



# Les dernières nouvelles de l'eau sur Mars

**Rappel : la  
température  
moyenne est de  
- 50°C, la pression  
de 0,6% de celle de  
la Terre**

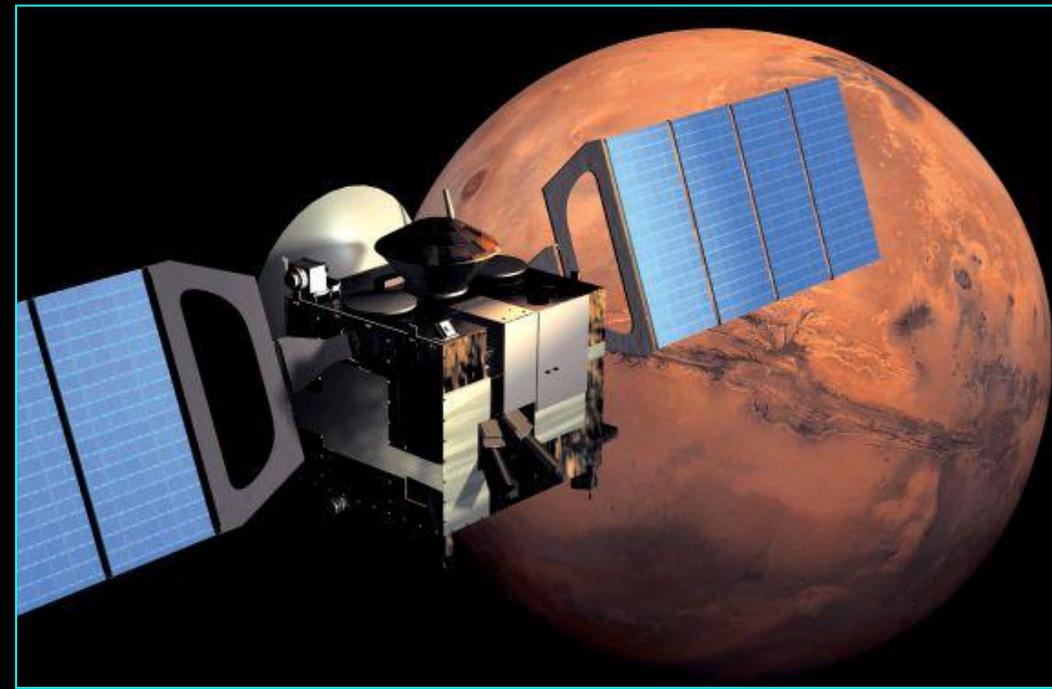
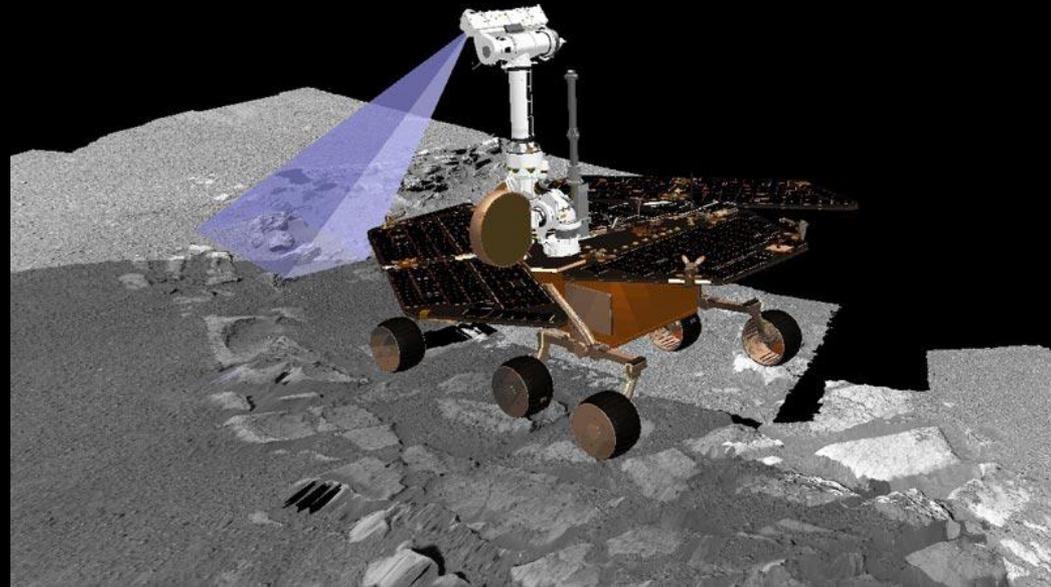


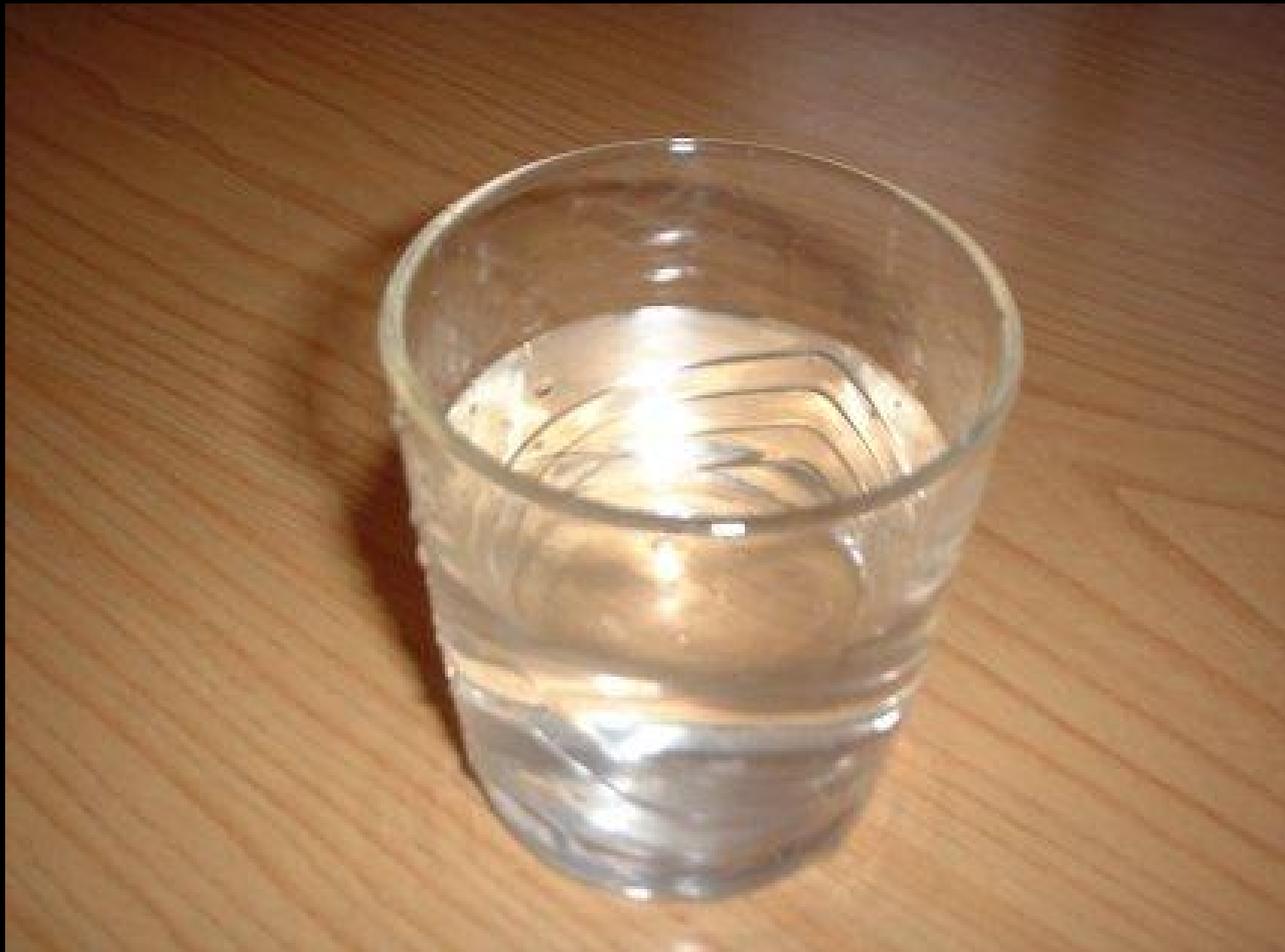
# Les dernières nouvelles de l'eau sur Mars

**Rappel : la  
température  
moyenne est de  
- 50°C, la pression  
de 0,6% de celle de  
la Terre**

**En ce moment de  
nombreuses sondes  
tournent autour,  
roulent sur, ou se  
dirige vers Mars.**

**Pourquoi ?**





**Principalement pour répondre (ou tenter de répondre) à certaines questions à propos de l'eau sur Mars**



# **H<sub>2</sub>O sur Mars, une vieille histoire**



CASSINI 16GG

**1666 : Cassini  
découvre des  
calottes  
polaires sur  
Mars.**

**Pour lui, c'est  
« évidemment »  
de la neige ou  
de la glace**

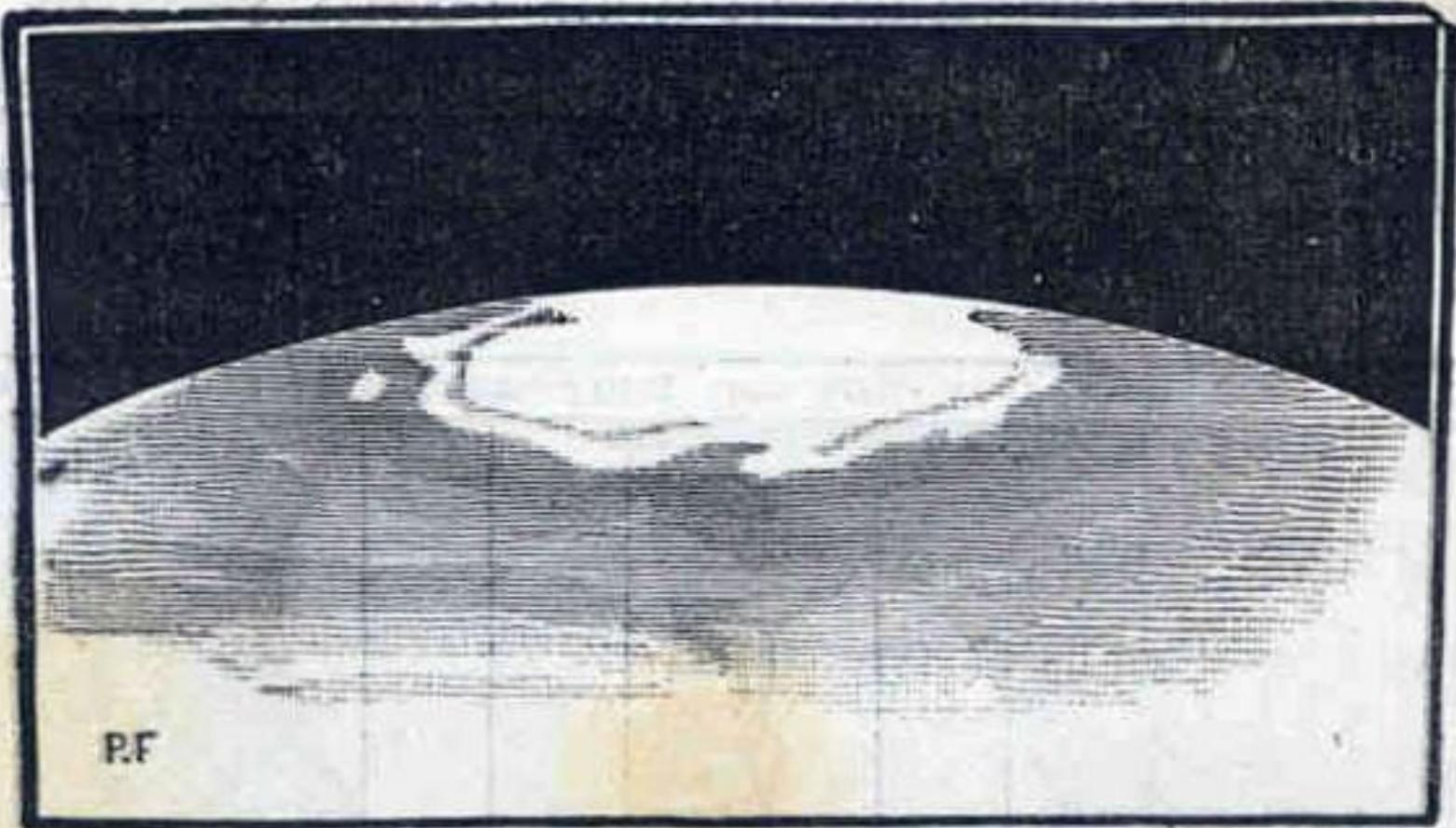
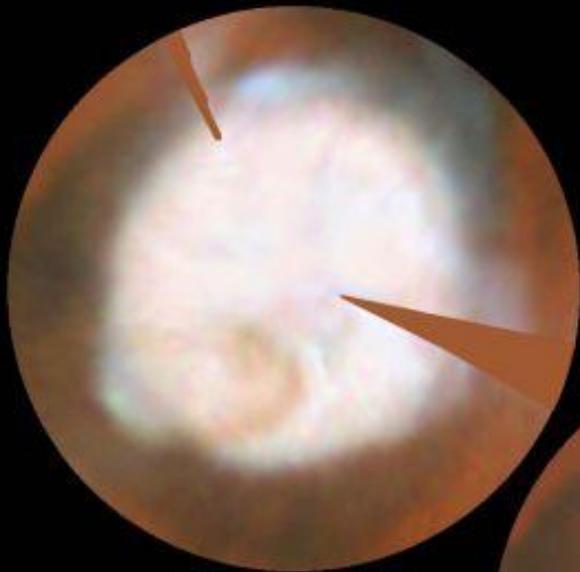


Fig 69. — Les neiges du pôle sud de Mars (1<sup>er</sup> septembre 1877.)

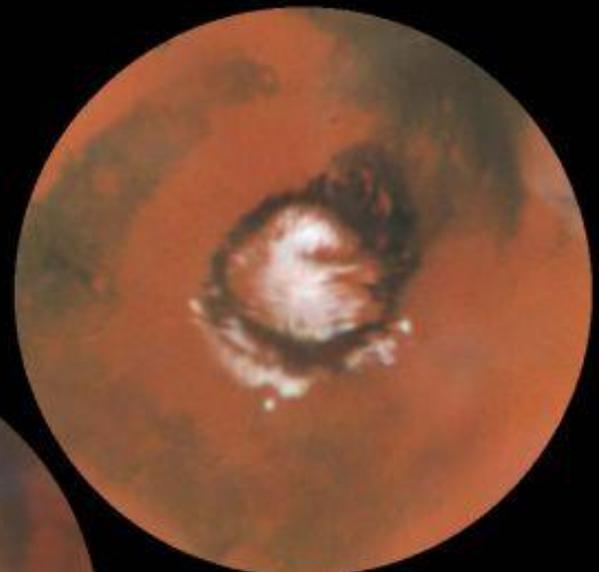
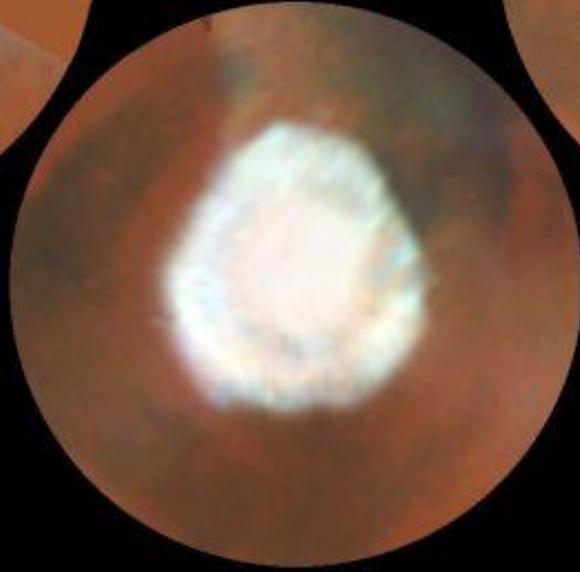
Doc. Pierre Thomas

**Depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, on étudie ces calottes en détail. Elles changent de taille avec les saisons.**



October 1996

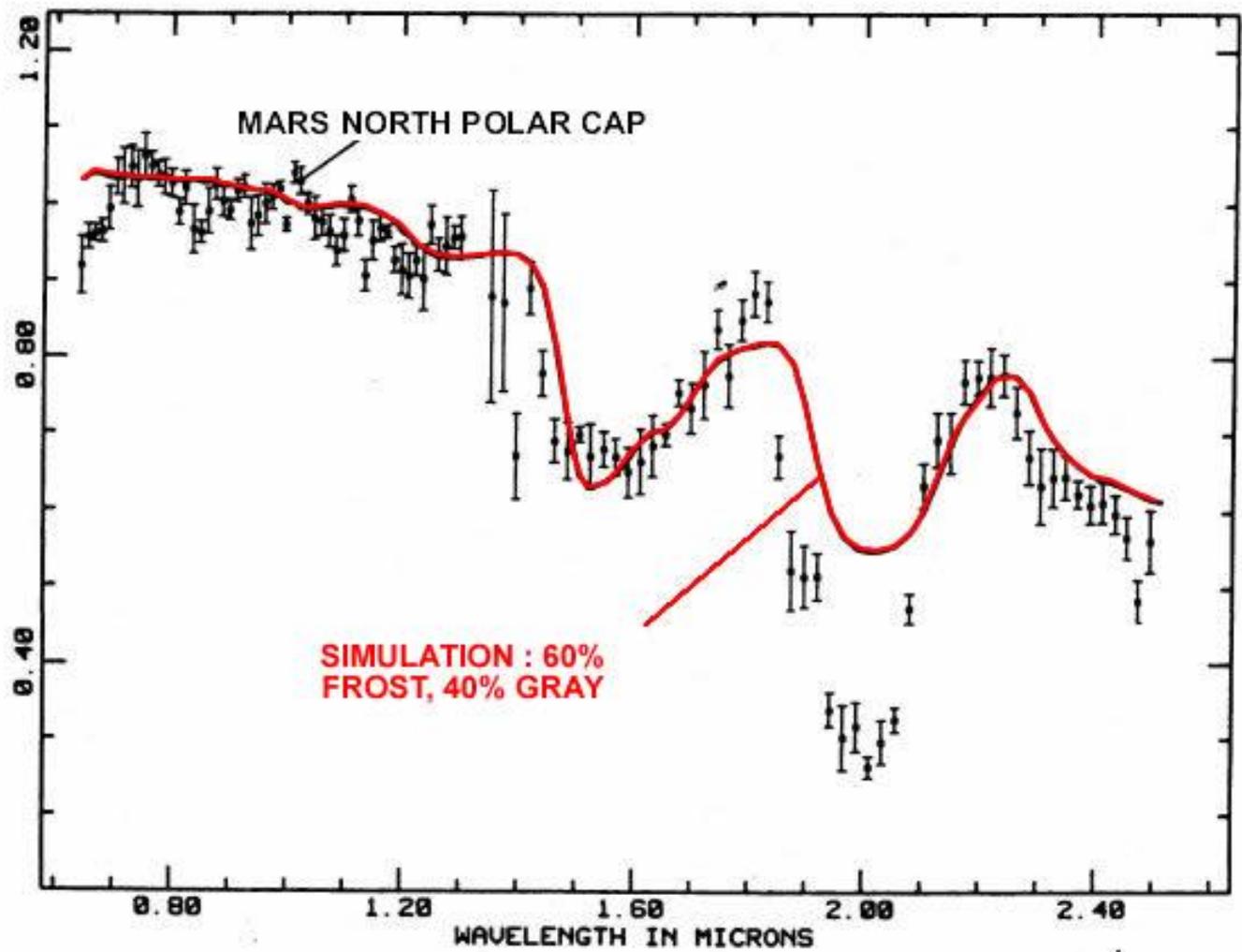
January 1997



March 1997

**Mars • North Polar Cap**  
Hubble Space Telescope • WFPC2

**Changements saisonniers de la calotte nord  
vus par Hubble**



Reflection spectrum of the retreating north polar cap ( $L_s = 50$ ) derived from observations by McCord et al. (1962) along with a laboratory spectrum for a mixture of 60%  $H_2O$  frost mixed with 40% gray material. From Clark and McCord (1982b).

**$H_2O$  est  
 identifiée  
 pour la 1<sup>ère</sup>  
 fois en  
 1964,  
 maintes fois  
 confirmée  
 depuis,  
 comme ici  
 en 1982 : la  
 calotte nord  
 est faite de  
 glace d'eau!**



**Où trouve-t-on  
 $H_2O$  sur Mars ?**

**Partout !**

**Sur la calotte polaire nord donc, ici vue en fin d'été.**

**(Cette calotte « résiduelle » a la taille de celle du Groenland. Sa fonte recouvrirait Mars d'une vingtaine de mètres d'eau liquide)**



**La vapeur d'eau  
représente  
0,021% de  
l'atmosphère,  
soit une couche  
de 12 « microns »  
d'eau  
précipitable**

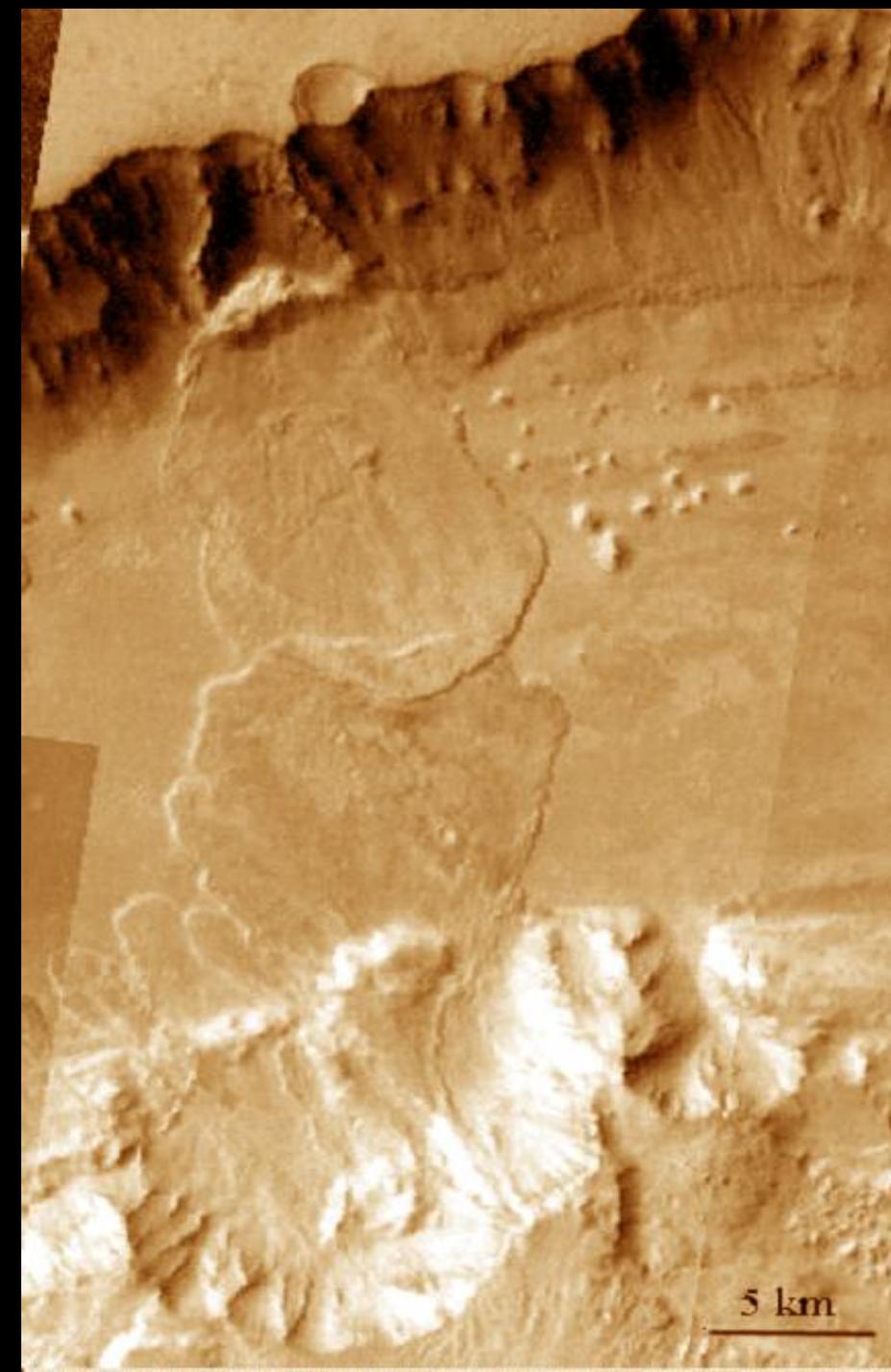
**Dans l'atmosphère**



**Il y en a dans  
le sous-sol  
profond. Les  
cratères y  
font  
« sploch ».**

**Connaître la  
quantité qu'il  
y a dans le  
sous-sol est  
une des  
grandes  
questions  
actuelles**

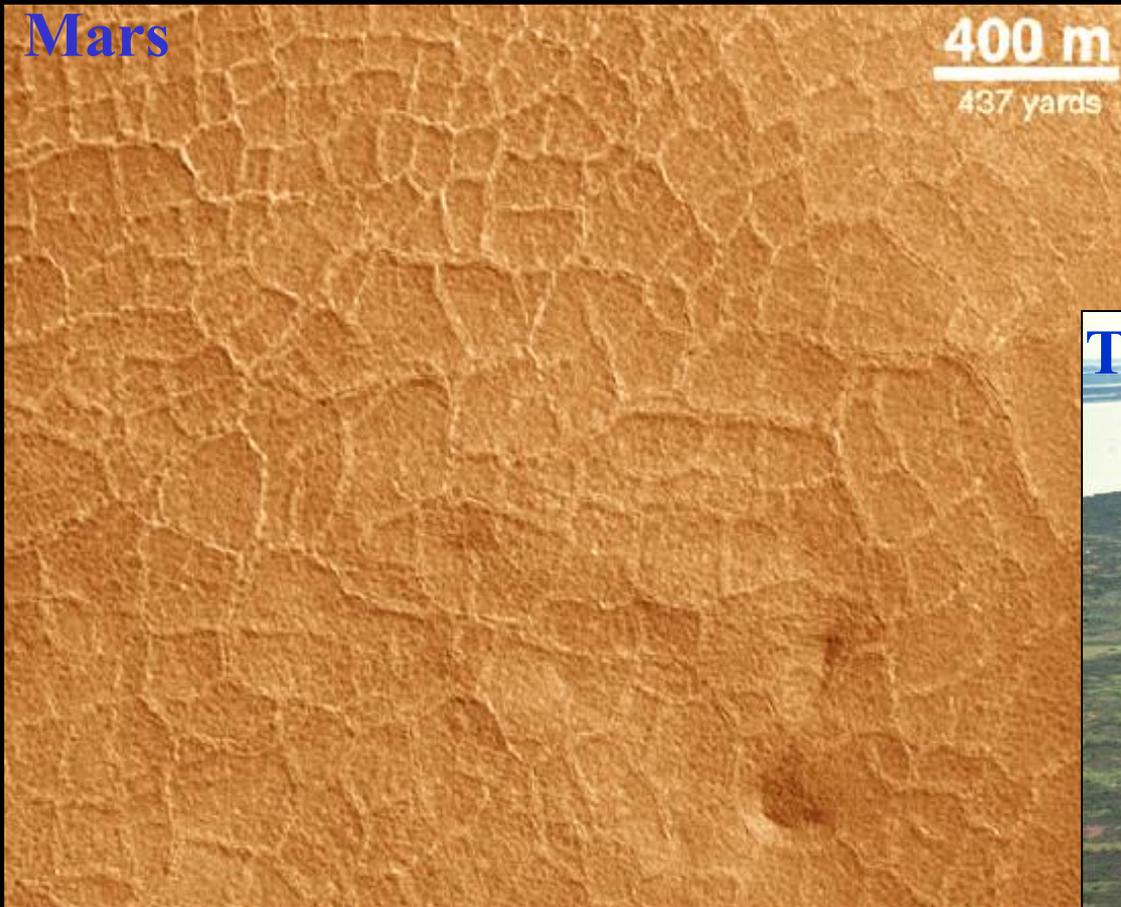
**Elle a permis des  
glissements de  
terrains qui  
ressemblent à des  
coulées de boue**



5 km

**Mars**

**400 m**  
437 yards



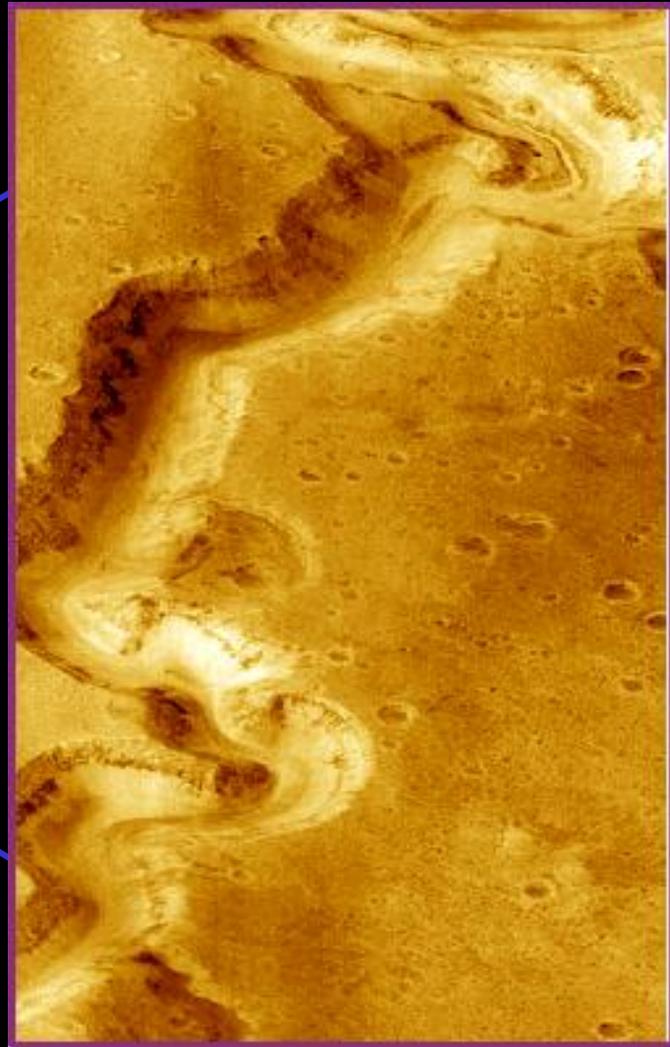
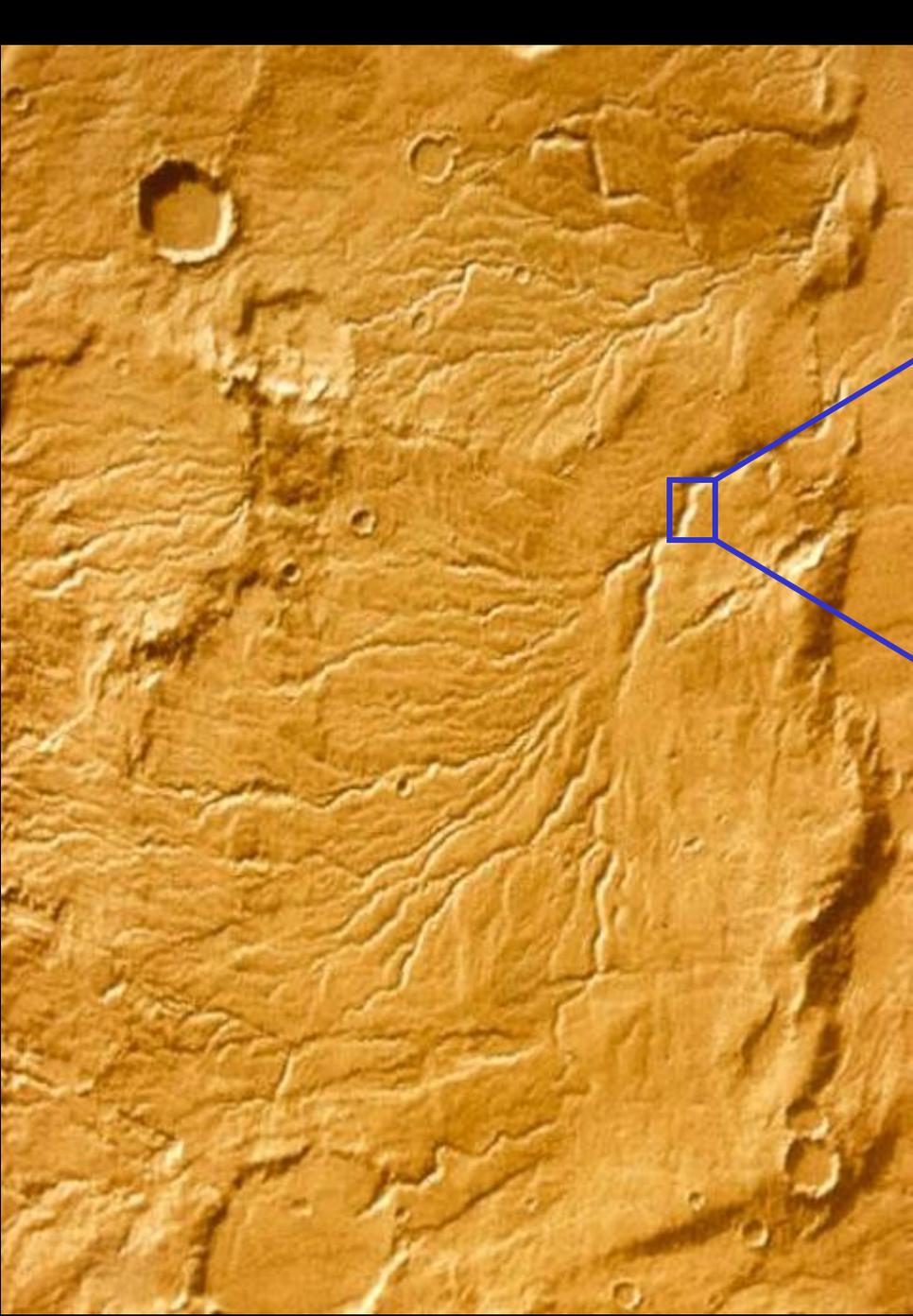
**Elle a gelé et dégelé en surface**

**Terre**

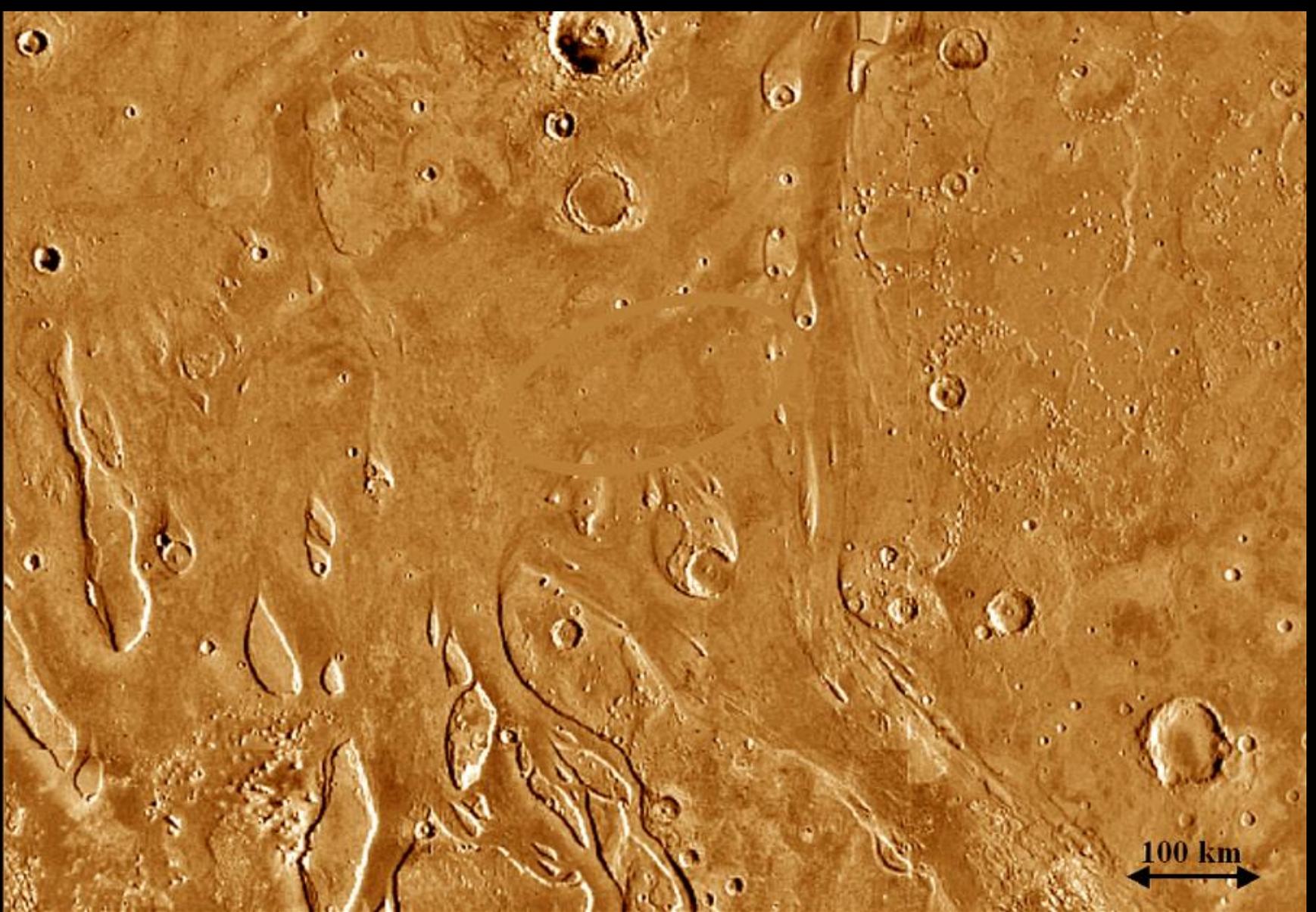


50 m

Photo Pierre Thomas



**Elle a coulé à la surface  
dans un passé lointain  
(3,8 milliards d'années, avec  
affluents, méandres...)**



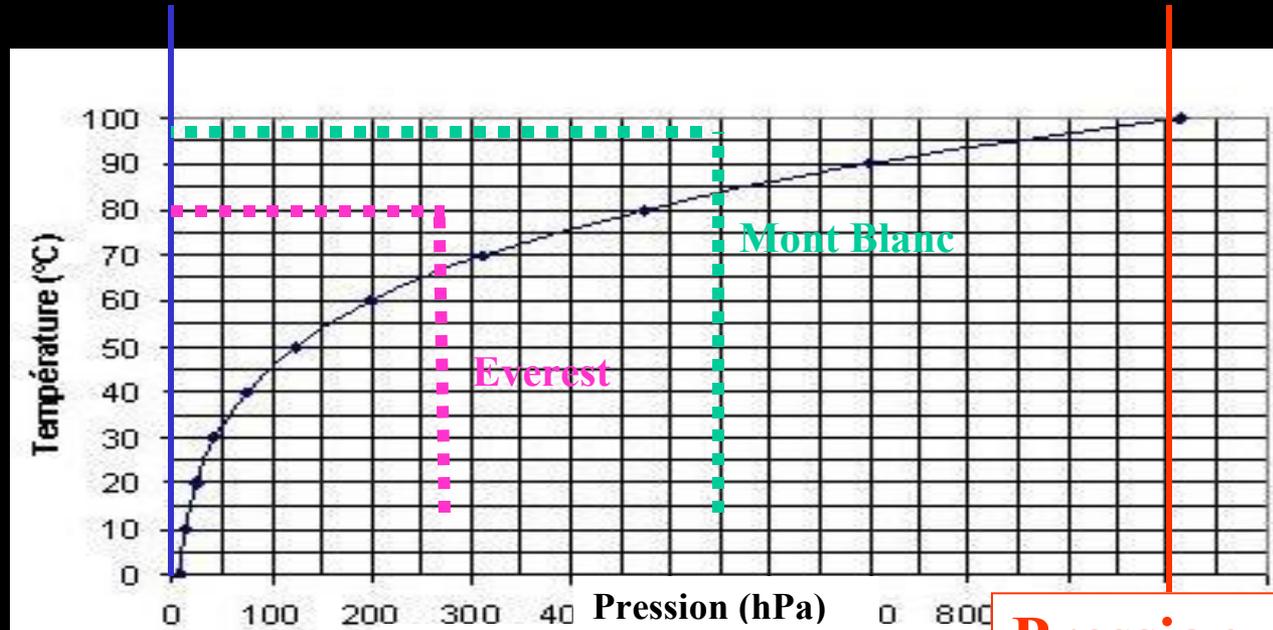
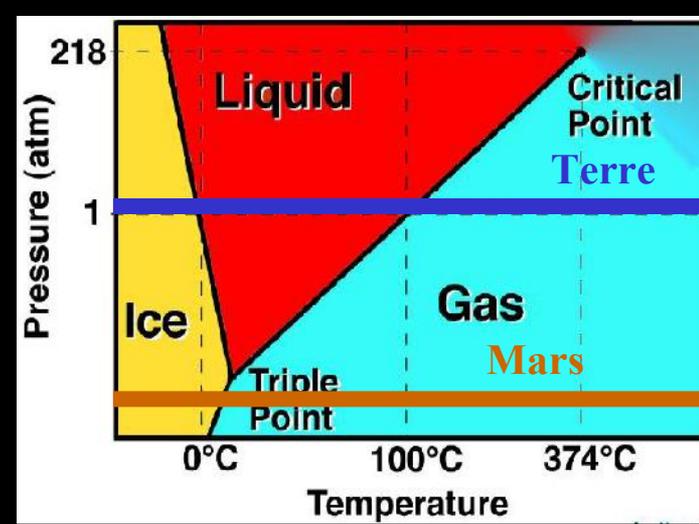
**Dans un passé moins lointain, des débâcles ont fait des réseaux de vallées très larges, avec estuaires, îles ...**

Sur Mars, la pression actuelle est de 6 hPa. À cette pression, l'eau ne peut pas être liquide. Elle est en glace et/ou en vapeur. Et comme il fait en moyenne  $-50^{\circ}\text{C}$ , elle est surtout en glace, avec une très faible proportion de vapeur.

Que se passe-t-il si on renverse sur Mars de l'eau « tiède », issue d'une thermos pressurisée ?

L'eau bout et gèle à la fois !

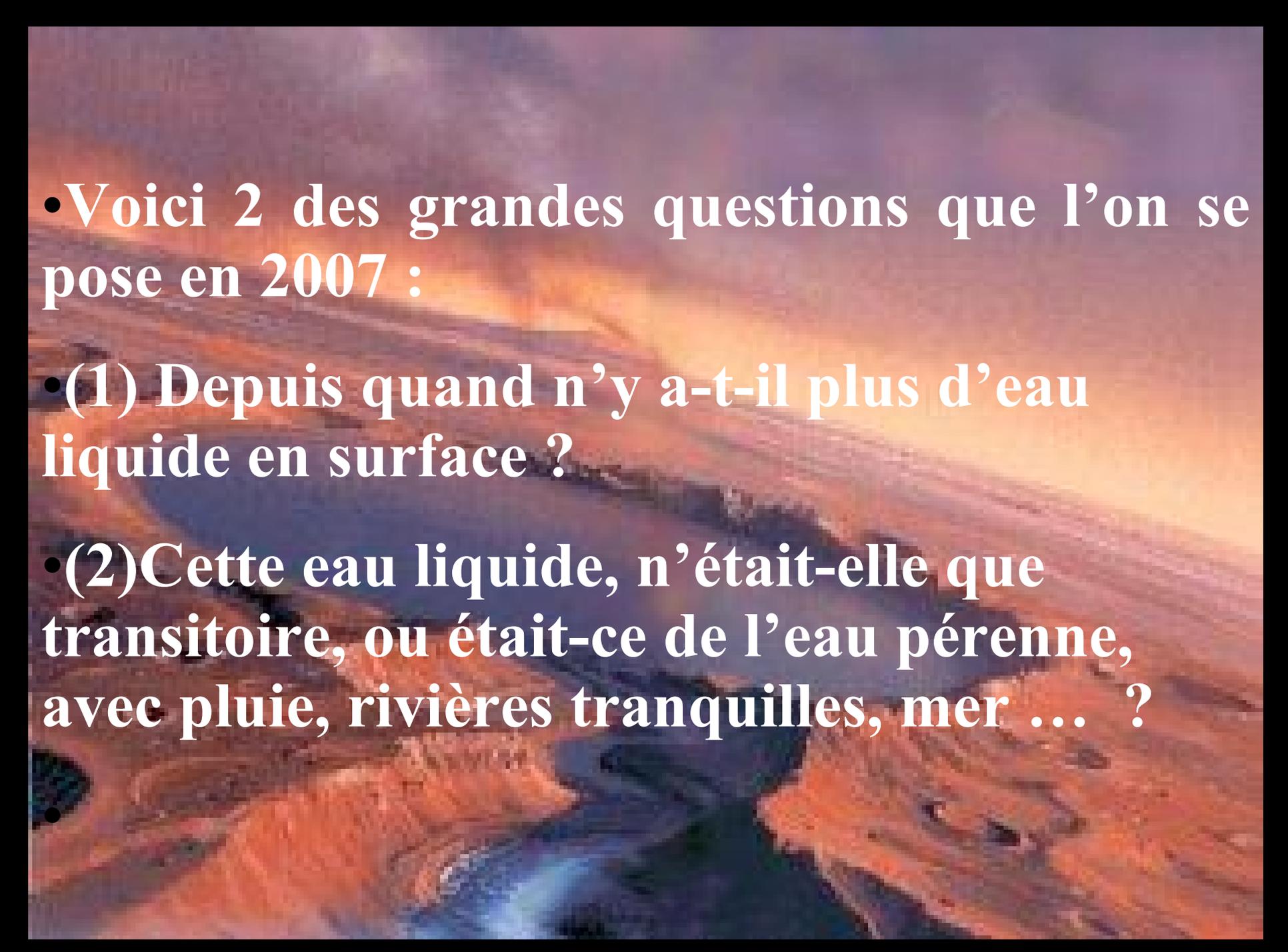
Les traces d' $\text{H}_2\text{O}$  liquide doivent dater d'une époque où P et T étaient plus élevées.



