure des parois. À la base des versants, on trouve des roches peu communes sur Mars. D'après une étude spectrale qui analyse la lumière réfléchie par les matériaux, ces roches claires et fracturées sont riches en orthopyroxènes. Elles sont similaires à la météorite martienne ALH84001 qui est âgée de plus de 4,1 milliards d'années. Cette météorite et les roches du fond de Valles Marineris pourraient être des échantillons de la



croûte primitive martienne. Cette croûte, qui constitue l'enveloppe la plus externe de la planète, aurait été créée par cristallisation d'un océan de magma se refroidissant peu de temps après la formation de la planète.

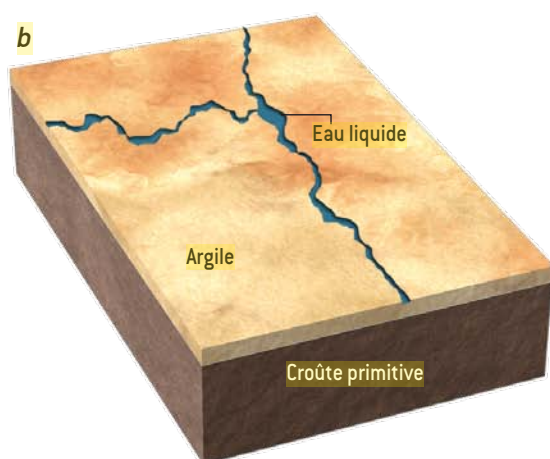
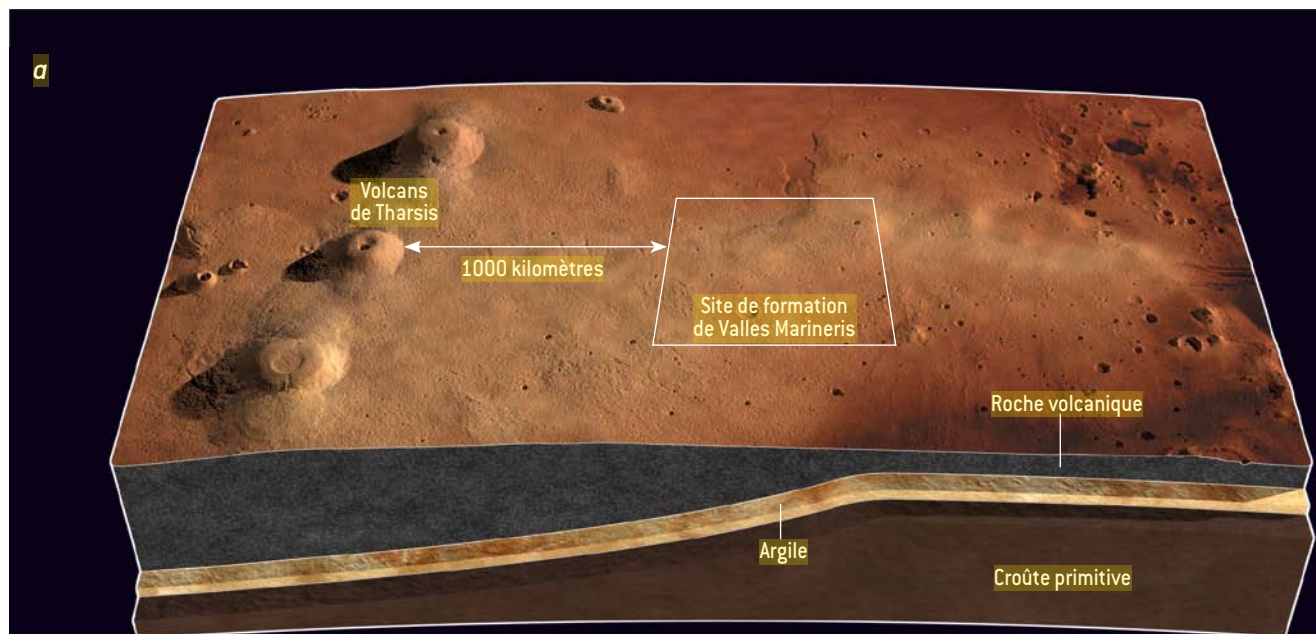
Ces roches pourraient ainsi représenter les premiers témoins de la différenciation ainsi que de la solidification de la planète, il y a plus de quatre milliards d'années! Elles se sont formées avant le canyon. De telles roches n'existent pas sur Terre,

puisque la majeure partie de la croûte a été recyclée par la tectonique des plaques, un processus absent sur Mars. La plupart des roches présentes en surface sont très anciennes, mais elles ont souvent été modifiées, altérées et modifiées par les impacts de météorites et l'érosion.

