



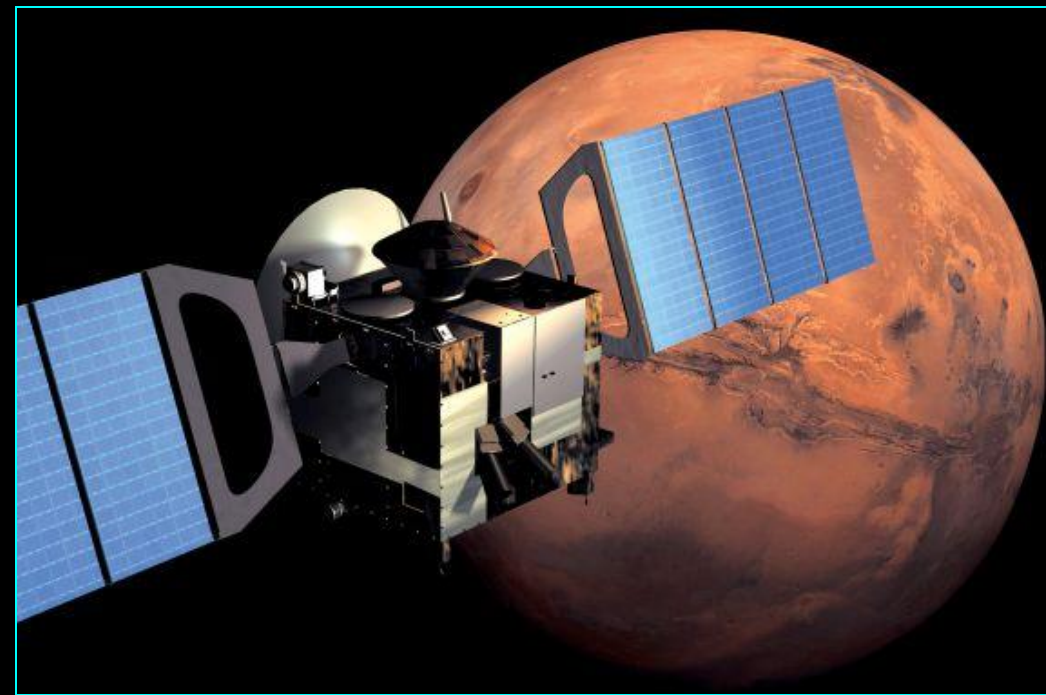
Les dernières nouvelles de l'eau sur Mars

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



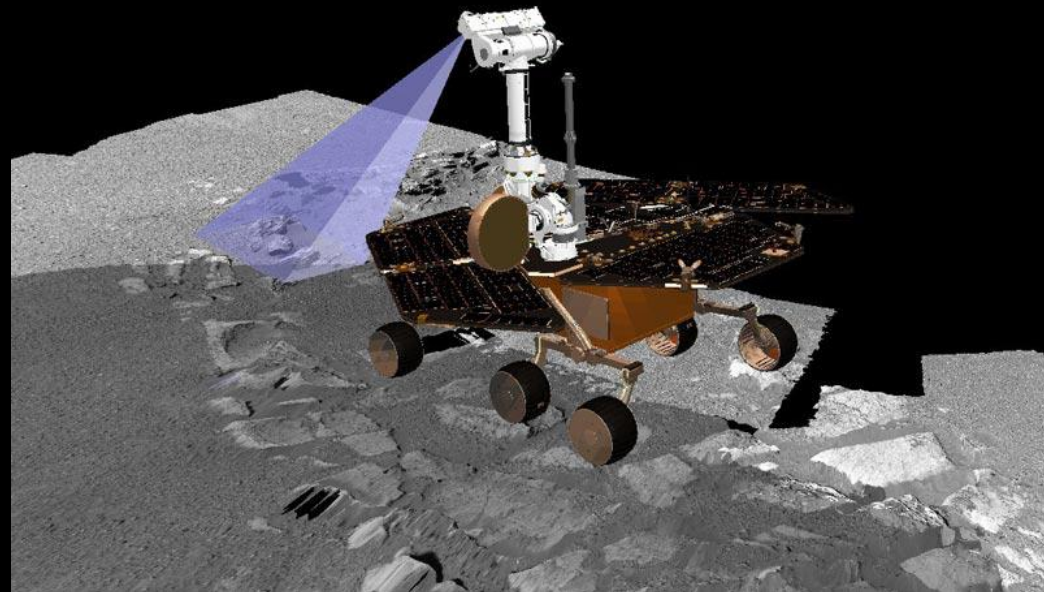
Les dernières nouvelles de l'eau sur Mars

**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



H₂O sur Mars, une vieille histoire

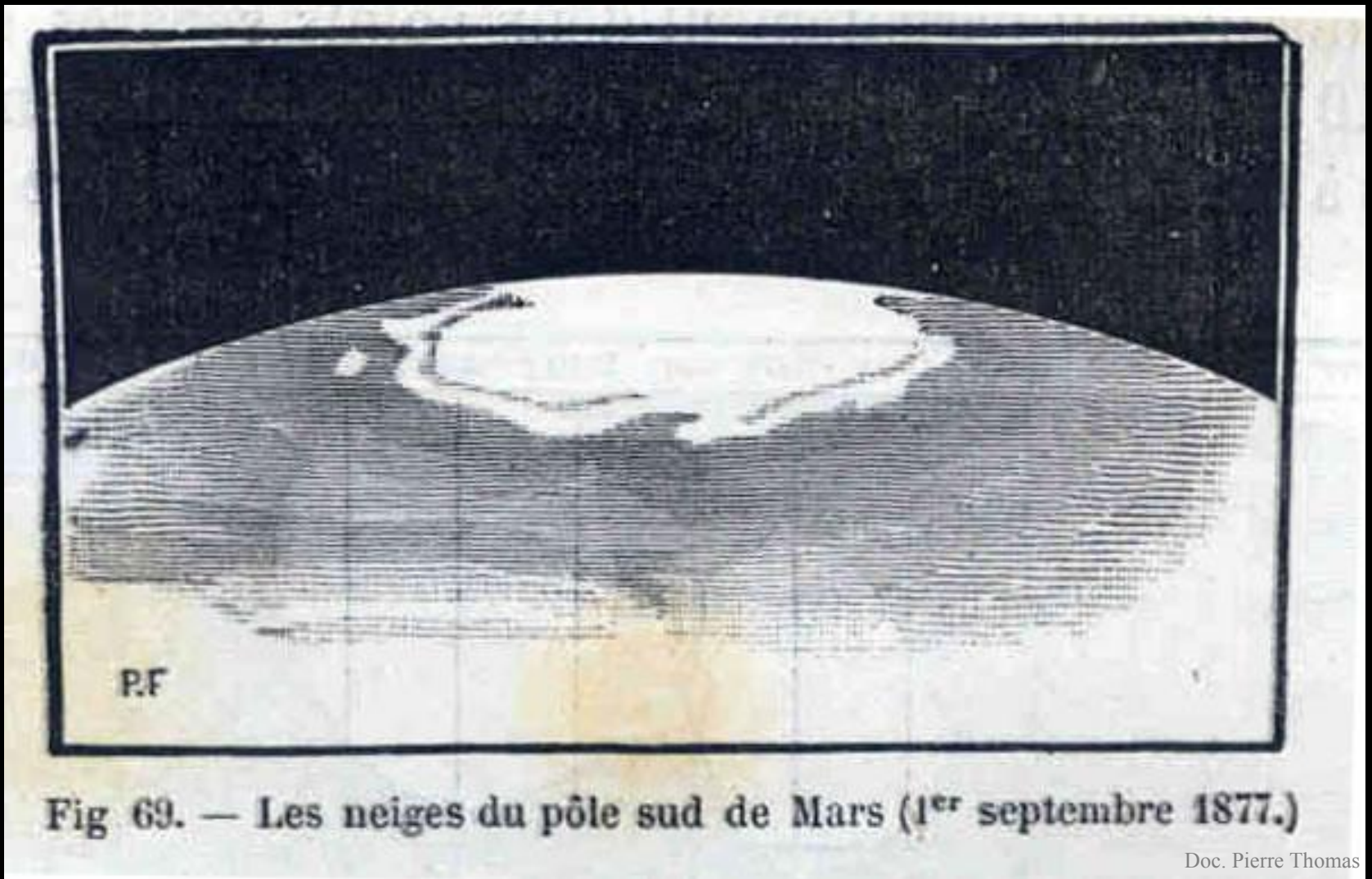


CASSINI 1666

Doc. Pierre Thomas

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

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

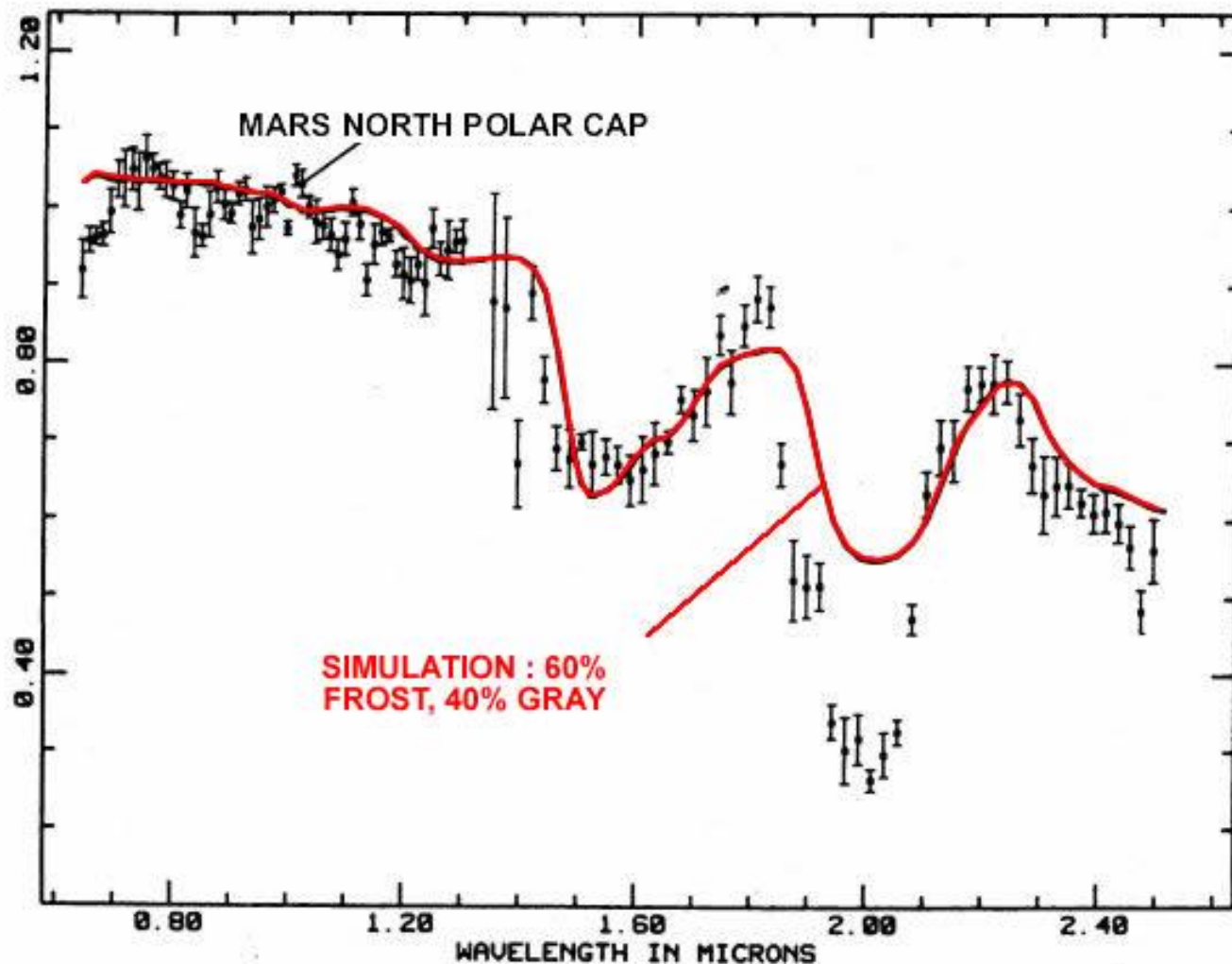


Depuis le 19^{ème} siècle, on étudie ces calottes en détail. Elles changent de taille avec les saisons.



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

**H₂O est
identifiée
pour la 1^{ère}
fois en
1964,
maintes fois
confirmée
depuis,
comme ici
en 1982 : la
calotte nord
est faite de
glace d'eau!**



Reflection spectrum of the retreating north polar cap ($L_s = 50$) derived from observations by McCord et al. (1982) along with a laboratory spectrum for a mixture of 60% H₂O frost mixed with 40% gray material. From Clark and McCord (1982b).

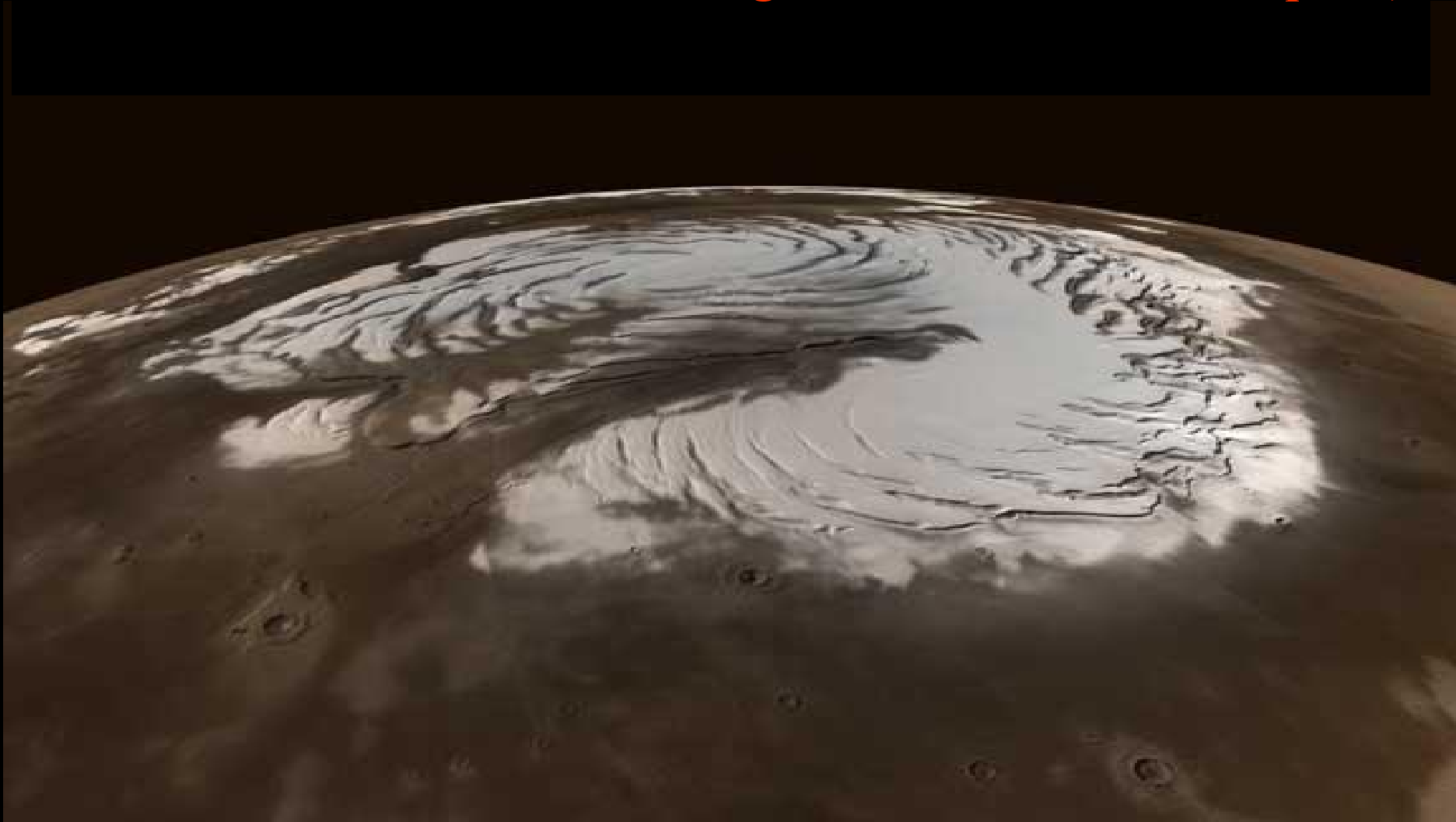


Où trouve-t-on
 H_2O sur Mars ?

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**

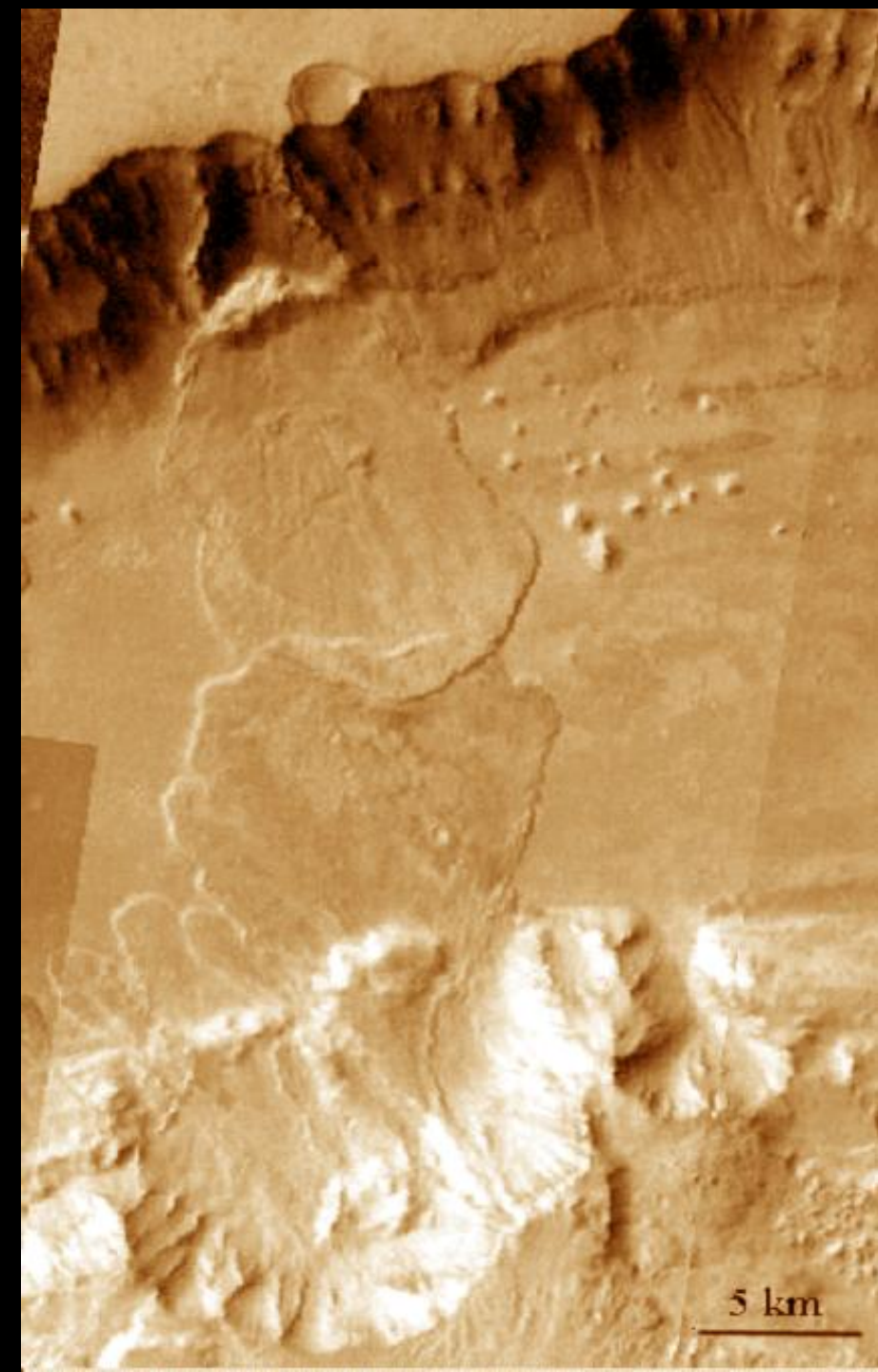
Dans l'atmosphère



**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**

An aerial photograph of a geological landscape, likely a coastal or riverine area. The terrain is characterized by light-colored, sandy or silty deposits, possibly mudflows or landslides, which are visible as large, irregular, and somewhat lobate shapes. These features are set against a darker, more textured background of land or water. A scale bar in the bottom right corner indicates a length of 5 km.

5 km

Mars

400 m
437 yards

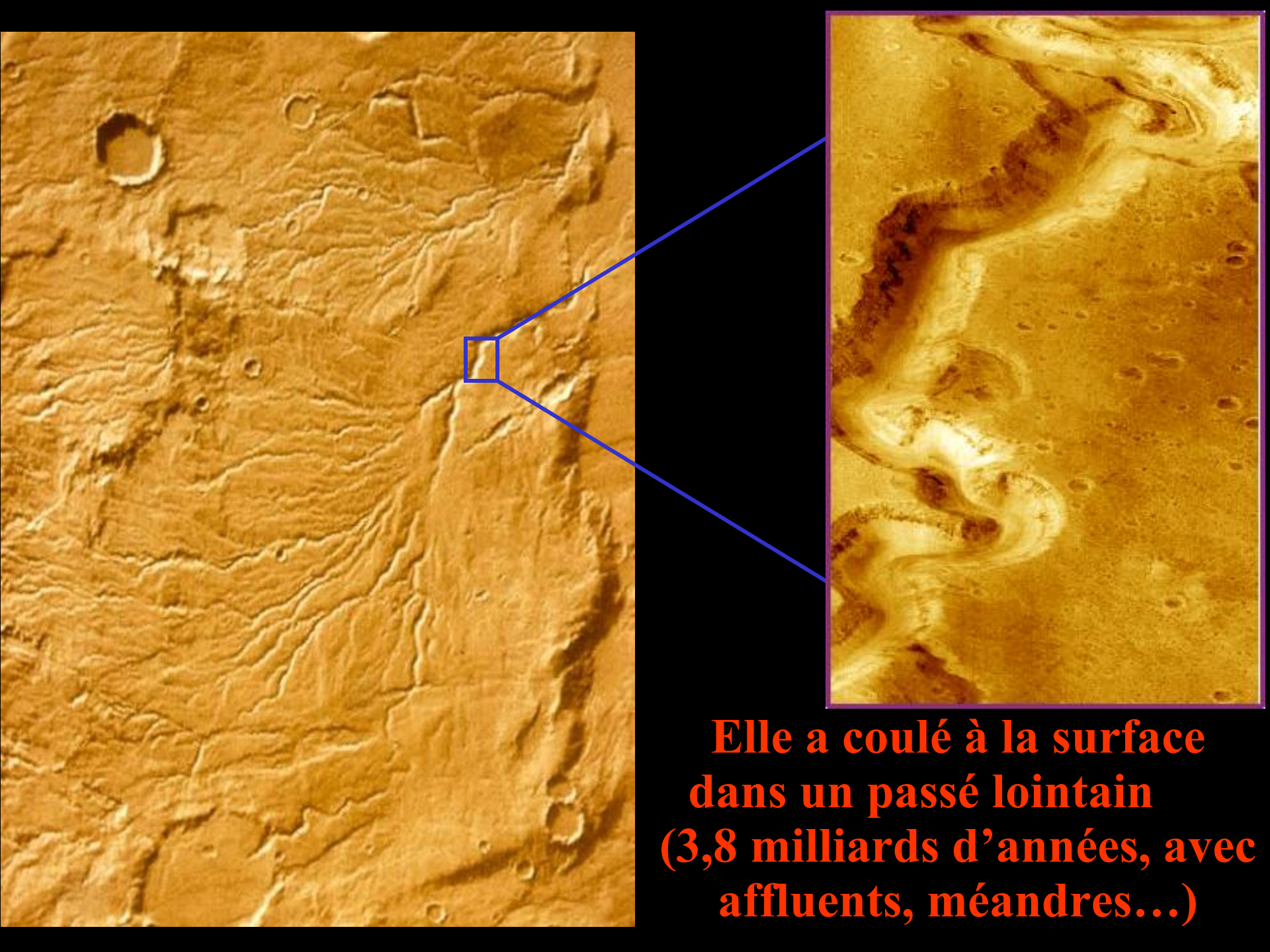
Terre

Elle a gelé et dégelé en surface

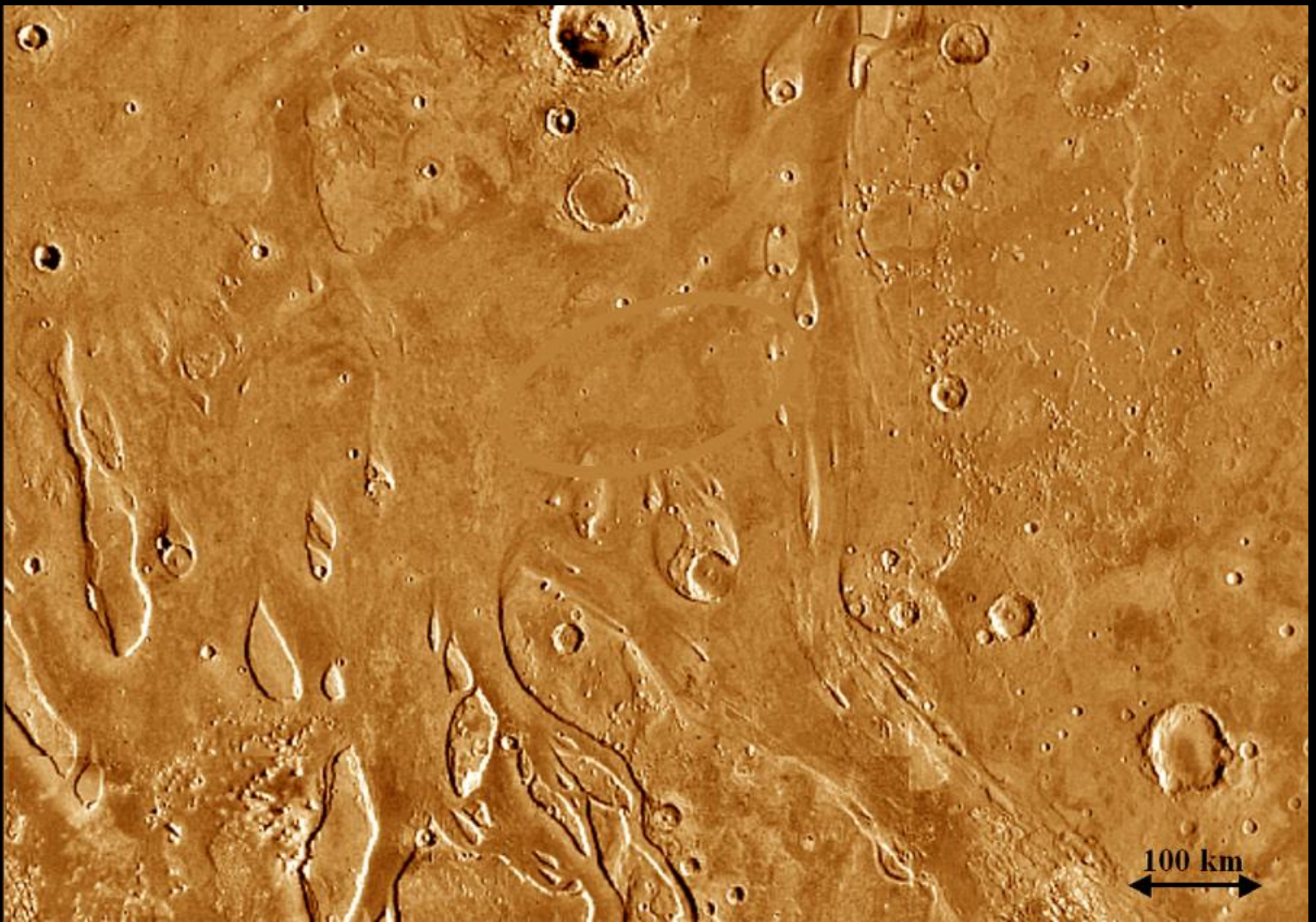


50 m

Photo Pierre Thomas



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



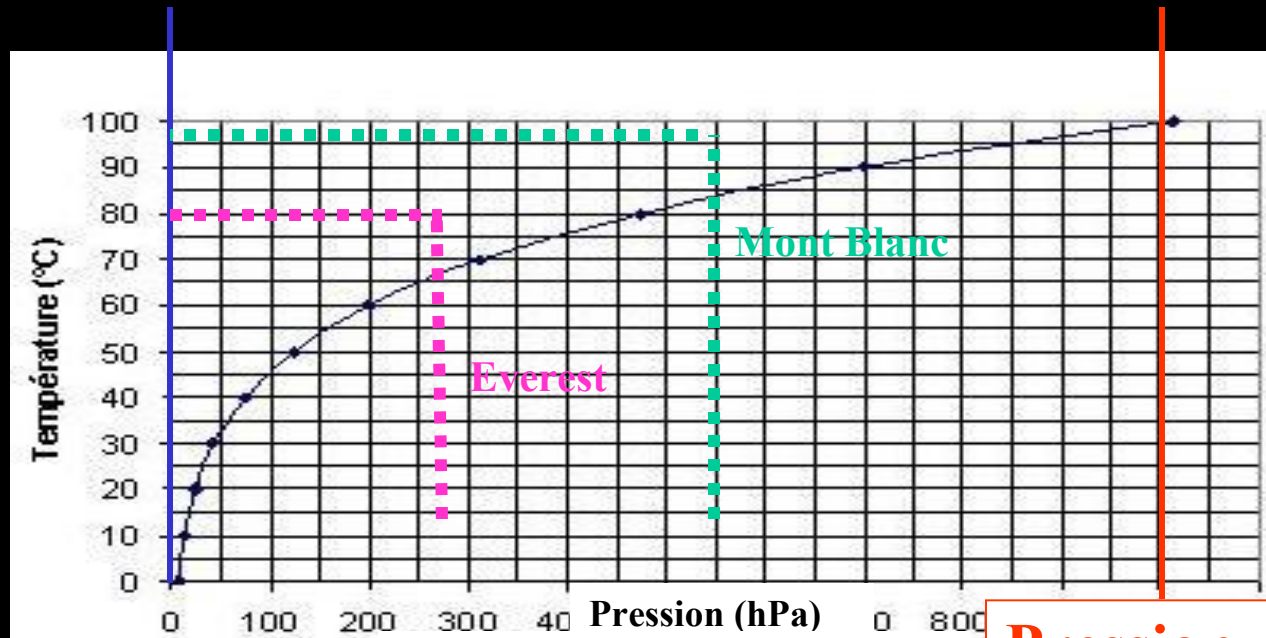
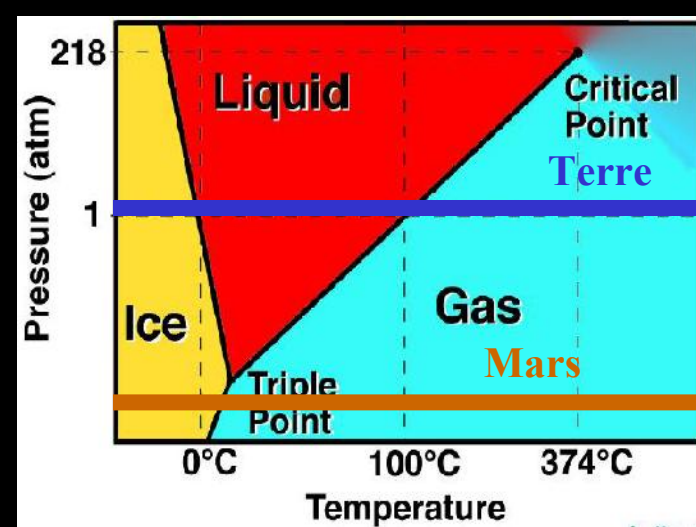
Dans un passé moins lointain, des débâcles ont fait des réseaux de vallées très larges, avec estuaires, îles ...

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°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 !

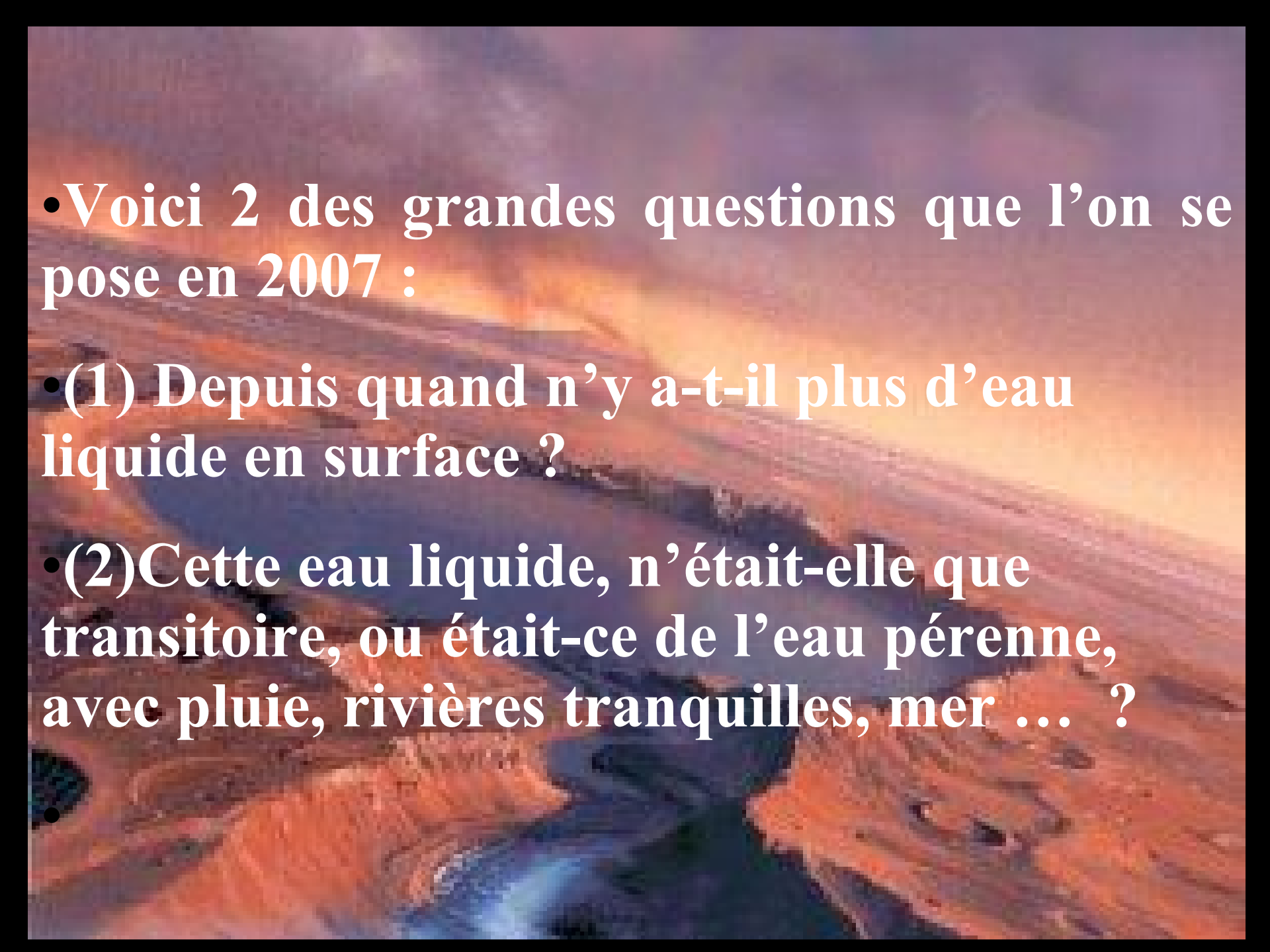
Les traces d' H_2O liquide doivent dater d'une époque où P et T étaient plus élevées.