Pression  
sur Mars

Température  
d'ébullition de l'eau en  
fonction de la pression

Pression  
sur Terre

An aerial photograph of a dry, cracked riverbed in a desert landscape. The riverbed is a deep, dark blue-black color, contrasting sharply with the surrounding reddish-brown, cracked earth. The cracks in the earth form a complex, grid-like pattern, indicating extreme dryness. The background shows more of the same cracked terrain stretching towards the horizon under a hazy, orange-tinted sky.

- **Voici 2 des grandes questions que l'on se pose en 2007 :**

- **(1) Depuis quand n'y a-t-il plus d'eau liquide en surface ?**

- **(2) Cette eau liquide, n'était-elle que transitoire, ou était-ce de l'eau pérenne, avec pluie, rivières tranquilles, mer ... ?**

**Exemple  
d'eau liquide  
transitoire :  
une éruption  
volcanique  
dans un sol  
gelé ou sous  
un glacier.**

Vatnajokull 1996

**Exemple d'eau liquide  
pérenne, tranquille ... :  
la Loire alimentée par  
des sources, les pluies ...**



Voici 2 des grandes questions que l'on se pose en 2007 :

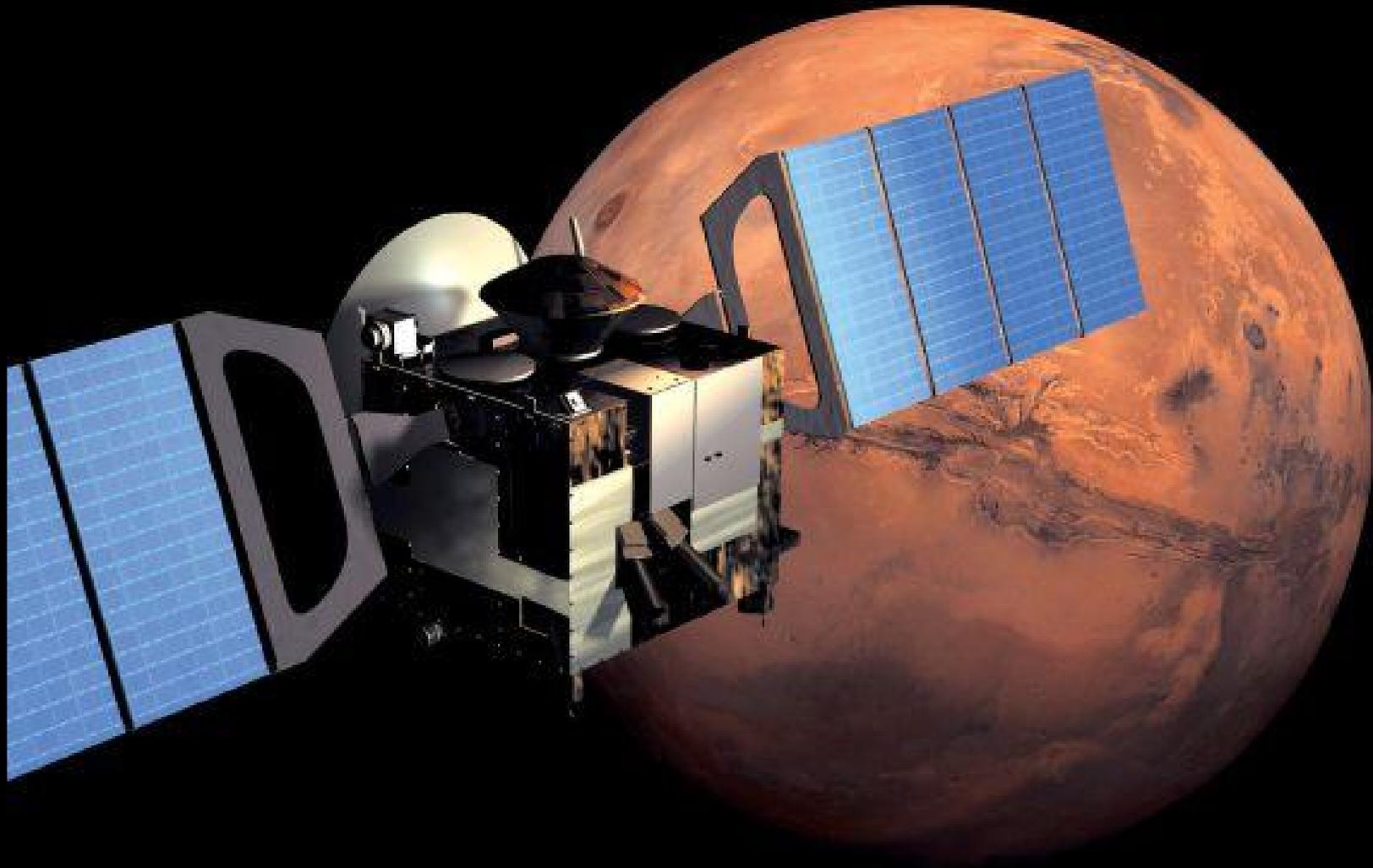
(2) Depuis quand n'y a t'il plus d'eau liquide en surface ?

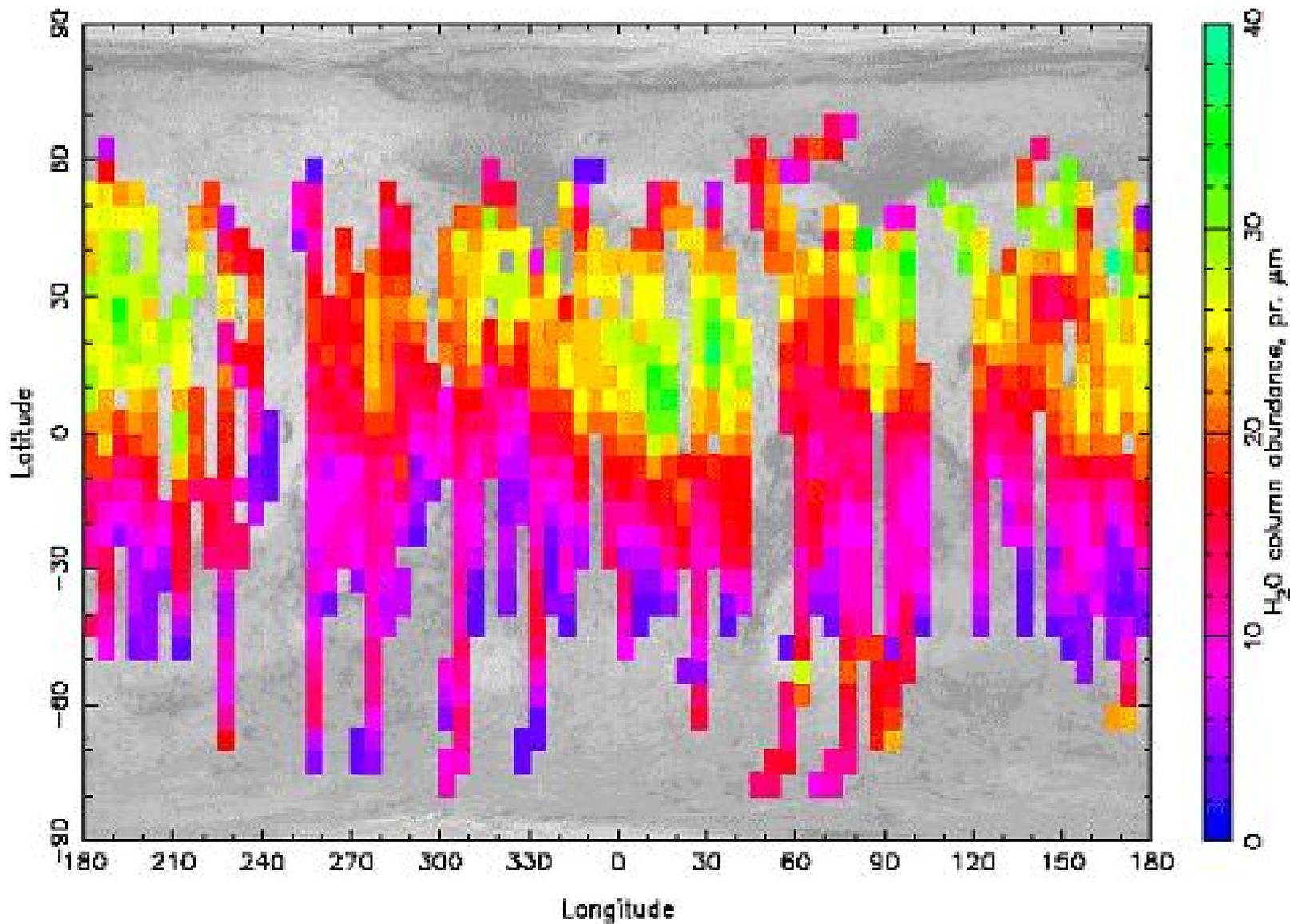
(3) Cette eau liquide, n'était-elle que transitoire, ou était-ce de l'eau pérenne, avec pluie, rivières tranquilles, mer ... ?

**C'est pour commencer de répondre à ces questions que des sondes sont envoyées à chaque fenêtre de lancement**



# Les résultats des dernières sondes en orbite





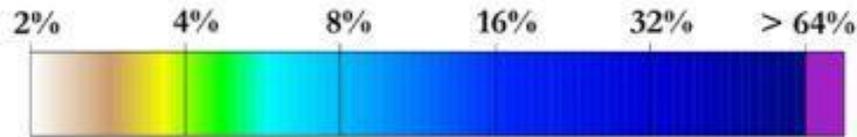
**Il y a de la vapeur d'H<sub>2</sub>O dans l'atmosphère,  
surtout l'été**



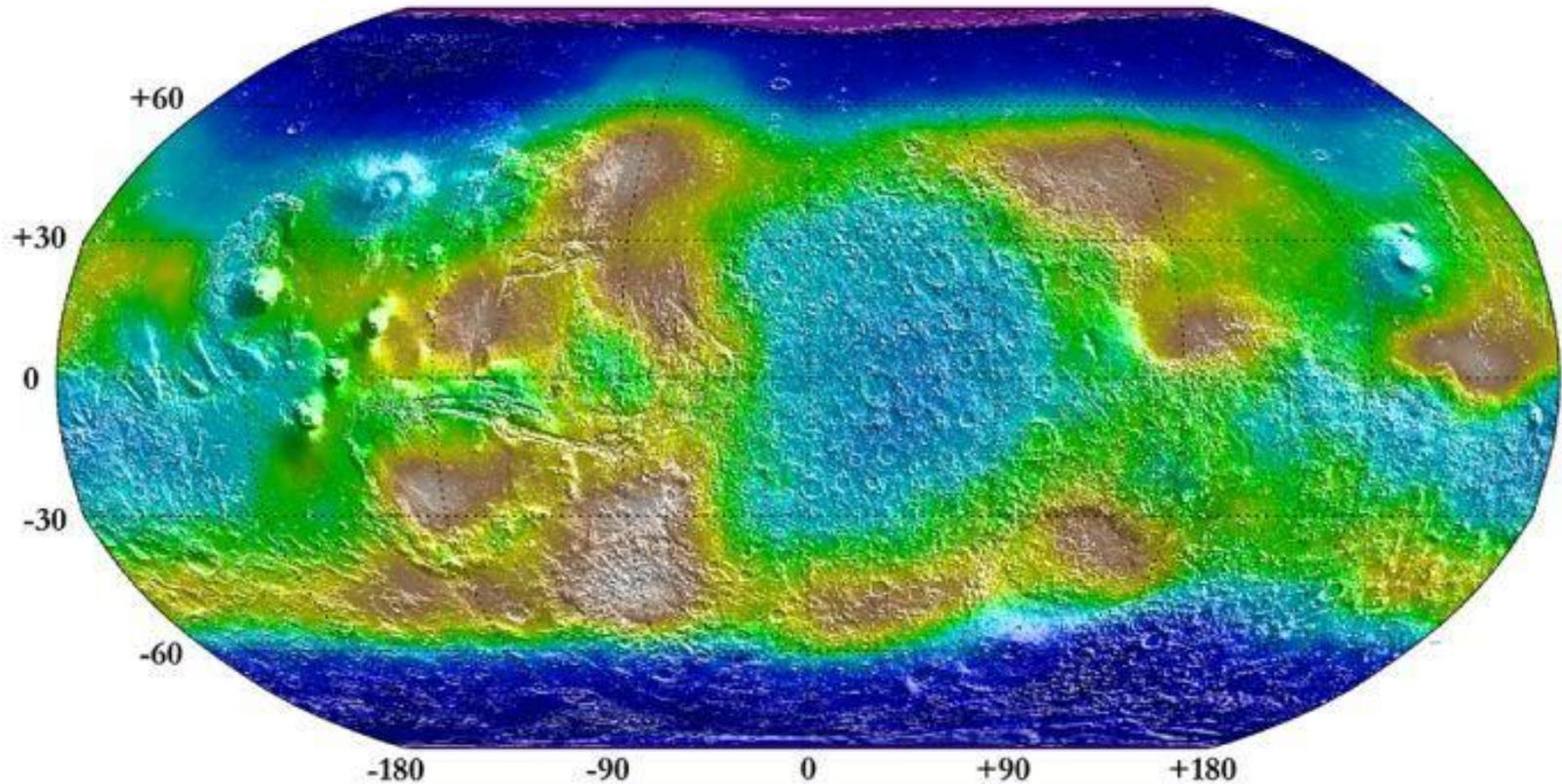
**Et dans le sol, quelle quantité de glace ?**

**Mars reçoit des rayons cosmiques. Ces rayons arrivent au sol et provoquent des réactions nucléaires. Ces réactions nucléaires fabriquent des neutrons. Si il y a du Deutérium dans le sol, ces neutrons sont ralentis. Il n'y a plus qu'à mesurer la vitesse des neutrons émis par le sol martien pour savoir s'il y a de la « glace lourde », et combien.**

## Lower-Limit of Water Mass Fraction on Mars

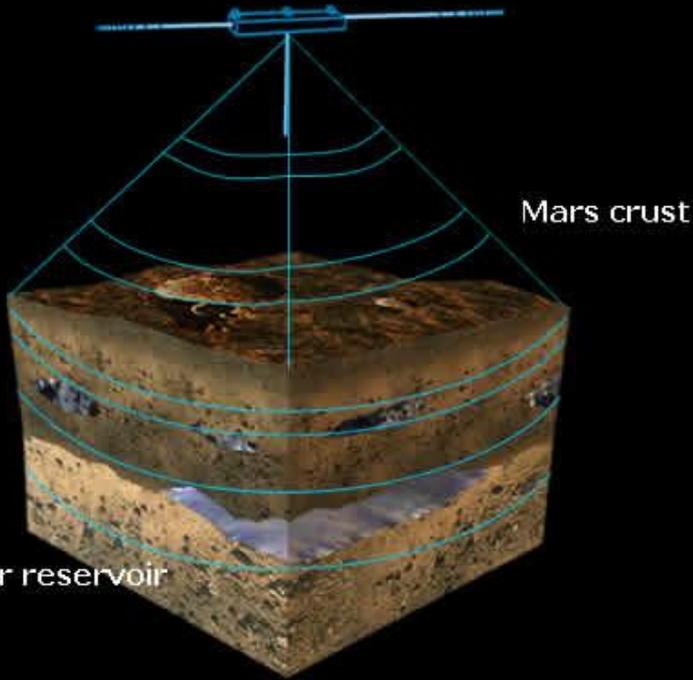


% dans les deux premiers mètres



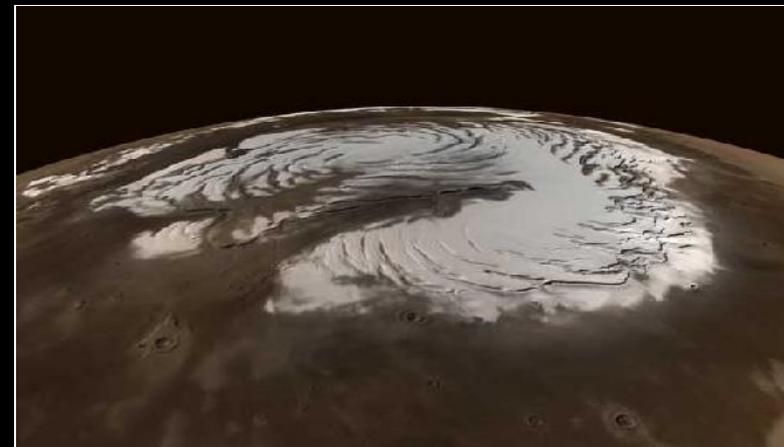
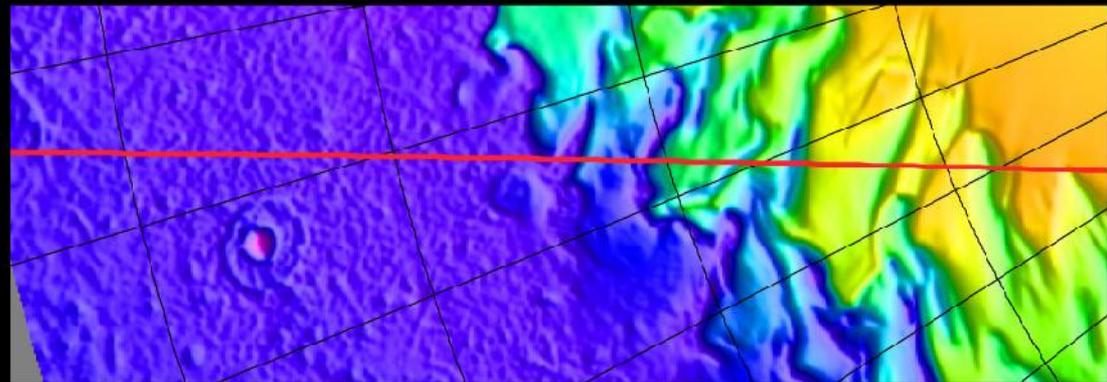
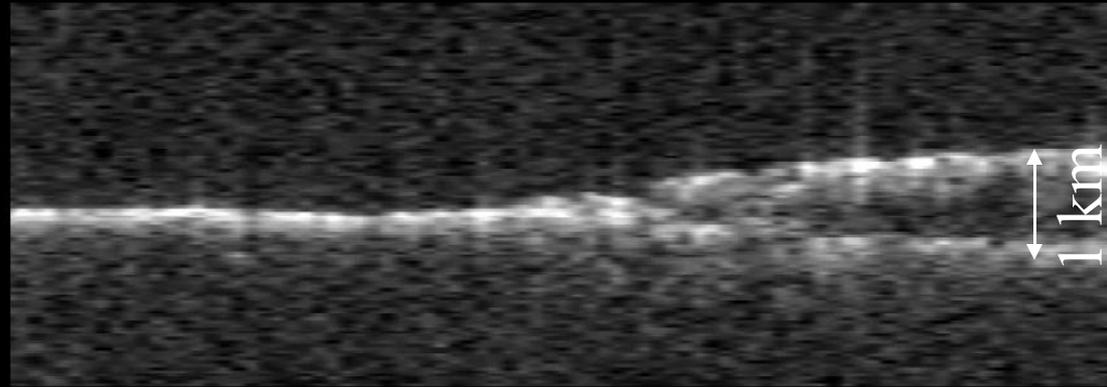
**Avec les neutrons, on voit qu'il y a beaucoup d'H<sub>2</sub>O (de glace vu la température) dans le sous-sol superficiel, ou du moins beaucoup de Deutérium**

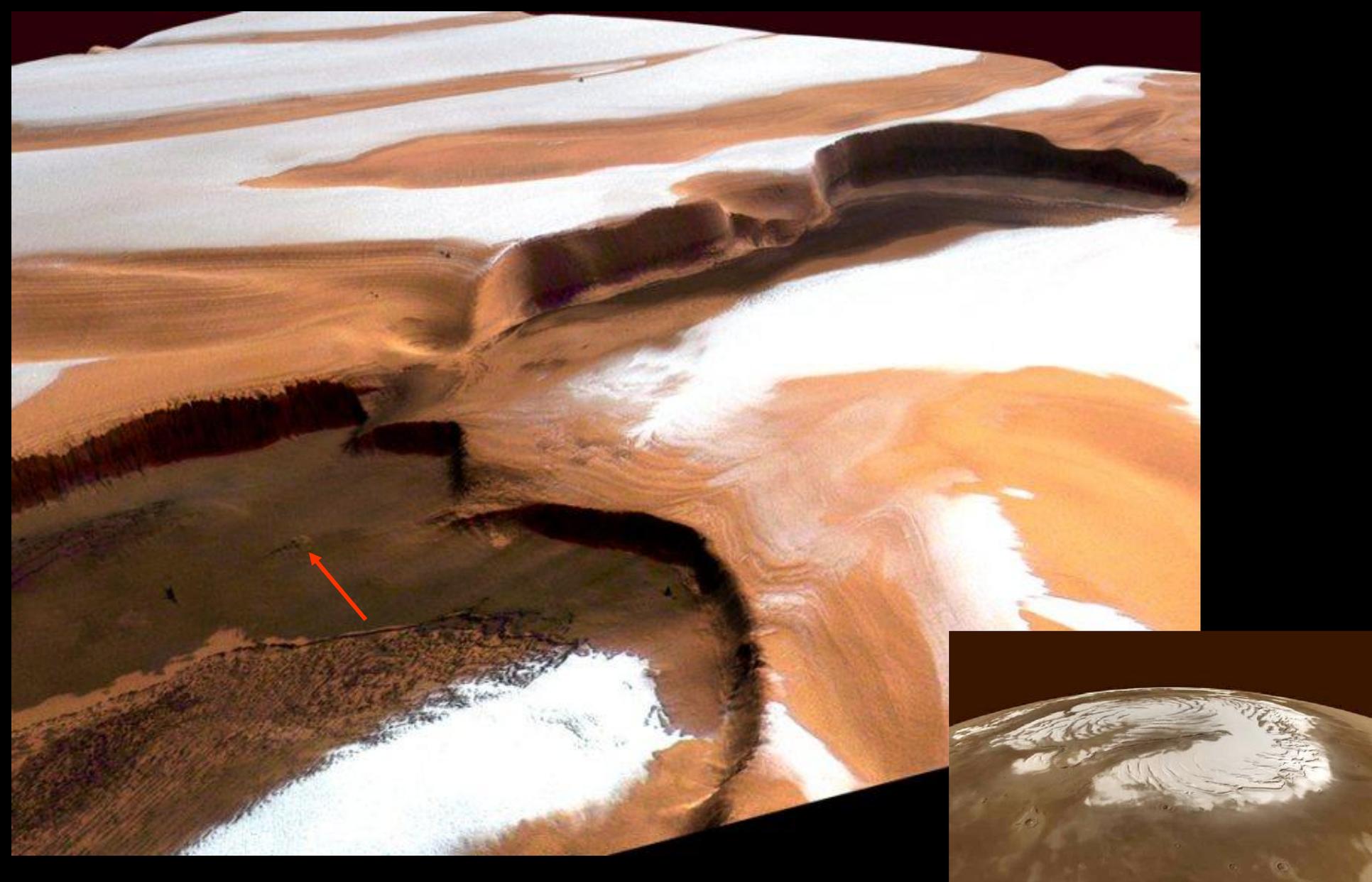
MARSIS antenna beam



**Deux sondes possèdent un radar**

**Premier résultat du radar :  
la calotte polaire nord d'été fait plus d'1 km d'épaisseur**

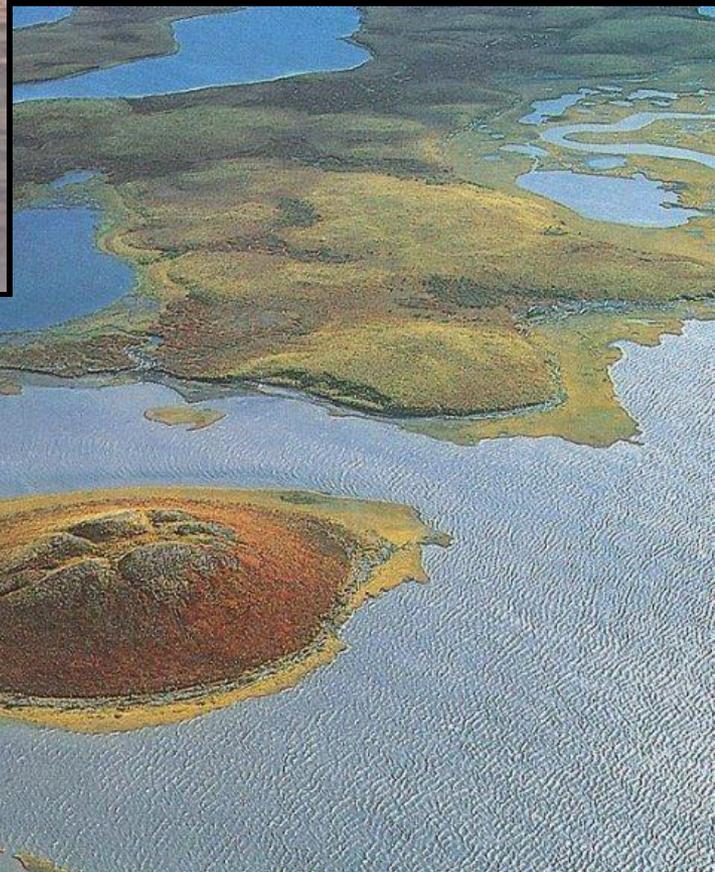




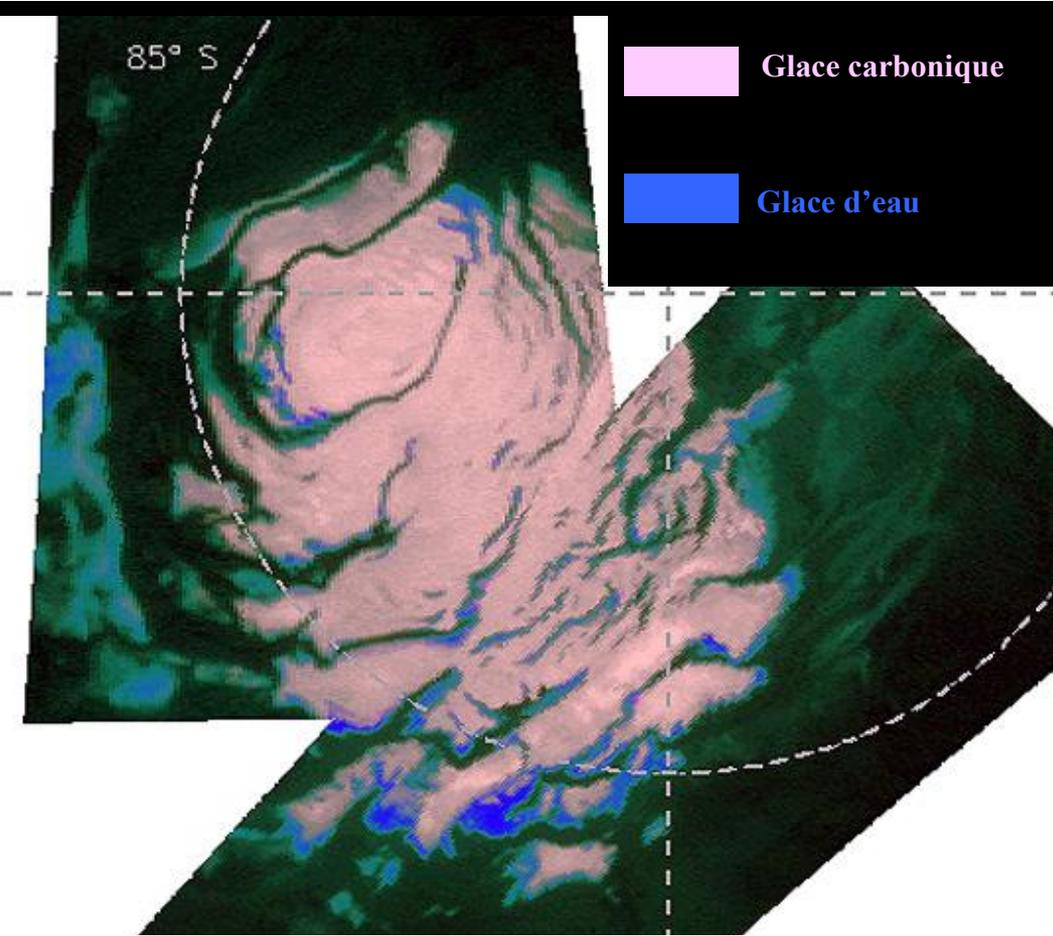
**Dans les « chasmas », de drôles de structures**



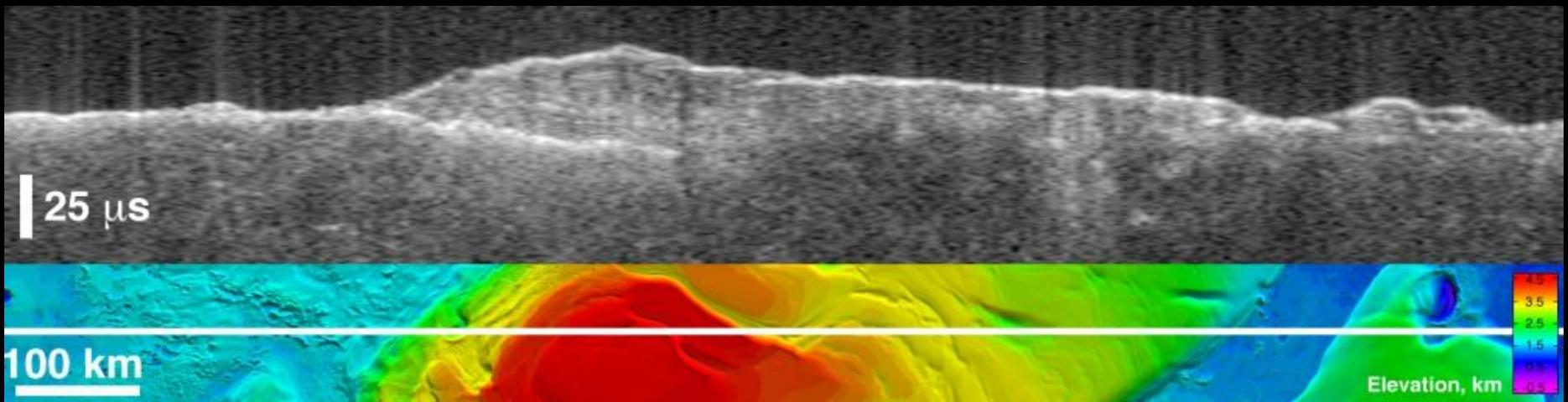
**Des petits volcans, ou des ...**

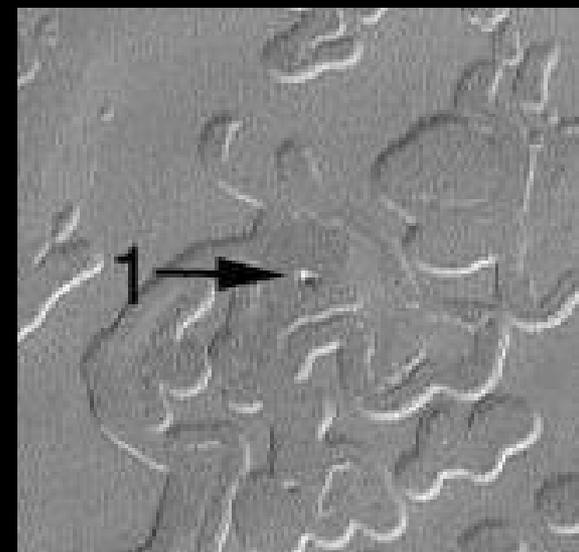
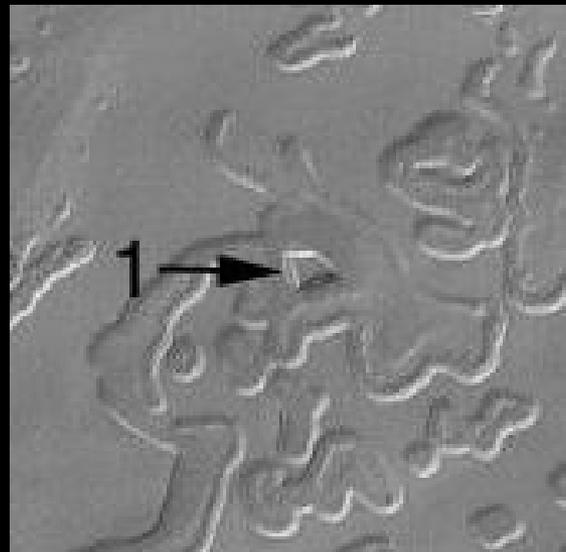
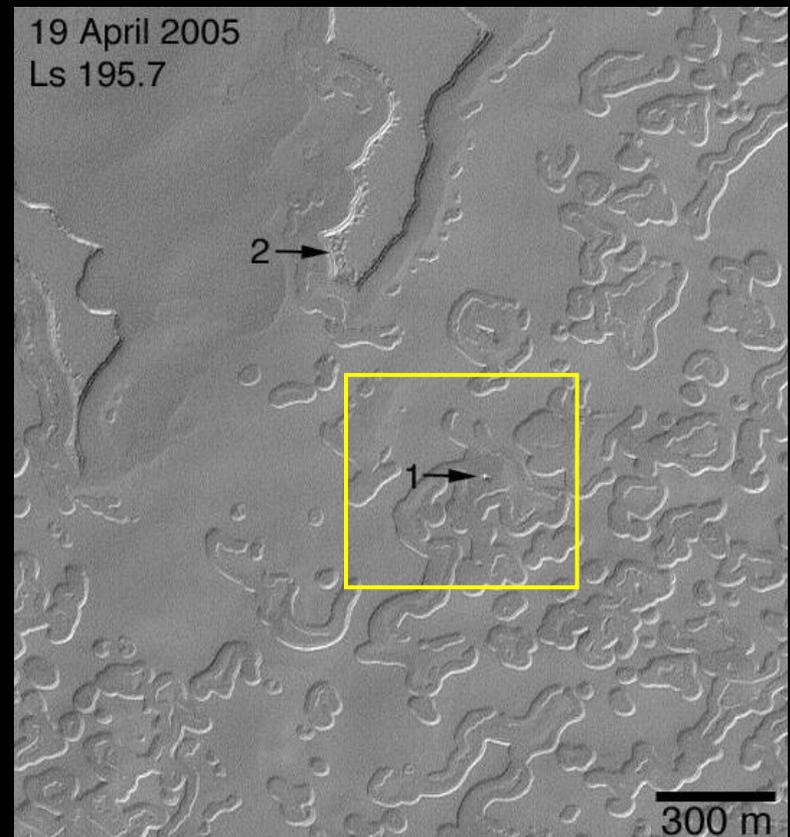
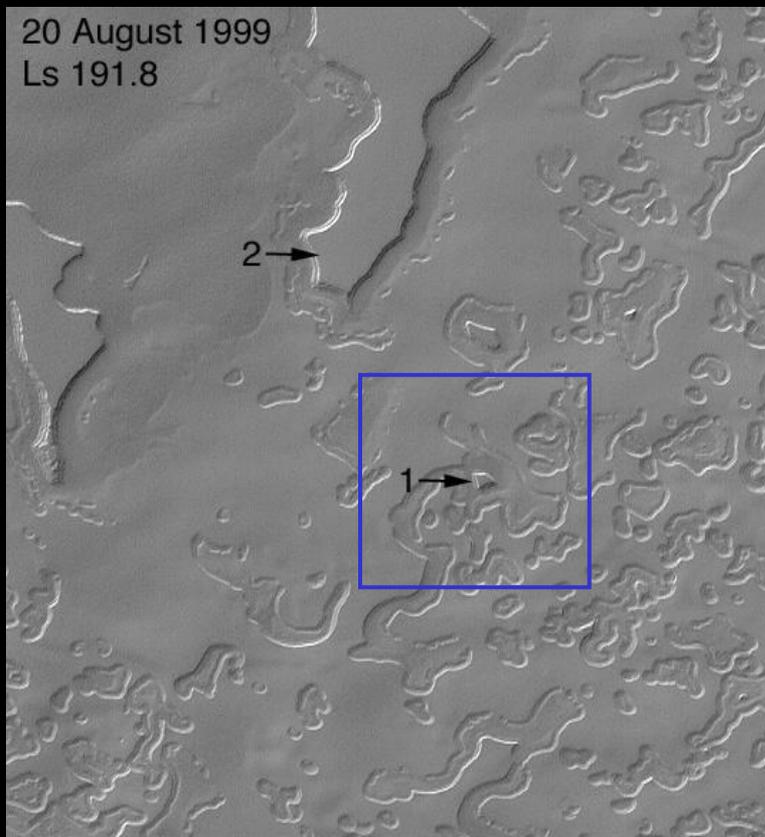
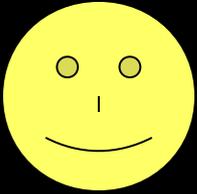


... des pingos ?

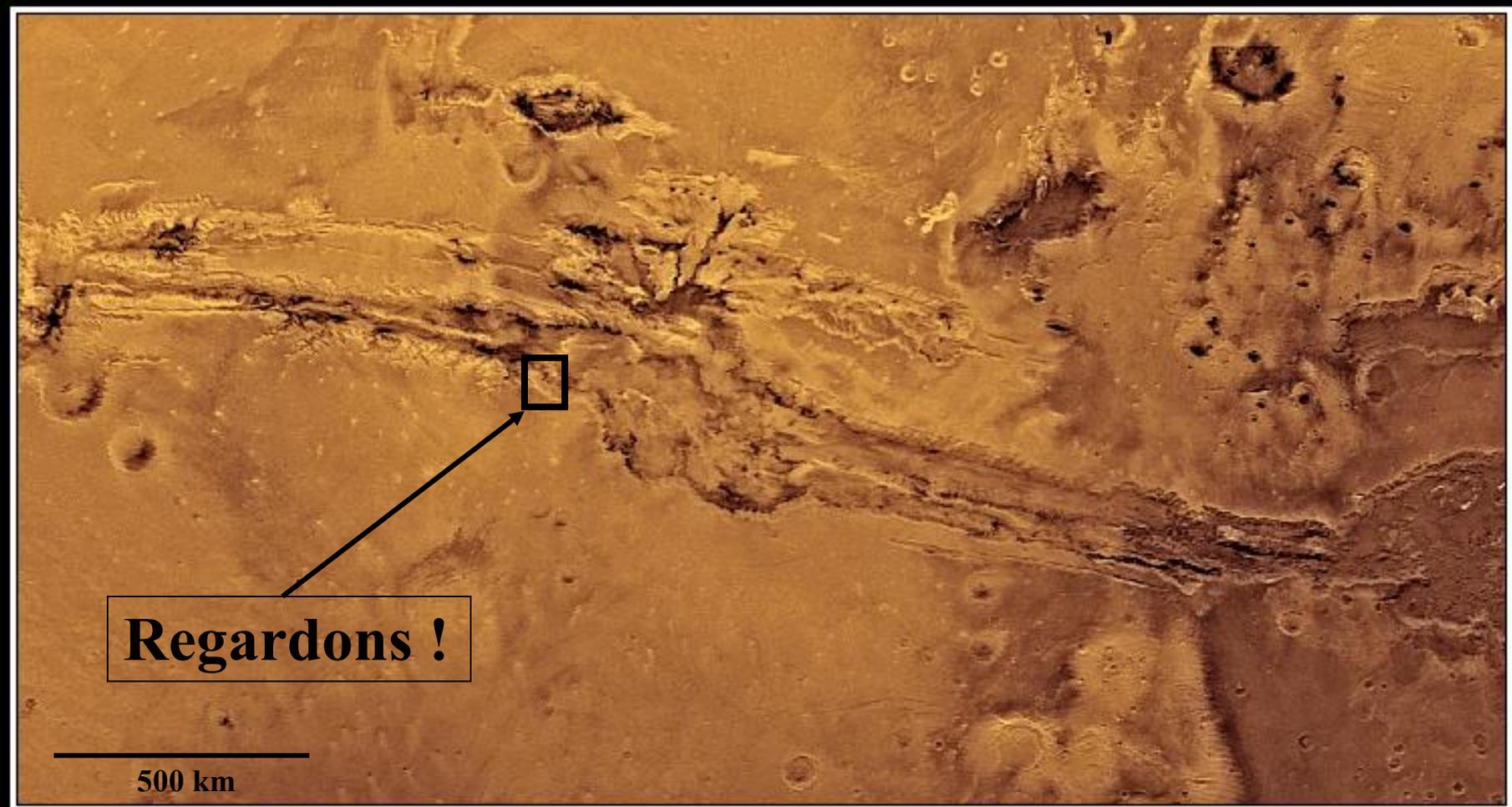


**La calotte d'été sud :  
quelques mètres de  
glace carbonique (qui  
se sublime sur les  
bords), recouvrant  
plus d'1 km de  
glace d'eau  
n'affleurant que sur  
ses bords**



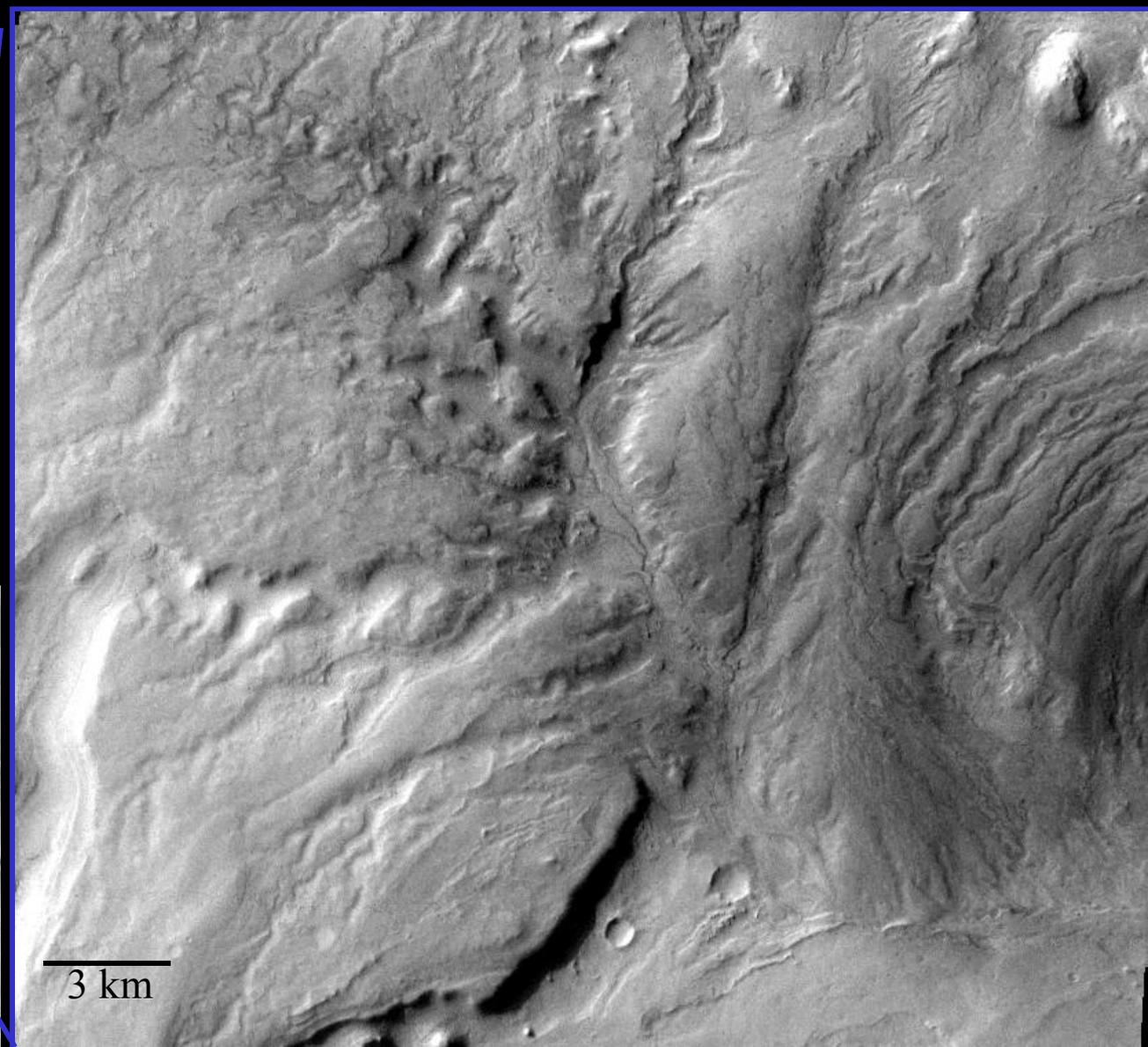
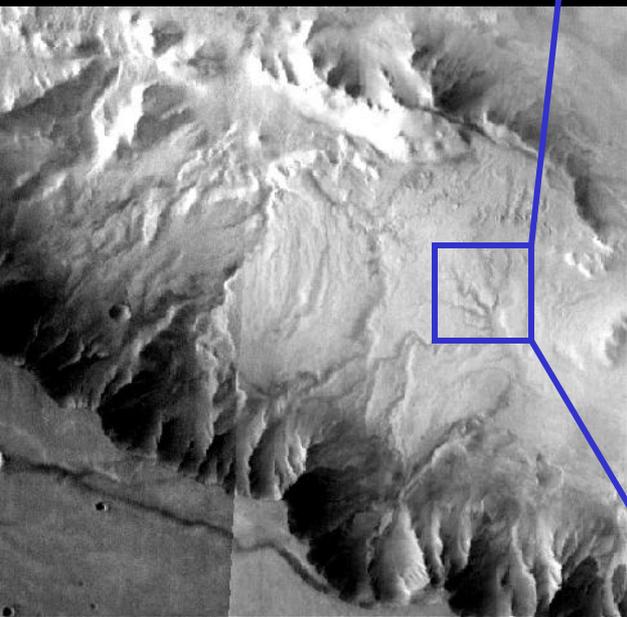


**Deux vues de la calotte résiduelle Sud, à 3 étés d'intervalle. On y voit des figures de sublimation de la glace carbonique. Depuis 1999, la sublimation progresse chaque été**

