

Le paysage

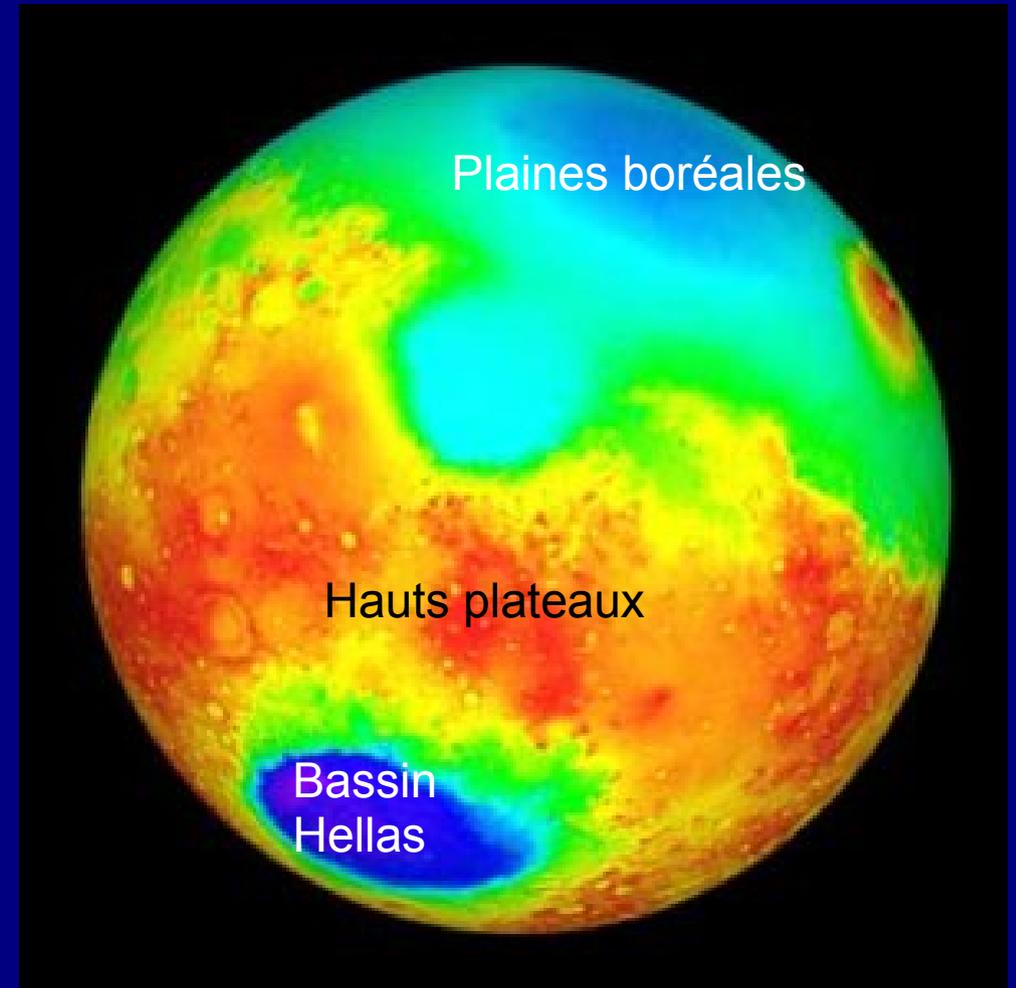
Les planètes qui furent actives

- **Mars** (?)
- Vénus (?)
- Ganymede (Jupiter)
- Dione (Saturne)
- Thetys (Saturne)
- Ariel (Uranus)
- Titania (Uranus)
- Miranda (Uranus)



Mars est asymétrique

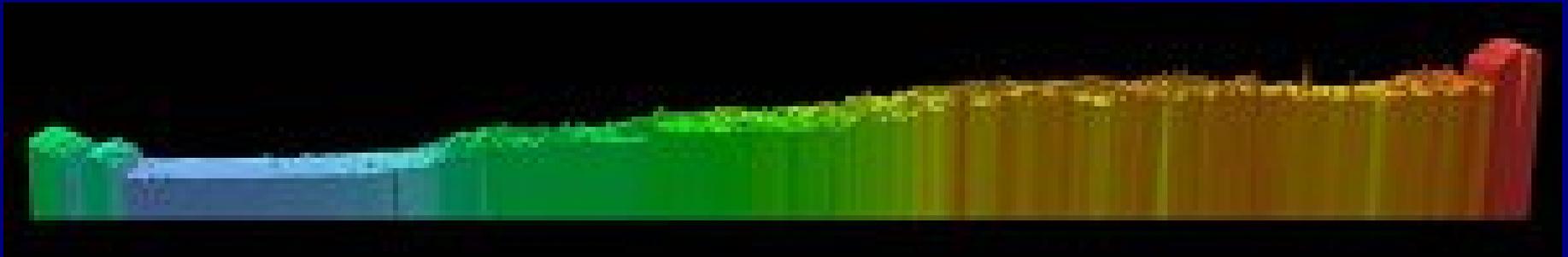
- Hémisphère sud dominé par des hauts plateaux. Terres cratérisées, donc anciennes.
- Hémisphère nord : plaines mornes et jeunes.
- Il existe une plaine très basse au sud.
- La frontière est un grand cercle incliné de 35 degrés/equateur. Elle prend des formes très diverses : falaises, pentes douces, terrains vallonés.
- Entre les deux régions, en moyenne l'altitude diffère de 5 km.



Carte altimétrique de Mars. Les régions hautes sont en rouge. Echelles d'altitudes : 30 kilomètres. Précision 13 mètres.
[Mars Global Surveyor NASA/JPL/MOLA]

Mars est asymétrique

- Les hauts plateaux sont riches en basalte.
- Hémisphère nord : plaines mornes et jeunes.
- Il existe une plaine très basse au sud.
- La frontière est un grand cercle incliné de 35 degrés/equateur. Elle prend des formes très diverses : falaises, pentes douces, terrains vallonés.
- Entre les deux régions, en moyenne l'altitude diffère de 5 km.



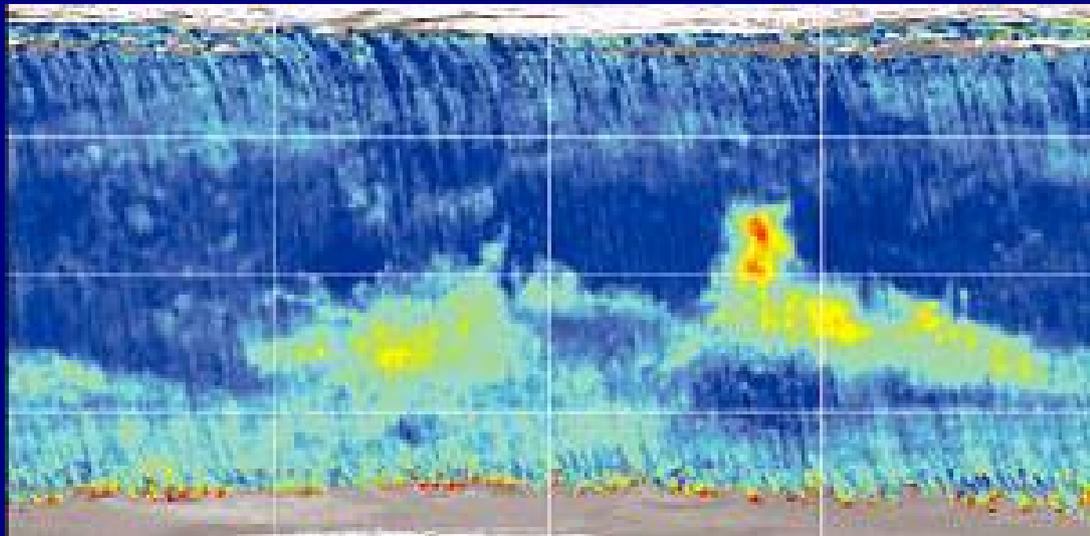
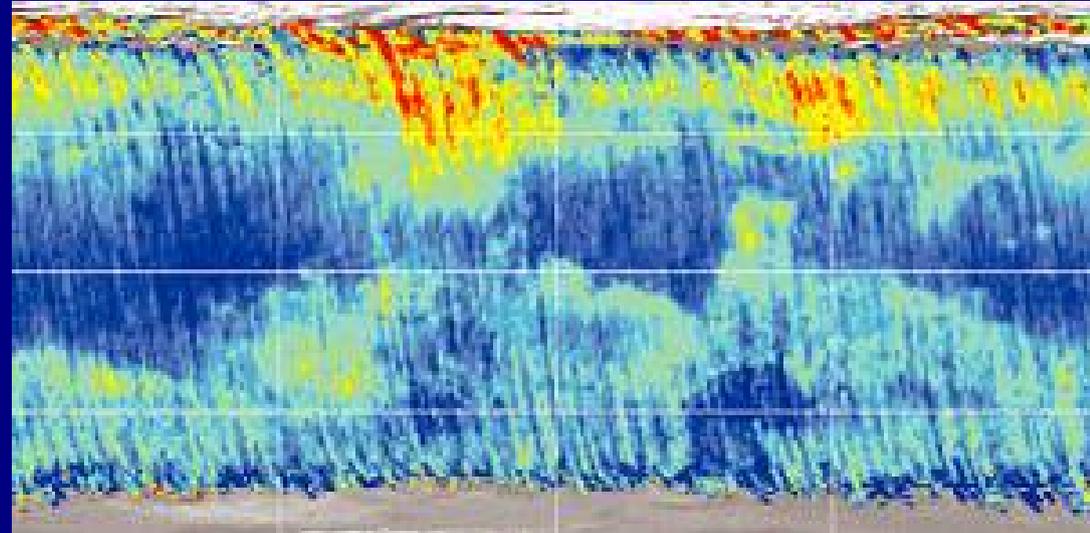
Coupe pole nord-pole sud en altitude. [Mars surveyor, NASA/JPL/MOLA]

Le sol martien est homogène

Composition (exprimée en oxydes)	Sol de Chryse Planitia (Viking 1)	Sol d'Utopia Planitia (Viking 2)	Sol d'Ares Vallis (Pathfinder)
SiO ₂	44 %	43,0 %	48,6 %
Al ₂ O ₃	7,3 %	7,0 %	8,6 %
Fe ₂ O ₃	17,5 %	17,3 %	16,5 (% FeO)
MgO	6,0 %	6,0 %	7,8 %
CaO	5,7 %	5,7 %	5,7 %
K ₂ O	0,15 % (au maximum)	0,15 % (au maximum)	0,6 %
TiO ₂	0,6 %	0,5 %	0,9 %
SO ₃	6,7 %	7,9 %	5,9 %
Cl	0,8 %	0,4 %	0,6 %
Na ₂ O	?	?	2,4 %
MnO	?	?	0,4 %

mais Mars est asymétrique

- Hémisphère sud : surtout des basaltes.
- Hémisphère nord : une lave voisine du basalte (dépourvue de feldspaths potassiques) appelée andésite.
- Les deux roches sont très communes sur la Terre.
- Mais l'andésite ne s'y trouve que dans les régions de subduction, c'est à dire que leur formation est liée à la tectonique des plaques.
- Les roches au nord sont peut-être des basaltes altérés au contact de l'eau et pas de véritables andésites.



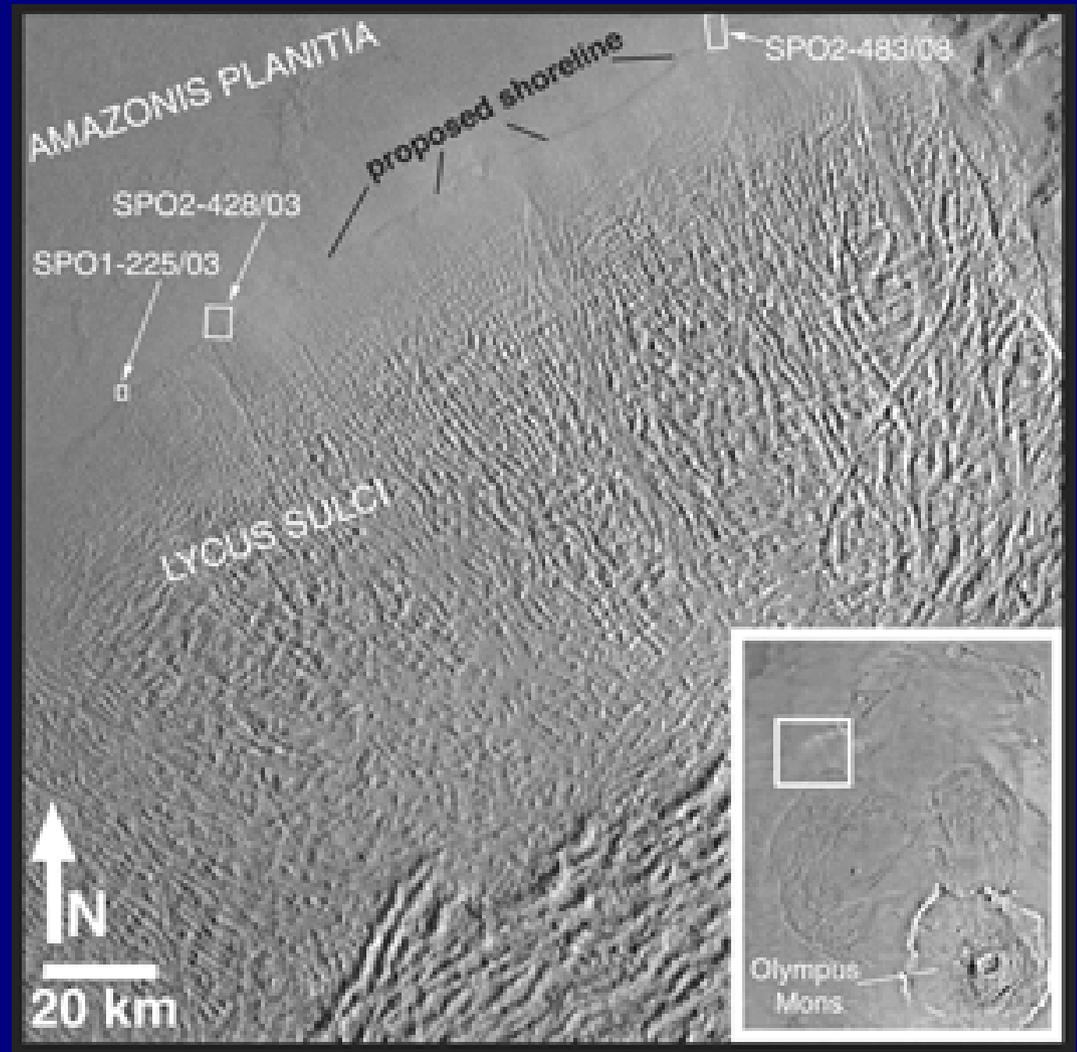
Bas : répartition des basaltes. Haut : répartition de l'andésite. Entre 0 (violet) et 100% (rouge) [\[NASA/JPL/TES\]](#)

Une telle asymétrie est-elle unique ?

- Celle de Japet est superficielle. Celle de Mars est géologique.
- **La Lune** présente aussi deux types de terrains : mare et montagnes.
- **La Terre** : croûtes océanique et continentale. La croûte océanique est plus jeune. On y retrouve aussi une différence d'altitudes.

Les plaines martiennes : ancien océan ?

- Serait-elle un ancien océan ?
- Années 1960-70 on croyait que Mars avait toujours été sèche.
- Sonde Viking : bonne cartographie. Hypothèse de l'océan. Peut-être a-t-on vu des lignes côtières.
- Plaine : peu de cratères. Cratères très anciens très érodés : compatible avec un océan (empêcher de nouveaux cratères, et éroder les anciens).
- Actuellement : reprise de ces études (Mars Global Surveyor). Aucune confirmation, tout est ambigu.



Une région proposé (du temps de Viking 1976) comme une possible cote, avec des falaises. Elle est au pied du volcan Olympus Mons.
[image NASA/JPL/Malin Space Science Systems]

Les plaines martiennes : ancien océan ?

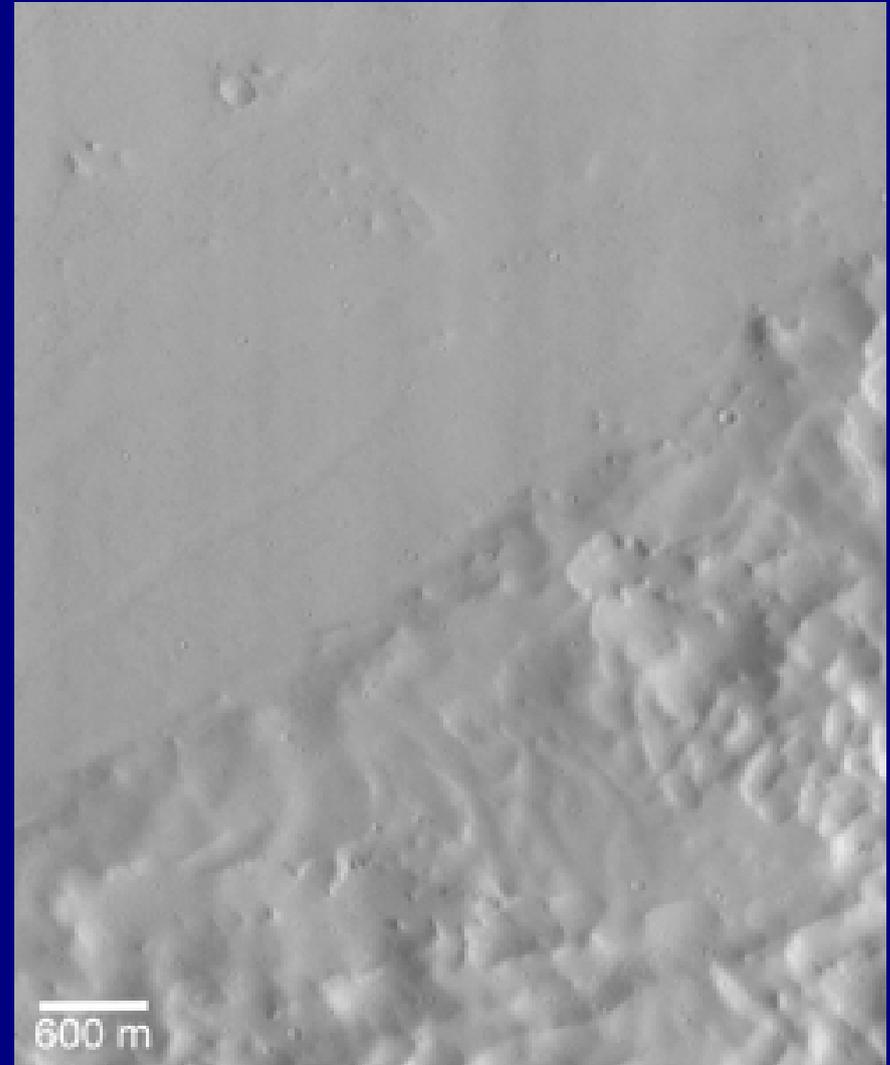


Image Courtesy of Kees Veenbos

Y a-t-il eu ça, il y a quelques centaines de millions d'années ?
[Kees Vilenboos, adepte du Terraforming sur Mars]

Les plaines martiennes : ancien océan ?

- S'il a existé, l'océan a disparu il y a 2 Md d'années. Quelles traces ?
- Les recherches de reliefs côtiers n'ont rien donné.
- **Il est très difficile de prouver qu'une chose n'existe pas.** (Il faut examiner TOUT et montrer qu'on n'y trouve RIEN.)
- Donc, on n'a pas de preuve de reste de côtes, mais pas de preuve formelle qu'il n'y en n'a pas.
- Le débat reste ouvert.



Une vue détaillée : un changement de terrain mais pas de falaise, ni rien de formellement identifiable comme un relief côtier.

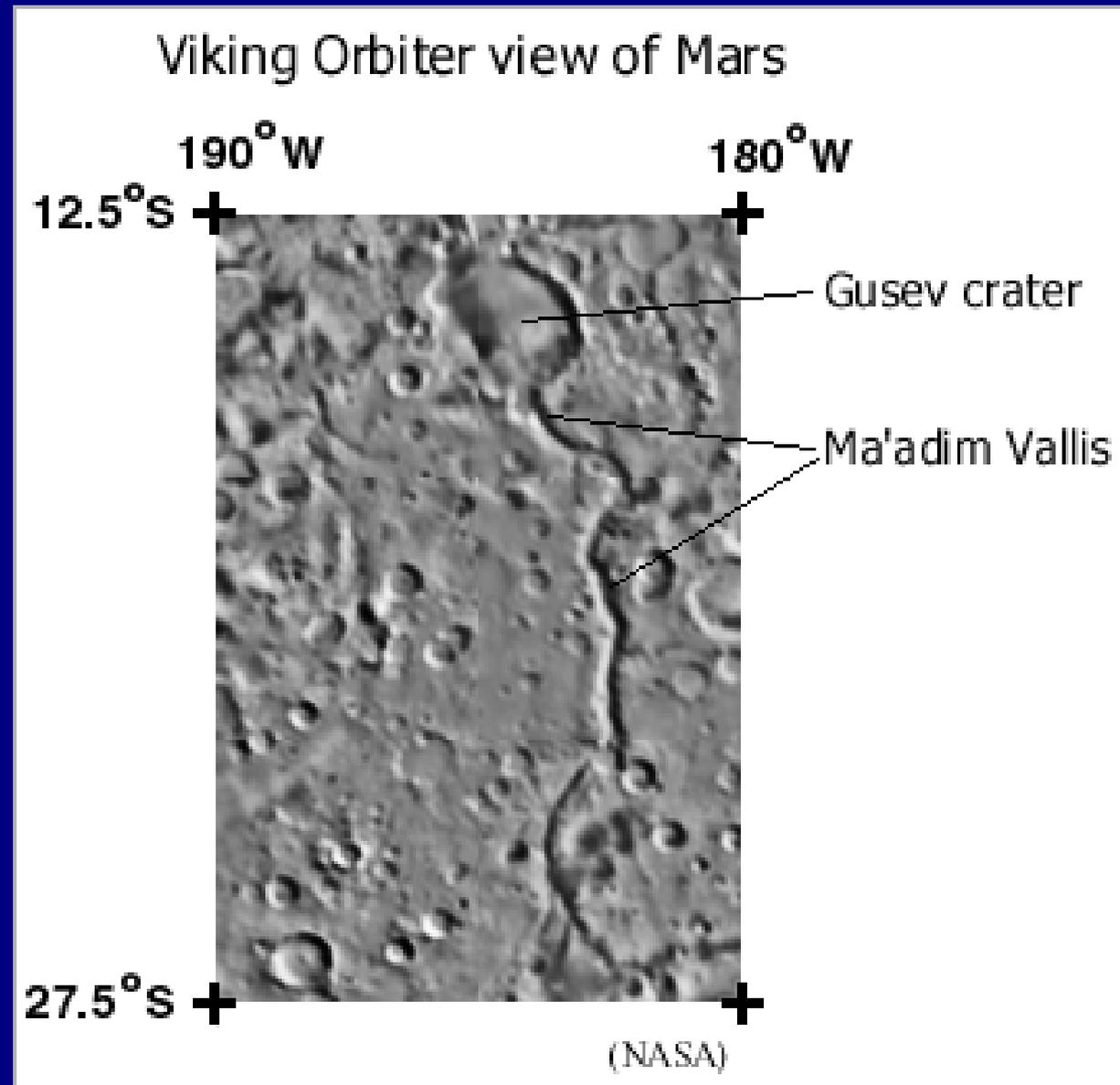
[image NASA/JPL/Malin Space Science Systems]

L'eau sur mars

- On n'a donc pas de preuve d'un grand océan boréal.
- Y-a-t-il eu de l'eau, malgré tout, sur Mars ?
- Depuis la dernière phase d'exploration, les preuves tendent à abonder. Voici quelques exemples.

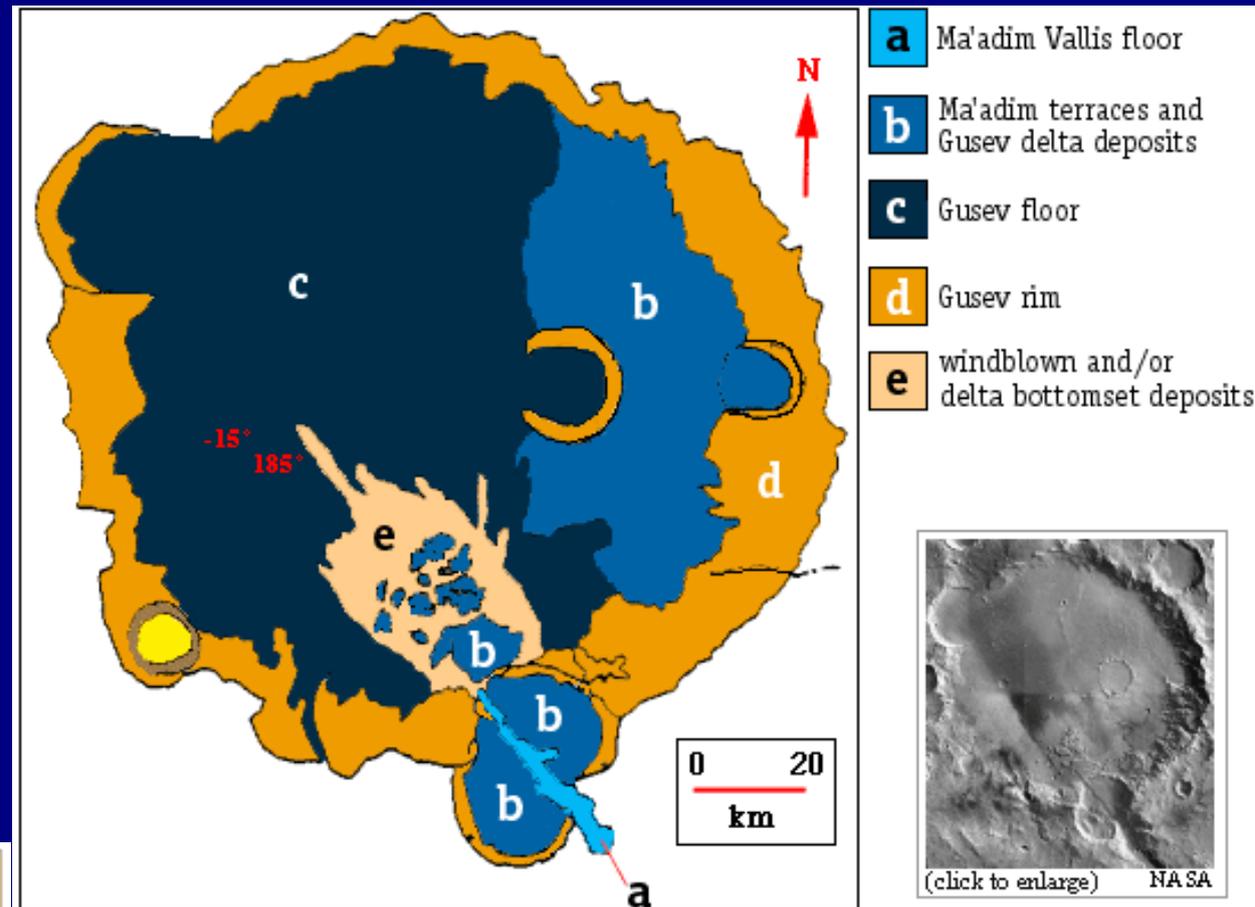
Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?