Pression
sur Mars

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

Pression
sur Terre



- 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 ...**



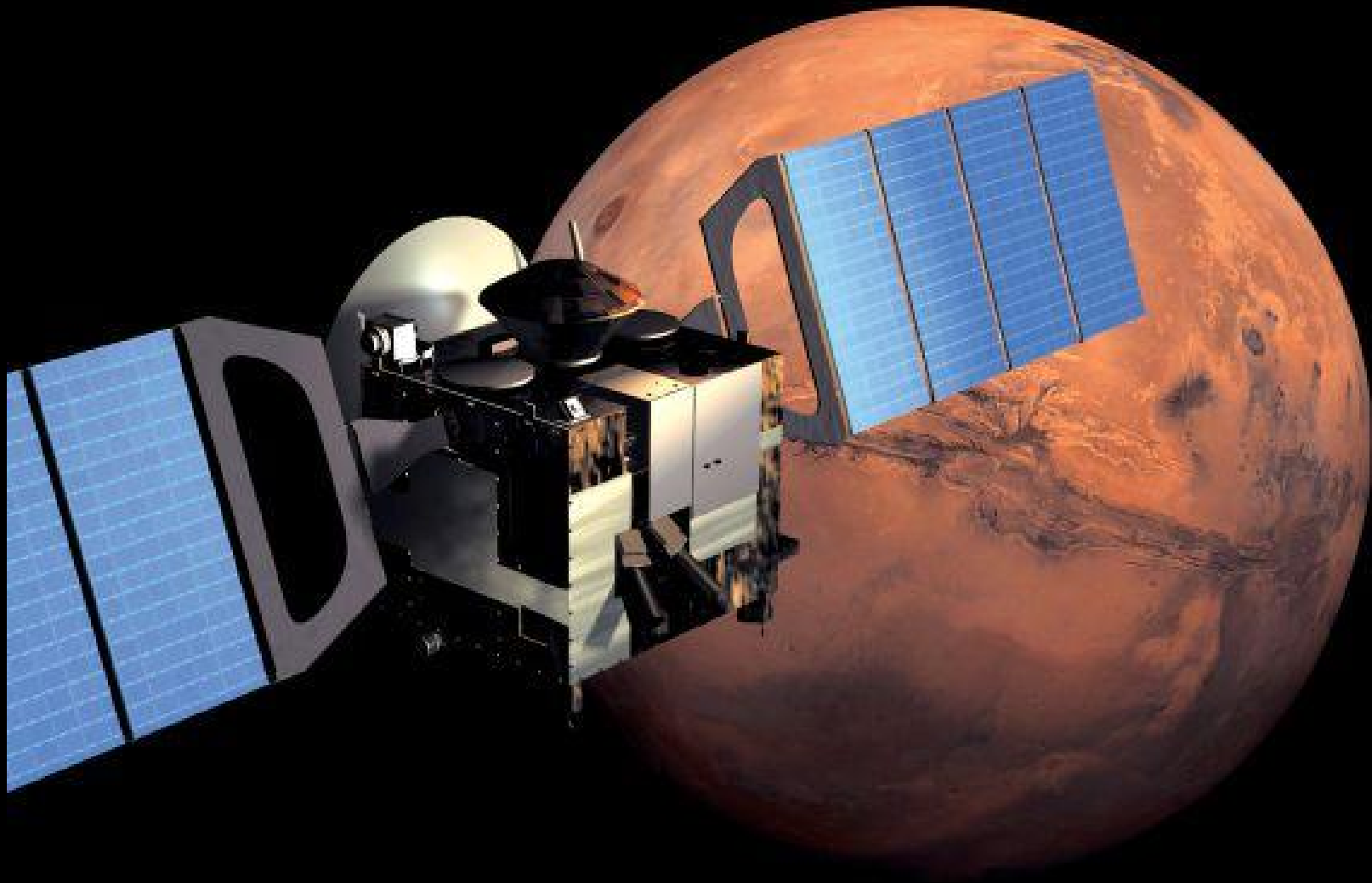
Voici 2 des grandes questions que l'on se pose en 2007 :

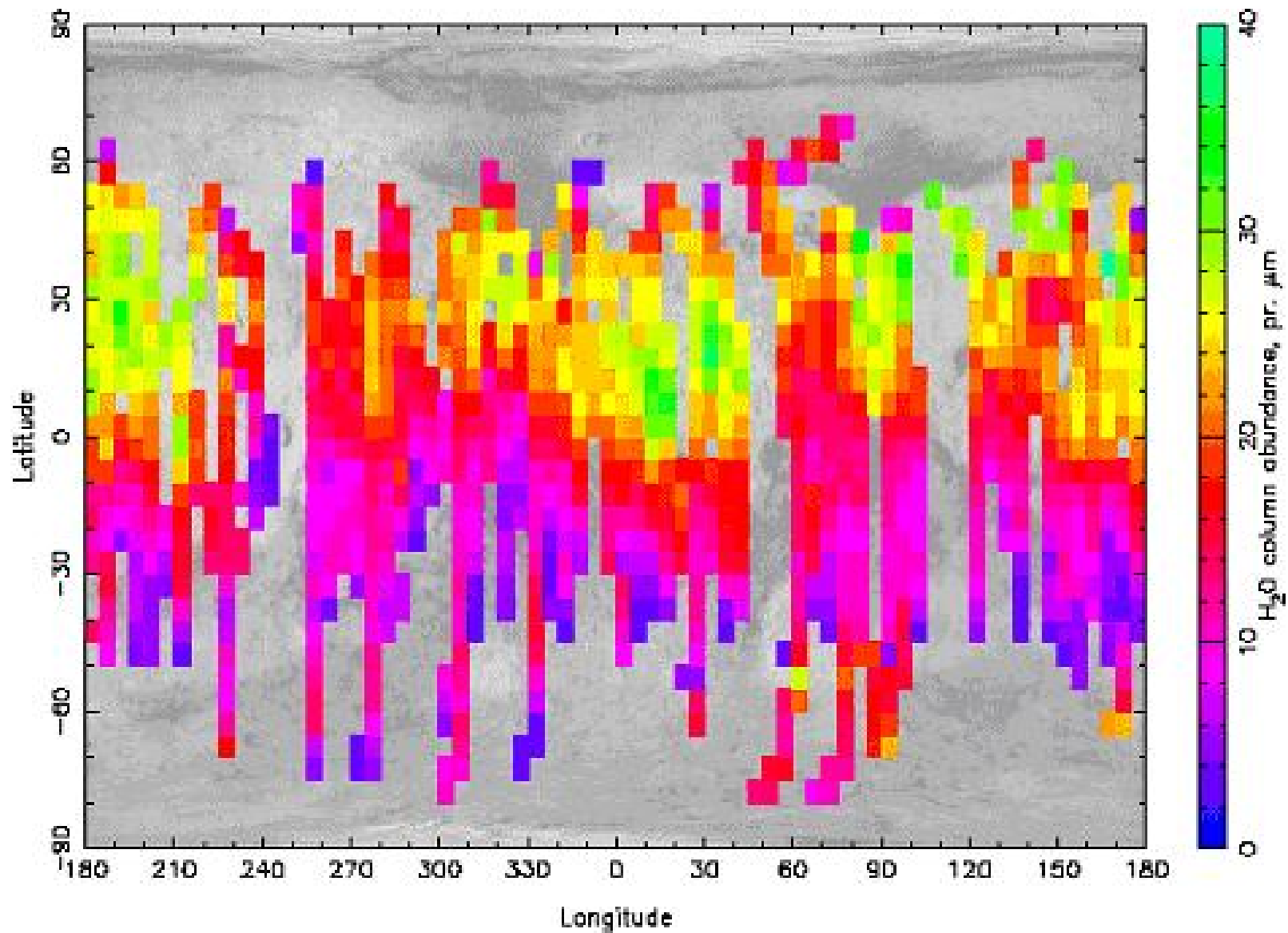
- (2) Depuis quand n'y a t'il plus d'eau liquide en surface ?
- (3) Cette eau liquide, n'était-elle que transitoire, ou était-ce de l'eau pérenne, avec pluie, rivières tranquilles, mer ... ?

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





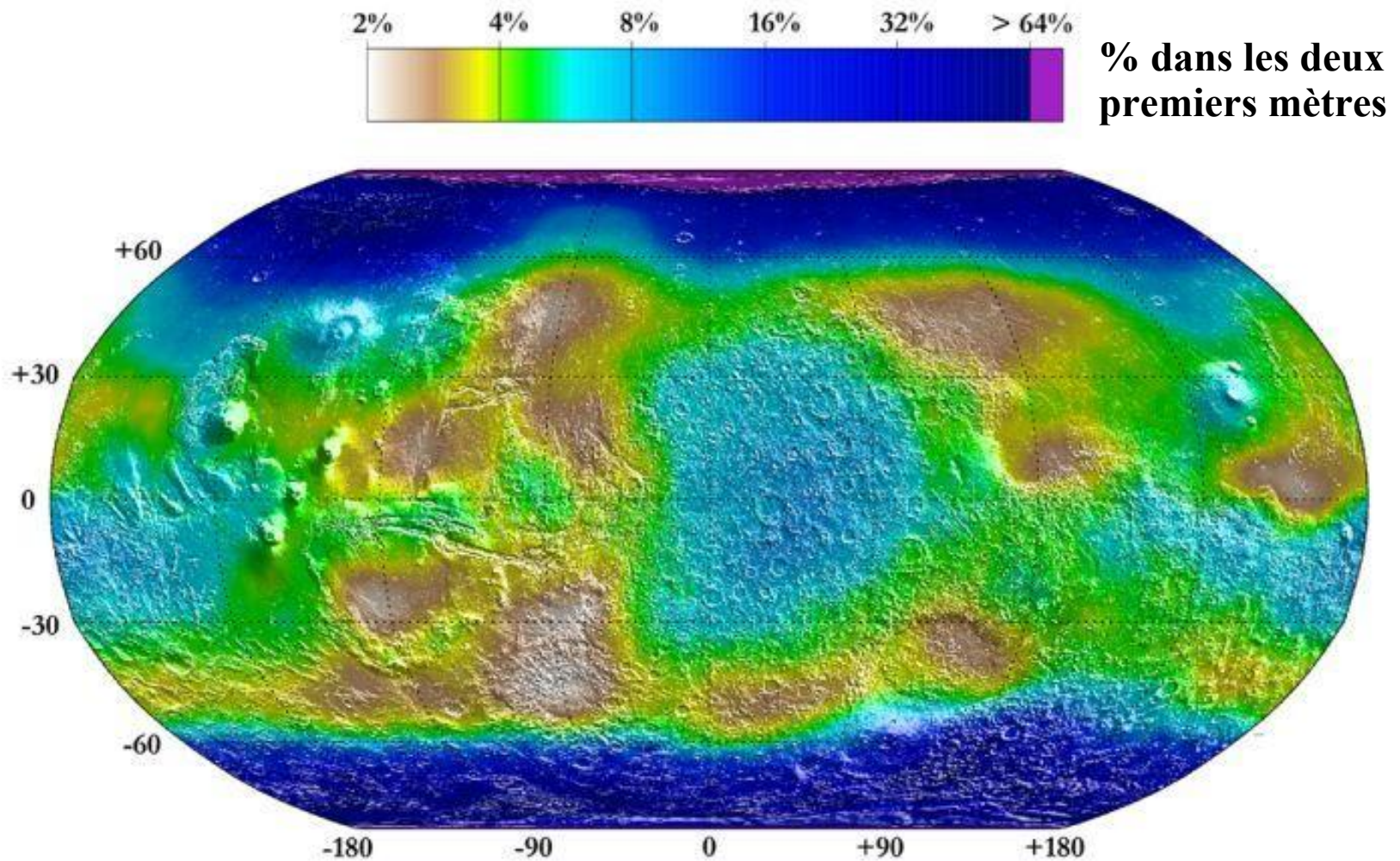
**Il y a de la vapeur d' H_2O dans l'atmosphère,
surtout l'été**



Et dans le sol, quelle quantité de glace ?

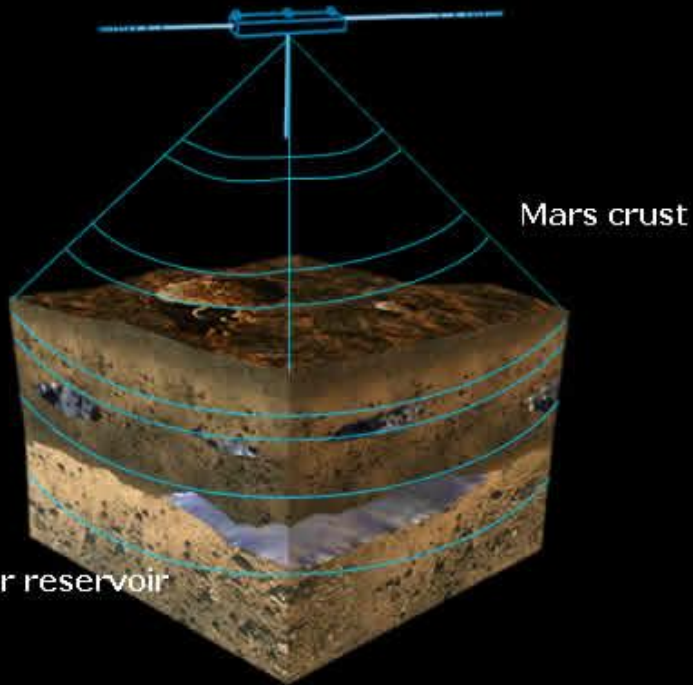
Mars reçoit des rayons cosmiques. Ces rayons arrivent au sol et provoquent des réactions nucléaires. Ces réactions nucléaires fabriquent des neutrons. Si il y a du Deutérium dans le sol, ces neutrons sont ralentis. Il n'y a plus qu'à mesurer la vitesse des neutrons émis par le sol martien pour savoir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

Lower-Limit of Water Mass Fraction on Mars



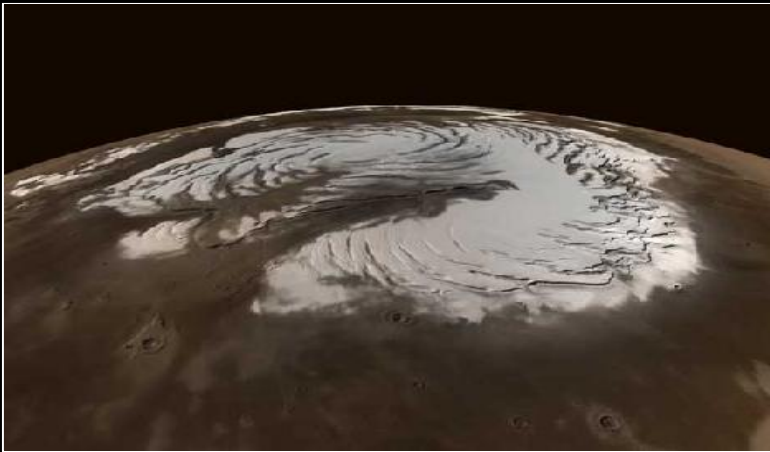
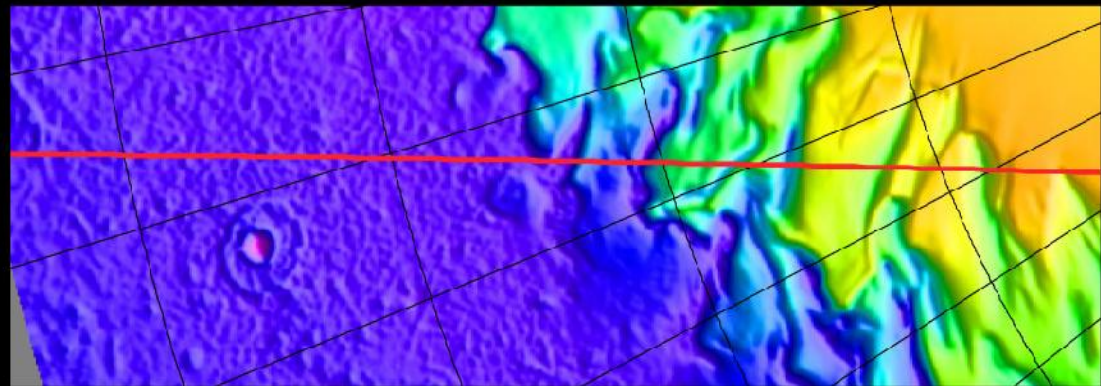
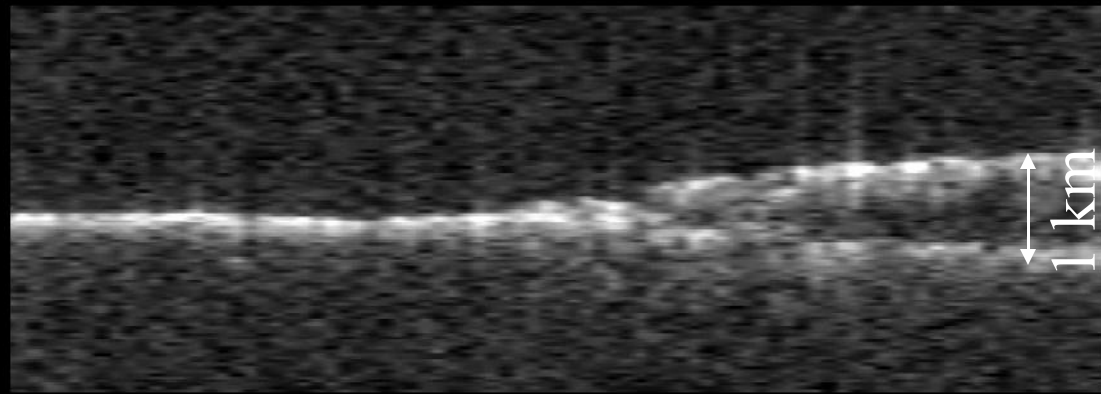
Avec les neutrons, on voit qu'il y a beaucoup d'H₂O (de glace vu la température) dans le sous-sol superficiel, ou du moins beaucoup de Deutérium

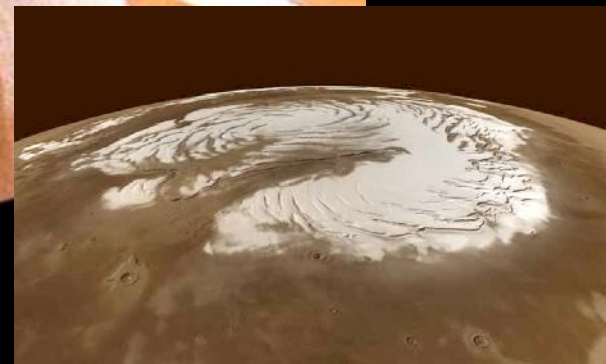
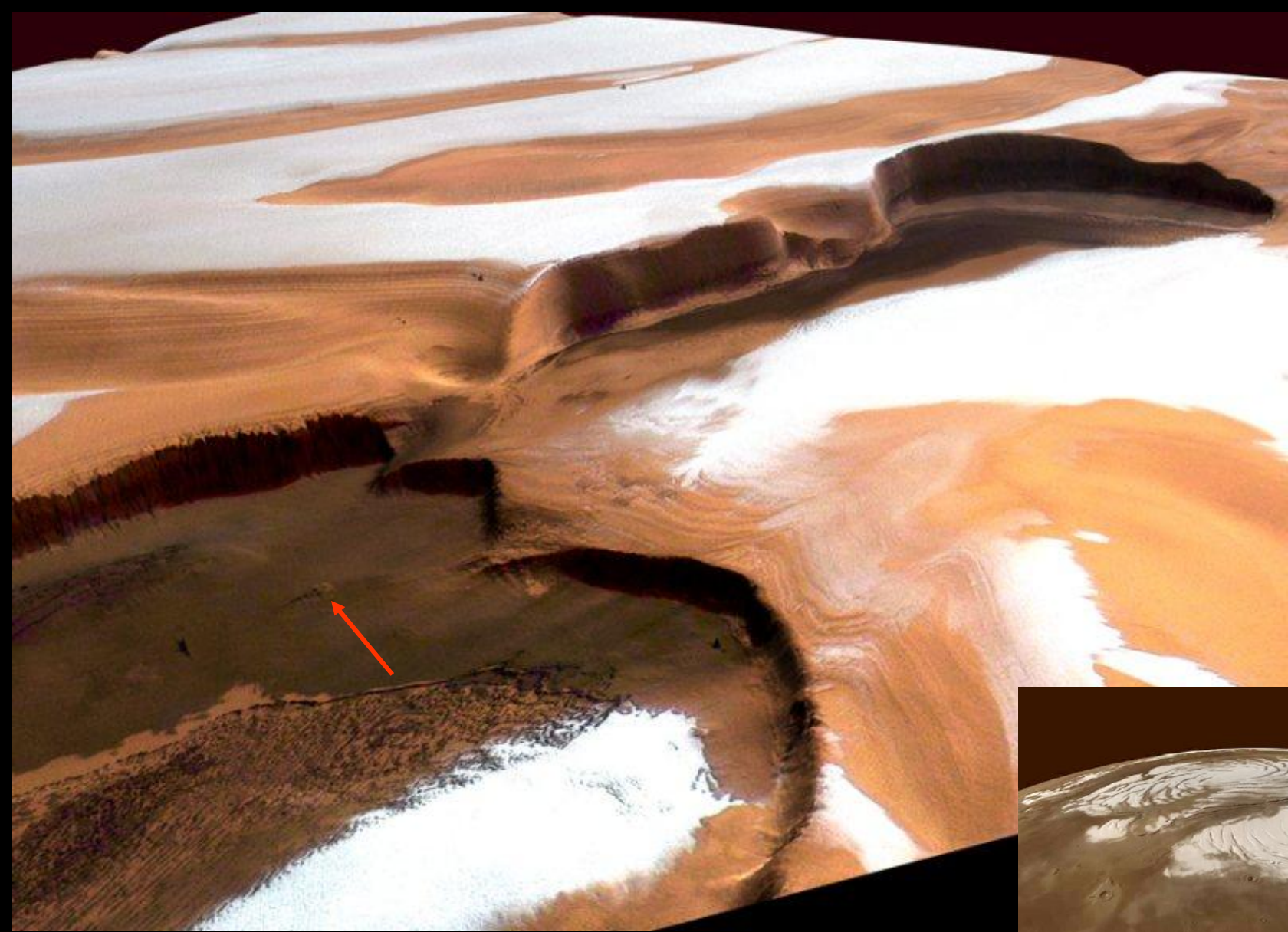
MARSIS antenna beam



Deux sondes possèdent un radar

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

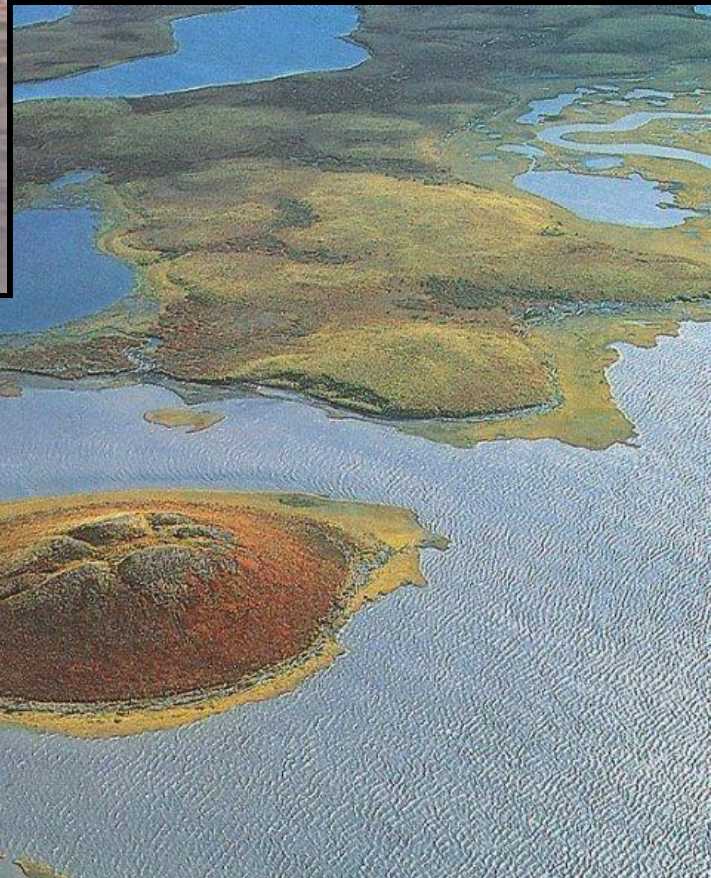




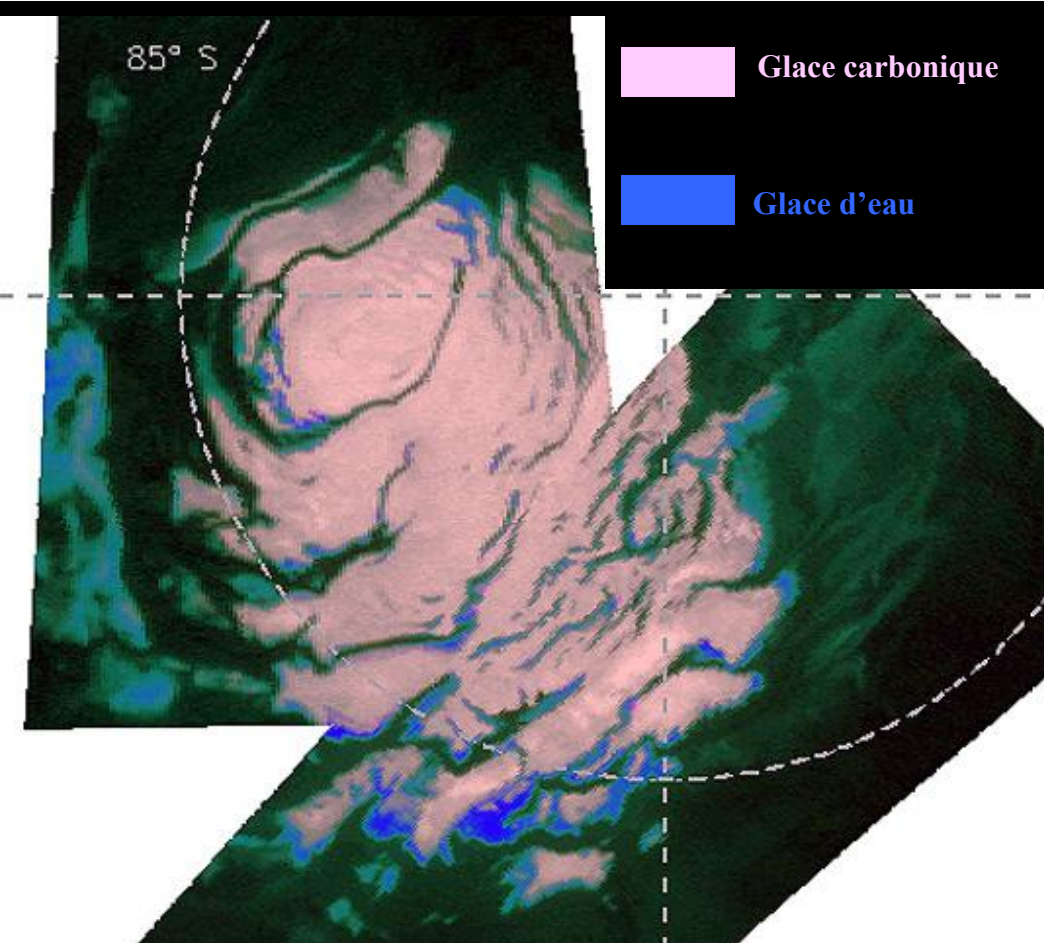
Dans les « chasmas », de drôles de structures



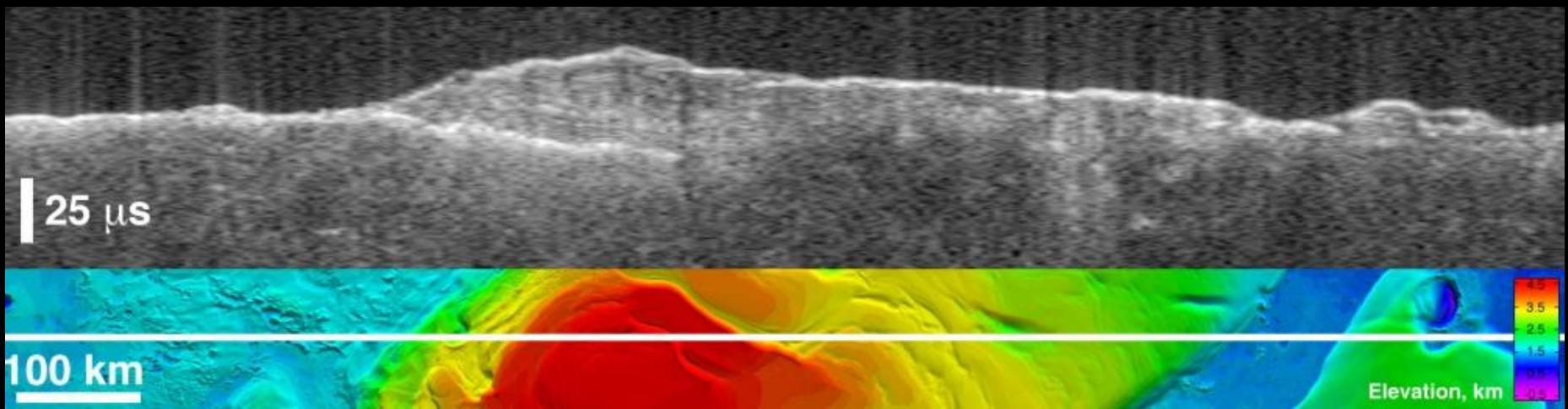
Des petits volcans, ou des ...

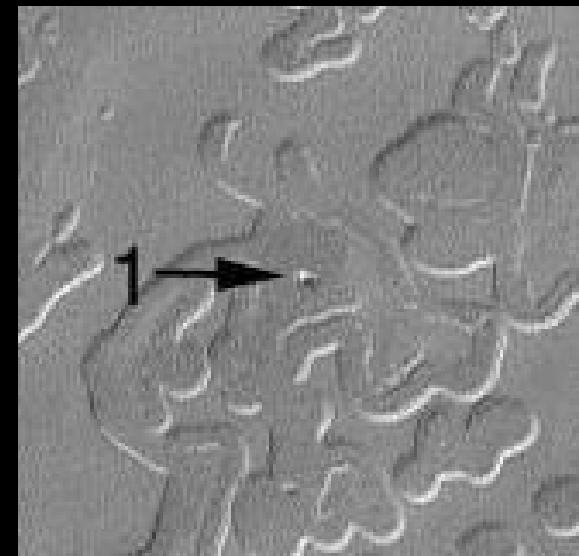
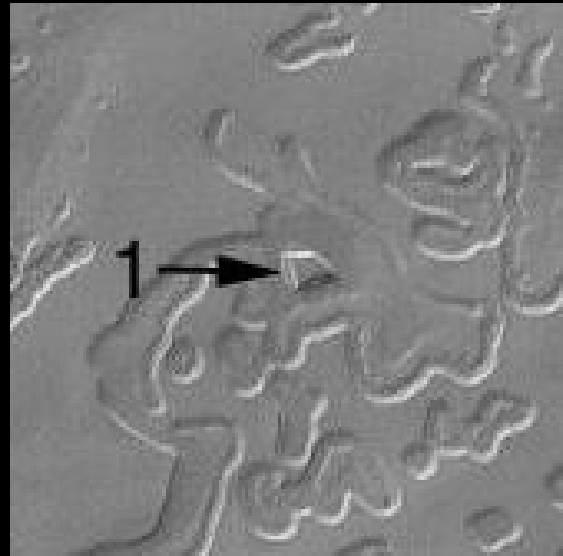
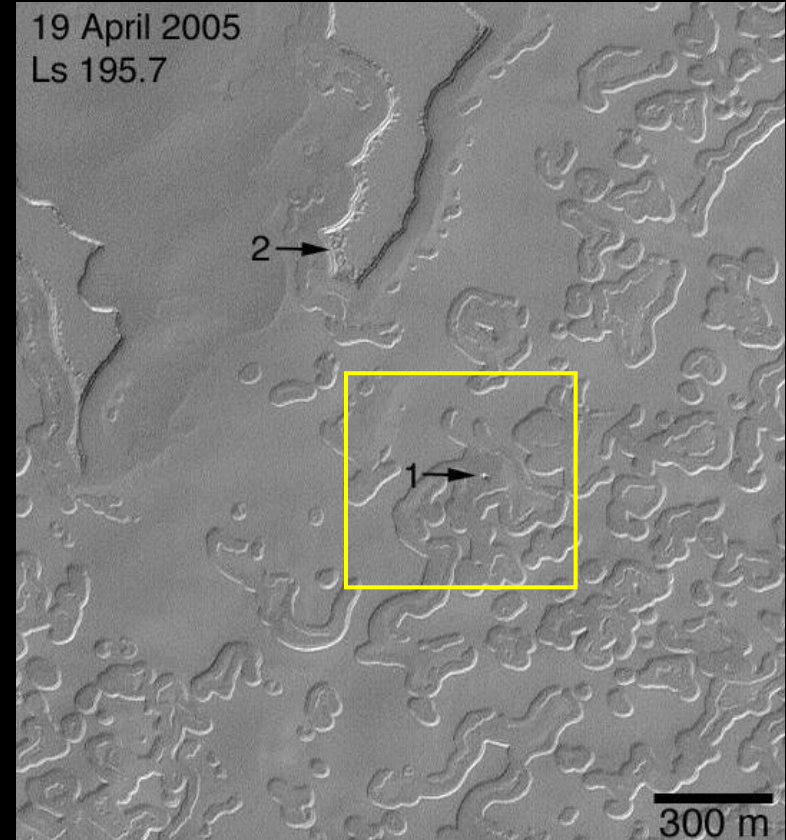
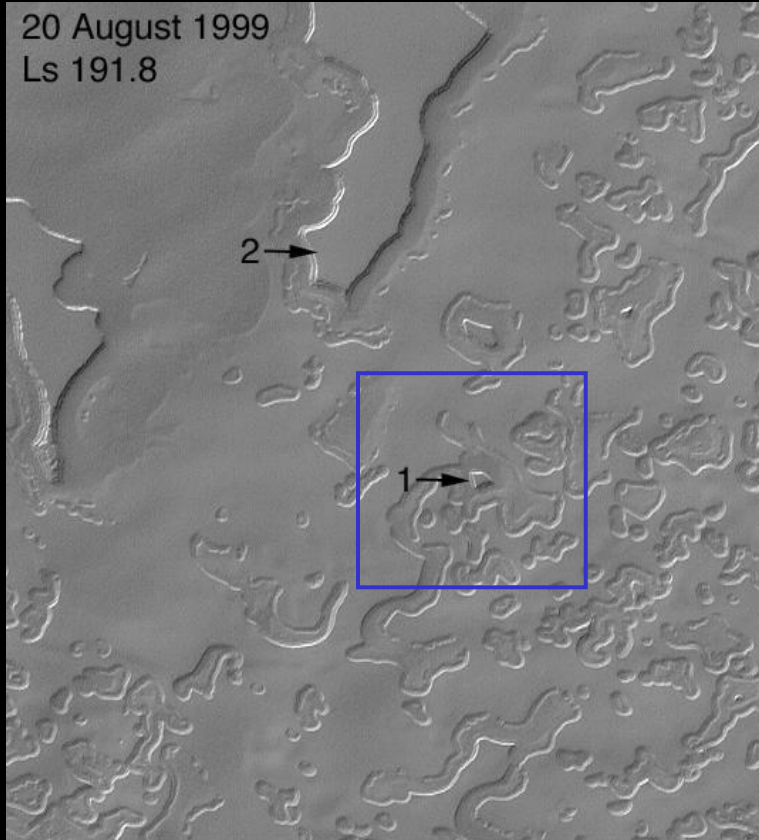


... des pingos ?



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



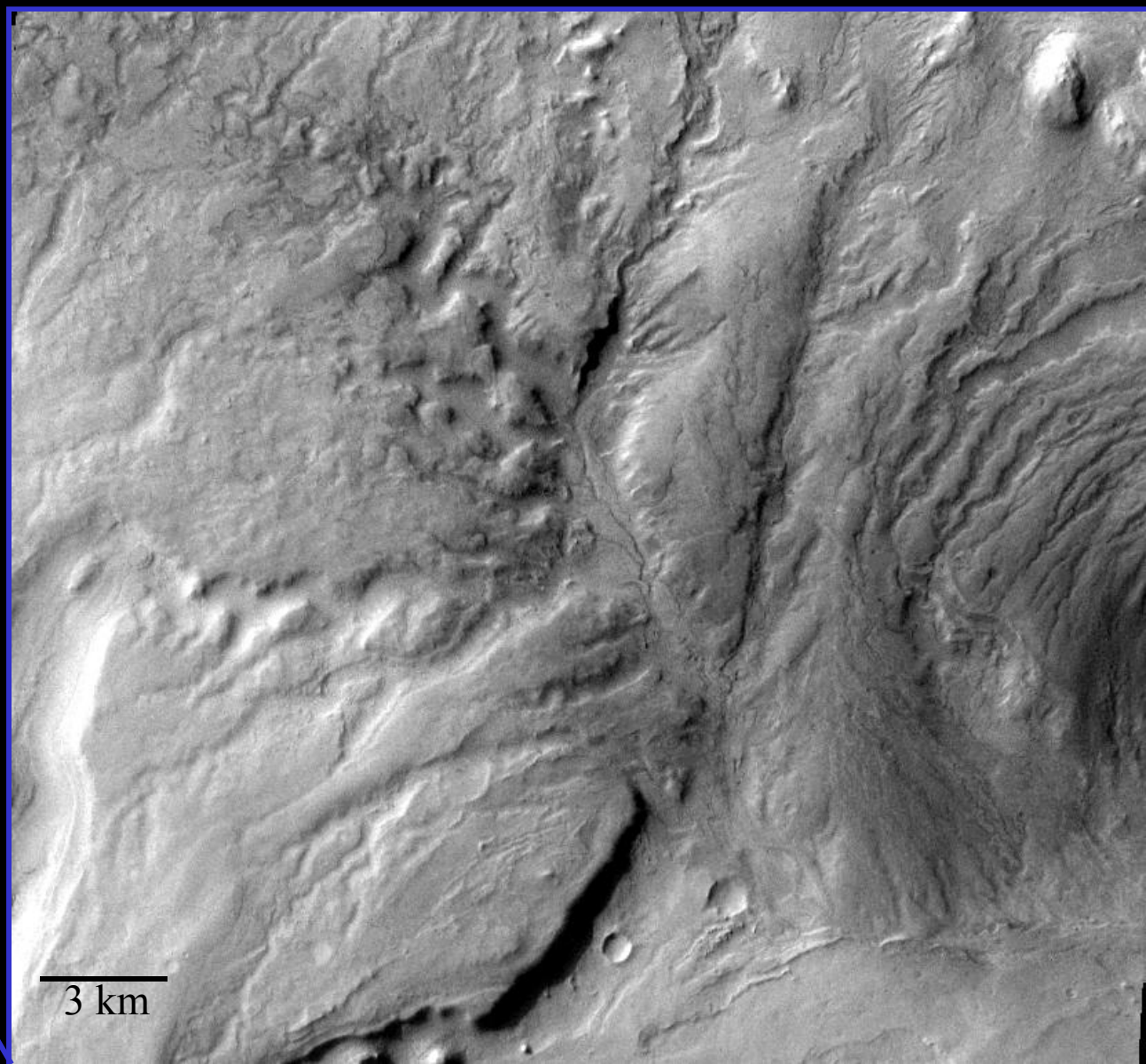
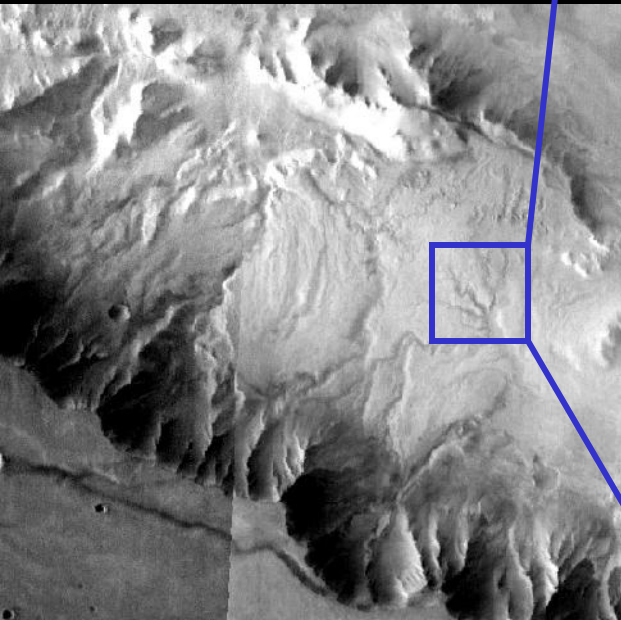


**Deux vues de la calotte
résiduelle Sud, à 3 étés
d'intervalle. On y voit des
figures de sublimation de
la glace carbonique.
Depuis 1999, la sublima-
tion progresse chaque été**