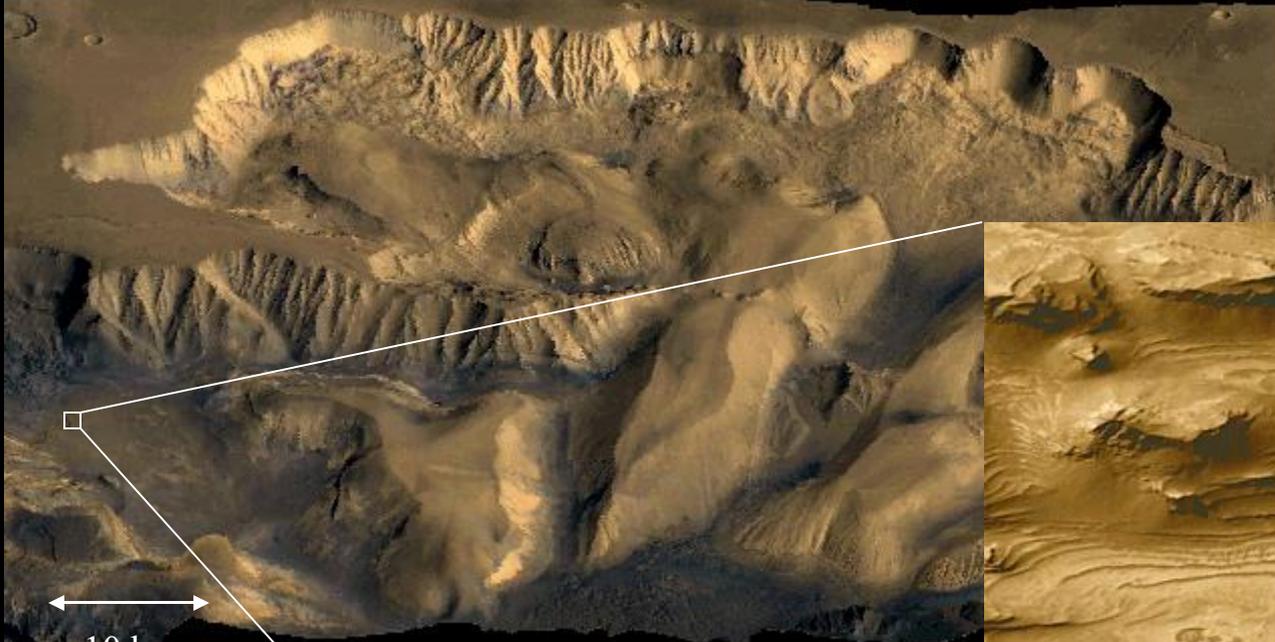


**Valles Marineris, due à des grabens et à un « déblayage » par des débâcles hespériennes (3,6 Ga) . Avant, on disait : pas de pluie ni d'eau pérenne après cette époque, seulement des débâcles**

**Les photos  
hyper-détaillées  
montrent un  
réseau  
hydrographique  
interne.**

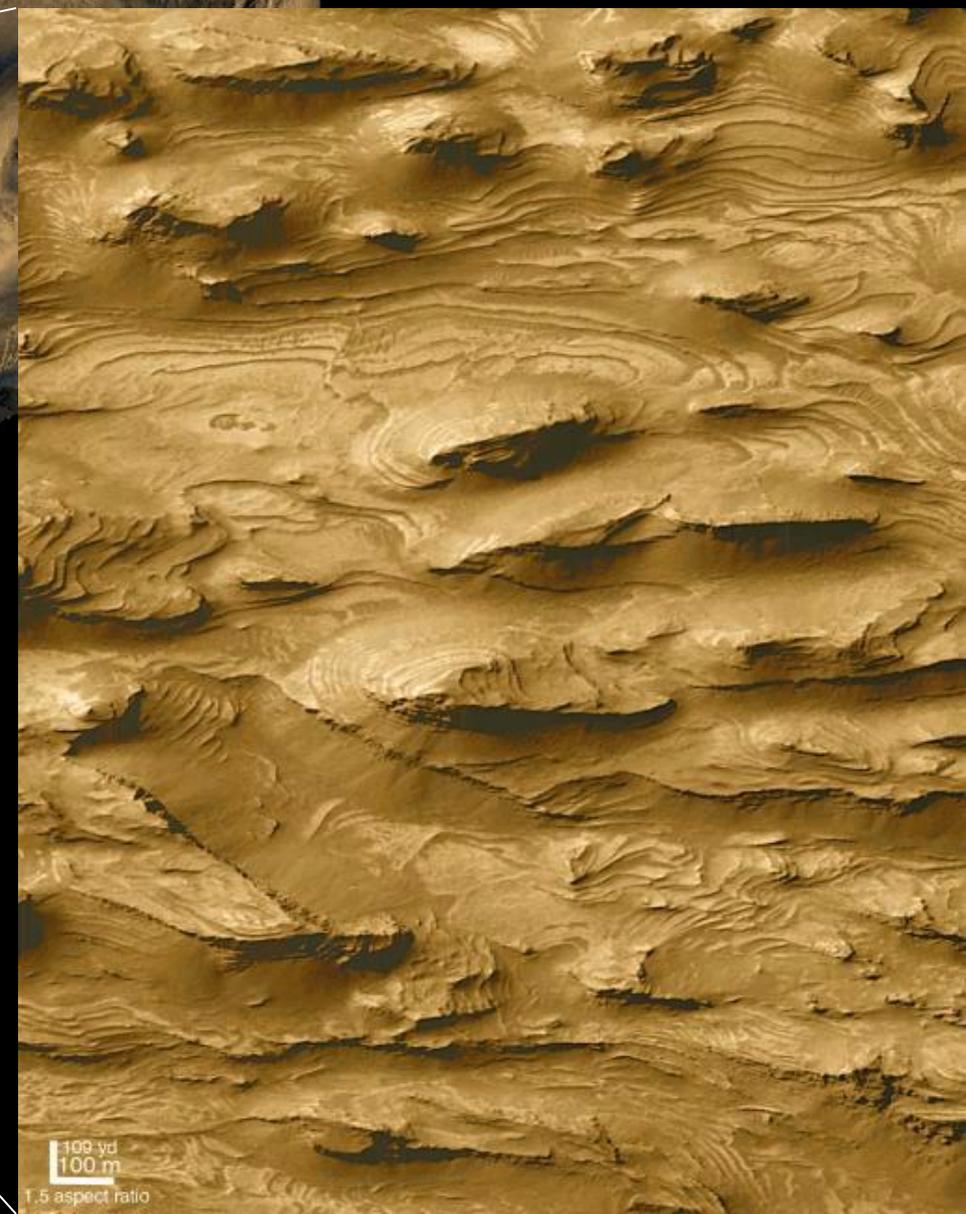


**Il a plu après la formation de Valles  
Marineris, jusque vers 3,3 Ga**



10 km

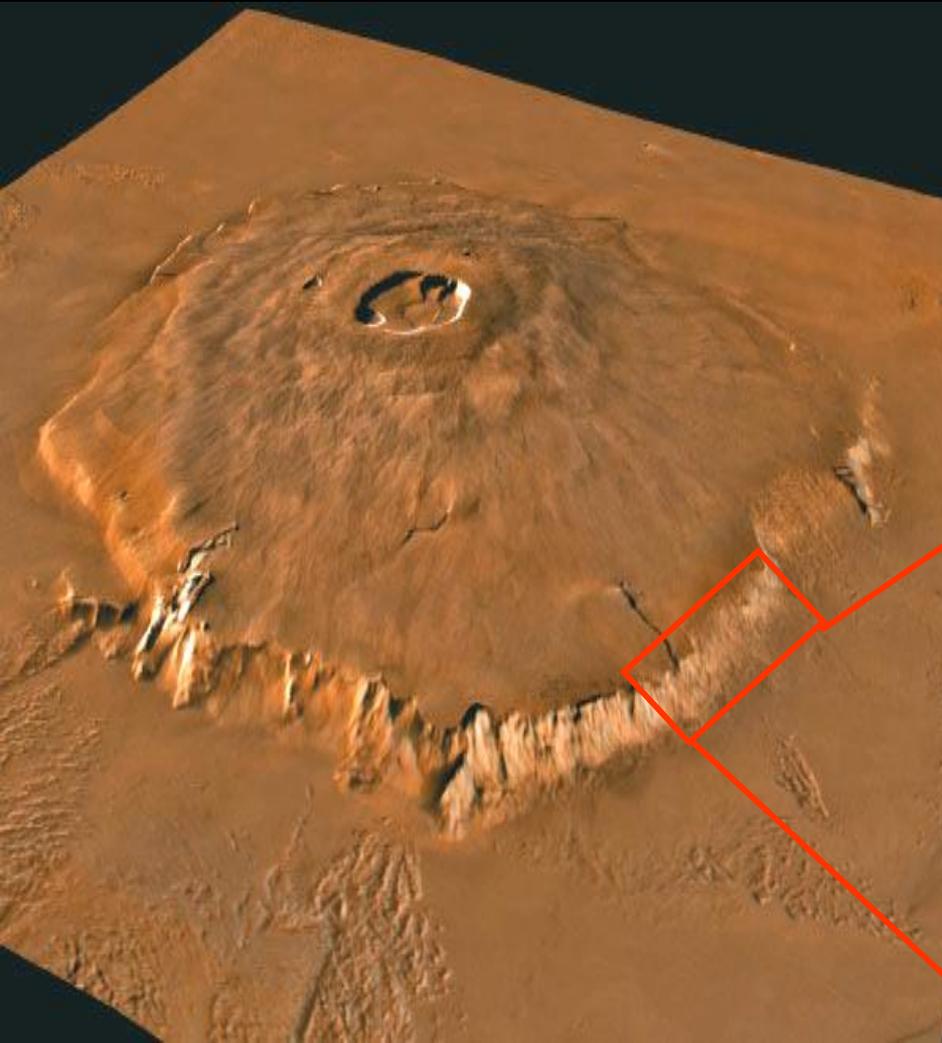
**Non seulement de l'eau a coulé plus récemment qu'on le pensait il y a 30 ans, mais elle a déposé des strates sédimentaires dans les creux**



100 yd  
100 m  
1.5 aspect ratio

# L'eau n'a-t-elle coulé qu'à l'état liquide ?

**Voici les flancs  
d'Olympus Mons, le plus  
grand volcan martien  
(d = 600 km, h = 26 km)**





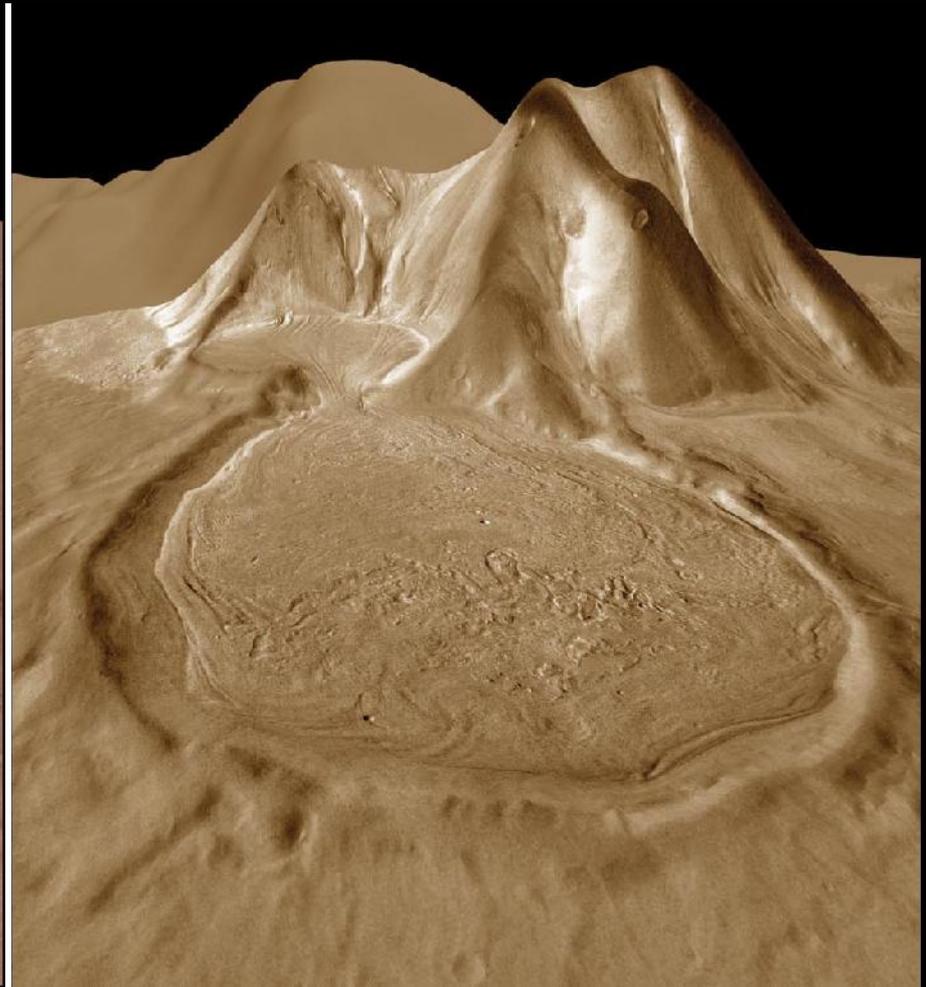
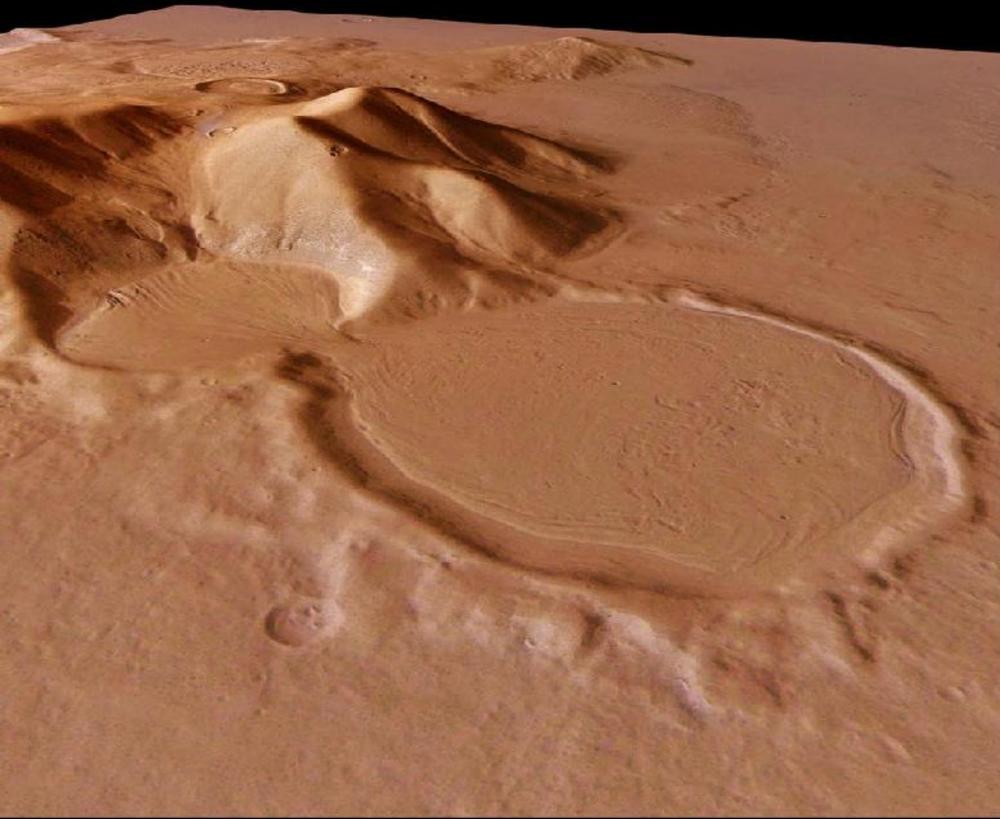
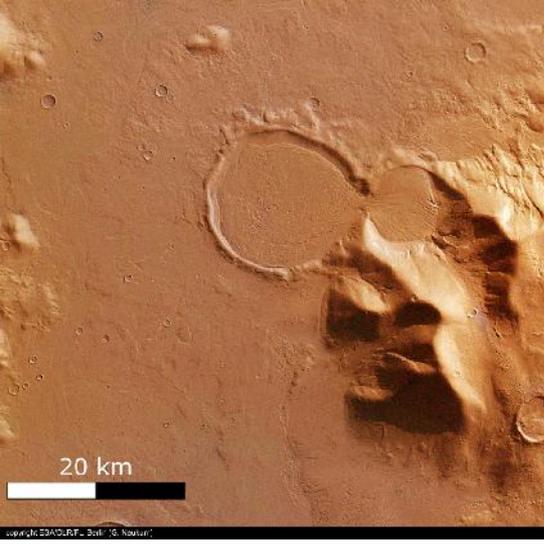
Flancs d'Olympus Mons

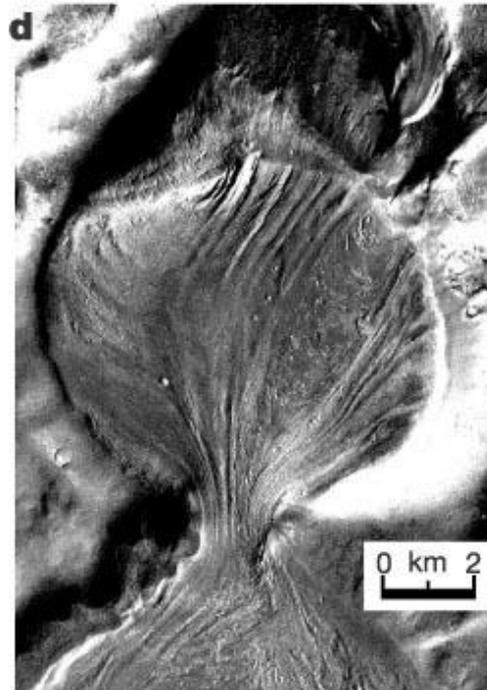
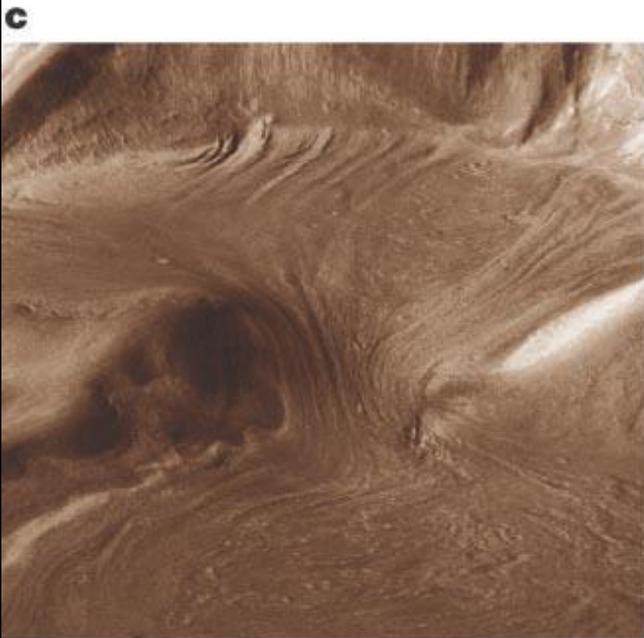
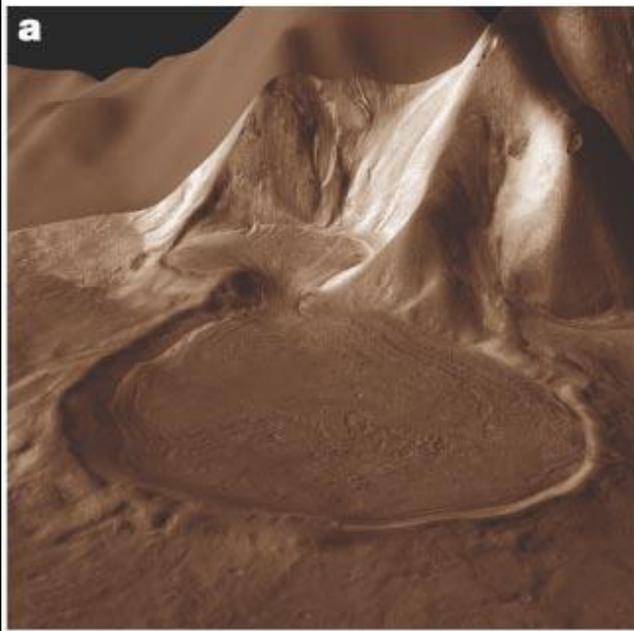


Flancs d'une  
montagne antarctique

**Il y a eu des glaciers sur les flancs  
d'Olympus Mons.**

# Deuxième exemple régional, la région de Reuil Vallis





**Détail de ces  
glaciers  
rocheux vus  
sous plusieurs  
aspects**

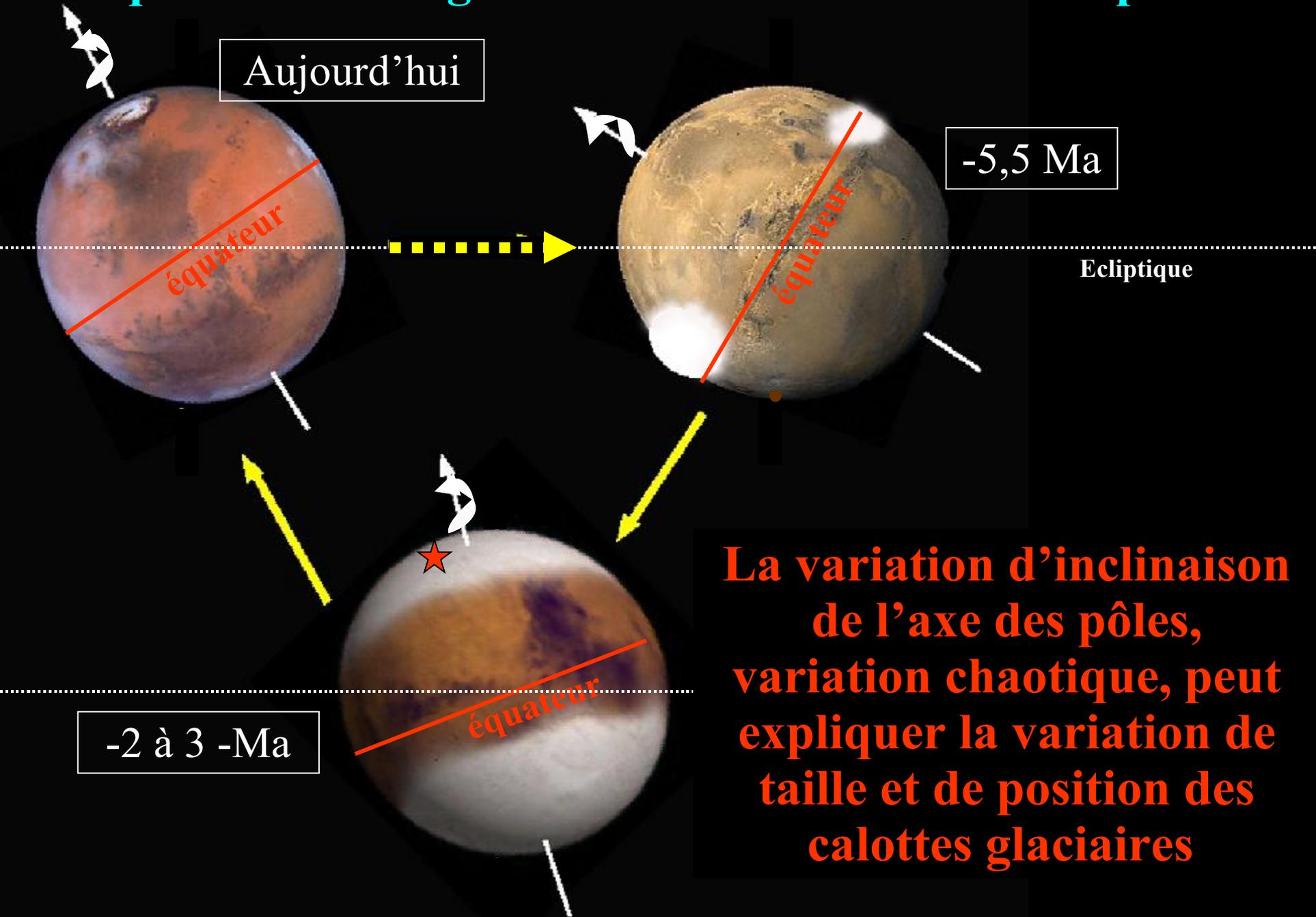


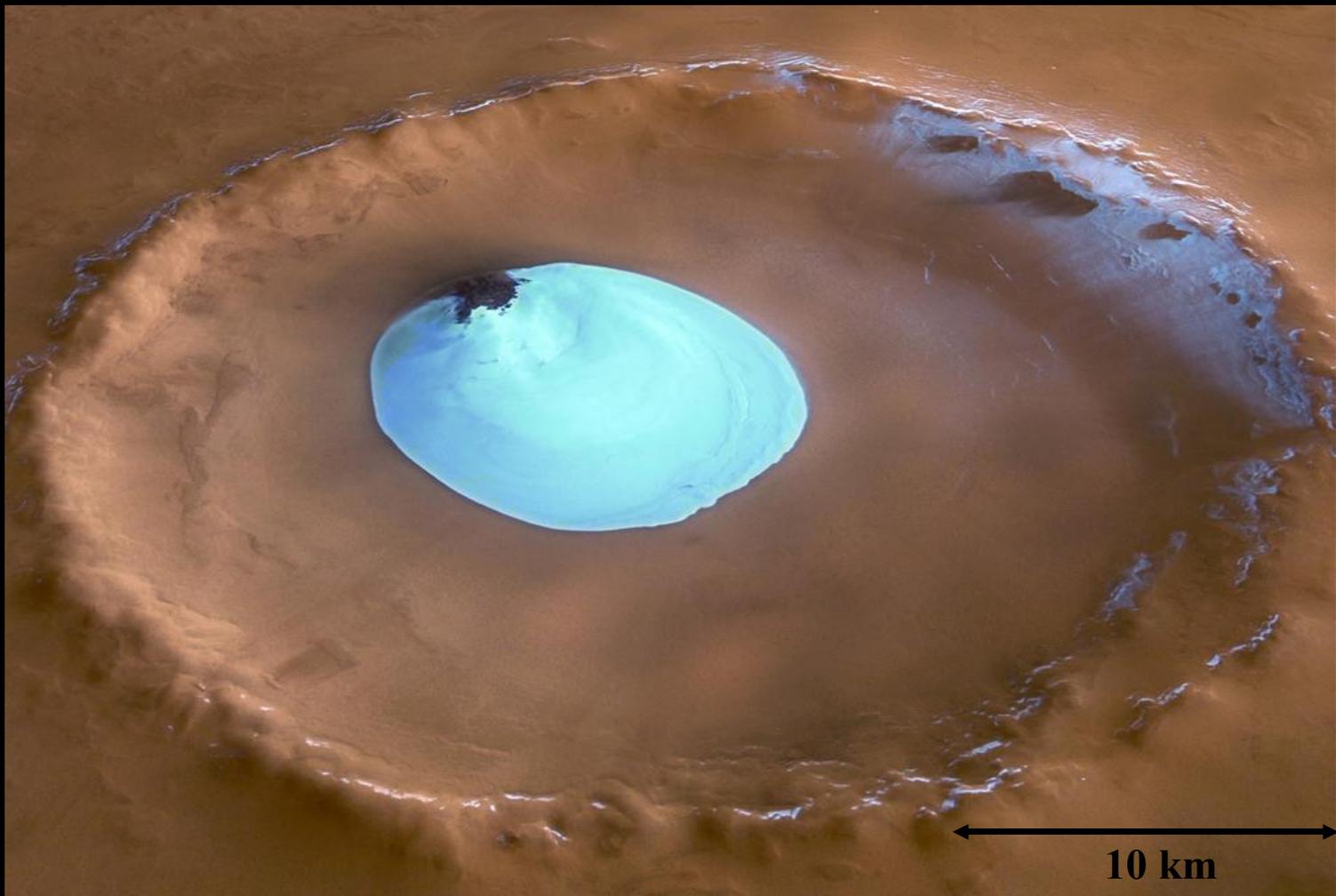
**Autre glacier de la région de Reuil Vallis**



**Une possible analogie terrestre**

# Pourquoi d'anciens glaciers dans les zones intertropicales ?

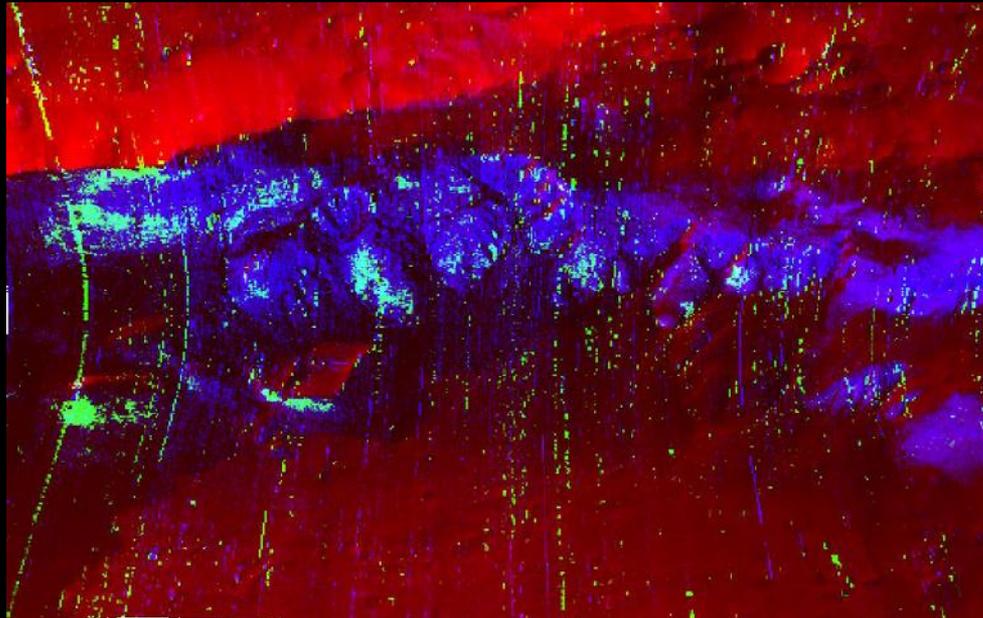




**Et voici, au fond d'un cratère ( $70^{\circ}$  N) un reste « permanent » de cette « calotte transitoire ». Noter que comme tous les versants « à l'ombre » l'hiver, ses flancs Nord sont recouverts de givre ou de neige.**



**Ce givre est majoritairement constitué de glace d' $H_2O$ , avec parfois en plein hivers, du givre de glace de  $CO_2$ . Cette composition est révélée par les spectres IR des spectro-imageurs**



# Dernière nouvelle (1<sup>er</sup> novembre 2007)

[IMAGES](#)[MULTIMEDIA](#)[NEWS](#)[MISSIONS](#)[PUBLIC SERVICES](#)[KIDS](#)[EDUCATION](#)[ABOUT JPL](#)[TOP STORIES](#)[NEWS RELEASES](#)[FEATURE STORIES](#)[SPOTLIGHTS](#)[PROFILES](#)[MISSION FACT SHEETS](#)[MISSION PRESS KITS](#)[MEDIA VISITS](#)[MEDIA CONTACTS](#)[NEWSLETTERS](#)[ANNUAL REPORTS](#)[Receive JPL news](#)[+ Free Public E-mail](#)[+ RSS feed](#)

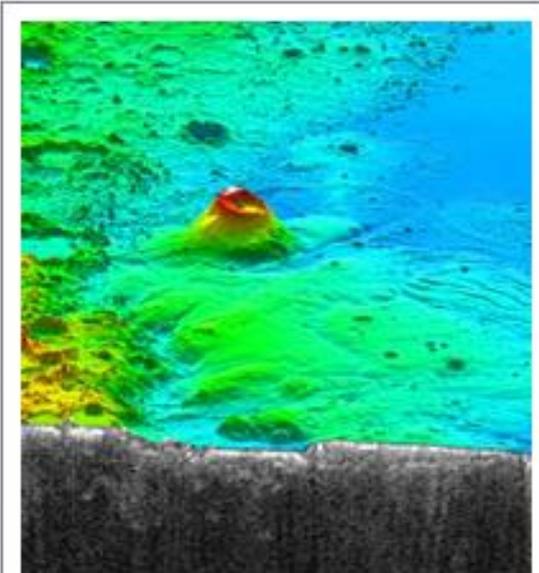
## News Releases

### Mars Express Probes Red Planet's Unusual Deposits

November 01, 2007

The radar system on the European Space Agency's Mars Express orbiter has uncovered new details about some of the most mysterious deposits on Mars: the Medusae Fossae Formation. It has provided the first direct measurement of the depth and electrical properties of these materials, providing new clues about their origin.

The Medusae Fossae Formation consists of enigmatic deposits. Found near the Martian equator along a divide between highlands and lowlands, they may represent some of the youngest deposits on the surface of the planet. This is implied because there is a marked lack of impact craters dotting these deposits.



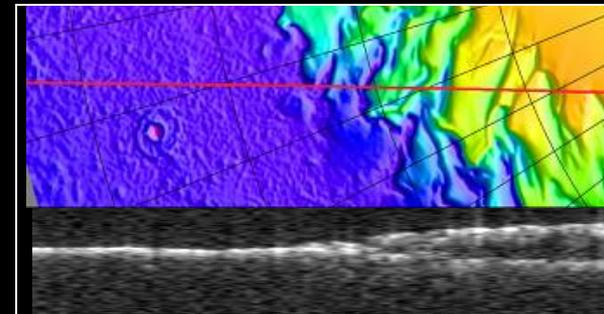
[+ Larger image](#)

This image combining a topographic map viewed obliquely (color portion of image) with a radargram of the subsurface

# Medusae Fossae Formation

En carte  
topographique

En coupe radar



Pour comparaison,  
coupe radar de  
l'actuelle calotte nord

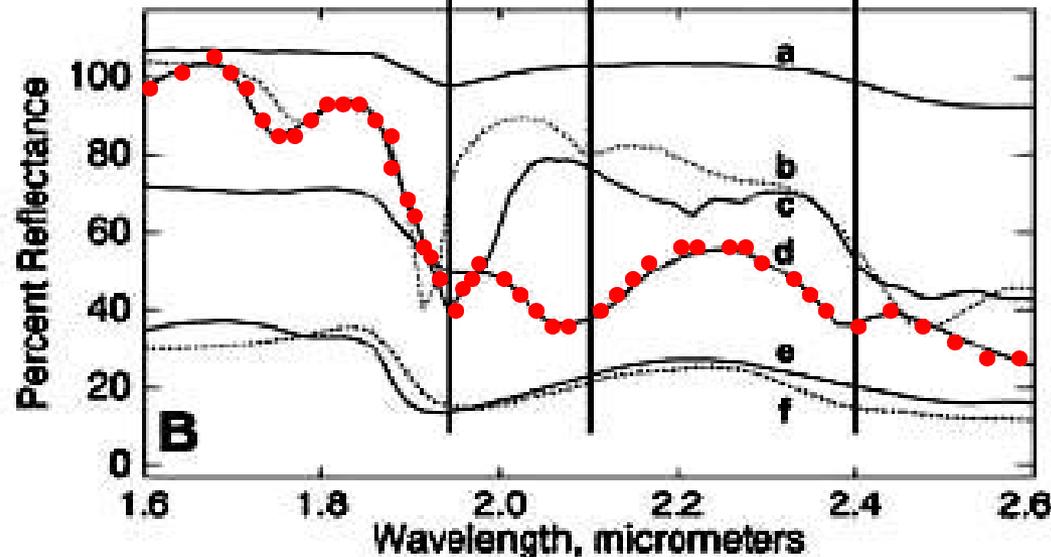
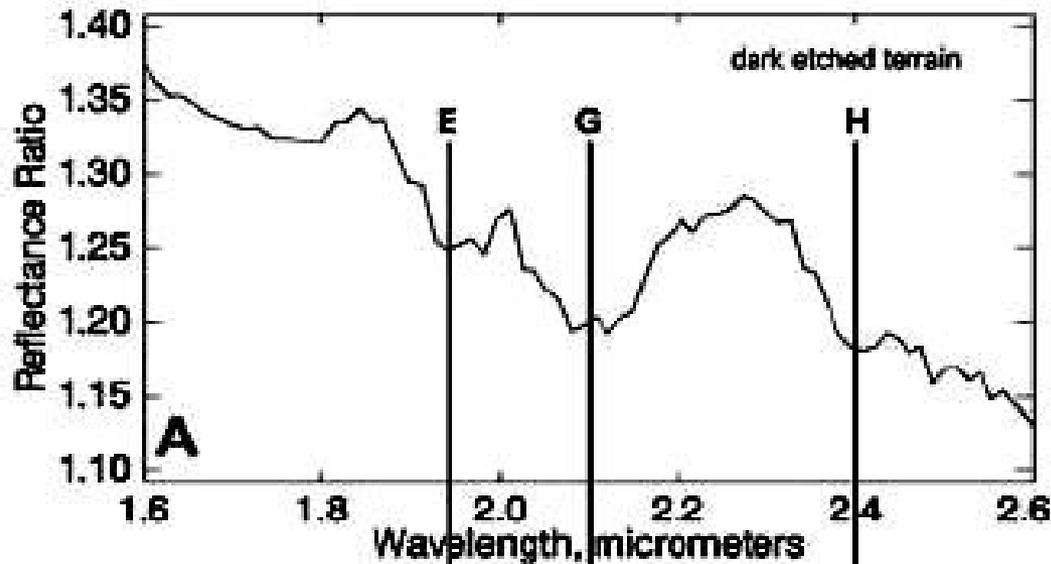
# Dernière nouvelle (1<sup>er</sup> novembre 2007)

IMAGES	MULTIMEDIA	NEWS	MISSIONS	PUBLIC SERVICES	KIDS	EDUCATION	ABOUT JPL
TOP STORIES		<b>News Releases</b>					
<b>NEWS RELEASES</b>		<b>Mars Express Probes Red Planet's Unusual Deposits</b> November 01, 2007					
FEATURE STORIES		The radar system on the European Space Agency's Mars Express orbiter has uncovered new details about some of the most mysterious deposits on Mars: the Medusae Fossae Formation. It has provided the first direct measurement of the depth and electrical properties of these materials, providing new clues about their origin.					
SPOTLIGHTS		The Medusae Fossae Formation consists of enigmatic deposits. Found near the Martian equator along a divide between highlands and lowlands, they may represent some of the youngest deposits on the surface of the planet. This is implied because there is a marked lack of impact craters dotting these deposits.					
PROFILES							
MISSION FACT SHEETS							
MISSION PRESS KITS							
MEDIA VISITS							
MEDIA CONTACTS							
NEWSLETTERS							
ANNUAL REPORTS							
<b>Receive JPL news</b>							
+ Free Public E-mail							
+ RSS feed							

[+ Larger image](#)  
This image combining a topographic map viewed obliquely (color portion of image) with a radargram of the subsurface

A variety of scenarios has been proposed for the origin and composition of these deposits. Firstly, they could be volcanic ash deposits from now-buried vents or nearby volcanoes. Secondly, they could be deposits of wind-blown materials eroded from Martian rocks. Thirdly, they could be ice-rich deposits, somewhat similar to the layered ice deposits at the poles of the planet, but formed when the spin axis of Mars tilts over, making the equatorial region colder.

# Autres résultats résultats du spectro-imageur



A : reflectance des “Etched terrains”

B : réflectance de 6 minéraux “candidats”

a = barytine ( $\text{BaSO}_4$ )

b = bassanite ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ )

c = gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

d = kiésérite ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

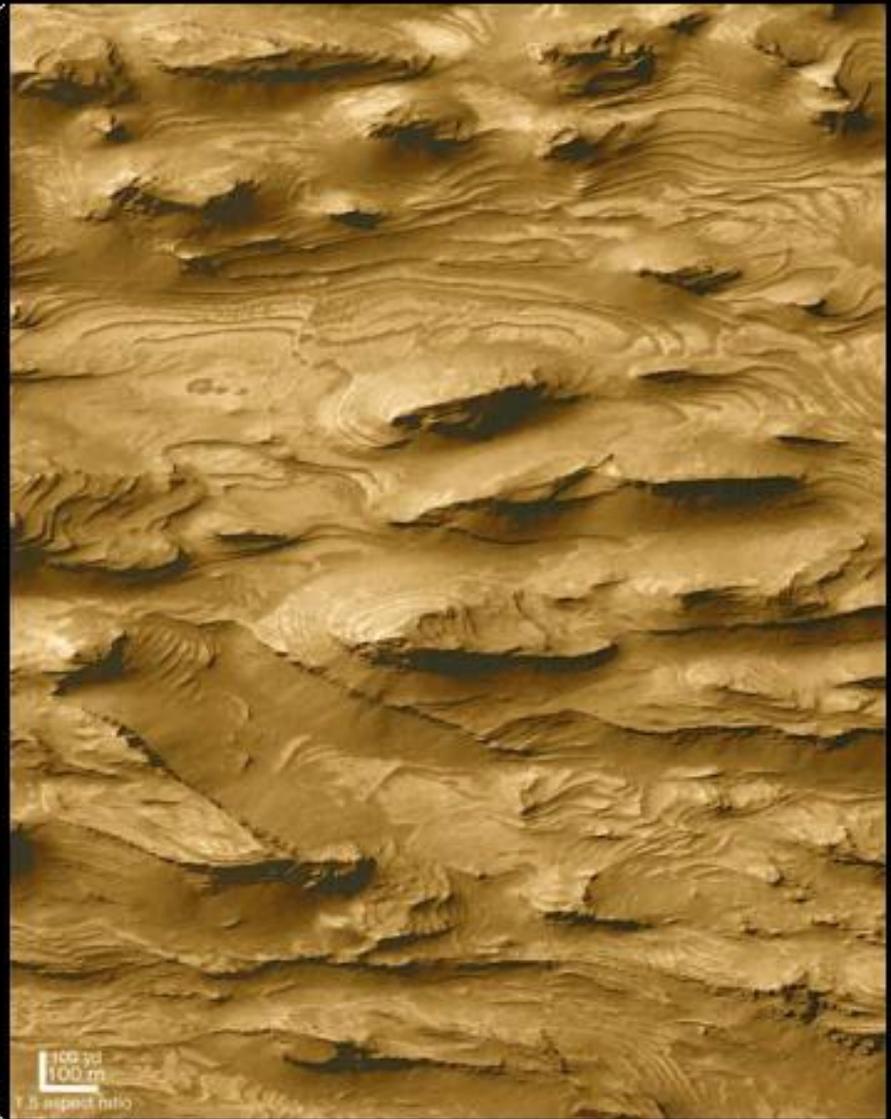
e = fluorine ( $\text{CaF}_2$ )

f = eponite ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )

De ces 6 minéraux candidats, 1 seul présente (approximativement) ces 3 bandes

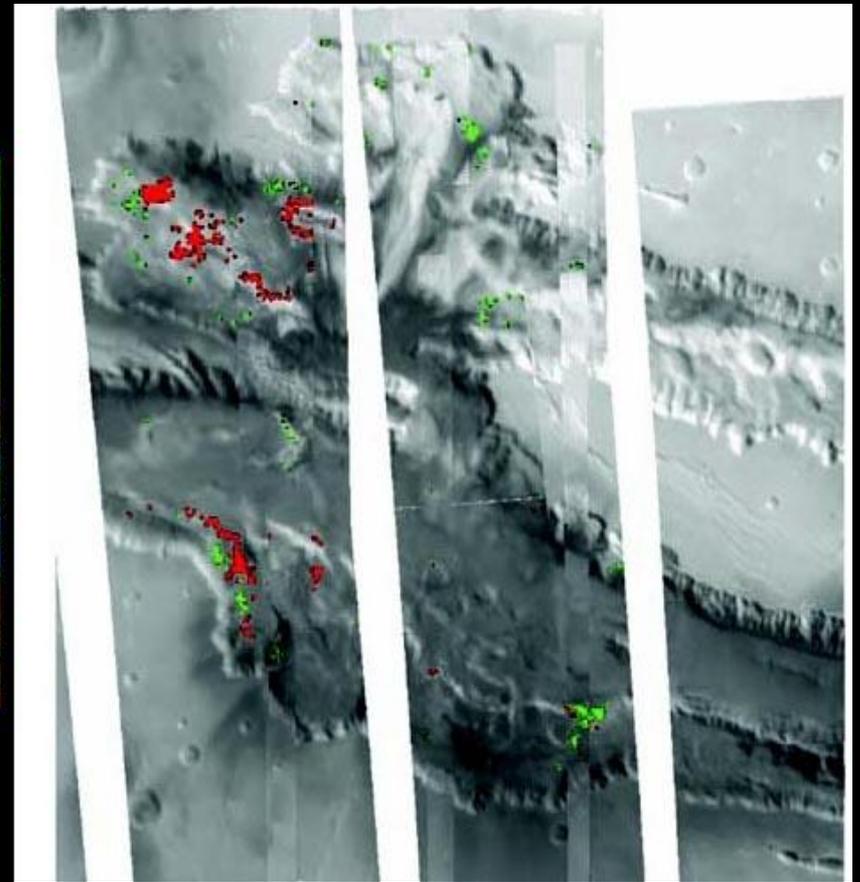
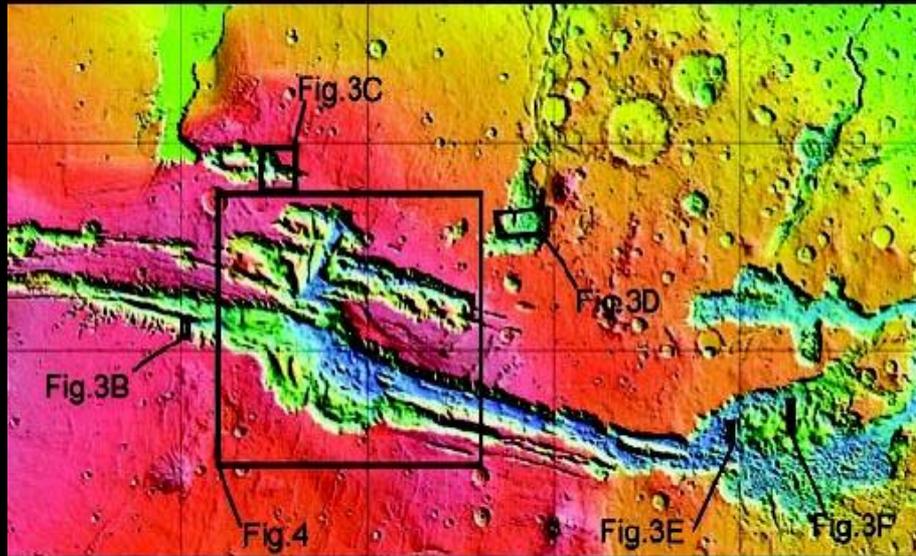
d’absorption E, G et H :

le minéral d, la kiésérite, minéral qui se développe par évaporation d’eau salée.