- Un cratère d'impact délimité par des bords assez nets. Diamètre 160 km.
- Une vallée qui aurait pu être celle d'une rivière semble s'y jeter. Longueur 900 km, bassin de 15-20km de large.
- La vallée a des ramifications secondaires.



Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?

- A partir de Viking Orbiter, analyse géologique.
- Elle ne permet pas une identification chimique des sols (ce n'est pas une étude spectrométrique).
- Analyse des textures, des couches (sédiments ?) et des formes. Identifier différentes formes de dépôts, et d'érosion (eau, vent).

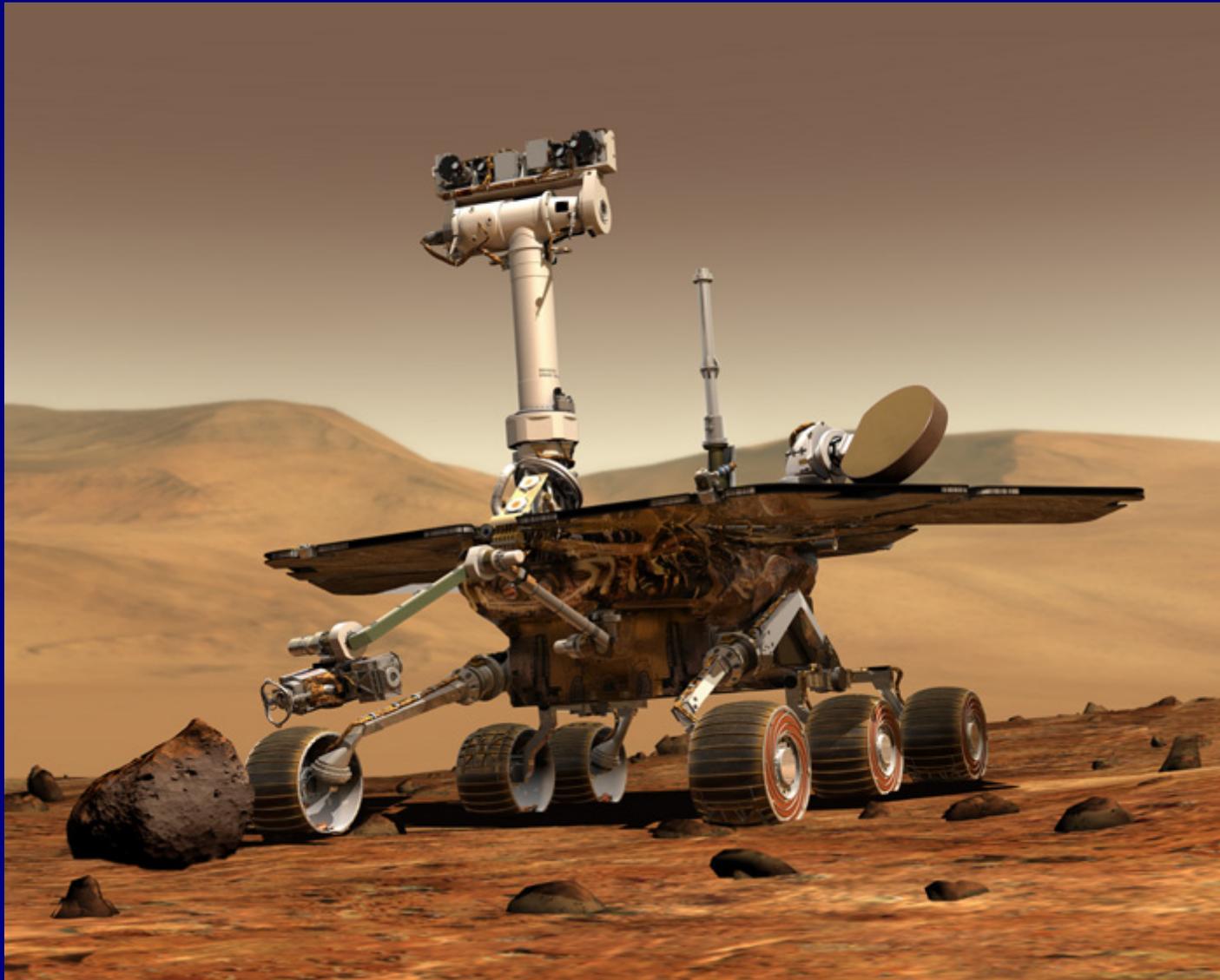


(Adapted from Cabrol and others, 1998, *Icarus*, v. 133, p. 98-108.)

[Cabrol et al. *Icarus*, 1998]

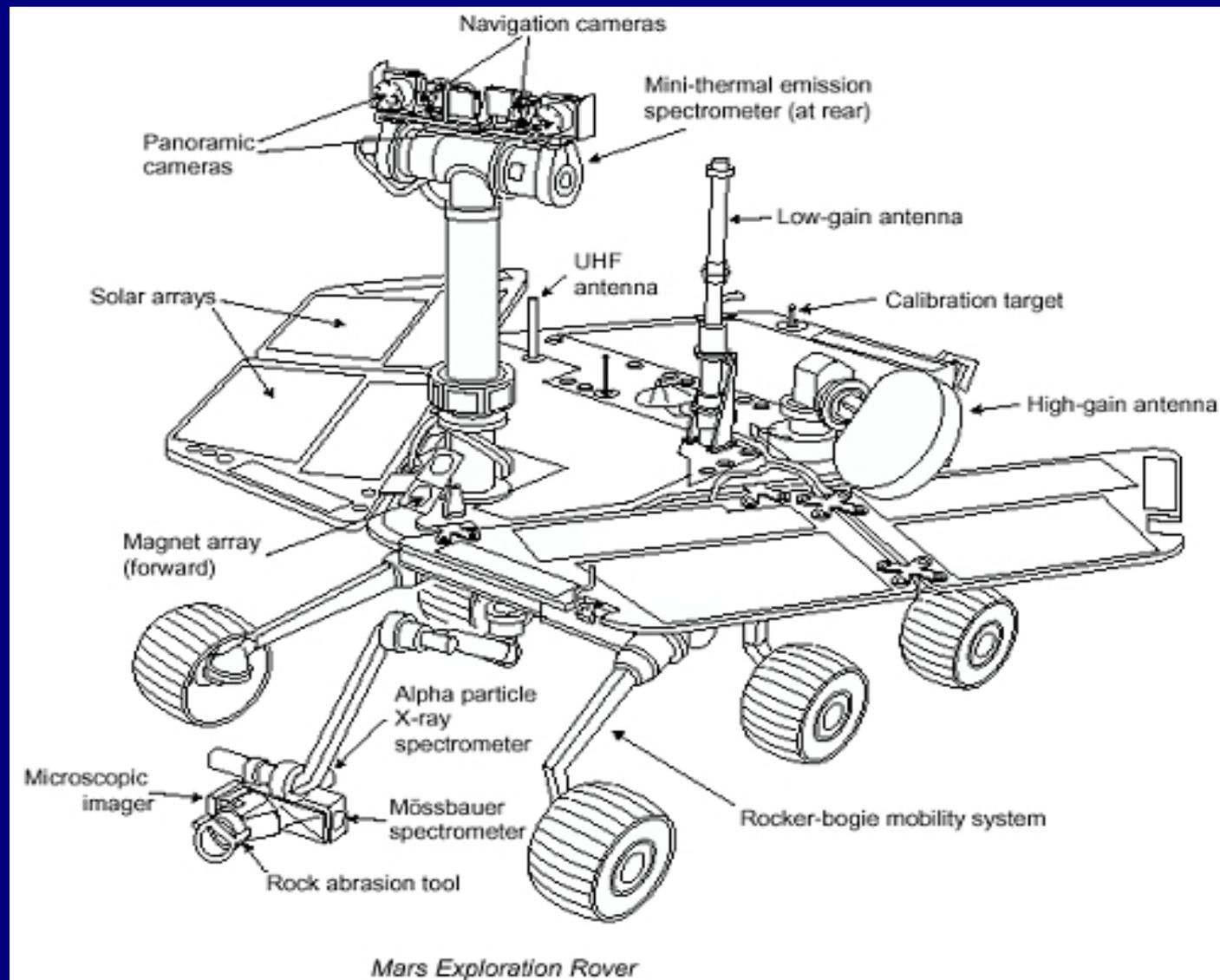
Unit	Possible age in billions of years
Gusev rim	4
Ma'adim terraces	about 3.5
Gusev floor	about 1.8
Ma'adim floor	about 1.8
windblown deposits	from 2 until now.

Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?



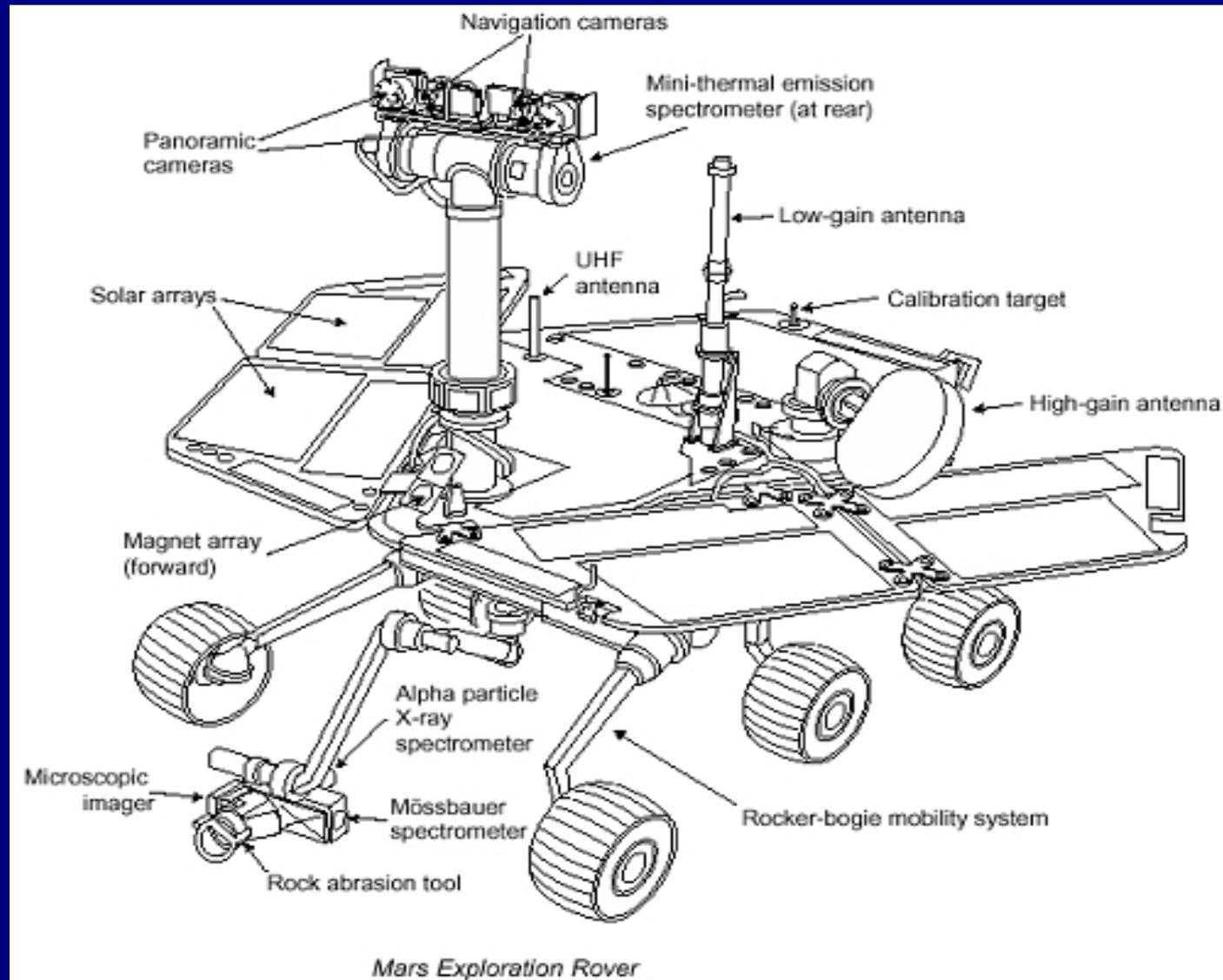
- Etudier les roches de Gusev, sur place : le Mars Rover Spirit

Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?



- Etudier les roches de Gusev, sur place : le Mars Rover Spirit!

Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?



- Etudier les roches de Gusev, sur place : le Mars Rover Spirit!

Le cratère Gusev a-t-il abrité un lac ?

- Mars Rover Spirit a creusé le sol et analysé (spectromètre X) la composition chimique : un sol très riche en silice (SiO_2) -comme le sable et le quartz.
- nous l'avons vue dans des granits et autres roches magmatiques, où il est mélangé à d'autres cristaux. Pour l'isoler ainsi, il faut qu'il y ait eu de l'eau.
- publié en juin 2007.



NASA's Spirit rover has found a patch of bright-toned soil so rich in silica that scientists propose water must have been involved in concentrating it.

Credit: NASA/JPL-Caltech/Cornell.

Terra Meridiani

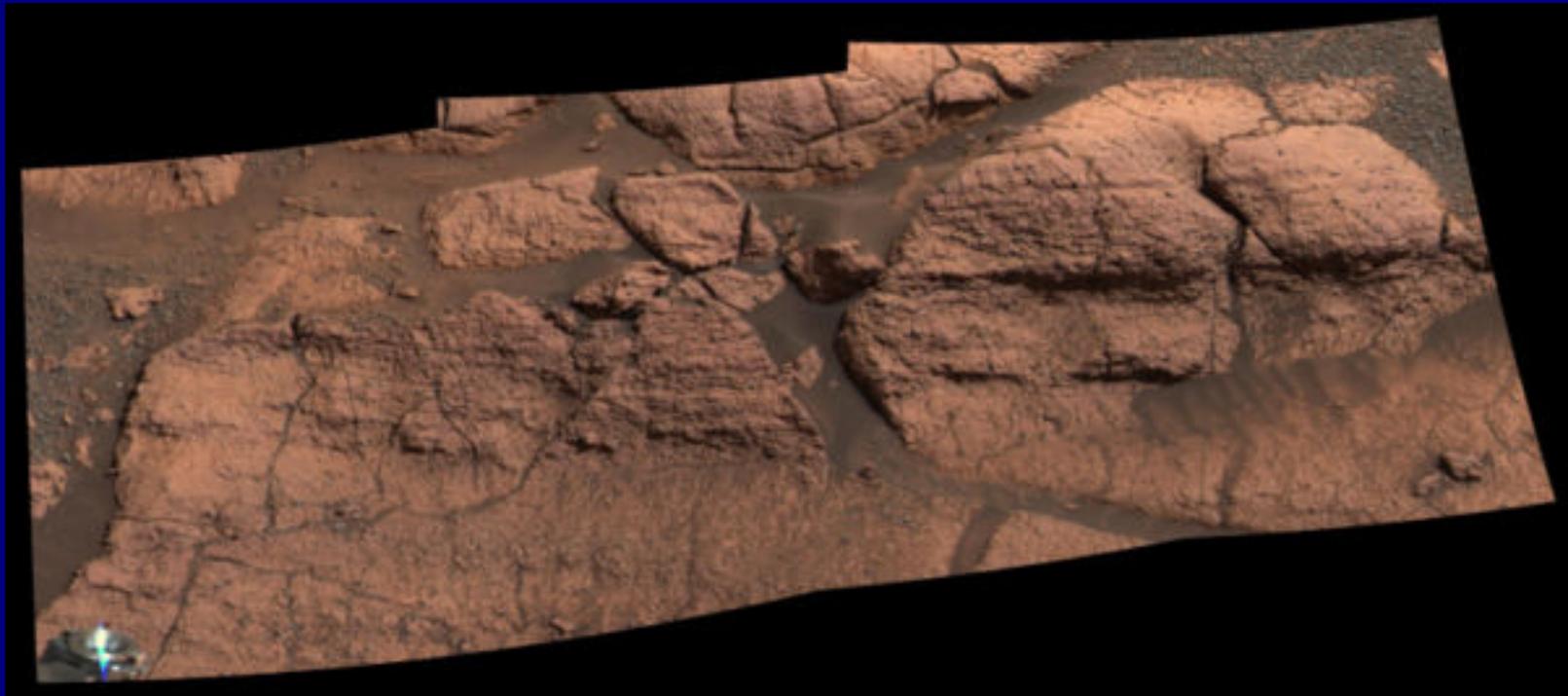
- Région explorée par l'autre Robot Spirit : Opportunity.
- Des roches qui n'ont pu être formées que par l'eau.



Un affleurement rocheux que le robot est parti observer

[NASA/JPL/Cornell]

la roche El Capitan



La roche surnommée « El Capitan ». Pour fabriquer ces stratifications : dépôt de sédiments. Certains cristallisent, mais sont dissous/érodés. Exemple sur terre : falaises de craie/silex. [\[NASA/JPL/Cornell\]](#)

craie/silex



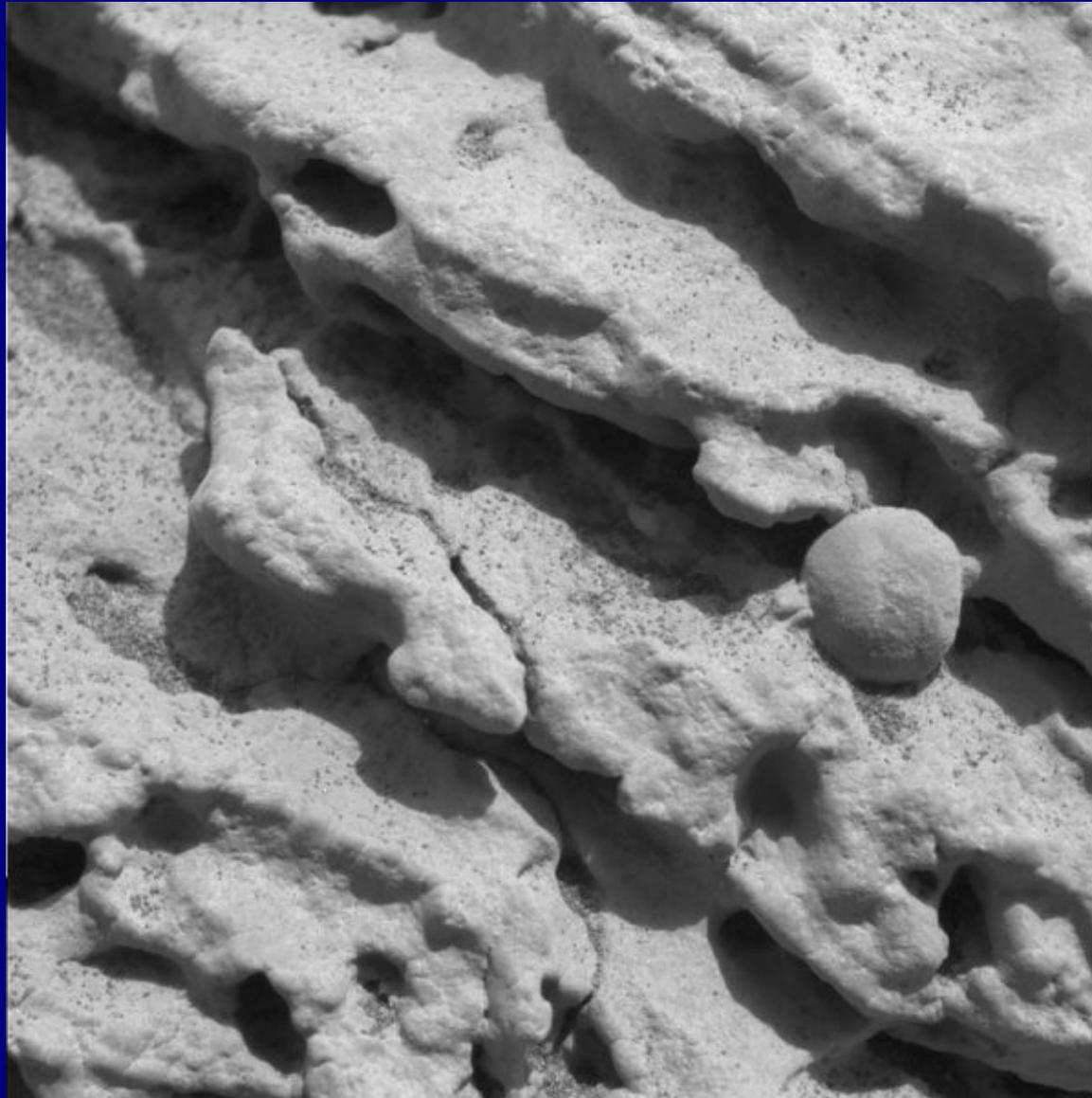
Falaise d'Etretat. Roche sédimentaire. Pour fabriquer de tels sédiments il a fallu de l'eau.

Autre exemple martien, dans le même cratère



Stone mountain, le petit carré blanc (3cm) est observé au microscope de Mars Rover

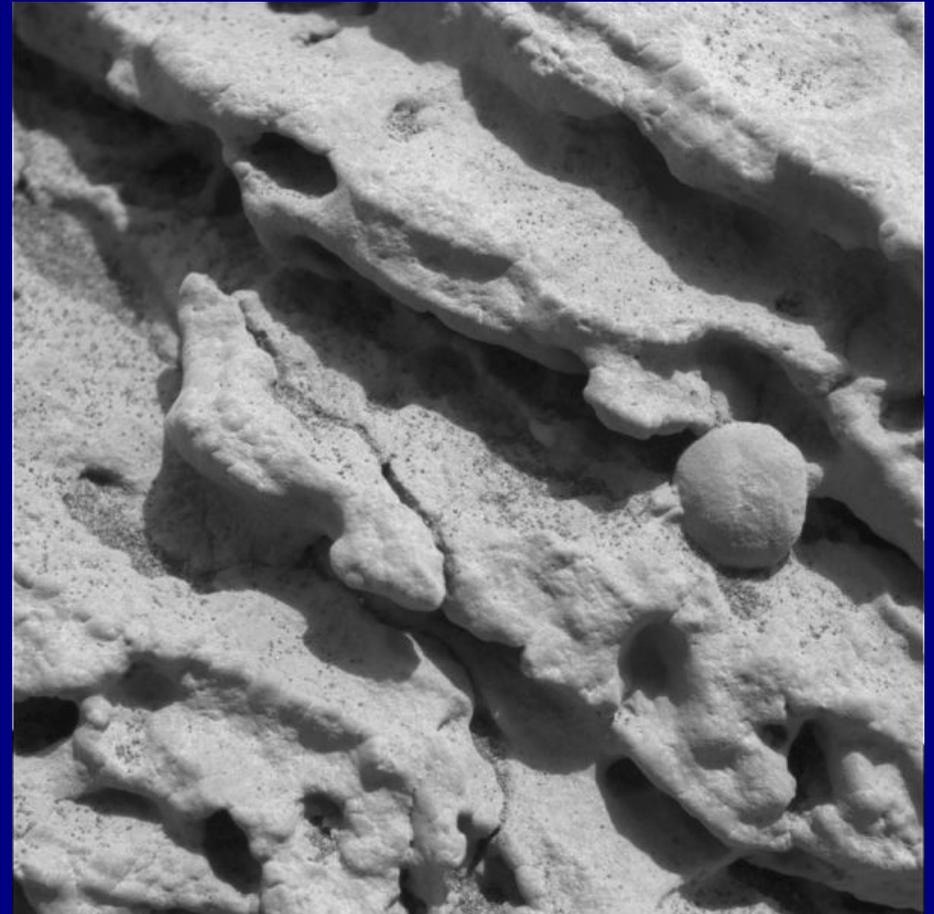
Autre exemple martien, dans le même cratère



Oh la jolie petite myrtille !

Autre exemple martien, dans le même cratère

- Ejecta météoritique ? Roche volcanique en fusion ?
- Non, car dans on en trouve dans plusieurs strates. Des dépôts d'éjectas volcaniques ou météoritiques seraient disposés sur une seul surface, pas dans plusieurs.
- Pour la faire, une seule autre recette connue : une lente concrétion dans un **liquide salé**.
- Néanmoins, aucune analyse chimique n'a été accomplie (à ma connaissance).



Berries / Myrtilles terriennes



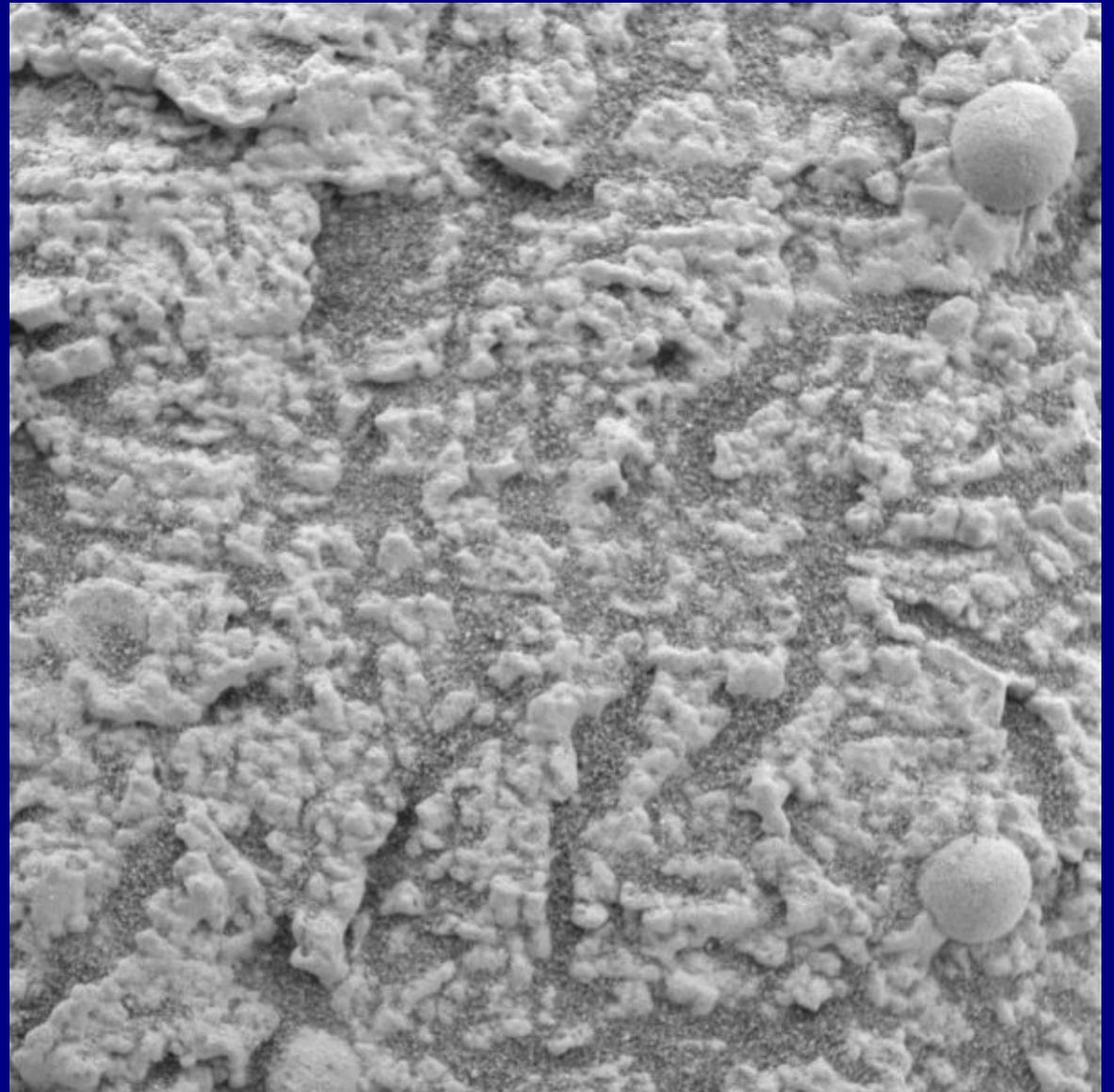
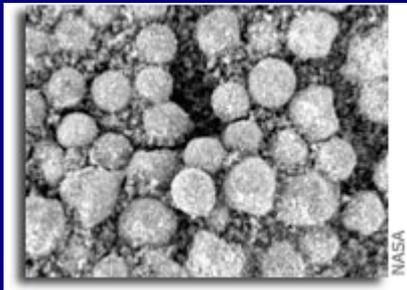
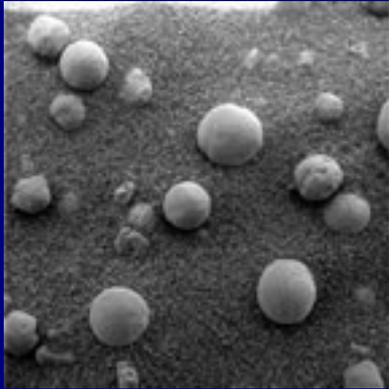
Concrétion mamelonnée, au fond d'un lac,
Oligocène.