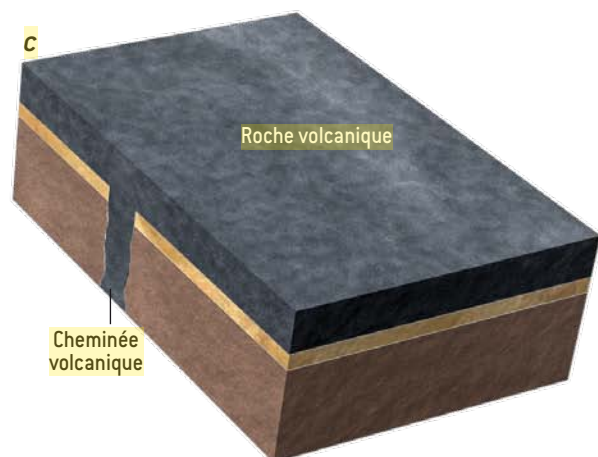
Les roches claires de la base des versants n'ont pas échappé à cette règle. Le bombardement météoritique, très intense au début de l'histoire de la pla-

nète rouge, peut être responsable de leur aspect fracturé.

Une autre altération est observée sur la partie supérieure de la croûte primitive. Une épaisse couche argileuse suggère que la croûte a subi une transformation en présence d'eau peu de temps après sa mise en place. Comme nous le verrons, cette couche permet de mettre en évidence des conditions environnementales différentes pendant le Noachien.



Il y a quatre milliards d'années, la croûte primitive martienne s'est formée. Puis, de l'eau liquide aurait coulé en surface ou en profondeur. Elle aurait altéré la croûte et a formé une couche d'argile que l'on observe aujourd'hui dans les parois du canyon.



Pendant l'ère du Noachien, les volcans de Tharsis sont entrés en activité, recouvrant toute la région de roche volcanique. Dans la partie Est du futur canyon, la couche est de deux kilomètres d'épaisseur environ. Du magma s'infiltre dans des failles, créées par l'activité tectonique du dôme de Tharsis. Les cheminées volcaniques, ou dikes, s'étirent dans la direction Est-Ouest.

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 mégacratère 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

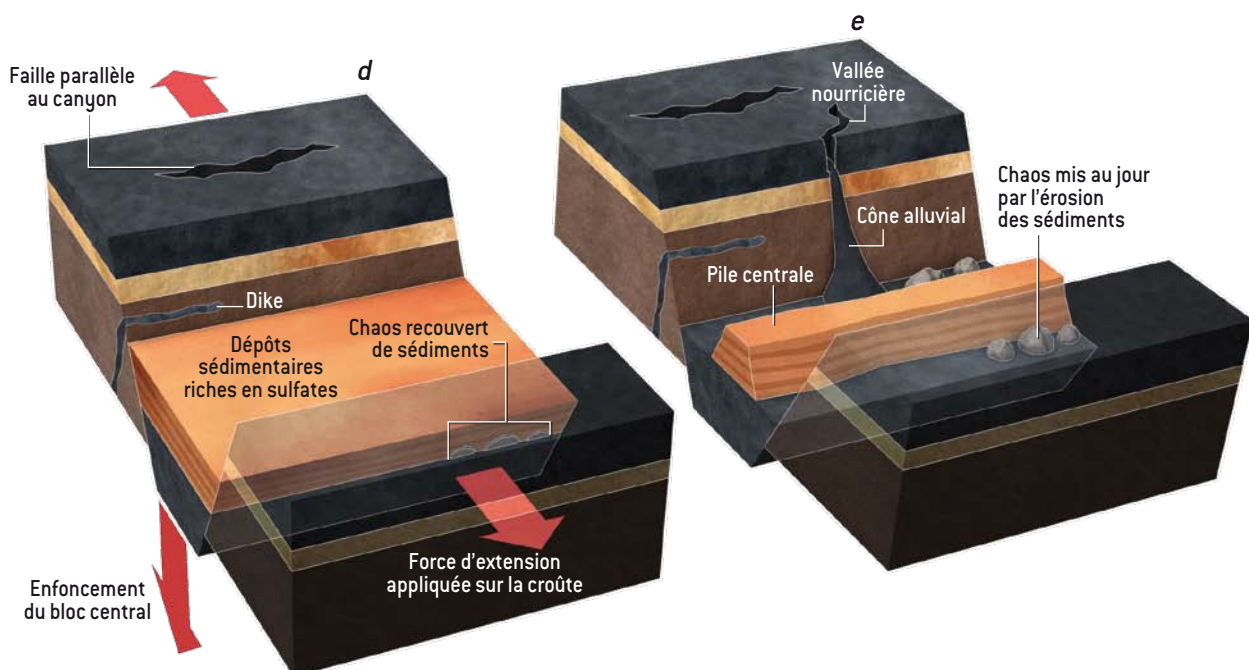
formation d'argile au contact de l'eau liquide (b). Puis à la fin du Noachien, il y a environ 3,7 milliards d'années, l'activité volcanique a recouvert l'ensemble de roche volcanique. La future région Ouest du canyon présente une épaisseur de matériau volcanique plus importante, sans doute parce qu'il 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.