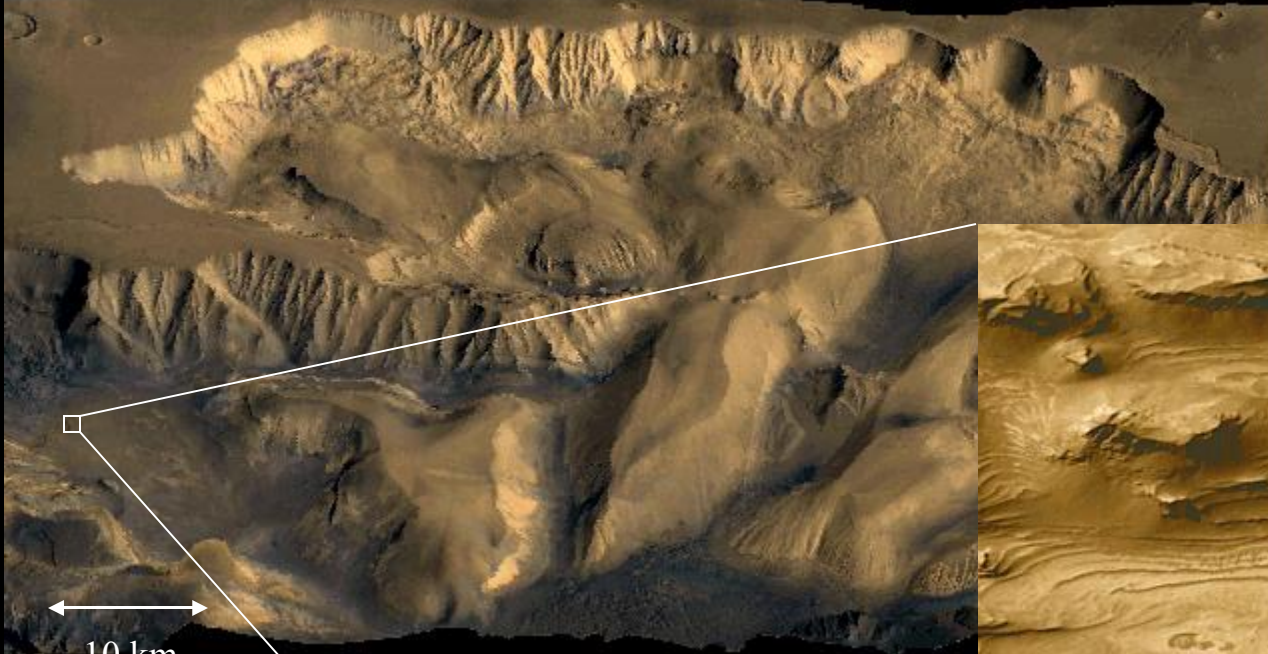


Valles Marineris, due à des grabens et à un « déblayage » par des débâcles hespériennes (3,6 Ga) . Avant, on disait : pas de pluie ni d'eau pérenne après cette époque, seulement des débâcles

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

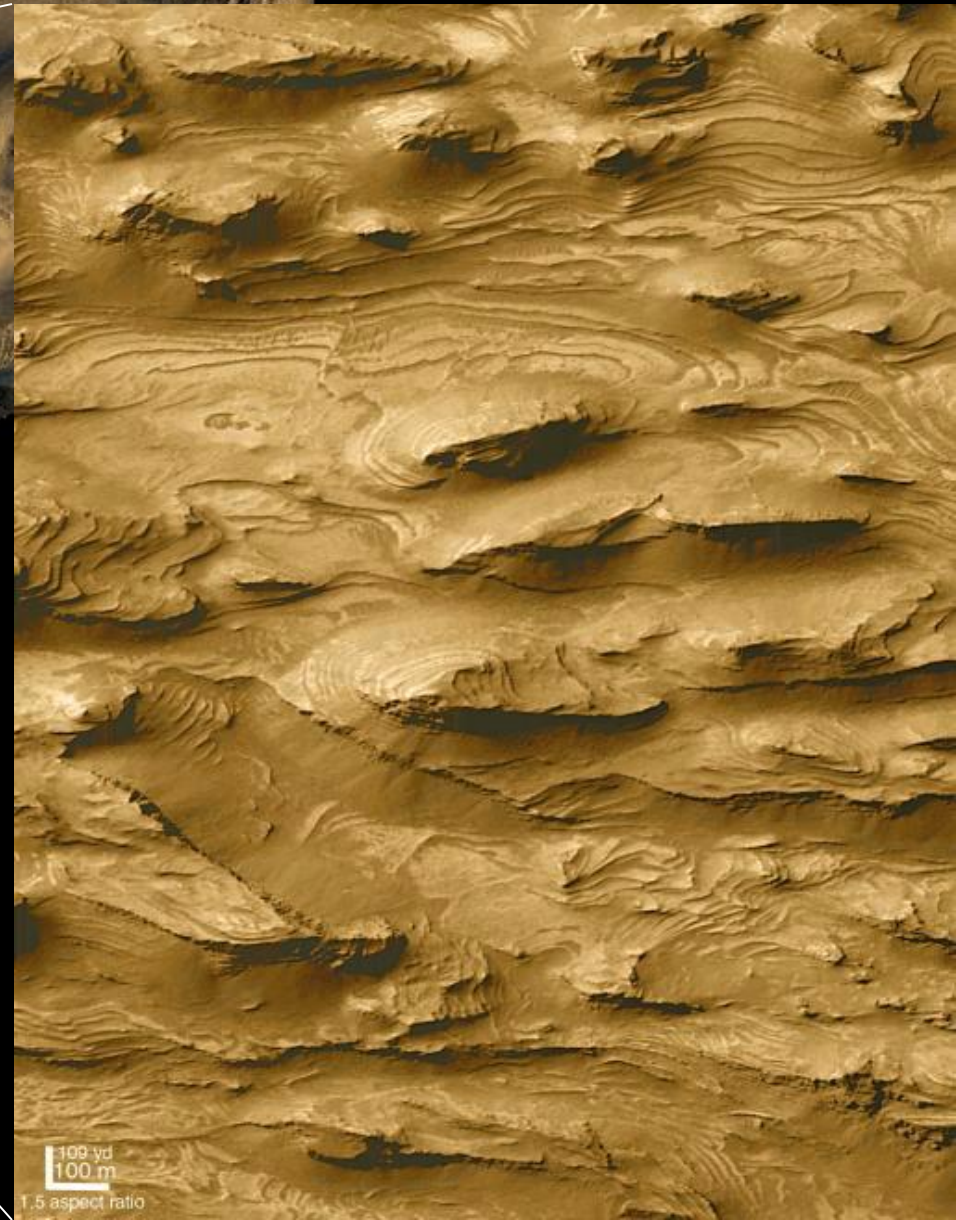


**Il a plu après la formation de Valles
Marineris, jusque vers 3,3 Ga**



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

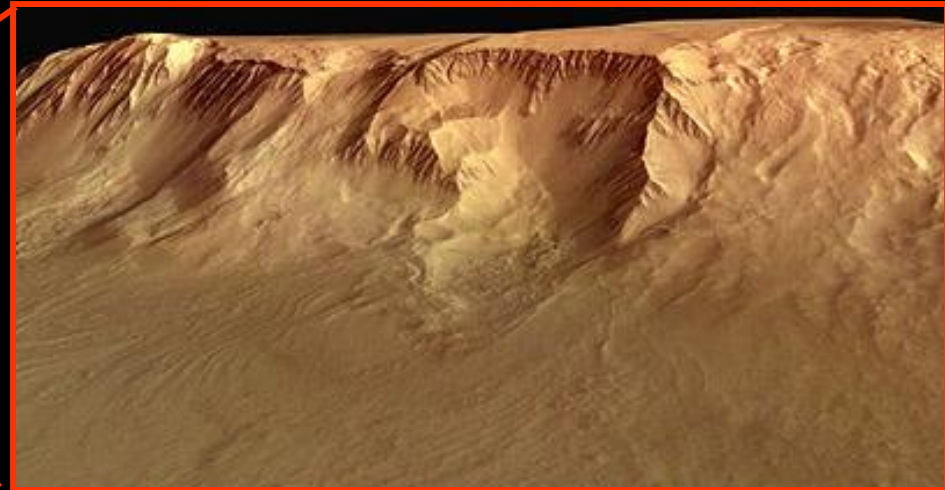
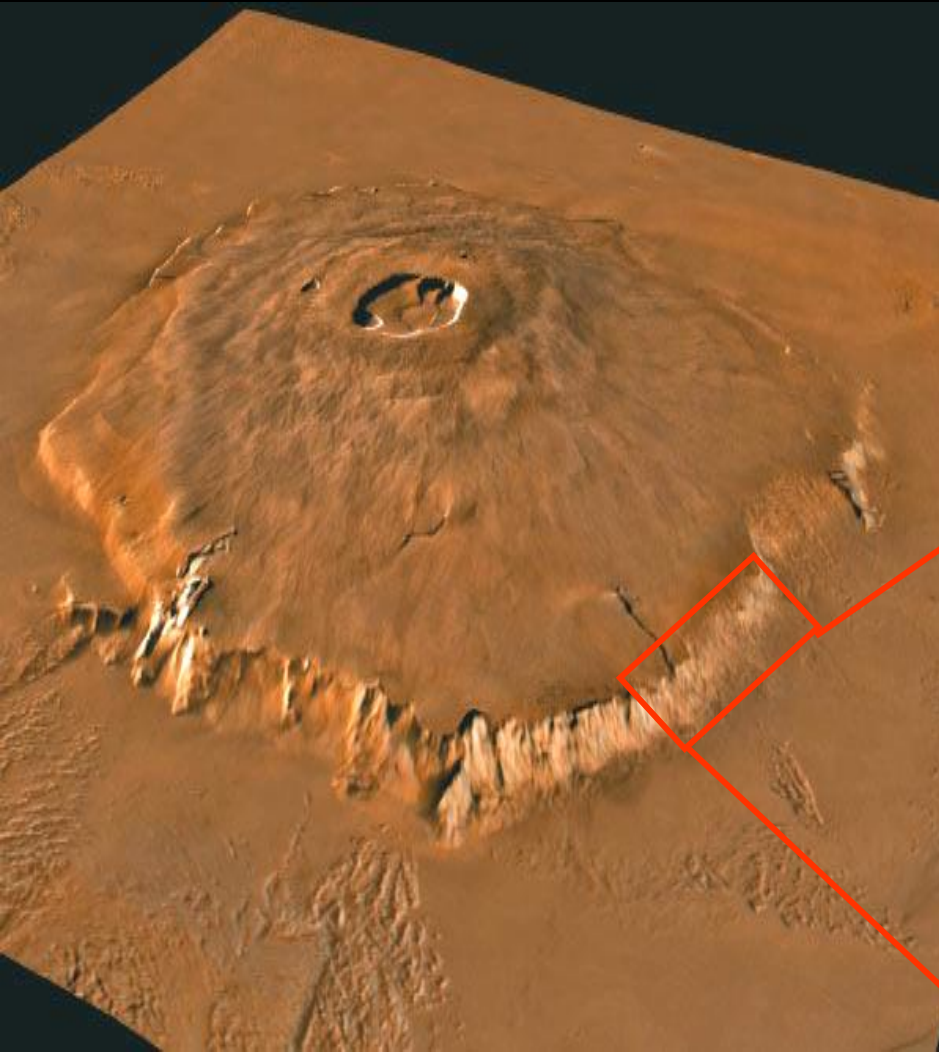


100 yd
100 m

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)**





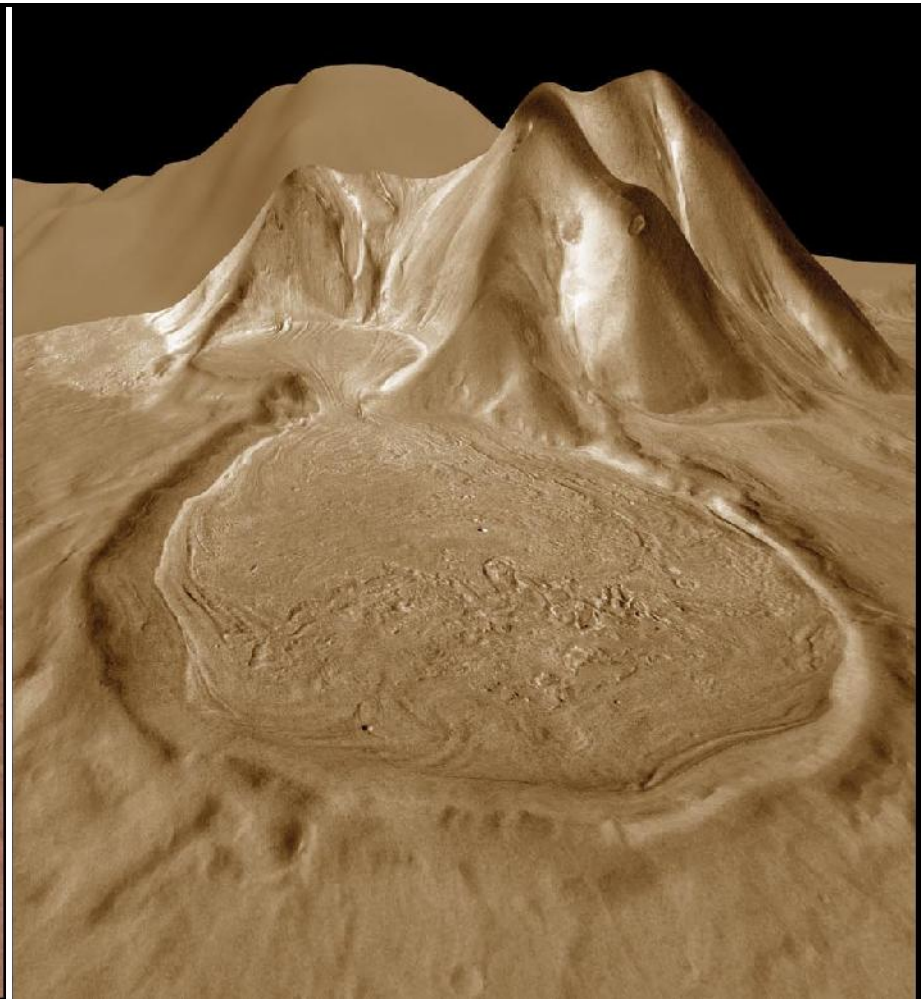
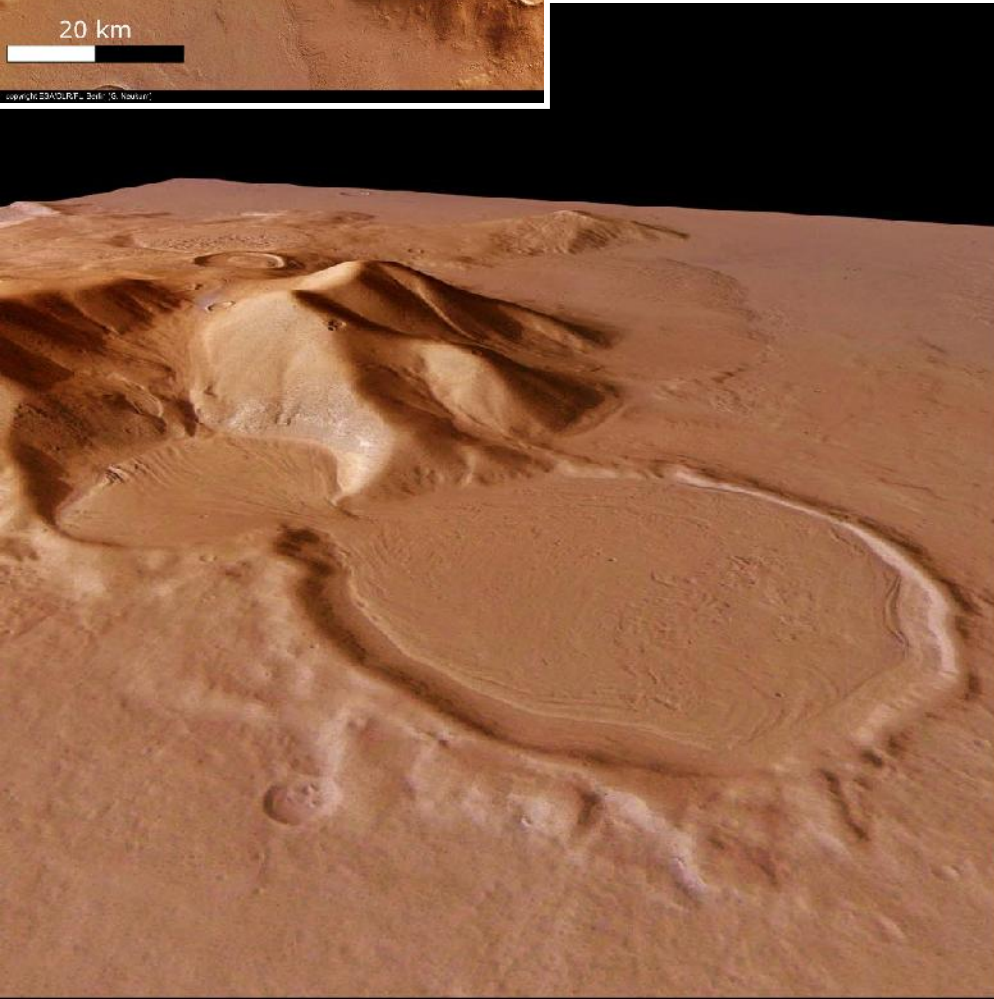
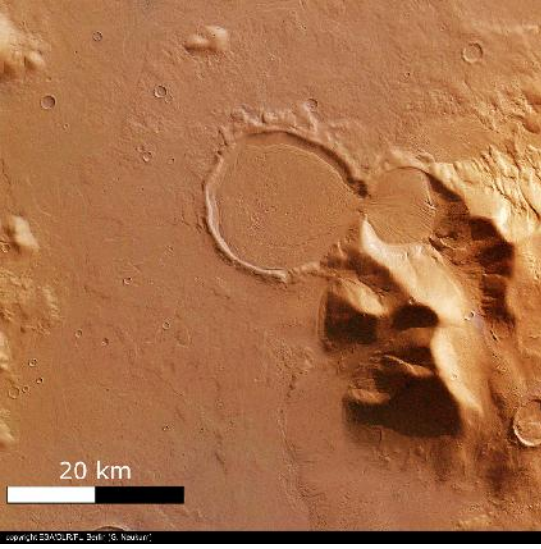
Flancs d'Olympus Mons

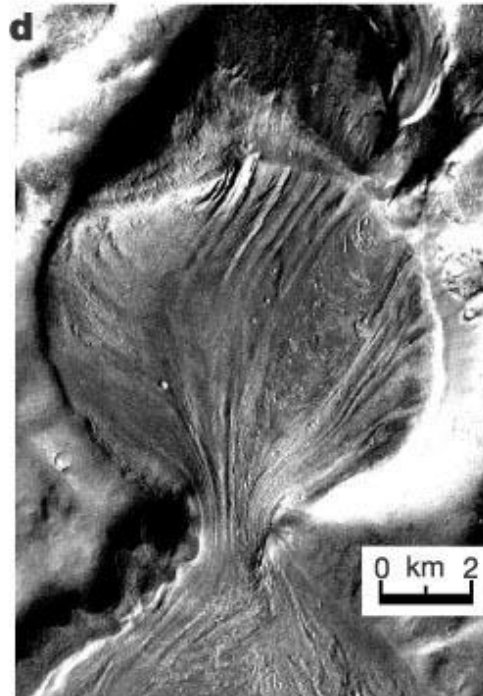
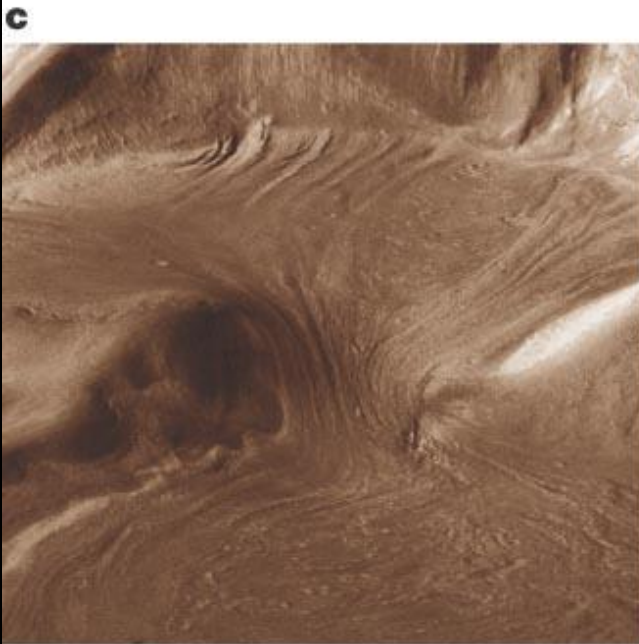
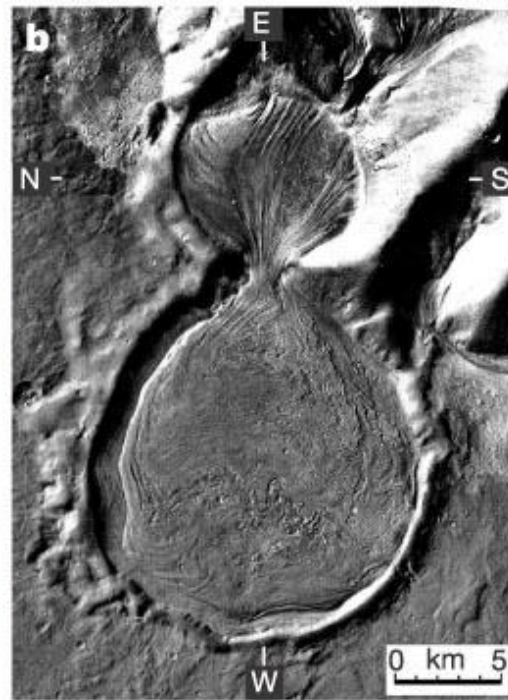
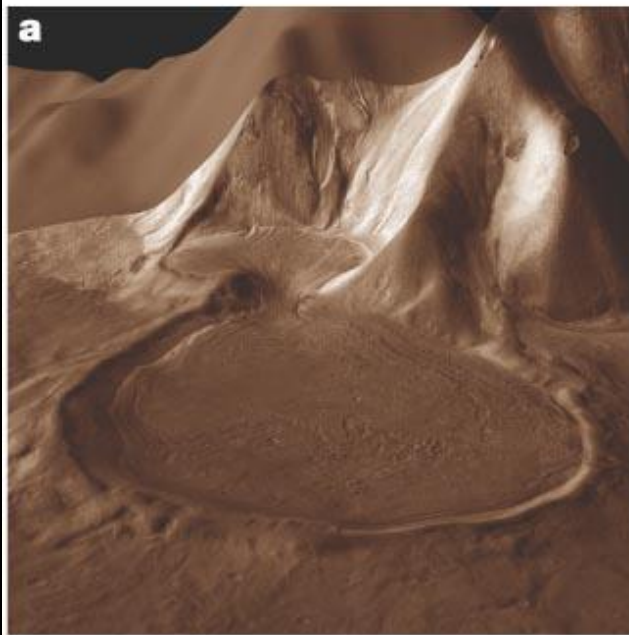


Flancs d'une
montagne antarctique

**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**

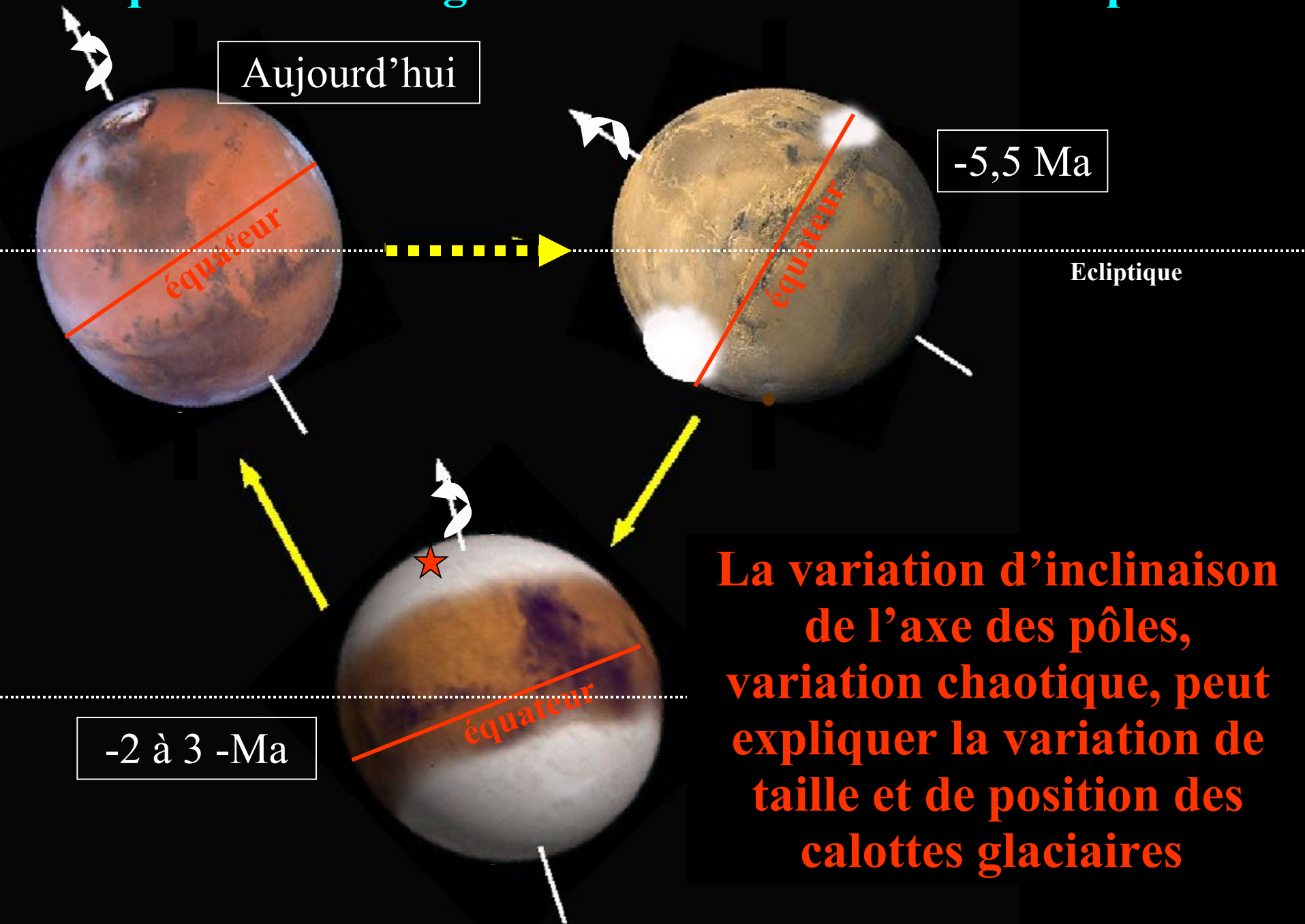


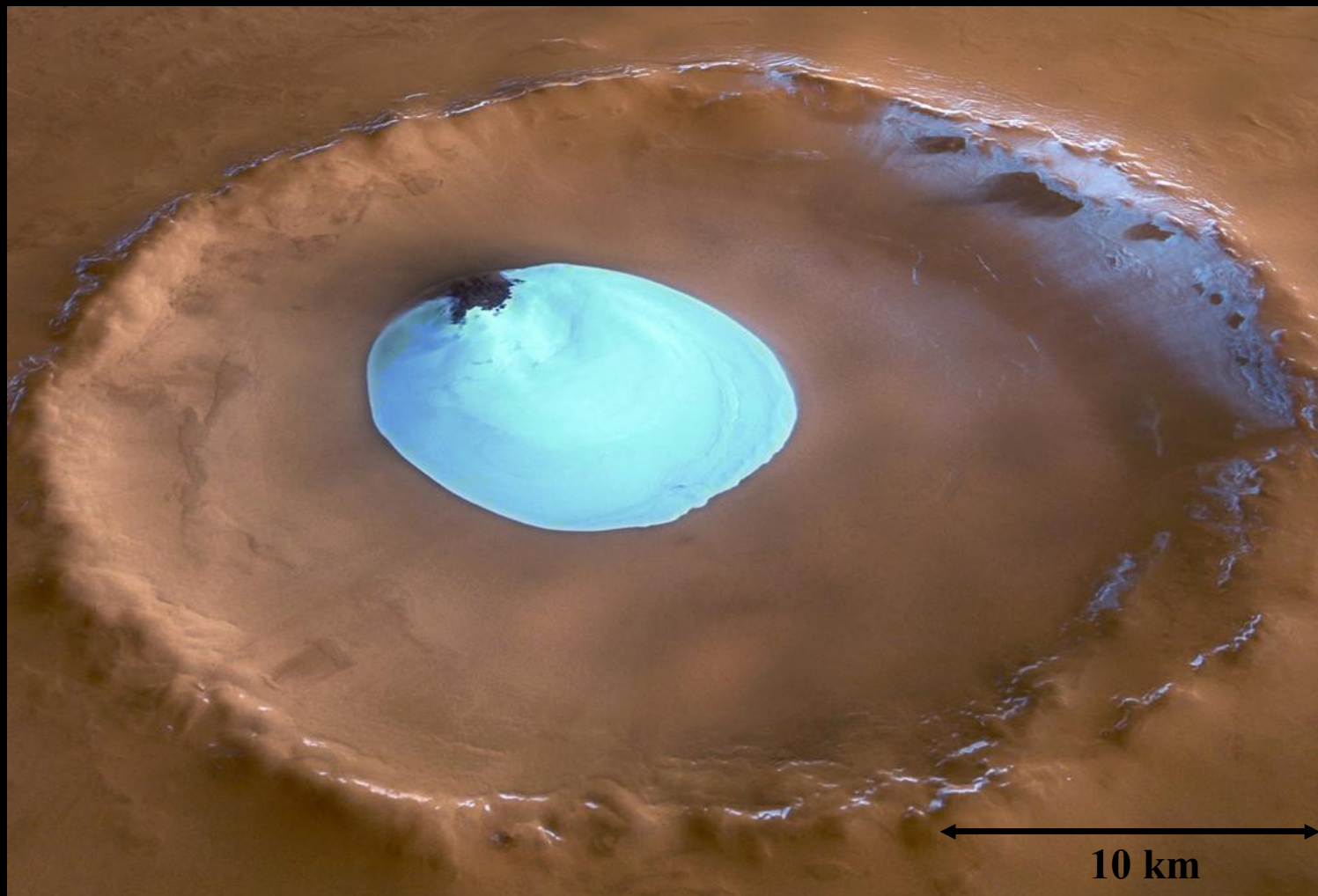
Autre glacier de la région de Reuil Vallis



Une possible analogie terrestre

Pourquoi d'anciens glaciers dans les zones intertropicales ?

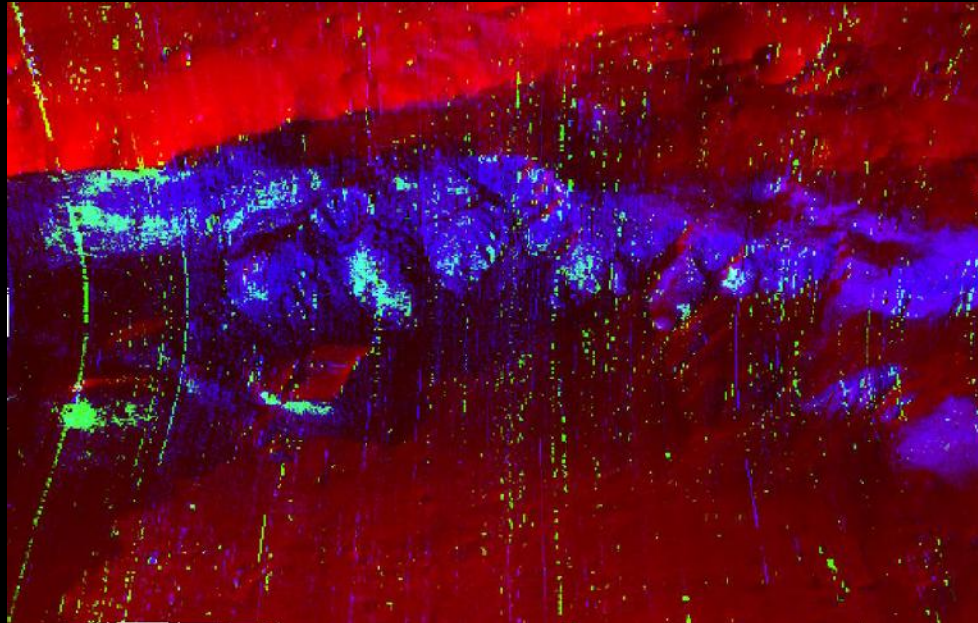




Et voici, au fond d'un cratère (70° N) un reste « permanent » de cette « calotte transitoire ». Noter que comme tous les versants « à l'ombre » l'hiver, ses flancs Nord sont recouverts de givre ou de neige.



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



Roche



Glace d' H_2O



Glace
carbonique

Dernière nouvelle (1^{er} 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.



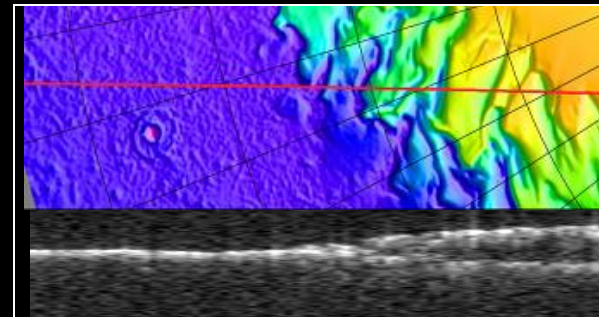
[+ Larger image](#)

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^{er} novembre 2007)

IMAGES	MULTIMEDIA	NEWS	MISSIONS	PUBLIC SERVICES	KIDS	EDUCATION	ABOUT JPL
TOP STORIES		News Releases					
NEWS RELEASES		Mars Express Probes Red Planet's Unusual Deposits November 01, 2007					
FEATURE STORIES		<p>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.</p> <p>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.</p>					
SPOTLIGHTS							
PROFILES							
MISSION FACT SHEETS							
MISSION PRESS KITS							
MEDIA VISITS							
MEDIA CONTACTS							
NEWSLETTERS							
ANNUAL REPORTS							
Receive JPL news + Free Public E-mail + RSS feed							

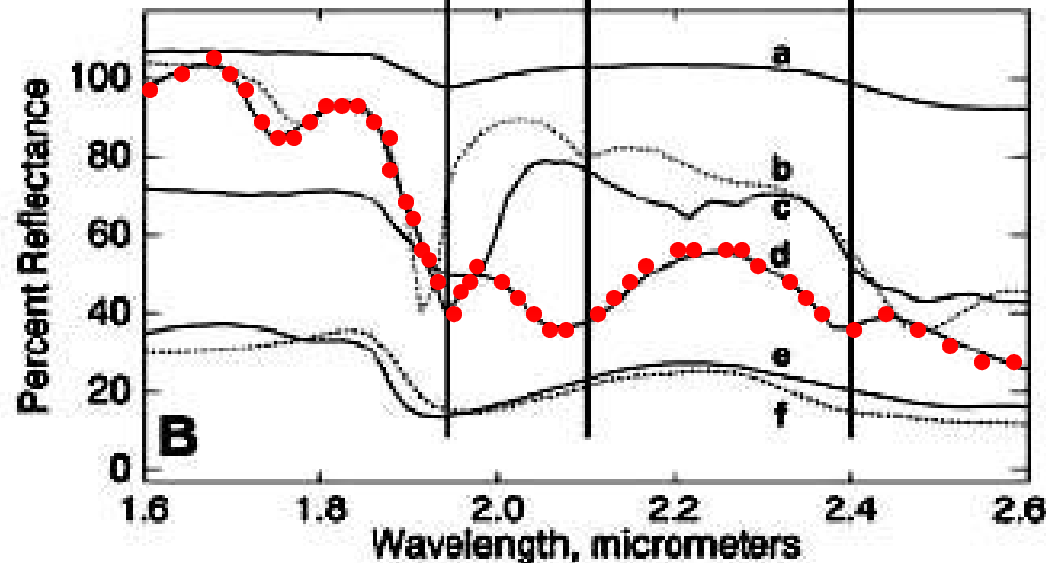
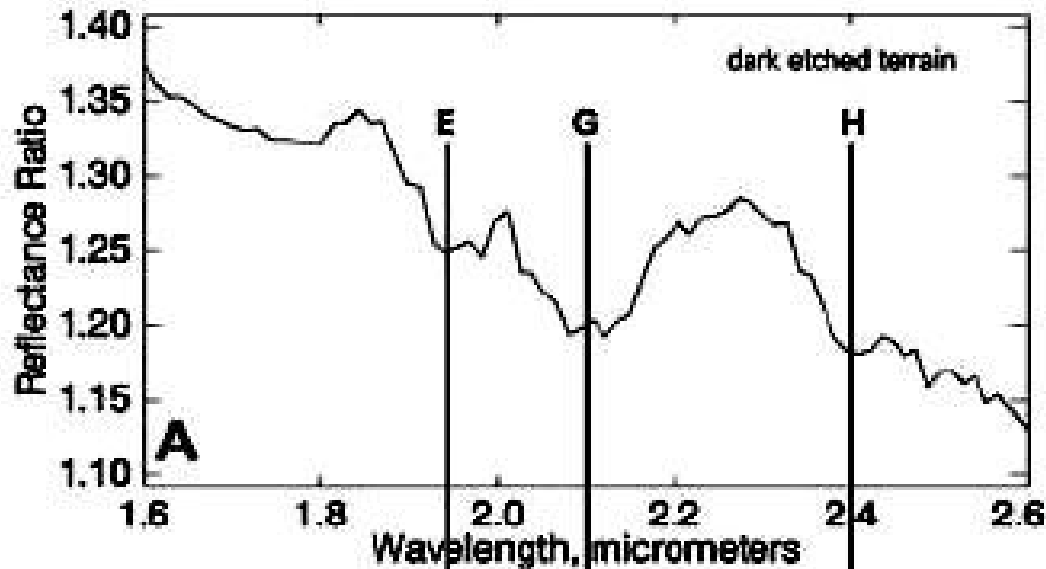


[+ Larger image](#)

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 (BaSO_4)

b = bassanite ($\text{CaSO}_4, 0,5\text{H}_2\text{O}$)