Avec de la silice.

Berries / myrtilles martiennes



Berries / myrtilles martiennes



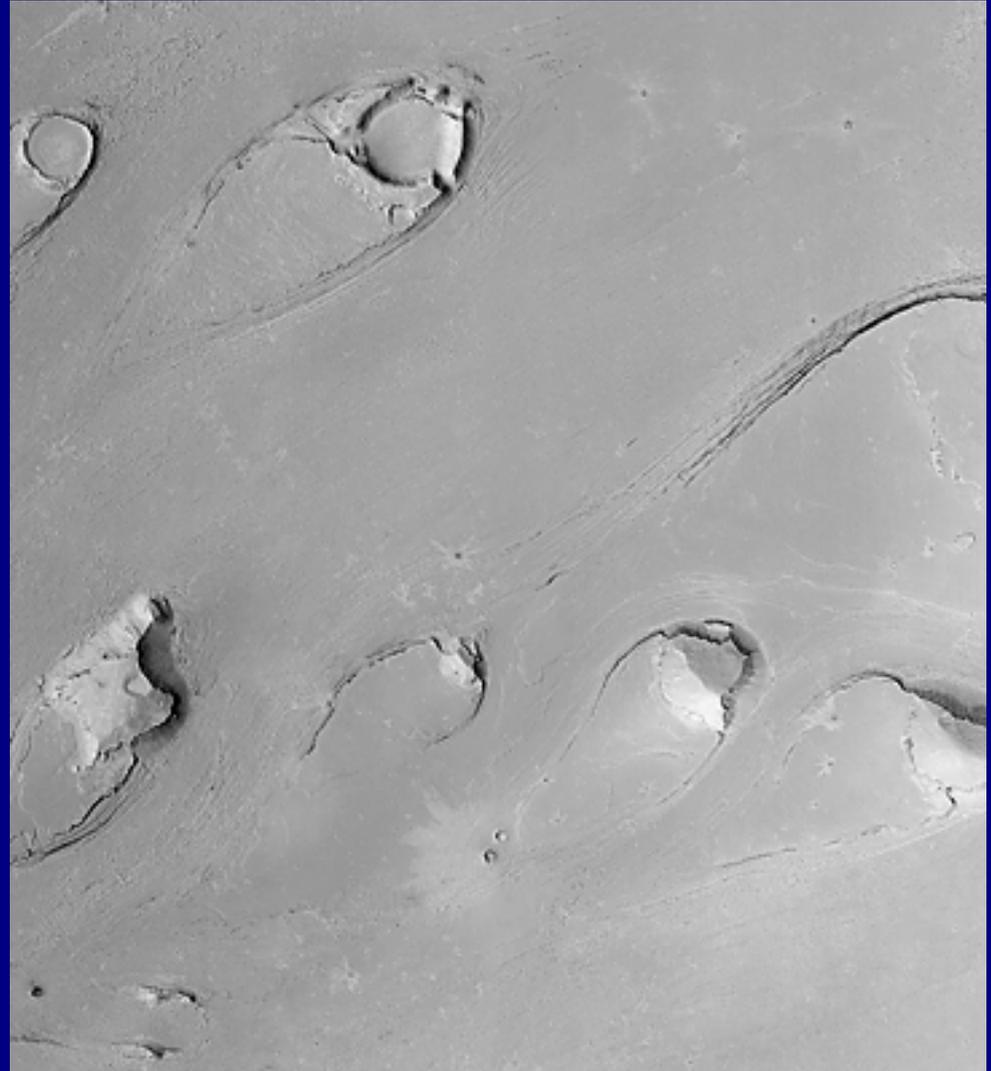
Des écoulements de débâcle, bien plus récents.

Non loin d'Elyseum Mons. Des traces d'un écoulement important.

Seulement permis par des écoulements brutaux et de très grands volumes d'eau.

Peu de cratères d'impact, l'événement a eu lieu il y a moins de 10 millions d'années.

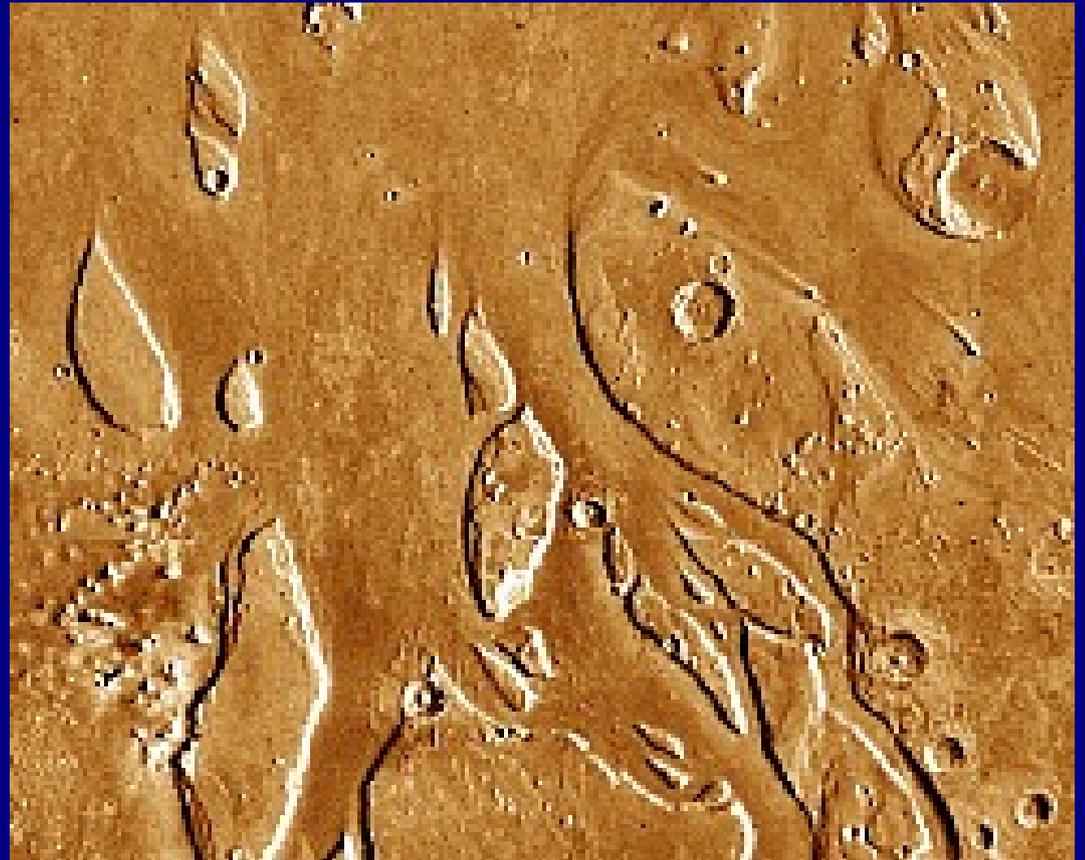
Peut-être fonte de pergélisol provoquée par une remontée de lave le long de fractures dans la croûte.



Des écoulements de débâcle, bien plus récents.

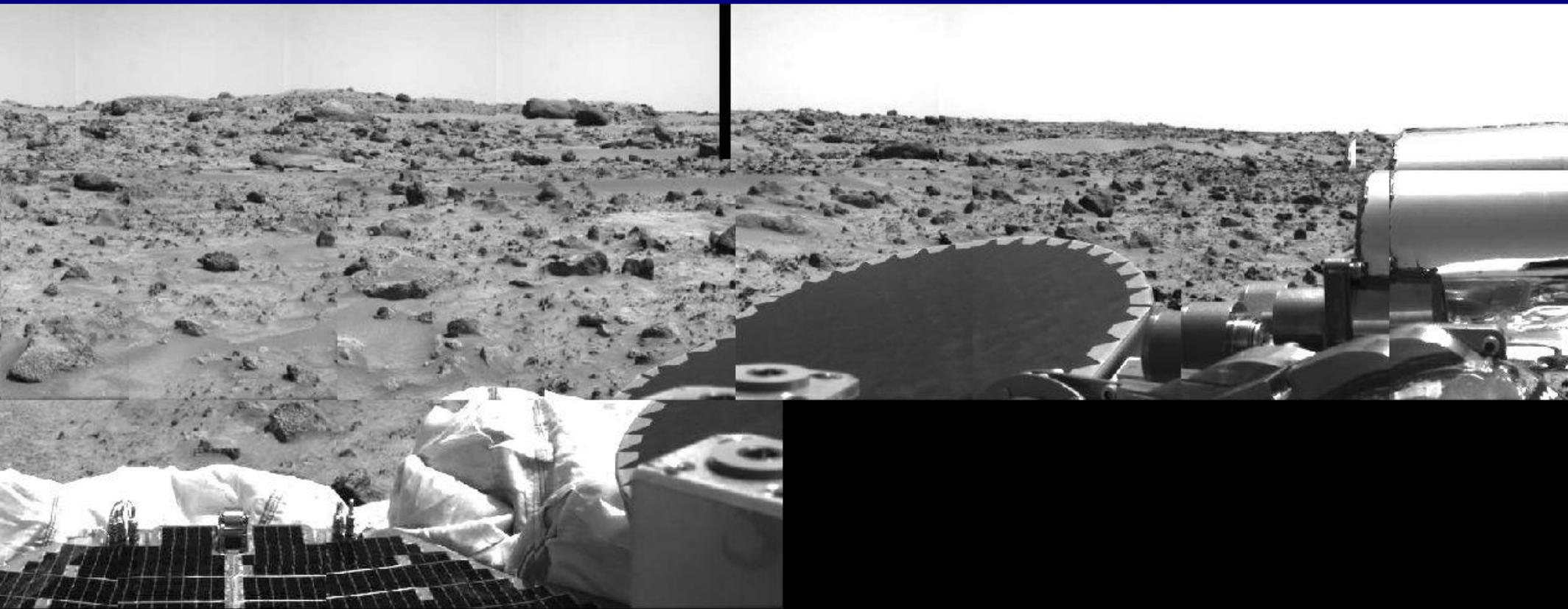
Ares Vallis :
mesure 25 km de large. Le débit aurait dépassé $100\,000\text{ m}^3$, en supposant une lame d'eau de 10 m de hauteur.

Peut-être vidange d'une nappe phréatique sous pression dans le pergélisol, capable de libérer 10^{13} m^3 d'eau. [Mike Carre, USGS]



Des écoulements de débâcle, bien plus récents.

Mars Pathfinder a atterri non loin de Ares Vallis. Grand nombre de rochers, assez divers : emportés et roulés par un flot ?



Des écoulements de débâcle, bien plus récents.

Des rochers de Ares Vallis
vus par Mars Pathfinder.

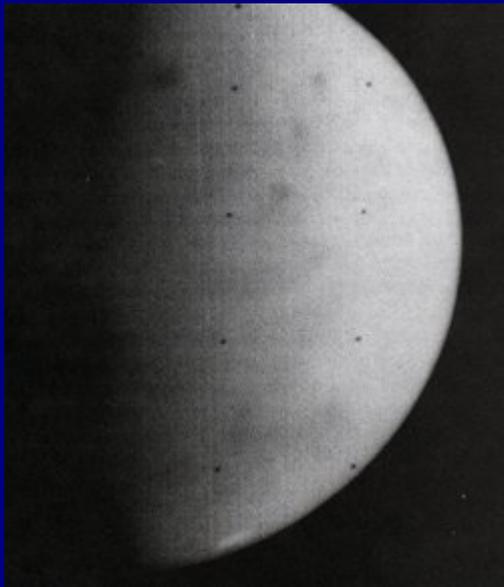
Si l'interprétation pergélisol/
vallées de débâcle était correcte,
il serait raisonnable de supposer
que Mars recèle d'énormes
réserves d'eau (gelée)
souterraine.



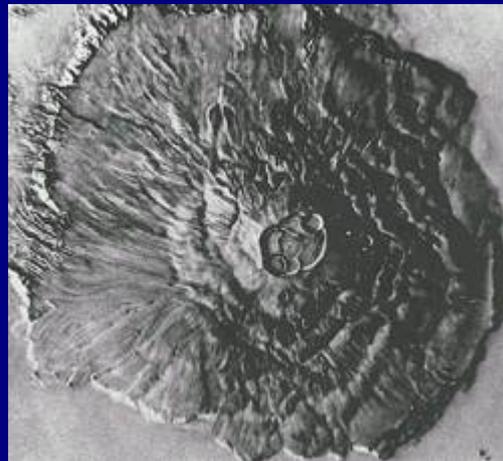
Une grosse balafre sur Mars.

Mariner 9 découvre le plus grand canyon connu.

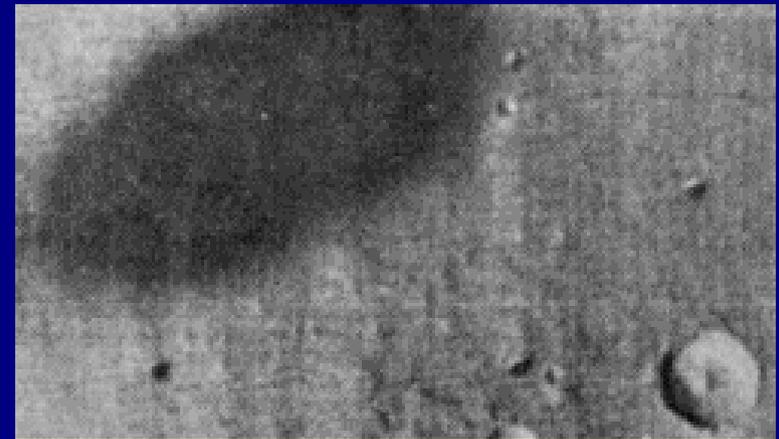
- Découvert par Mariner 9 en 1971, d'où son nom : Valles Marineris.
- Mariner 9 : premier engin artificiel en orbite autour d'une autre planète.
- Découvre Valles Marineris, les grands volcans...
- malgré une énorme tempête de sable à son arrivée, qui cachait tout.



Tempête de sable.



Olympus Mons.



l'Ombre du satellite Phobos sur Mars.

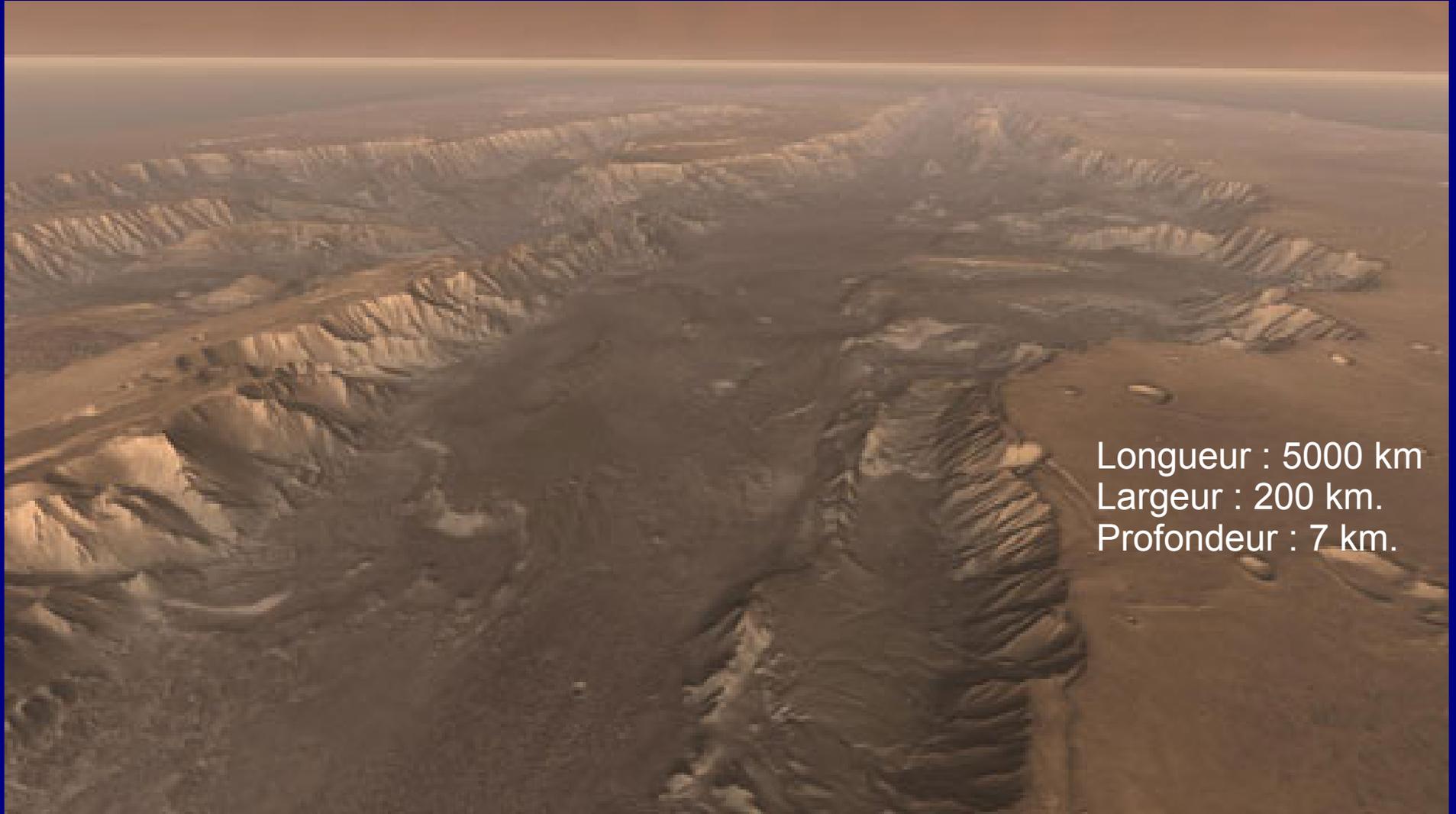
Un canyon auquel on pense en voyant Valles Marineris



[By Checco]

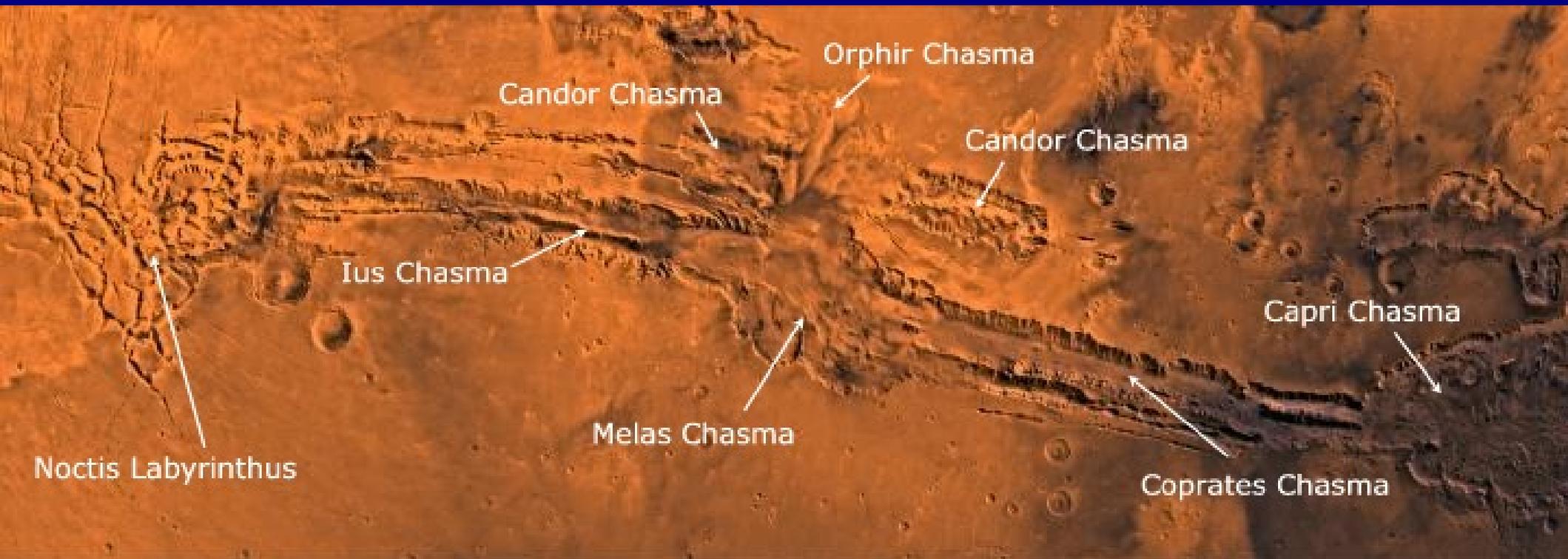
- Le grand canyon du Colorado (dans le Nevada)
- 450 km de long, 30 km (max) de large, 2000 m (max) de profondeur.
- Creusé par le fleuve Colorado.

Le plus grand canyon connu : Valles Marineris.



Longueur : 5000 km
Largeur : 200 km.
Profondeur : 7 km.

Le plus grand canyon connu : Valles Marineris.



Plusieurs canyons secondaires, ramifications, réseaux de fissures.

Serait-il causé par des écoulements ?

Dans ce cas, pourquoi serait-il si rectiligne ?

On pense plutôt à une gigantesque faille.

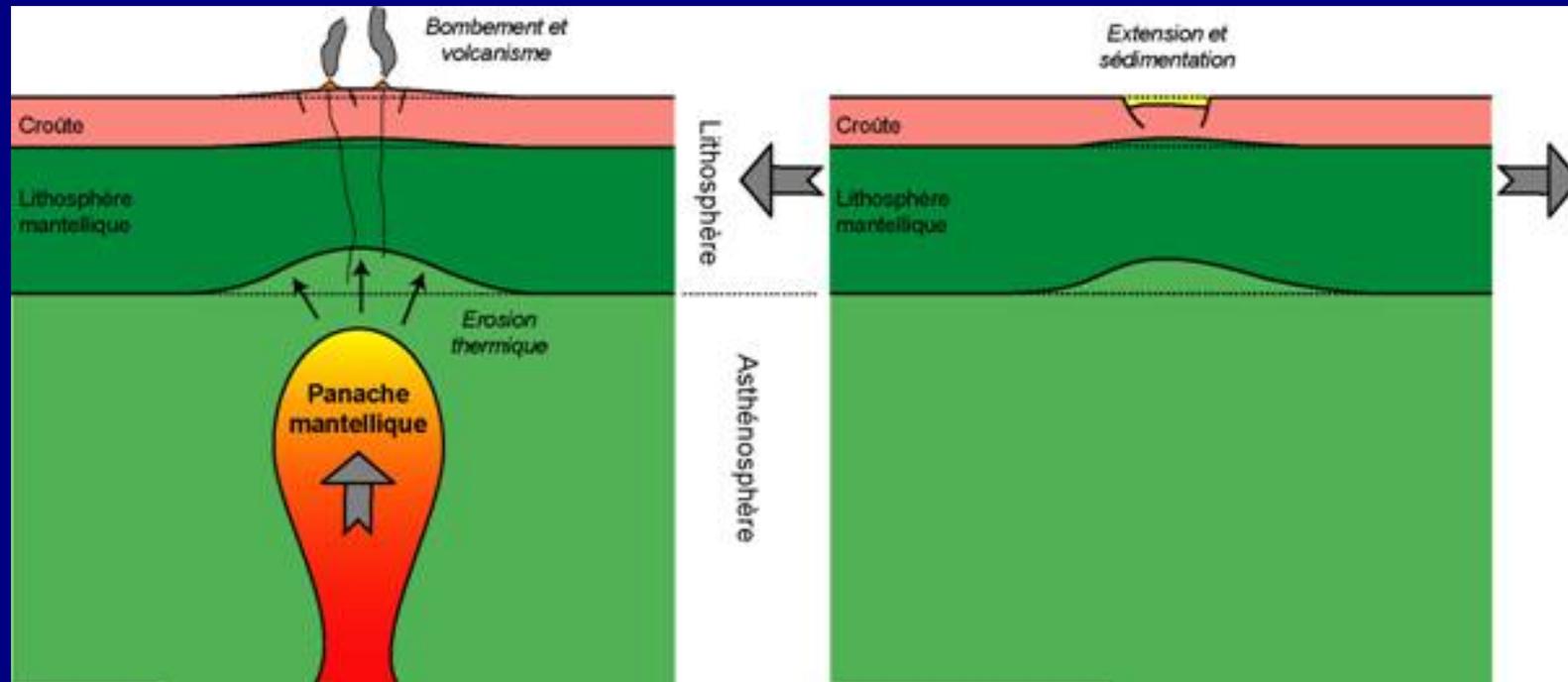
**Valles Marineris n'est pas une vallée
mais un rift.**

**Dôme de
Tharsis et
trois de
ses volcans**

Valles Marineris

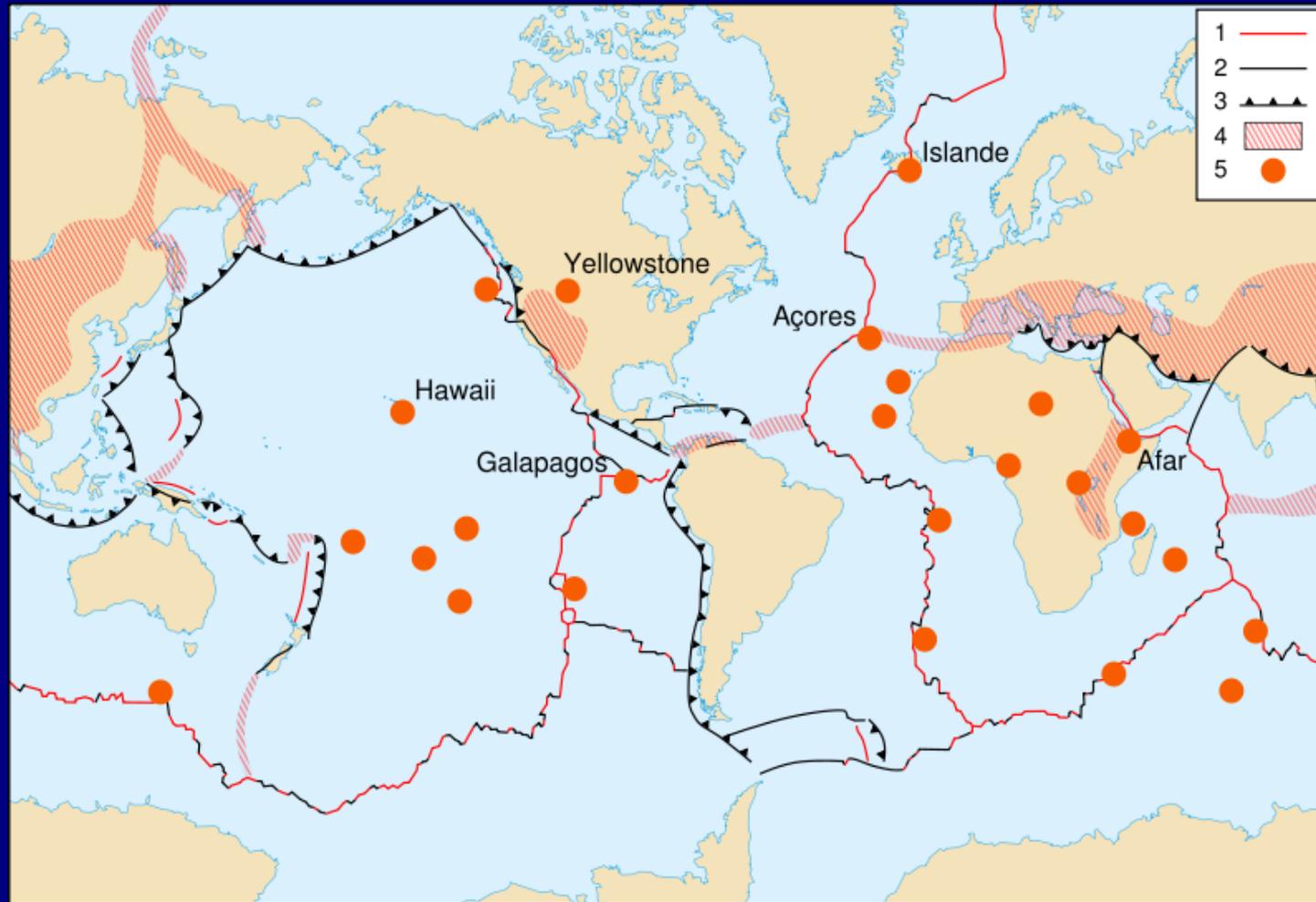
**Cette vaste déchirure aurait été causée par le
soulèvement du dôme de Tharsis.**

Des rifts sur la Terre, sous les océans.



