

plusieurs questions, par exemple : pourquoi les ravines se forment-elles de préférence sur les versants orientés vers les pôles, entre 30 et 40 degrés de latitude Sud, et sur toutes les pentes escarpées entre 40 degrés de latitude Sud et le pôle ? Ce sont les pentes les moins ensoleillées, et cette configuration correspond à la distribution saisonnière de la glace de dioxyde de carbone. Ou encore : pourquoi les ravines sont-elles beaucoup plus actives dans l'hémisphère Sud que dans l'hémisphère Nord ? Étant donné la position actuelle de Mars dans le cycle de précession orbitale, les hivers austraux sont plus longs que les hivers boréaux, si bien qu'il s'accumule davantage de givre dans le Sud (voir l'encadré page 39).

Quand de la glace sèche recouvre le sol, les températures de la surface et de l'atmosphère sont égales à celle du point de solidification du dioxyde de carbone, c'est-à-dire environ -125°C (pour la pression atmosphérique martienne). L'eau pure gelant à 0°C , la saison du givre de glace carbonique est le moment de l'année où la présence d'eau liquide est la moins probable.

Je commençais à me dire que l'érosion actuelle de la surface martienne était essentiellement le fait du givre de dioxyde de carbone et que l'idée de la présence d'eau liquide aujourd'hui sur Mars était en train de tomber... à l'eau. À toutes les latitudes sur Mars, nous avons observé que des mécanismes ne mettant pas en œuvre l'eau, par exemple le vent, modifient la surface de la planète. Mais nous avons aussi montré que, dans certaines régions, la couverture saisonnière de dioxyde de carbone joue le même rôle.

En 2010, j'en étais à ce stade de mes réflexions quand un étudiant, Lujendra Ojha, travaillant sur les données de HiRISE, a découvert quelque chose de très intéressant. Il voulait créer des modèles numériques du terrain à partir de paires d'images stéréoscopiques de HiRISE. Je lui avais suggéré d'utiliser une paire d'images d'une ravine où nous avions repéré des chenaux. La première image avait été acquise deux mois avant la seconde, et nous voulions voir si quelque chose avait changé durant ce court laps de temps. Il a comparé les images, et ce qu'il a trouvé était pour le moins curieux. Sur l'image la plus récente, de nombreuses lignes sombres et étroites descendaient de zones rocheuses escarpées, et ces stries étaient absentes sur la première image.

Je ne savais pas quoi penser de ces lignes anormales. Nous avons réuni davantage d'informations. Tout d'abord, nous avons examiné toutes les paires stéréo acquises sur des pentes abruptes. Nous avons déjà enregistré des centaines d'images pour étudier des ravines, des cratères d'impact bien préservés et des affleurements du substrat rocheux. Parmi ces photographies, nous avons trouvé d'autres exemples de ces curieuses caractéristiques de surface. À chaque fois, nous voyions la même chose : des lignes sombres sur des pentes raides près du substrat rocheux. Toutes ces lignes étaient situées aux latitudes moyennes australes sur des pentes faisant face à l'équateur, pendant l'été : la période la plus ensoleillée, qui est aussi la saison opposée à celle où le dioxyde de carbone est actif. Des lignes sombres qui dévalent les pentes nous ont aussitôt fait penser à de l'eau ou à des sols humides, mais mes collègues et moi-même voulions rester prudents.

Nous avons pensé que ces étranges écoulements sur des pentes chaudes pourraient bien, en réalité, être le fait d'eau salée.

Avant de pouvoir déterminer ce qui était à l'origine de ces pentes striées, nous devions recueillir davantage de renseignements sur leurs conditions d'apparition. Nous pensions que ces écoulements estivaux augmentaient lentement durant plusieurs semaines, voire plusieurs mois, puis s'estompaient ou disparaissaient pendant les saisons froides, avant de se reformer l'été suivant.

Comme nous n'avions pas identifié les écoulements de saison chaude avant le deuxième été austral martien de *Mars Reconnaissance Orbiter*, nous avons dû attendre le troisième été austral, au début de 2011, pour tester nos hypothèses. Nous avons sélectionné six sites pour suivre de près les changements et en avons observé ponctuellement quelques autres. Ces observations ont confirmé ce que nous pressentions, et nous avons publié nos résultats dans la revue *Science*, en août 2011. L. Ojha a été submergé de coups de téléphone de son pays natal, le Népal.