**On sait qu'il y a des strates sur Mars ;  
mais des strates de quoi ??**

## Carte topographique de Valles Marineris, et localisation de la photo



Sur la photo ont été reportés :

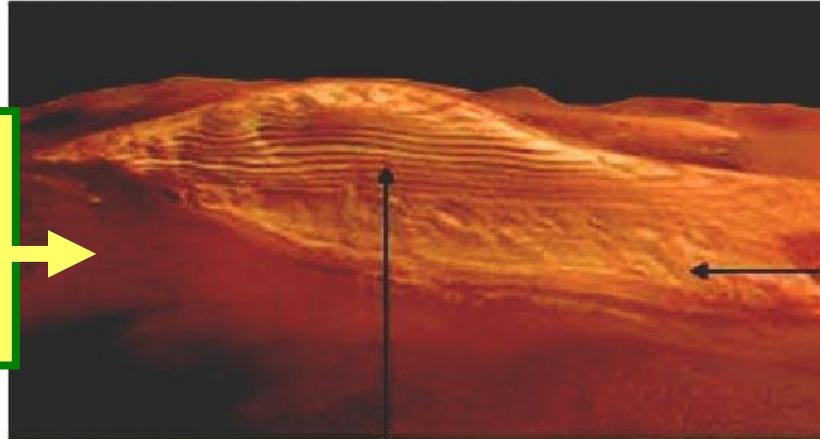
en rouge les affleurements de kiésérite ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ )

en vert les affleurements de sulfates hydratés non parfaitement identifiés ( $xSO_4 \cdot nH_2O$ , et si  $x = Ca$  et  $n = 2$  → gypse)

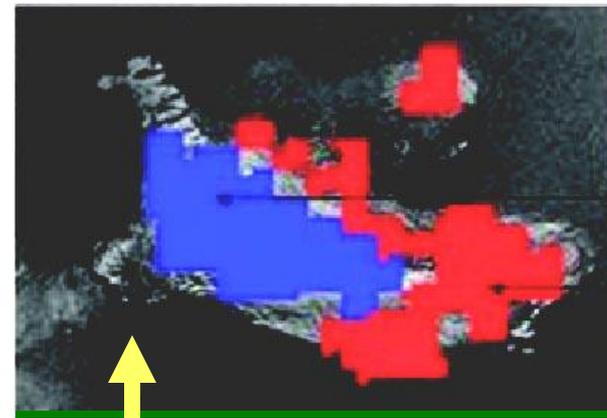
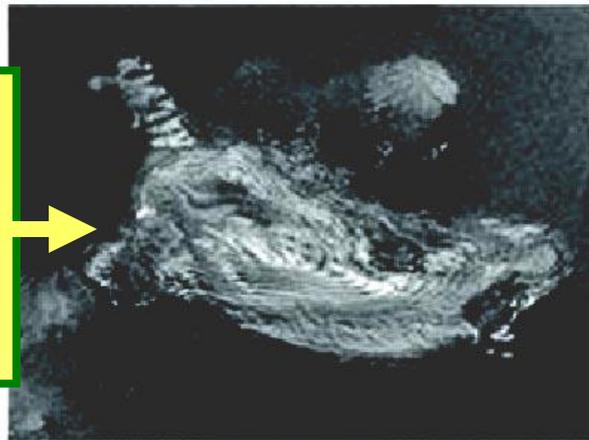


**Kiésérite, gypse,  
sulfates ..., ça se  
dépose dans des lacs  
salés, des lagunes en  
bord de mer ...**

**Image oblique Mars Express : terrains stratifiés en haut, beaucoup moins en bas**



**Image verticale Mars Global Surveyor (MGS), de la NASA**



gypsum

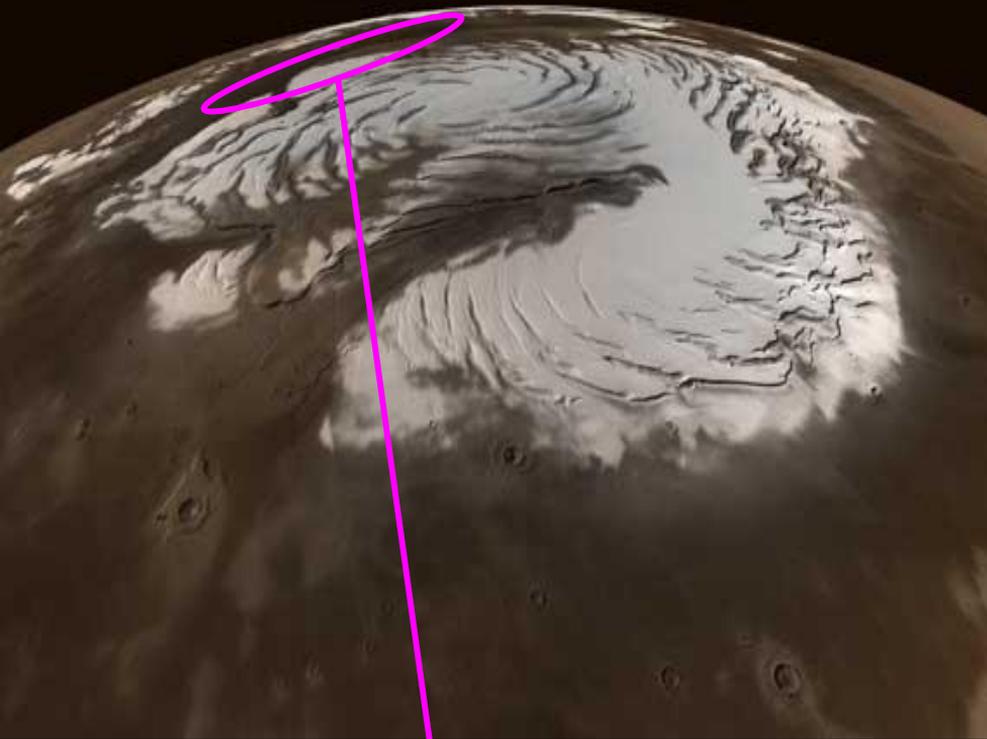
kieserite

**Les données du spectro-imageur de Mars Express, reportées sur l'image MGS.**

**Les niveaux stratifiés supérieurs seraient en gypse.**

**Les niveaux inférieurs mal stratifiés seraient en kiésérite.**

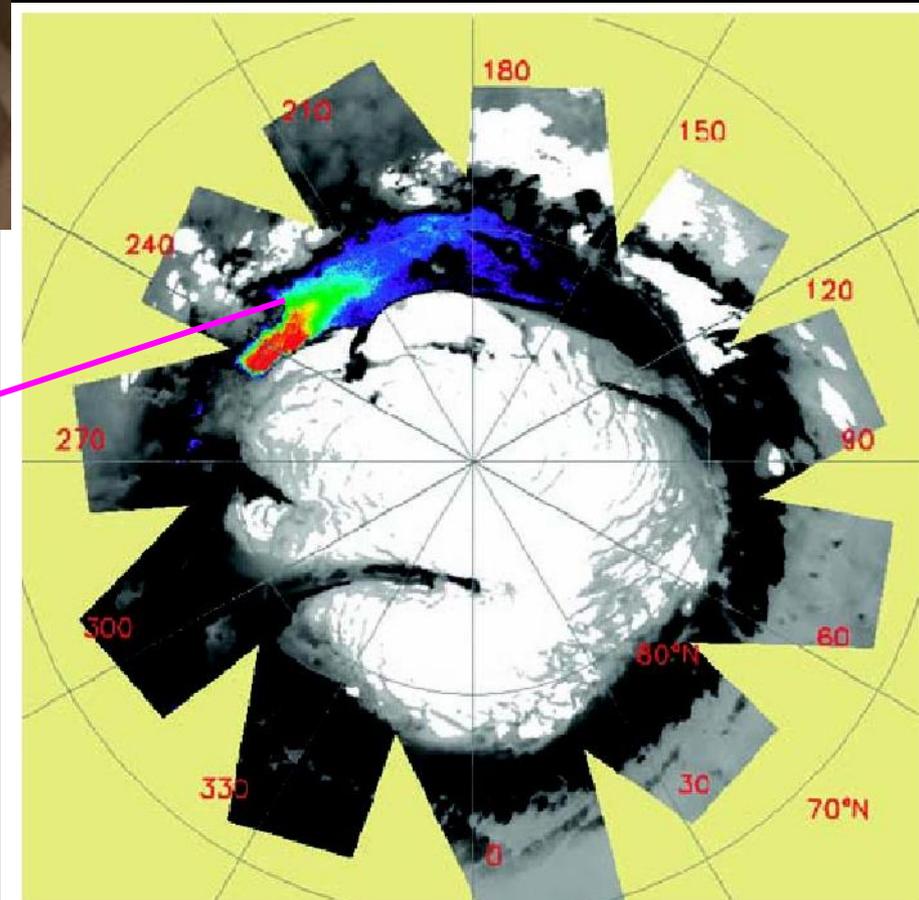
**La composition des eaux de l'ancien lac aurait changé au cours du temps !**



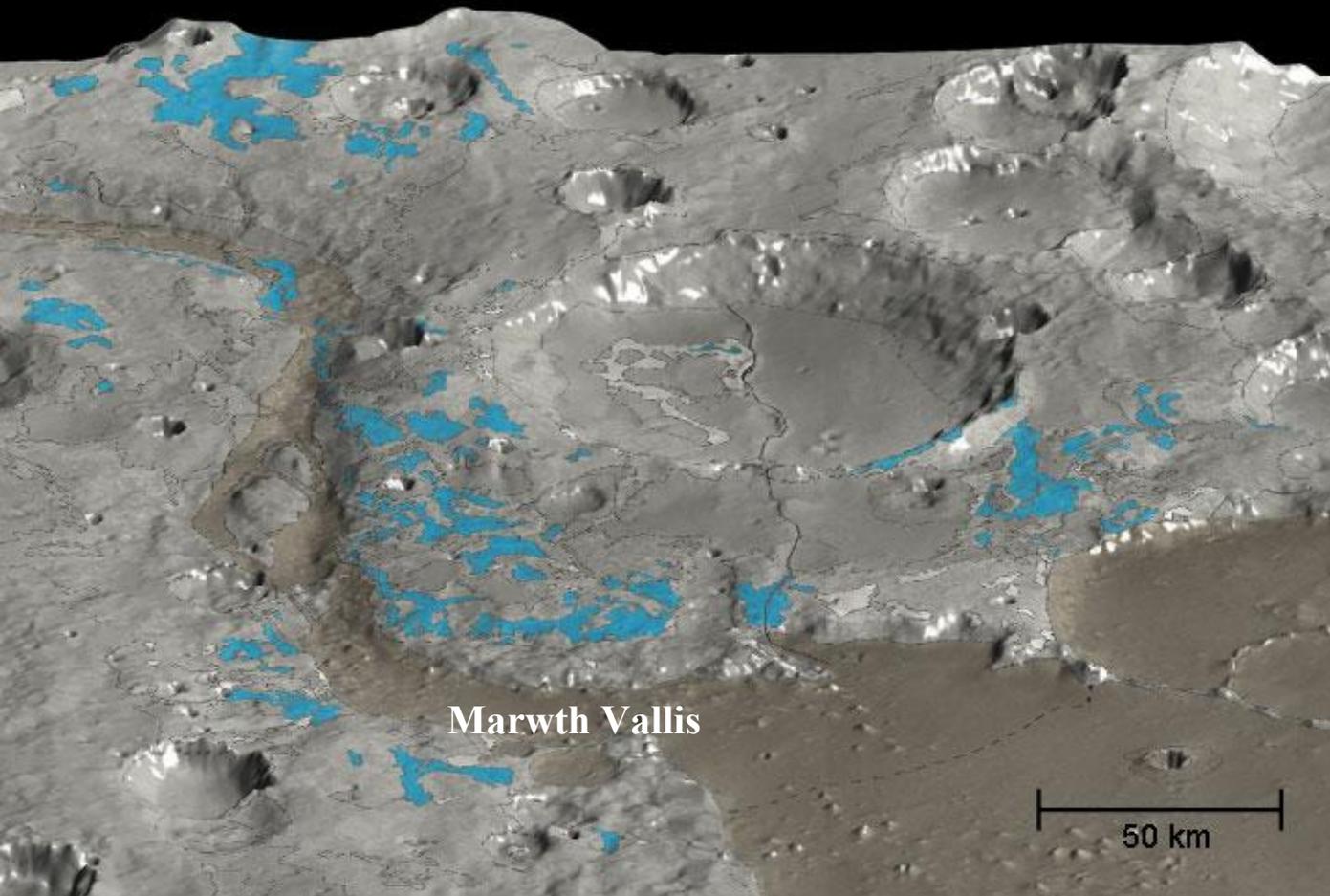
# La calotte polaire nord :

← vue oblique

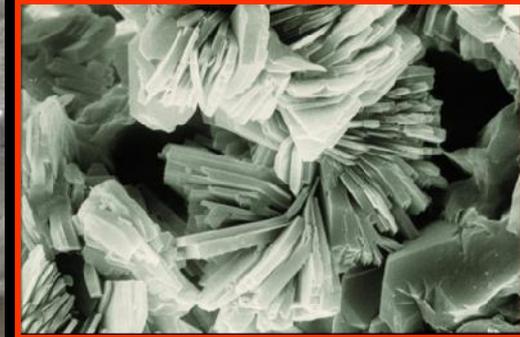
vue verticale



Les zones colorées contiennent entre 6% (bleu foncé) et 25 % (rouge) de sulfates, vraisemblablement du gypse



Argiles

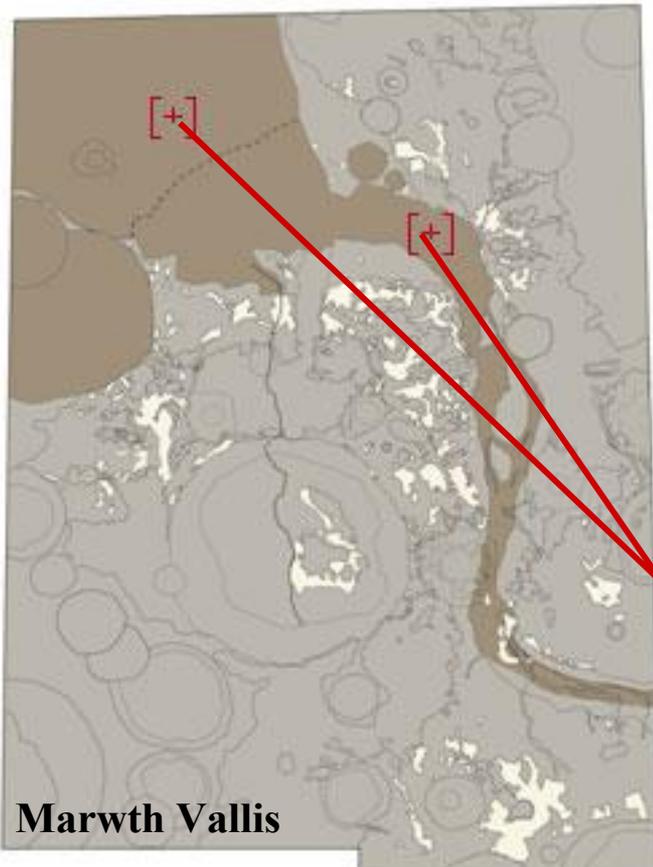


Argile au  
Microscope  
électronique à  
balayage

Le spectro-imageur révèle qu'il y a des argiles sur les hauts plateaux ; et des argiles, pour se fabriquer, nécessitent de l'eau pendant longtemps. Il n'y en a pas (ou beaucoup moins) dans la vallée de débâcle .

**OMEGA shows: no hydration**

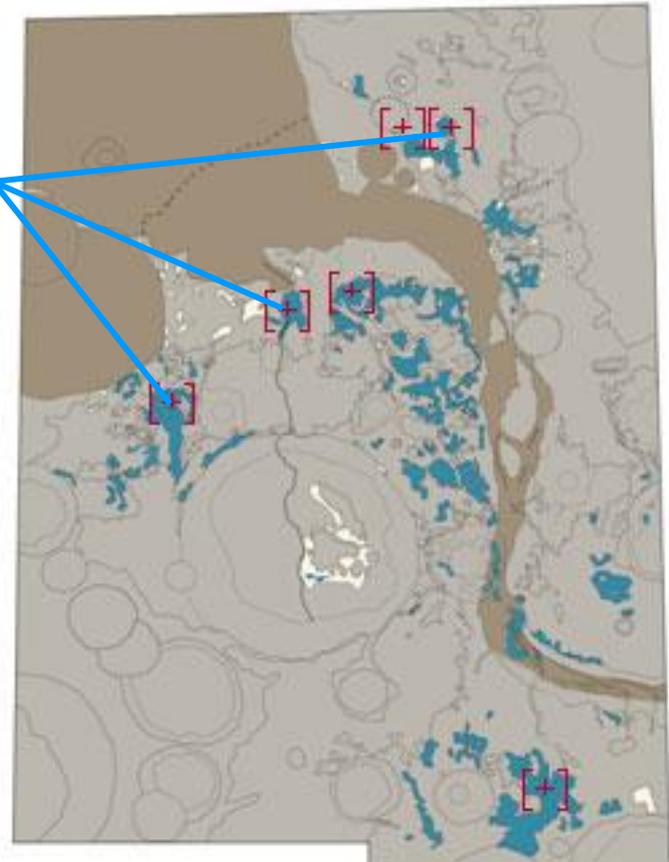
**OMEGA detected: hydrated clays**



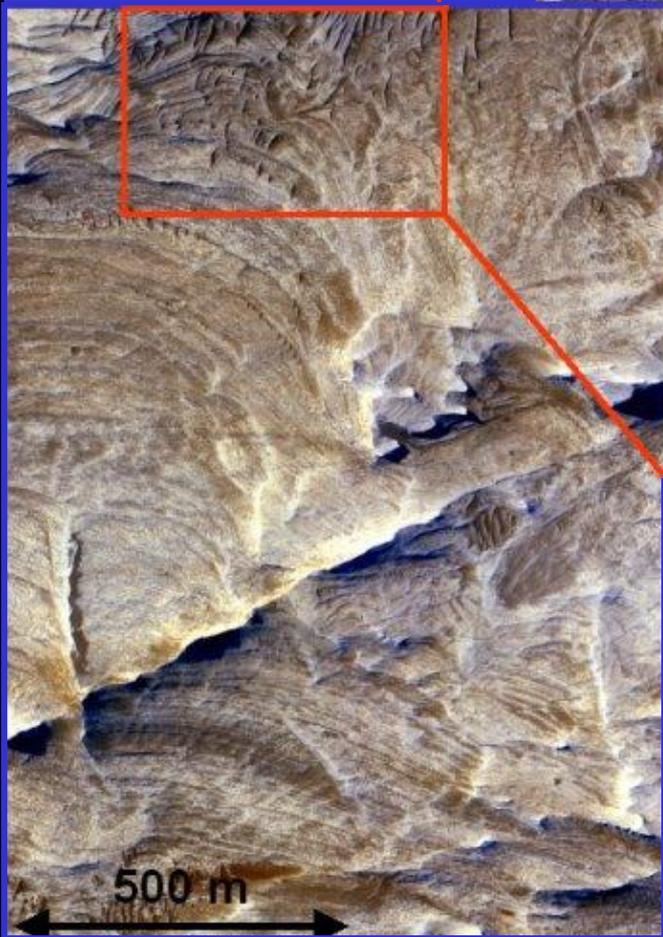
**Marwth Vallis**

**Argiles confirmées sur les hauts plateaux**

**Absence d'argiles confirmées dans la vallée et le delta**



Les hauts plateaux ont de l'argile : ils ont été « mouillés » pendant une longue durée, il y a très longtemps. La vallée de débâcle plus récente n'a pas d'argile : l'eau liquide n'y a pas duré assez longtemps pour provoquer une altération intense.  
**Affaire à suivre !**



**Et dans certains endroits, on trouve des pseudo-dykes, espèce de « murs » résistant à l'érosion**

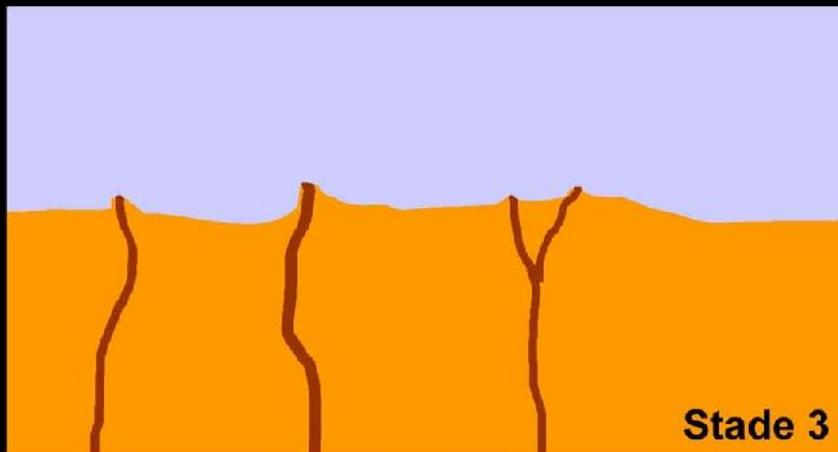
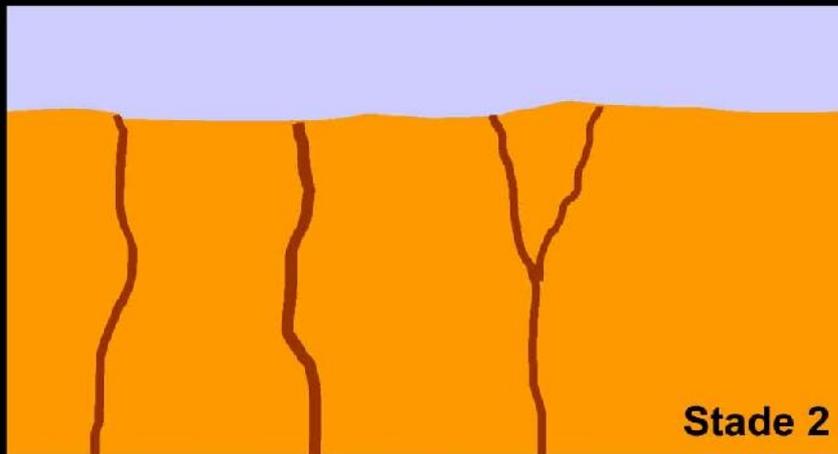
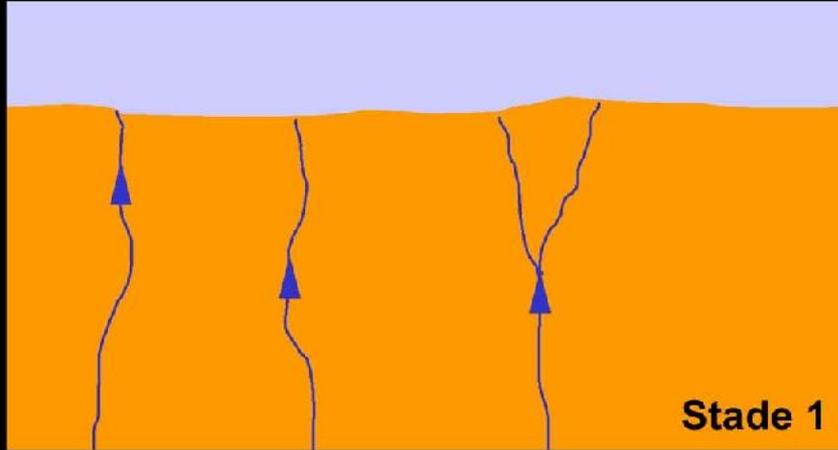
**Comment sont nées ces structures ?**

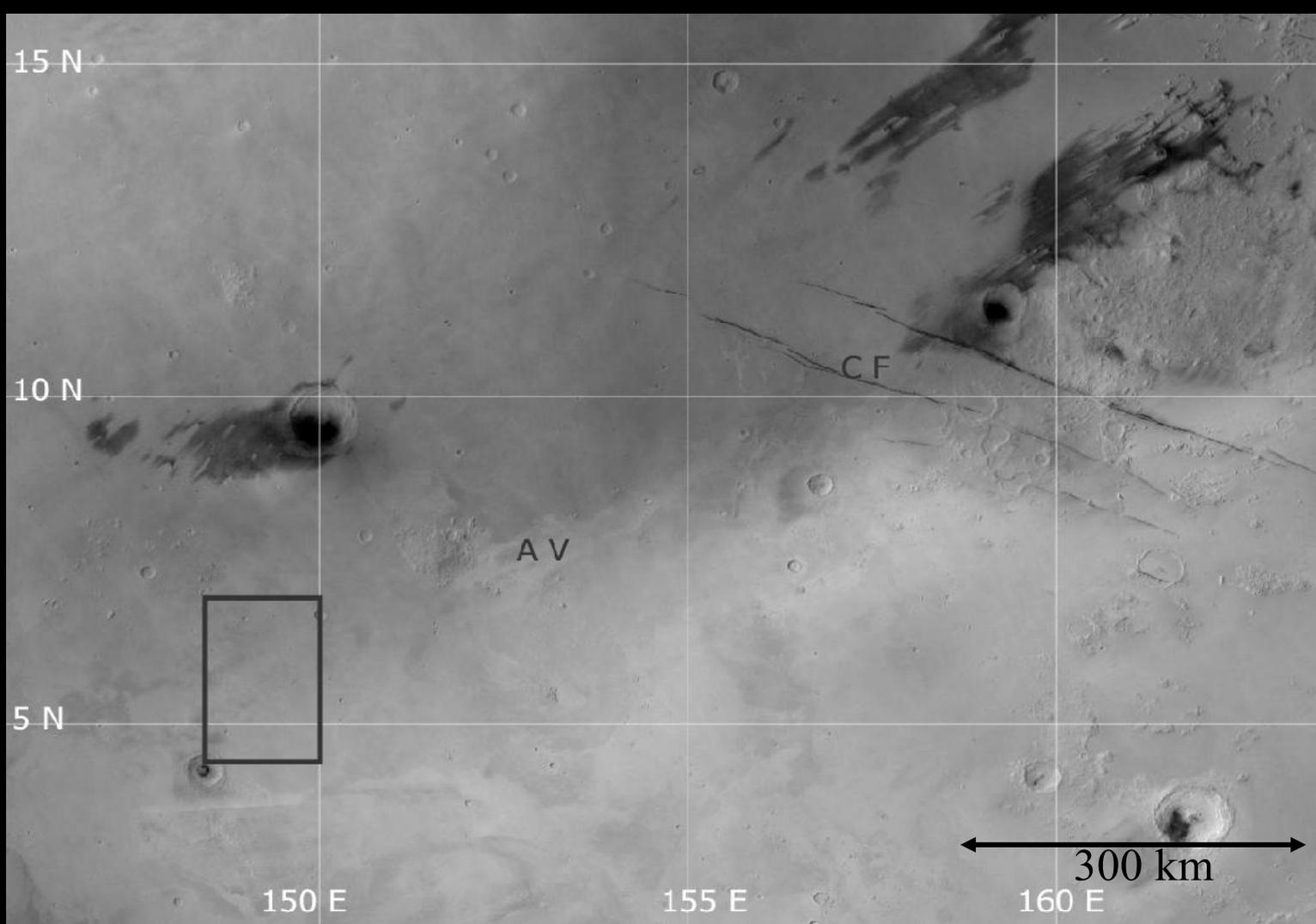
**Stade 1: de l'eau « salée » circule dans des fractures.**

**Stade 2 : cette eau « minéralise » et cimente l'encaissant.**

**Stade 3 : l'érosion met en relief ces anciennes fractures cimentées**

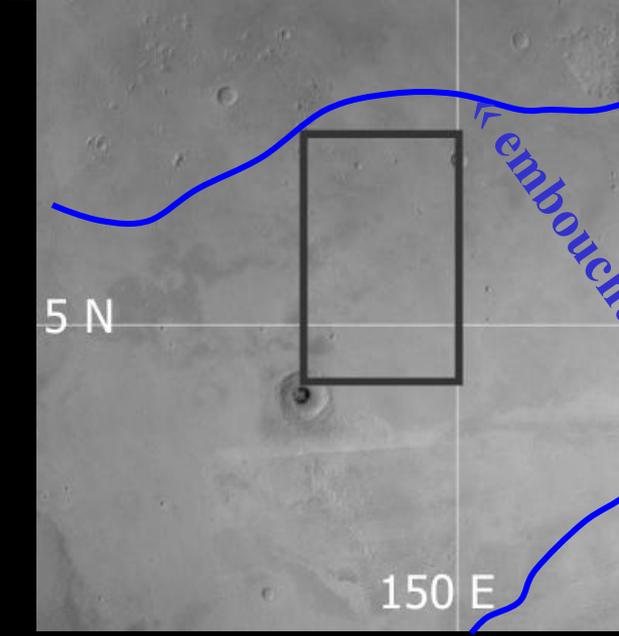
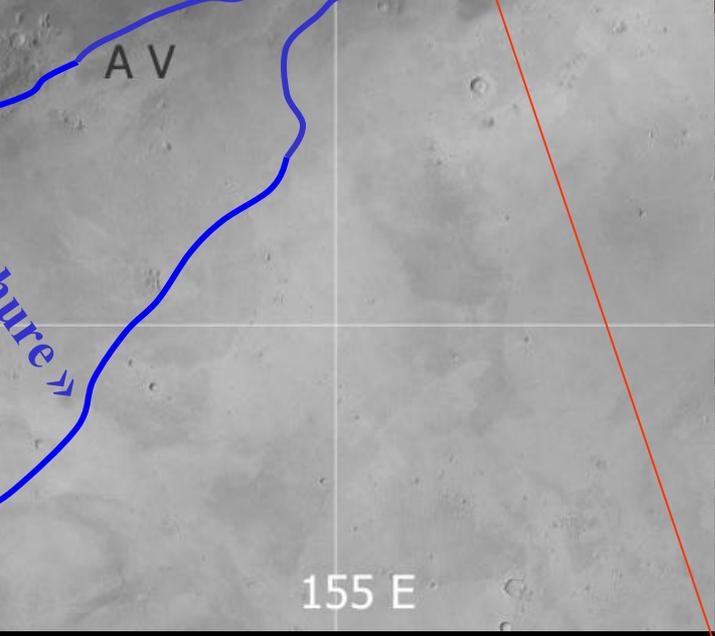
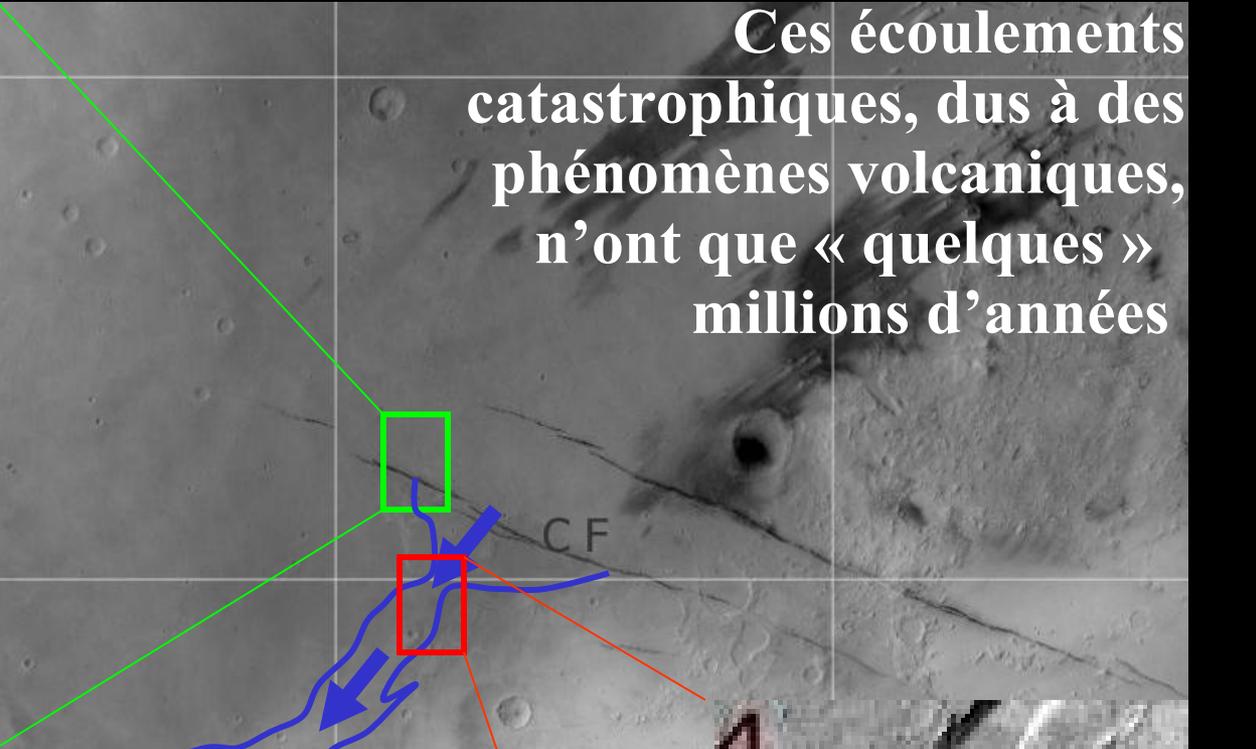
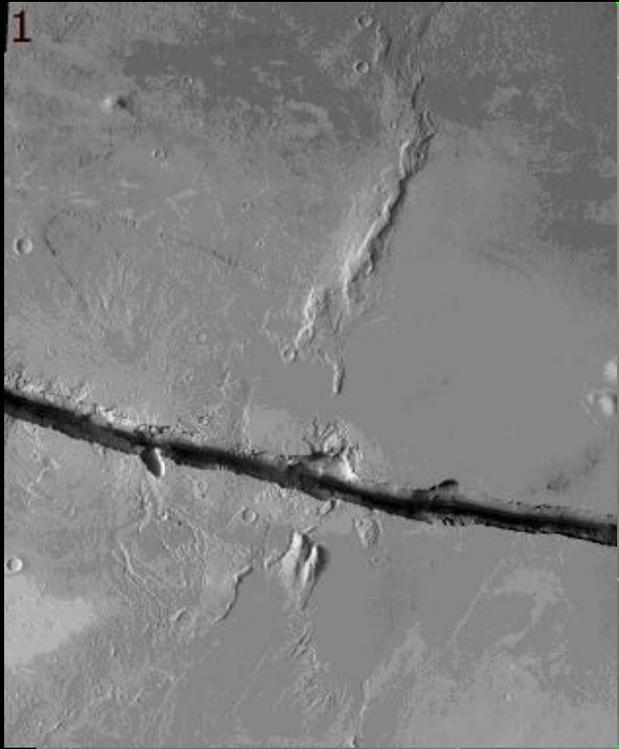
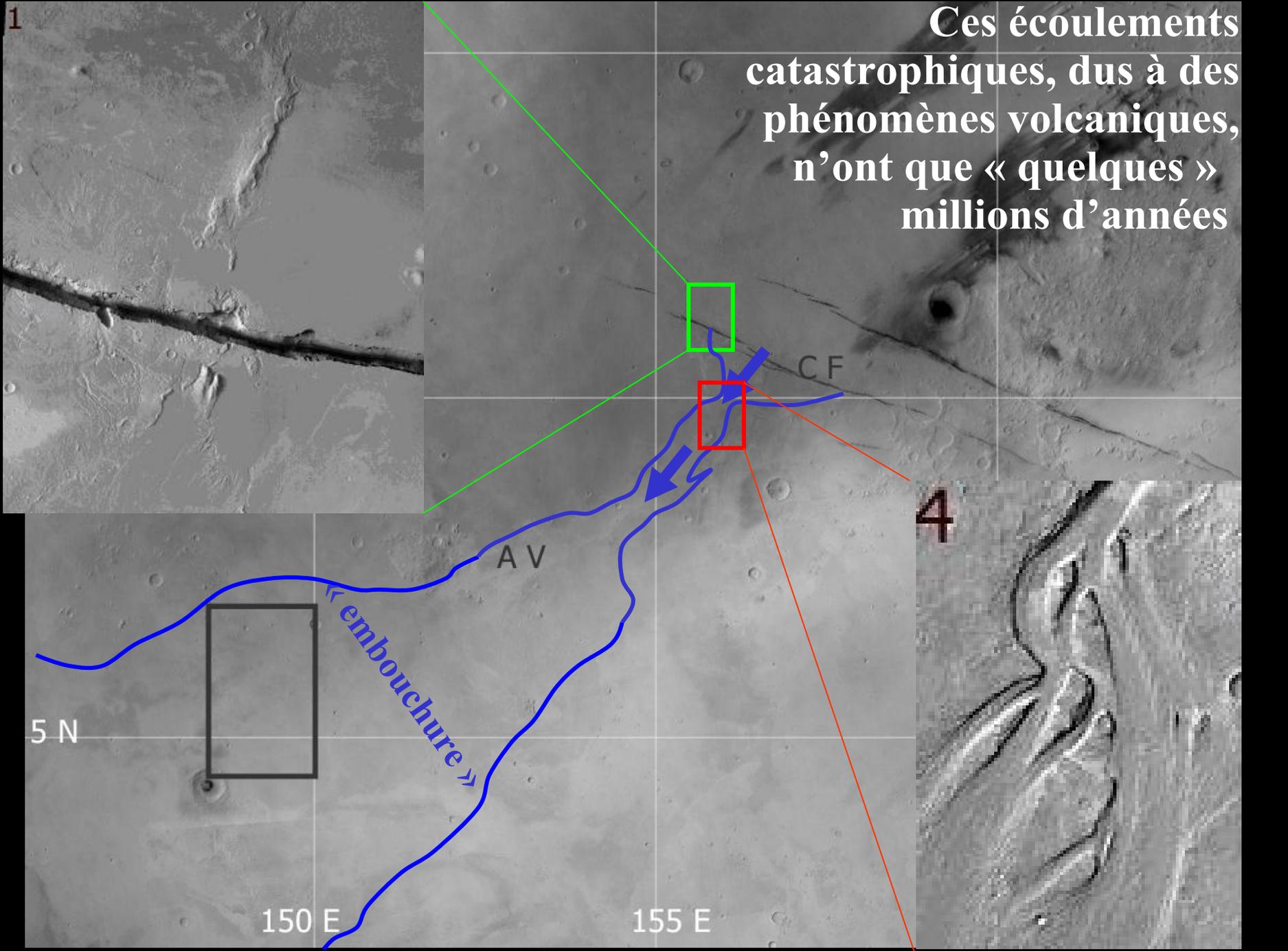
**Rappelez vous de ces structures !**

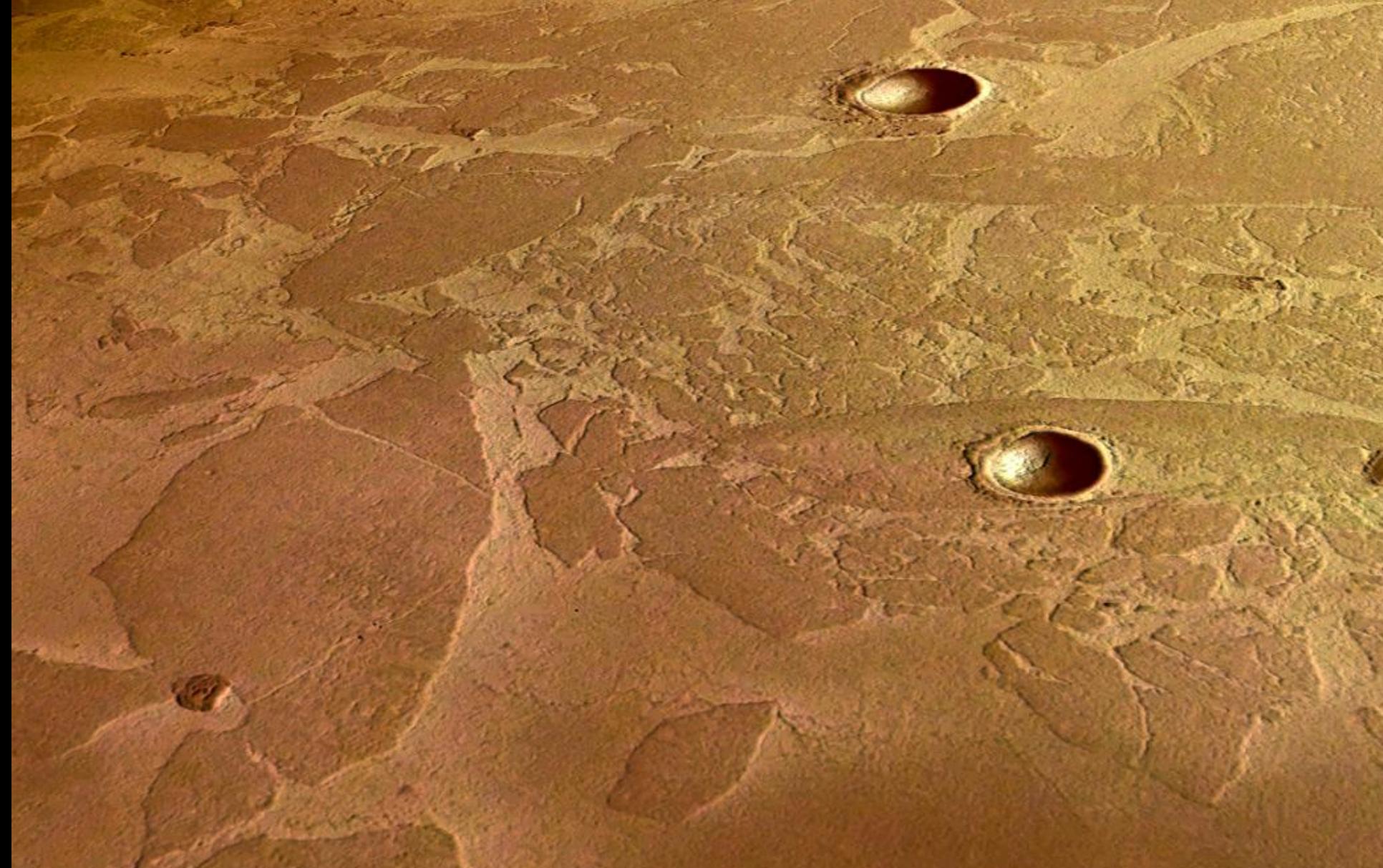




**Continuons nos observations orbitales dans la région de Cerberus Fossae (CF) et d'Athabasca Valles (AV)**

Ces écoulements catastrophiques, dus à des phénomènes volcaniques, n'ont que « quelques » millions d'années



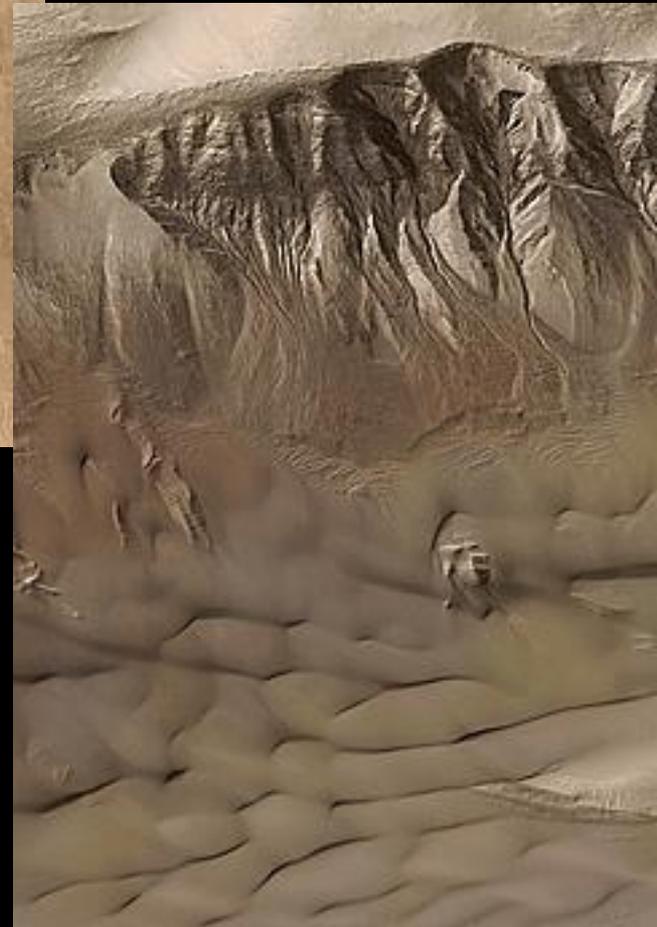
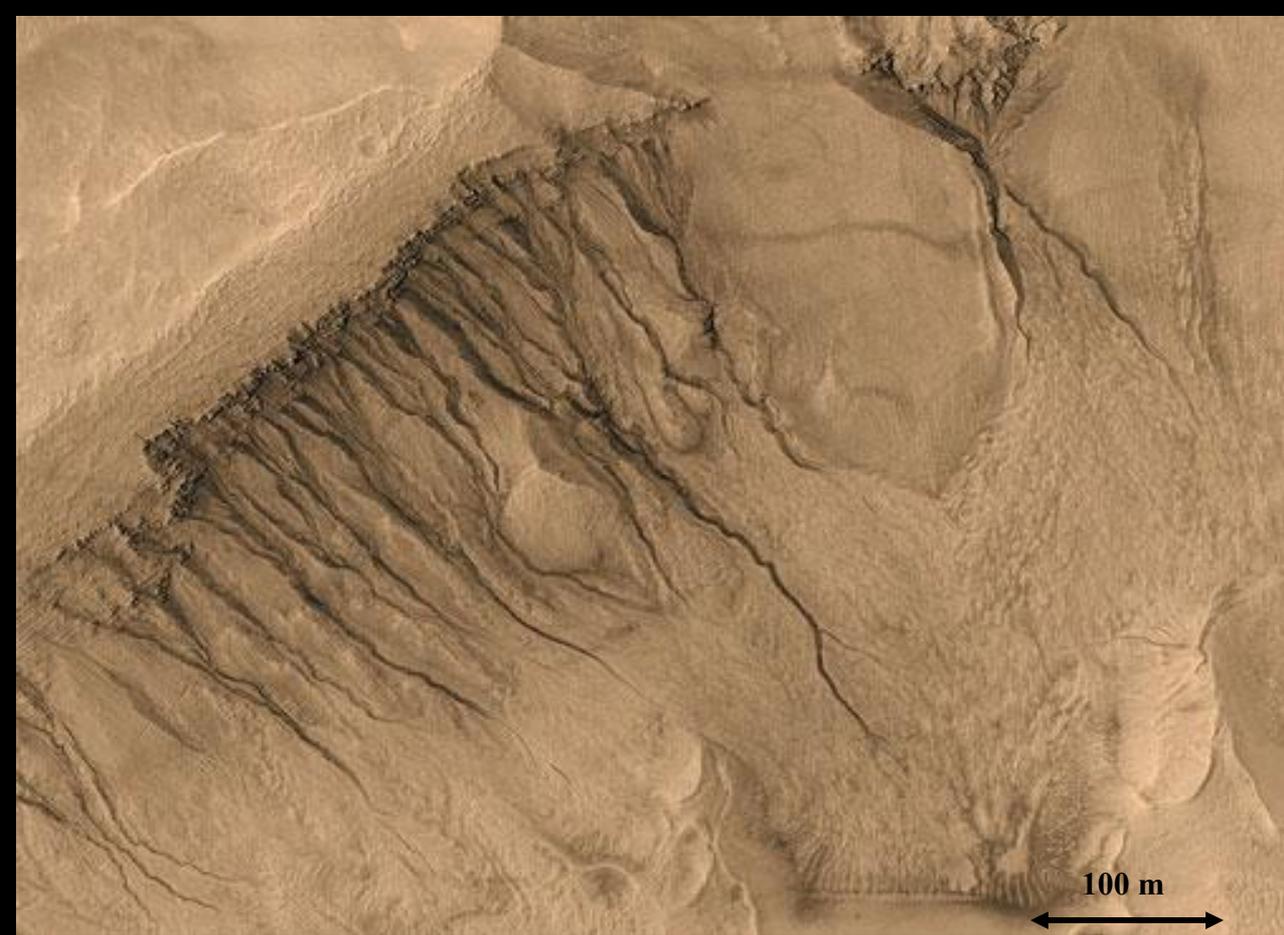


**L'embouchure : une paléo-banquise dérivante sur un paléo-lac gelé (âge : quelques millions d'années seulement)**



**Deux possibles  
équivalents  
terrestres**

**Terminons nos observations orbitales par les « gullies »**

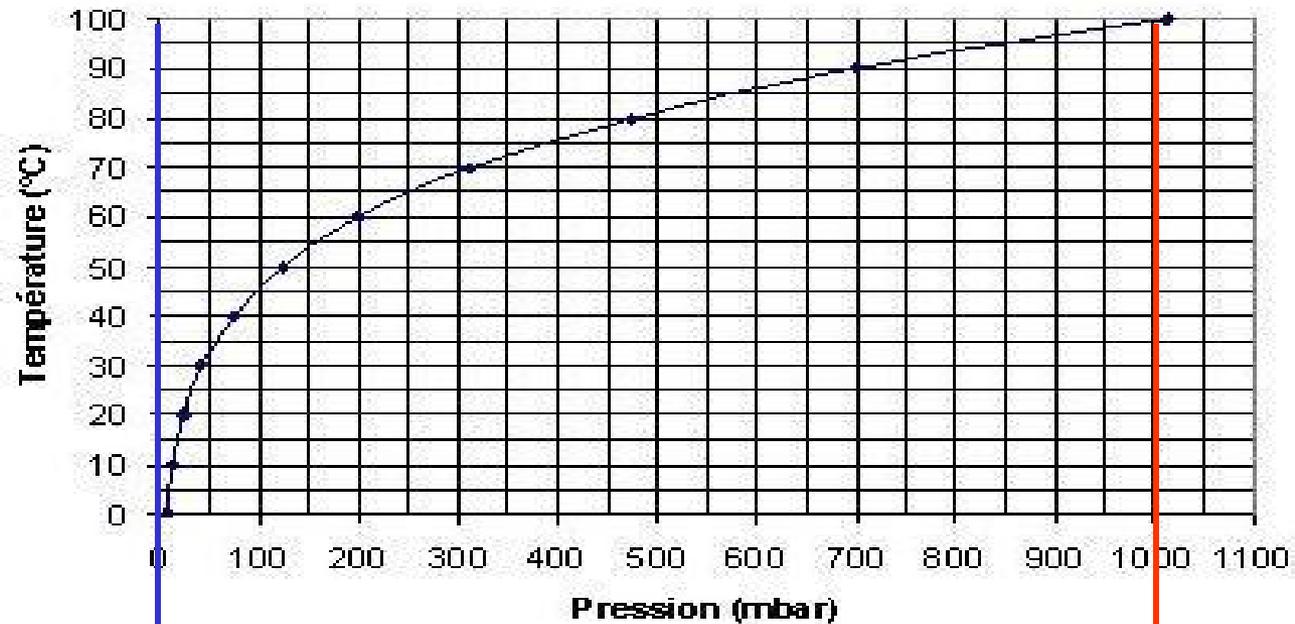


**Les « gullies » (ravine, rigole, en anglais), découverts en 1997, sont de petites ravines de quelques centaines de mètres qui dévalent des pentes « exposées au soleil » d'anciens cratères ou de vallées.**

**Ces gullies sont très jeunes ; aucun cratères ne les recoupe. A gauche, une ravine recoupe même un champ de dunes**



Sur Mars, la pression est de 6 mbar (hPa). A cette pression, l'eau ne peut pas être liquide. Elle est en glace et/ou en vapeur. Et comme il fait en moyenne  $-50^{\circ}$ , elle est surtout en glace, avec une très faible proportion de vapeur. Que se passe-t-il si on renverse sur Mars de l'eau « tiède » issue d'une thermos présurisée ? L'eau bouillit et gèle à la fois !