C'est là que le magma pousse la croûte.

Des rifts sur la Terre, sous les océans.



Quand le magma sort, c'est une dorsale.

(Dorsales en rouge, subduction en noir, point chauds en orange)

Des rifts sur la Terre, sous les océans (en général).

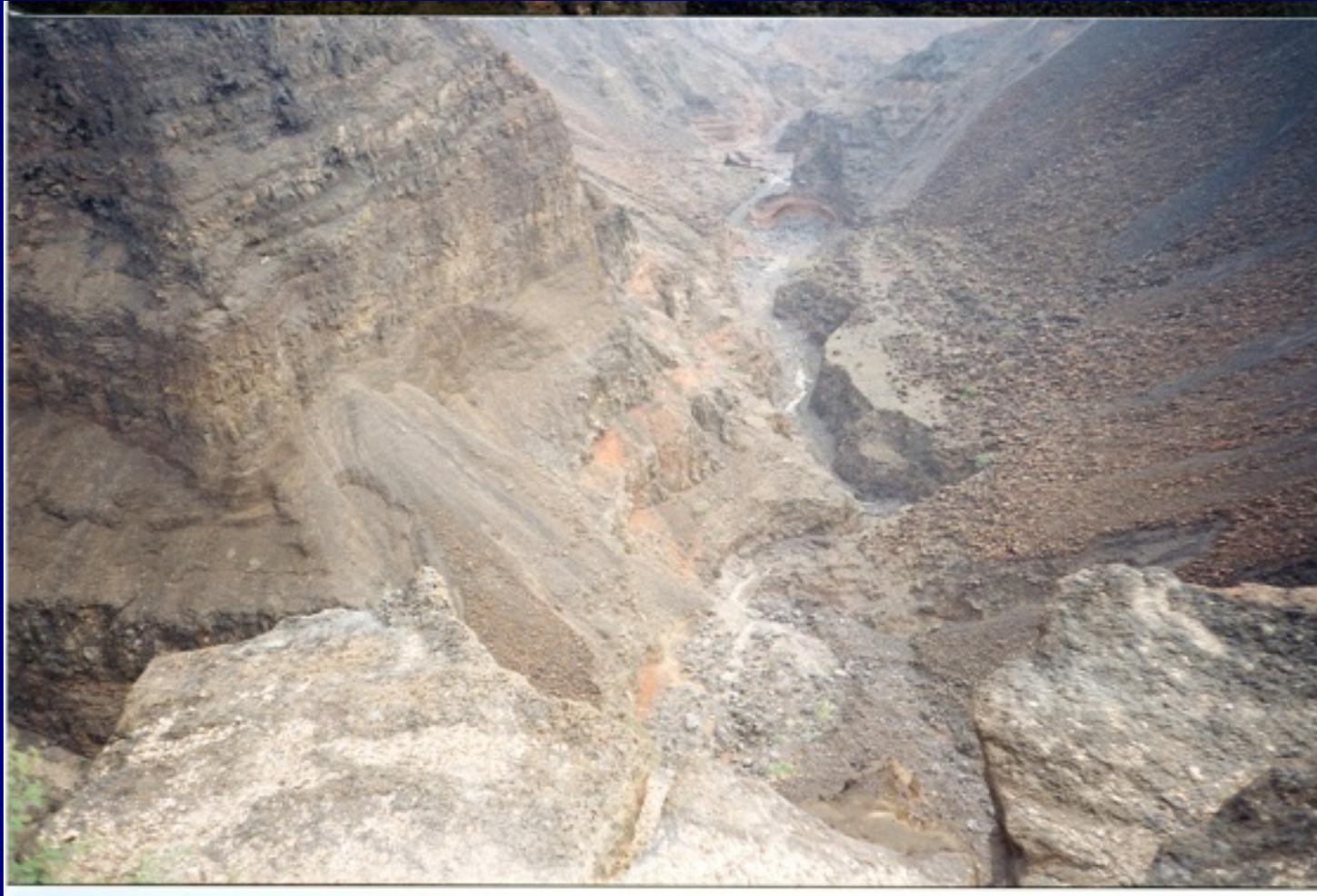


Un rift émergé : les Afars.

Ici, une faille (les deux bords s'écartent).

Les moments où ça s'écarte sont des tremblements de terre.

Des rifts sur la Terre, sous les océans (en général).

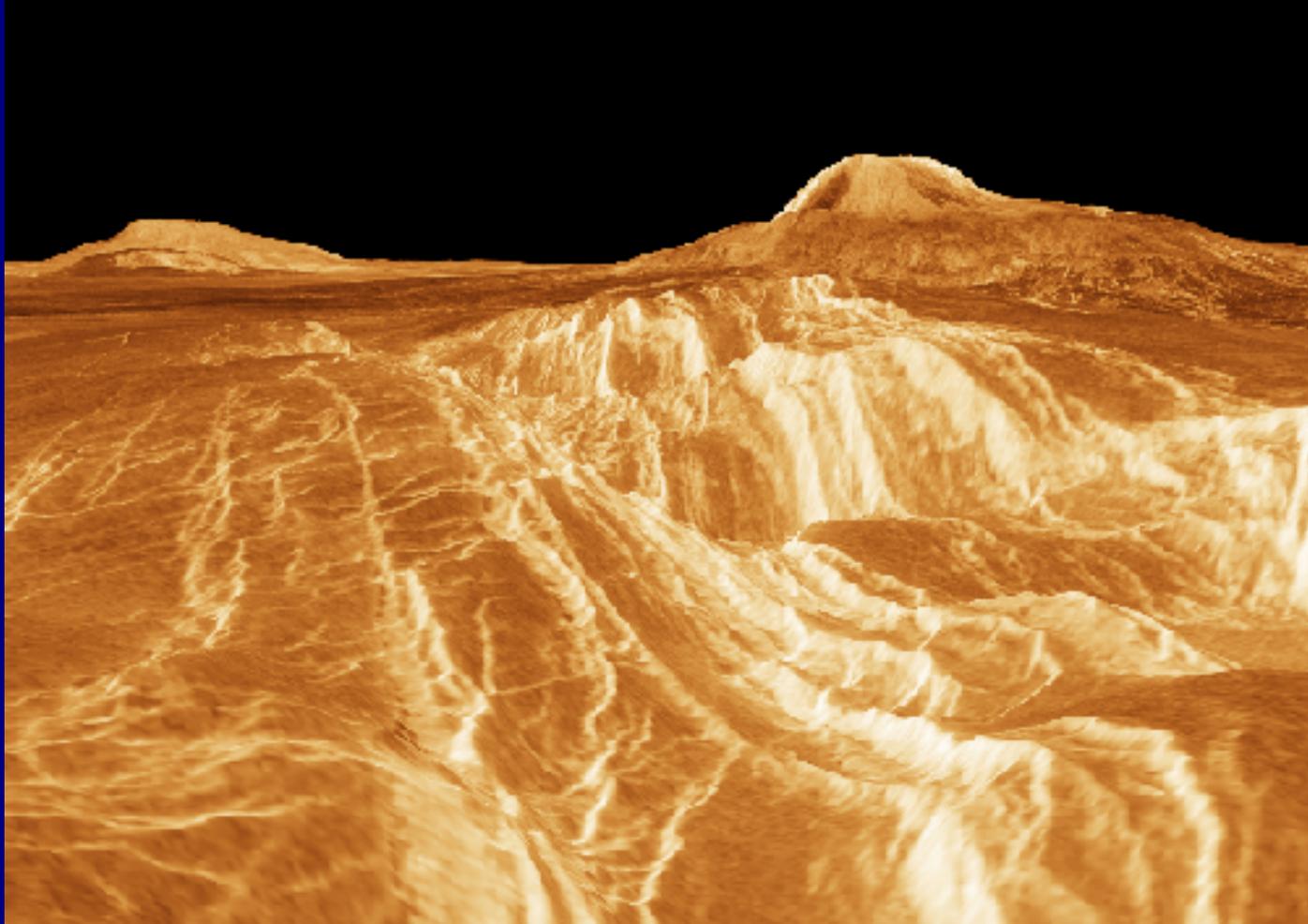


Un rift émergé : les Afars.

Dans une faille (Ethiopie).

[raidsextrêmes sur visoterra]

Un rift sur Vénus.



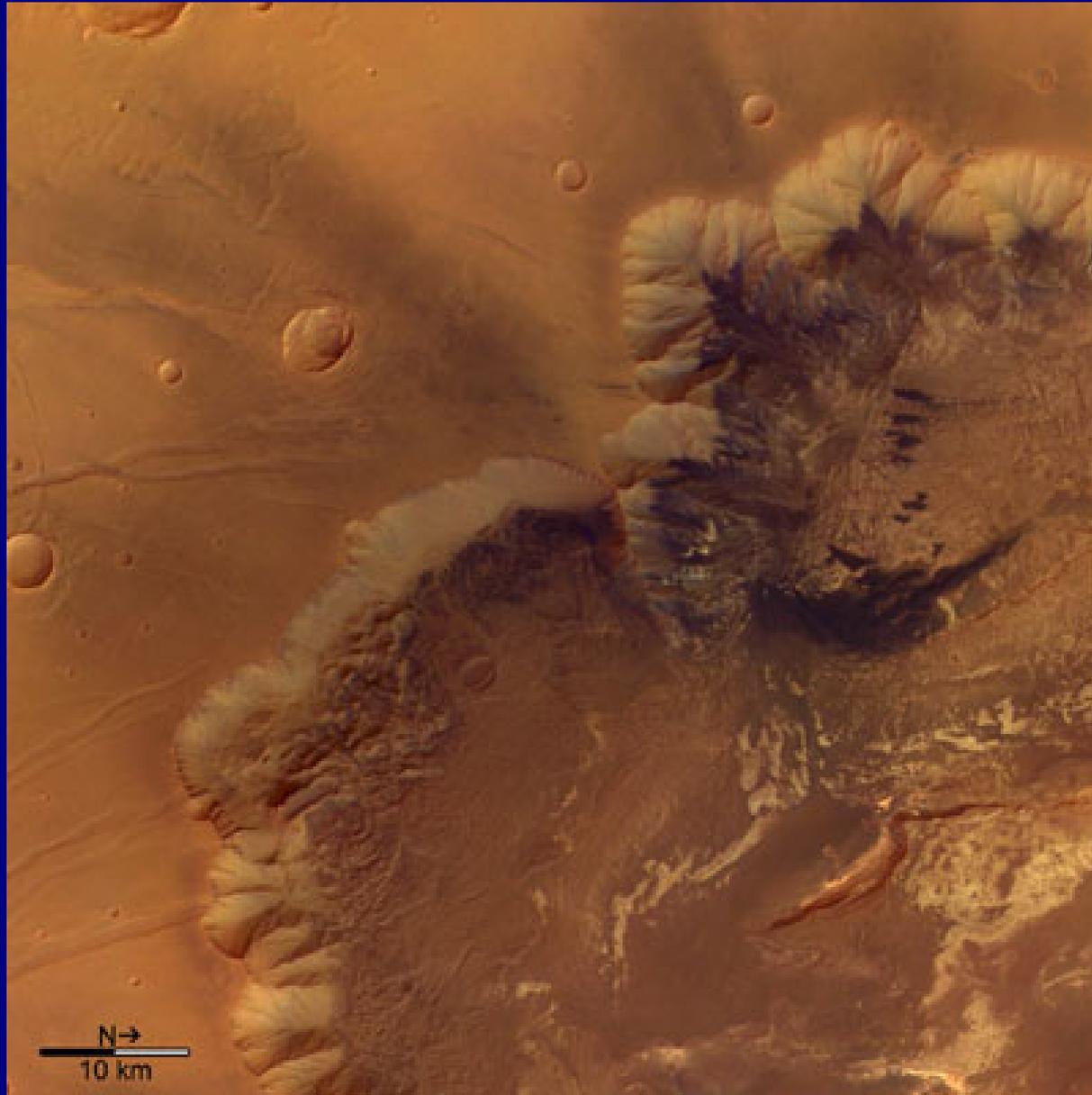
Au loin le volcan Gula (altitude 2,4km).

[reconstitution relief radar Magellan -NASA-, et couleurs Venera -URSS-.]



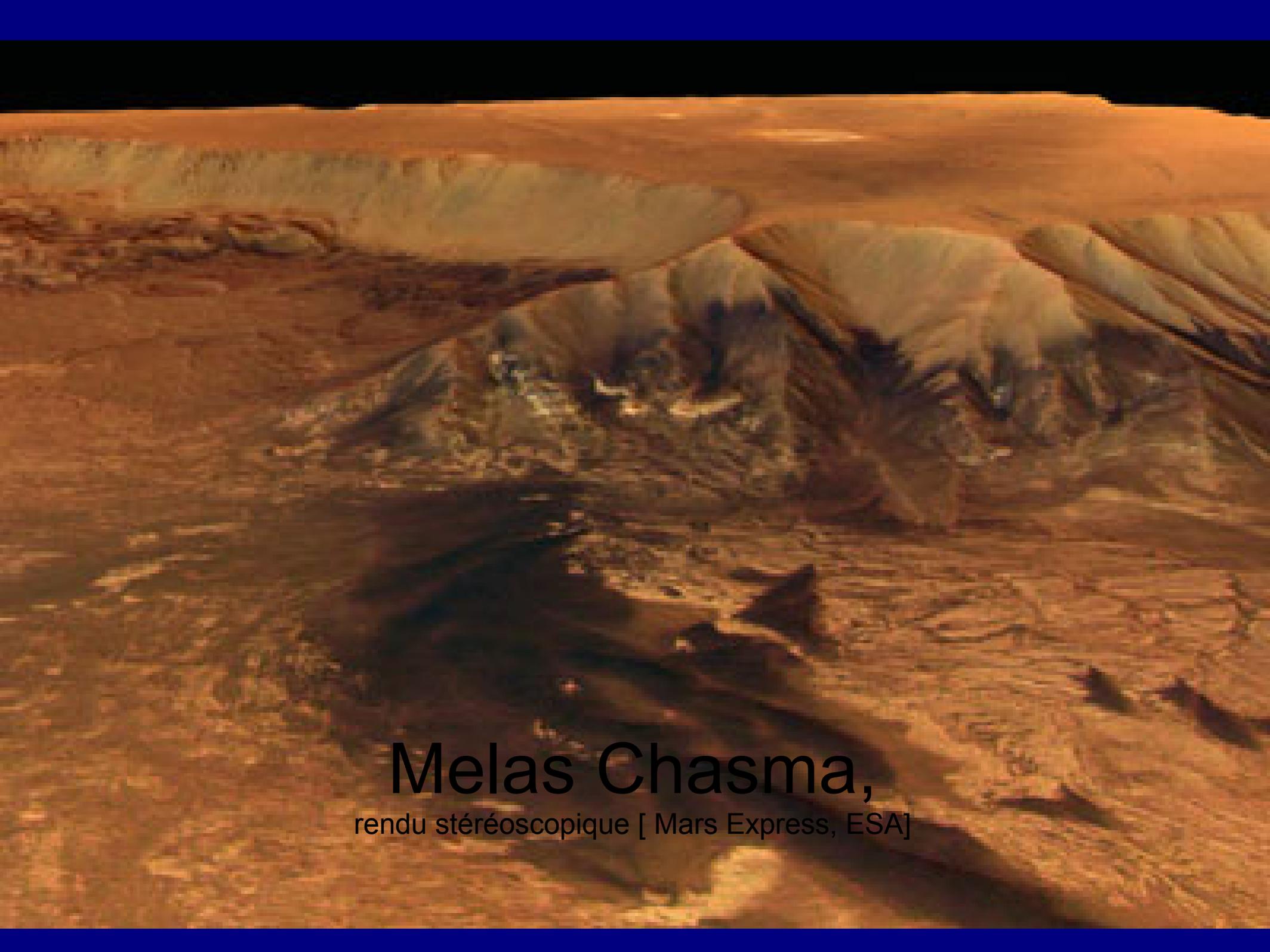
Retour sur Mars : Hebes Chasma, au Nord de Valles Marineris

rendu stéréoscopique [Mars Express, ESA]



Melas Chasma

[Mars Express, ESA]



Melas Chasma,
rendu stéréoscopique [Mars Express, ESA]

Valles Marineris serait donc liée au soulèvement du Dôme Tharsis.

Dôme de Tharsis et trois de ses volcans

Valles Marineris

Quid ?

Le Dôme de Tharsis

Olympus Mons

Ascraeus Mons

Région de 5000 km de diamètre,
élevée à 5000 m au dessus du niveau moyen.

Pavonis Mons

0N, 135W

130W

125W

120W

115W

110W

105W

100W

95W

Le Dôme de Tharsis



Olympus Mons

Asraeus Mons

La région la plus volcanique de Mars
vraisemblablement soulevée il y a 2 Md d'années
par le magma du manteau martien.

Pavonis Mons

0N, 135W

130W

125W

120W

115W

110W

105W

100W

95W

Olympus Mons



Olympus Mons

Diamètre : 600 - 700 km
Altitude : 26 km.

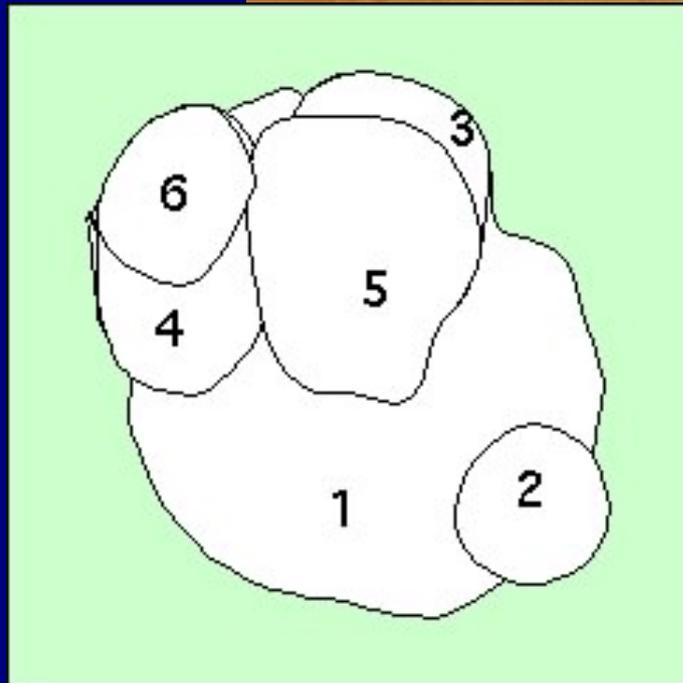
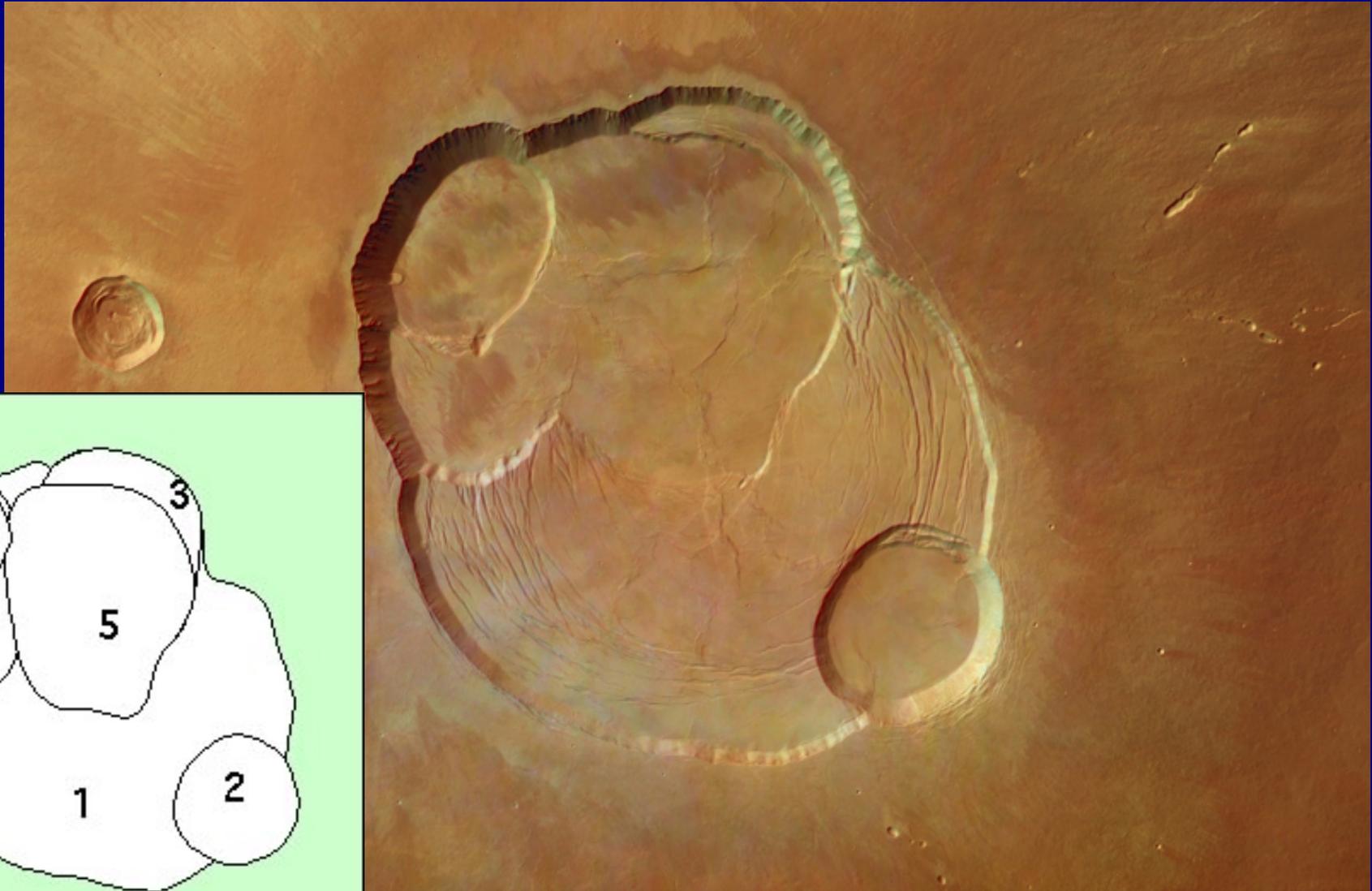
Sa caldeira (le sommet effondré)
a un diamètre de 80 km et
2600 m de profondeur.

C'est le plus grand volcan
connu dans le système solaire.

Sa formation a duré 1 à 2 milliards
d'années. Malgré ses dimensions
immenses, sa contribution au bilan
thermique de Mars est donc
modeste.