Dans notre article, nous désignons les caractéristiques d'écoulement par l'expression *recurring slope lineae* (lignes

de pente récurrentes), un nom qui décrit le phénomène sans rien présumer de son origine. Si nous avions parlé de « traces d'écoulement d'eau », nous aurions donné, à tort, l'impression que nous étions sûrs de la façon dont elles s'étaient formées.

27 °C l'après-midi !

Mais, lors de la publication de cet article, nous étions de plus en plus convaincus que l'eau jouait un rôle dans ce phénomène. Après tout, les lignes de pente récurrentes étaient présentes dans des environnements inhabituels : les latitudes moyennes, sur les pentes de l'hémisphère Sud, où les étés sont plus chauds qu'au Nord. Un instrument à bord de la sonde *Mars Odyssey* a mesuré, dans ces régions, des températures de surface allant jusqu'à 27°C l'après-midi ! Des températures positives semblent parfaitement adaptées à la présence d'eau liquide, mais c'est oublier que la pression atmosphérique sur Mars est faible, de sorte que l'eau pure s'évapore ou bout rapidement. Il y a donc peu de chances que les lignes de pente récurrentes contiennent de l'eau pure.

Et s'il s'agissait d'eau salée ? C'est une substance bien différente. La surface de Mars est très salée, d'après les renseignements fournis par les atterrisseurs et rovers, par les spectromètres en orbite, et par l'analyse chimique des météorites martiennes. Toute eau coulant à la surface de Mars ou sous la surface devrait aussi avoir une teneur élevée en sels.

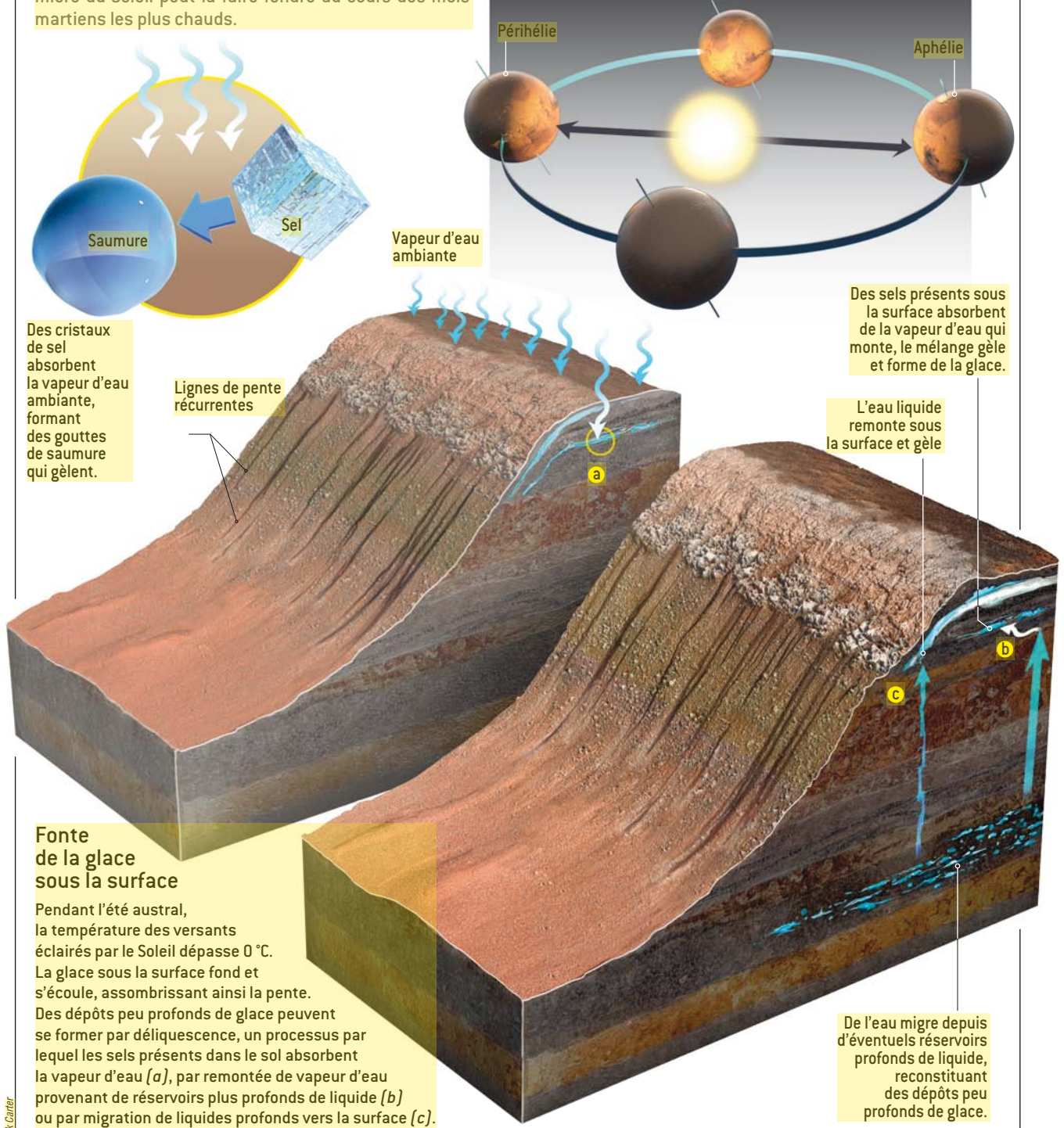
Quand de l'eau salée refroidit, soit elle se transforme en partie en glace, soit une partie de ses sels précipite, soit les deux à la fois. Le liquide restant se trouve dans sa composition « eutectique », c'est-à-dire présentant une concentration en sels lui permettant de rester liquide à des températures très inférieures à 0°C . Le terme de sel est à prendre dans le sens général d'un cristal associant un ion métallique et un ion non métallique. Une saumure de sulfate de fer ou de perchlorate de calcium (deux sels répandus sur Mars) dans sa composition eutectique peut rester liquide jusqu'aux alentours de -68°C . En outre, ces liquides eutectiques persistent bien mieux que l'eau pure : ils s'évaporent dix fois moins vite. Les propriétés inhabituelles des saumures eutectiques leur permettraient d'être beaucoup plus stables sur Mars que l'eau pure,