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

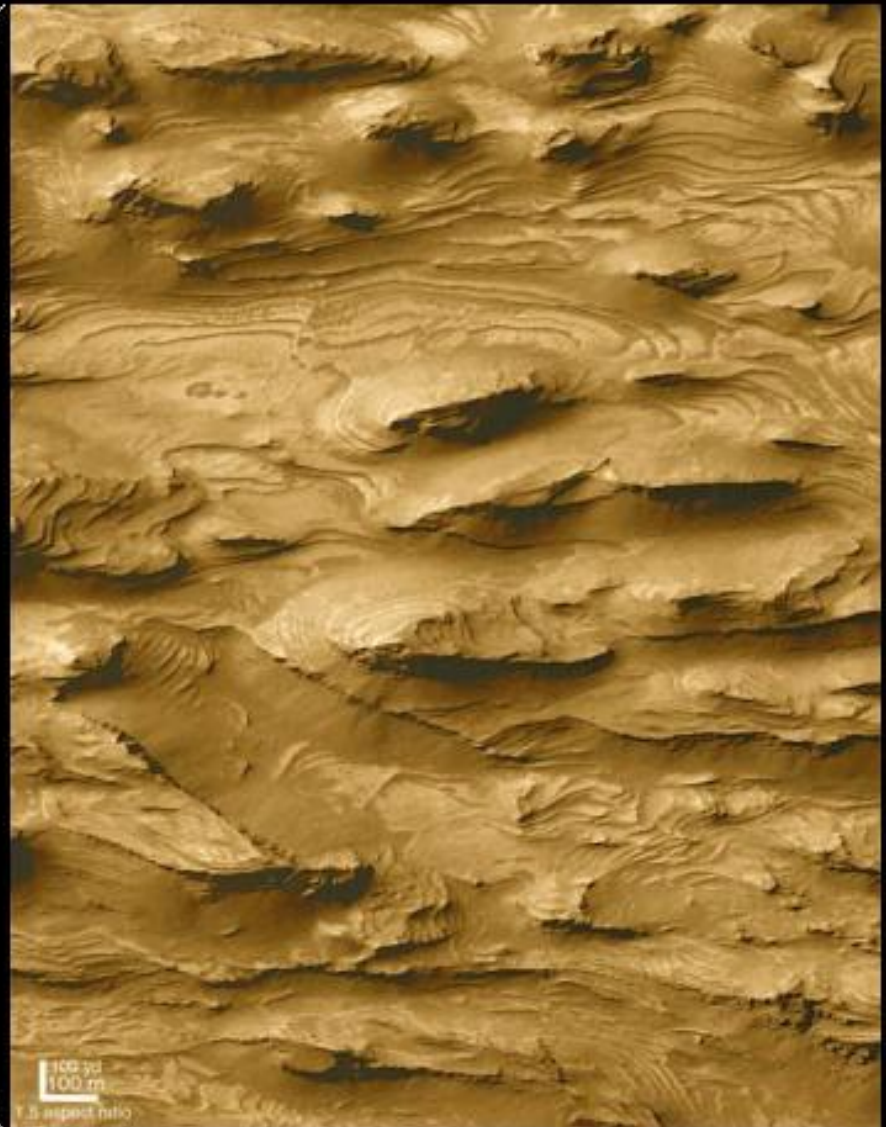
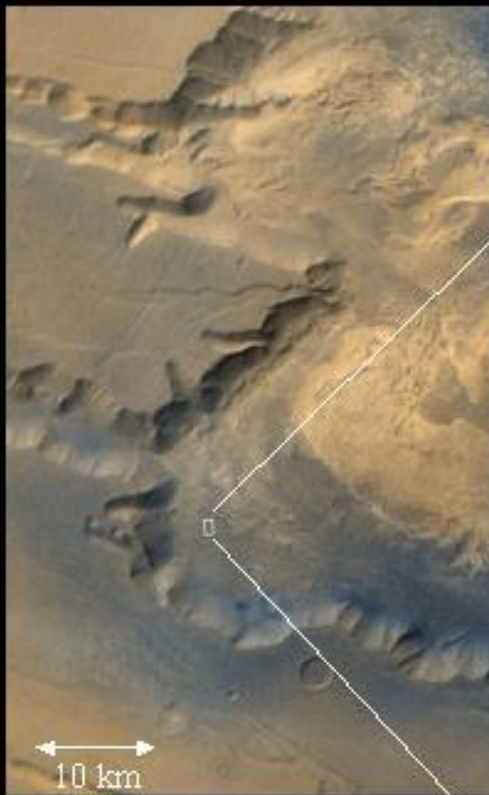
d = kiésérite ($\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$)

e = fluorine (CaF_2)

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

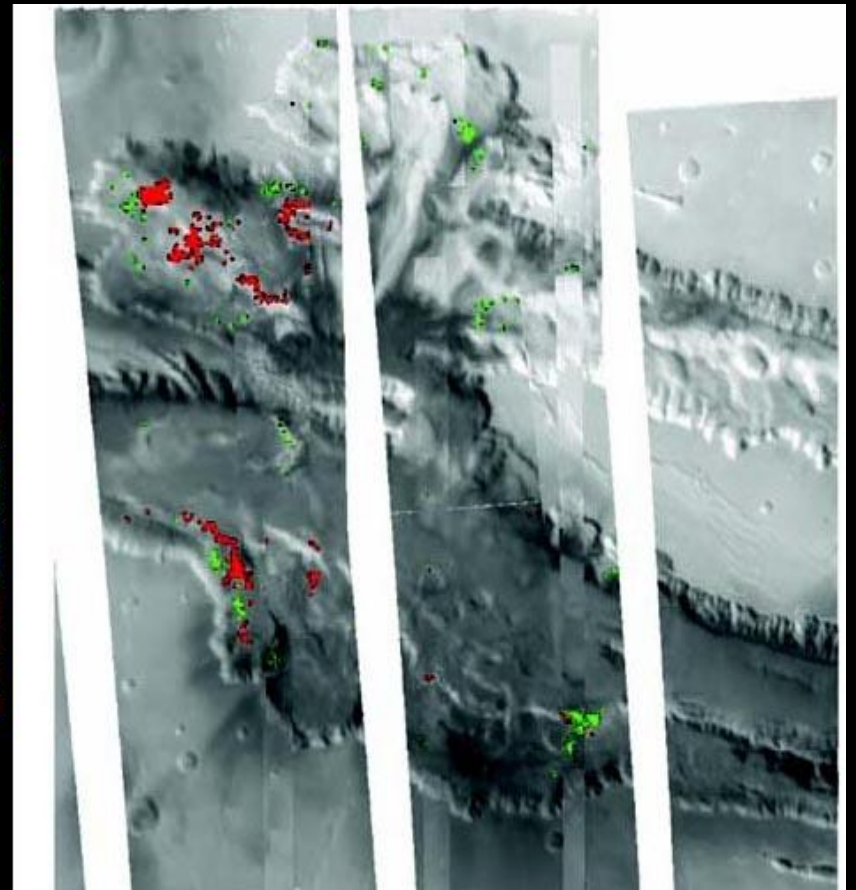
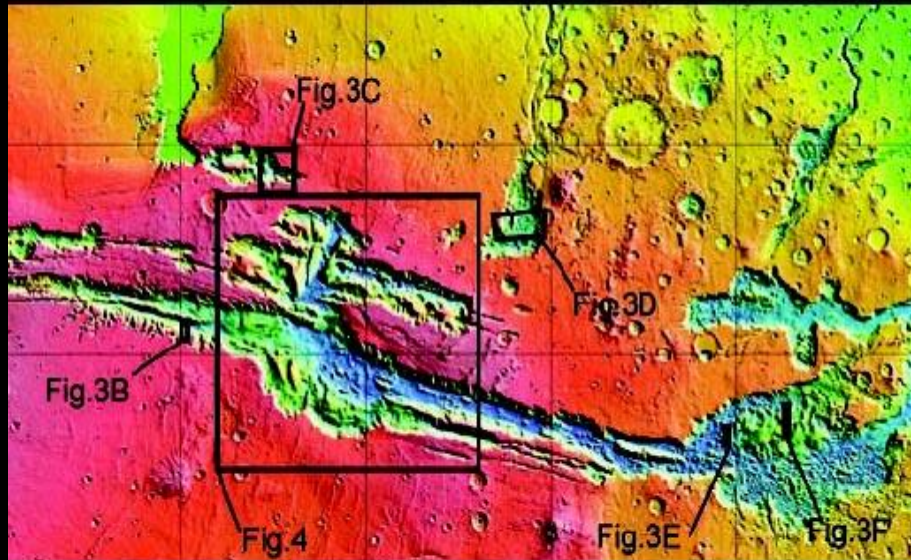
De ces 6 minéraux candidats, 1 seul présente (approximativement) ces 3 bandes d'absorption E, G et H :

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 ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- en vert les affleurements de sulfates hydratés non parfaitement identifiés ($\text{xSO}_4 \cdot \text{nH}_2\text{O}$, et si $\text{x} = \text{Ca}$ et $\text{n} = 2 \rightarrow$ 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

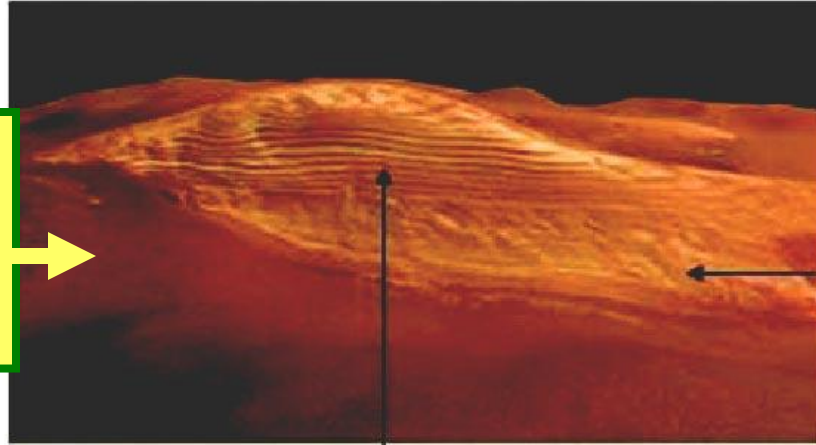
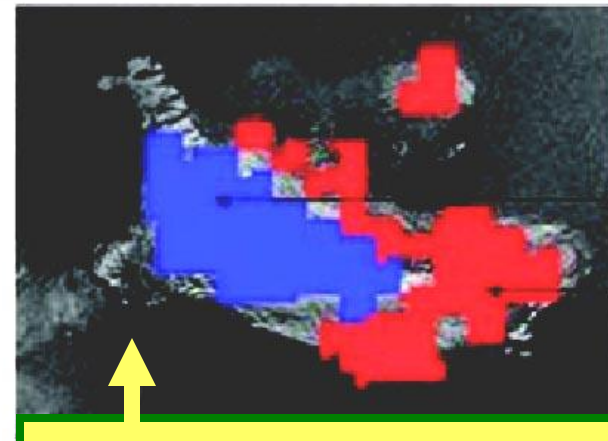
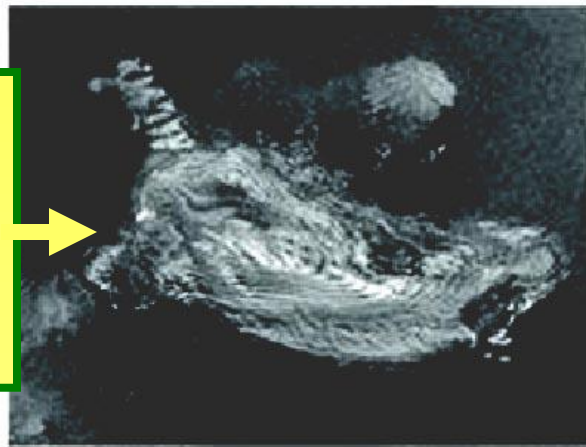


Image verticale Mars Global Surveyor (MGS), de la NASA



gypsum

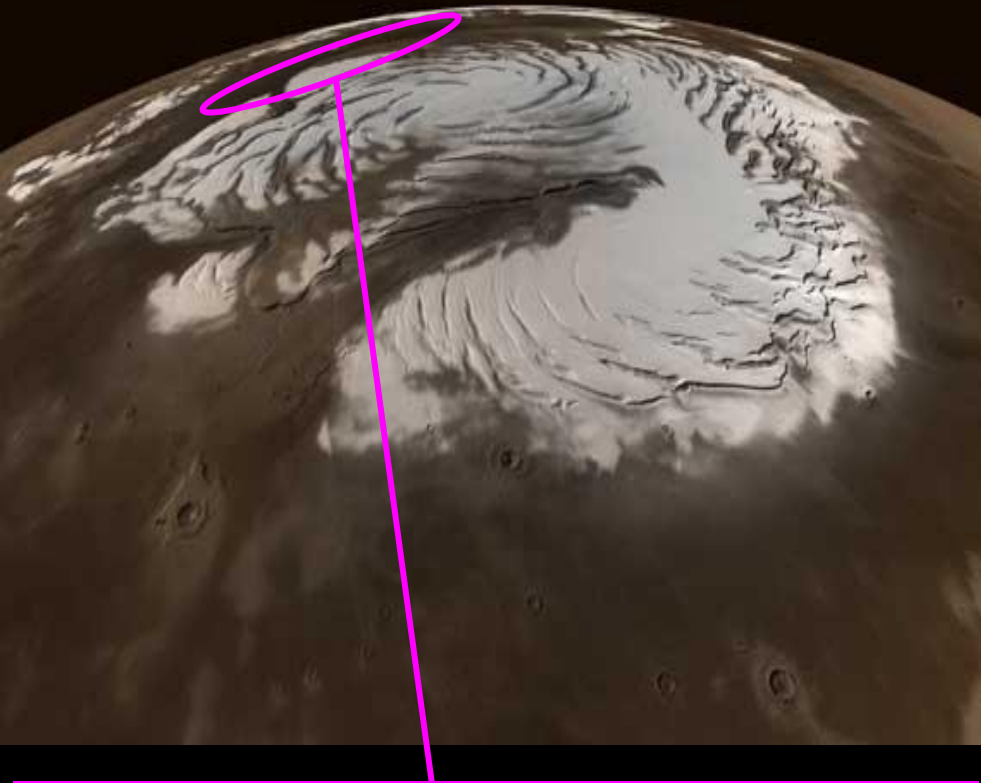
kieserite

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 !



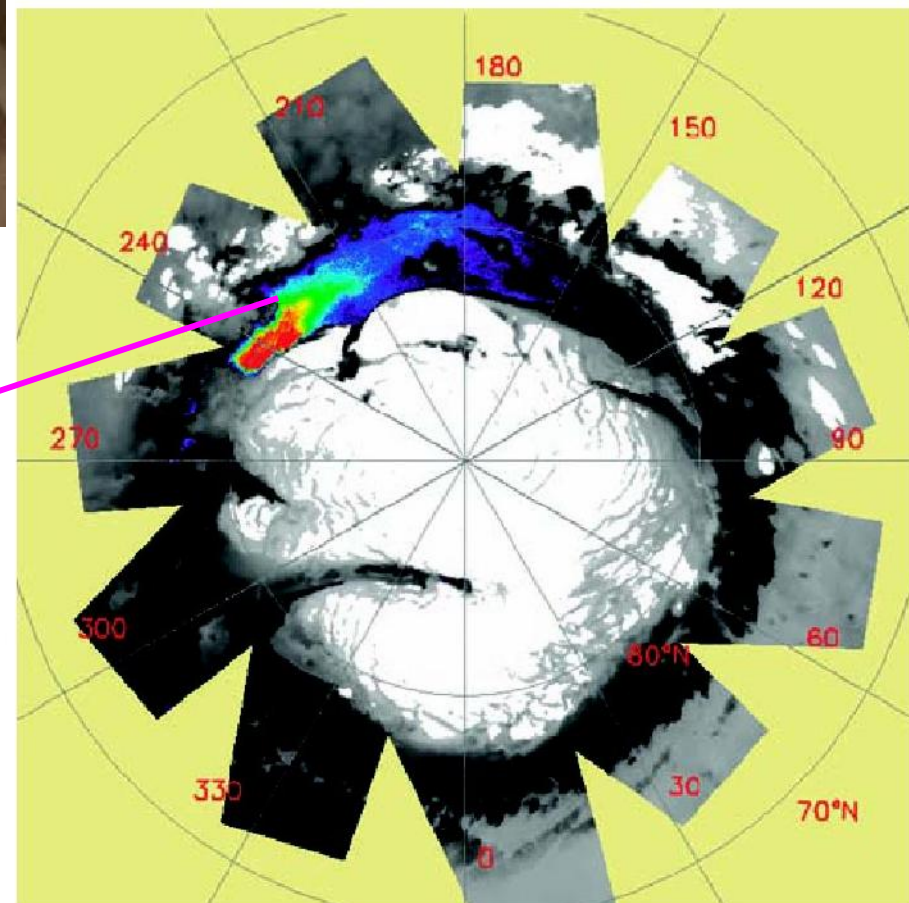
La calotte polaire nord :

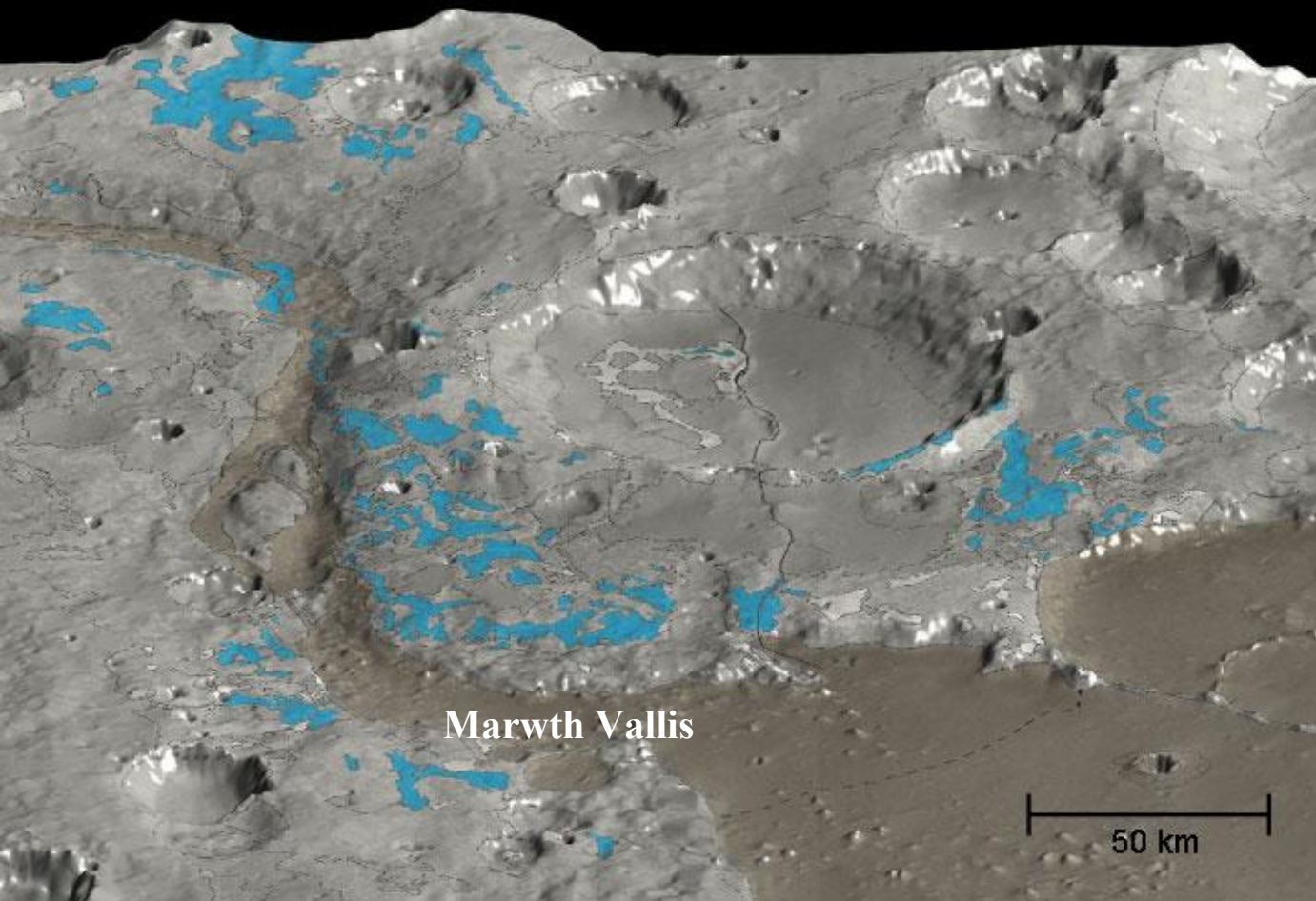
← vue oblique

vue verticale

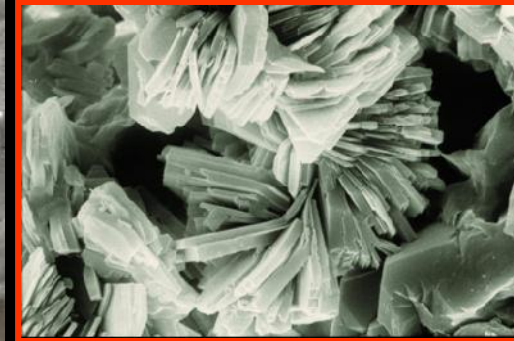


Les zones colorées
contiennent entre 6%
(bleu foncé) et 25 %
(rouge) de sulfates,
vraisemblablement
du gypse





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 .

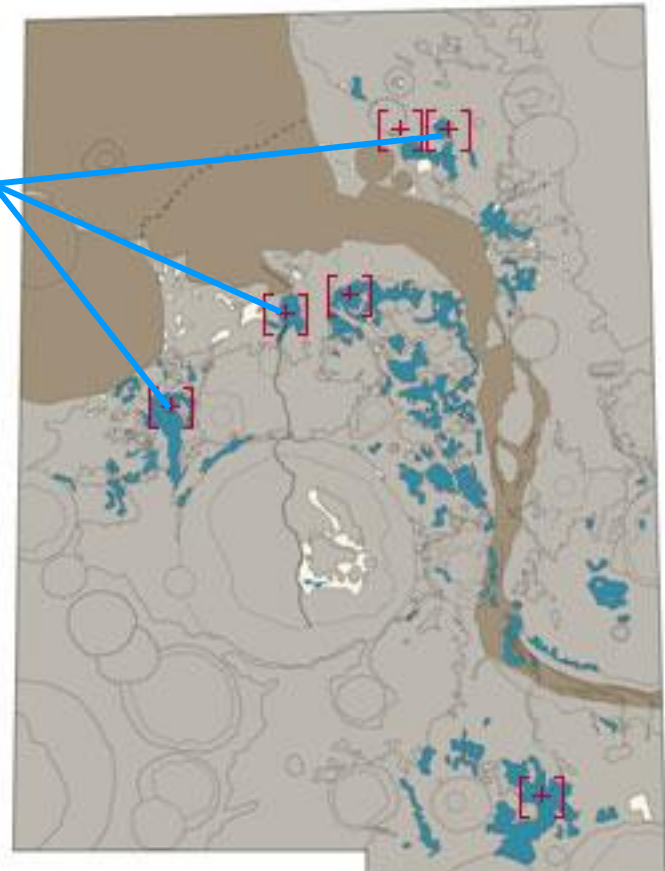
OMEGA shows: no hydration

OMEGA detected: hydrated clays

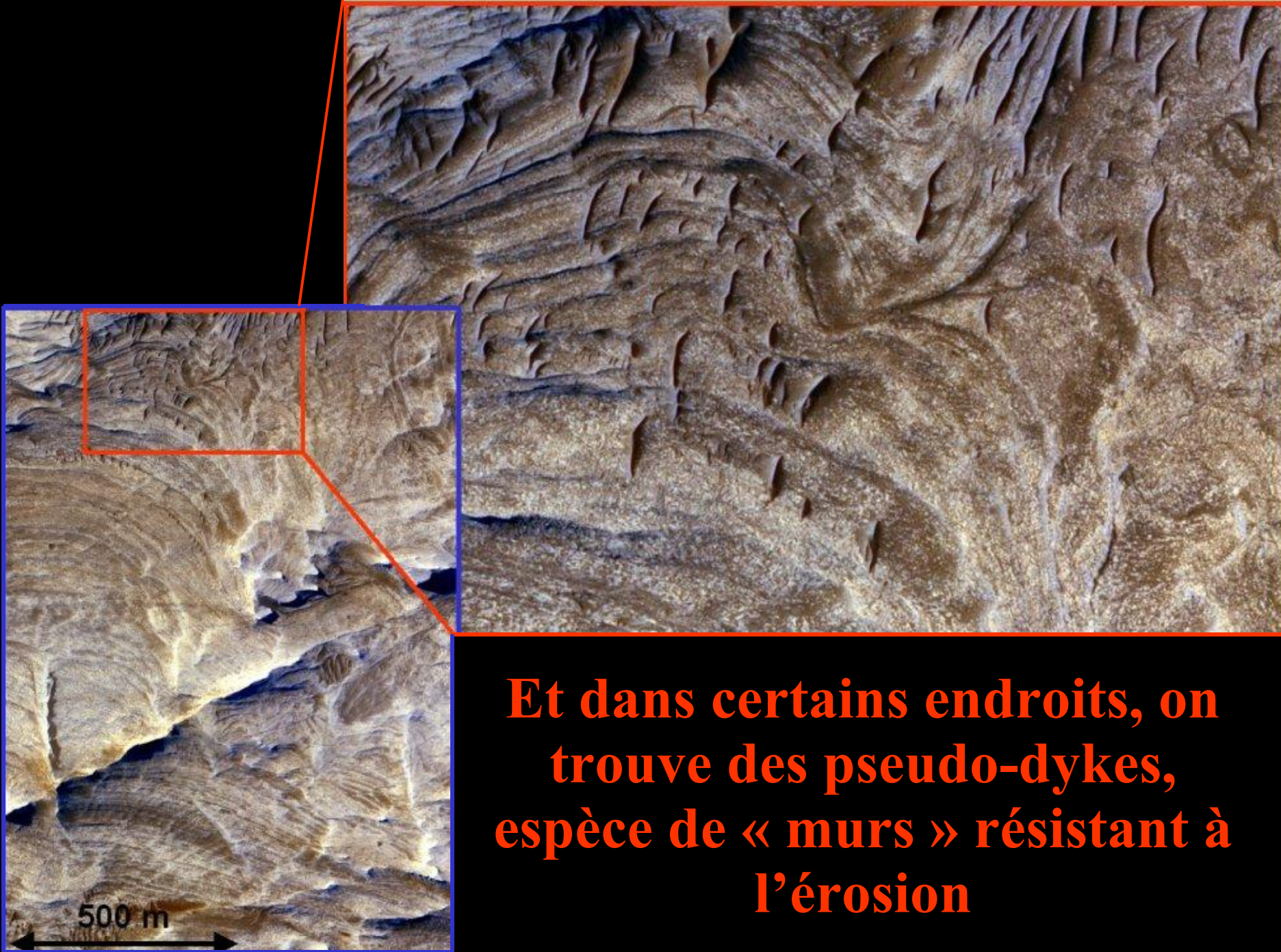


Argiles
confirmées sur
les hauts
plateaux

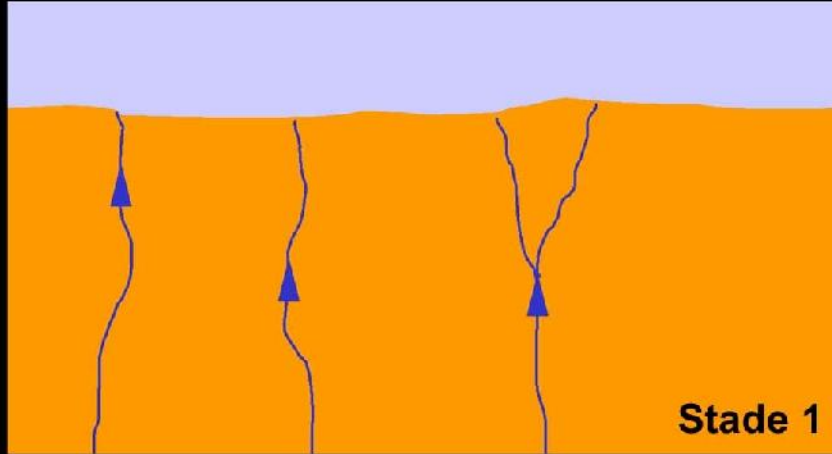
Absence
d'argiles
confirmées dans
la vallée et le
delta



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 !

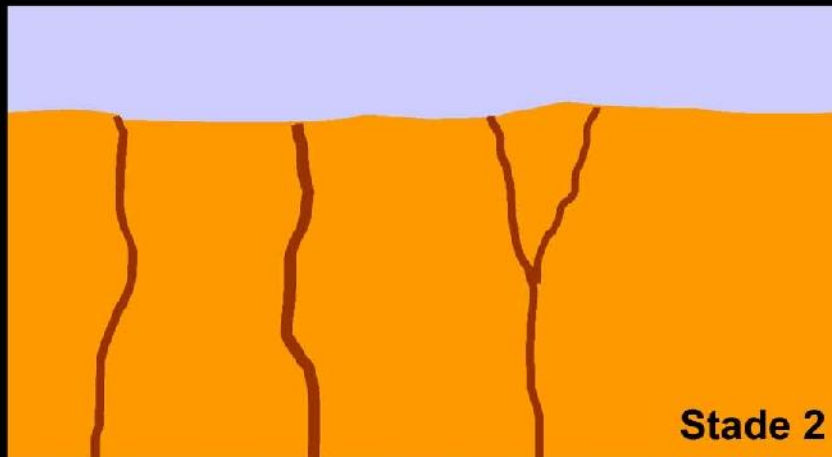


**Et dans certains endroits, on
trouve des pseudo-dykes,
espèce de « murs » résistant à
l'érosion**

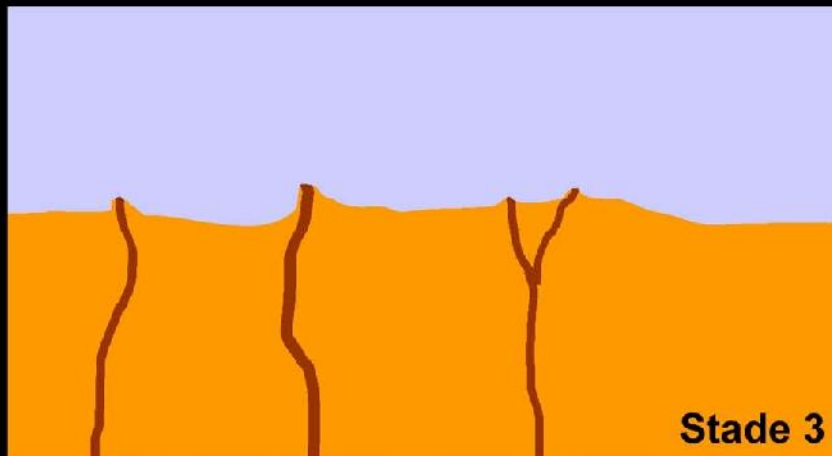


Comment sont nées ces structures ?

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

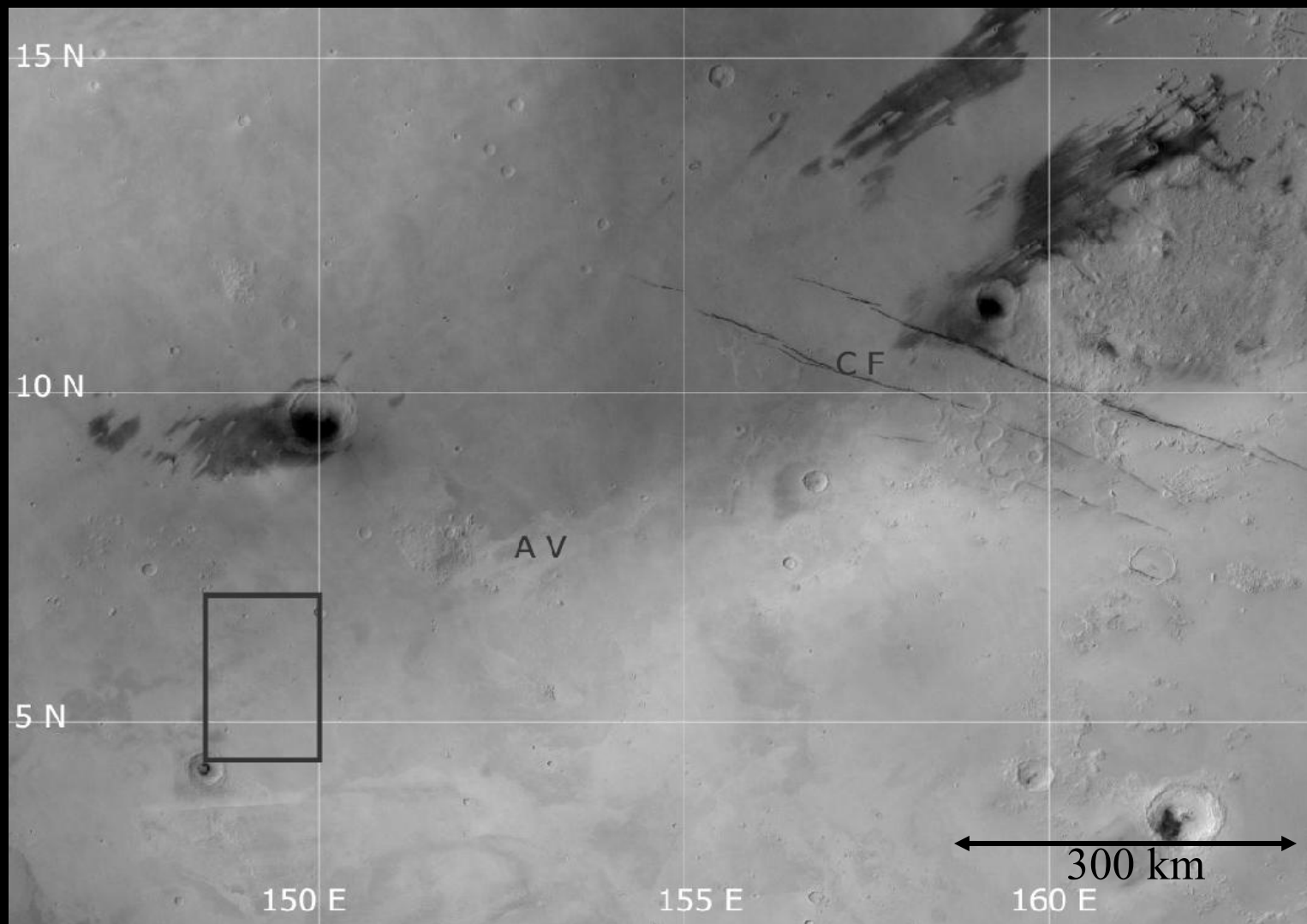


**Stade 2 : cette eau
« minéralise » et cimente
l'encaissant.**

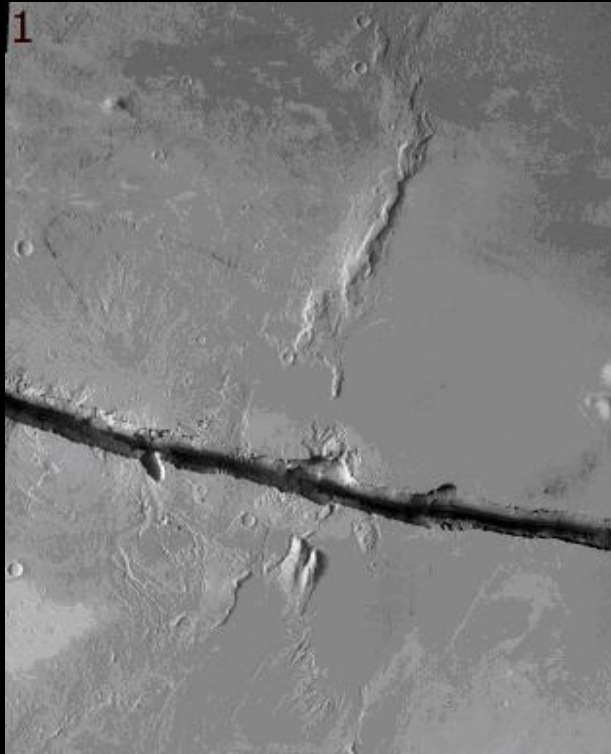


**Stade 3 : l'érosion met
en relief ces anciennes
fractures cimentées**

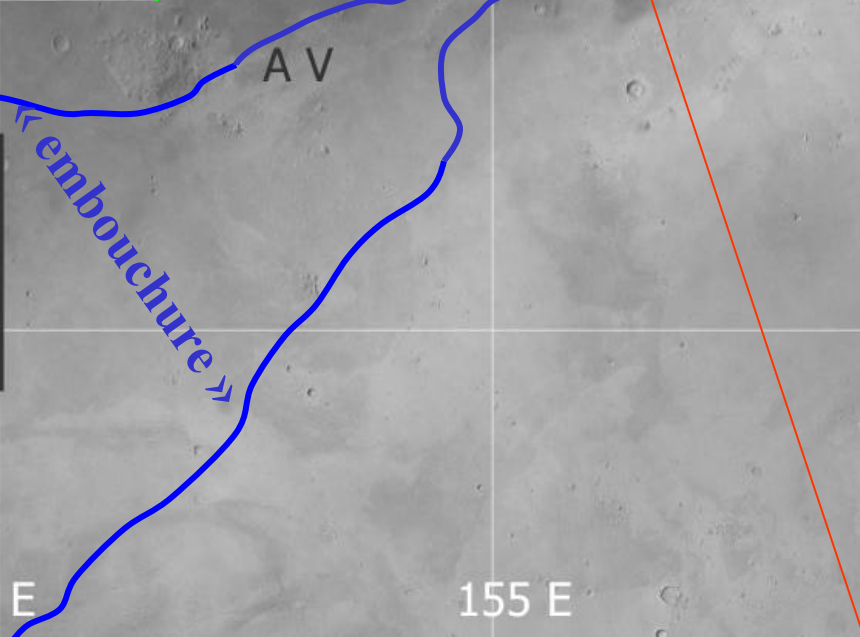
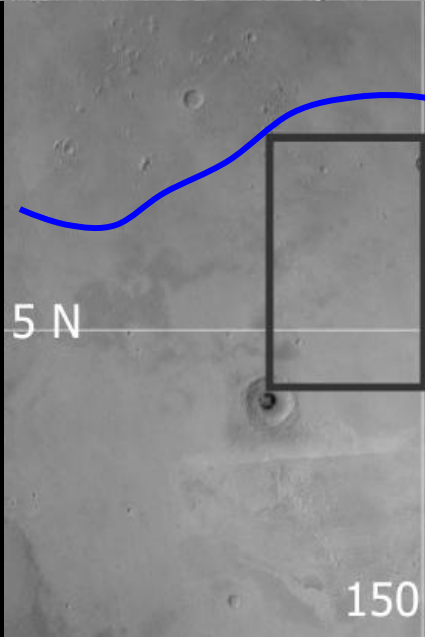
Rappelez vous de ces structures !