Pression  
sur Mars

Pression  
sur Terre

Plus de 10 m de terrains étanches. Leur poids confère une pression suffisante pour que l'eau puisse être liquide en dessous de 10 mètres de profondeur, si la température est suffisante

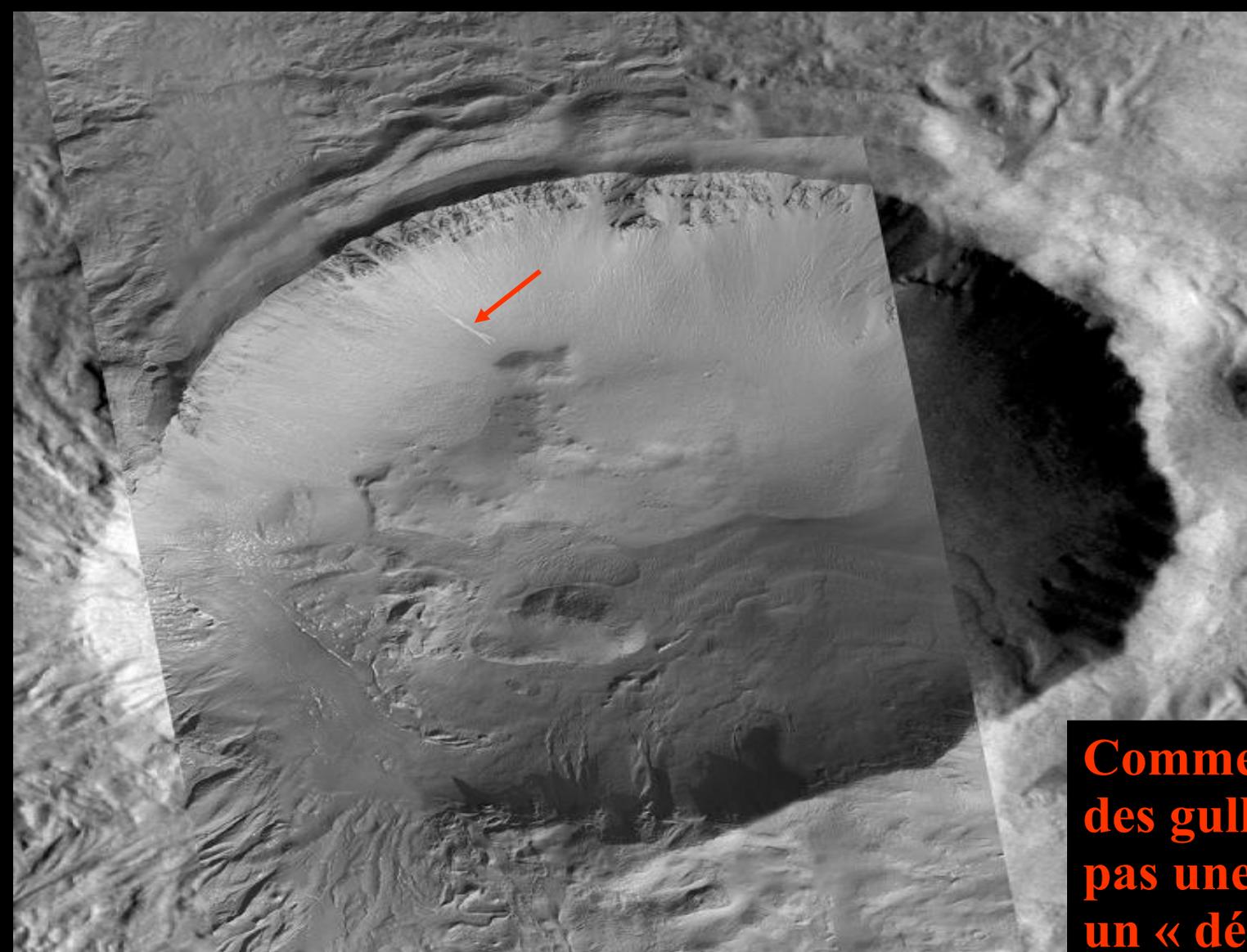


Sur les versants exposés au soleil, la température peut approcher les 0°C

Terrains imbibés de glace, peut-être salés. Si la salinité est forte, la température de fusion peut baisser bien en dessous de 0°C

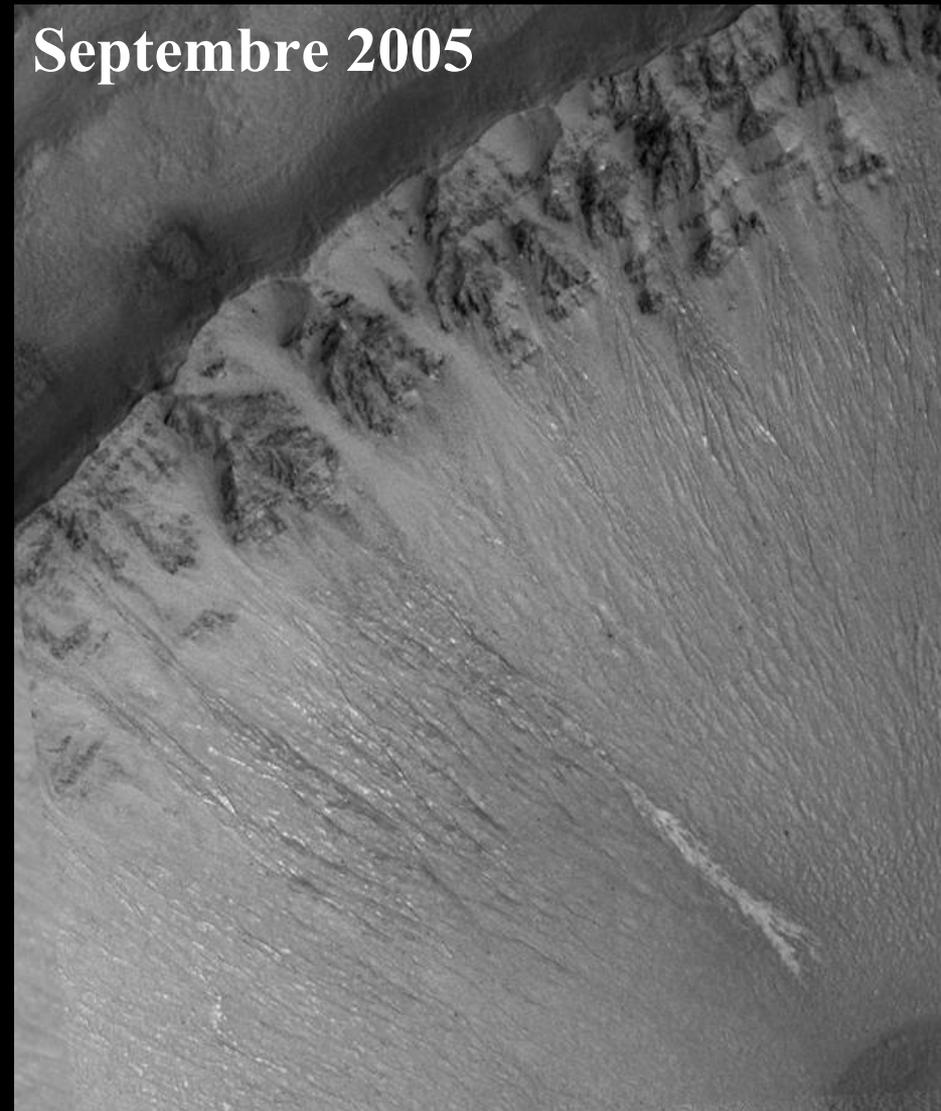
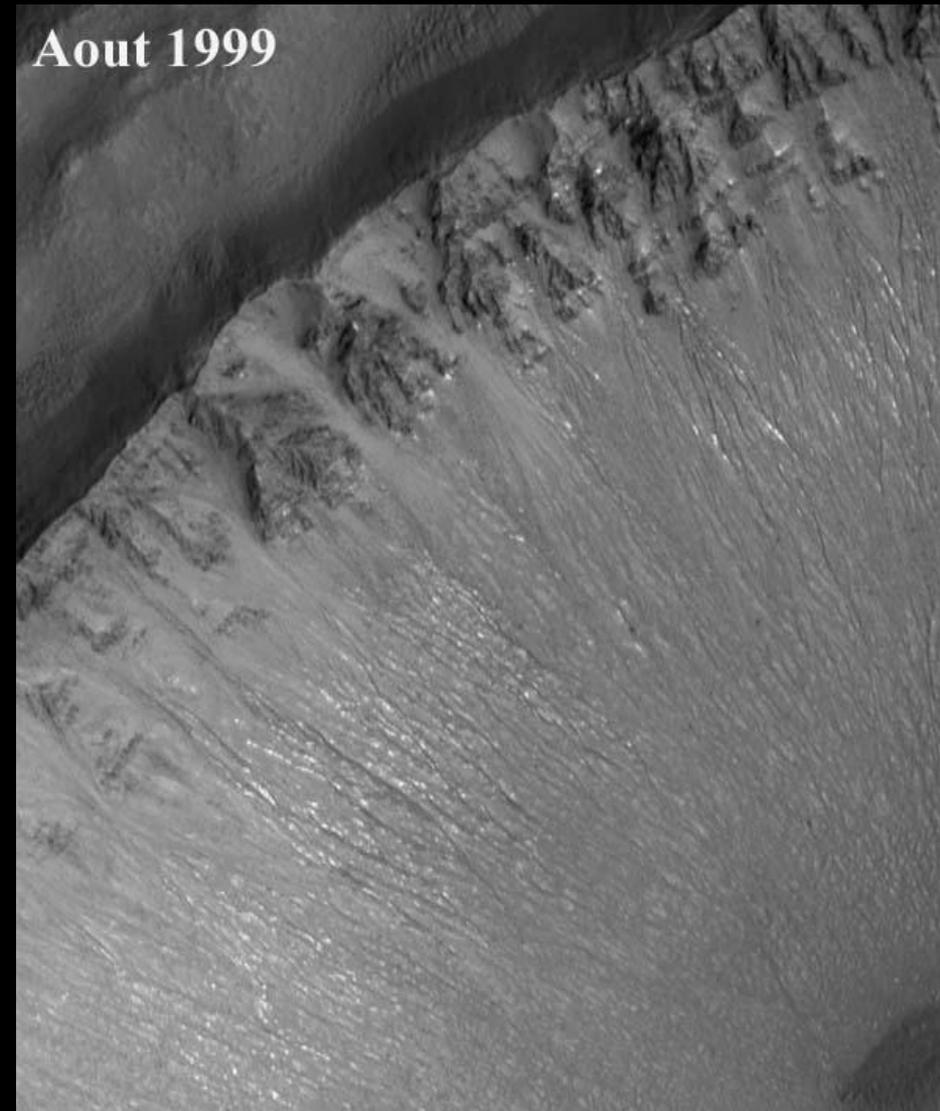
La glace peut fondre sous ces versants réchauffés, l'eau liquide peut crever les terrains étanches et s'écouler, brièvement.

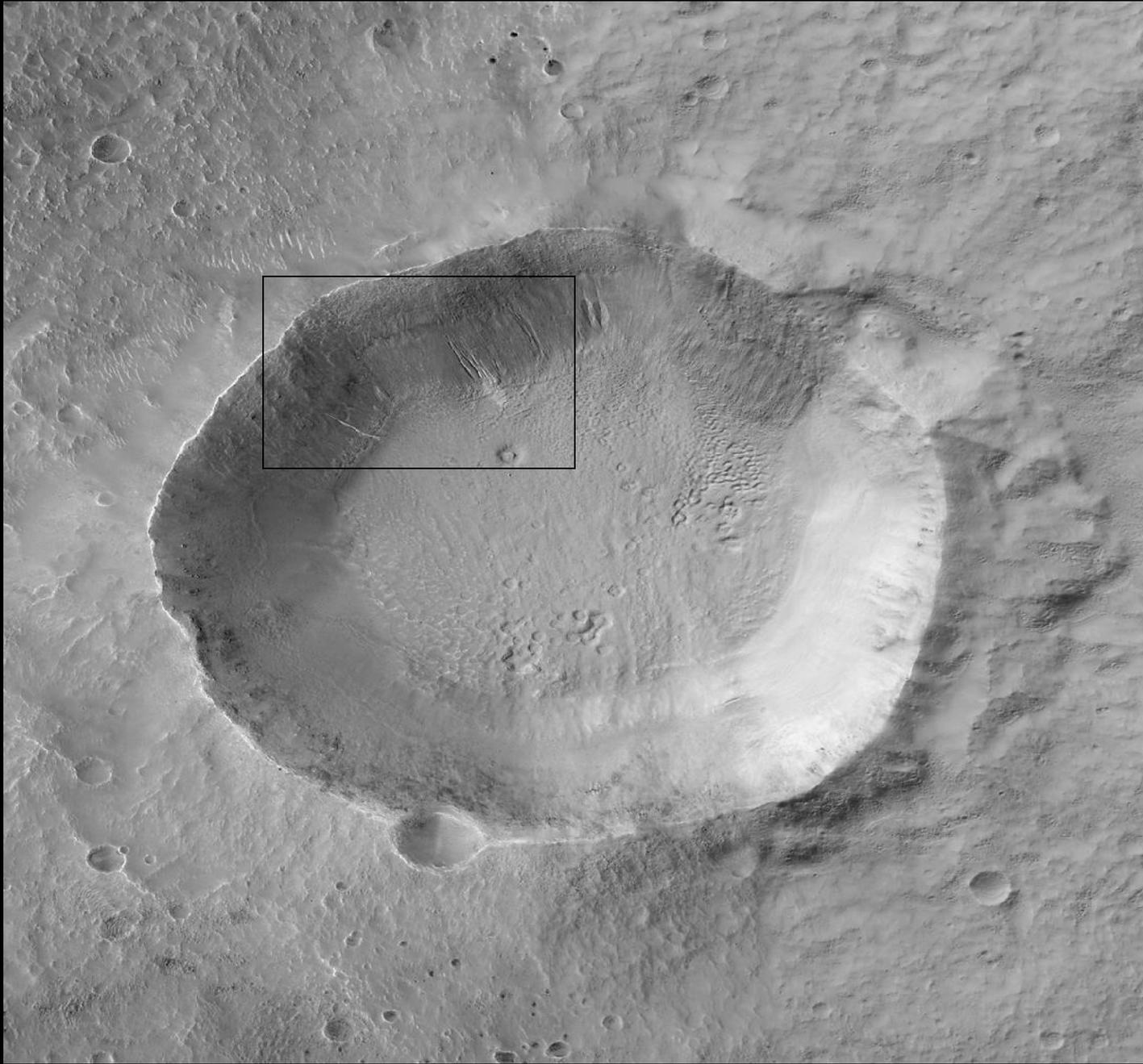
**Voici un cratère avec gullies, photographié en septembre 2005. Qu'a t'il de spécial ?**



**Comme quelques %  
des gullies, ce n'est  
pas une ravine, mais  
un « dépôt clair »**

**Il a aussi de spécial qu'il existait en 2005, mais qu'il n'existait pas en ...**



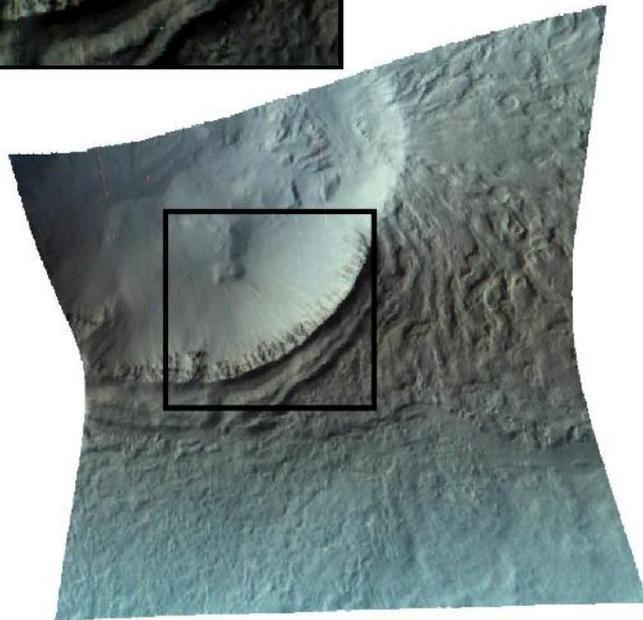
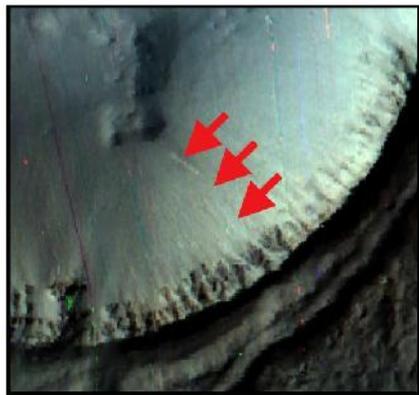


**Un  
deuxième  
cratère  
avec ...**

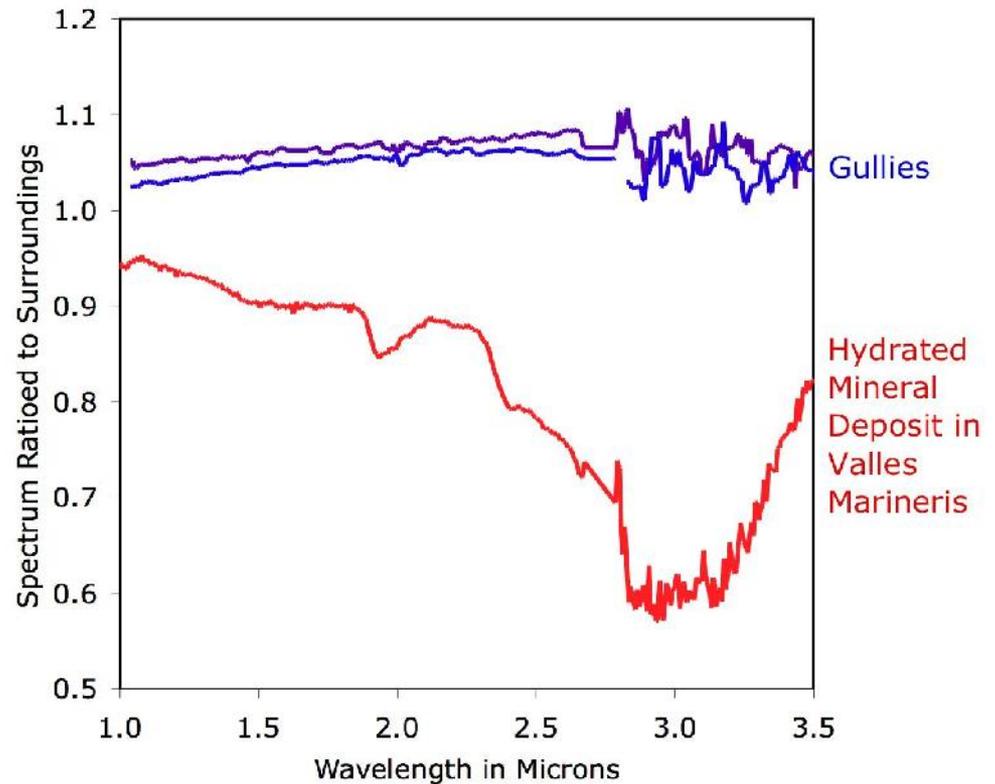


**Là aussi une ravine s'est fait remplir d'un dépôt blanchâtre entre 2001 et 2005.**

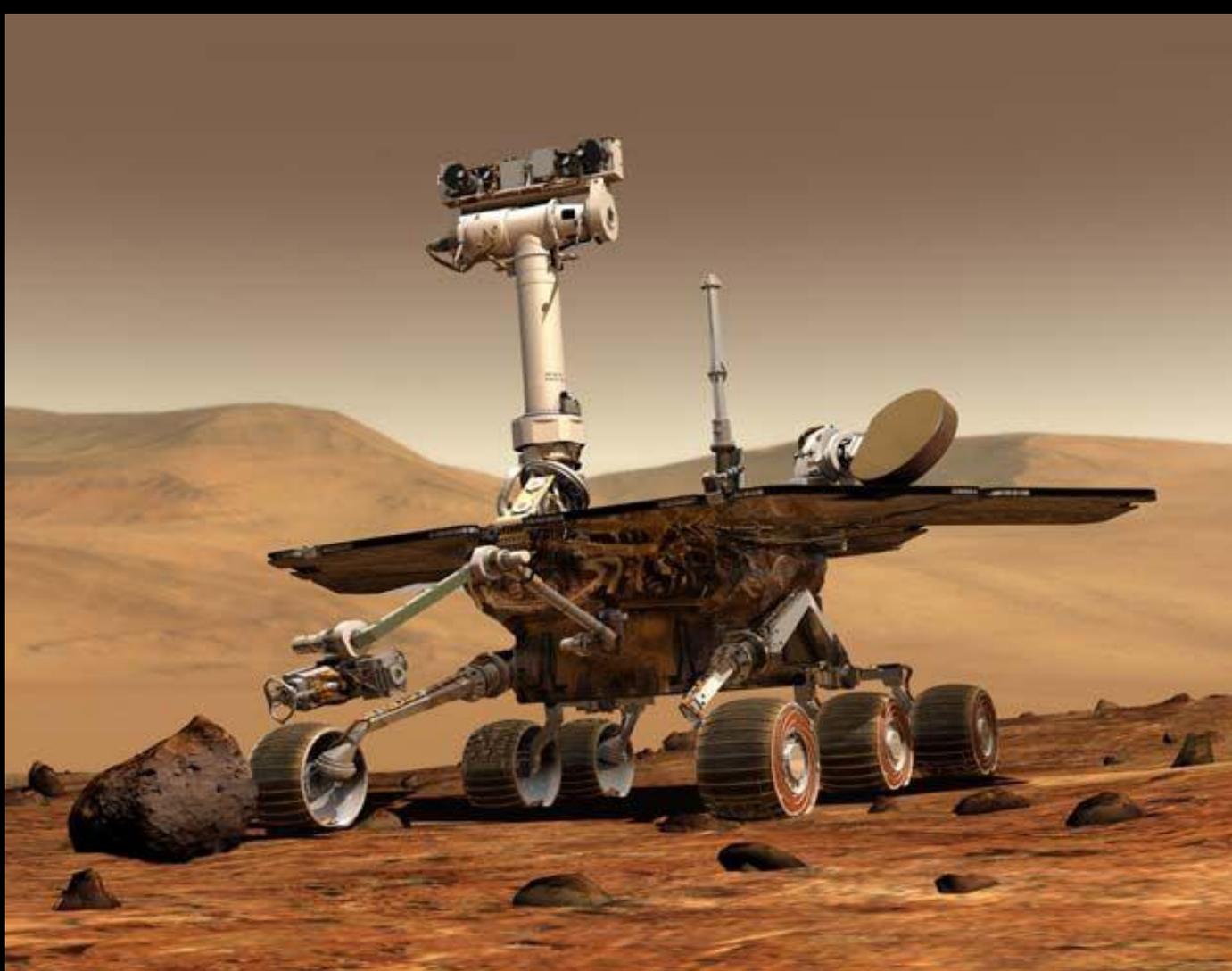
**Il semblerait bien que de l'eau liquide (en déséquilibre) ait coulé sur Mars au 21<sup>ème</sup> siècle**



10 km



**Nouvelles du 24 septembre 2007 : ces gullies clairs et actuels ne contiendraient ni glace, ni sels divers. Alors ?? Réponses plus tard !**

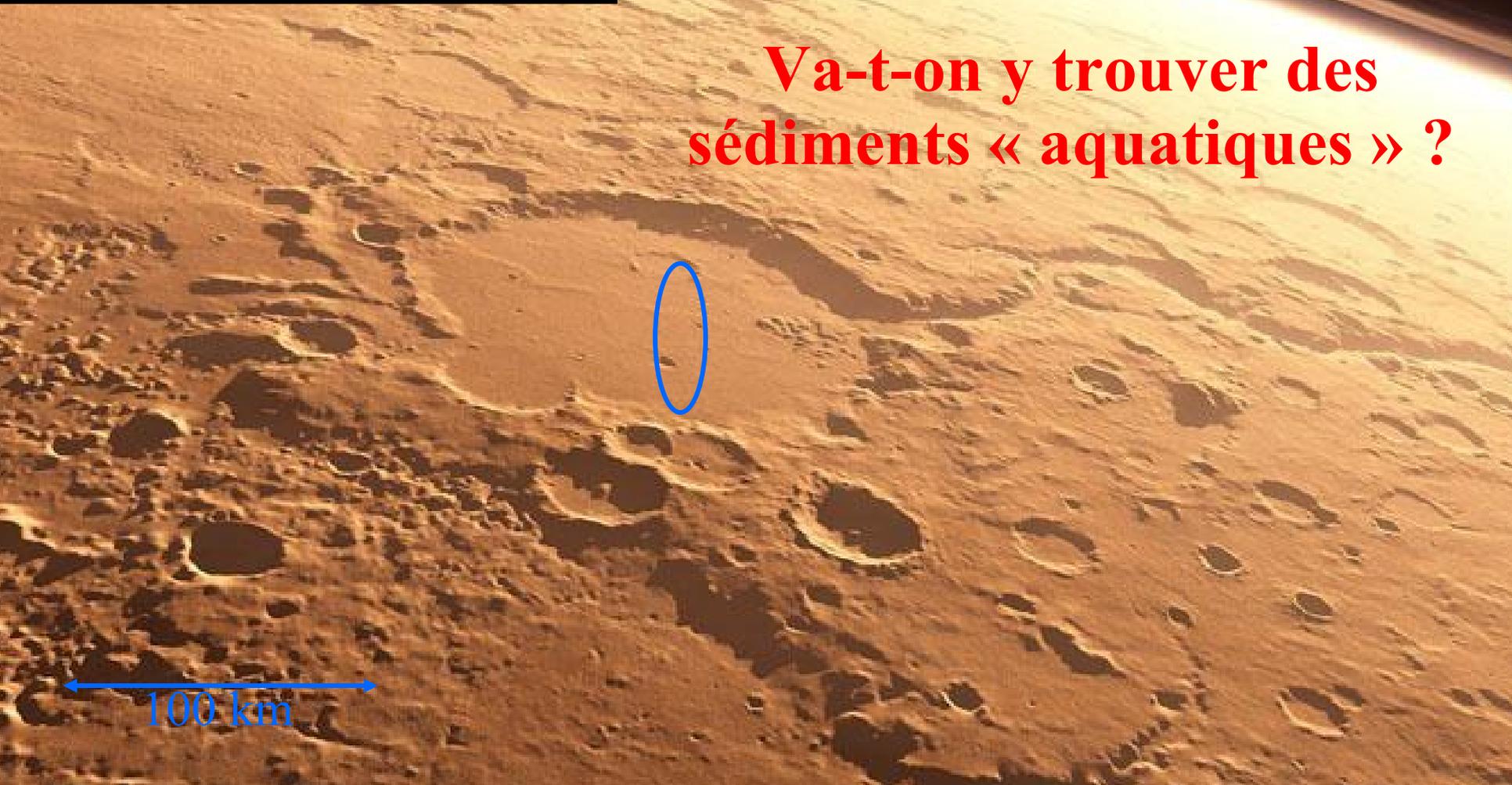


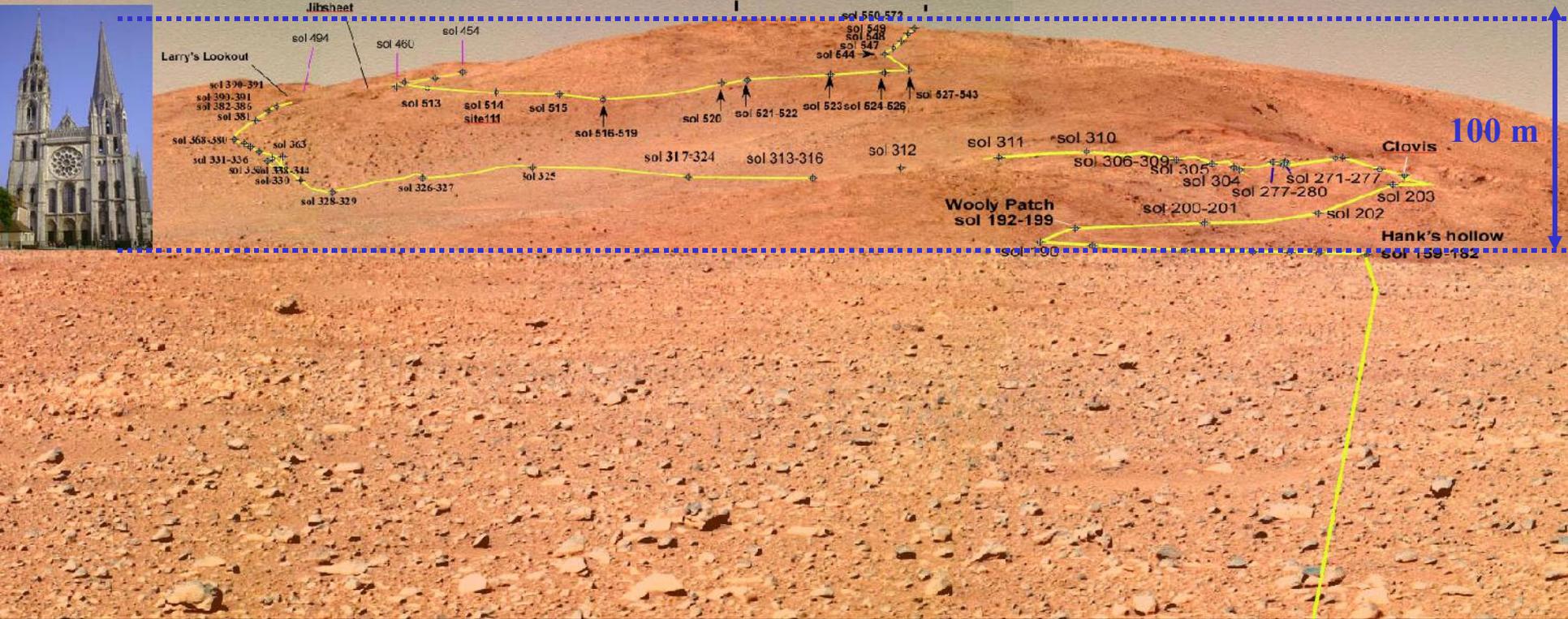
**Après 53 diapositives prises par les sondes en orbite, examinons les résultats des 2 robots Nasa (simplement ceux concernant l'eau, dommage !)**



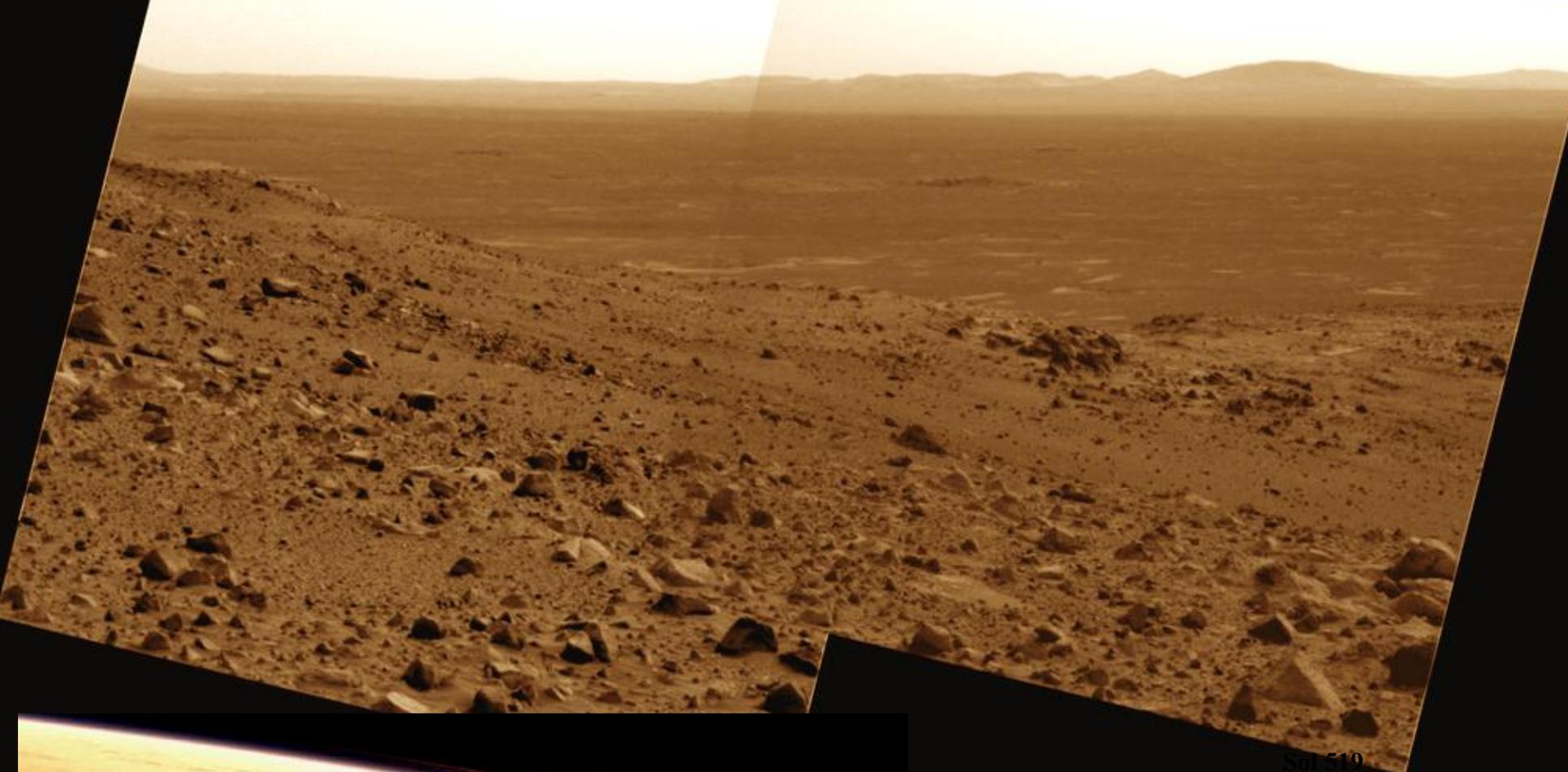
**Voilà où s'est posé au début de janvier 2004 le 1<sup>er</sup> robot, Spirit, au fond du cratère Gusev, probable ancien lac.**

**Va-t-on y trouver des sédiments « aquatiques » ?**



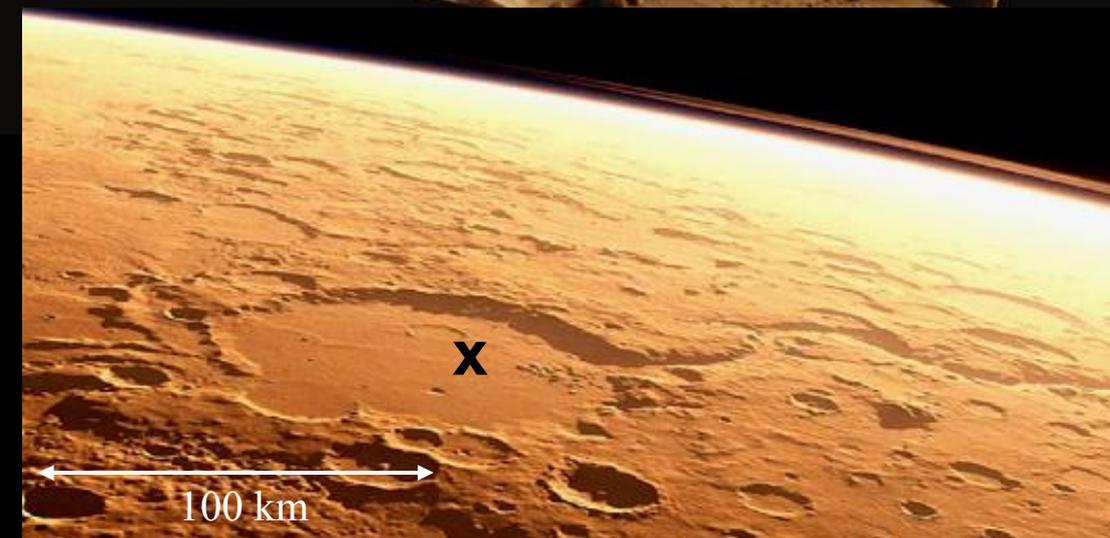


**En janvier 2004, Spirit s'est posé dans une plaine (1<sup>er</sup> plan) avec rien que du basalte. Cruelle déception ! À 3 km, des collines. Il essaye d'y aller pour y chercher autre chose. Et il y arrive. Il monte même jusqu'au sommet (août 2005) et est redescendu de l'autre côté où il se trouve (et fonctionne) toujours .**



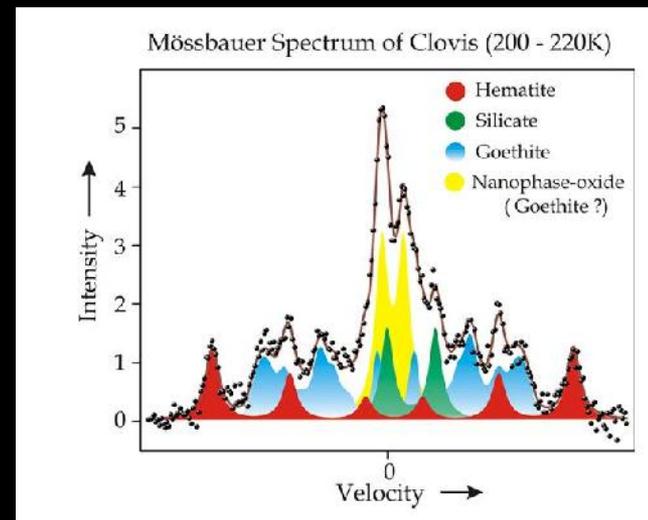
Sol 519

**Avant de parler d'eau,  
un paysage : quand il  
fait clair, on découvre  
les bords du cratère  
Gusev, à 50 km de là.**

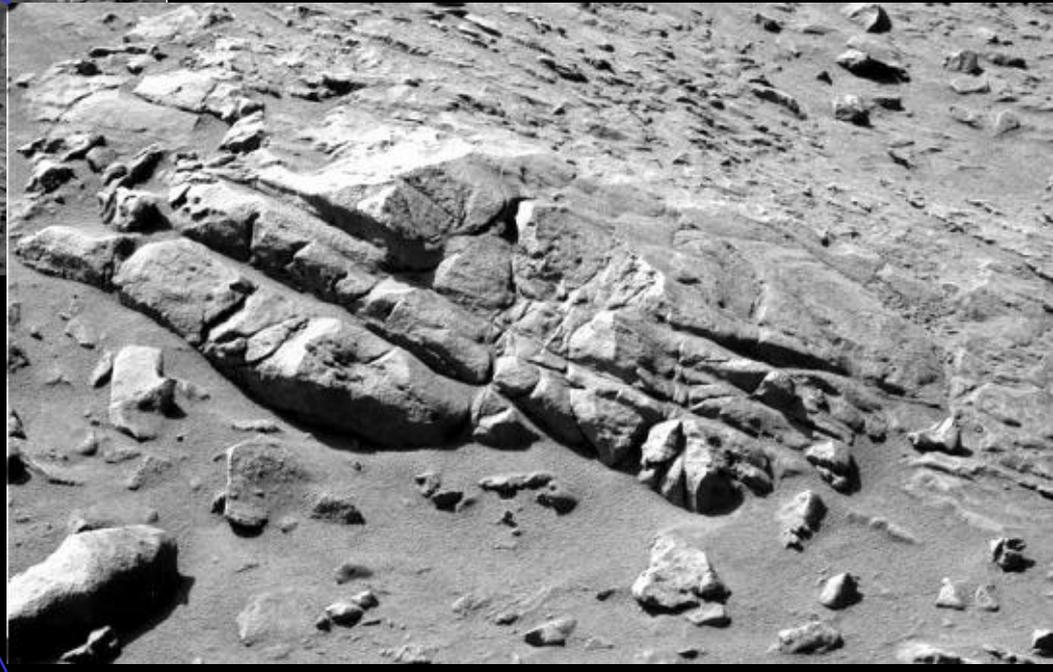
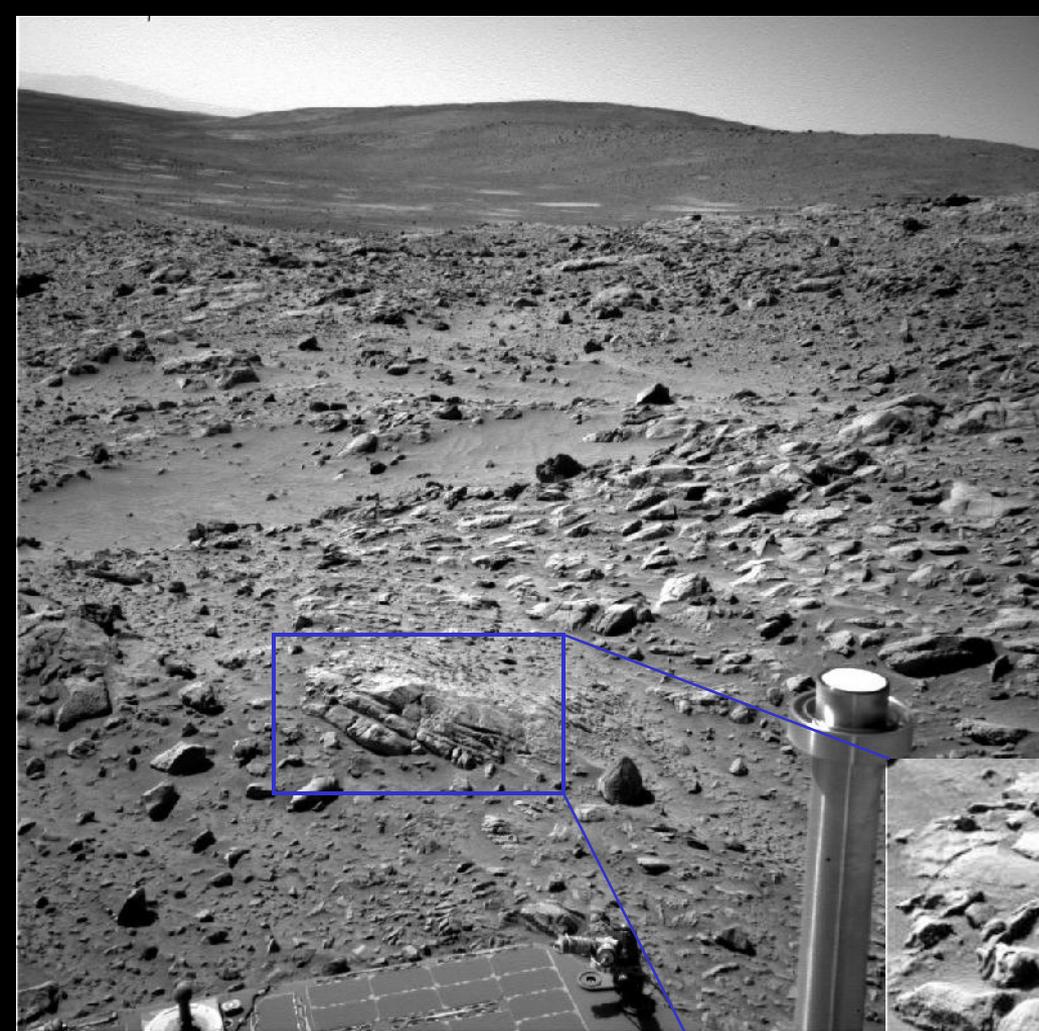