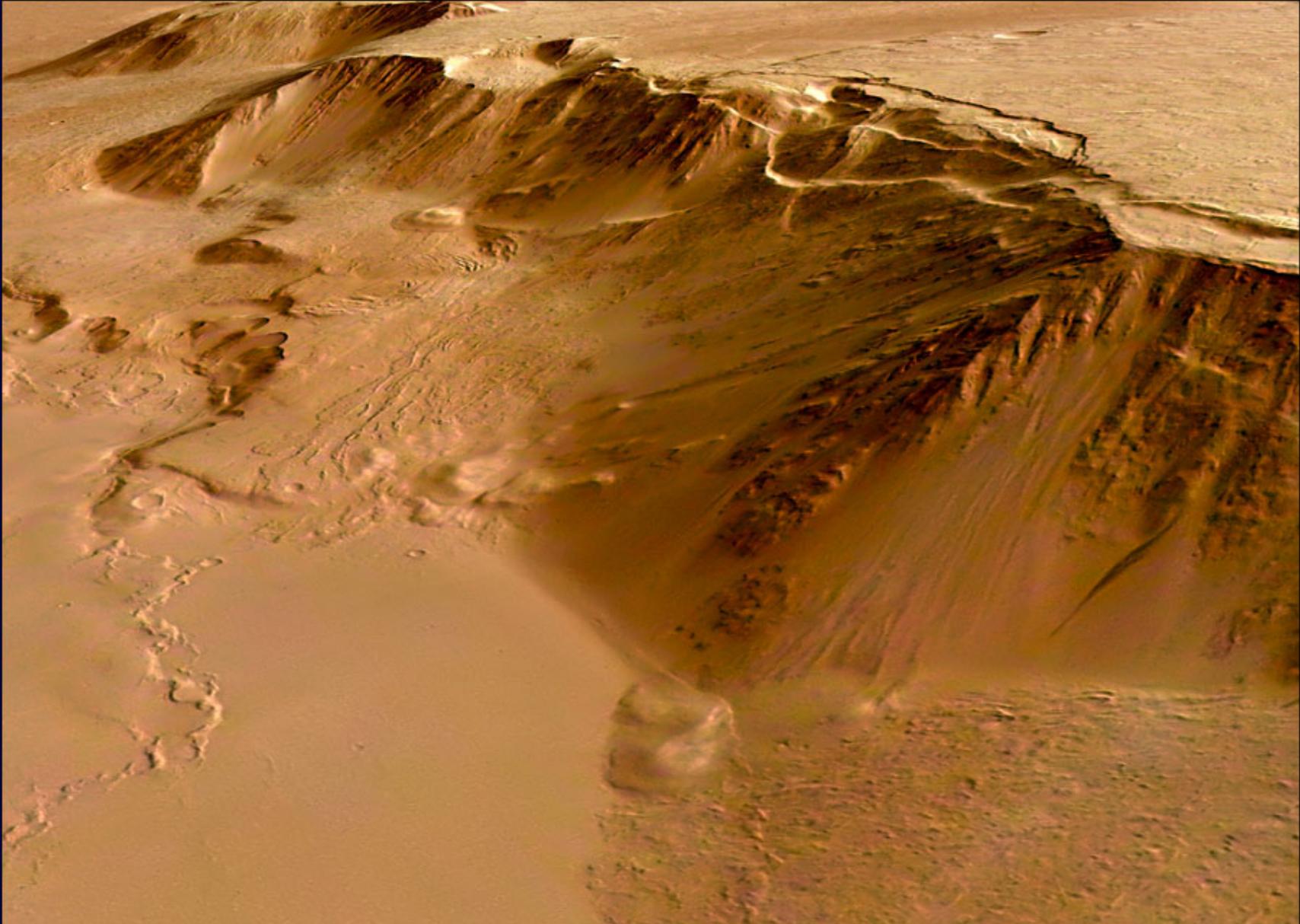
La caldera d'Olympus



Ordre des effondrements.

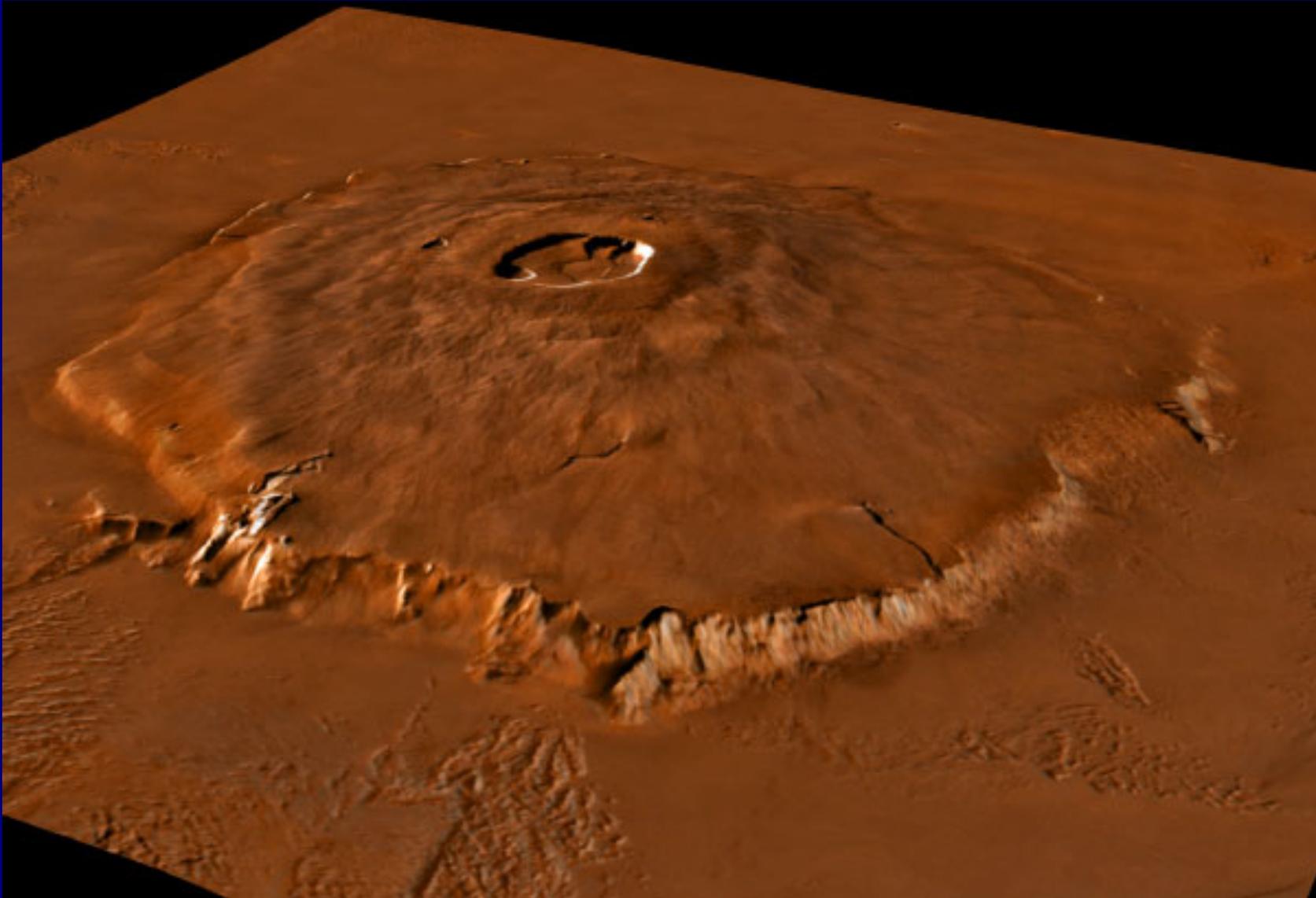
[Mars Express, ESA]

Olympus Mons



Les premiers 6000 m sont les plus abrupts à gravir. Le reste monte en pente relativement douce, au maximum 6° , sur 250 km.

Olympus Mons



Les premiers 6000 m sont les plus abrupts à gravir. Le reste monte en pente relativement douce, au maximum 6° , sur 250 km.

Des nuages formés aux sommets



Mont Blanc [Poupoune sur Visoterra]



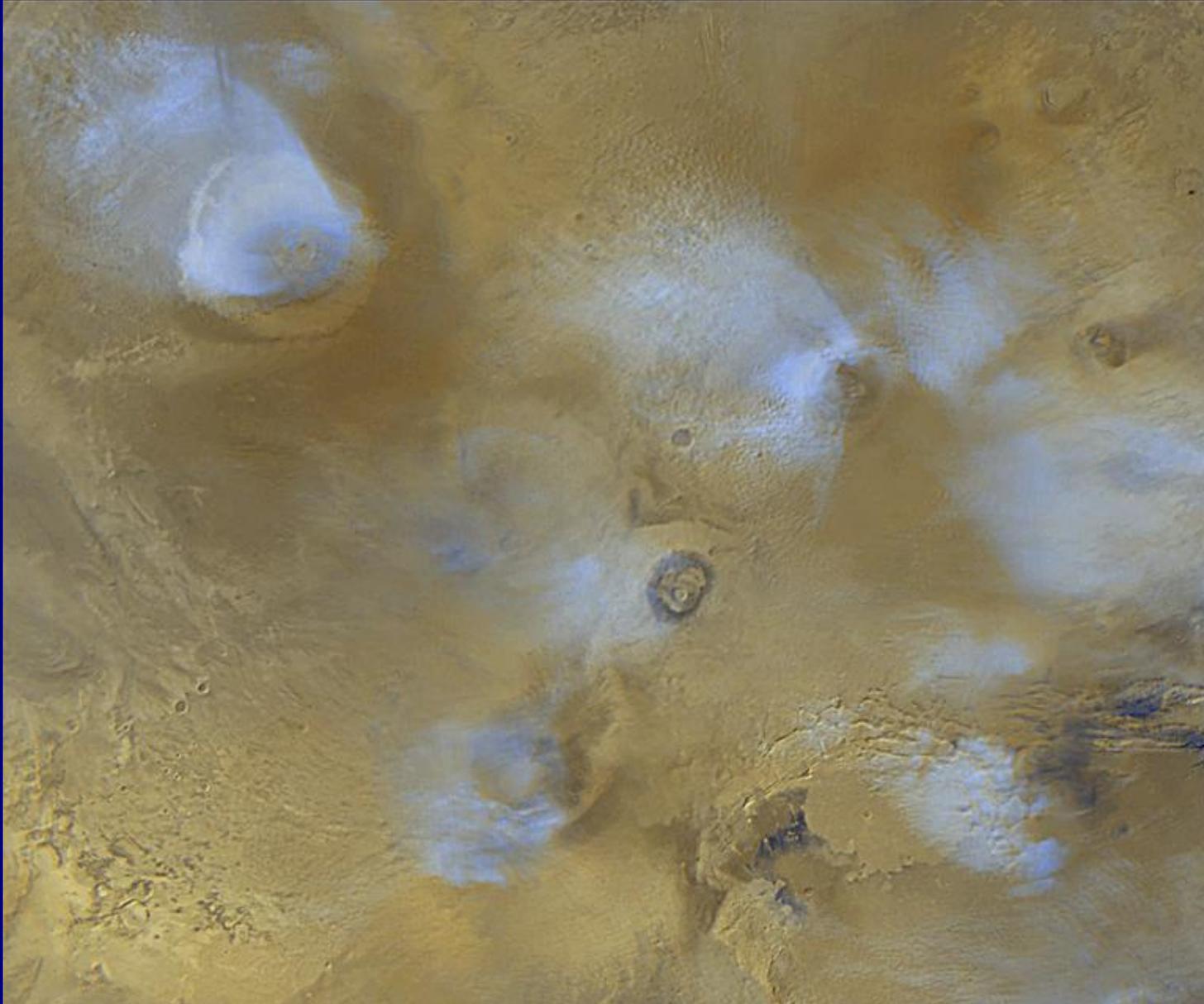
Mont Shasta (?) [Mary Weiden]

Nuages orographiques :

il faut du vent, un obstacle, un air humide mais pas saturé.

Forcé à gravir la montagne par le vent, l'air monte, se refroidit, et l'air plus froid tolère moins de vapeur d'eau. Donc celle-ci se condense (gouttelettes cristaux), formant un nuage. En s'éloignant du nuage, l'air redescend, et l'eau s'évapore à nouveau : le nuage disparaît progressivement en quittant le sommet.

Volcans du Dôme de Tharsis



Comme les montagnes ou les îles isolées et élevées, les volcans martiens favorisent la formation de nuages. [\[Mars Global Surveyor, NASA\]](#)

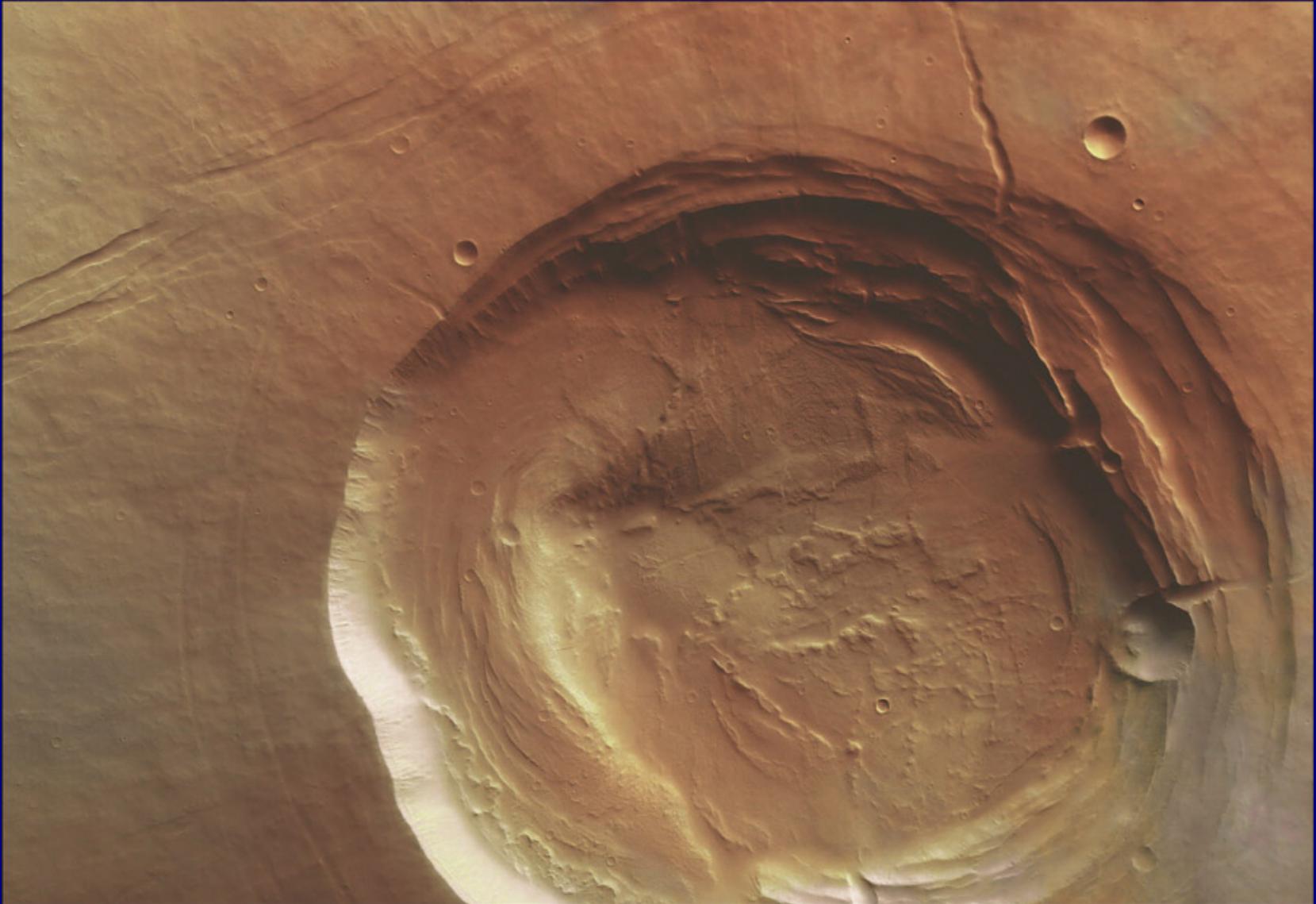
Volcans du Dôme de Tharsis



A l'occasion ces nuages peuvent être photographiés par des amateurs sur Terre.

On reconnaît le lieu des 4 grands volcans de Tharsis. Photo filtre UV (bleu) [Don Parker]

D'autres volcans de Tharsis



Caldera de Bibli Patera sur Tharsis [Mars Express, ESA]

Volcans de Tharsis



Ceraunius et Uranus Tholus au nord-est de Tharsis (le nord est à droite de l'image)
Coulées de lave, calderas et cratères d'impacts. Le nombre élevé de cratères
d'impact indique un âge > 2 Md années. Ces volcans semblent éteints. Est-ce la cas
de tous les volcans martiens ?

[Mars Global Surveyor, NASA]

L'activité des 5 volcans majeurs sur Mars.

Pour analyser l'age d'un volcan : identifier les différentes coulées de lave (stratigraphie) et tenter de les dater à partir du nombre de cratères (en fonction de leur taille).

D'après les données Viking, on pensait que les grand volcans martiens étaient éteints depuis > 600 M années.

Avec Mars Express, images avec une résolution de 10-20 mètres. Elles permettent de compter précisément les petits cratères. Or les petits sont : les plus nombreux (meilleure statistiques) tandis qu'à une époque géologique récente, les gros sont rares.

Etude de G. Neukum sur les 5 plus gros volcans martiens : ils ont été actifs dans les 20 derniers % de l'histoire de Mars (600 M années) et certaines coulées remontent à un ou deux millions d'années.

A cette échelle de temps, il n'est pas obligé que l'activité volcanique soit éteinte. Les flots observés étaient liquides comme ceux de Hawaï.

[Mars Express, ESA, Neukum, Nature 2004]



Activité volcanique « récente » : des résurgences d'eau.



Sur les bords d'Olympus Mons, ces structures seraient dues à des résurgences d'eau et des traces de glaciers. L'eau ne pourrait provenir ici que du volcan. Ces structures sont estimées à un âge de 1 à 4 millions d'années.

[Mars Express, ESA, Neukum, Nature 2004]

Le volcanisme a-t-il contribué au refroidissement de Mars ?

Mars possède les plus grands volcans du système solaire.

Olympus Mons :

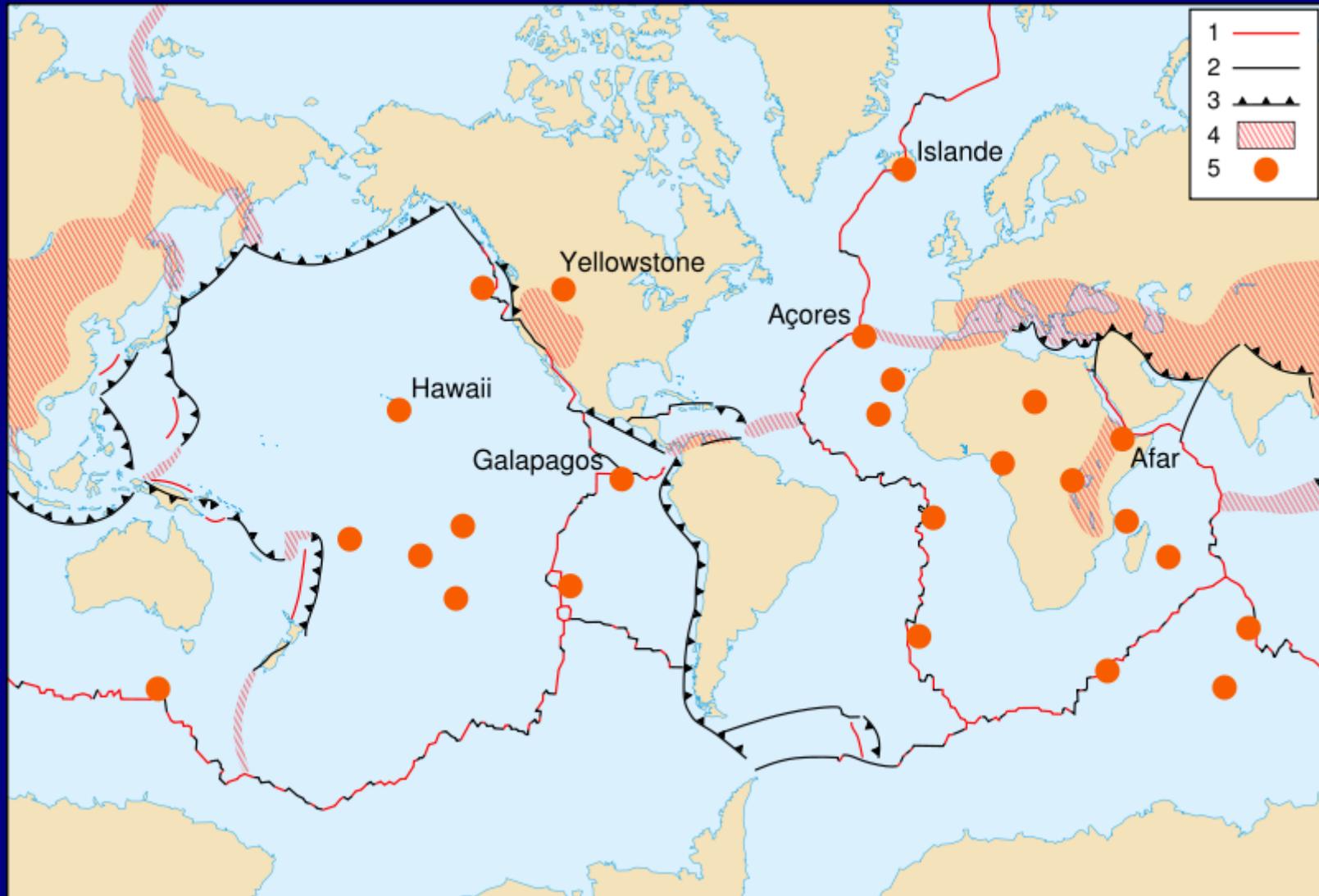
Sa formation a duré 1 à 2 milliards d'années. Son activité n'a donc pas été exceptionnelle.

Malgré ses dimensions immenses, sa contribution au bilan thermique de Mars est donc modeste.



Mars recèle-t-il des traces de
tectonique des plaques ?

Tectonique des plaques sur Terre et volcanisme.

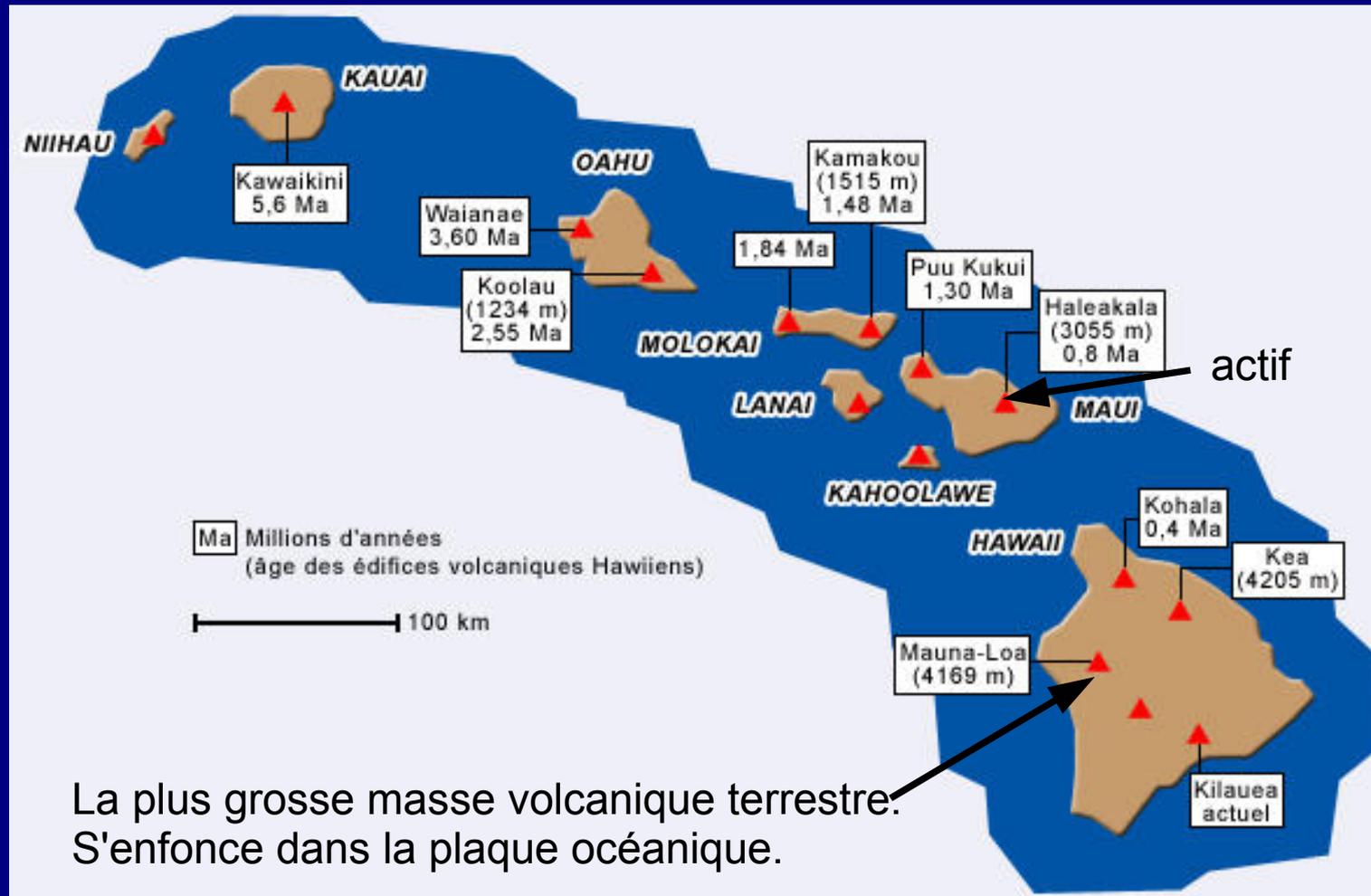


Dorsales (rifts aboutis) en rouge, subduction en noir, points chauds en orange.

Sur mars

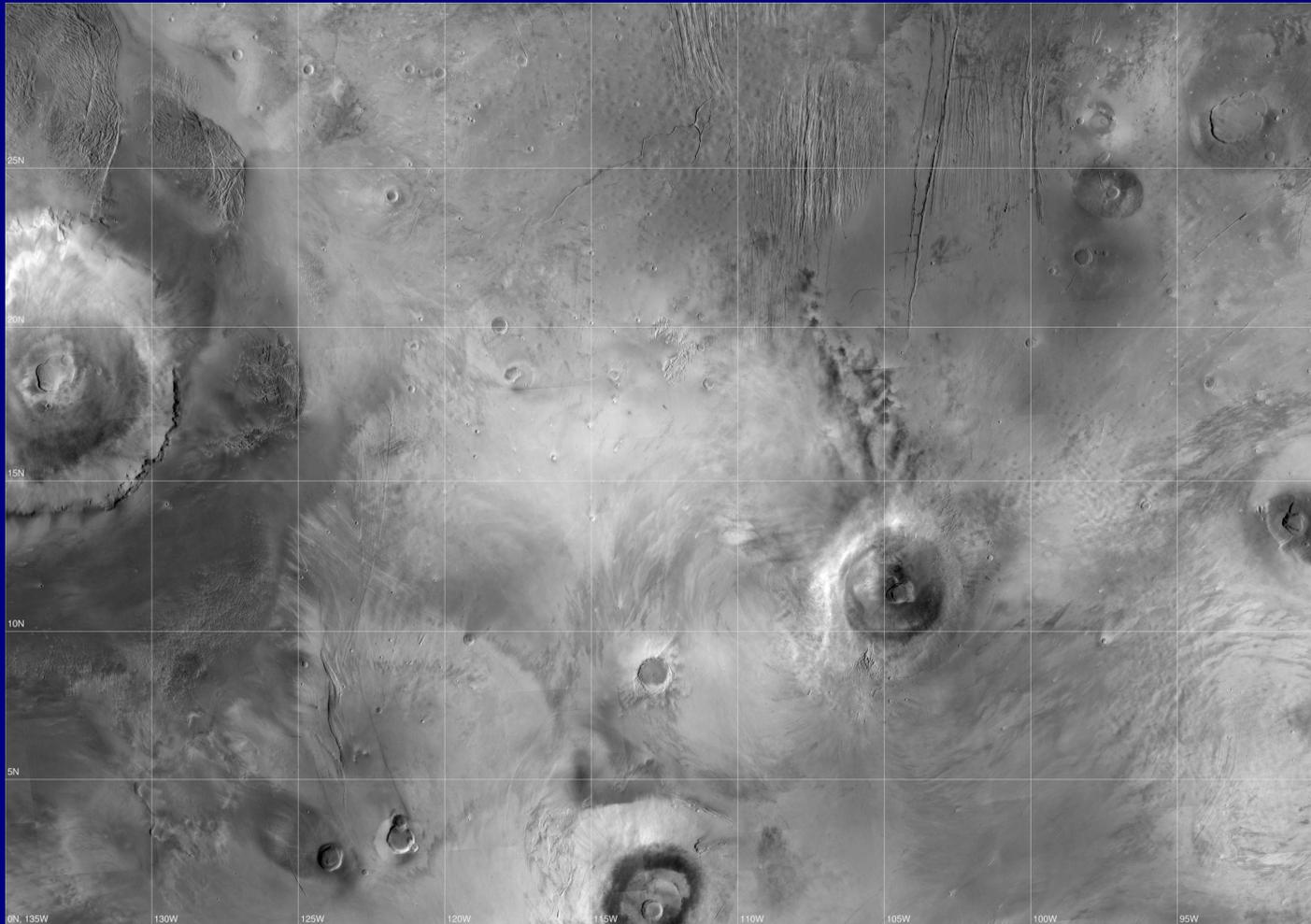
- Aucune trace de zone de subduction
- Des rifts (ex : Valles Marineris), mais pas de dorsale (le magma ne sort pas du rift). ex : Pas de volcan *dans* ou *au bord* de Valles Marineris.
- Le volcanisme sur les dômes évoque un volcanisme de point chaud. Peut-on le comparer au volcanisme de point chaud terrestre.