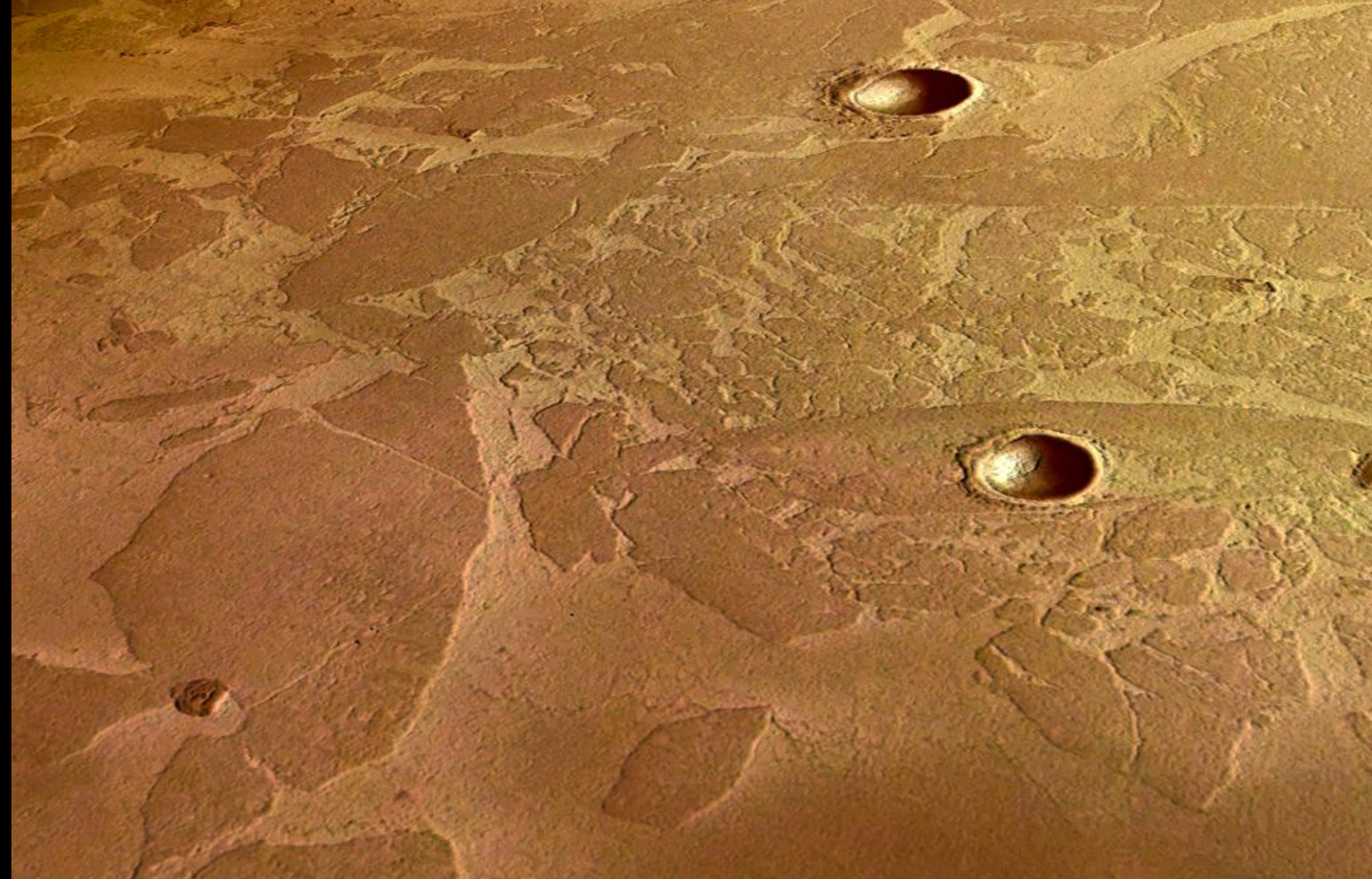


**Continuons nos observations orbitales dans la
région de Cerberus Fossae (CF) et
d'Athabasca Valles (AV)**



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



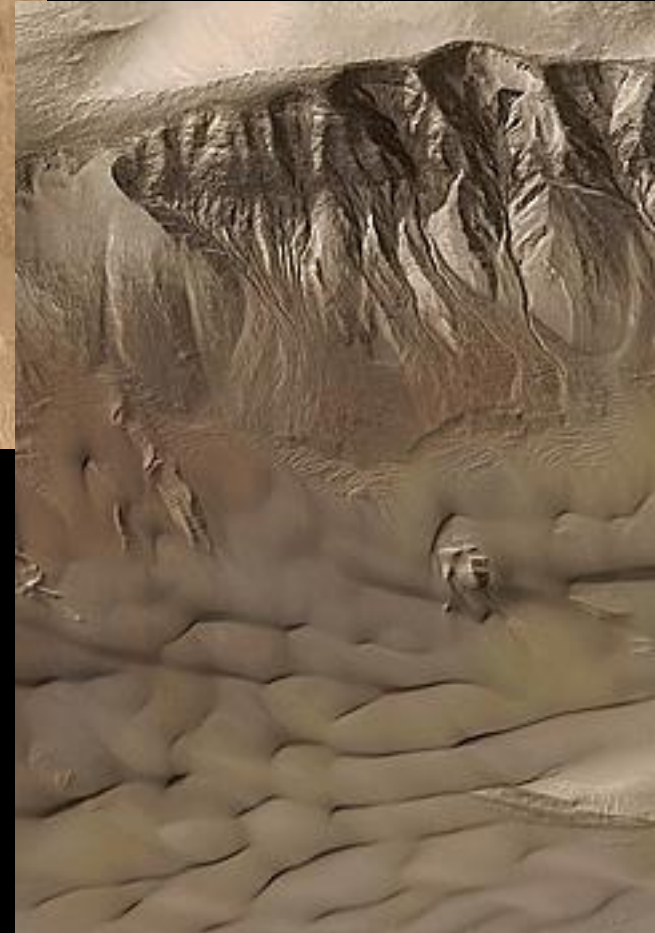


L'embouchure : une paléo-banquise dérivante sur un paléo-lac gelé (âge : quelques millions d'années seulement)



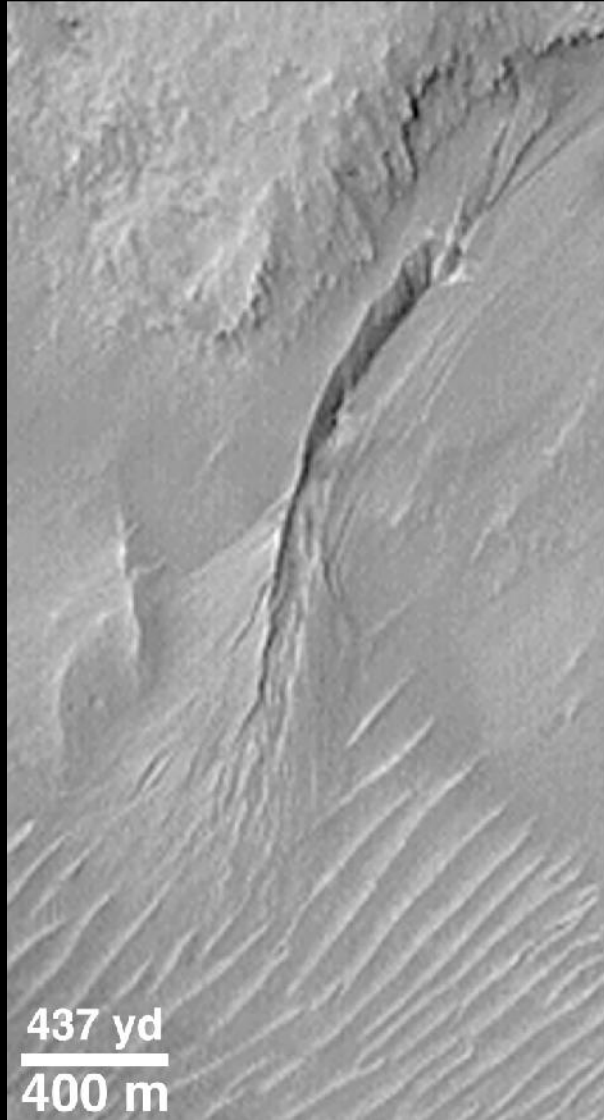
**Deux possibles
équivalents
terrestres**

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

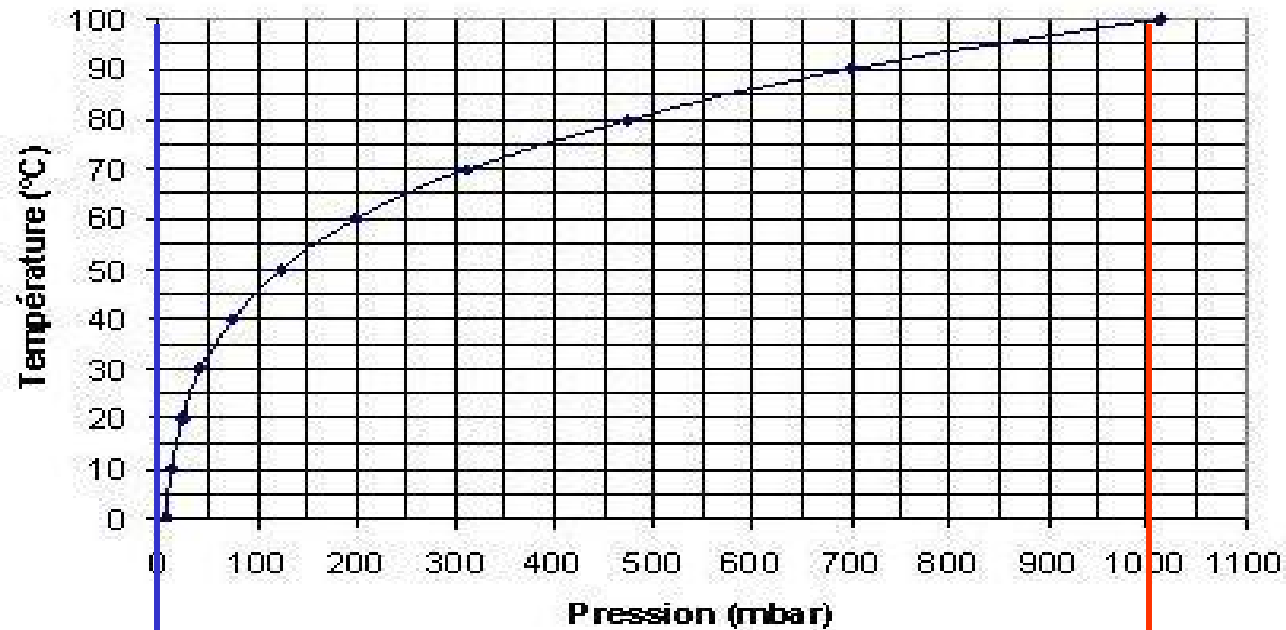


**Les « gullies » (ravine, rigole, en anglais),
découverts en 1997, sont de petites
ravines de quelques centaines de mètres
qui dévalent des pentes « exposées au
soleil » d'anciens cratères ou de vallées.**

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



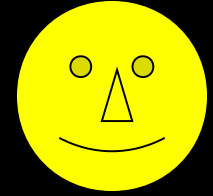
Sur Mars, la pression de 6 mbar (hPa). A cette pression, l'eau ne peut pas être liquide. Elle est en glace et/ou en vapeur. Et comme il fait en moyenne -50° , elle est surtout en glace, avec une très faible proportion de vapeur. Que se passe-t-il si on renverse sur mars de l'eau « tiède » issue d'une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

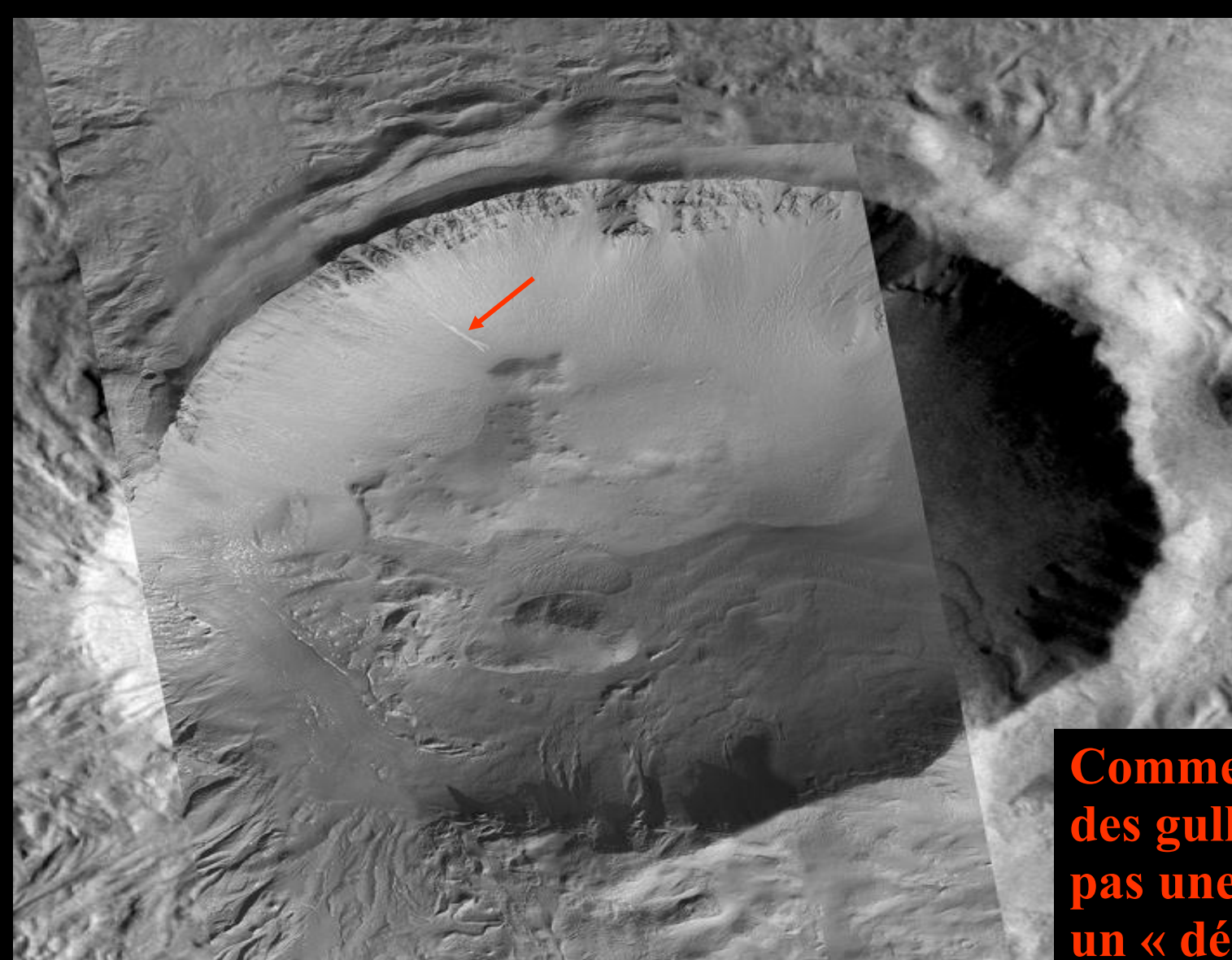


Sur les versants exposés au soleil, la température peut approcher les 0°C

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 ?

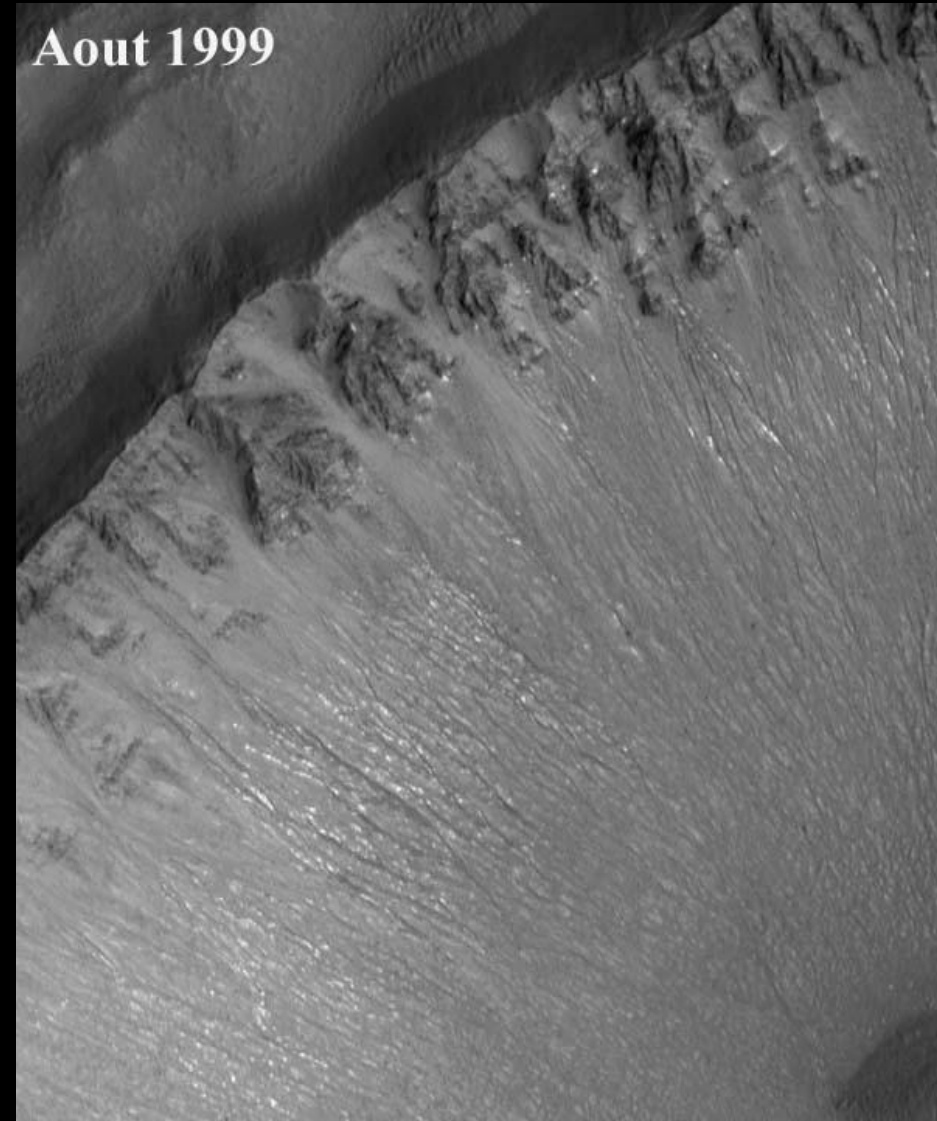


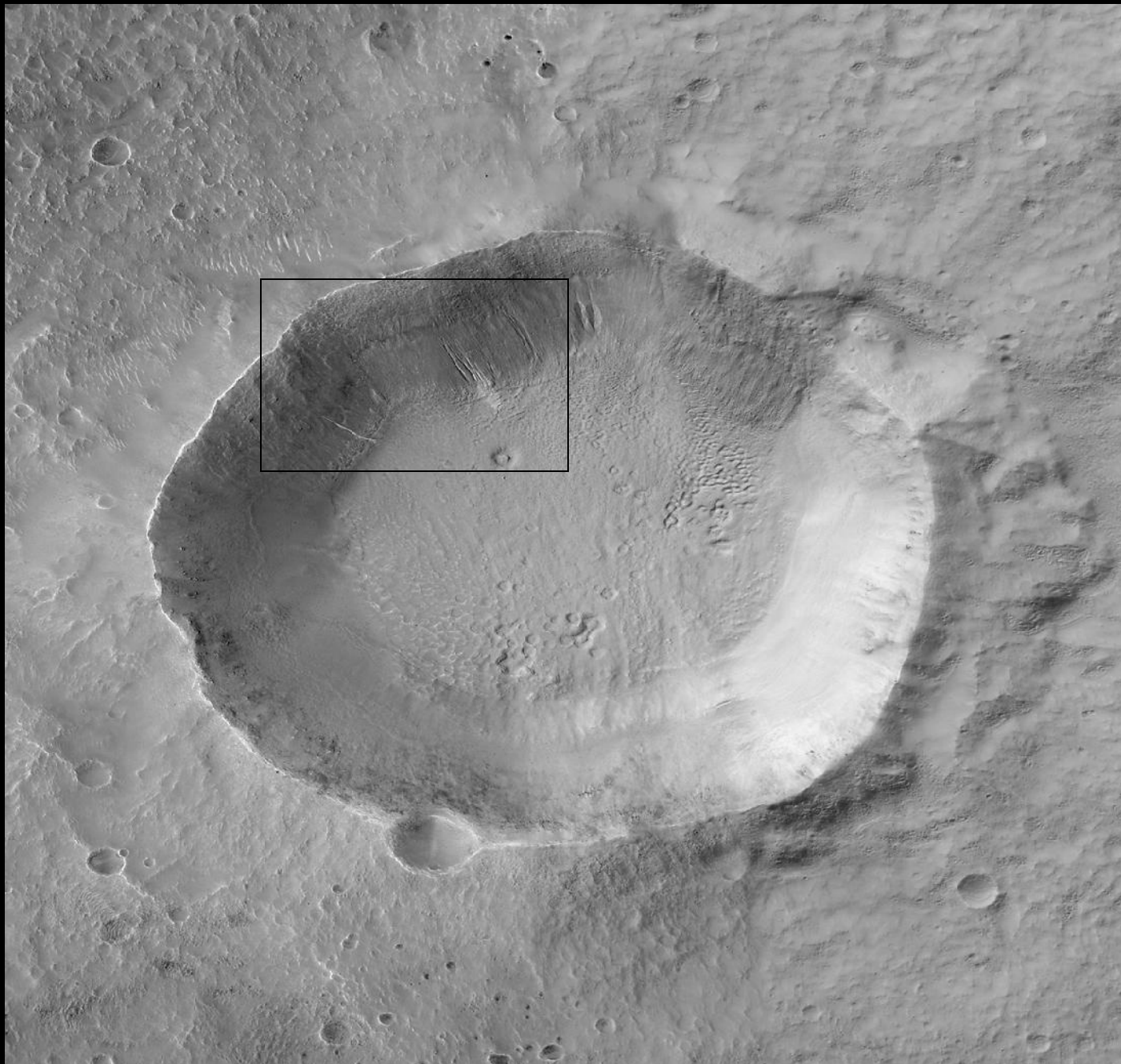
**Comme quelques %
des gullies, ce n'est
pas une ravine, mais
un « dépôt clair »**

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

Aout 1999

Septembre 2005



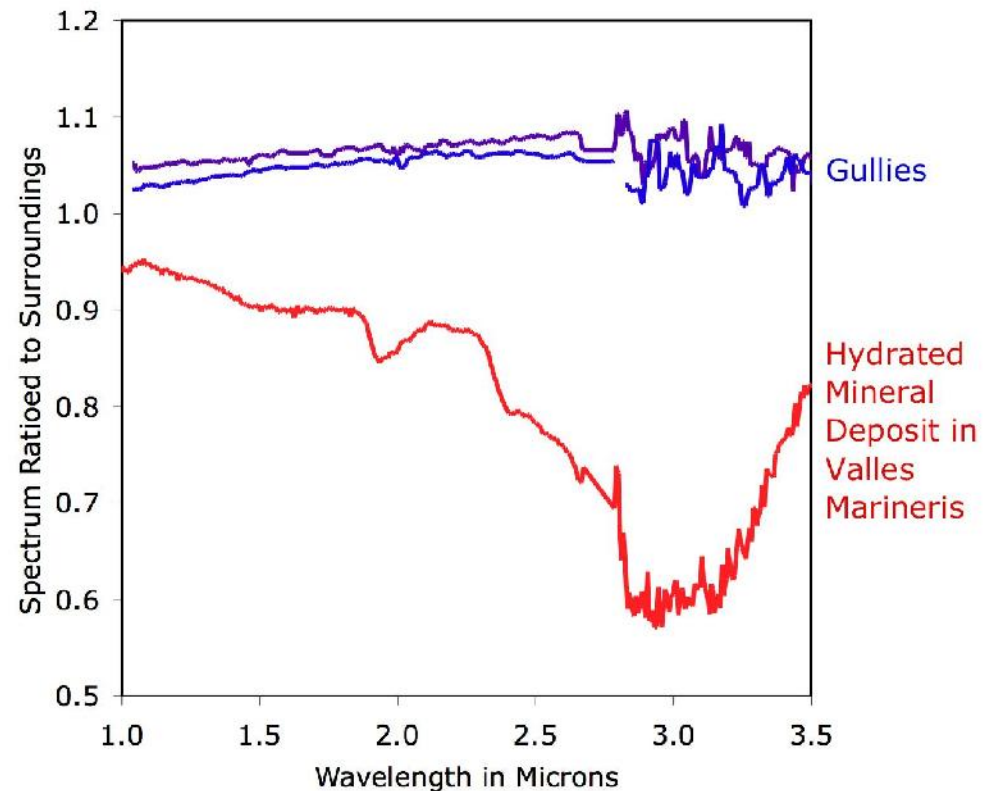
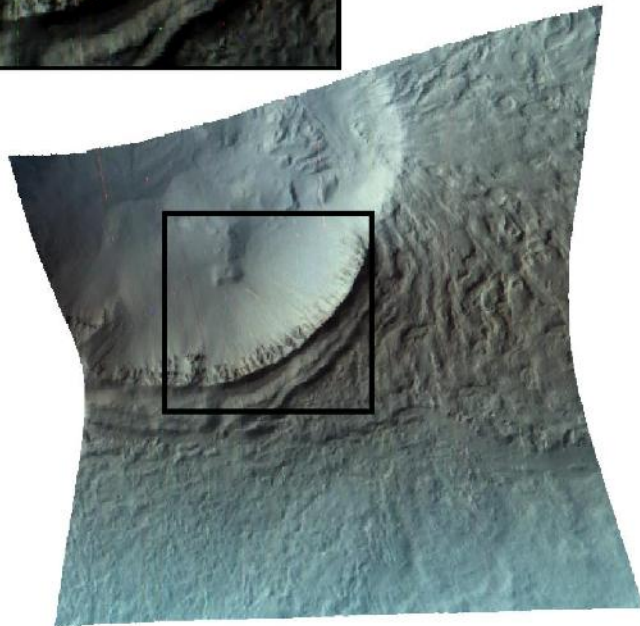
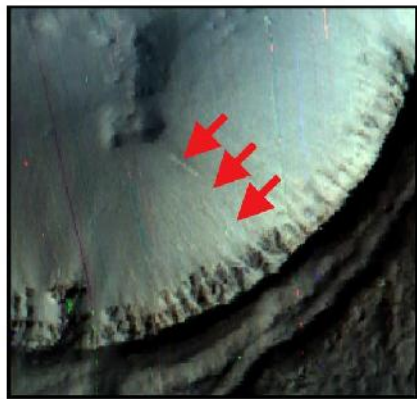


**Un
deuxième
cratère
avec ...**



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^{ème} siècle



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

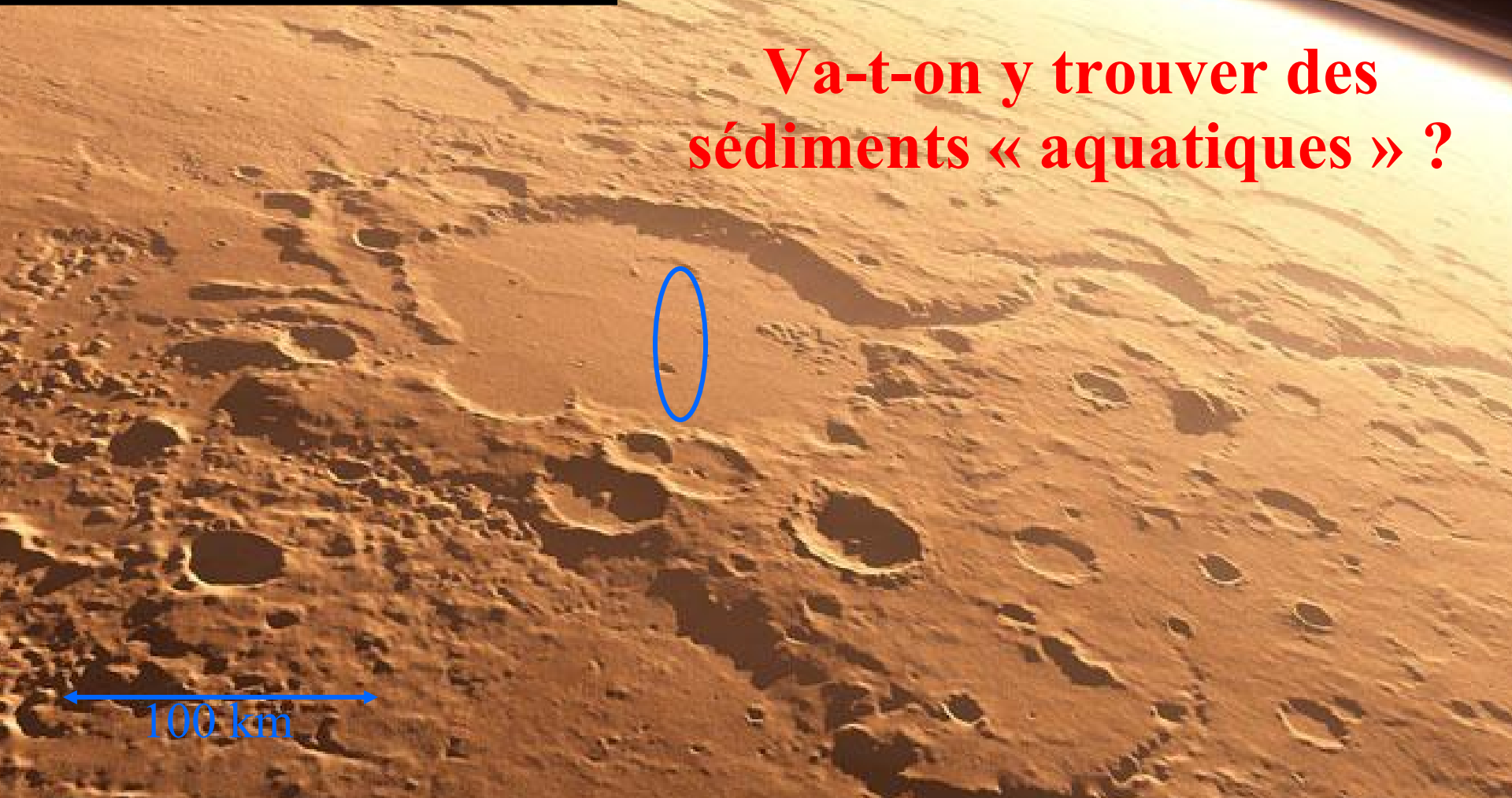


Après 53 diapositives prises par les sondes en orbite, examinons les résultats des 2 robots Nasa (simplement ceux concernant l'eau, dommage !)

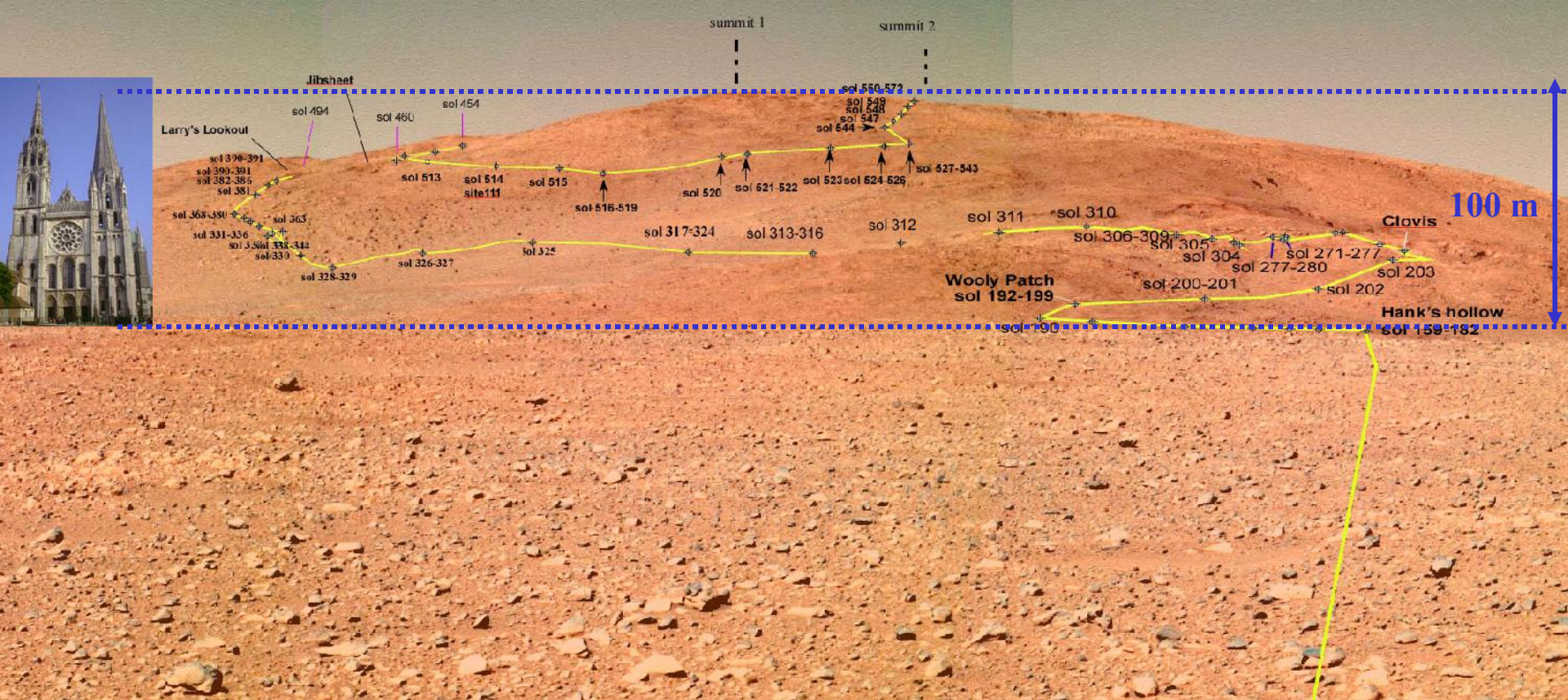


**Voilà où s'est posé au début
de janvier 2004 le 1^{er} robot,
Spirit, au fond du cratère
Gusev, probable ancien lac.**

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



100 km

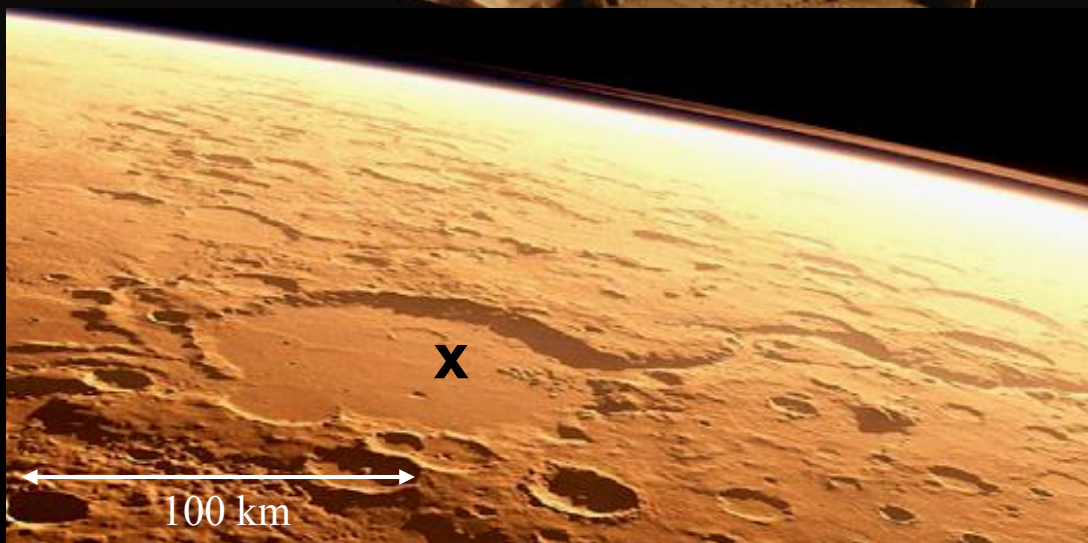


En janvier 2004, Spirit s'est posé dans une plaine (1^{er} plan) avec rien que du basalte. Cruelle déception ! À 3 km, des collines. Il essaye d'y aller pour y chercher autre chose. Et il y arrive. Il monte même jusqu'au sommet (août 2005) et est redescendu de l'autre côté où il se trouve (et fonctionne)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



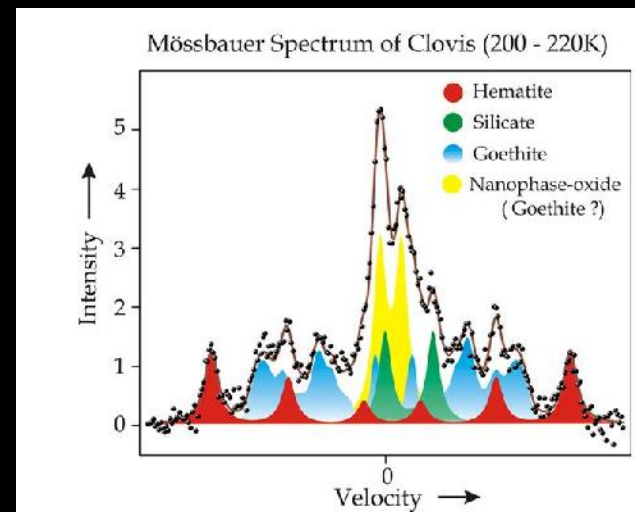
Sol 519

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

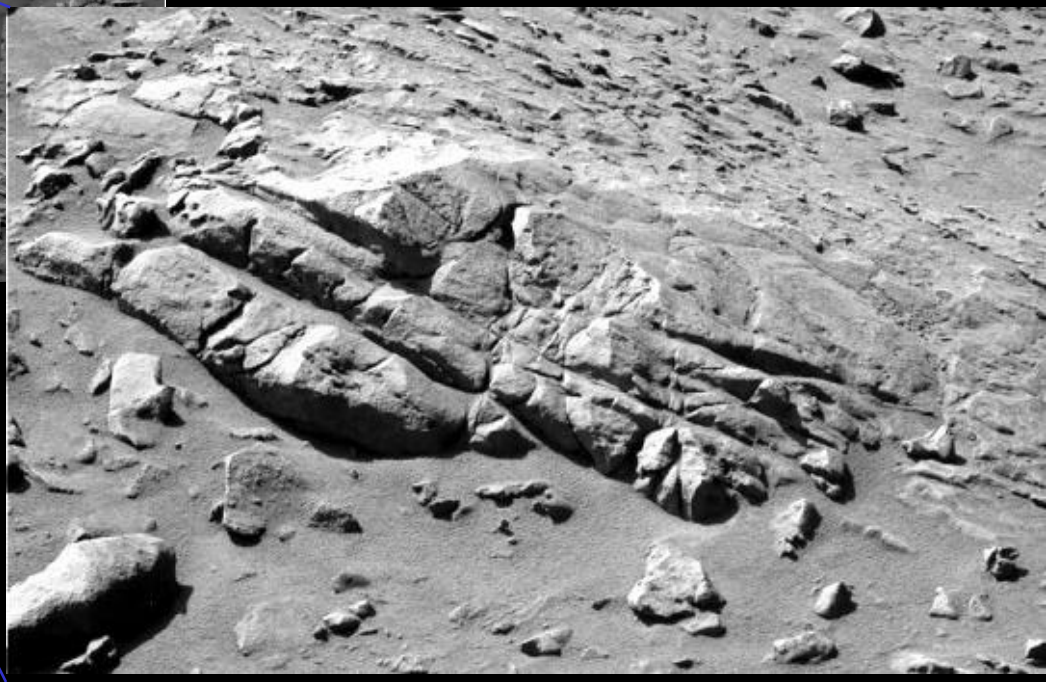


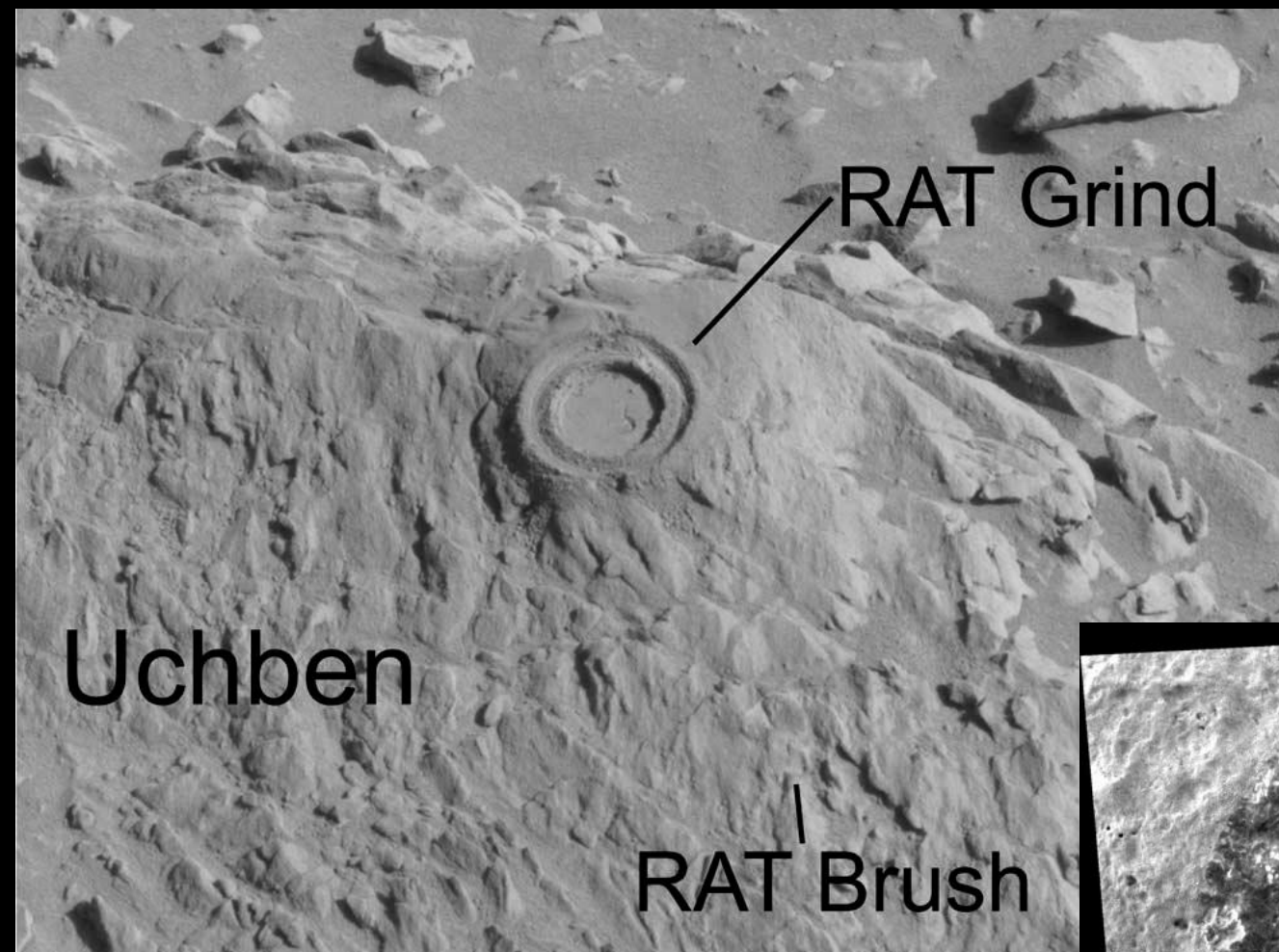


En gros, quand il analyse, il trouve du basalte ! Quelle déception (bis) . Parfois, il y a des preuves que ce basalte a été altéré par de l'eau (on se console comme on peut).