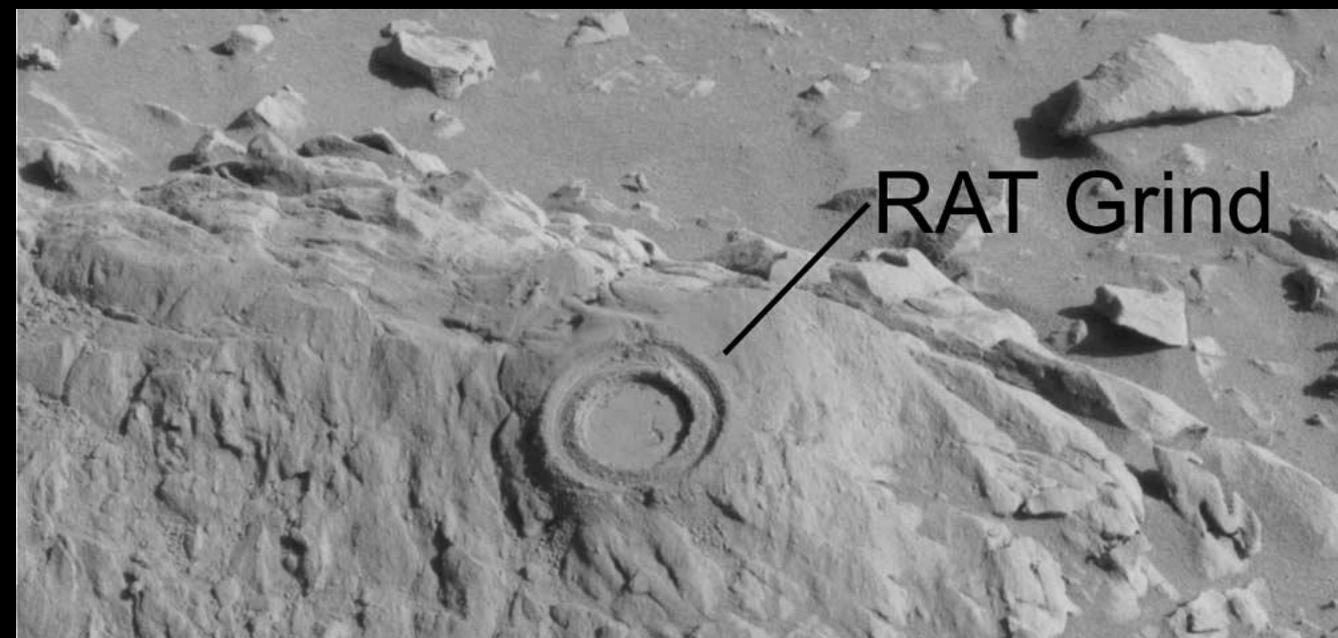


**En gros, quand il analyse, il trouve du basalte ! Quelle déception (bis) . Parfois, il y a des preuves que ce basalte a été altéré par de l'eau (on se console comme on peut).**



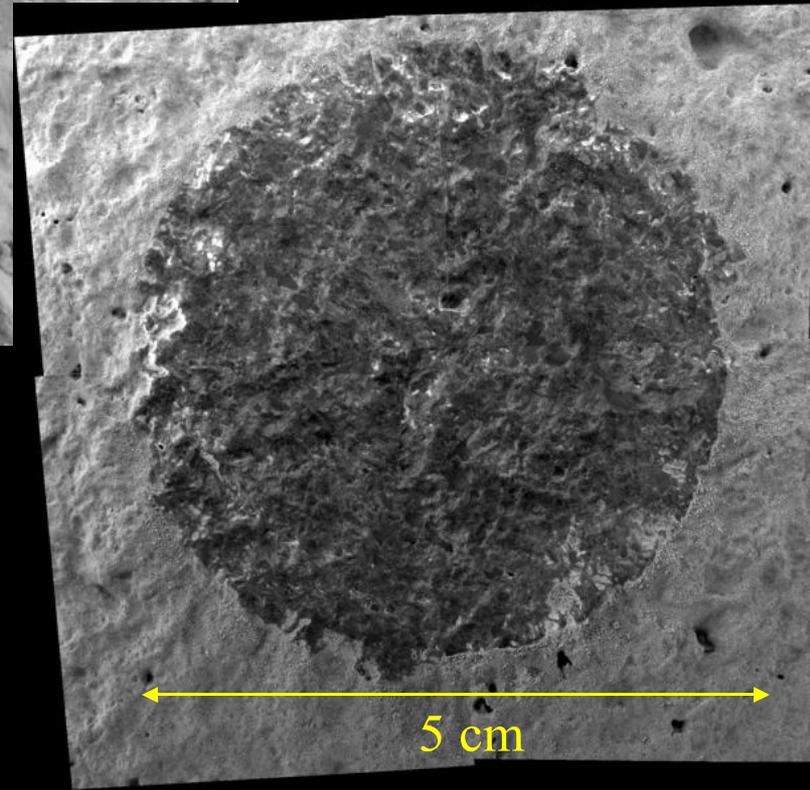
**Il trouve aussi des  
roches stratifiées.  
Sédiments, cendres  
volcaniques ?  
Chimiquement, ça  
ressemble à des cendres  
volcaniques altérées par  
de l'eau**





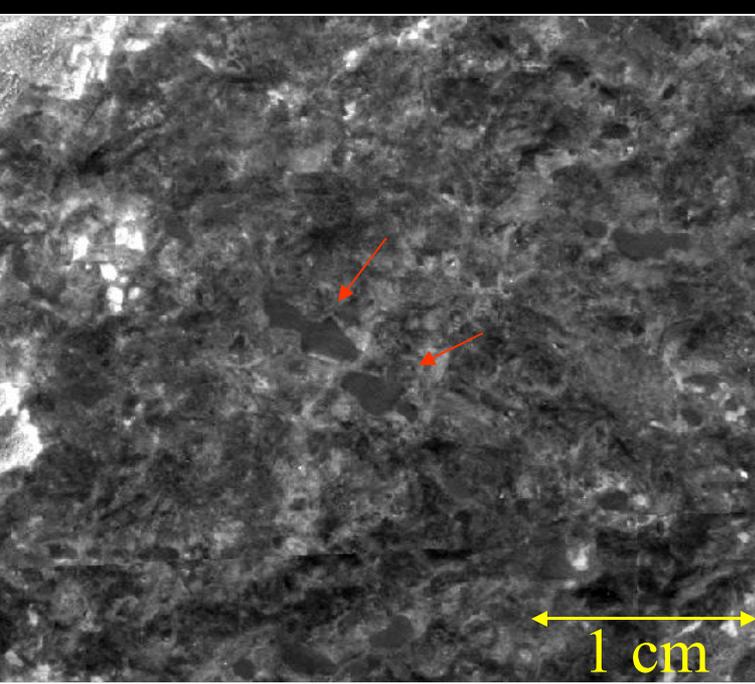
Uchben

RAT Brush

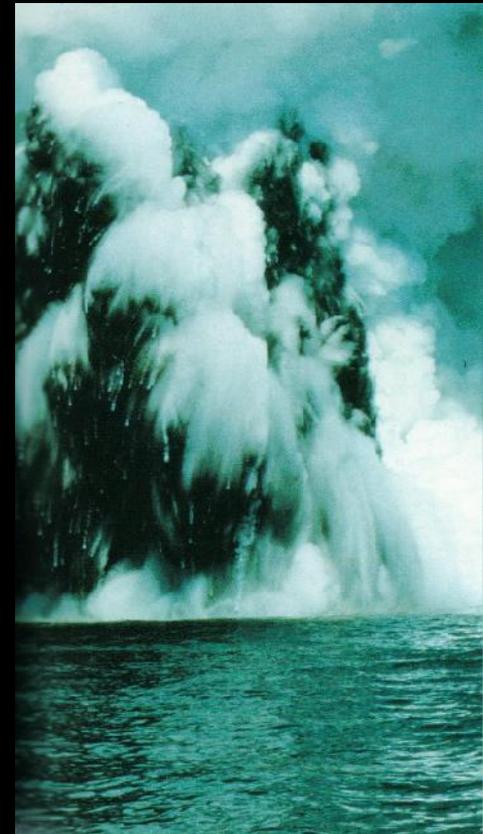


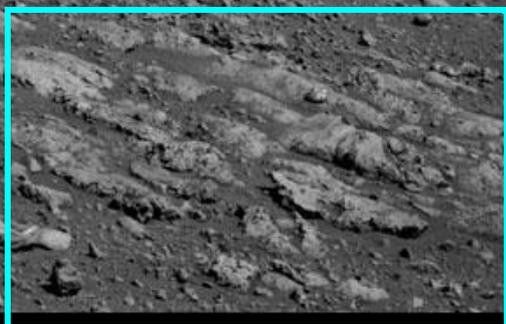
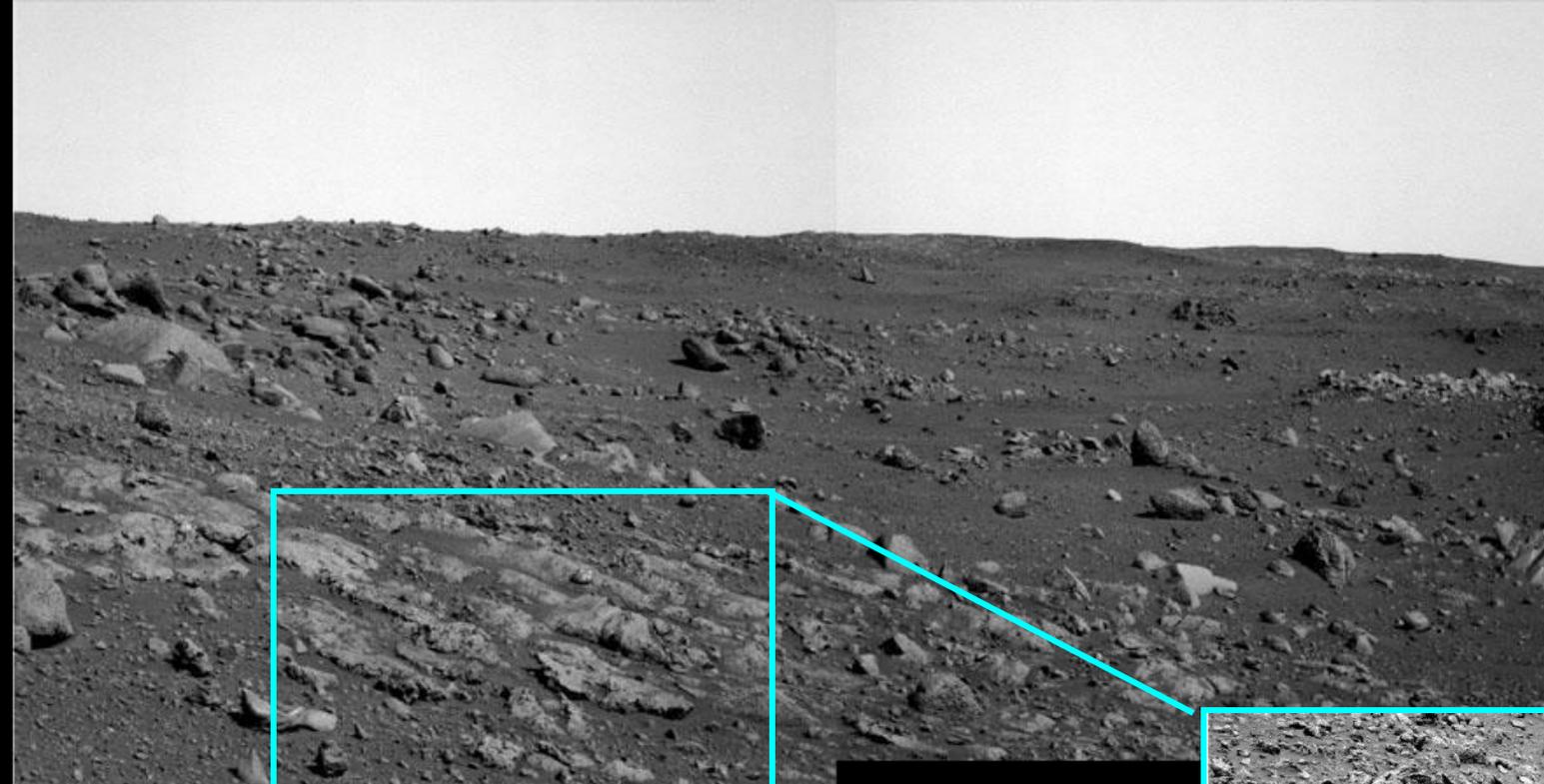
**Contournons ce rocher ;  
polissons sa surface  
supérieure ; époussetons ;  
regardons.**

**En regardant au  
« microscope », on découvre  
des formes géométriques  
(cristaux ?)**



Sur Terre, tous ces affleurements stratifiés, avec cristaux automorphes, à chimie de basalte altéré ... feraient penser à des dépôts phréatomagmatiques (éruption volcanique en eau peu profonde ou dans une nappe phréatique)



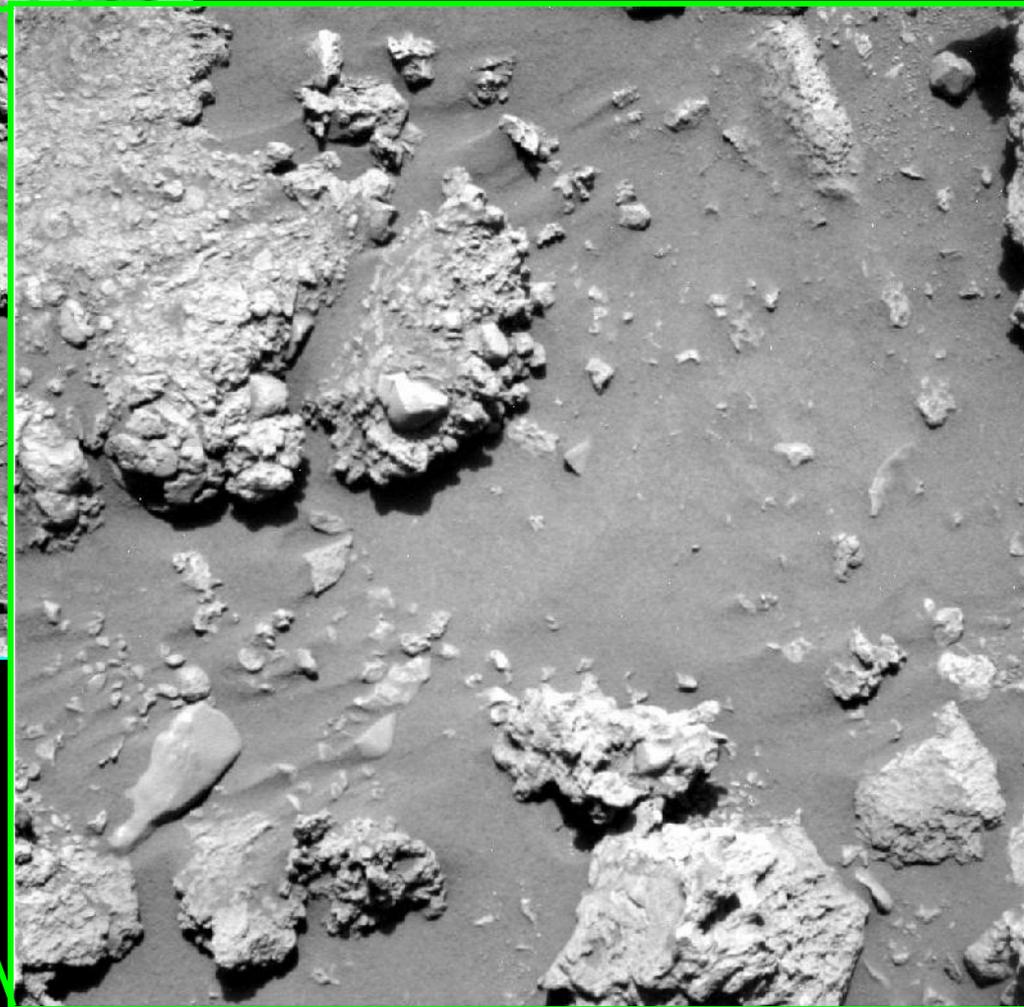
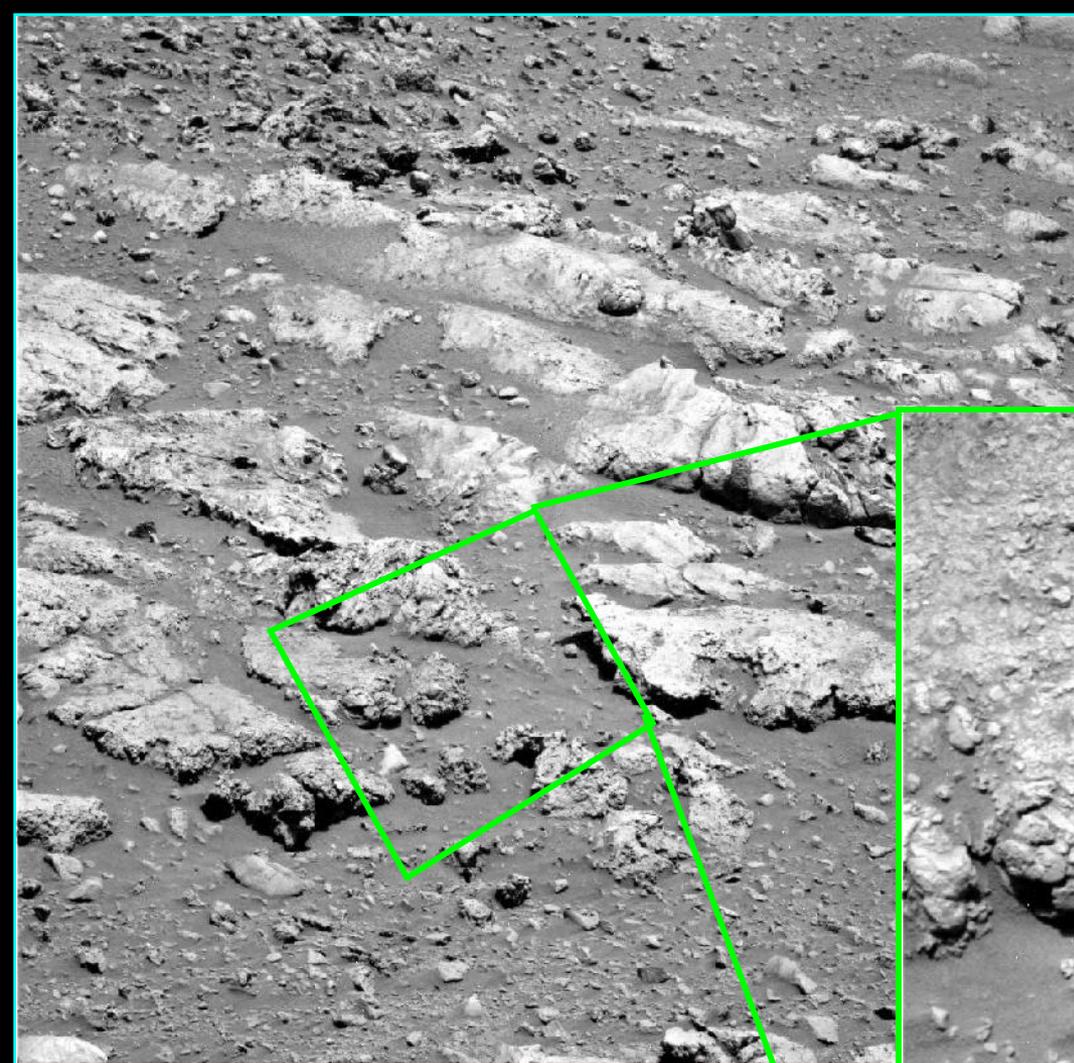


**Près du sommet, de  
nouveaux affleurements**

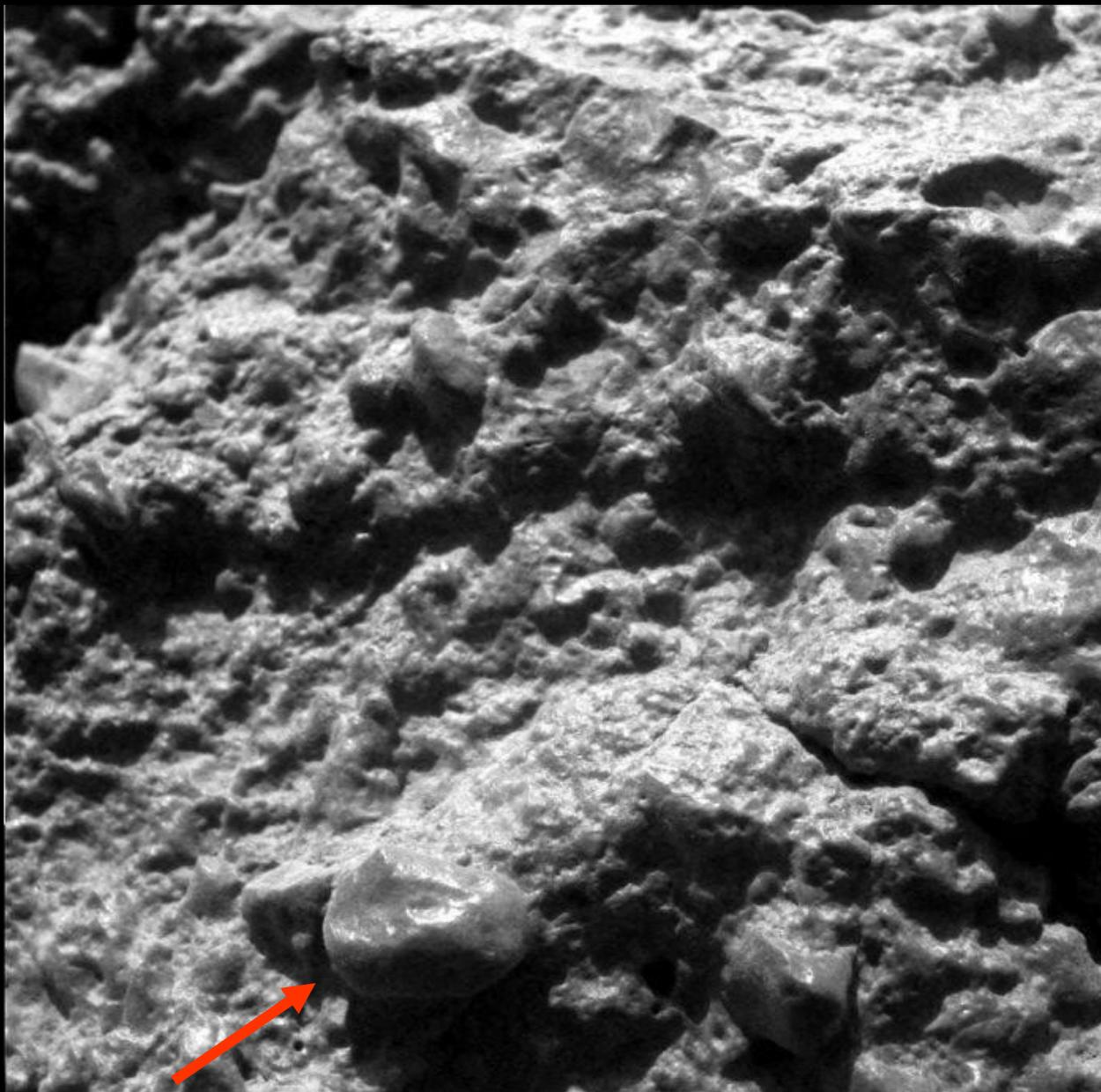
**Détaillons cet  
affleurement vaguement  
stratifié**



**Approchons nous !  
Les strates sont  
faites de brèches !**



**Brèches sédimentaires,  
brèches volcaniques,  
brèches d'impact ?**

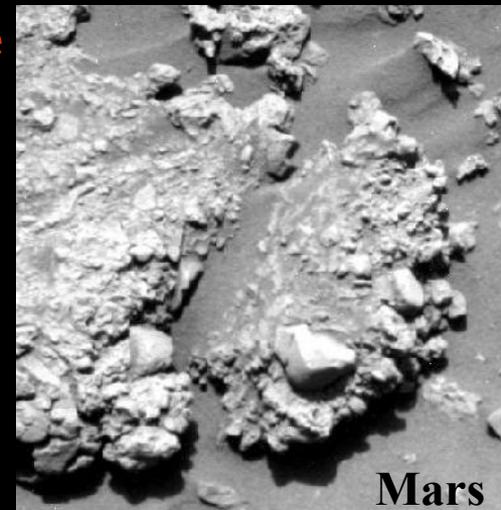


**Certains  
« galets » de  
la brèche  
sont  
arrondis. Ils  
ont été  
« roulés » par  
de l'eau ou  
dans du  
matériel  
« boueux »**



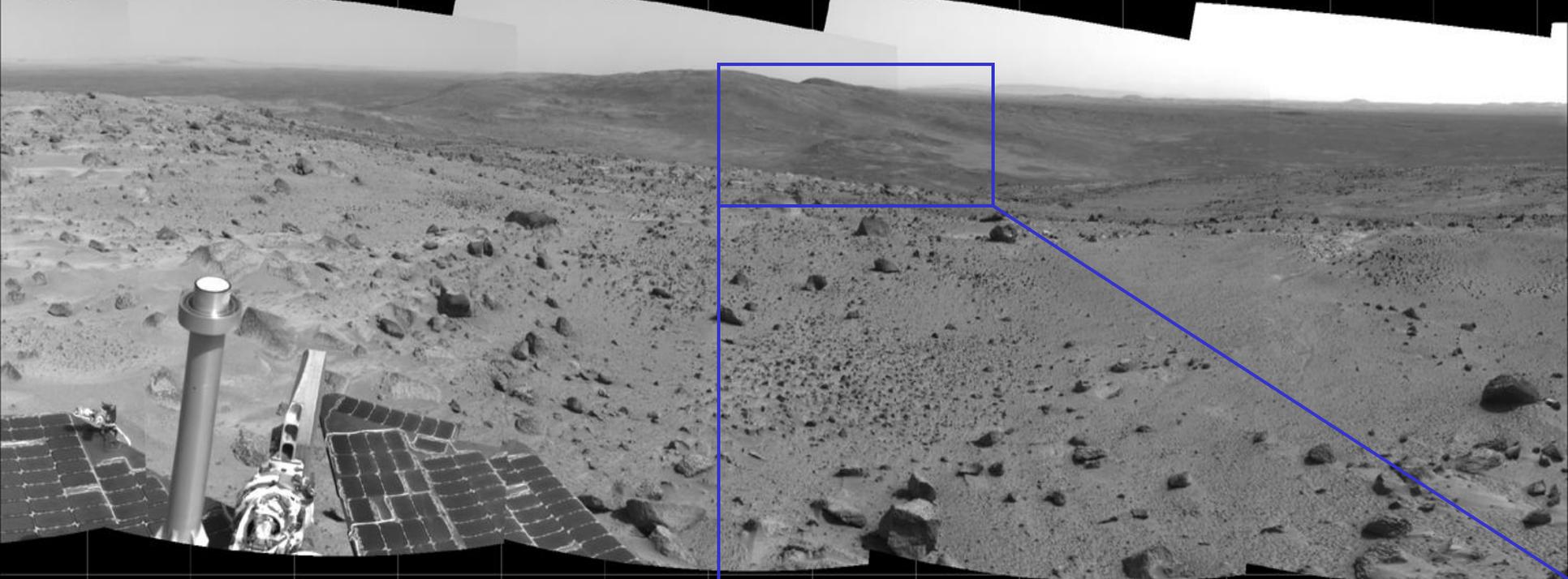
Terre

**Ici, un exemple de brèches volcaniques terrestres, genre coulées boueuses, ce qui semble le**

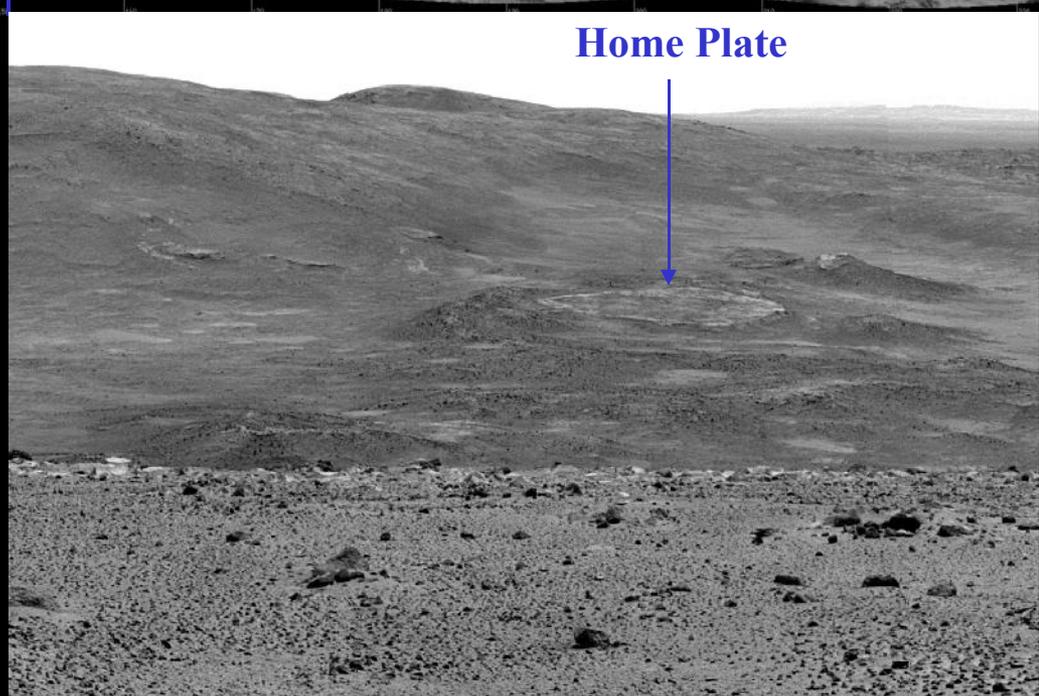


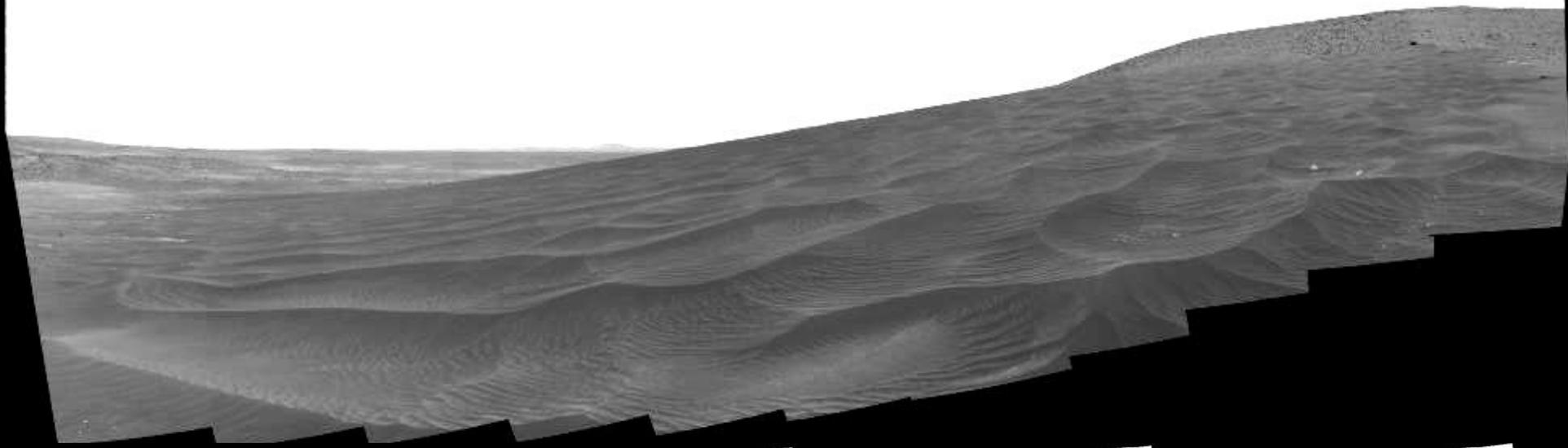
Mars

**plus représentatif du contexte géologique des Columbia Hills**



**Voici un panorama pris du sommet, vers l'autre côté. Une étrange structure, Home Plate (origine ?) sera la prochaine destination de Spirit**

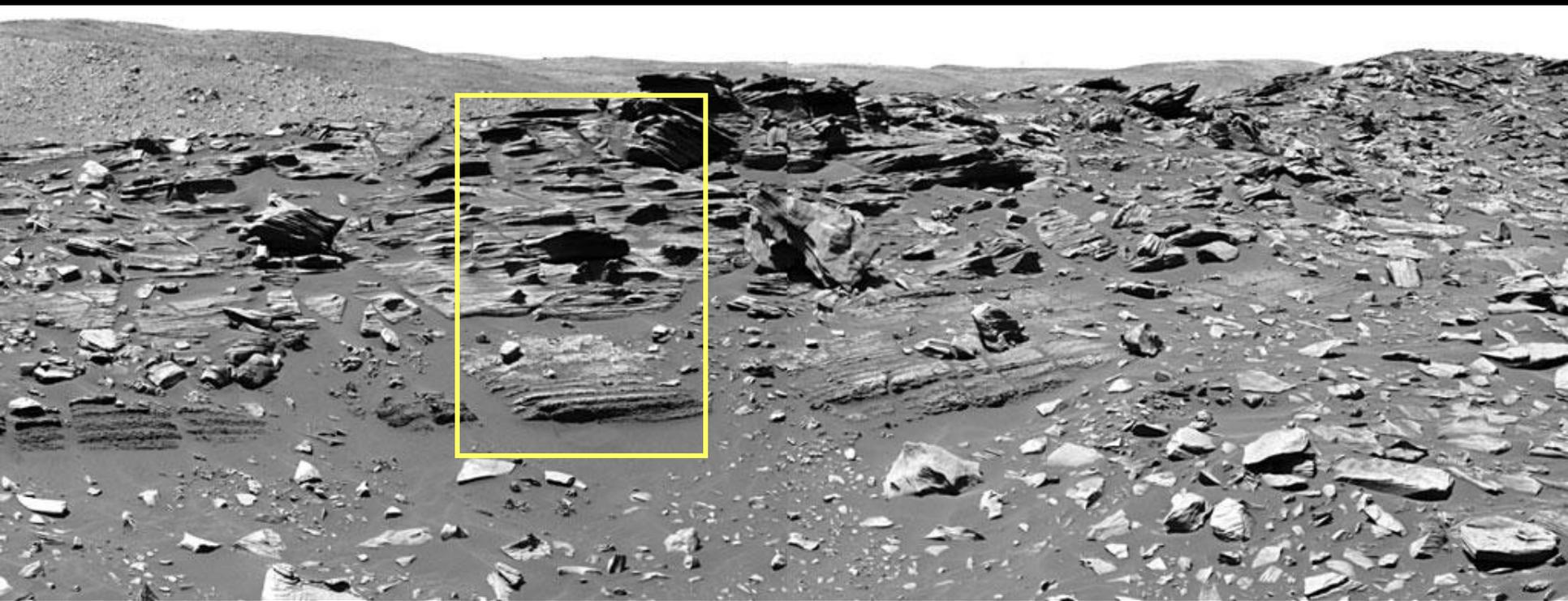




**Que voit-il pendant sa descente ? Un champ de dunes, des roches stratifiées ...**



**On s'approche de Home Plate.  
Que de belles strates !**



**On s'approche. Zoomons sur le rectangle jaune.**



**Ca vous fait penser à quoi, cette disposition ?**

**À des  
figures de  
chocs dues  
à la chute  
d'objets  
pesants,  
éjectés par  
des  
éruptions  
explosives**

**Et qui dit volcanisme explosif dit gaz, donc très  
probablement vapeur d'H<sub>2</sub>O**



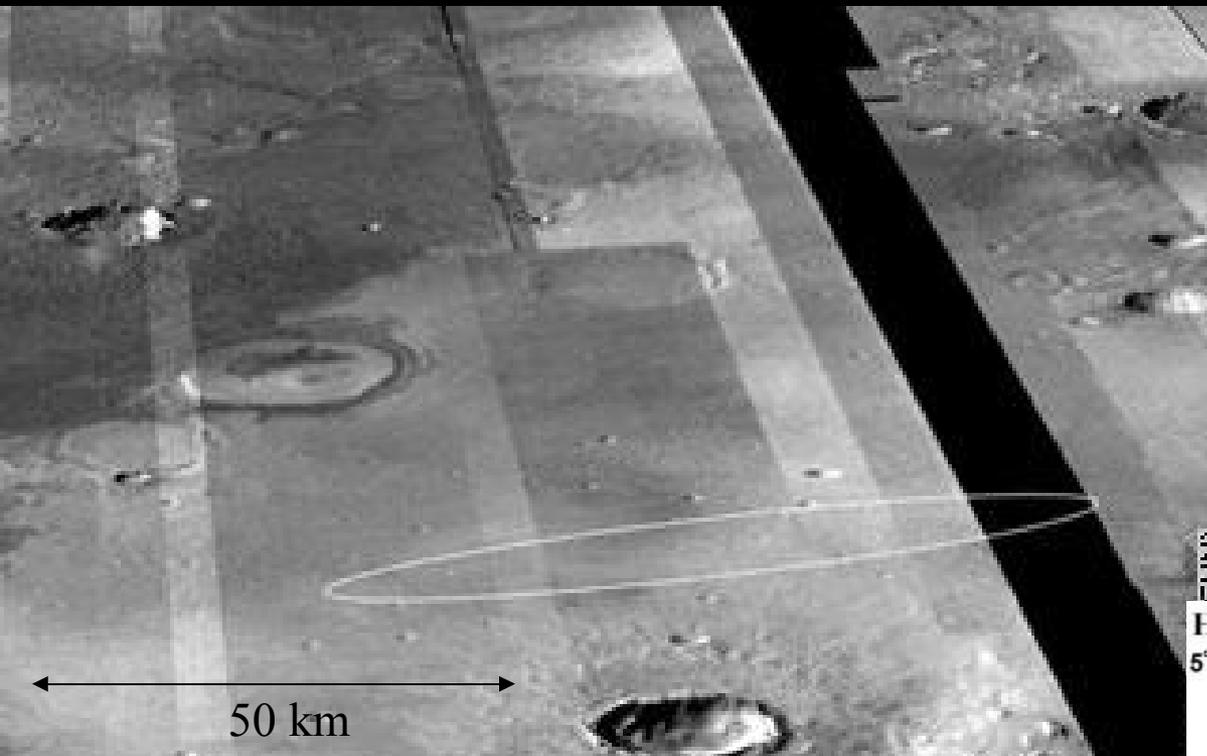
P. Queinnec

**Puis arrive le long hiver martien. Le soleil sera trop bas pour bien faire fonctionner les panneaux solaires**

**Spirit rentre en semi-hibernation. Il vient d'en sortir et repart vers de nouvelles explorations**



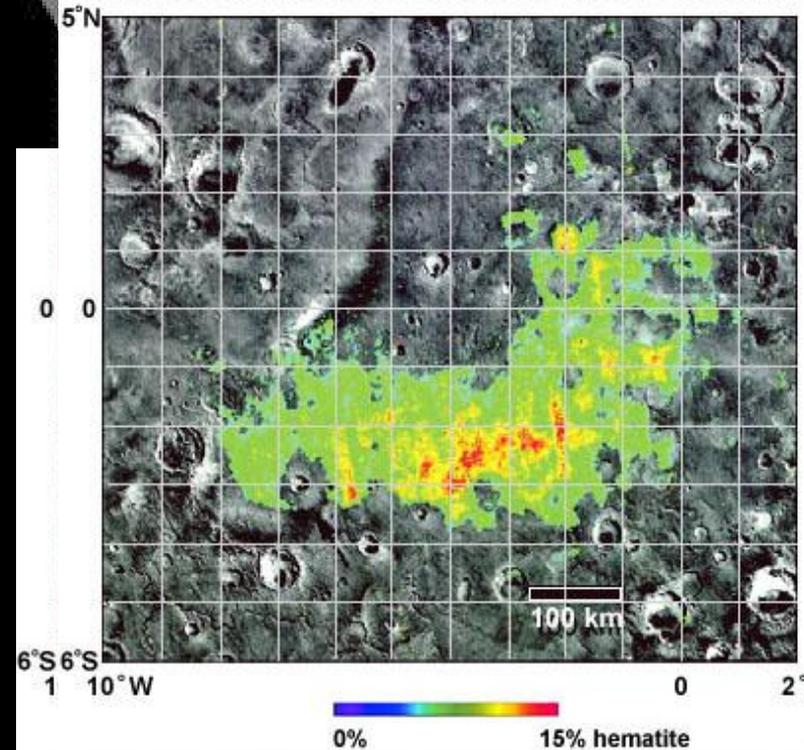
# Opportunity



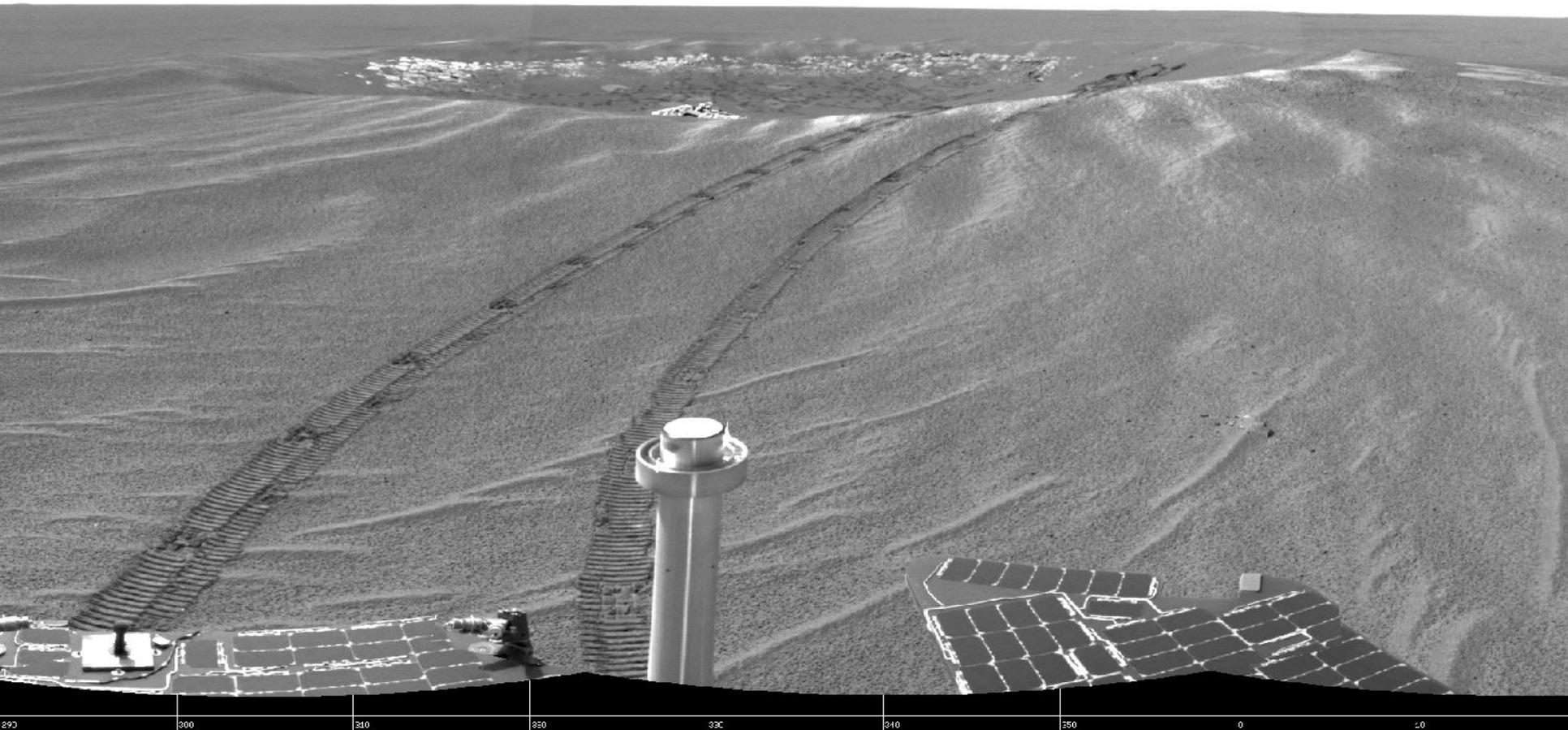
Opportunity, le 2<sup>ème</sup> robot, s'est posé dans une plaine, Meridiani Planum, que des études orbitales montraient très riche en hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  = « rouille »), minéral suggérant la présence d'eau liquide passée.