Points chauds sur Terre, ex: Hawaï.



Chapelet de volcans d'âges décroissants :
la plaque océanique se déplace au dessus du point chaud.
De ce fait, les volcans n'ont pas le temps de devenir énormes.

Sur Mars, pas de chaîne de volcans



Sur Mars, les éruptions ont toujours lieu à la même place.
(Donc les volcans sont énormes.) Preuve qu'il n'y a pas de dérive de la croûte martienne.
De plus, malgré leur énormité, les volcans ne s'enfoncent pas dans la croûte. Donc cette dernière est épaisse (contrairement à la croûte océanique terrestre), c'est en défaveur d'une dérive de plaques de la croûte martienne.

Conclusions :

Pas de dérive des continents sur Mars.

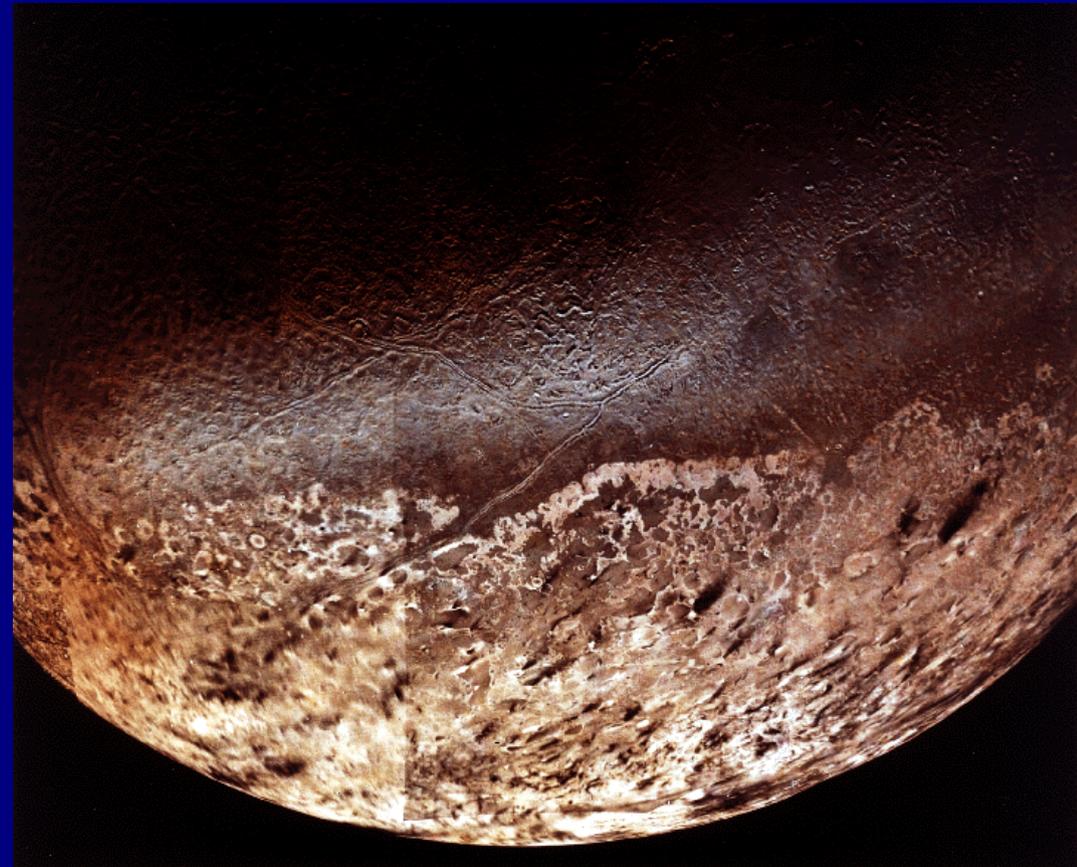
Une croûte martienne épaisse.

Les planètes actives

- Terre
- Io (Jupiter)
- Europe (Jupiter)
- Encelade (Saturne)
- Triton (Neptune)
- Une reformation actuelle de leurs surface liée à une activité interne.

Les planètes actives

- Terre
- Io (Jupiter)
- Europe (Jupiter)
- Encelade (Saturne)
- **Triton** (Neptune)



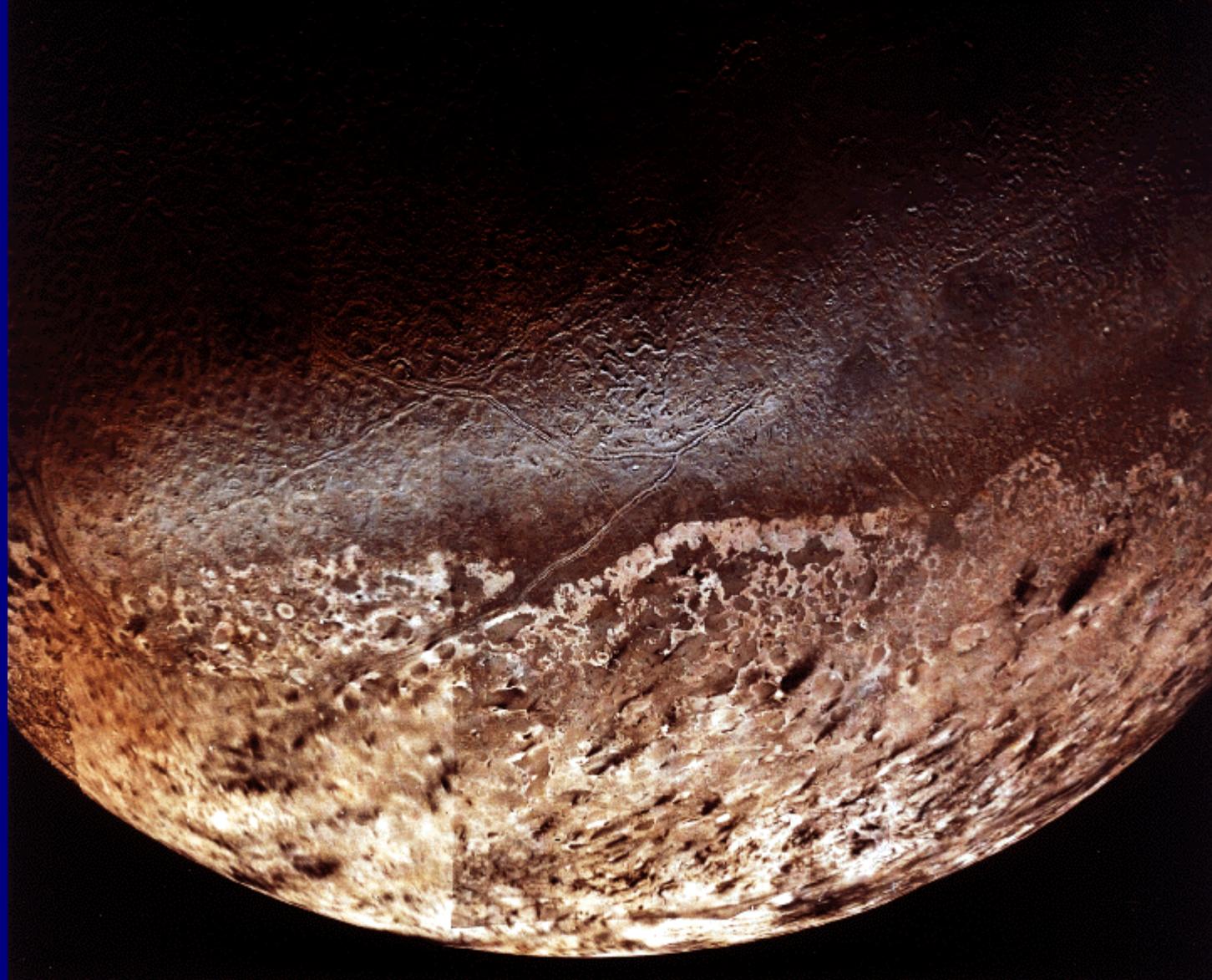
Triton

rayon : 3500 km.

densité : 2,07

albedo : 0,7 (glace)

temperature de surface :
-235 °C



Triton a une atmosphère

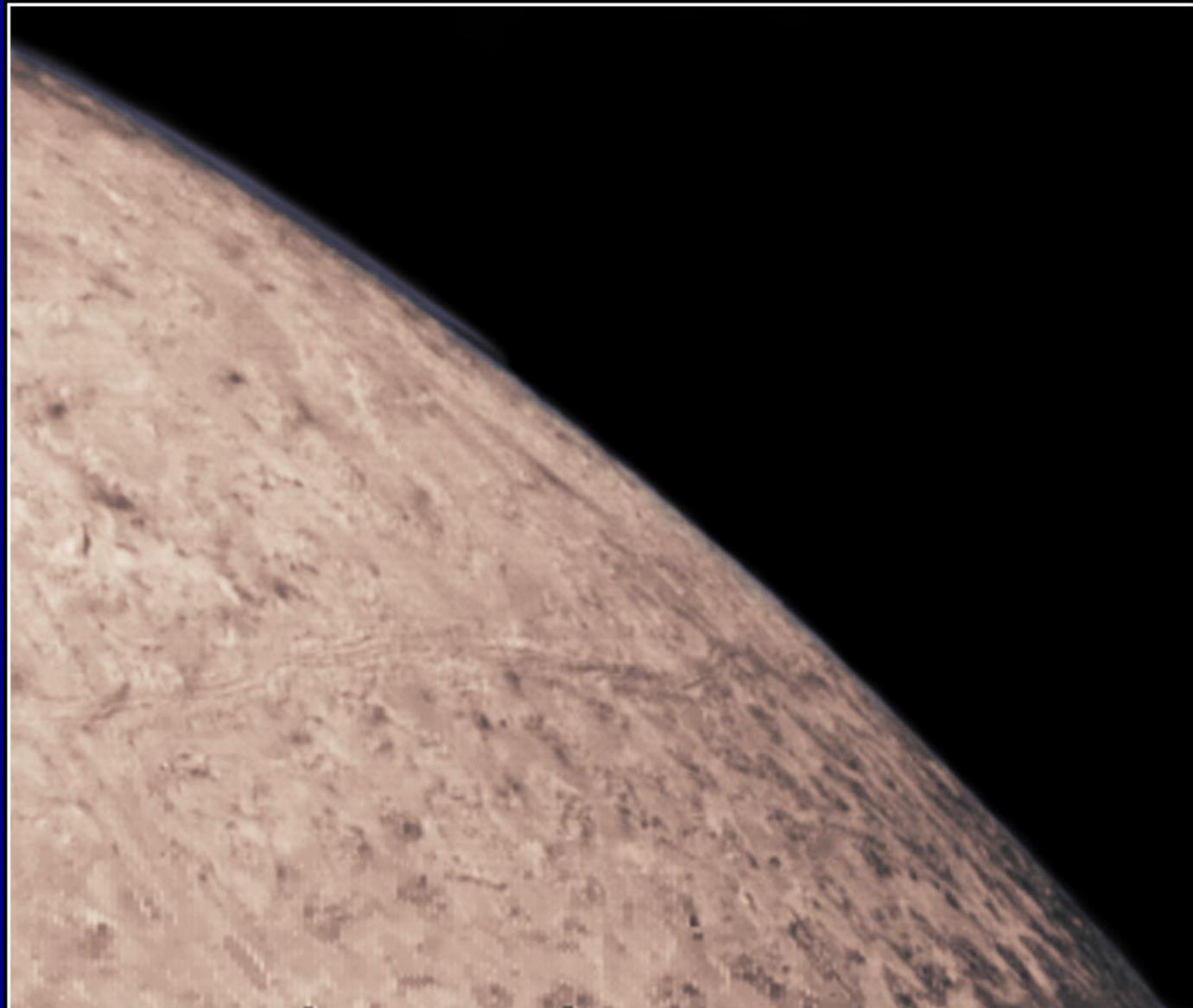
Image de Voyager 2.

On y voit, sur le limbe, des nuages.

Atmosphère très ténue,
de 15 microbars
(15 millionièmes de la pression
atmosphérique terrestre.)

Mais il semble qu'il y ait du
vent (voir la suite).

Les nuages sur l'image
montent jusqu'à 13 km.



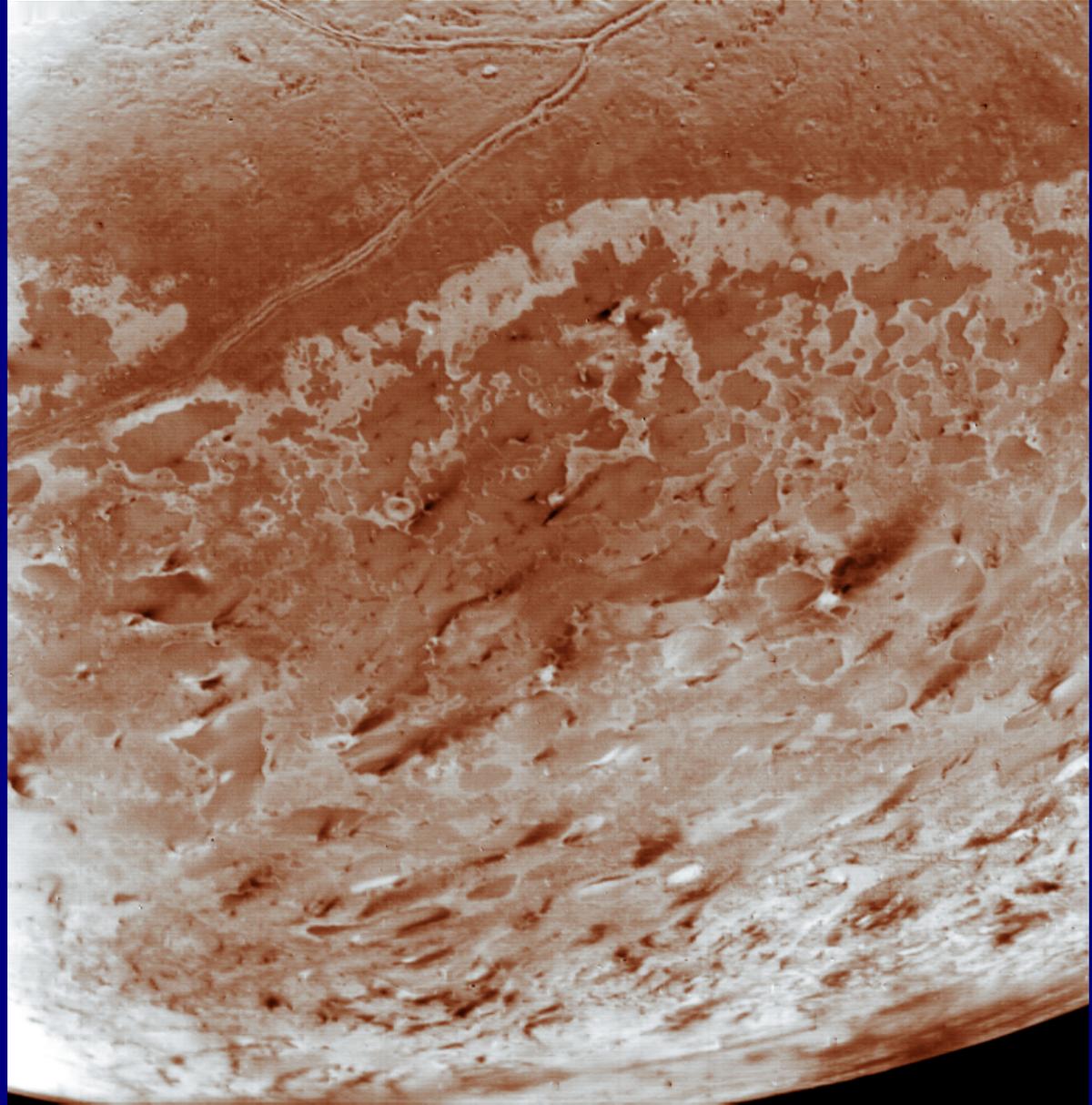
Triton • Tenuous Clouds

des Geysers d'azote sur Triton

Pôle sud. vu par Voyager 2.

Les traînées foncées seraient des coulées de lave, ou plutôt d'azote expulsée par des Geysers.

En retombant, l'azote se solidifie et forme ces traces sombres.

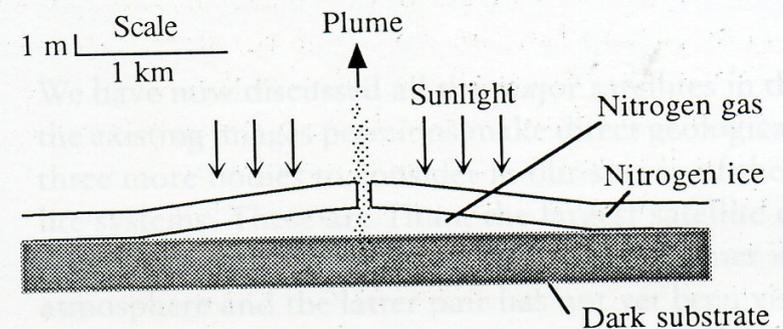
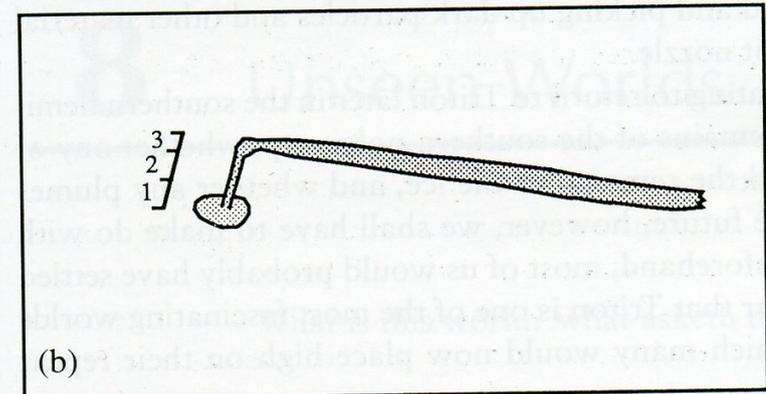


des Geysers d'azote sur Triton

Pôle sud. vu par Voyager 2.

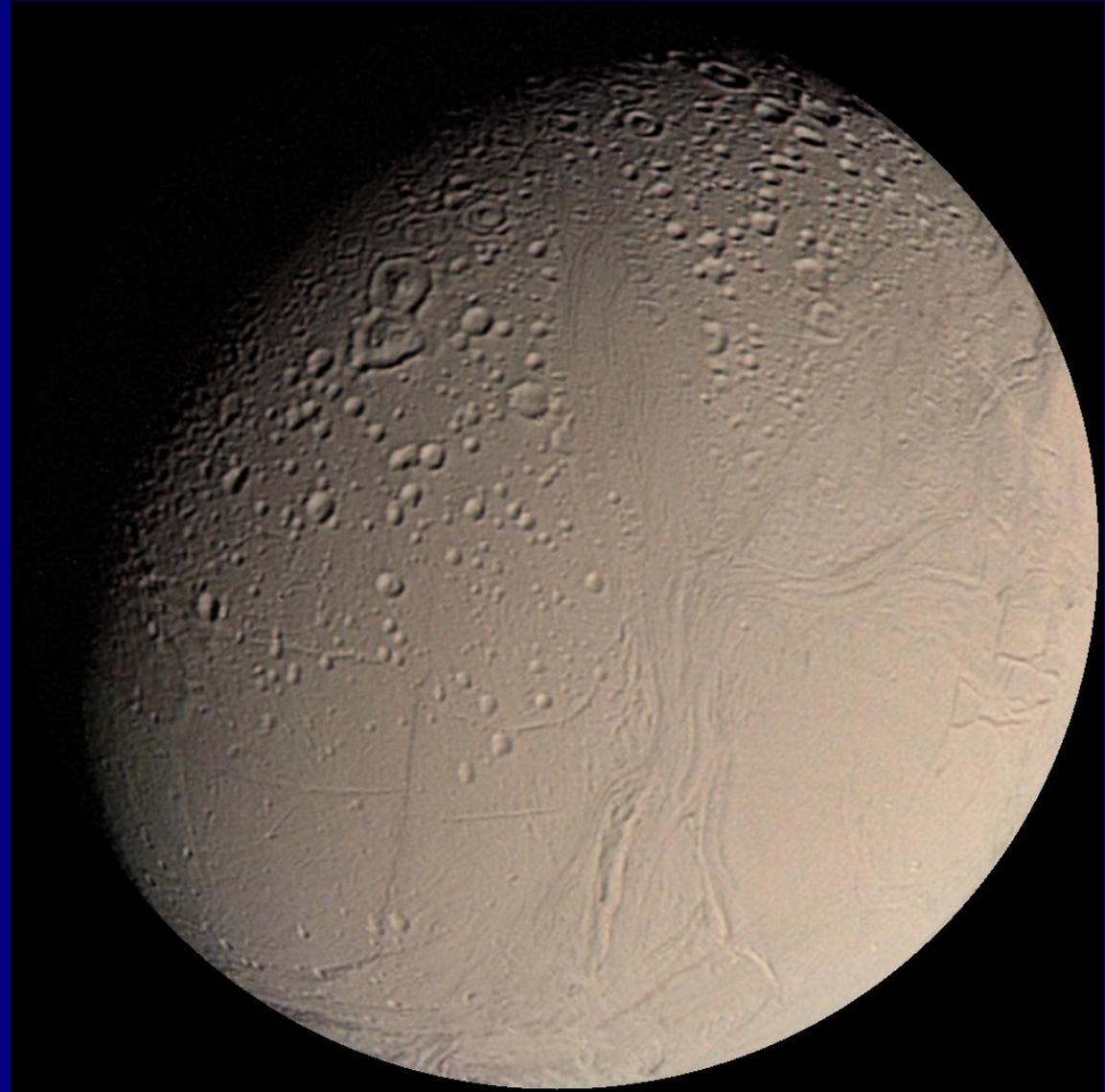
En haut à gauche, photographie d'une plume, c'est à dire d'un jet.

L'azote est éjecté à quelque kilomètres d'altitude, puis il est porté par le vent, avant de retomber (on ne le voit pas tomber sur l'image).



Les planètes actives

- Terre
- Io (Jupiter)
- Europe (Jupiter)
- **Encelade** (Saturne)
- Triton (Neptune)

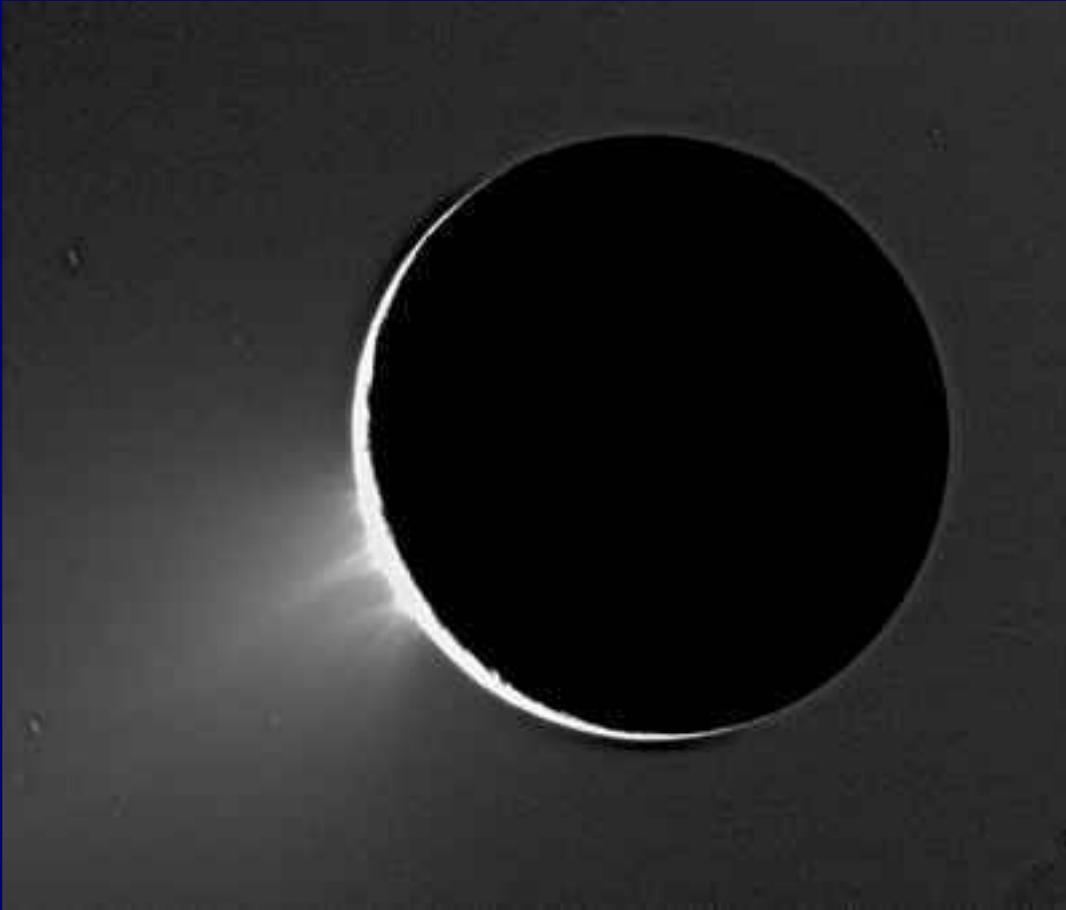


Encelade et ses griffures de tigre

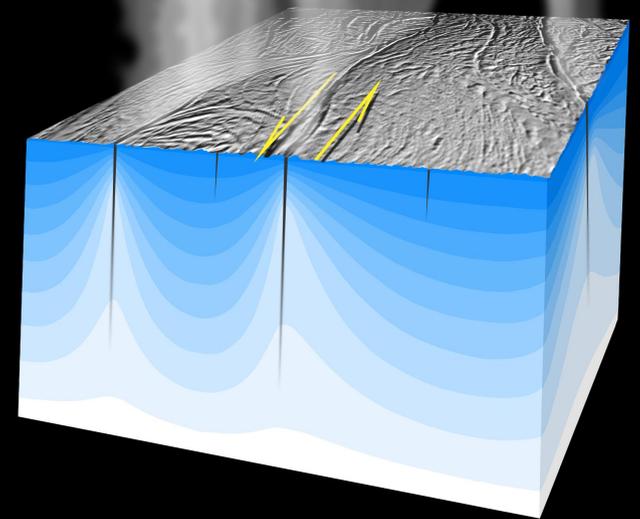


130 kilomètres de long en moyenne, et 2 km de large. $T = -133\text{ C}$ au lieu de -193 ailleurs.