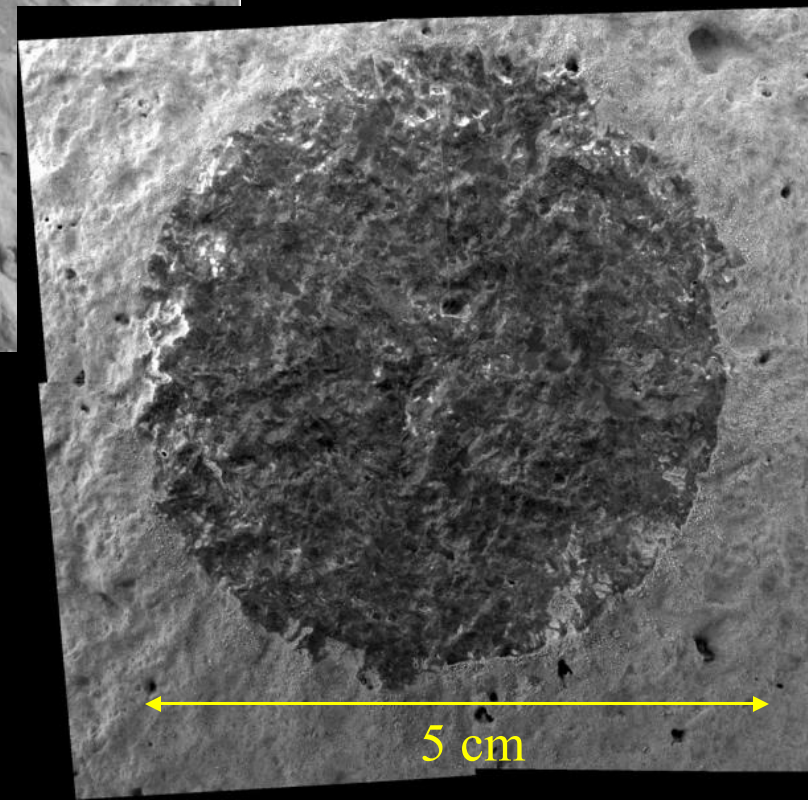


**Il trouve aussi des
roches stratifiées.
Sédiments, cendres
volcaniques ?
Chimiquement, ça
ressemble à des cendres
volcaniques altérées par
de l'eau**

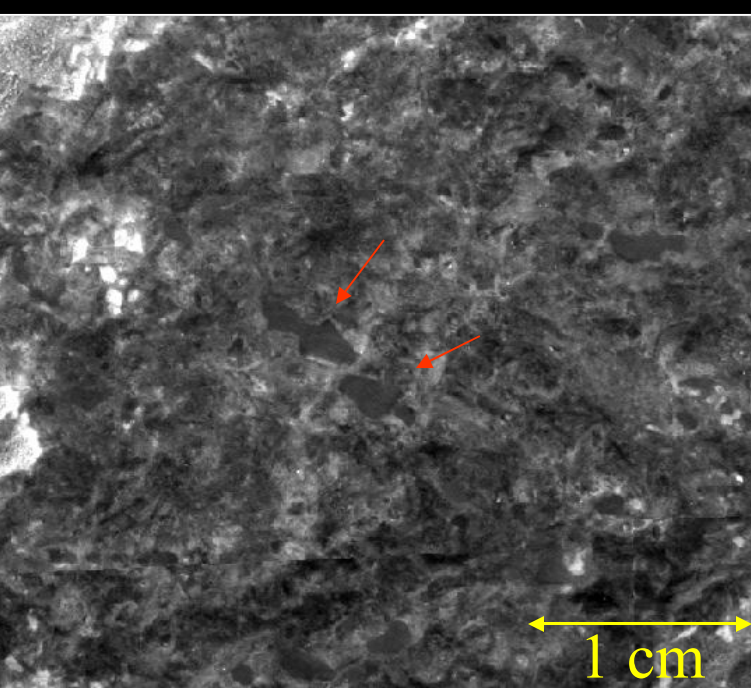




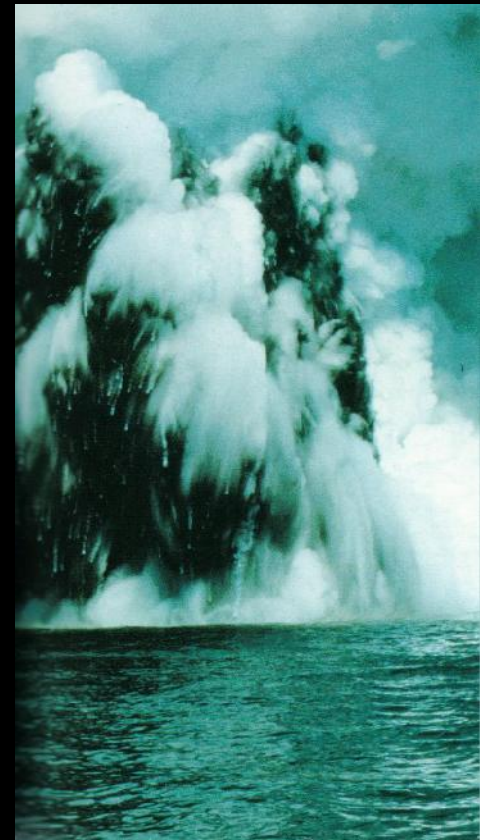
**Contournons ce rocher ;
polissons sa surface
supérieure ; époussetons ;
regardons.**

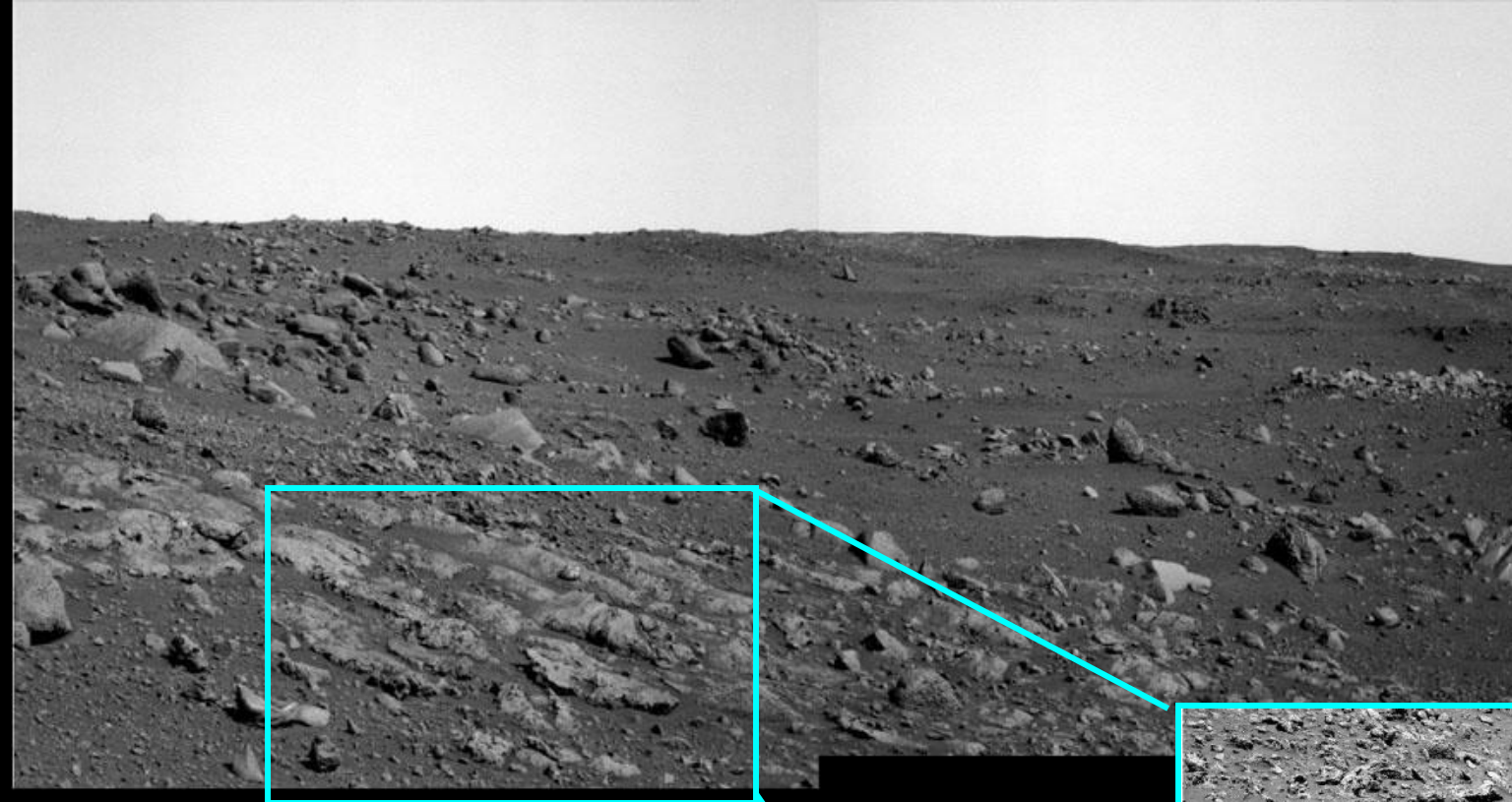


En regardant au « microscope », on découvre des formes géométriques (cristaux ?)



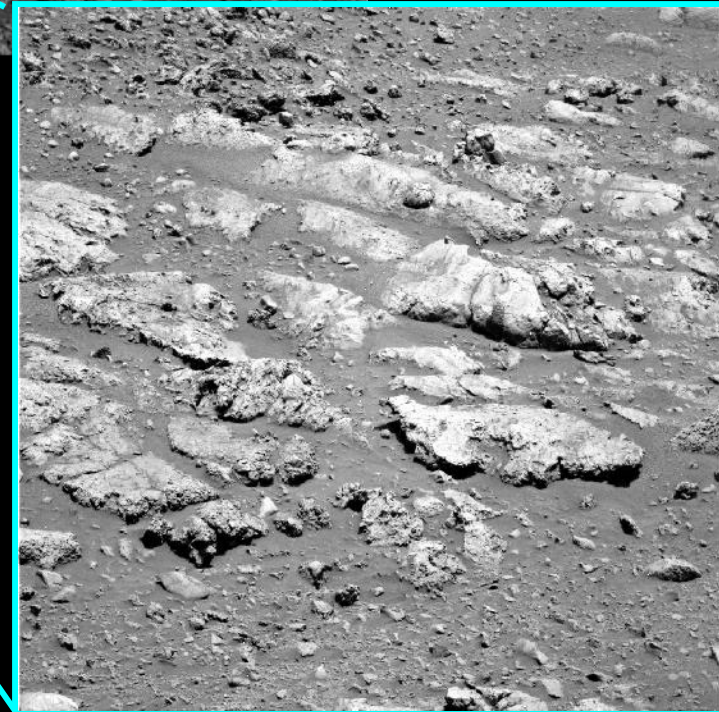
Sur Terre, tous ces affleurements stratifiés, avec cristaux automorphes, à chimie de basalte altéré ... feraient penser à des dépôts phréatomagmatiques (éruption volcanique en eau peu profonde ou dans une nappe phréatique)



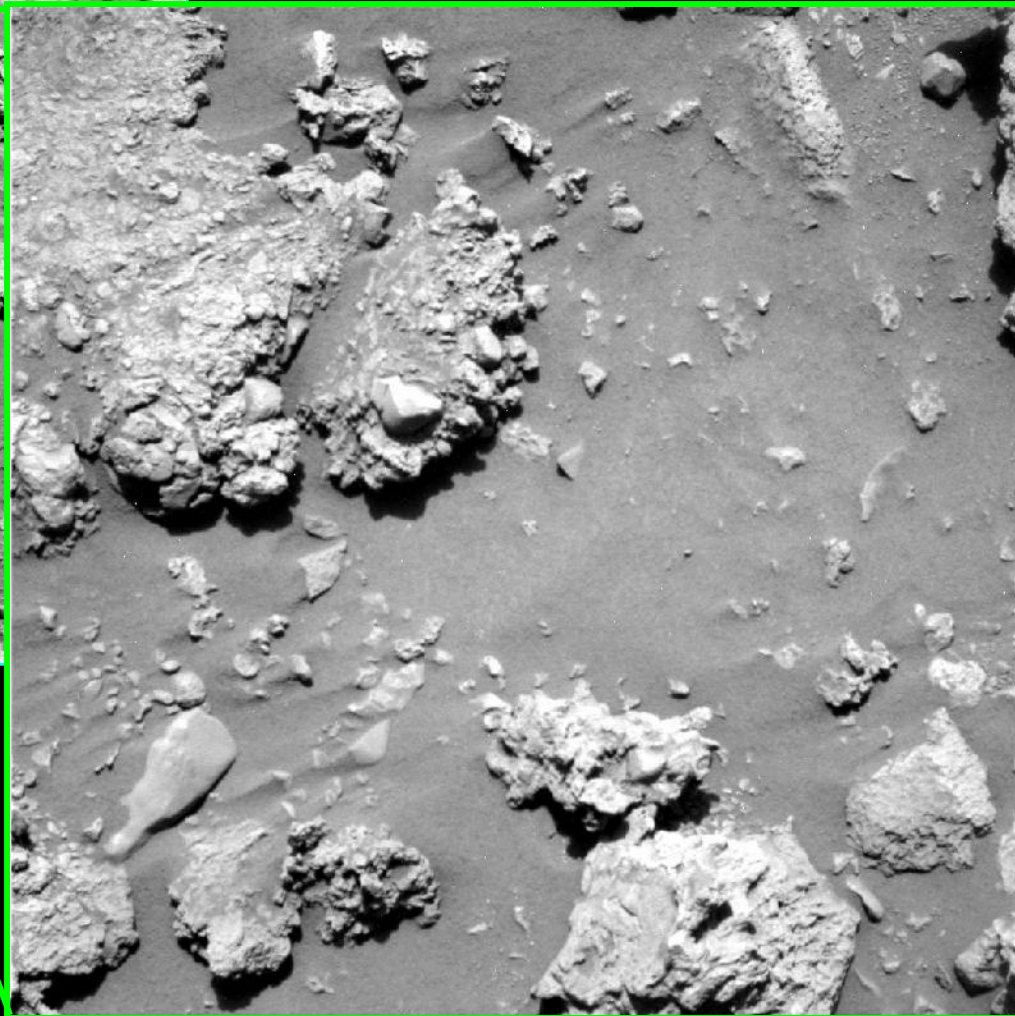
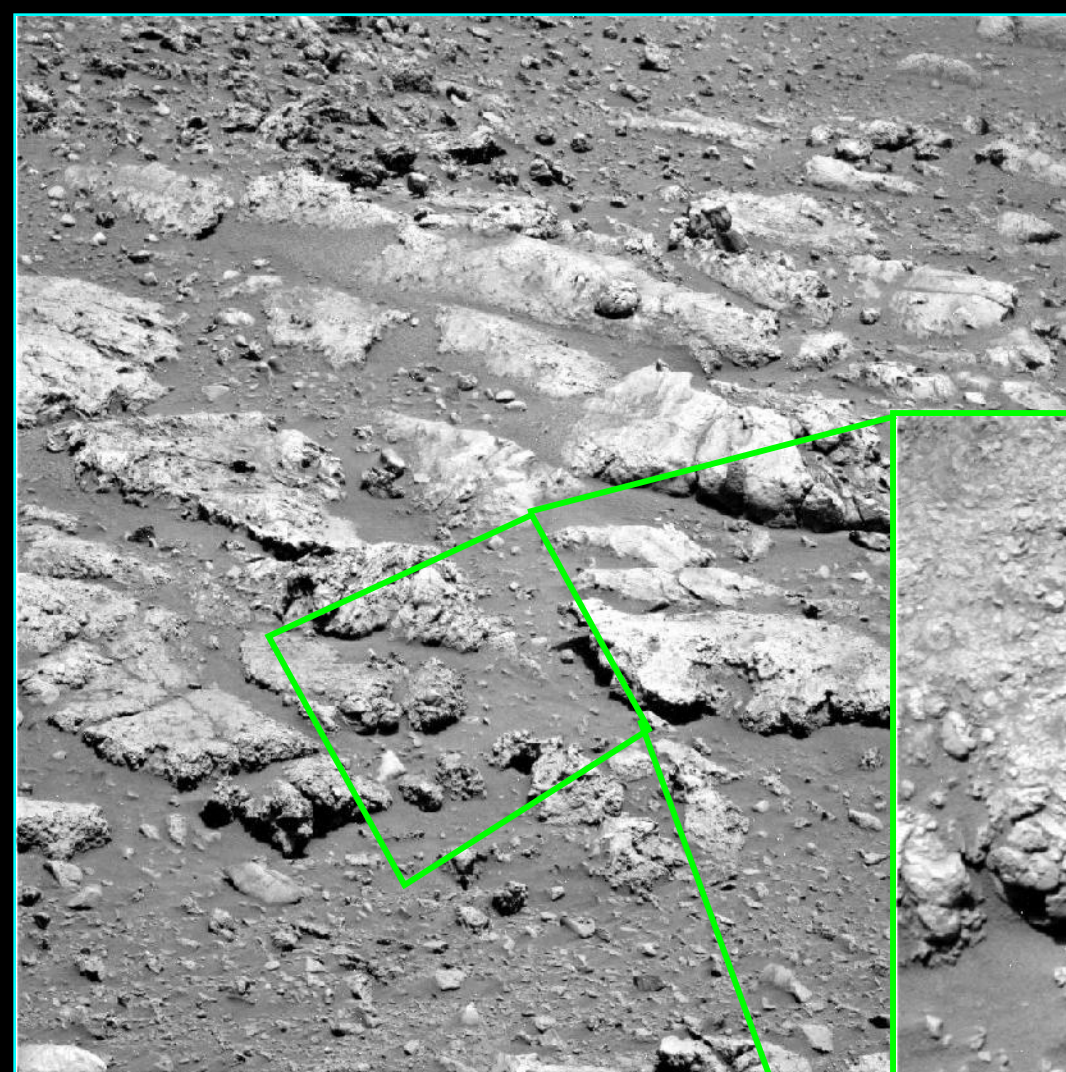


**Près du sommet, de
nouveaux affleurements**

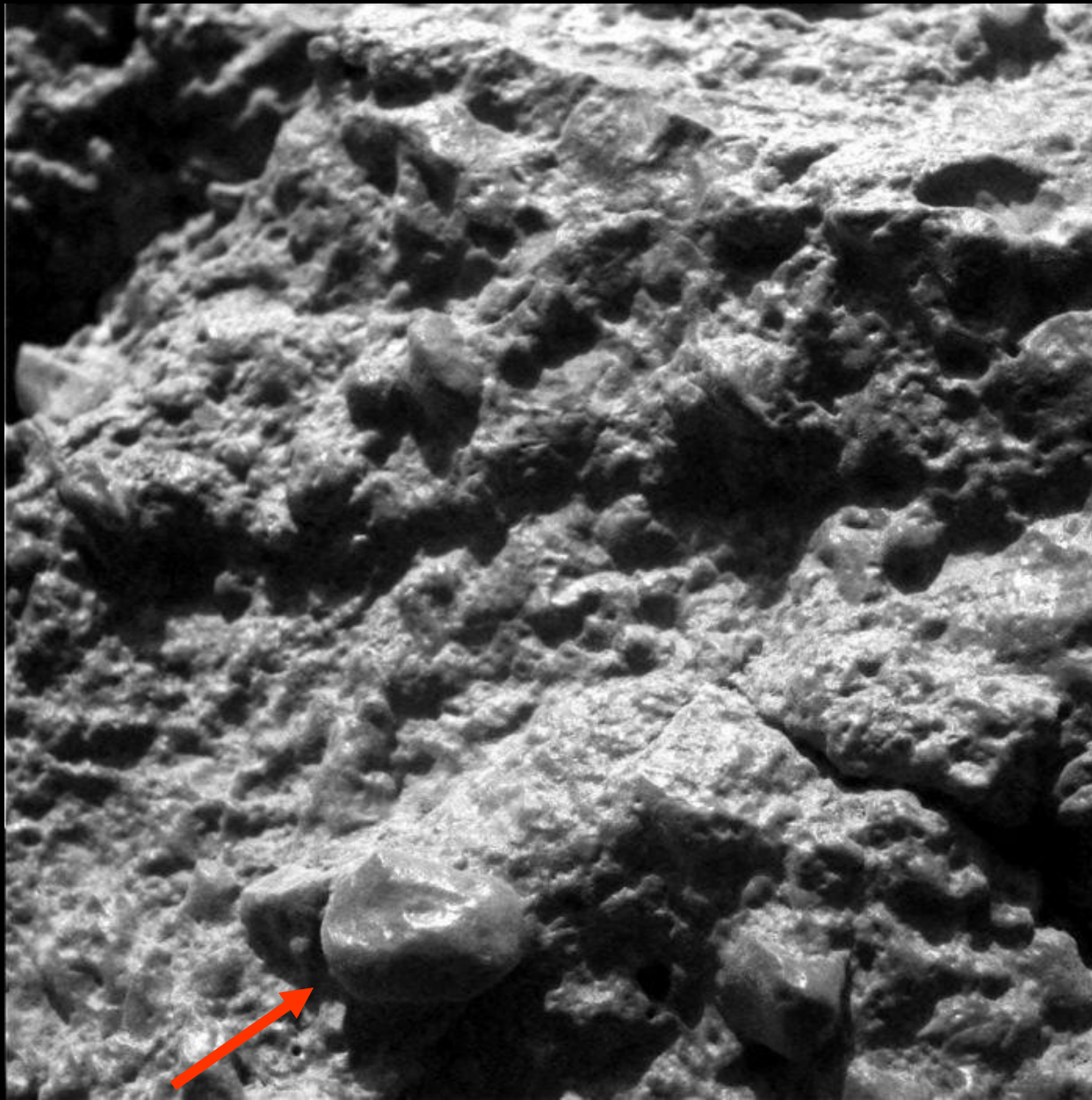
**Détaillons cet
affleurement vaguement
stratifié**



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



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

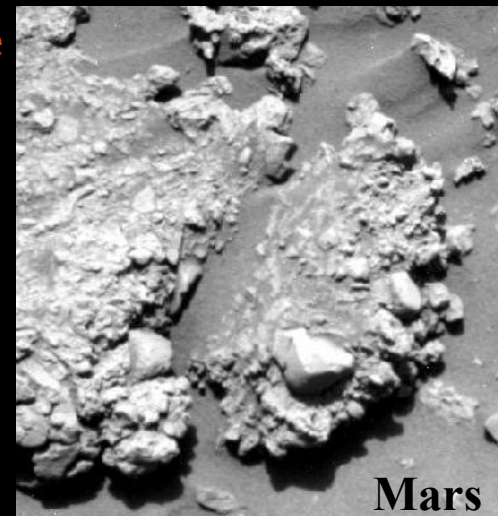


**Certains
« galets » de
la brèche
sont
arrondis. Ils
ont été
« roulés » par
de l'eau ou
dans du
matériel
« boueux »**



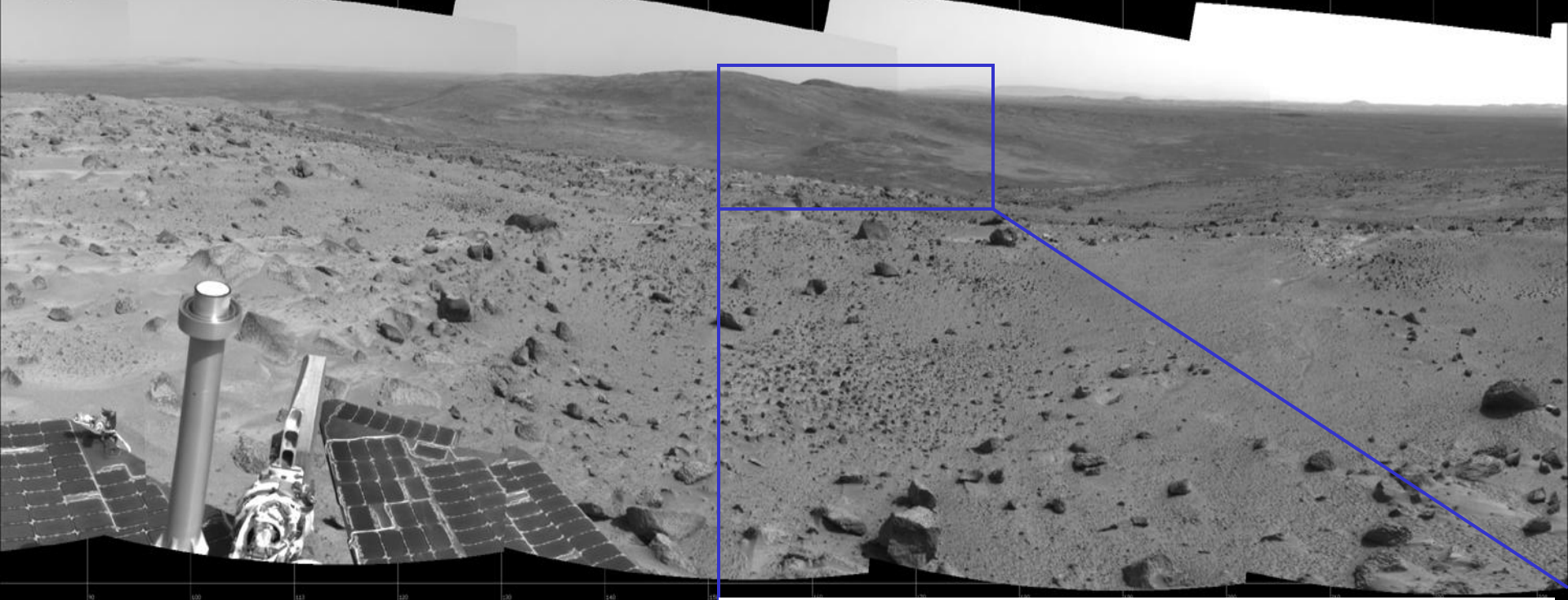
Terre

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

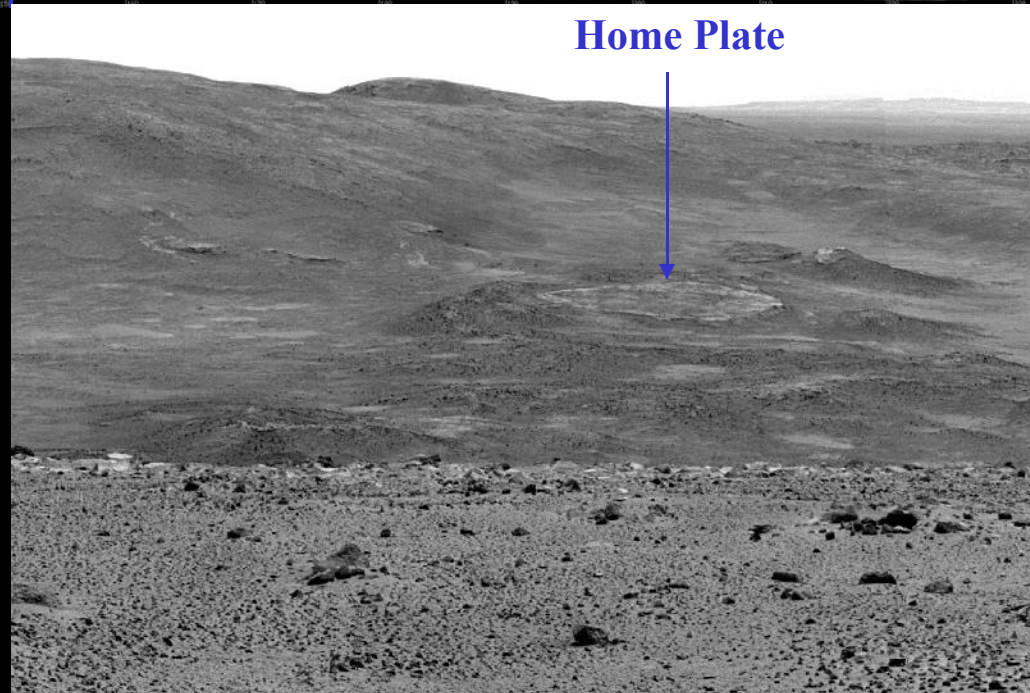


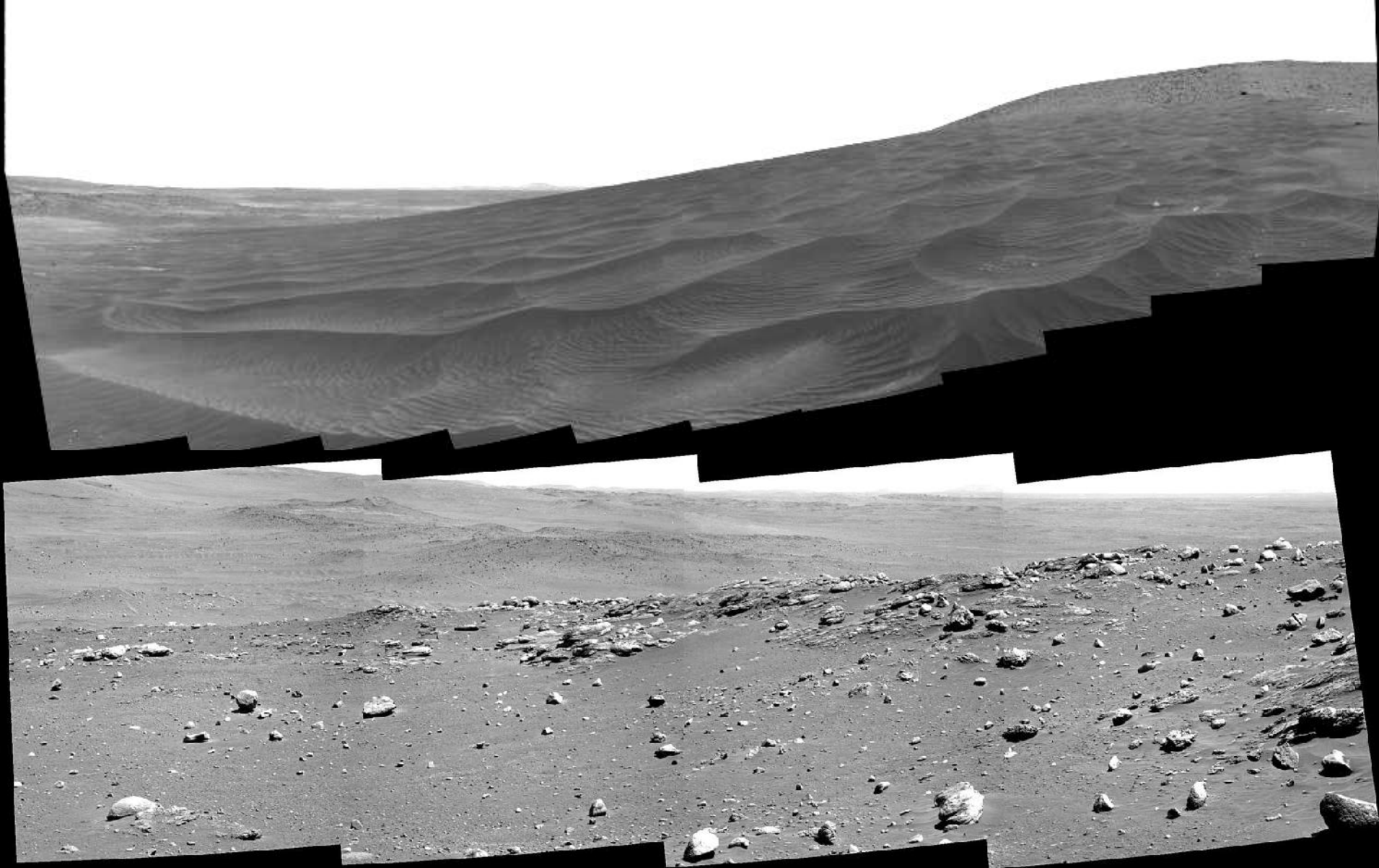
Mars

**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**

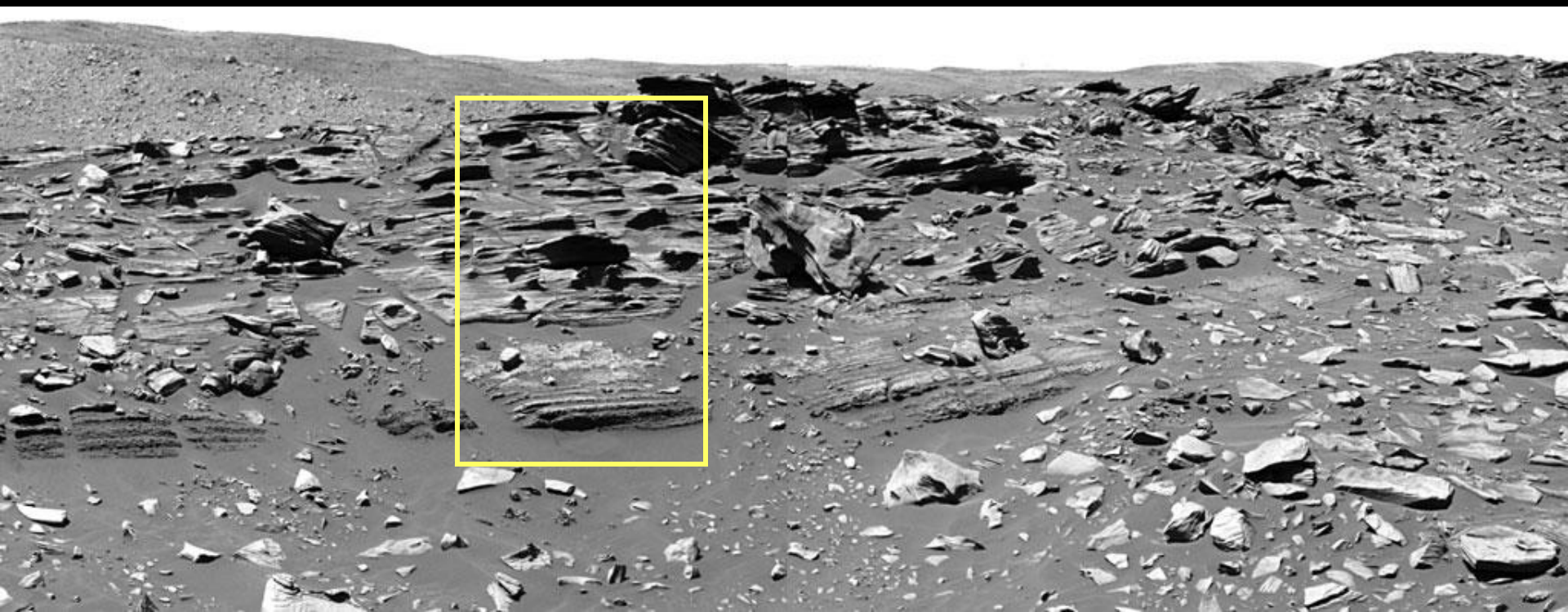




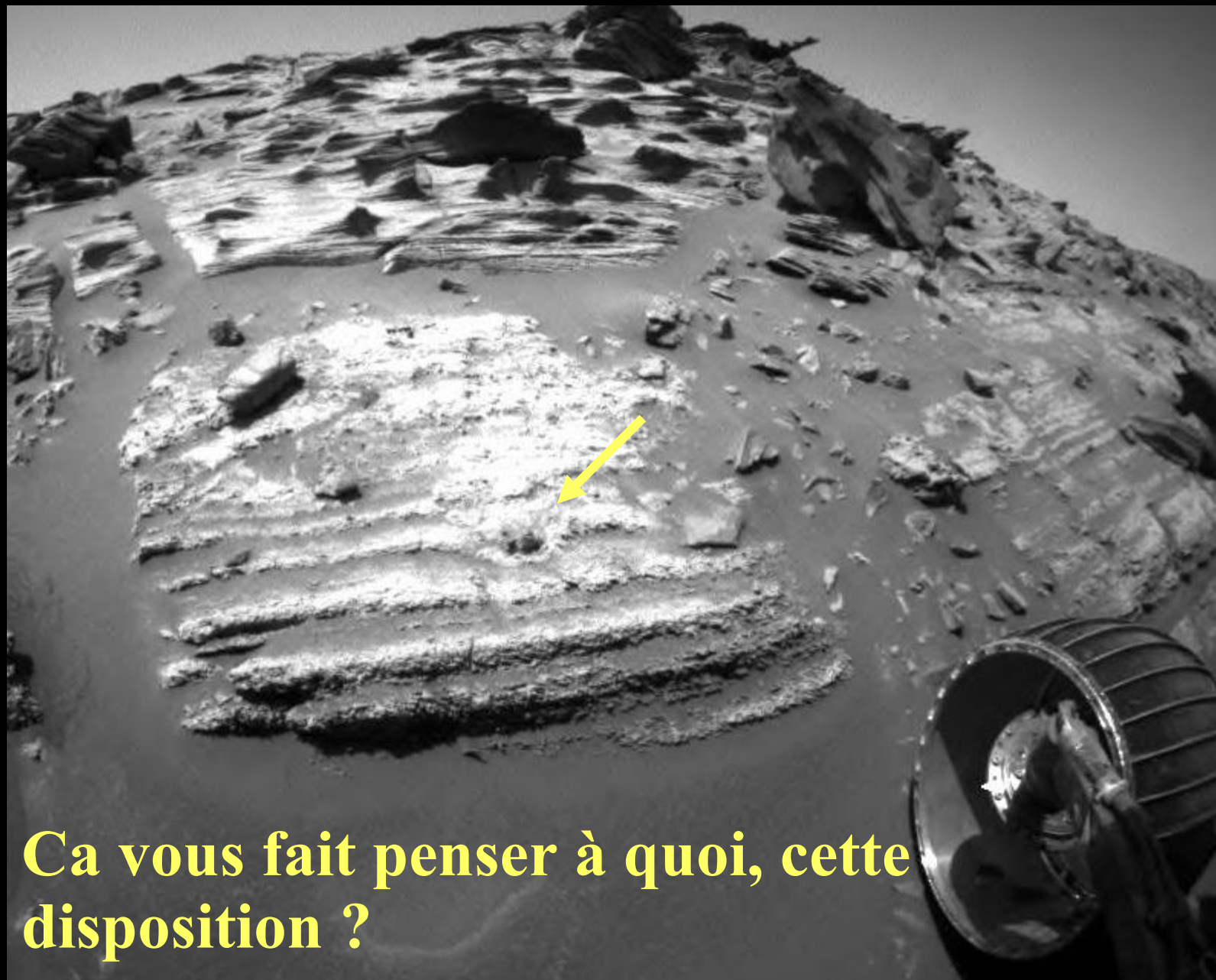
Que voit-il pendant sa descente ? Un champ de dunes, des roches stratifiées ...