OPNS

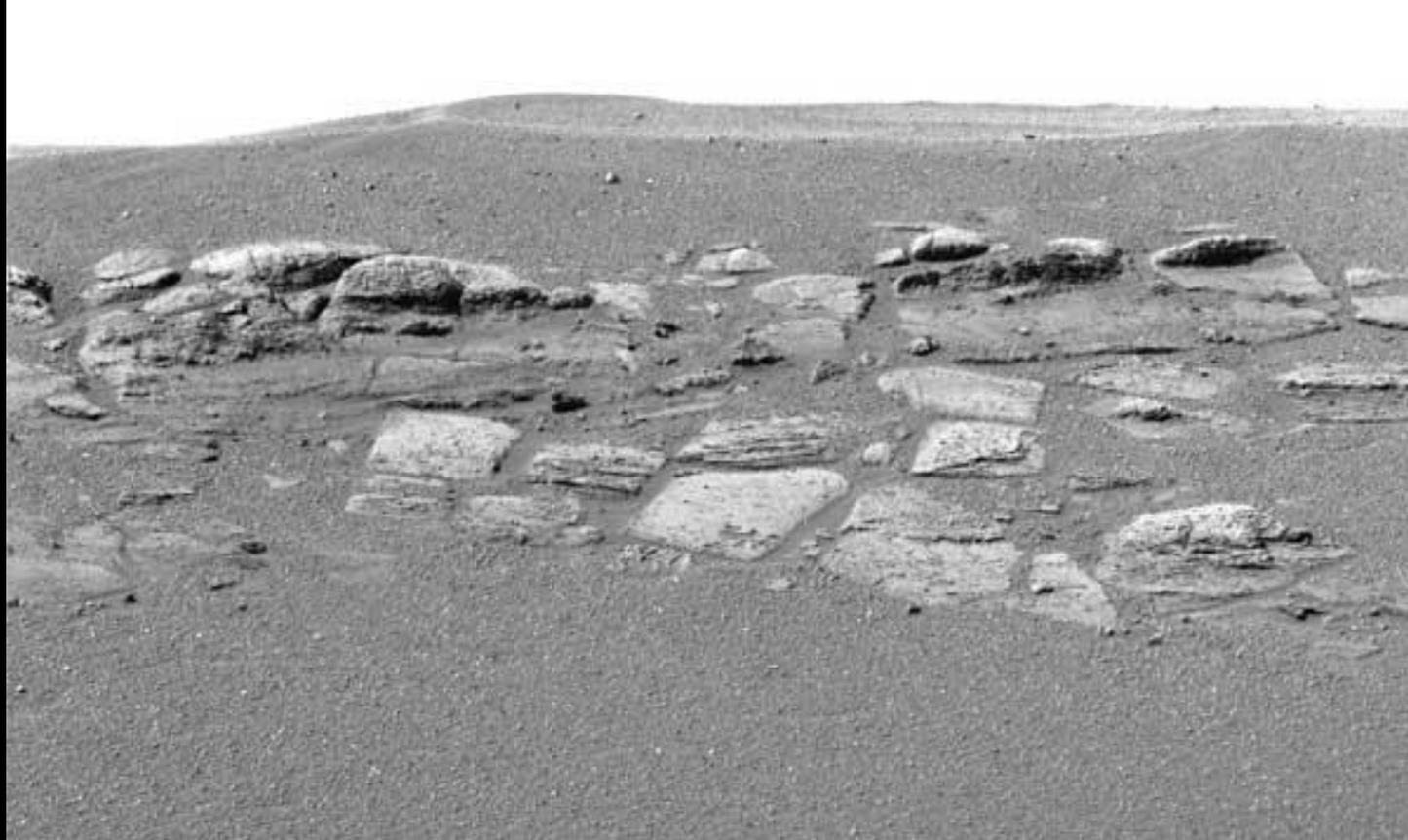
HEMATITE DISTRIBUTION MAP FROM TES DATA



(Figure based on Christensen et al., (2001) JGR, v. 106(E10), Plate 2, p. 23,877)



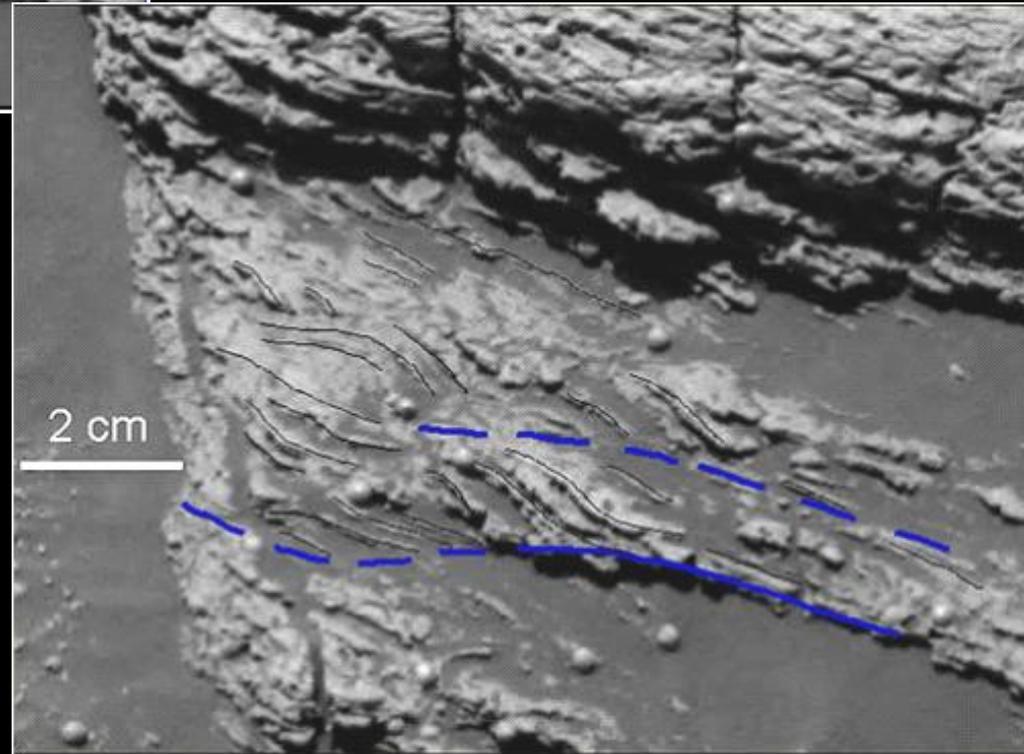
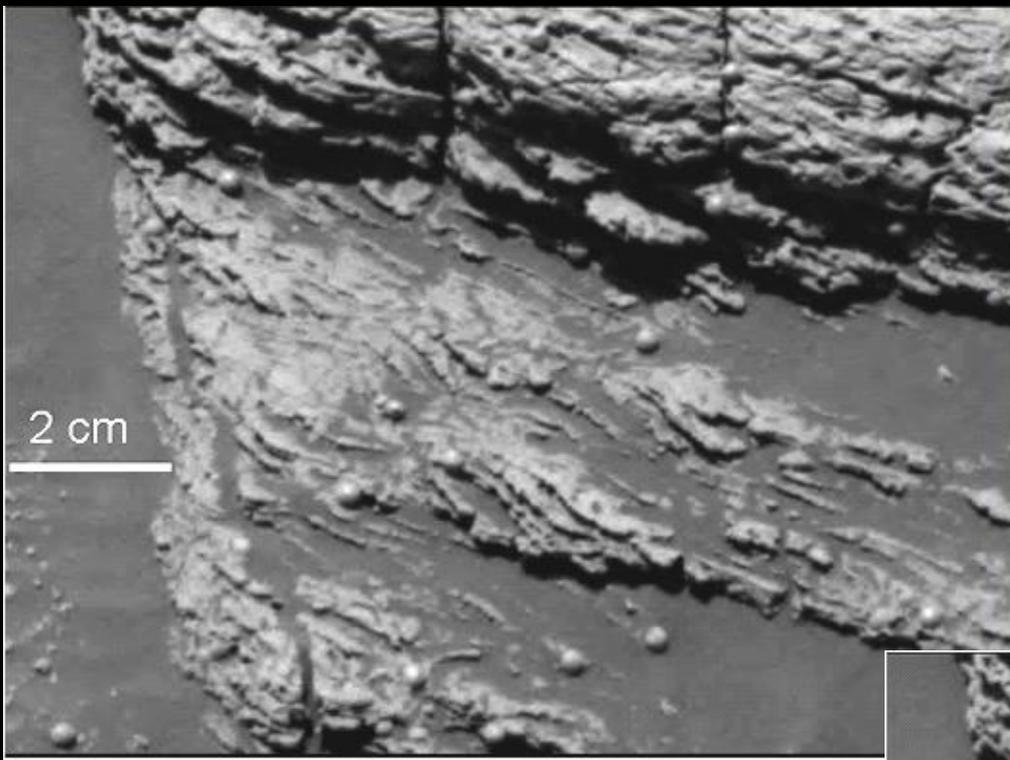
**La plaine « Méridiani », le petit cratère Eagle (d = 20m, profondeur = 2 m) dans lequel s'est posé Opportunity, et les traces qu'il a fait pour en sortir au bout de 2 mois.**



«Falaise»  
de 75 cm  
de haut

**Dans ce cratère Eagle, pour la 1<sup>ère</sup> fois, on voit des affleurements disposés en strates ! Le jackpot !! Mais des strates de quoi ? Des laves, des cendres volcaniques, des sédiments ? Et si ce sont des sédiments, sont-ils éoliens, « aquatiques » ... ?**

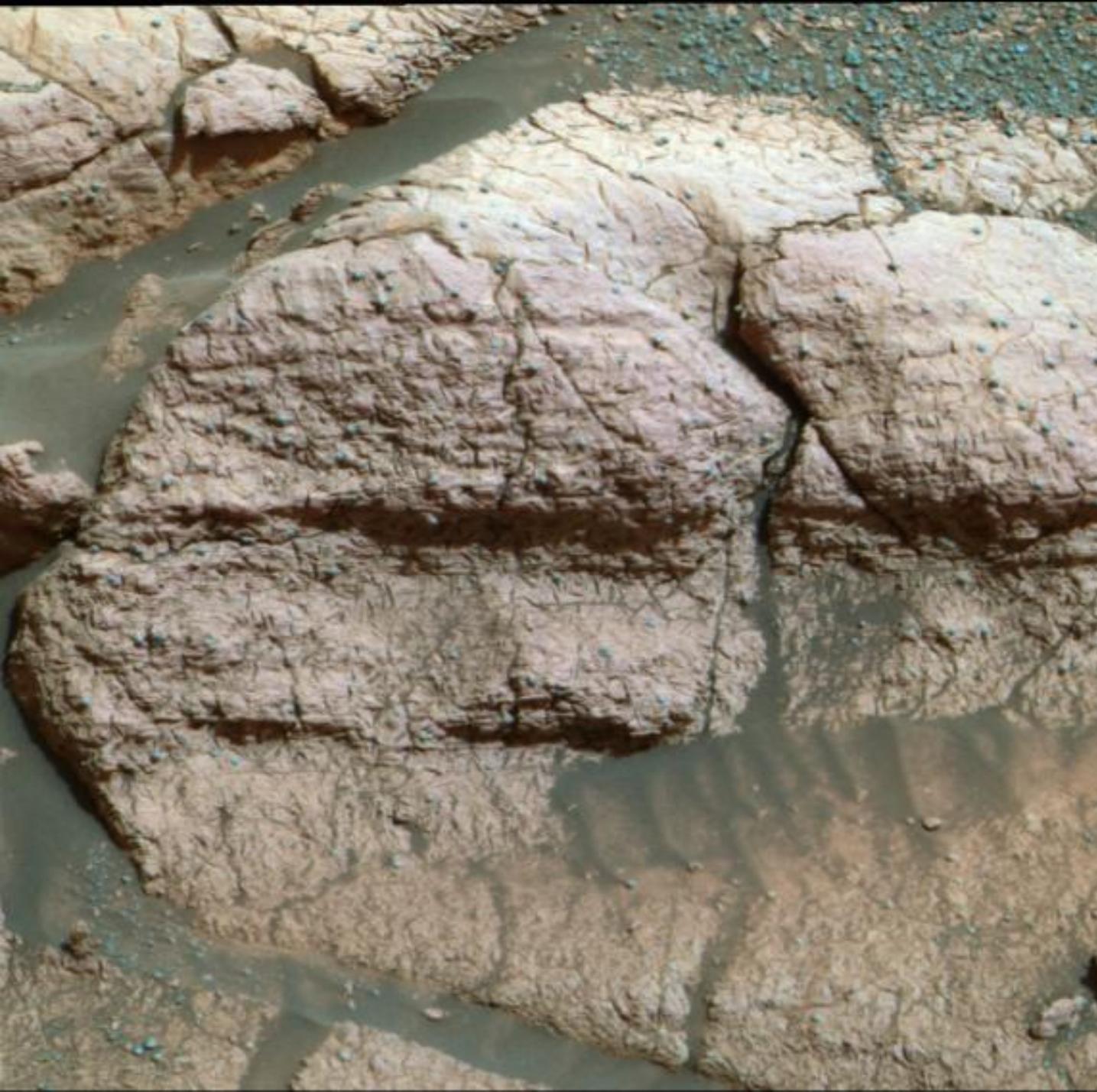
**Et en regardant le  
détail des  
stratifications,  
Opportunity découvre  
des stratifications  
obliques !**



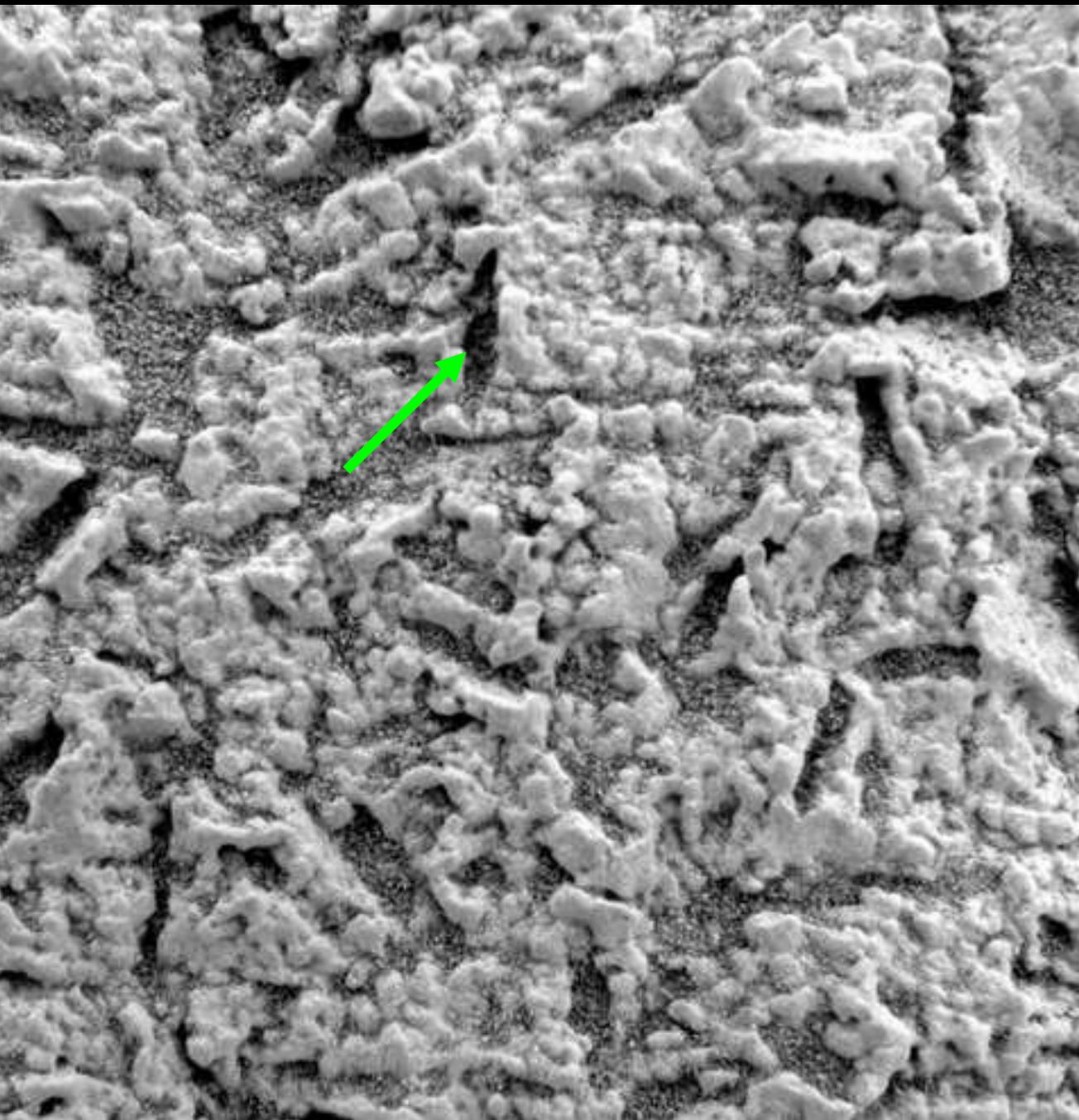
**Et des sédimentologues  
patentés nous  
affirment que se sont  
des stratifications faites  
sous un courant d'eau**



**Une analogie  
terrestre des  
stratifications  
obliques du cratère  
Eagle, ici dans le  
Crétacé supérieur  
des Corbières**

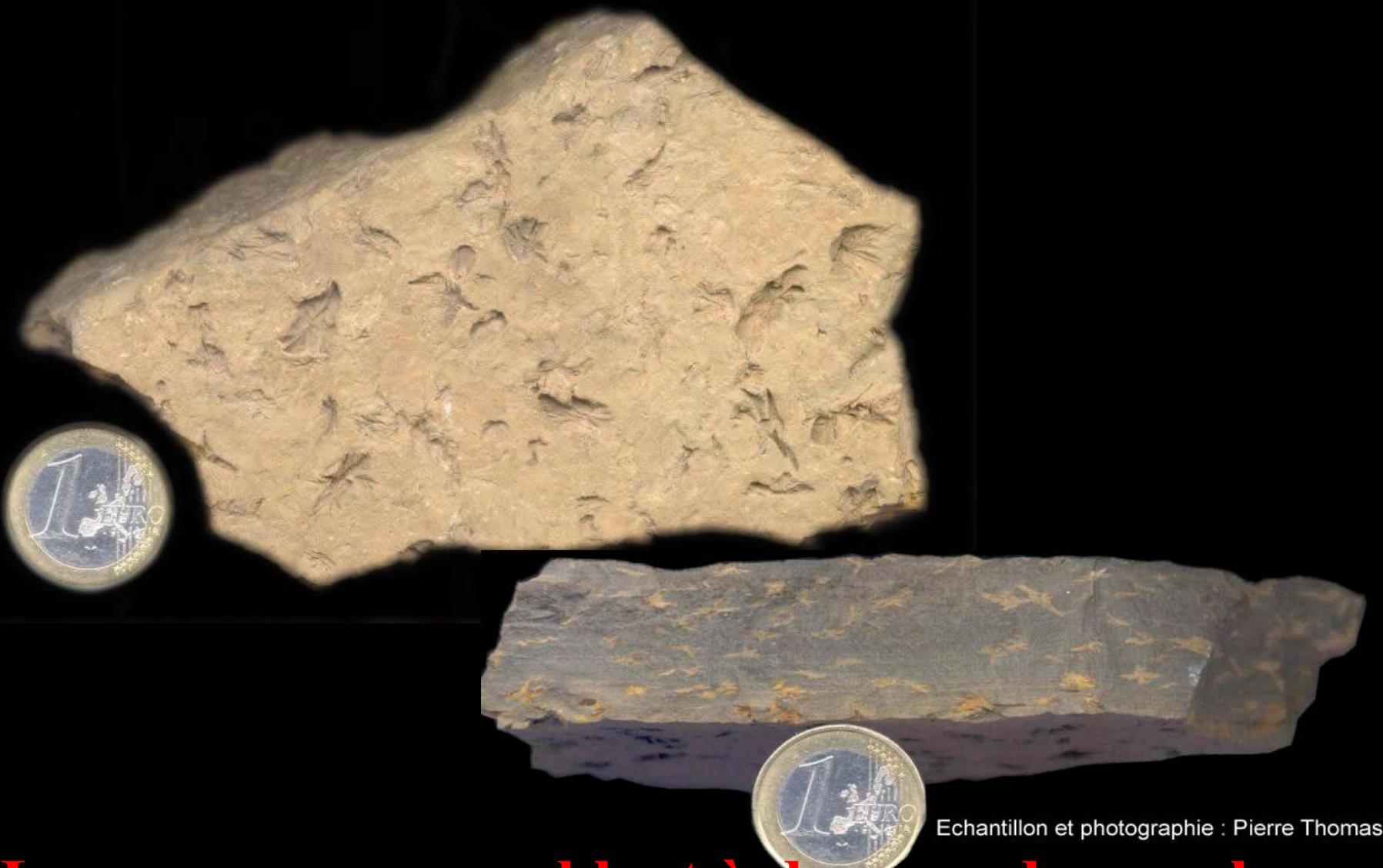


**Voici des  
strates bien  
régulières,  
avec dedans  
des « cavités »  
(vug en  
anglais).  
Et un peu  
partout, des  
petites billes  
(bleues sur  
cette image  
fausses  
couleurs)**



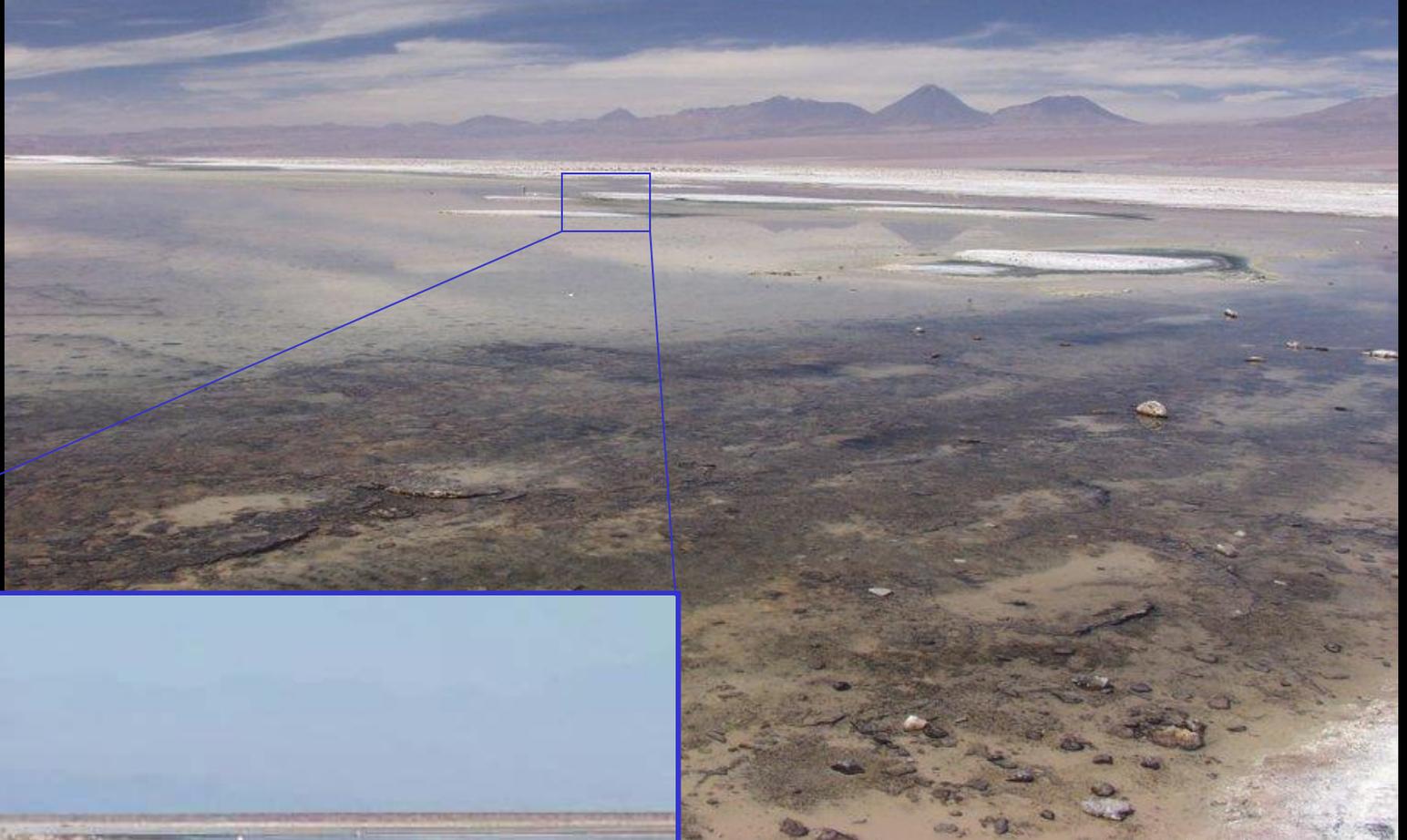
**Les « vugs » ?**

**Parfois ils ont des formes «géométriques» rappelant furieusement la forme des cristaux de gypse (roche se formant par évaporation d'une mer ou d'un lac salé)**

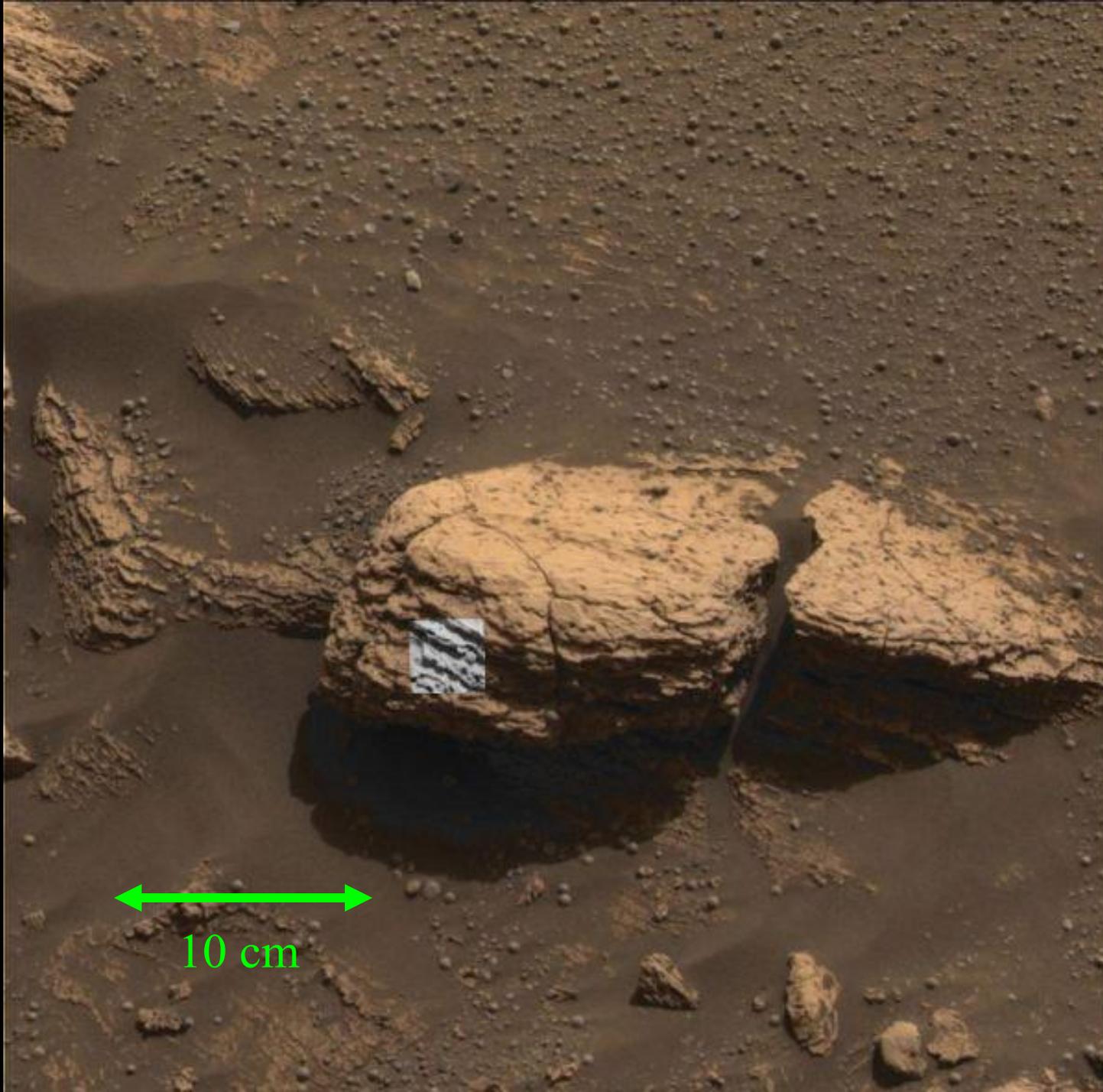


Echantillon et photographie : Pierre Thomas

**Les « vugs » ressemblent à des pseudomorphoses de gypse et autres sels** (*ressemblance indiquée sur Planet-Terre la veille de la publication des analyses*)

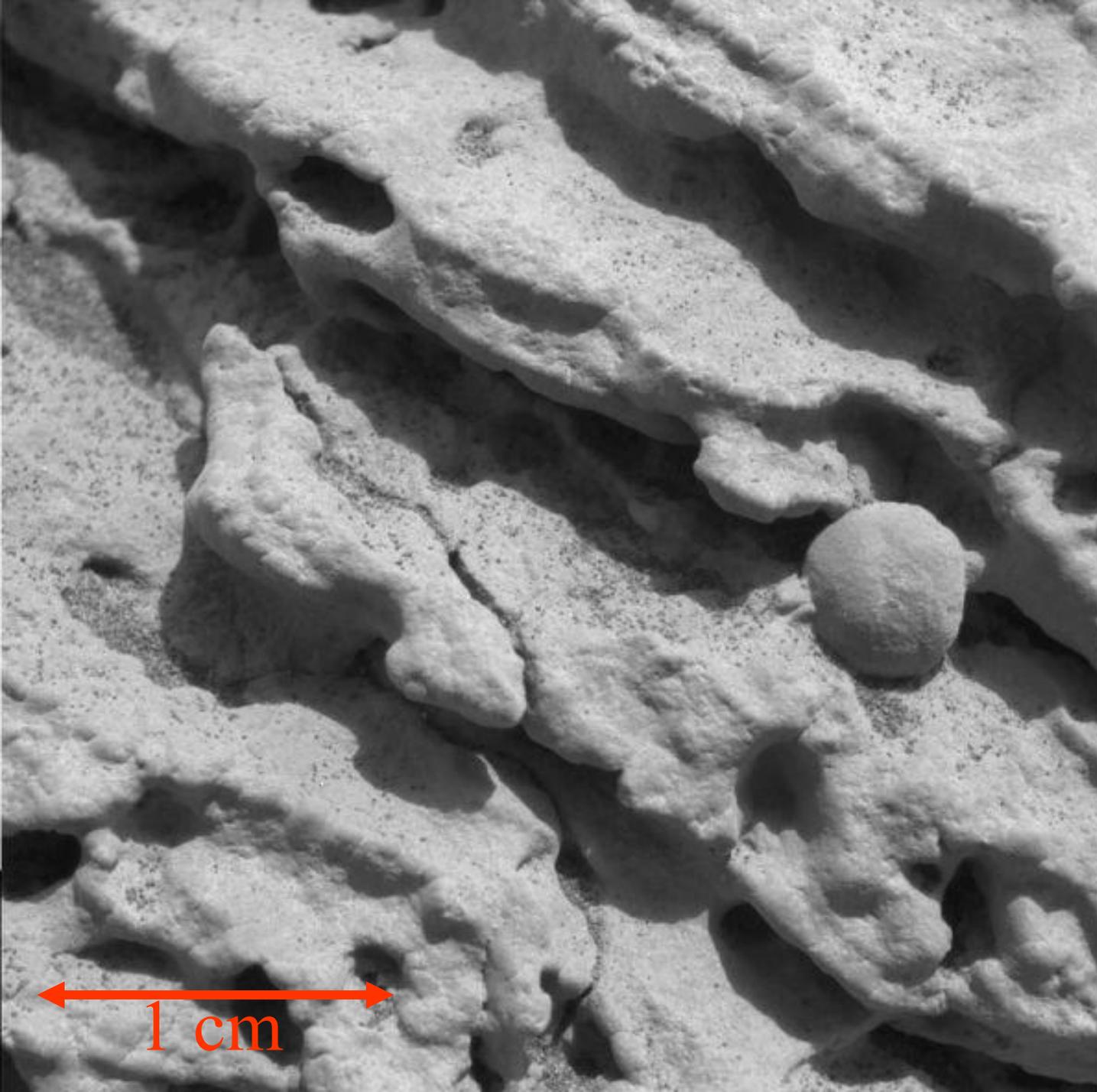


**Gypse, et autres sels,  
ça se dépose dans des  
lacs salés, des lagunes  
en bord de mer ...**

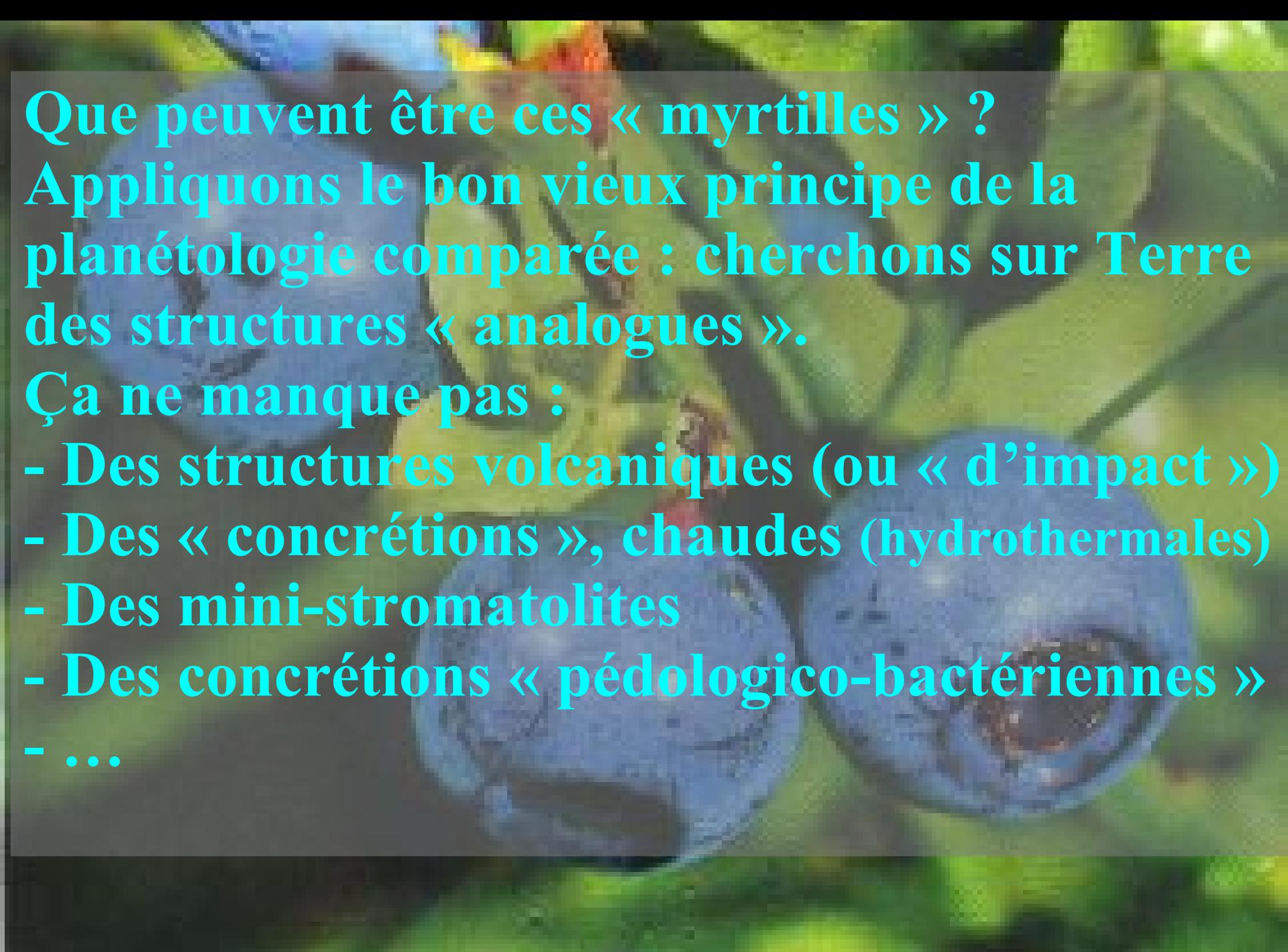


**Les petites boules.**

**Il y en a partout, autour des rochers, dans les couches des rochers. Regardons de près !**



**De près,  
voici une  
petite boule  
enchâssée  
dans la  
roche, petites  
boules  
dorénavant  
appelées  
«myrtille».  
Elles sont  
très riches en  
oxydes de fer**



**Que peuvent être ces « myrtilles » ?**

**Appliquons le bon vieux principe de la planétologie comparée : cherchons sur Terre des structures « analogues ».**

**Ça ne manque pas :**

- Des structures volcaniques (ou « d'impact »)**
- Des « concrétions », chaudes (hydrothermales)**
- Des mini-stromatolites**
- Des concrétions « pédologico-bactériennes »**
- ...**

**Voici des « concrétions » pédo  
sédimentaires (souvent en oxydes de  
fer) dans calcaire, cuirasse latéritique,  
argiles ... Sur Terre, de telles  
concrétions ferreuses sont dans 90%  
des cas d'origine bactérienne.  
Sur Mars ????**

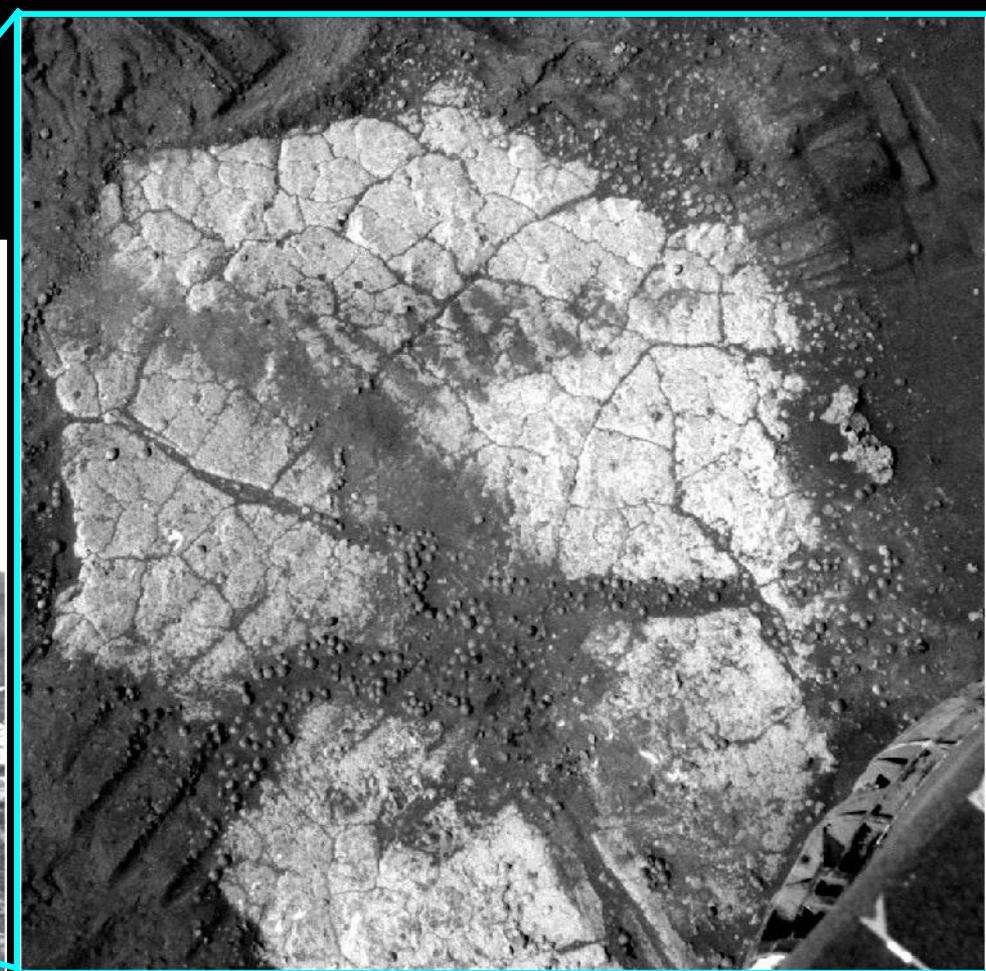
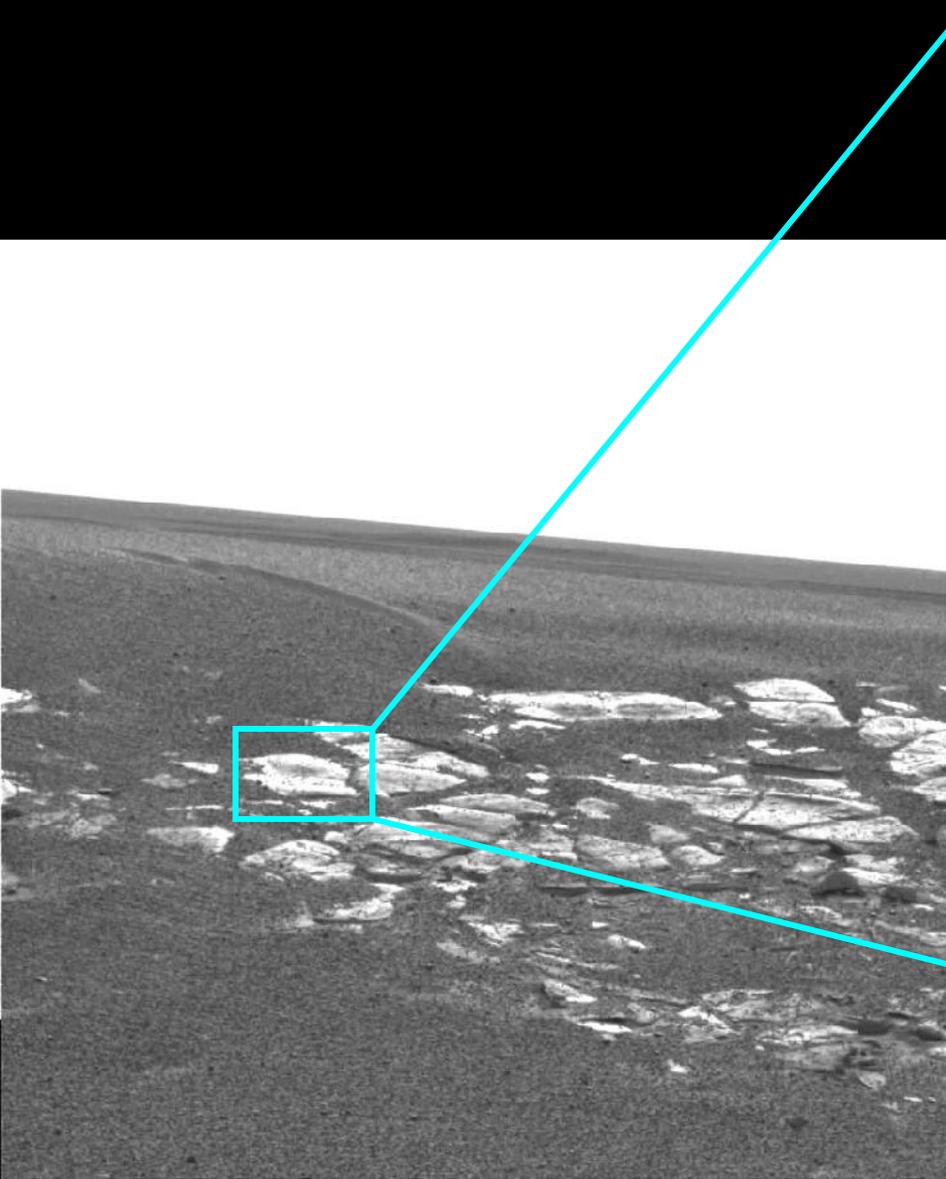