Les panaches d'Encelade

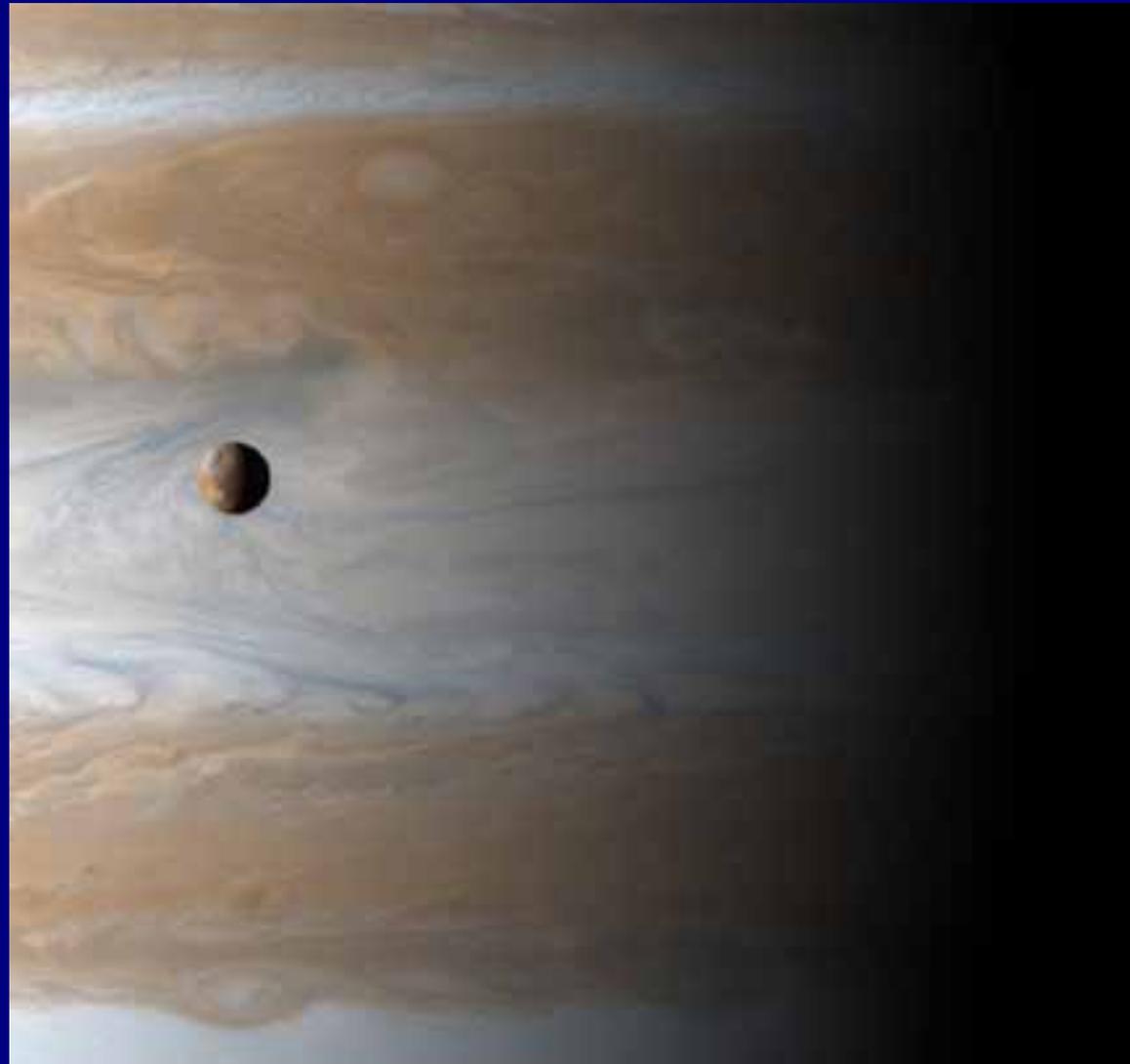


Effet de marée, amplitude > 1 mètre.
Glissement de plaques (griffures de tigre) : fissures.
Geysers, pas besoin d'un océan liquide sous la croûte,
juste une liquéfaction locale.
[Nimmo et al, Nature, 2007]



Les planètes actives

- Terre
- **Io** (Jupiter)
- Europe (Jupiter)
- Encelade (Saturne)
- Triton (Neptune)



Io est une planète rocheuse

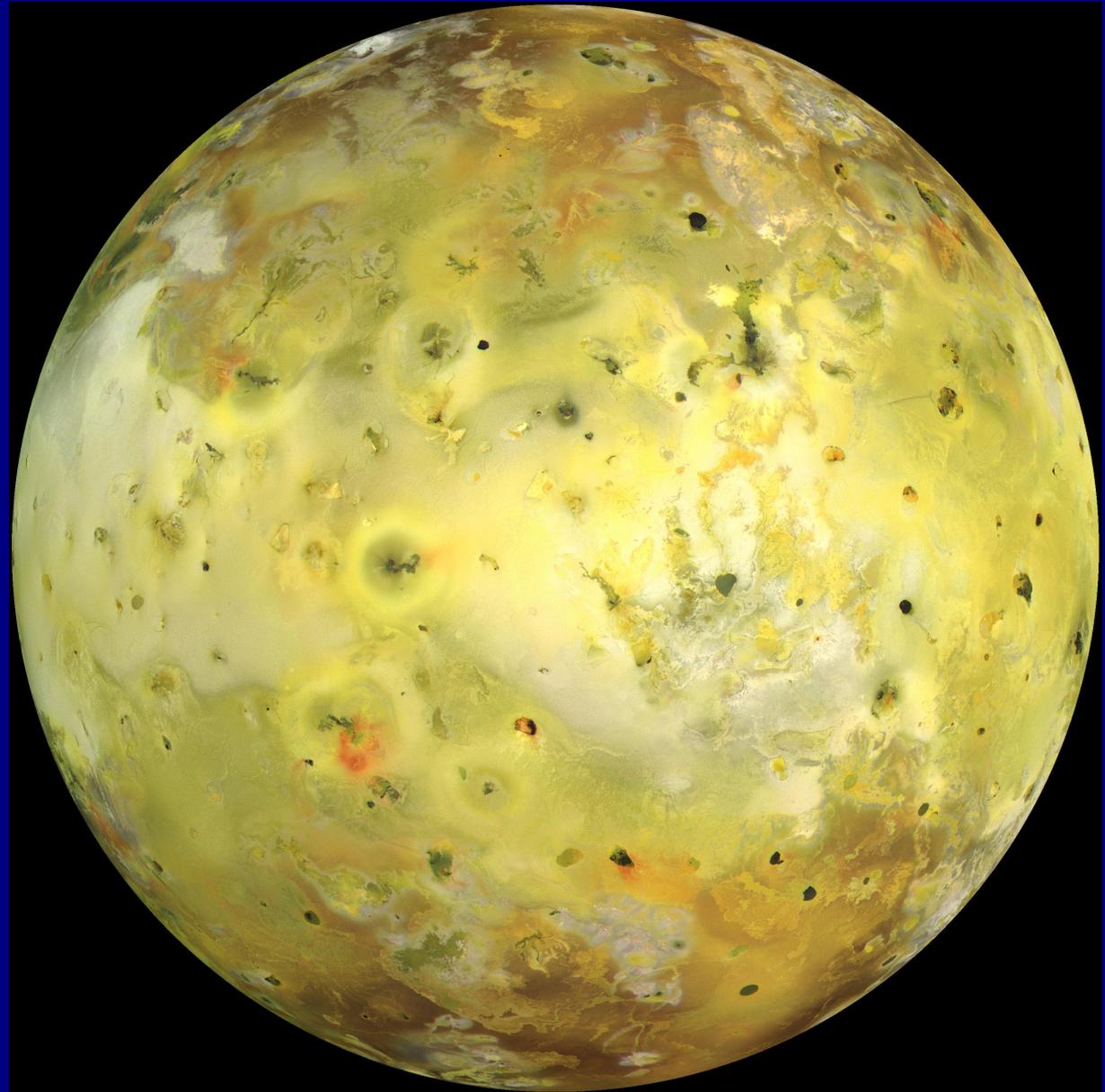
la gros satellite le plus proche
de Jupiter.
Sa période de rotation (1,77 jour)
autour de Jupiter est la moitié de
celle d'Europa (3,55).
Interaction gravitationnelle : marées.

rayon : 1821 km

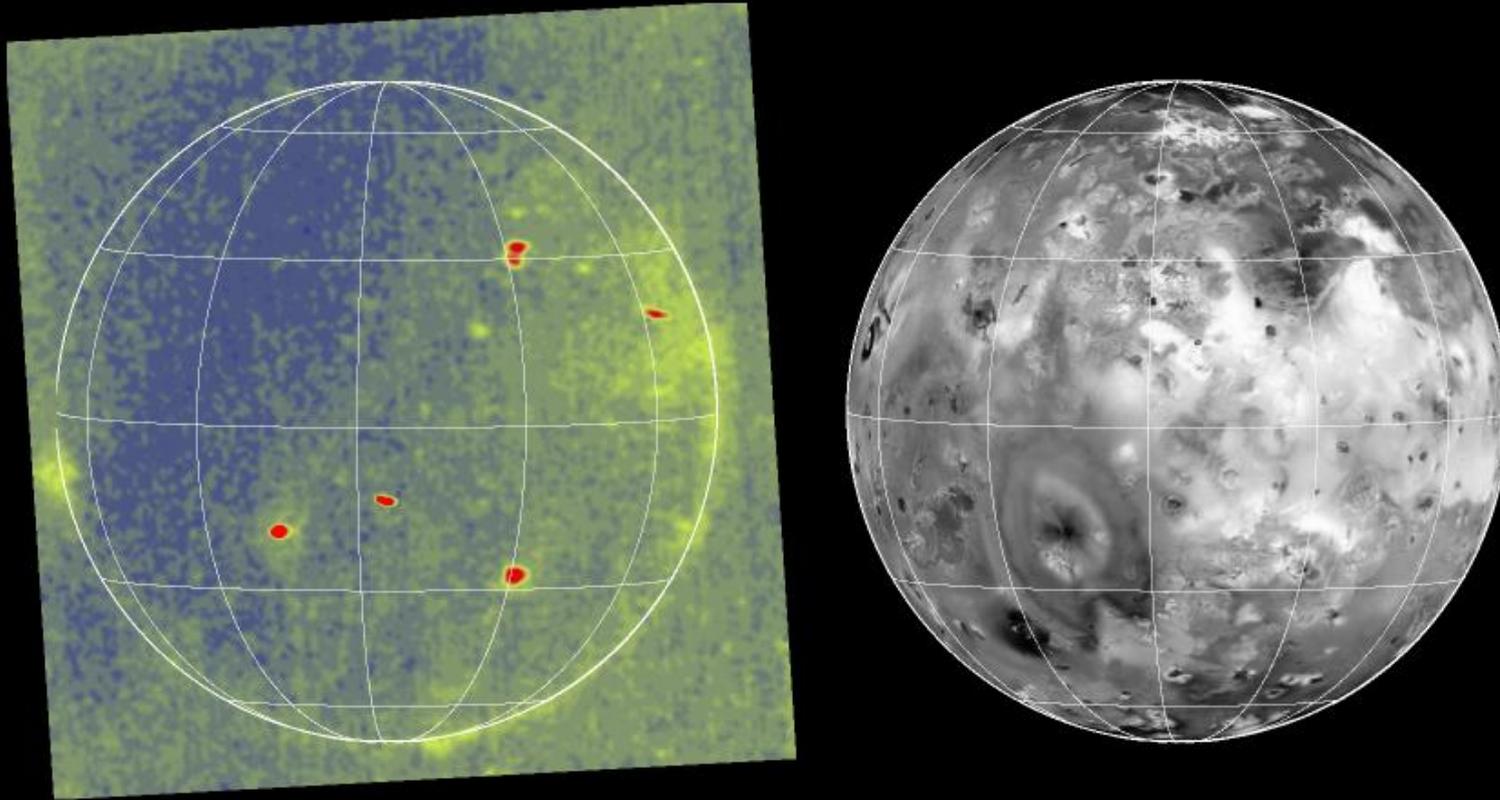
densité : 3,52

composition de la surface : ce qu'on
voit est à base de soufre. SO₂ etc.

température de surface : 90 K

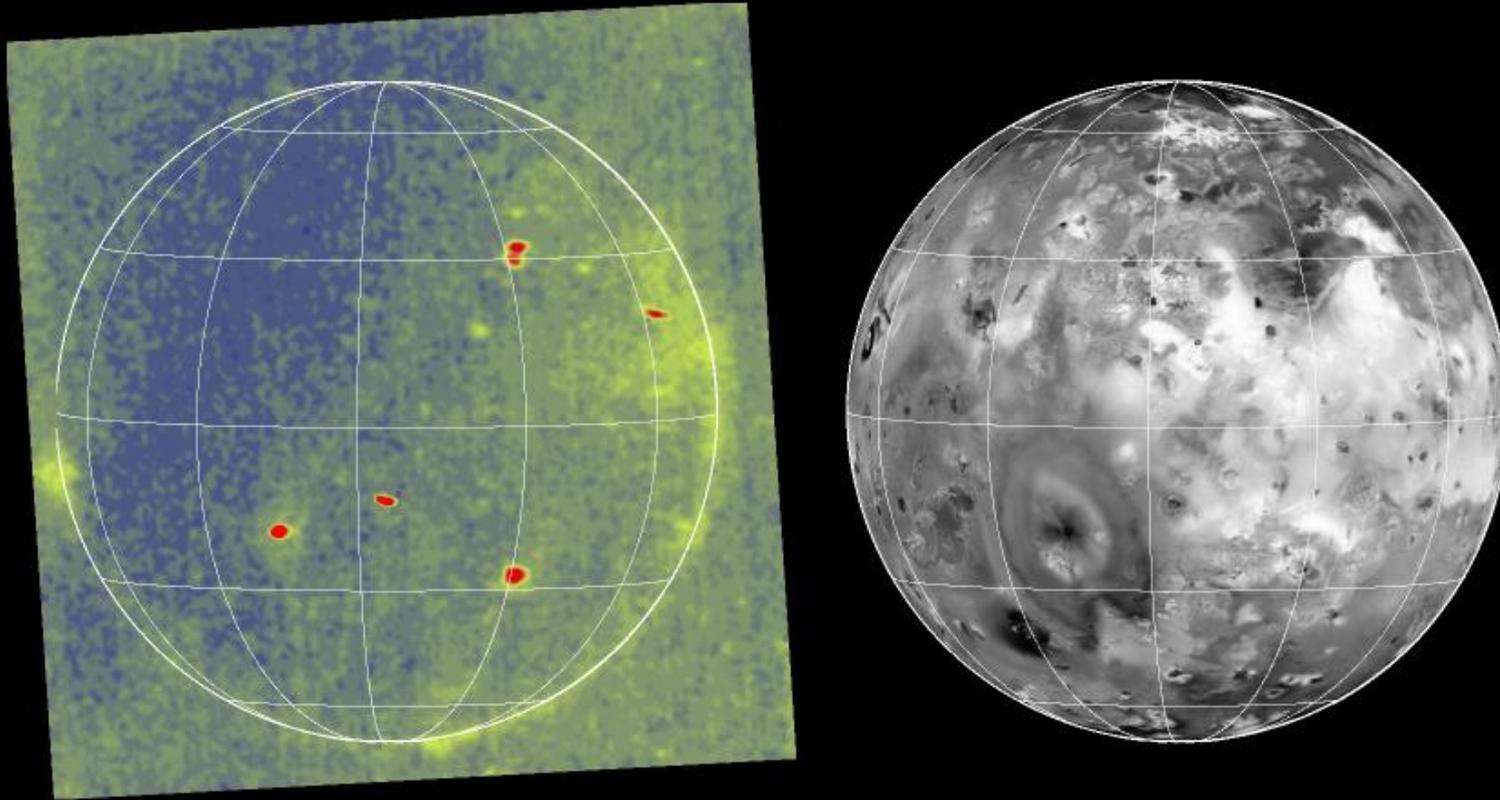


Io a des zones plus chaudes que le reste



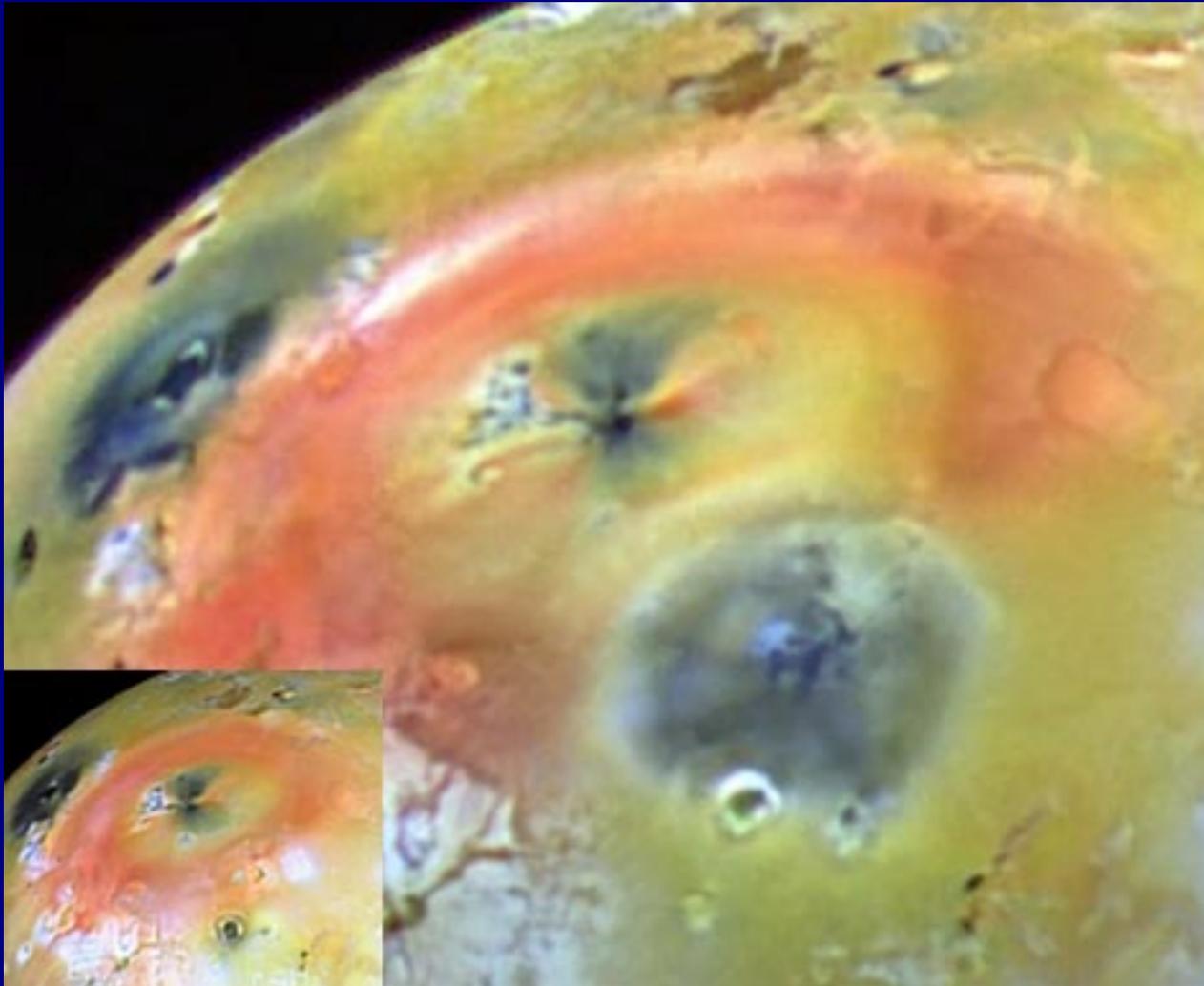
Gauche : Image infrarouge (sensible à la température) prise quand Io est dans l'ombre de Jupiter.
Droite : Io dans la même disposition, mais au jour, en lumière visible.

Des éruptions volcaniques sur Io.



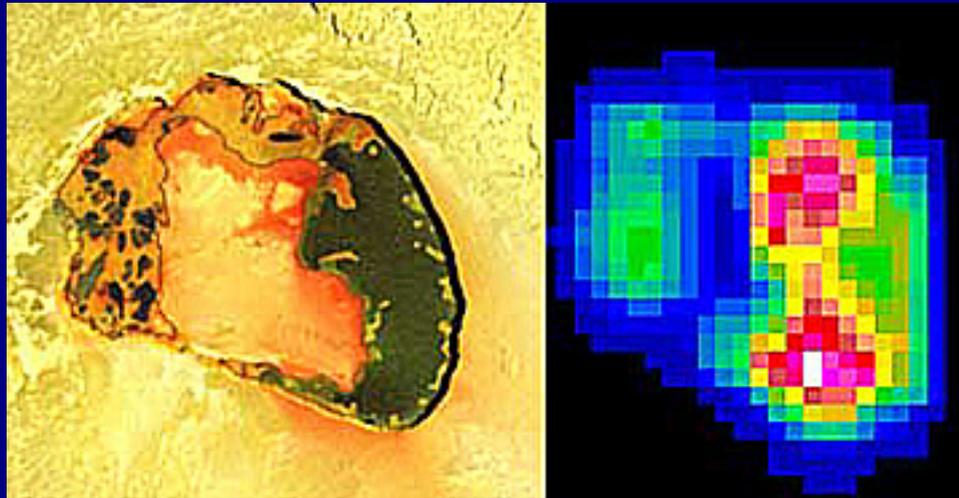
Ces point chauds sont des éruptions volcaniques. Température : jusqu'à 1500 K.
On en observe plusieurs, en permanence.

Les éruptions modifient rapidement l'aspect de la surface.



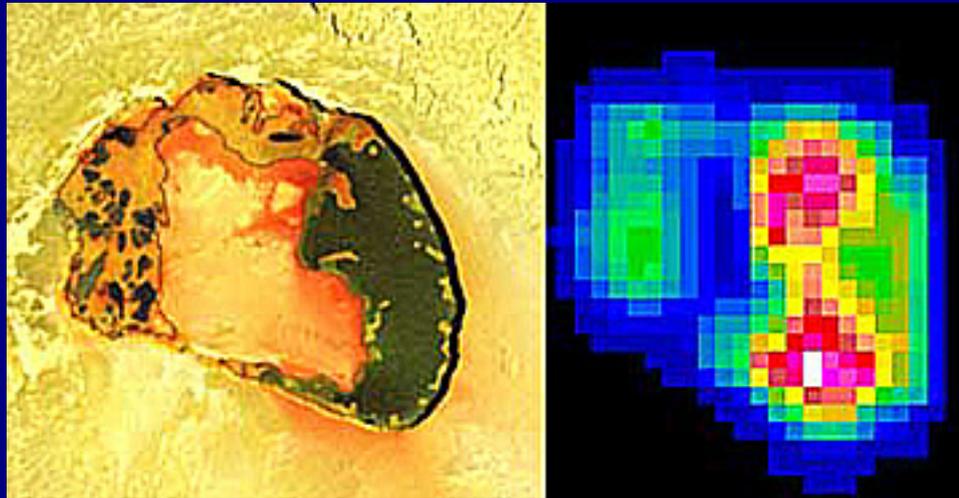
Le même endroit vu par Galileo en avril et octobre 1997. Pillan Patera.

Les seules éruptions volcaniques vues hors la Terre.



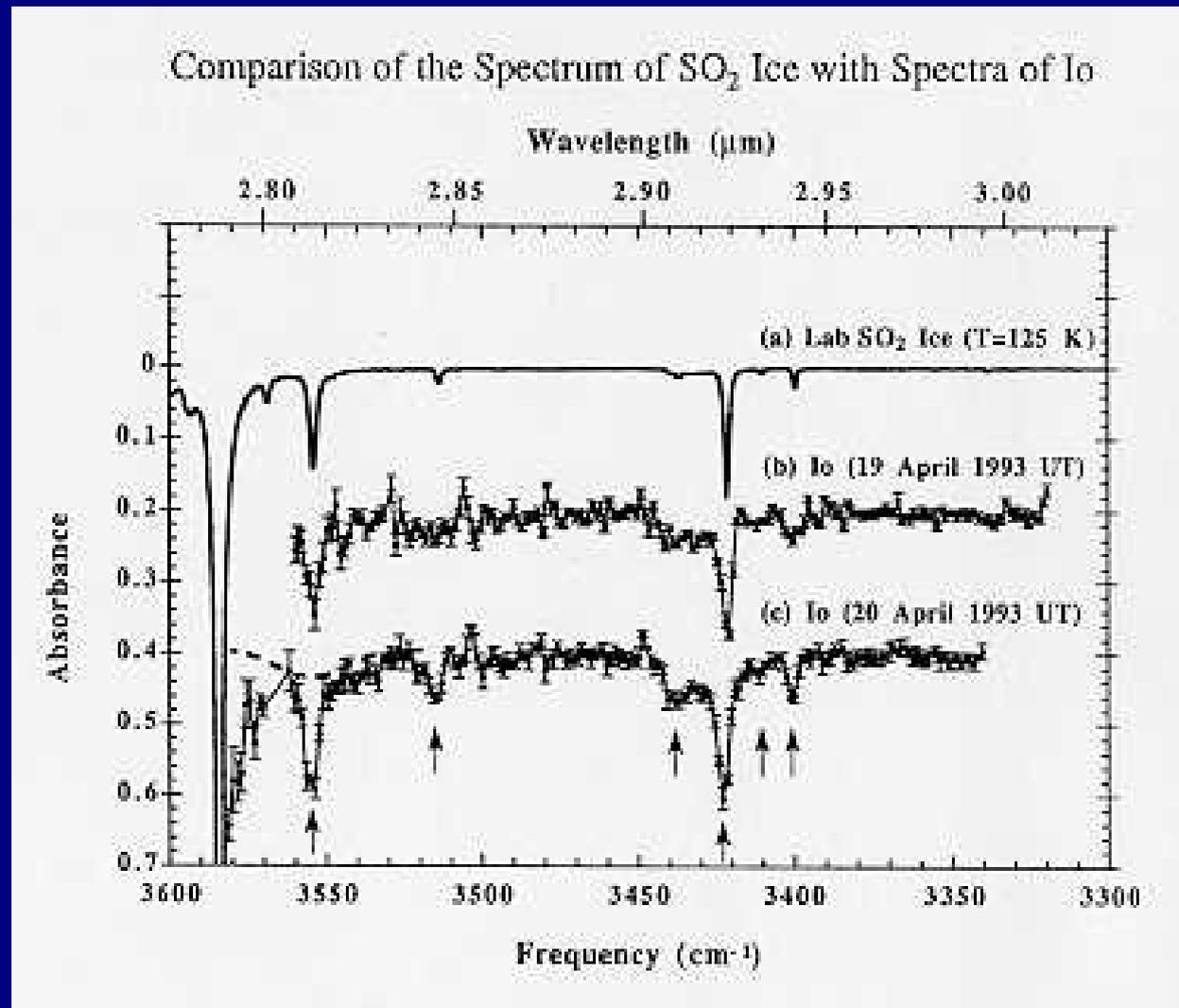
Un volcan en activité vu en visible et en IR (caméra thermique)

Pourquoi ces couleurs.