DE L'EAU LIQUIDE SUR MARS ?

Les planétologues débattent encore de l'origine des lignes sombres qui apparaissent chaque année sur les pentes australes martiennes. Toutefois, il est vraisemblable que la fonte saisonnière de dépôts peu profonds de glace d'eau salée en soit responsable. Les coupes de la pente illustrent divers mécanismes possibles qui apporteraient de la glace d'eau sous la surface, où la lumière du Soleil peut la faire fondre au cours des mois martiens les plus chauds.

L'été austral : le grand dégel

Mars décrit une orbite elliptique qui amène la planète rouge bien plus près du Soleil au périhélie qu'à l'aphélie. L'inclinaison de Mars varie (par « précession ») à des échelles de plusieurs dizaines de milliers d'années ; actuellement, la planète atteint le périhélie à peu près au moment de l'été austral, produisant des étés plus chauds dans cet hémisphère. Les lignes sombres apparaissant sur les versants Sud pendant les mois chauds pourraient correspondre à de la glace fondue.



Fonte de la glace sous la surface

Pendant l'été austral, la température des versants éclairés par le Soleil dépasse 0 °C. La glace sous la surface fond et s'écoule, assombrissant ainsi la pente. Des dépôts peu profonds de glace peuvent se former par déliquescence, un processus par lequel les sels présents dans le sol absorbent la vapeur d'eau (a), par remontée de vapeur d'eau provenant de réservoirs plus profonds de liquide (b) ou par migration de liquides profonds vers la surface (c).

Des sels présents sous la surface absorbent de la vapeur d'eau qui monte, le mélange gèle et forme de la glace.

L'eau liquide remonte sous la surface et gèle

De l'eau migre depuis d'éventuels réservoirs profonds de liquide, reconstituant des dépôts peu profonds de glace.