Photo Pierre Thomas

**C'est plutôt à  
cela que  
ressemblent les  
myrtilles  
martiennes !**

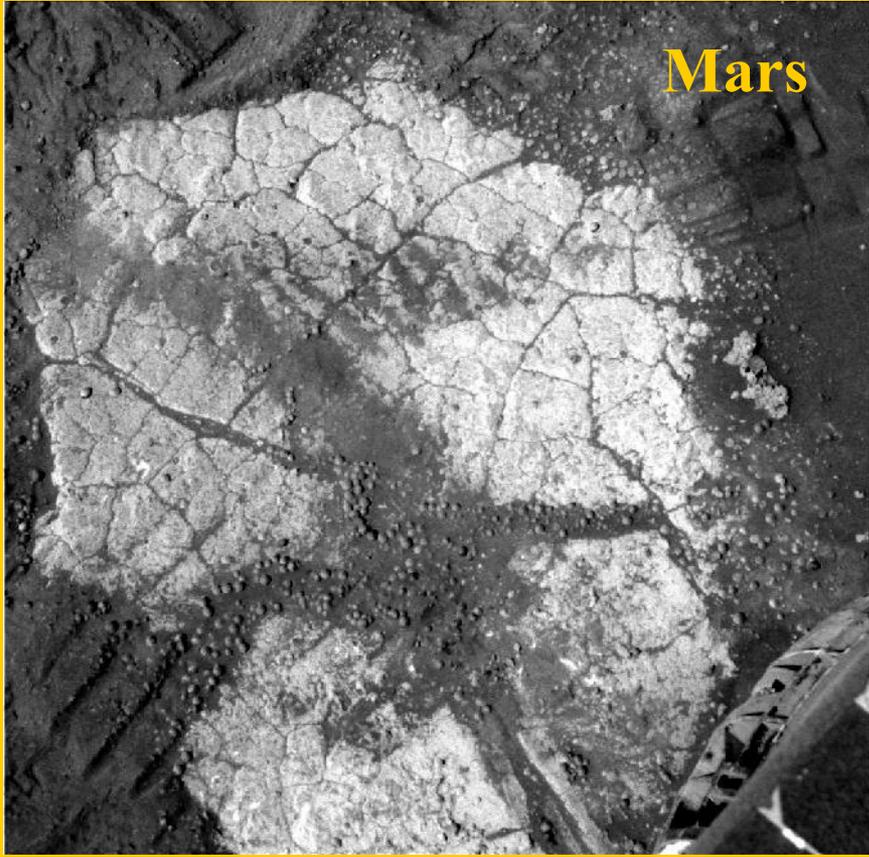


Photo Pierre Thomas



**Allons voir maintenant là où l'on voit les couches  
« par dessus » !**

Mars



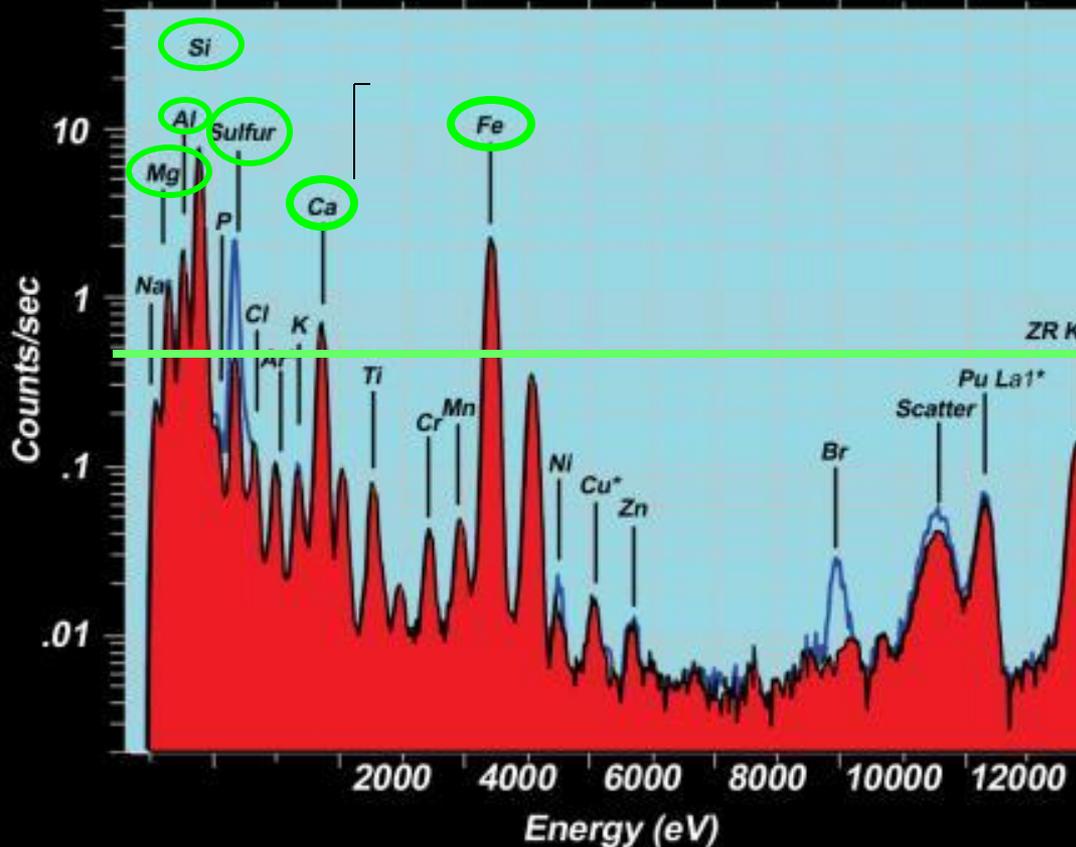
Terre



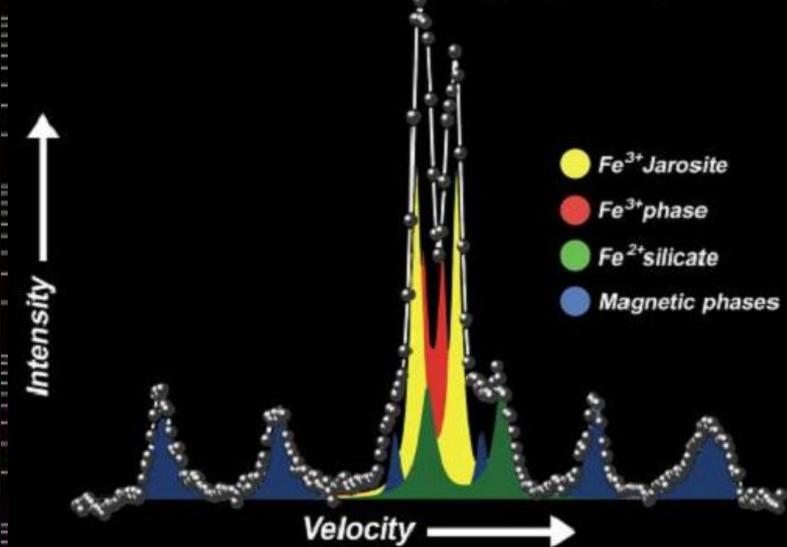
Photo Pierre Thomas

**Certaines de couches, vues de dessus, présentent un réseau de fentes polygonales, comme une argile qui se rétracte ! Et sur Terre, ces fentes de rétractions se font en général par dessiccation !**

## APXS Rock and Soil X-ray Spectra at Meridiani



Mossbauer Spectrum of El Capitan: Meridiani Planum  
Jarosite:  $(K, Na, X^{+1})Fe_3(SO_4)(OH)_6$

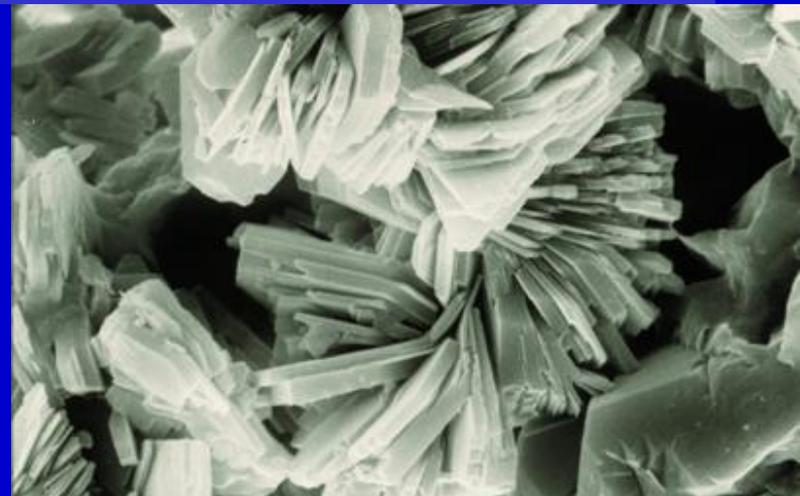
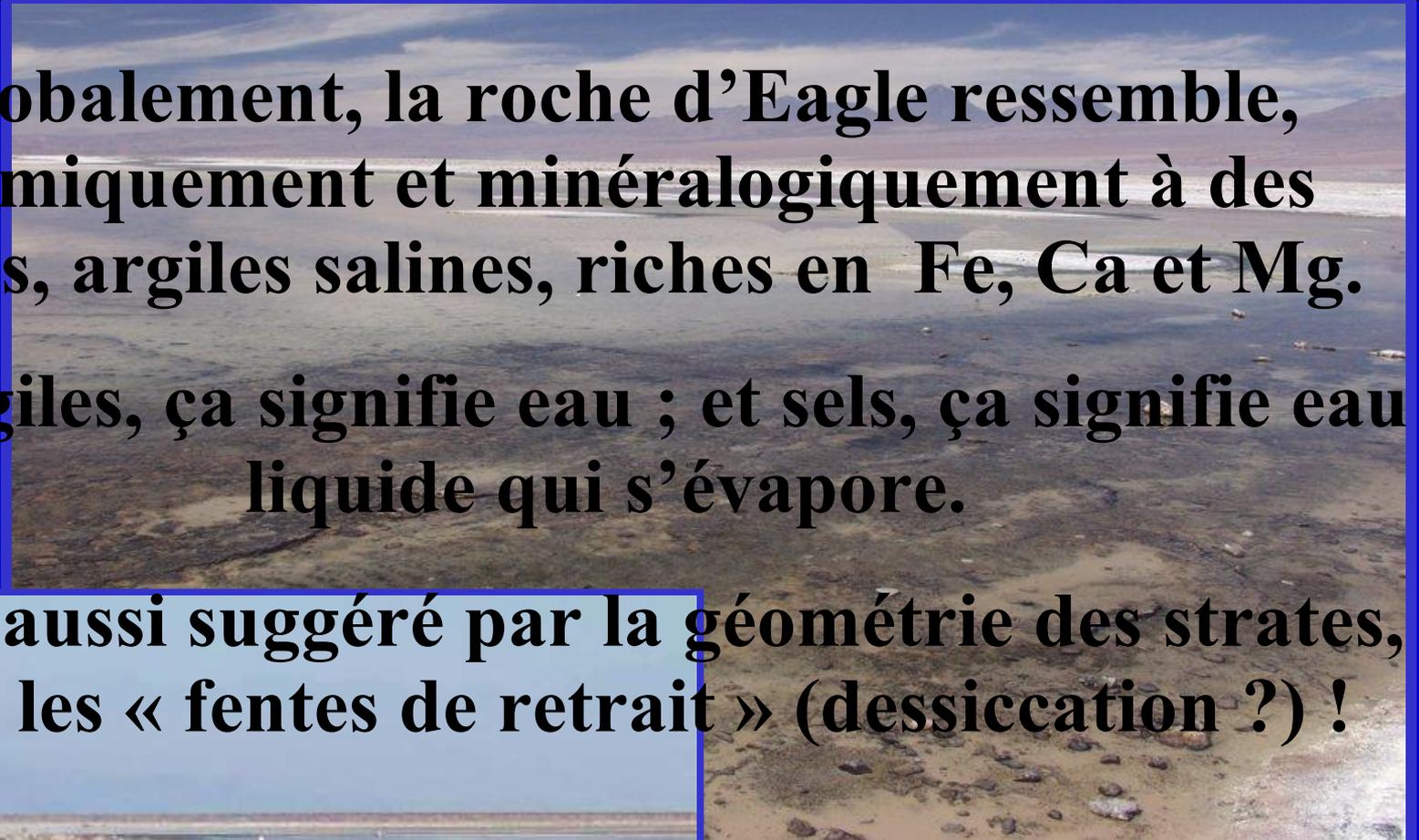


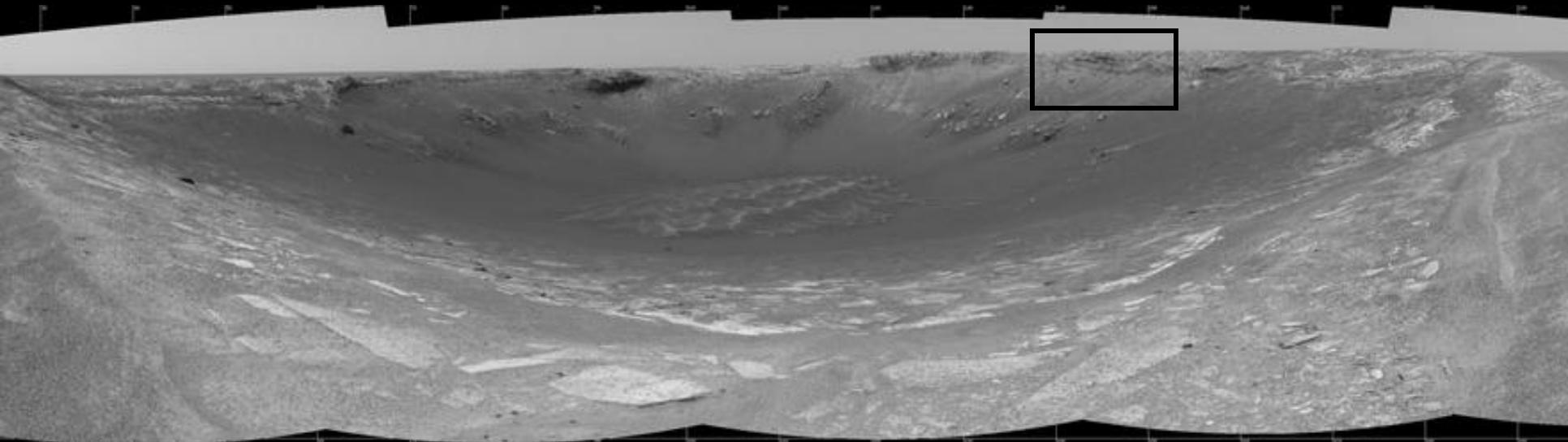
**Analyse chimique globale : des aluminosilicates (argiles possibles) riches en Fe, Mg, Ca et S. Analyse minéralogique : la roche « globale » contient de l'hématite ( $Fe_2O_3 \pm$  hydraté), un sulfate potasso-ferrique hydraté ...**

**Globalement, la roche d'Eagle ressemble, chimiquement et minéralogiquement à des argiles, argiles salines, riches en Fe, Ca et Mg.**

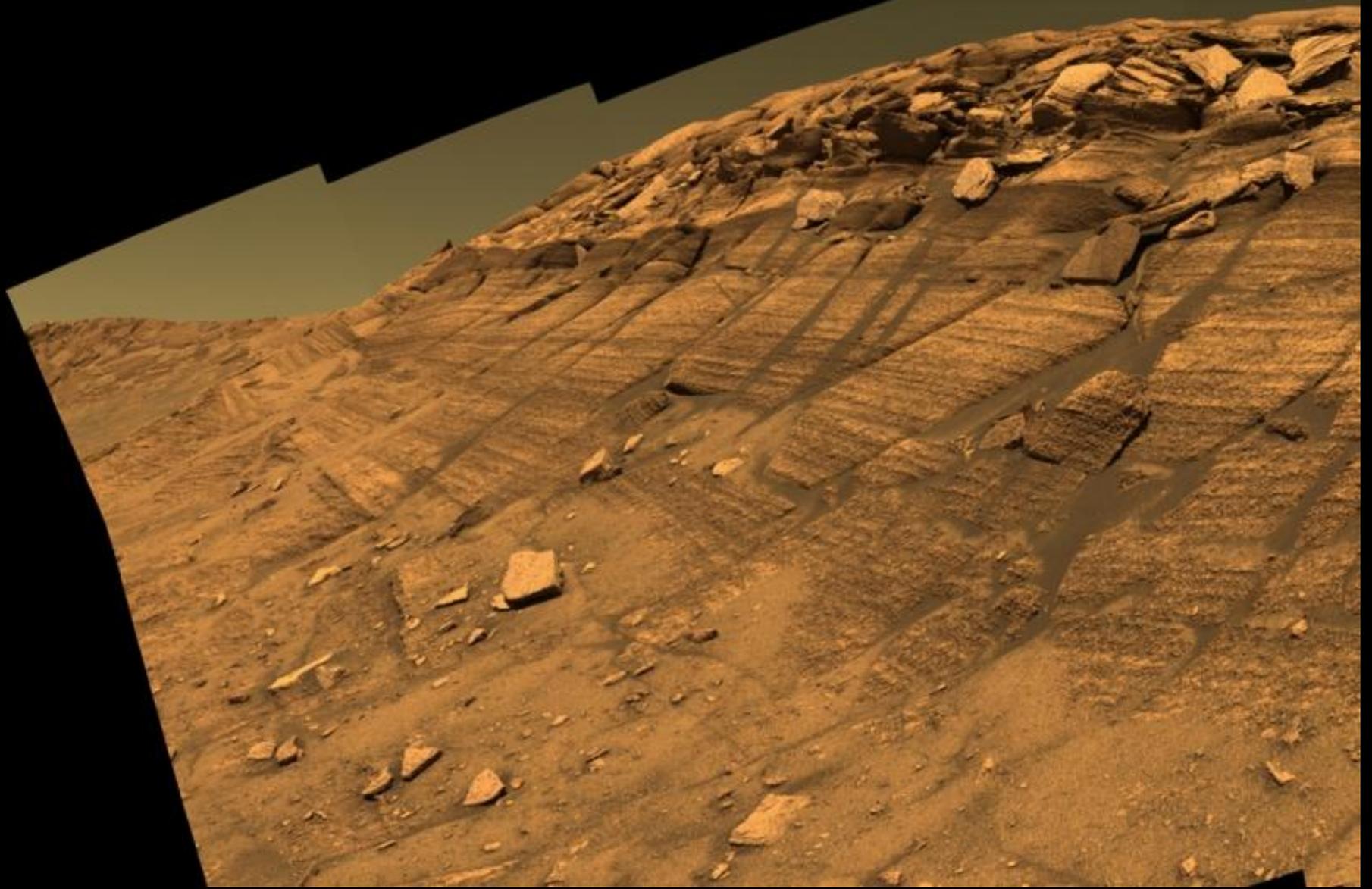
**Et argiles, ça signifie eau ; et sels, ça signifie eau liquide qui s'évapore.**

**C'est aussi suggéré par la géométrie des strates, par les « fentes de retrait » (dessiccation ?) !**





**Après 2 mois dans son petit cratère, et 600 m dans la plaine, Opportunity arrive au bord du cratère « Endurance » (D = 200 m, h = 20m)**



**Les bords sont parfois constitués de belles falaises,  
ici Burn Cliff**



**... avec leur discordance**

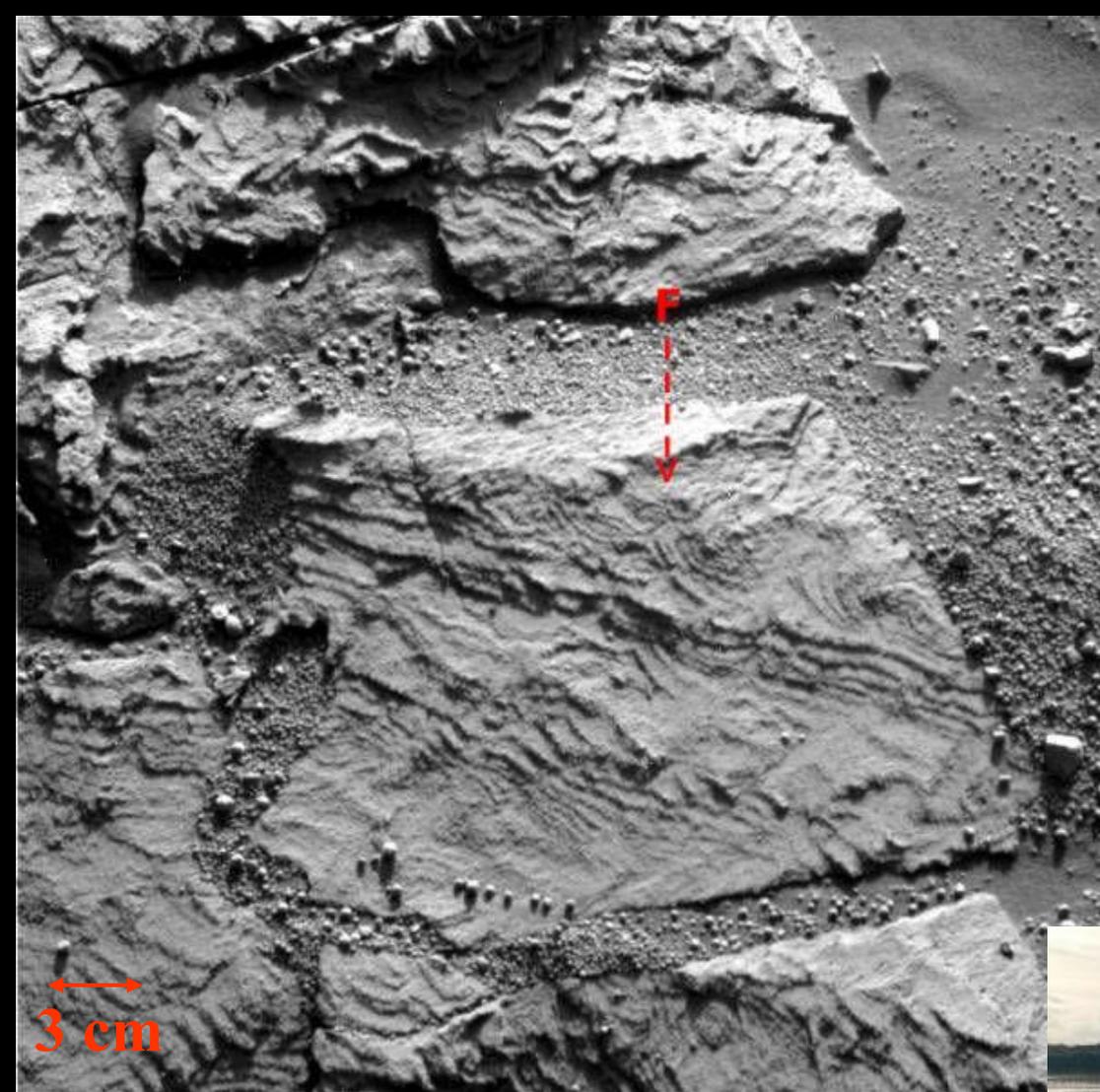
**Une analogie terrestre :  
accumulation de sable  
(coquiller) côtier, ici en  
Touraine, 20 Ma**



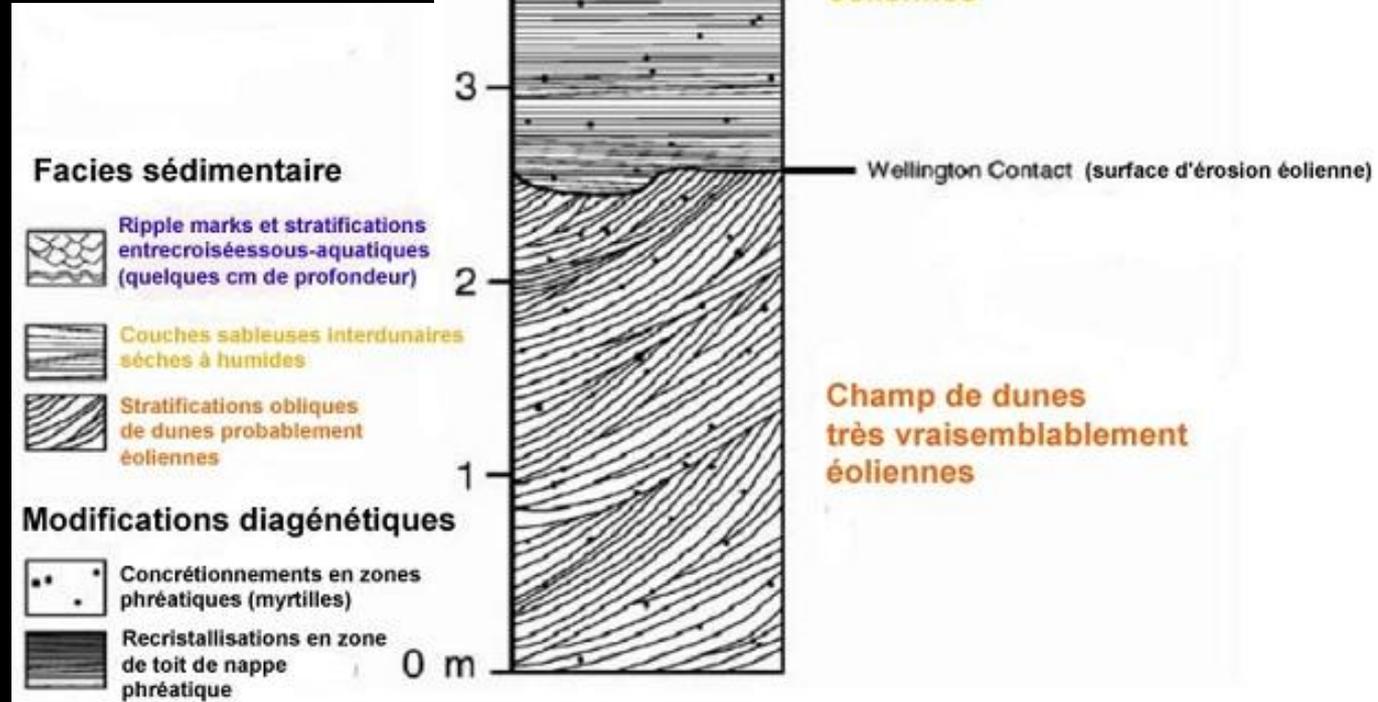


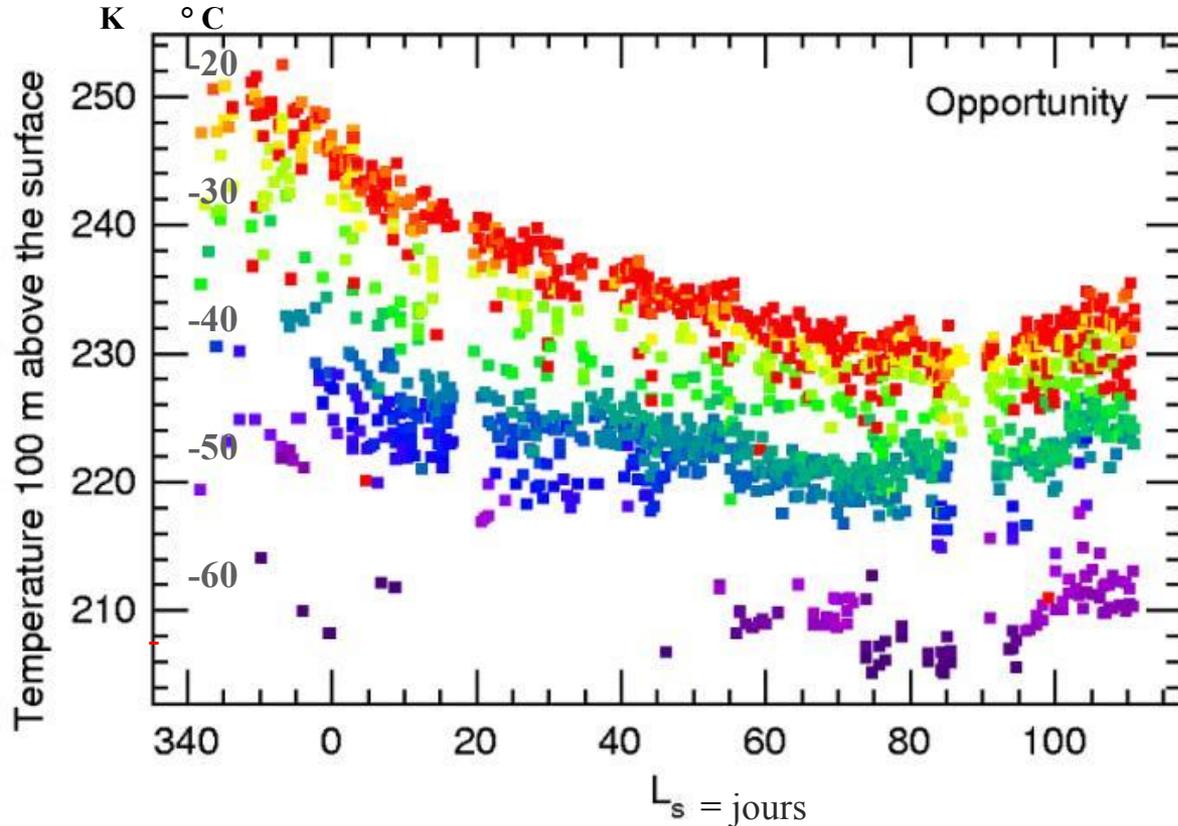
**On retrouve aussi des pseudo-dykes miniatures.  
De l'eau a circulé dans des micro-fractures.**

**Dans un autre secteur, vues en section, les strates sont parfois « festonnées ». Sur Terre, de tels festons, symétriques, indiquent que la boue s'est déposée dans de l'eau clapotante, sous une profondeur d'eau de quelques cm.**



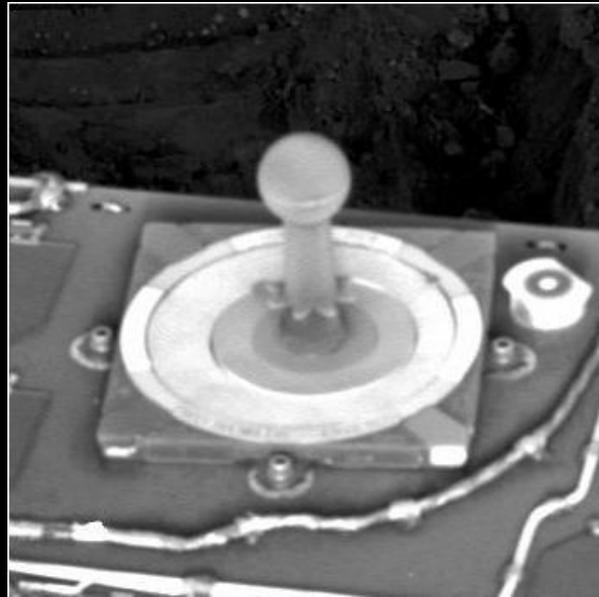
**On peut reconstituer la suite des couches et la succession des environnements dans la région d'Endurance : un environnement de plage en bord d'un lac salé peu profond, entouré de dunes**

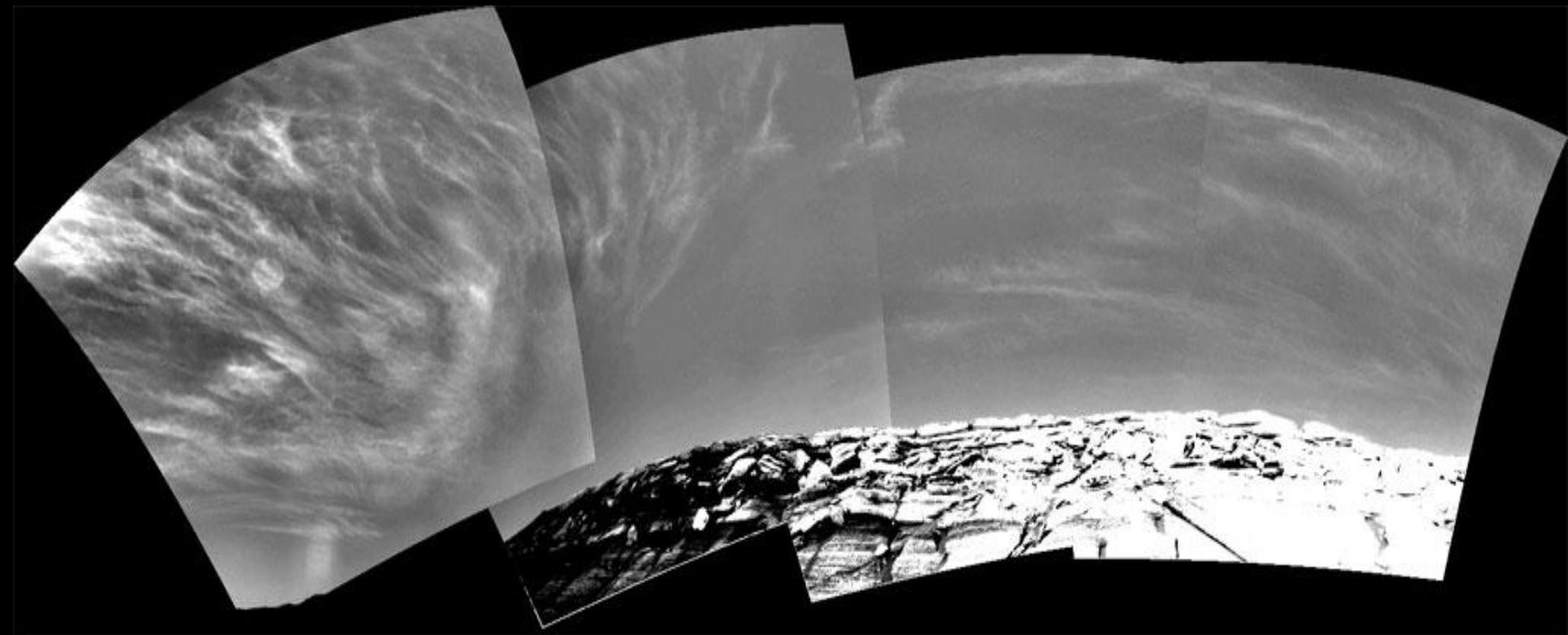




**Dans le cratère,  
il a fait  
également de la  
météo.  
À gauche, les  
variations de  
température,  
sur 6 mois**

**La nuit, le robot  
se recouvre de  
givre d'H<sub>2</sub>O ; le  
matin, ce givre se  
sublime**

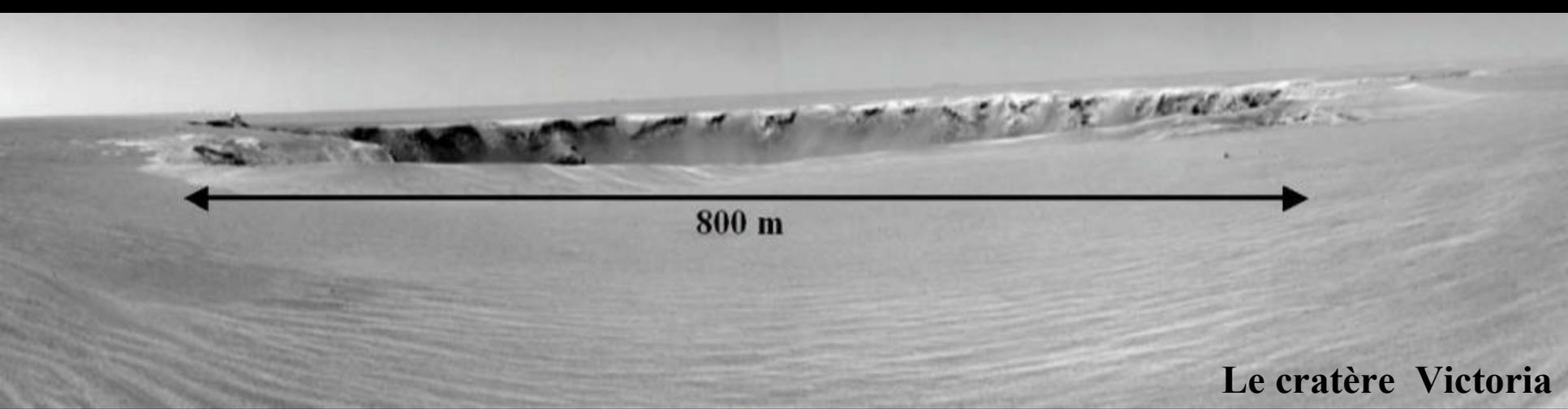




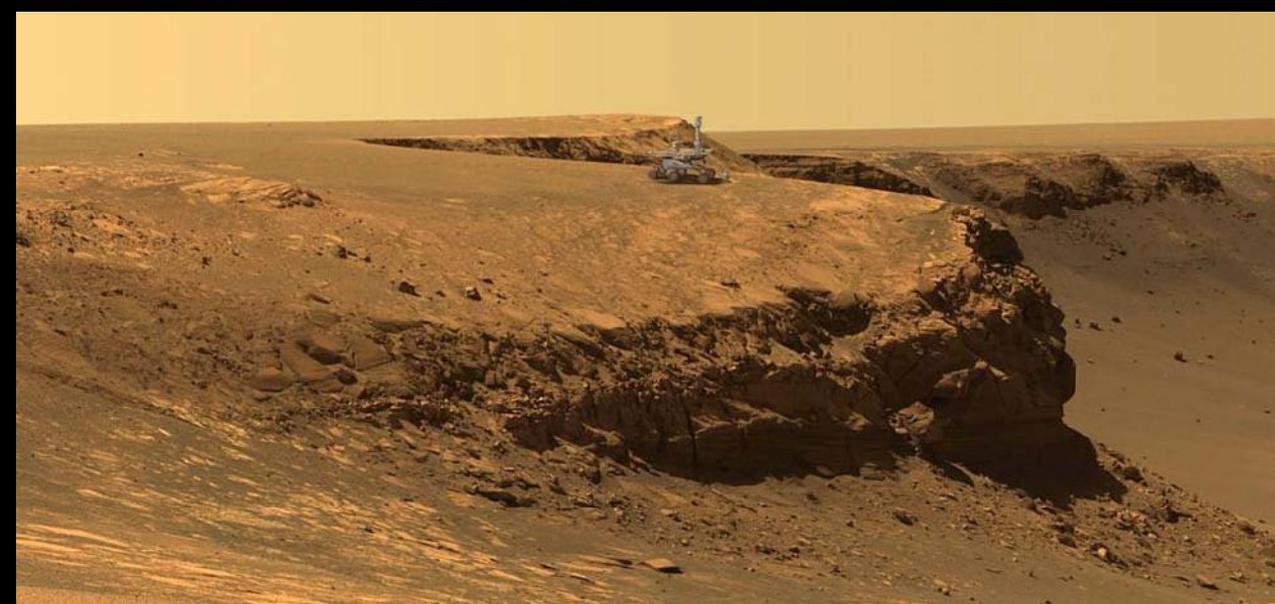
**En général, il fait beau ; mais il arrive qu'il y ait des nuages, qui ressemblent à des cirrus (nuages formés de micro-cristaux de glace)**

**Après avoir quitté le cratère, Opportunity roule des km dans une plaine où les fentes de retrait (dessiccation ?) semblent être la règle.**





Le cratère Victoria



**Et après avoir roulé plus de 10 km, notre robot atteint un grand et profond cratère. Après en avoir exploré**

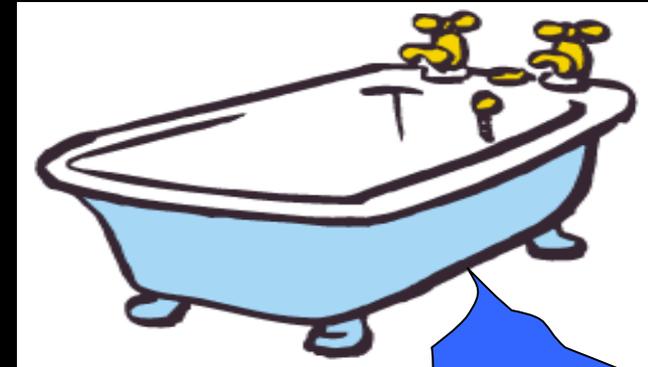
**les bords, puis avoir été quelques mois en « hibernation », Opportunity commence à y descendre. On va passer de 7m à 30m de succession de couches ! Que va-t-on découvrir ??**



**On se posait la question de l'eau pérenne sur Mars. La réponse est : il y en a eu, longtemps ... et peut-être même plus encore !**

**Pourquoi n'y en a t'il plus d'H<sub>2</sub>O liquide en surface aujourd'hui ? La faible gravité et l'absence de champ magnétique font que Mars perd lentement son atmosphère. Mars « fuit ». Pression, effet de serre et température baissent.**

**\*De 4,5 à 4-3,8 Ga, il y avait de l'eau liquide pérenne à la surface de Mars.**

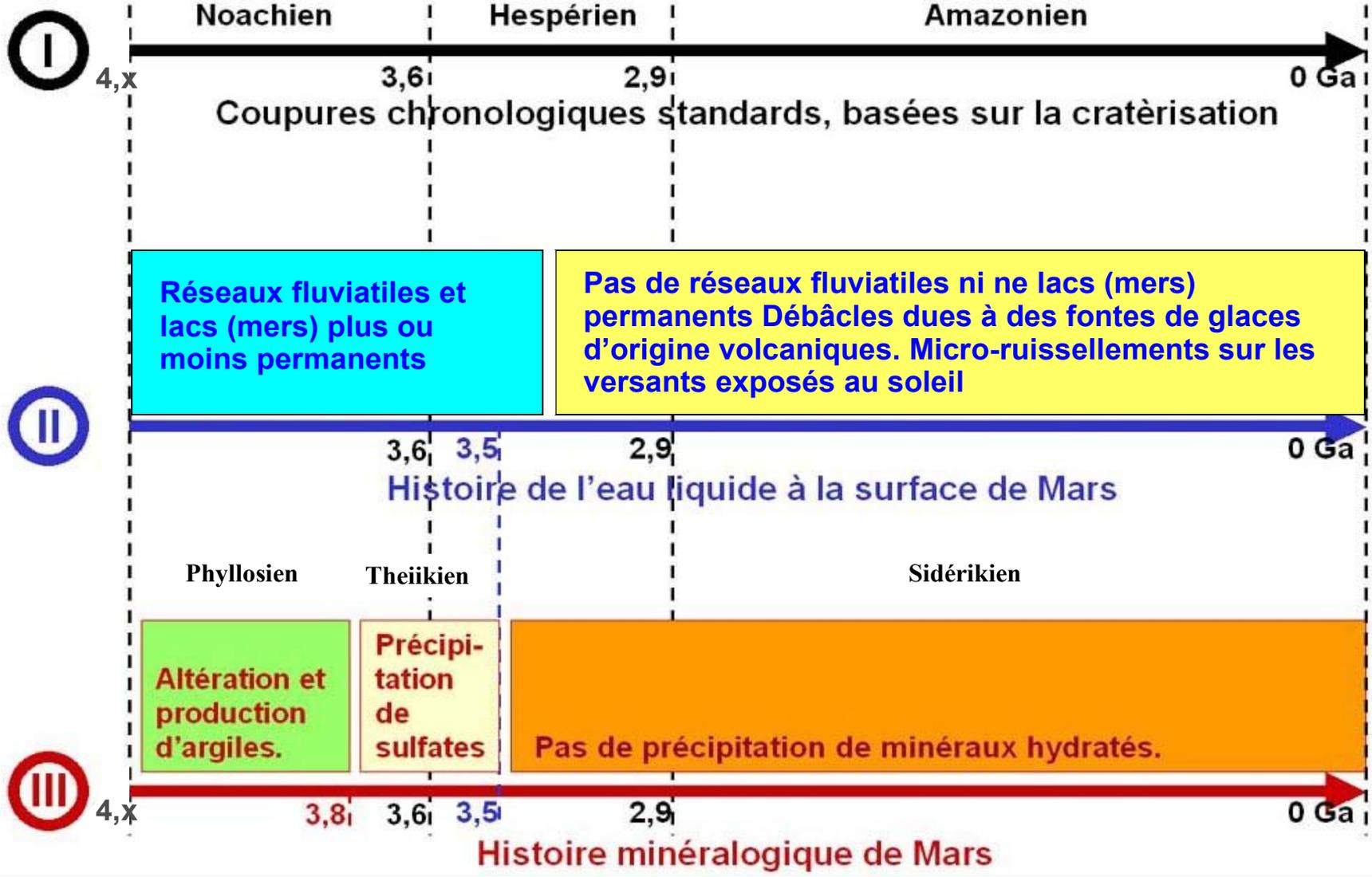


**\*Entre 4-3,8 et 3,5-3 Ga, période de transition.**

**Il y en avait plus ou moins en fonction de l'intensité du volcanisme qui fournit du CO<sub>2</sub> et de l'effet de serre.**

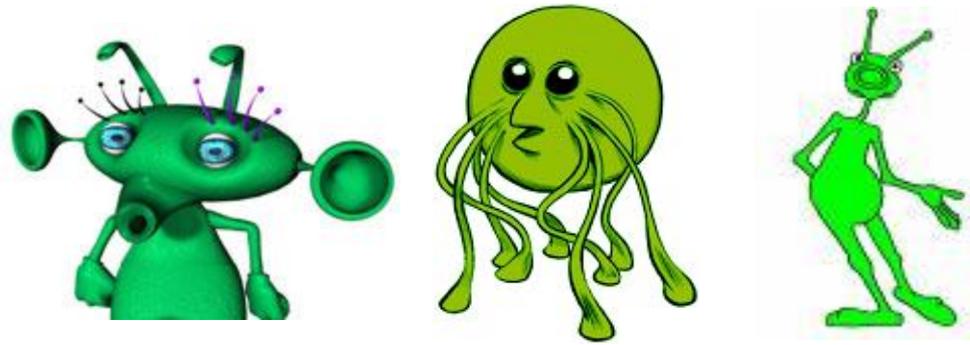
**\*Depuis 3,5-3 Ga, il n'y en a plus, sauf exceptionnellement et en déséquilibre (volcanisme, versant sud au soleil ...)**

**\*Mais il en reste beaucoup dans le sous-sol, gelée près de la surface, sans doute liquide en profondeur**



# Un triple résumé de l'histoire de Mars

# Plus vieilles traces de vie sur Terre



Terre trop chaude

Eau liquide

Ere des bactéries et des êtres unicellulaires

Bactéries, végétaux, animaux.

Histoire de l'eau et de la vie sur Terre

4,5 Ga

4 Ga

3 Ga

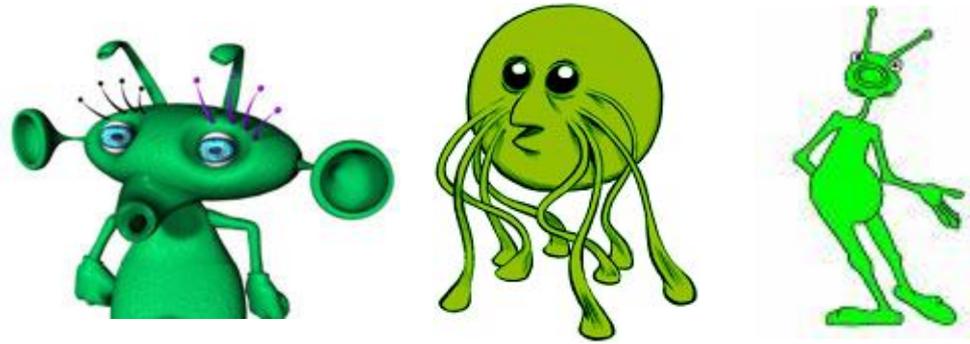
2 Ga

1 Ga

Présent

## Y a-t-il (y a-t-il eu) des martiens ??

# Plus vieilles traces de vie sur Terre



Mars trop chaud

Eau liquide sur Mars

Mars trop froid et trop sec (en surface).  
En profondeur, à partir de 4 km, l'eau doit être liquide.

Histoire de l'eau sur Mars

Terre trop chaude

Eau liquide

Ere des bactéries et des êtres unicellulaires

Bactéries, végétaux, animaux.

Histoire de l'eau et de la vie sur Terre



Y a-t-il (y a-t-il eu) des martiens ??



**Tous les espoirs sont permis !**

**Et avant de se quitter regardons cette belle « étoile » qui brillait dans les lueurs du crépuscule martien en ce début du mois de mars 2004, au dessus de Spirit.**

**C'est notre bonne vieille Terre !**



**122 diapos !  
C'est tout pour  
aujourd'hui !  
Merci de votre  
attention.**

**Toute cette histoire (et bien d'autres encore)  
est racontée sur :  
<http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/>**



**Question :**

**Peut-on vraiment dire qu'il y ait  
des saisons sur Mars ?**



**Question :**

**Vie empêchée par les  
« balancements » de Mars sur  
son axe, et les variations de  
température qui en résulte ?**



**Question :**

**Vie présente en profondeur sur  
Mars, où la chercher lors des  
prochaines missions ?**



**Question :**

**Existence d'un océan ancien sur  
Mars ?**



**Question :**

**Composition de l'atmosphère de Mars ?**



**Question :**

**Composition isotopique de l'eau  
Mars ?**



**Question :**

**Calotte Nord : pourquoi pas de  
glace carbonique ?**



**Question :**

**Gravité, atmosphère et colonies  
humaines sur Mars ?**