**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'H₂O**



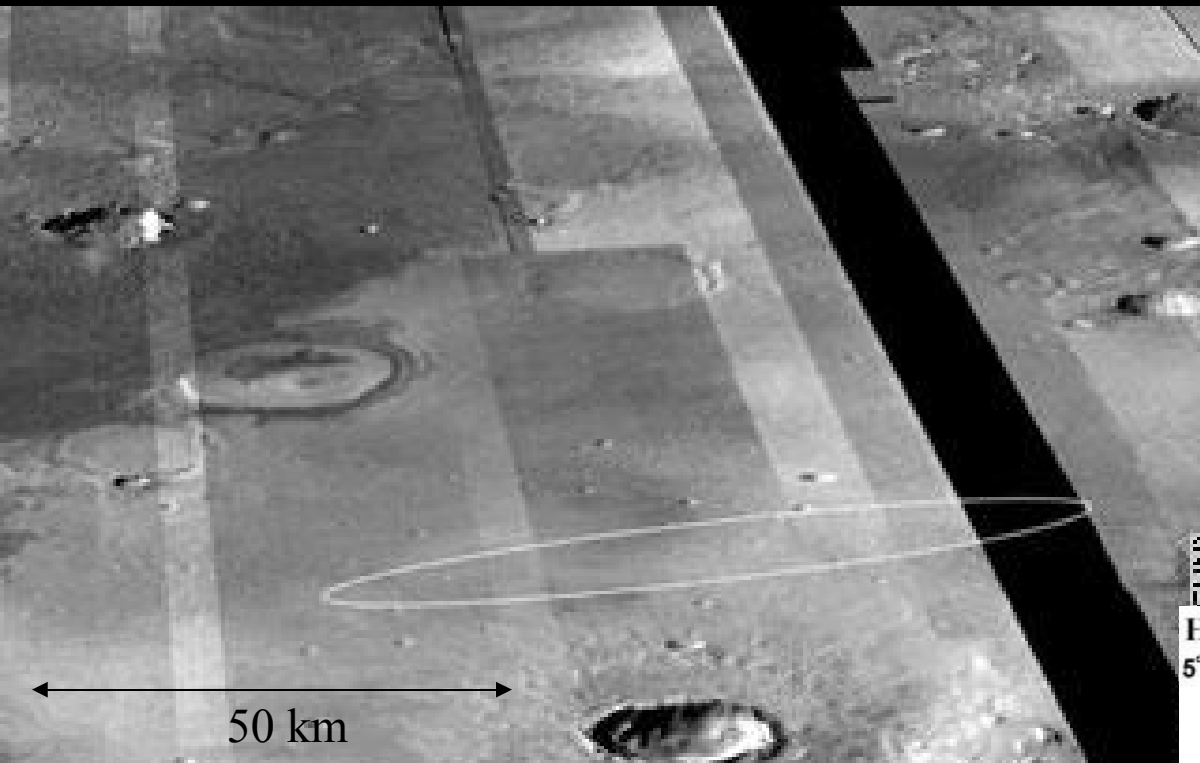
P. Queinnec

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

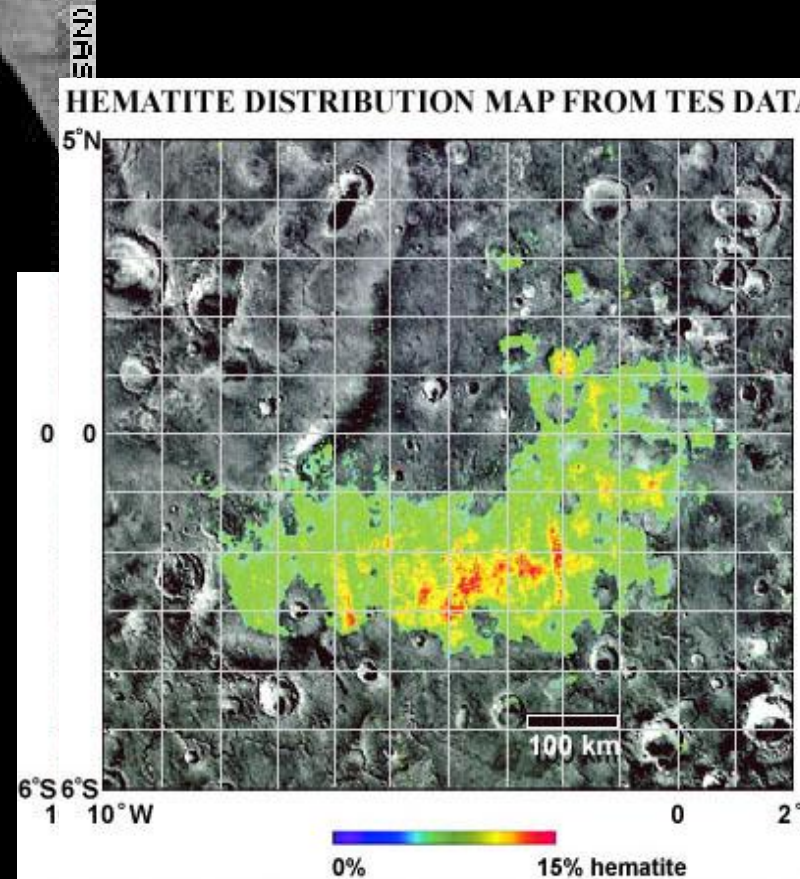
**Spirit rentre en
semi-hibernation. Il
vient d'en sortir et
repart vers de
nouvelles
explorations**



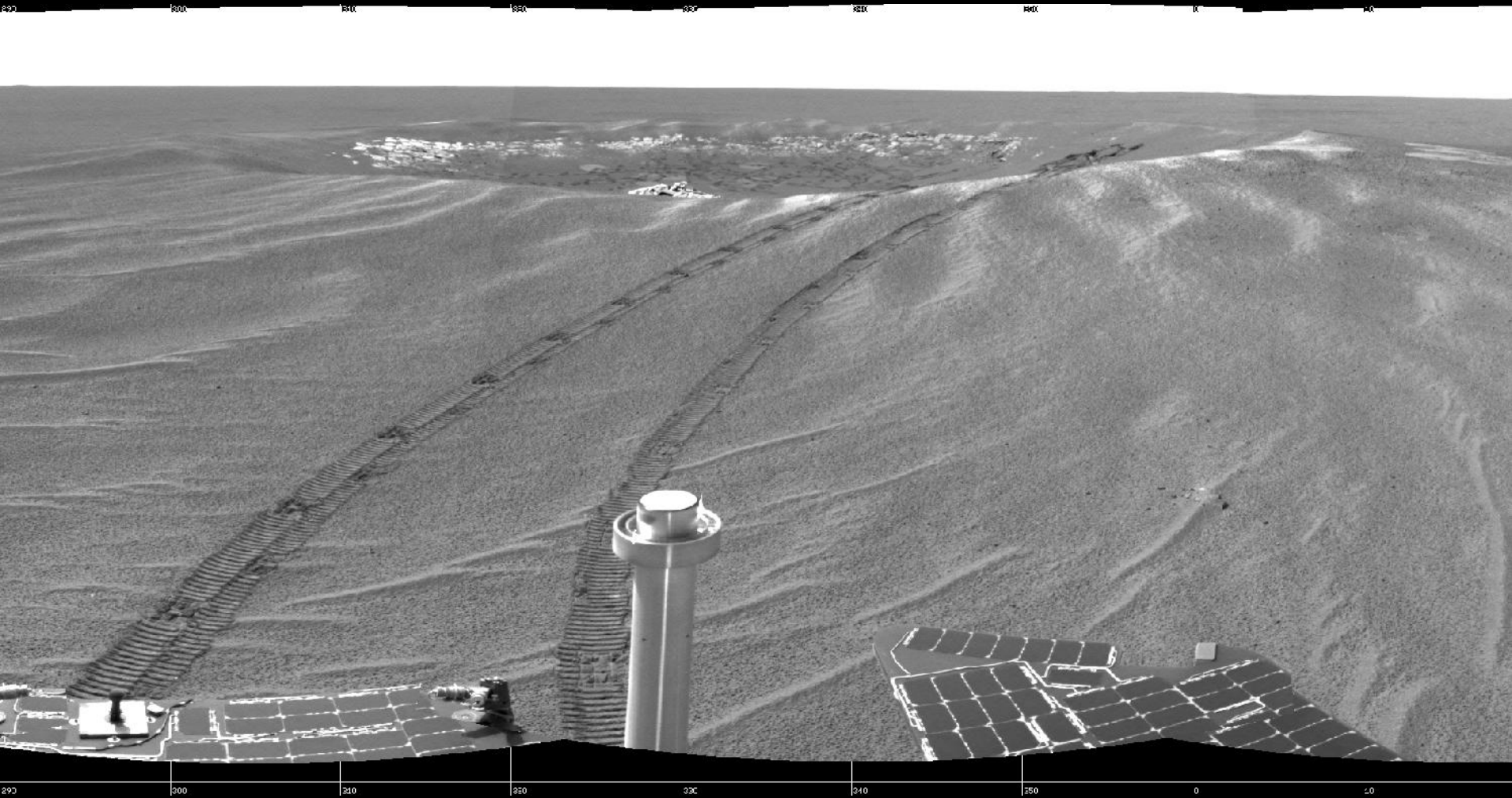
Opportunity



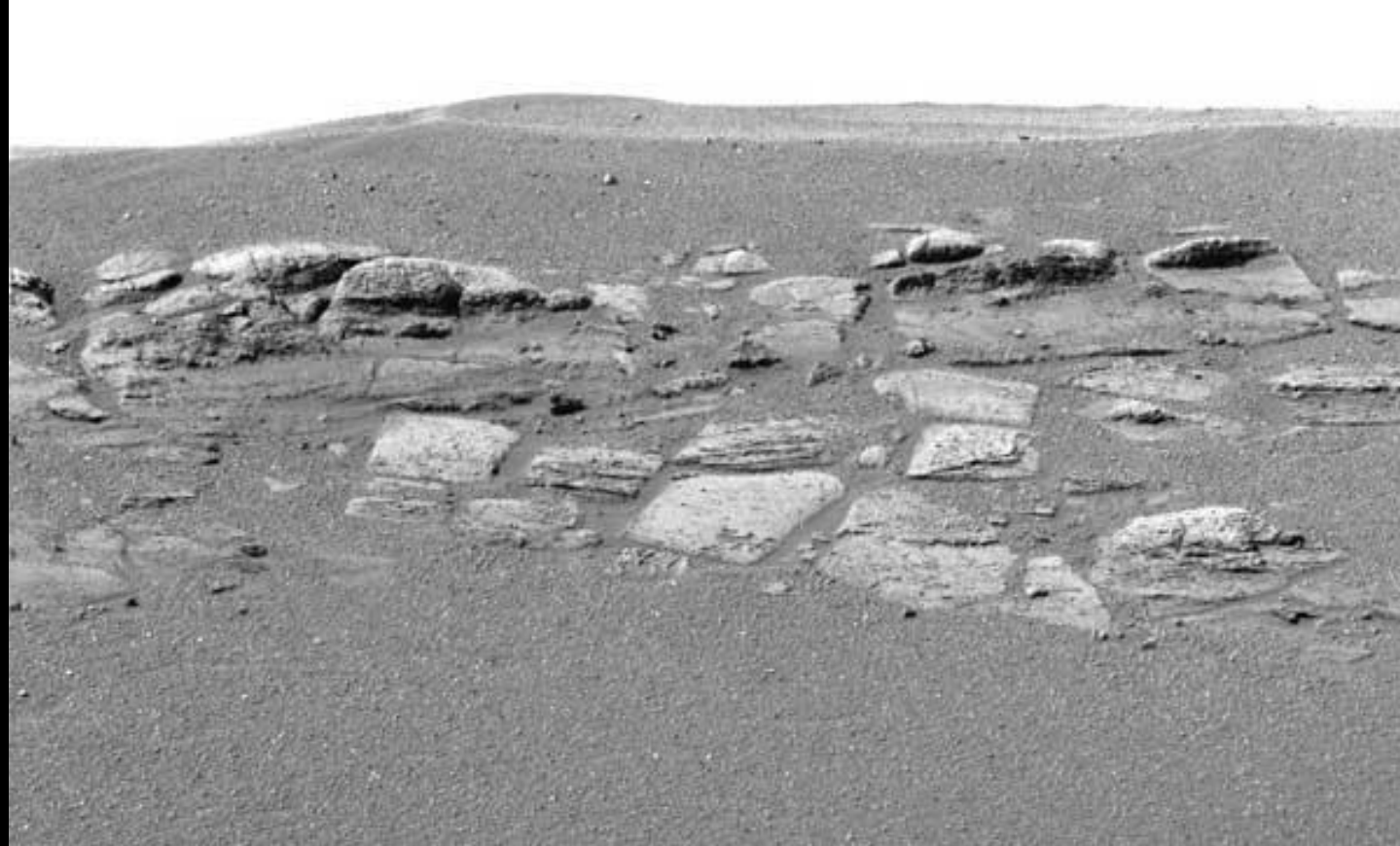
Opportunity, le 2^{ème} robot, s'est posé dans une plaine, Meridiani Planum, que des études orbitales montraient très riche en hématite (Fe_2O_3 = « rouille »), minéral suggérant la présence d'eau liquide passée.



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



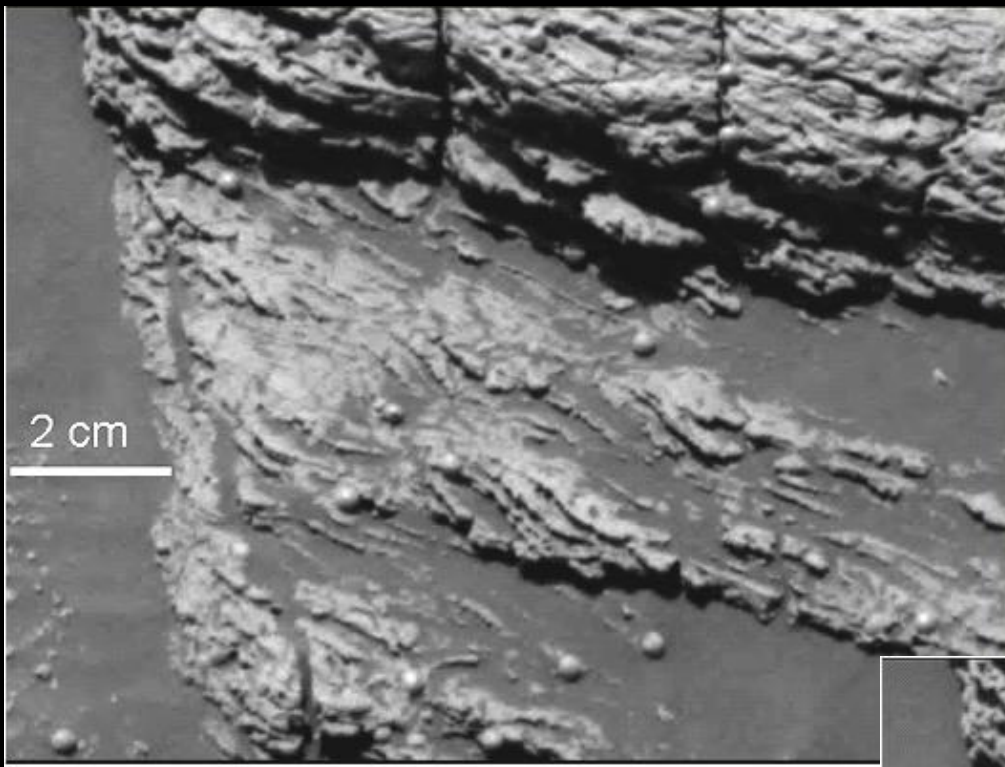
**La plaine « Méridiani », le petit cratère Eagle ($d = 20\text{m}$,
profondeur = 2 m) dans lequel s'est posé Opportunity, et
les traces qu'il a fait pour en sortir au bout de 2 mois.**



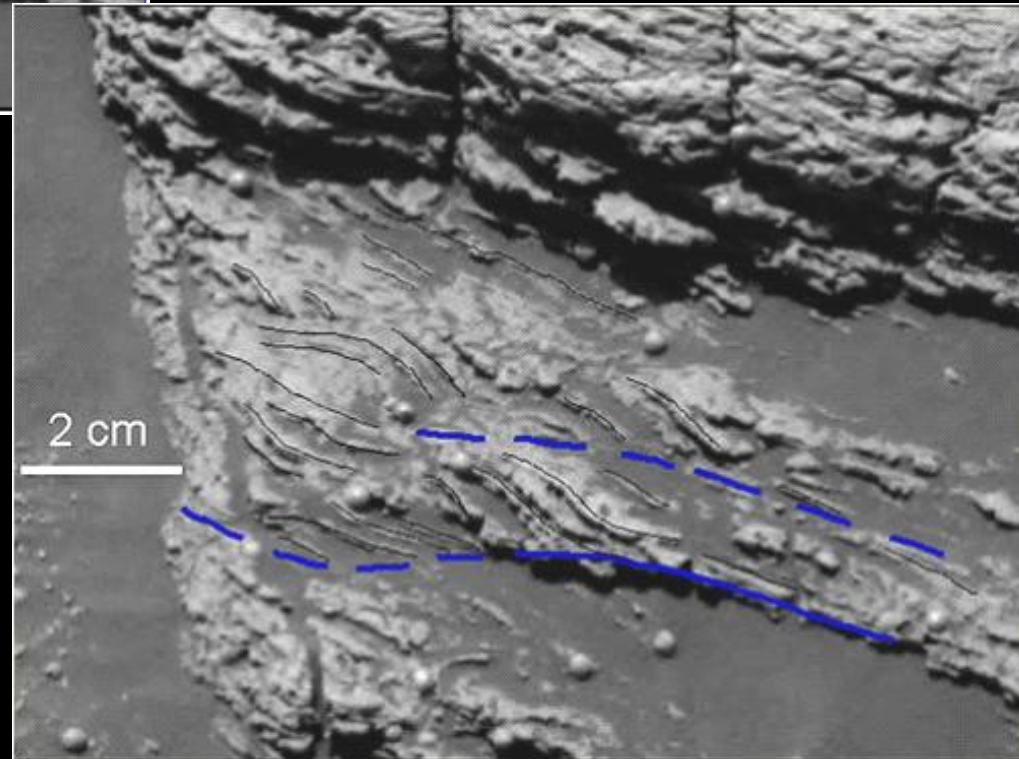
«Falaise»
de 75 cm
de haut

Dans ce cratère Eagle, pour la 1^{ère} 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 !**

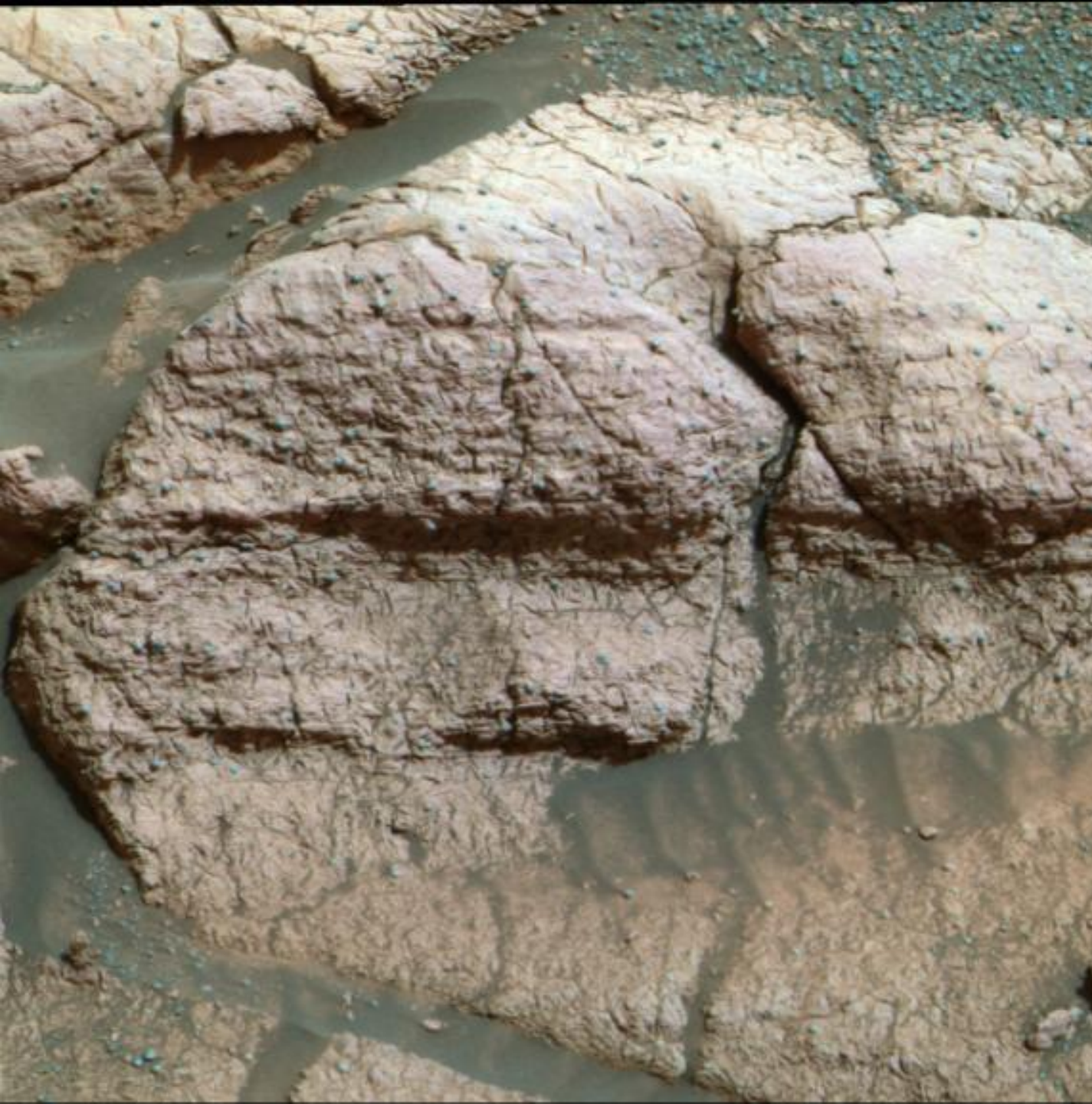


**Et des sédimentologues
patentés nous
affirment que se sont
des stratifications faites
sous un courant d'eau**

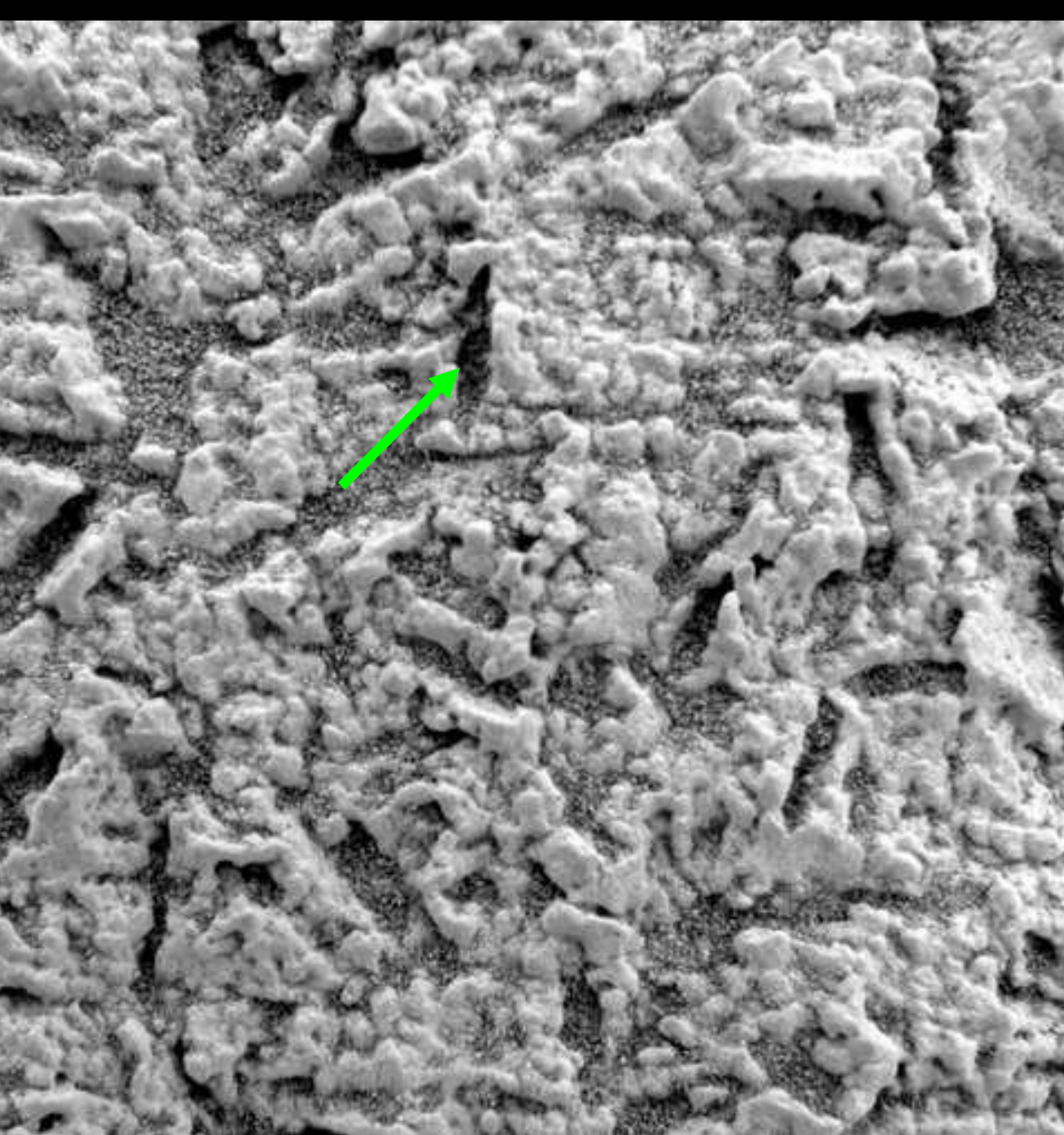




**Une analogie
terrestre des
stratifications
obliques du cratère
Eagle, ici dans le
Crétacé supérieur
des Corbières**



**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)**

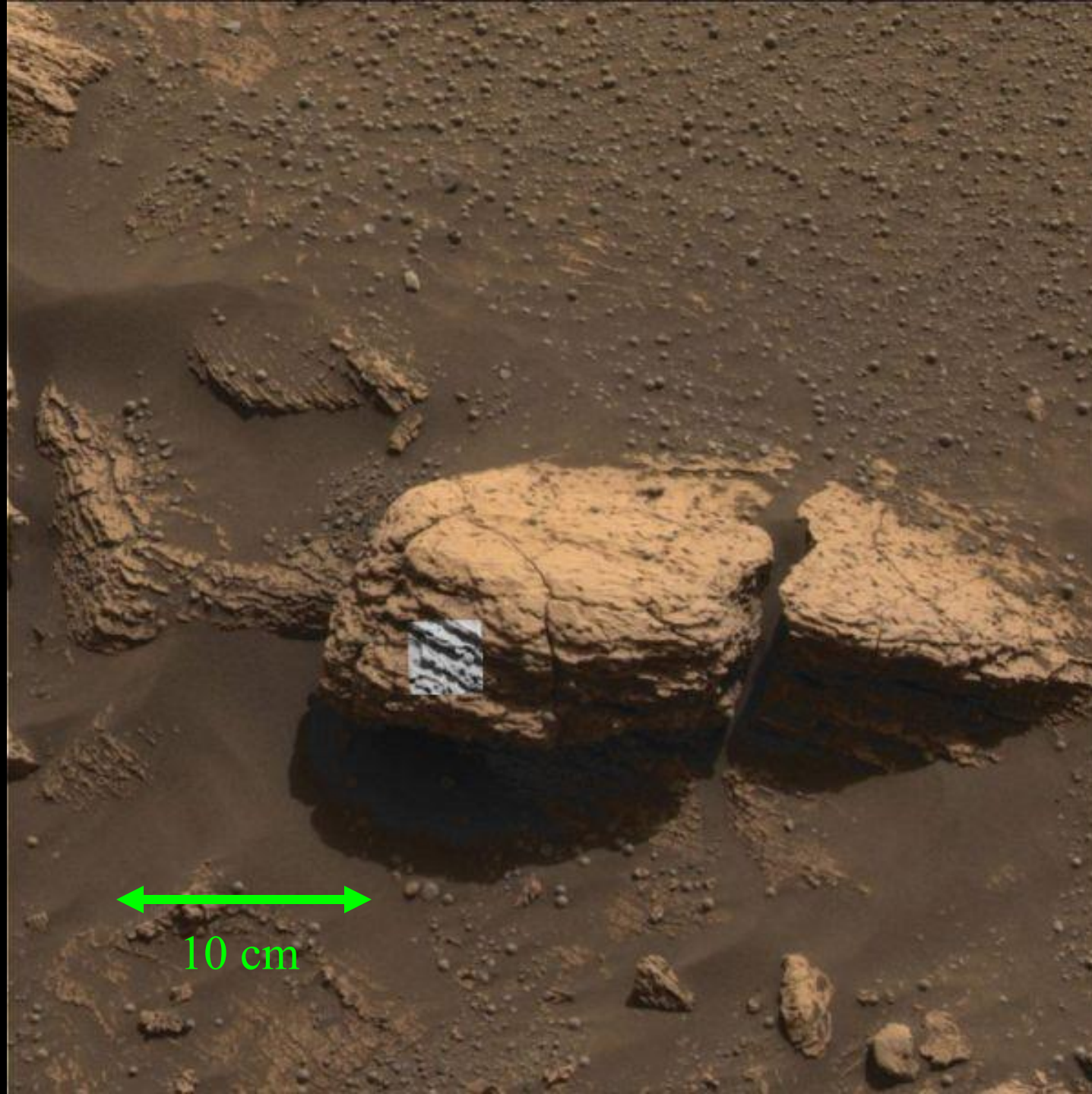


Echantillon et photographie : Pierre Thomas

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

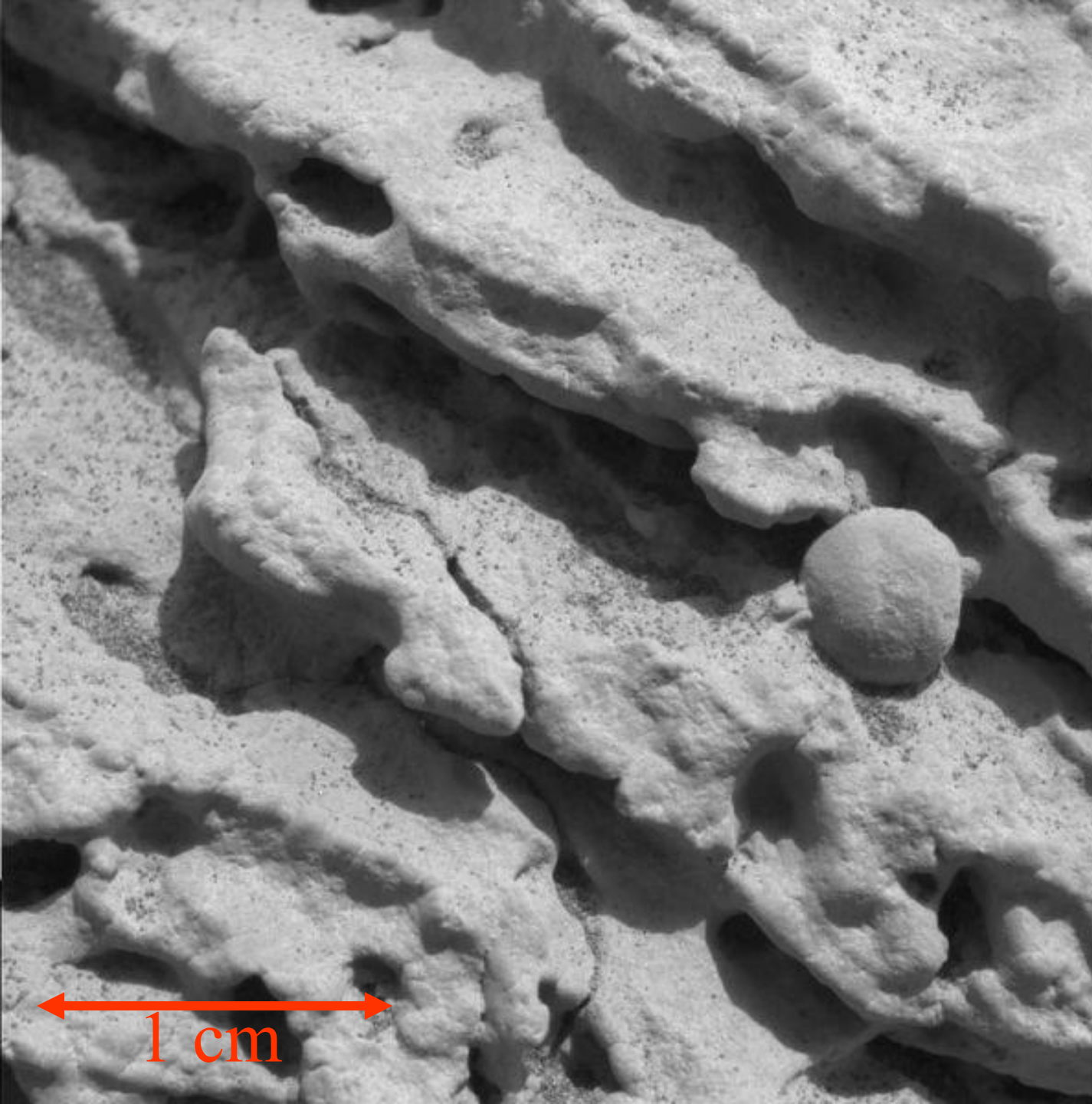


**Gypse, et autres sels,
ça se dépose dans des
lacs salés, des lagunes
en bord de mer ...**

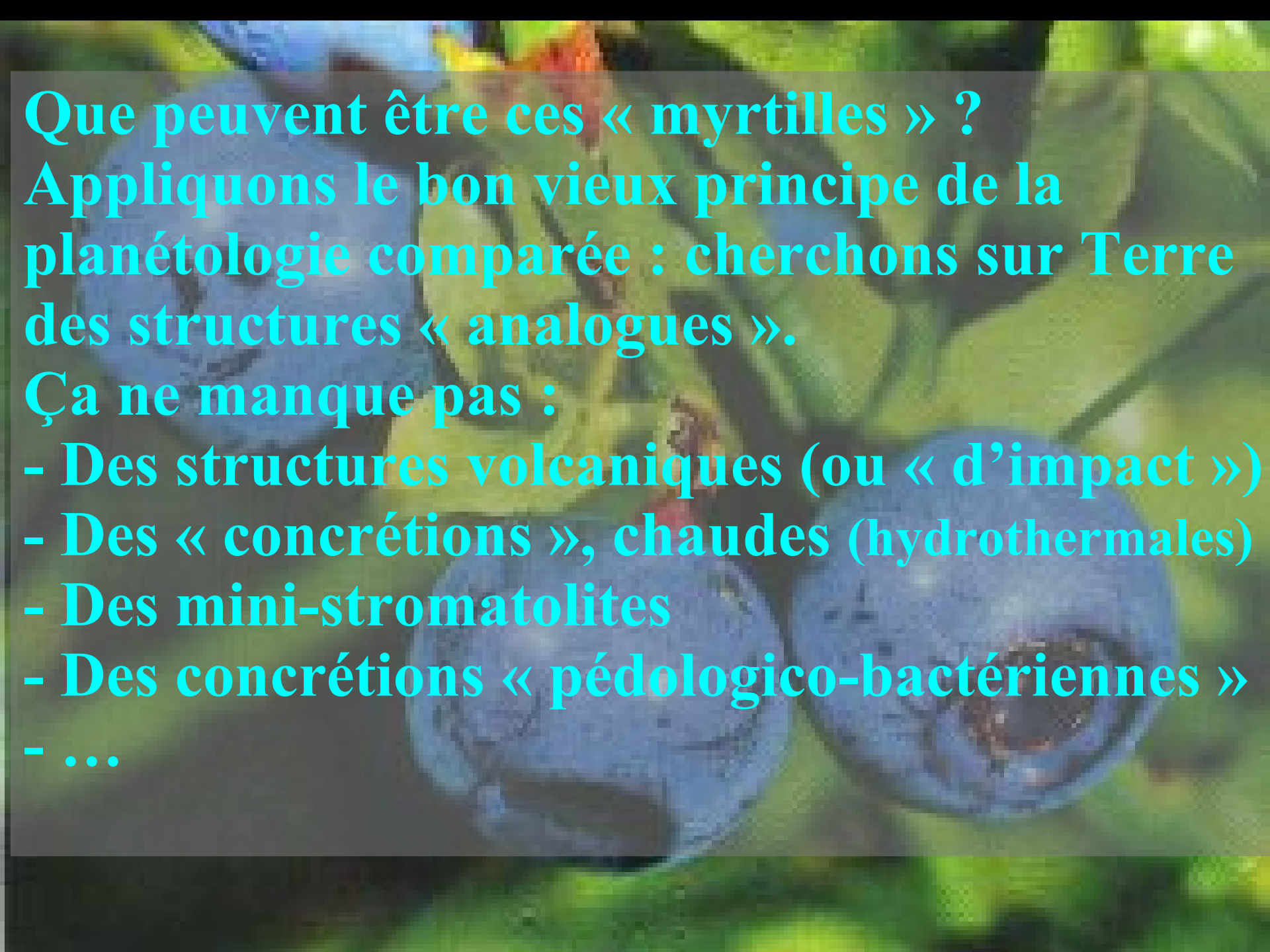


**Les petites
boules.**

**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**

The background of the slide is a close-up photograph of several ripe blueberries resting on a vibrant green leaf. The blueberries are a deep, rich blue with a slight white bloom, and the leaf shows prominent veins. The text is overlaid on this image in a bright cyan color.