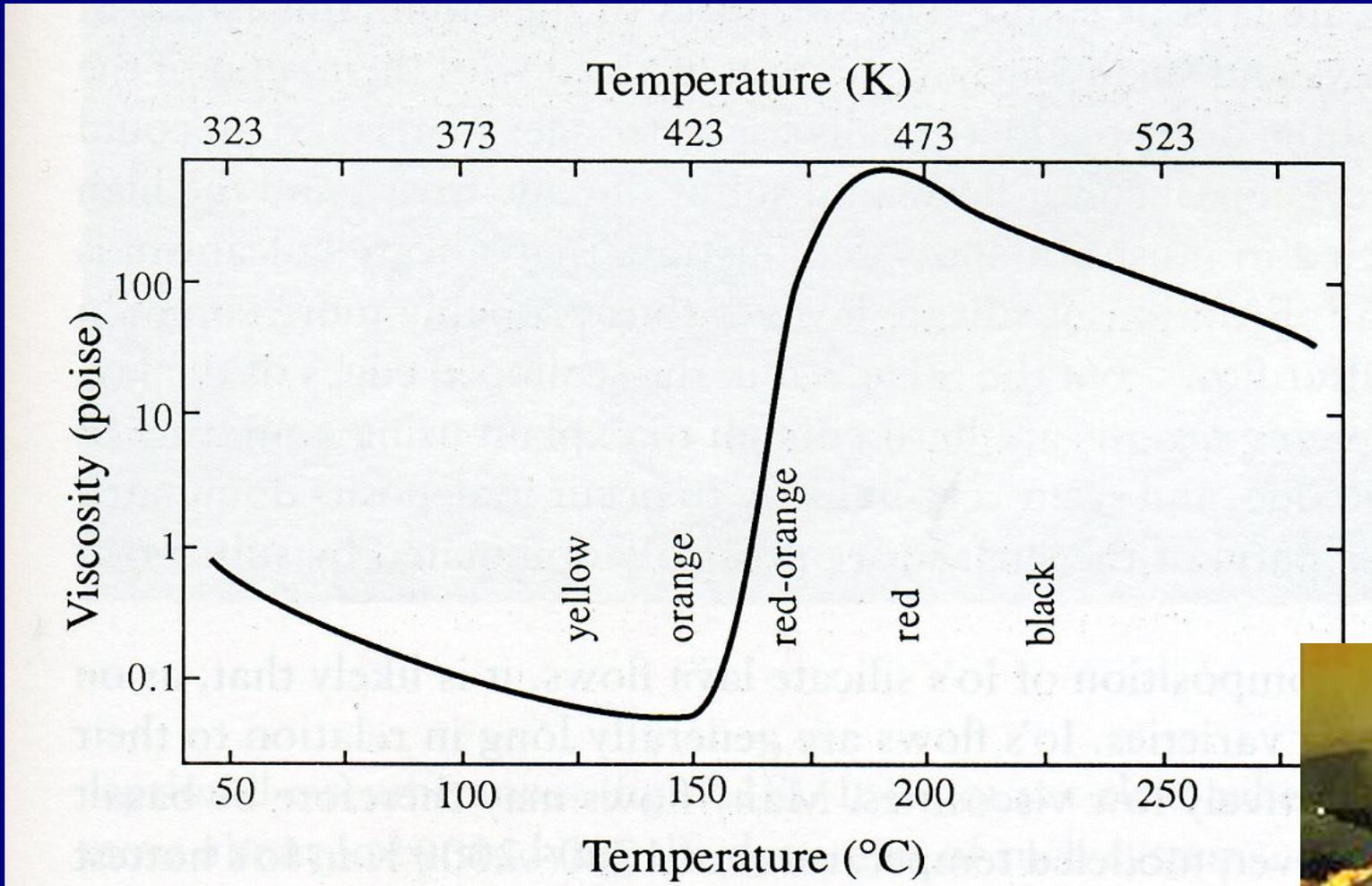
Ces laves sont colorées par du soufre et ses dérivés : SO_2 , S_2O_4 ...

Pourquoi ces couleurs.



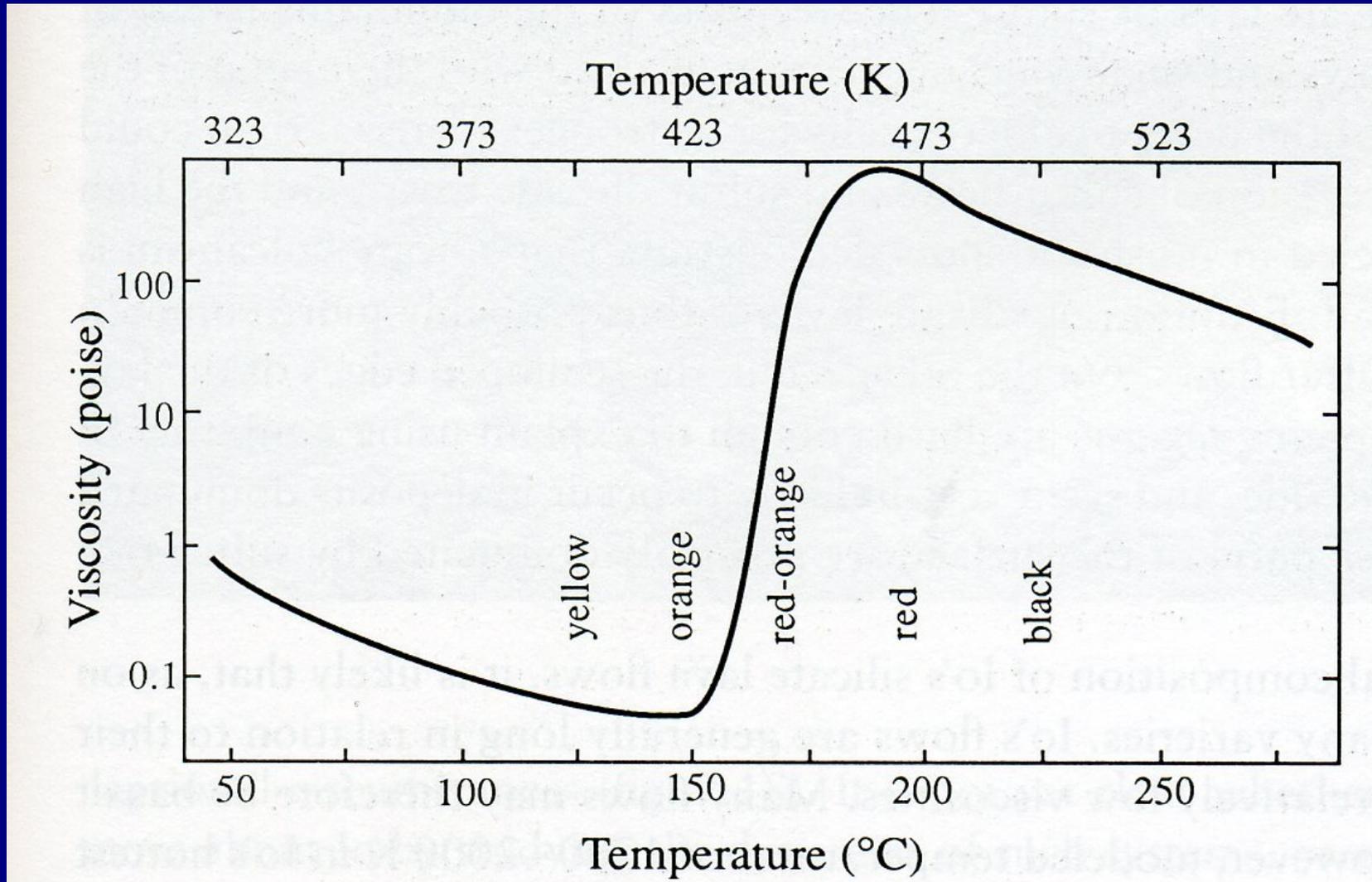
Comparaison du spectre (IR) de Io avec celui de la glace de dioxyde de Souffre SO₂.
Prosaïquement, le soufre, c'est jaune.

Les couleurs du soufre/température.



Les régions noires sont les plus chaudes,
les jaunes sont plus froides.

Comment coule le soufre liquide.



La viscosité du soufre (son aptitude à mal couler). Pour l'eau $V=0,001$, l'air $V=0,000001$, le miel $V=10$. En général elle diminue avec la température...
... sauf pour le soufre qui coule mieux à 50 K qu'à 150 K.

La diversité du système solaire.

L'épaisseur de la croûte

- Elle varie fortement d'une planète à l'autre.
- Sur Mars, elle est grande.
- Sur Terre, la croûte continentale est la plus épaisse.
- Elle dépend peu du niveau d'activité des planètes.

L'épaisseur de la lithosphère

- Elle varie fortement d'une planète à l'autre.
- Moins la planète est active plus la lithosphère est épaisse. Certaines planètes (Lune) n'ont pas d'asthénosphère. On passe directement au noyau.
- A cet égard, il n'y a pas de différence fondamentale entre les planètes rocheuses et les planètes de glace.

La tectonique des plaques

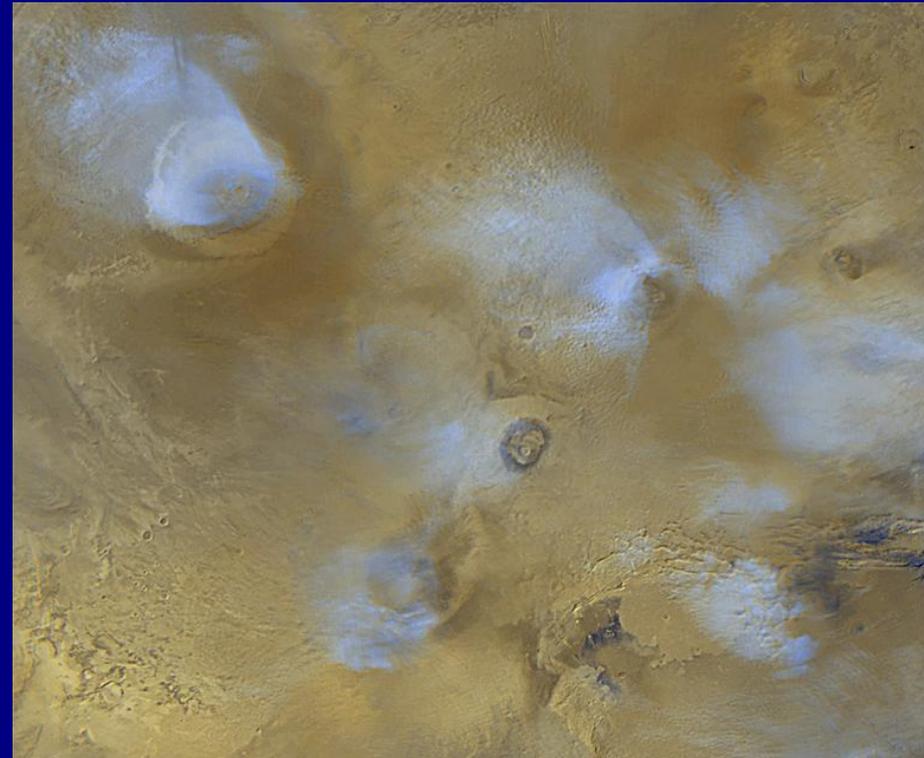
- Existence de failles sur de nombreuses planètes (Mars, Encelade, Ganymède, Europa). Mais l'existence d'une croûte formée de plaques est rare.
- Aucune trace sur Mars, ni sur la Lune.
- Quelques mouvements plaques de faible ampleur sur Europa (quelques kilomètres).
- Il manque des zones de subduction, vues seulement sur Terre, qui permettent des déplacement des plaques de grande ampleur et la formation de grands massifs montagneux.

Les montagnes sont-elles comme sur la Terre ?

- Hors la Terre, les montagnes sont dues à des impacts de météorites (bassins, bords des cratères) ou à des fractures (Valles Marineris sur Mars) qui évoquent plutôt la forme des canyons.
- Certaines formations sont encore mal expliquées (couronnes de Miranda).

Les hauts plateaux

- Ils sont la trace de soulèvements par le magma sur Mars (Dôme de Tharsis).
- Sur la Terre, les régions hautes sont les plaques continentales, plus épaisses et moins denses.
- Il en existe sur Vénus.



Comment les planètes évacuent leur chaleur interne

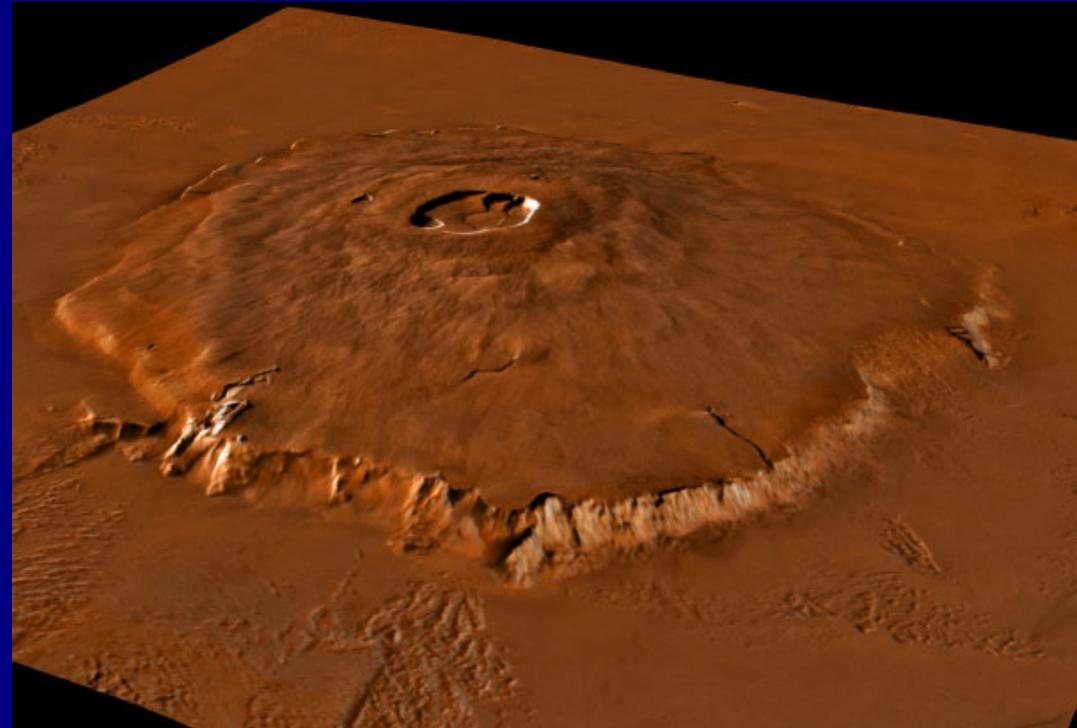
- Terre : volcanisme de tectonique des plaques et conduction thermique.
- Lune, Mercure : conduction
- Mars : conduction et un peu de volcanisme de point chaud.
- Io : volcanisme de point chaud.

Le volcanisme

- Le volcanisme a existé à peu près partout. Il est parfois éteint depuis très longtemps (Lune, Callisto)
- Il peut produire des cônes avec des calderas (Terre, Mars, Vénus)
- Mais pas forcément (remplir des bassins, Lune)
- La lave peut être rocheuse (Terre, Mars), de l'eau (Encelade), de l'azote (Triton), du soufre et roches (silice) (Io).
- Des volcans actifs ont été vus sur 4 planètes ; ils sont suspectés sur Vénus.

Le renouvellement de la surface par le volcanisme

- Lune et Mars : volcanisme spectaculaire, remplissage des mers, calderas immenses. Mais étalé sur 4 Mrd années. Rien n'a été effacé.
- Dernier milliards d'année sur Mars : 1-2 ha par an.
- Pour la Lune, aucune éruption au cours des deux derniers milliards d'années.



Le renouvellement de la surface par le volcanisme

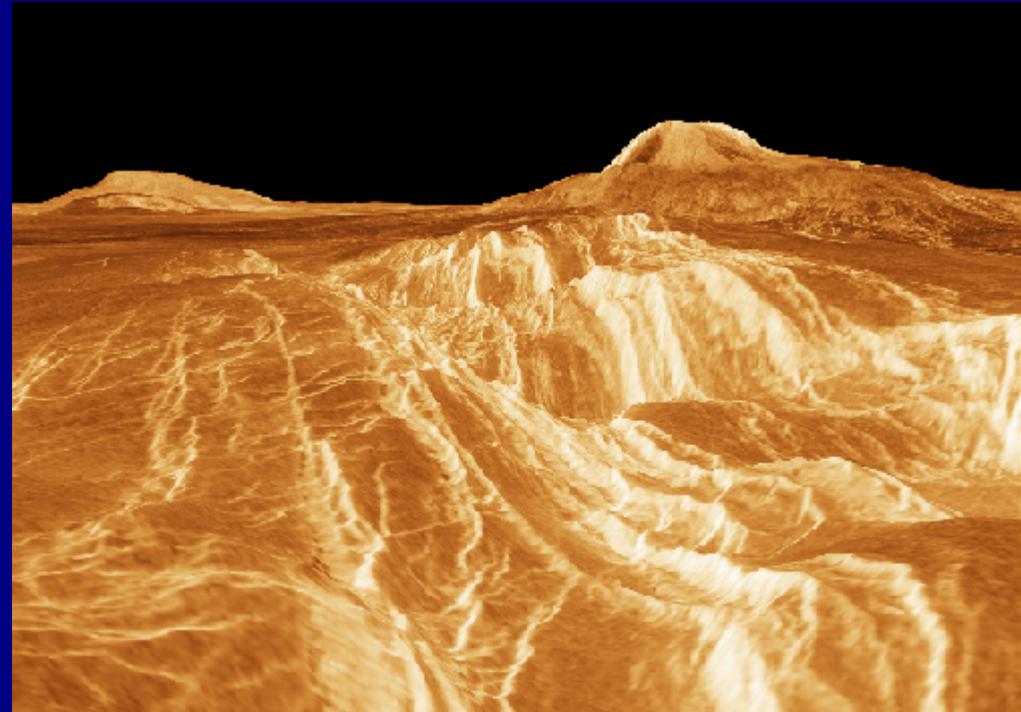


- Croûte : 60 km d'épaisseur.
- Laves : 20% de la surface, sur 1000 en moyenne.
- 200 m en moyenne sur toute la surface, soit 0,3% par rapport à la croûte de 60 km.

Pour mars un calcul analogue montre une fraction de 1% de renouvellement de la surface.

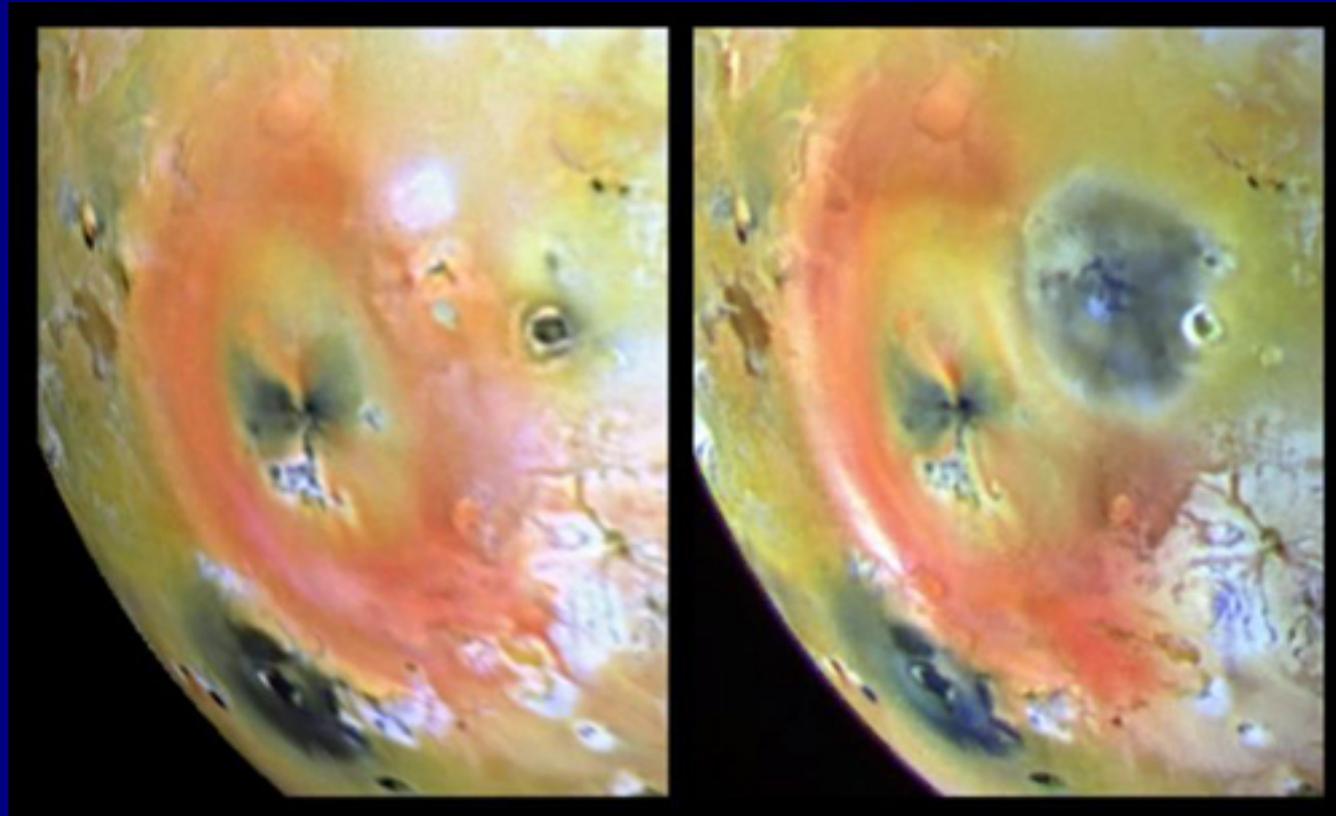
Le renouvellement de la surface par le volcanisme

- Vénus : au fil du temps, on évoque un apport de laves de 2 à 3 fois le volume de la croûte initiale. Activité de 200 à 300%.
- Les couches inférieures de la croûte ont du se « refondre » dans le manteau sous-jacent.
- La Terre a du renouveler 10 fois sa croûte. C'est du à la tectonique des plaques océaniques : un cycle rift-> subduction de 150 M années : 10 fois par milliard d'année (mais je calcule plutôt 30 fois).



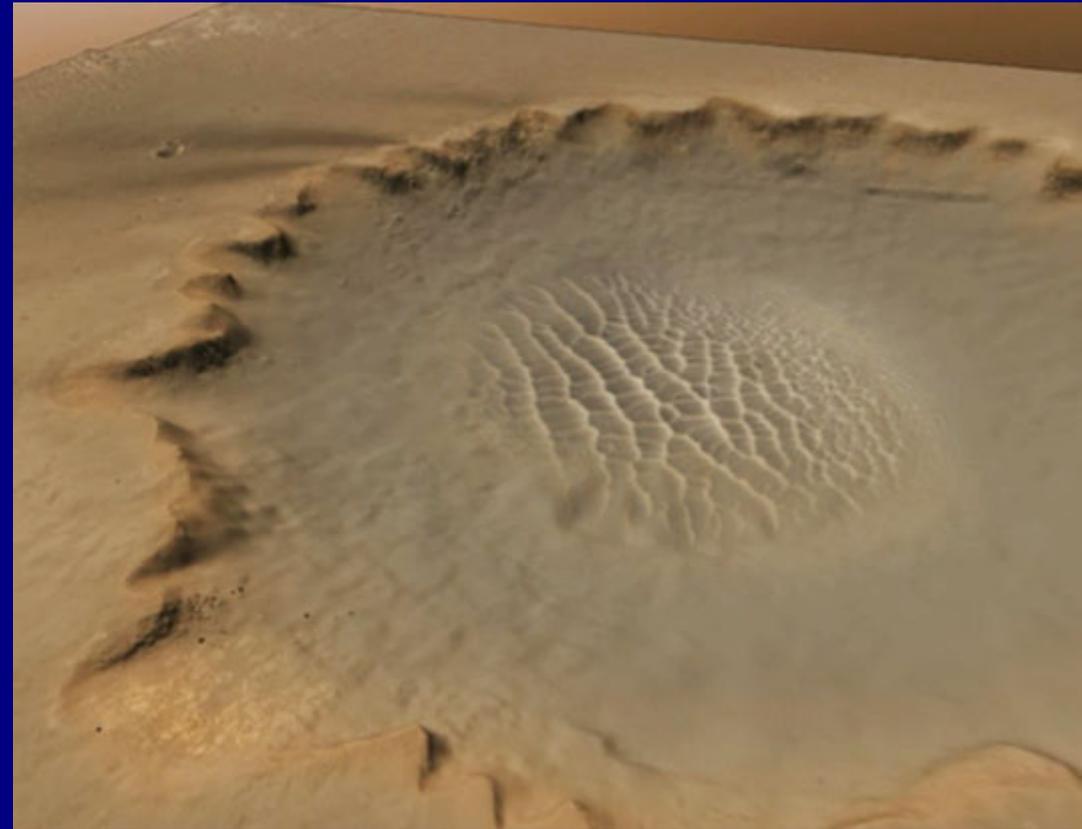
Le renouvellement de la surface par le volcanisme

- And the winner is ... Iooo !!
- Renouvellement complet de sa croûte par des éruptions en 10M d'années.
- Soit 500 renouvellements dans les 4,5 derniers milliards d'années.



L'érosion

- L'eau (Terre, Mars)
- Le vent (Terre, Mars)
- Les micro-météorites (Lune, Callisto, et toutes les planètes dont la surface est ancienne)
- Elle est utile pour faire des datations relatives des terrains.



Les sédiments

- Pour observer des roches sédimentaires, il vaut mieux aller sur place.
- Vues sur la Terre, sur Mars.
- Pas sur la Lune.



En explorant les planètes du système solaire, on retrouve des faits communs, une physique commune, mais une grande diversité, bien plus grande que ce à quoi on s'attendait.

Regain d'intérêt (années 1970) pour la planétologie. Le moteur : l'exploration spatiale.