**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 ????

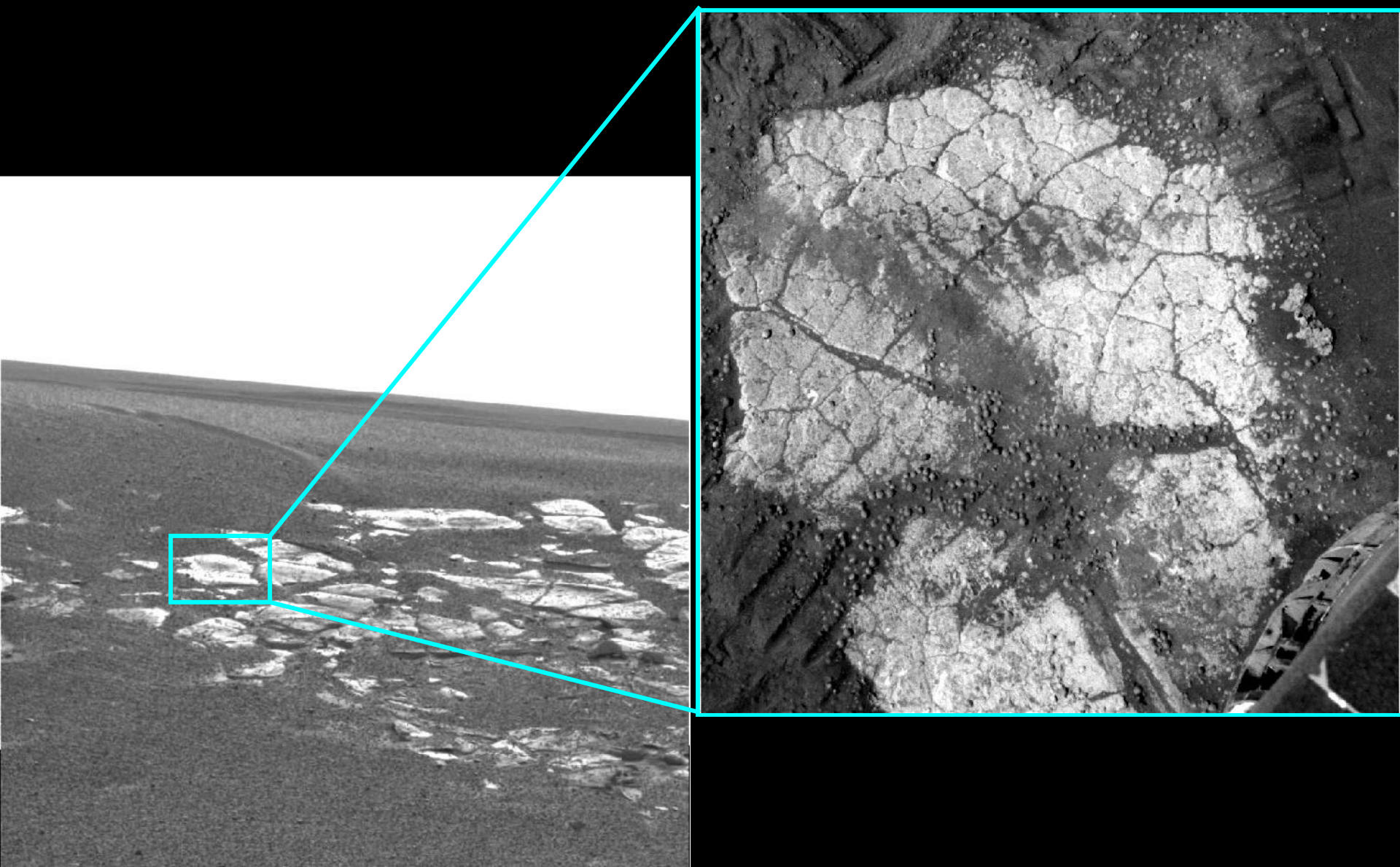


Photo Pierre Thomas

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

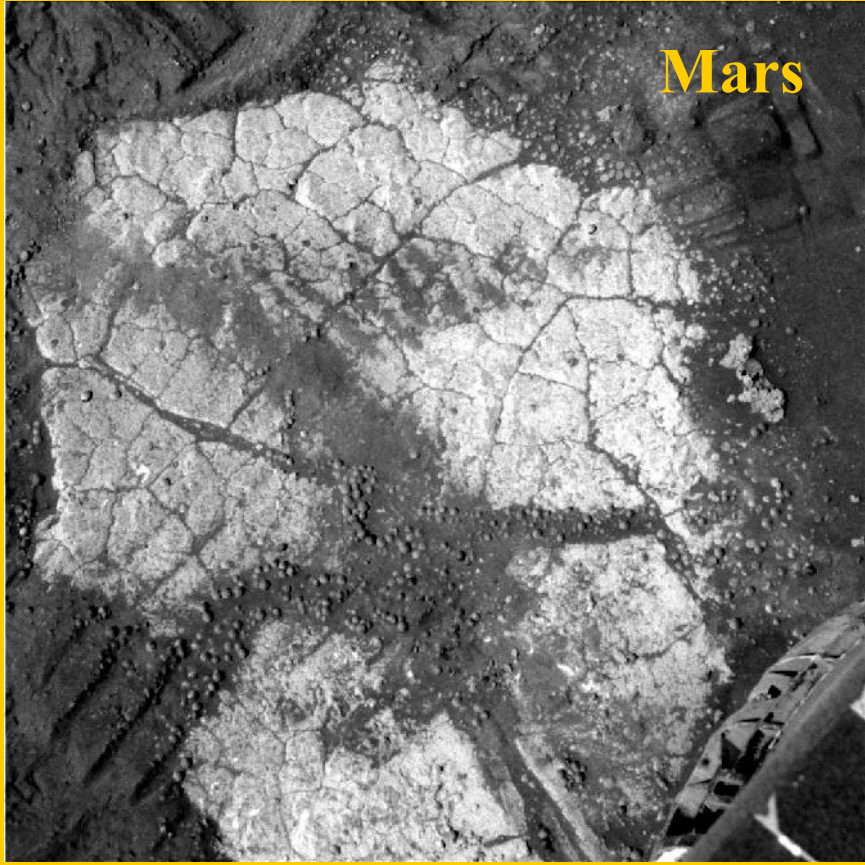


Photo Pierre Thomas



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

Mars



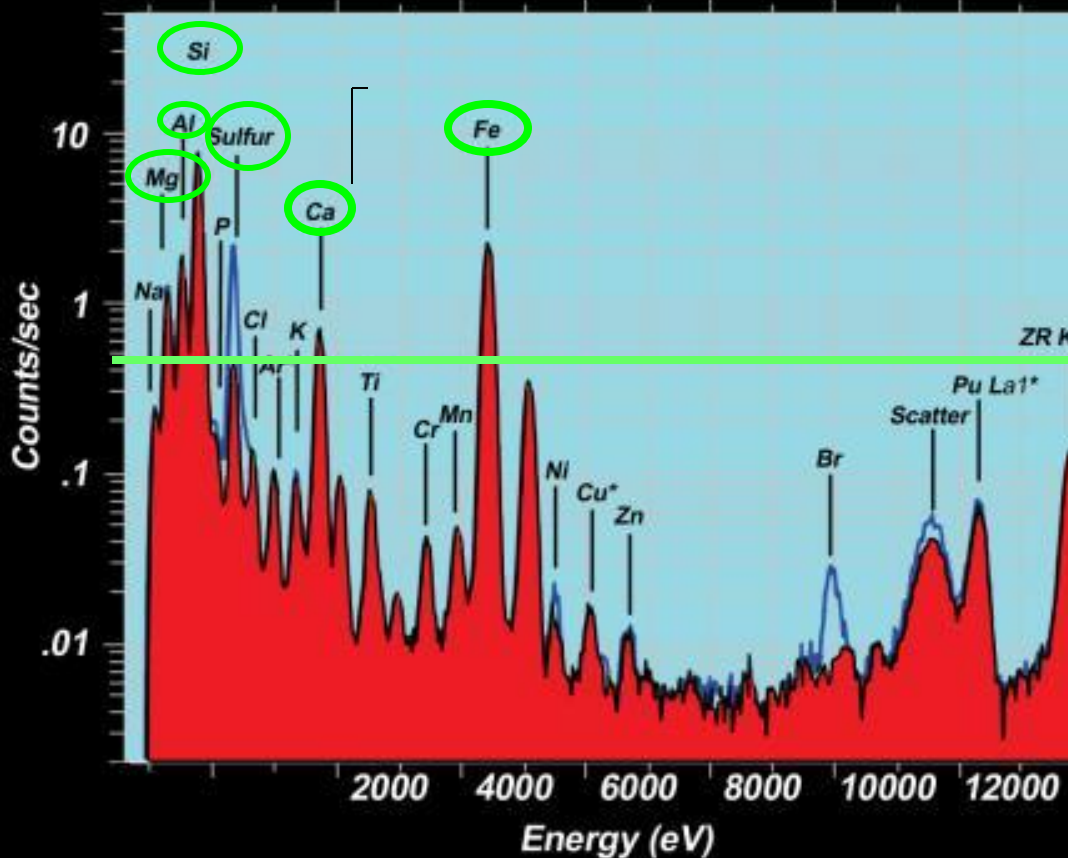
Terre



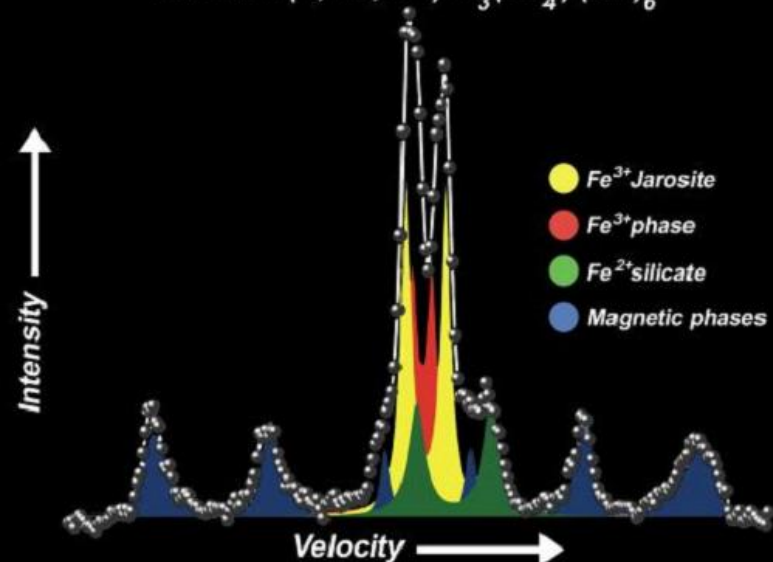
Photo Pierre Thomas

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: $(K, Na, X^{+1})Fe_3(SO_4)(OH)_6$

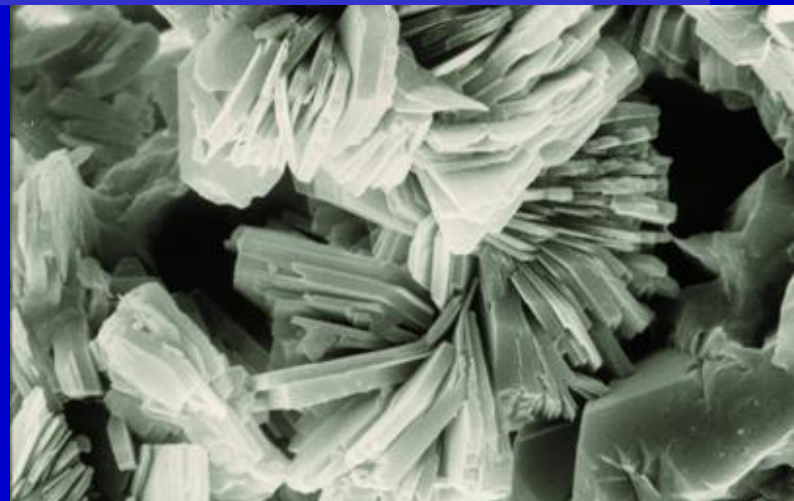
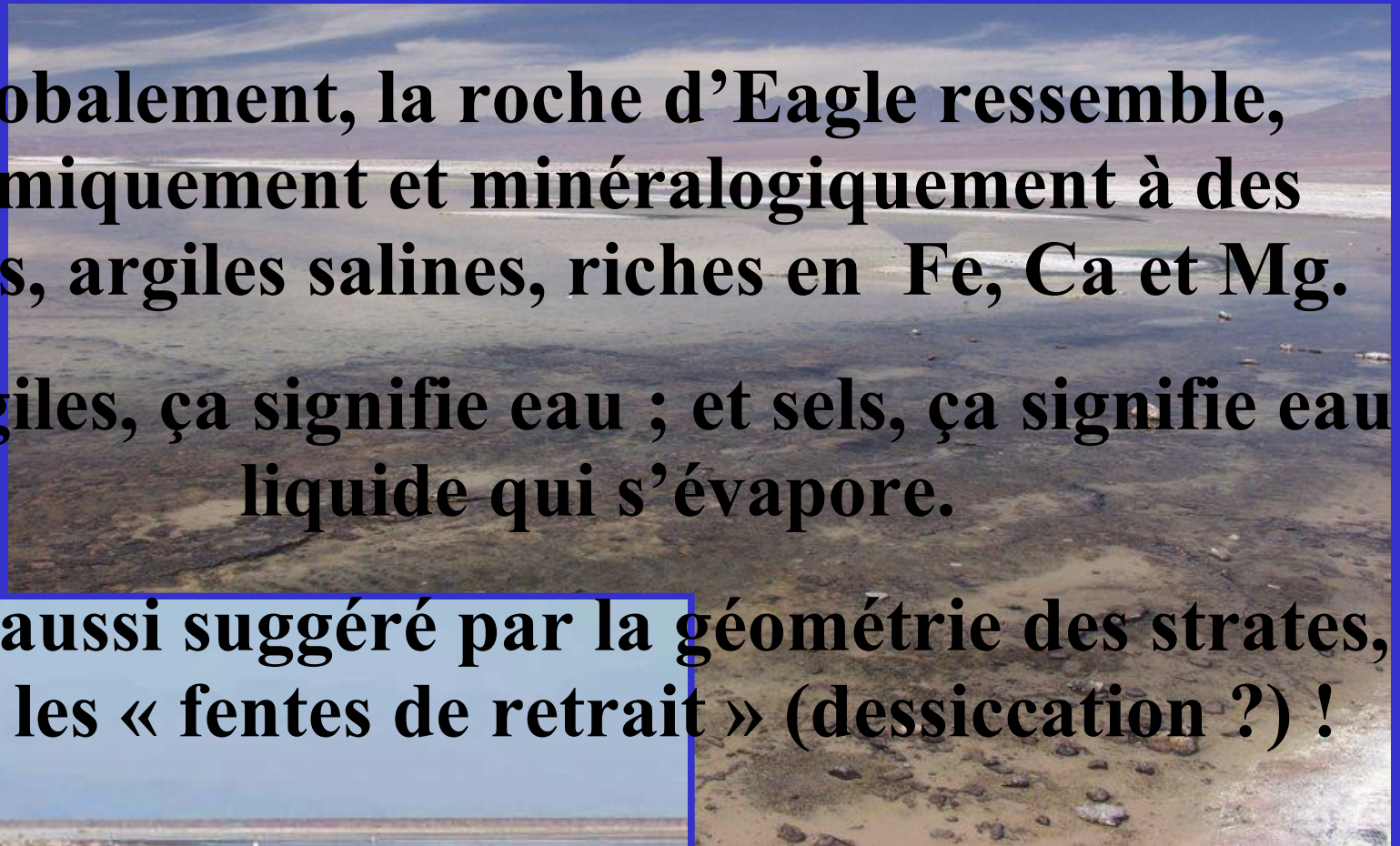


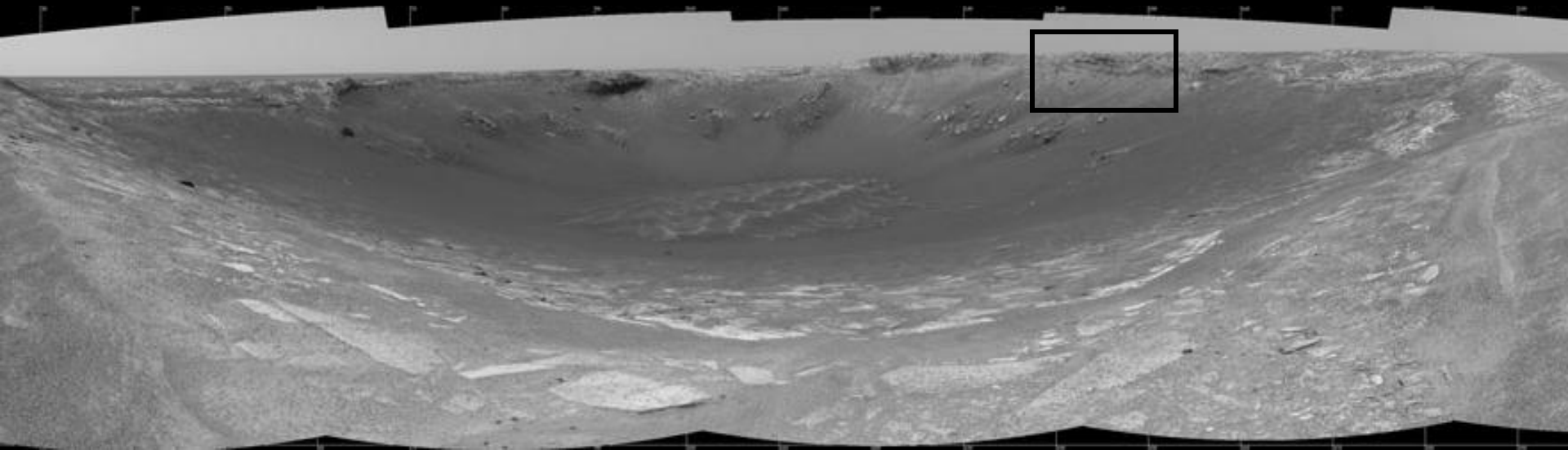
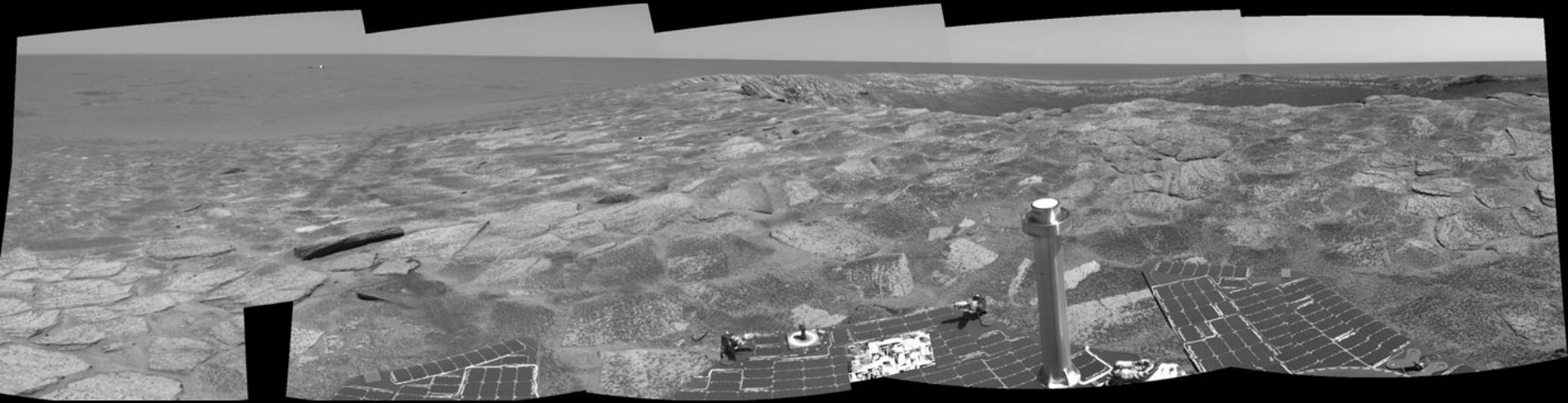
Analyse chimique globale : des alumino-silicates (argiles possibles) riches en Fe, Mg, Ca et S. Analyse minéralogique : la roche « globale » contient de l'hématite ($Fe_2O_3 \pm$ hydraté), un sulfate potasso-ferrique hydraté ...

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

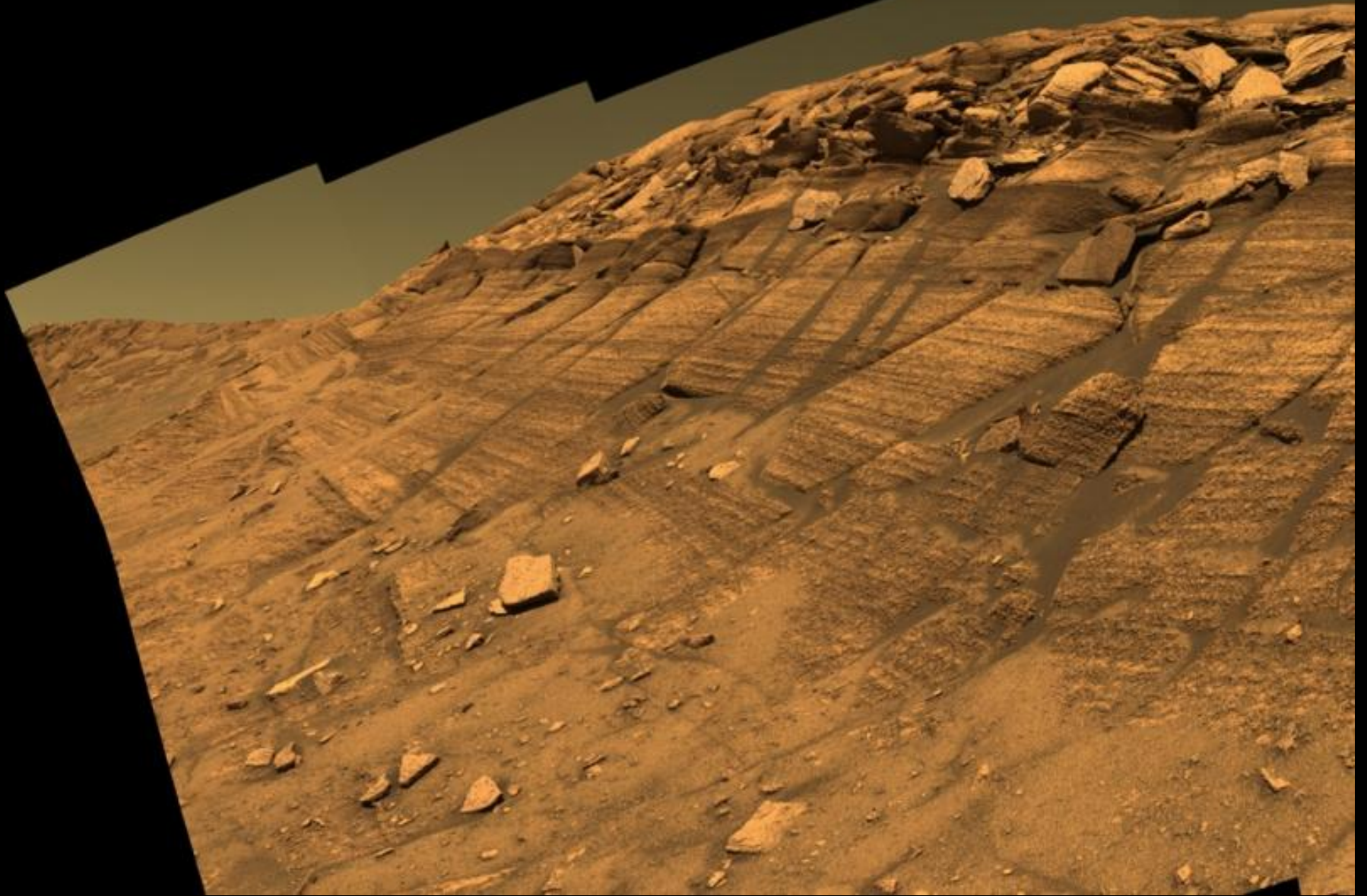
Et argiles, ça signifie eau ; et sels, ça signifie eau liquide qui s'évapore.

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, $h = 20$ m)



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



... avec leur discordance

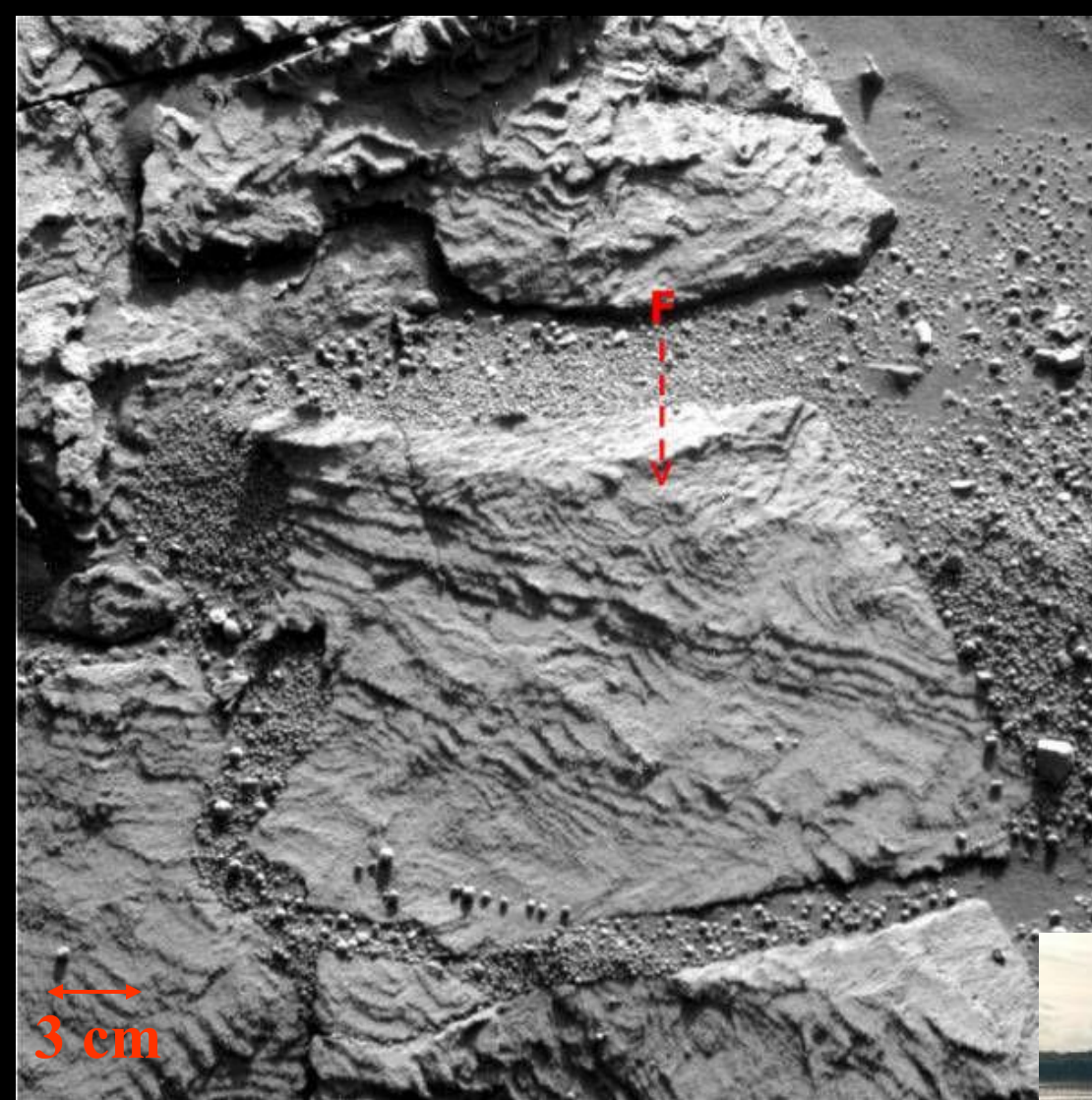
**Une analogie terrestre :
accumulation de sable
(coquiller) côtier, ici en
Touraine, 20 Ma**



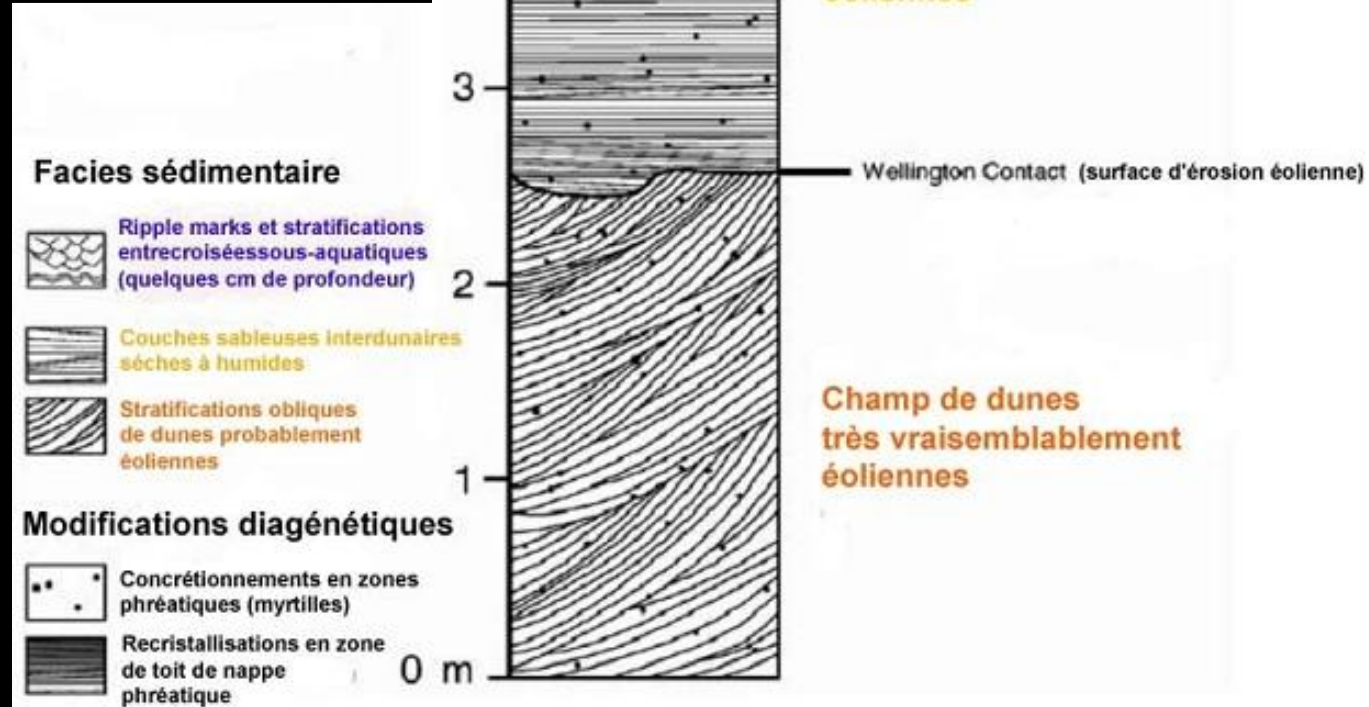


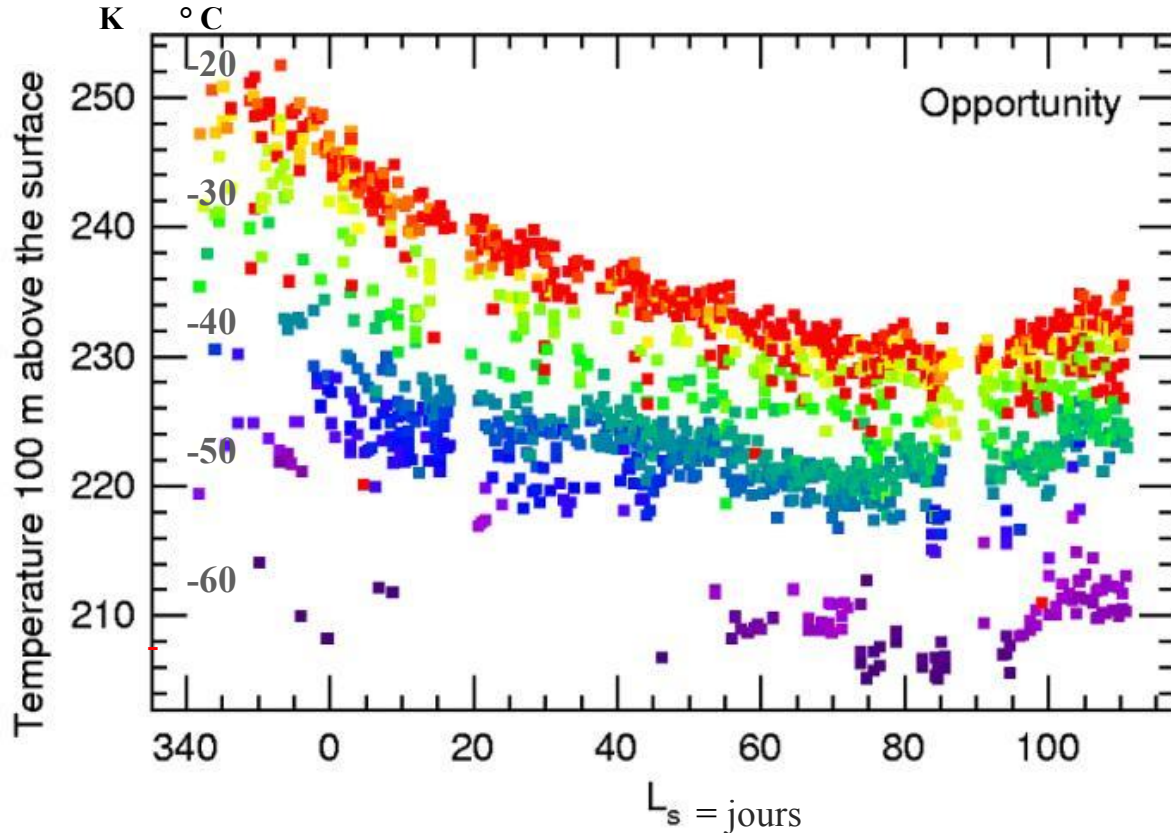
**On retrouve aussi des pseudo-dykes miniatures.
De l'eau a circulé dans des micro-fractures.**

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 clapottante, sous une profondeur d'eau de quelques cm.



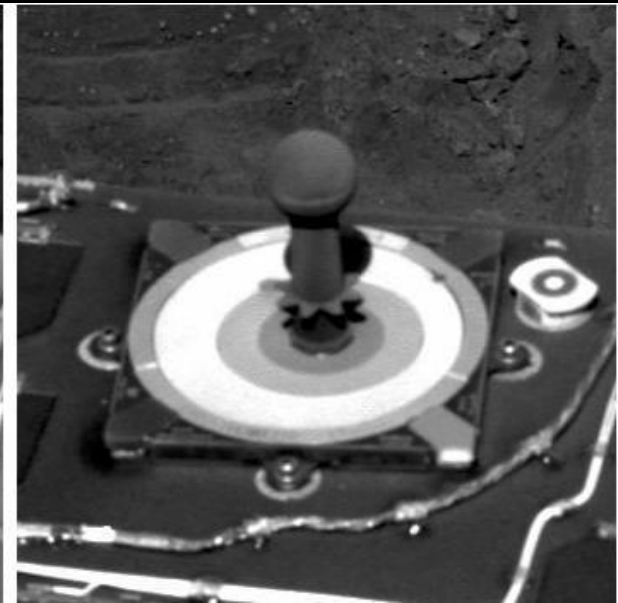
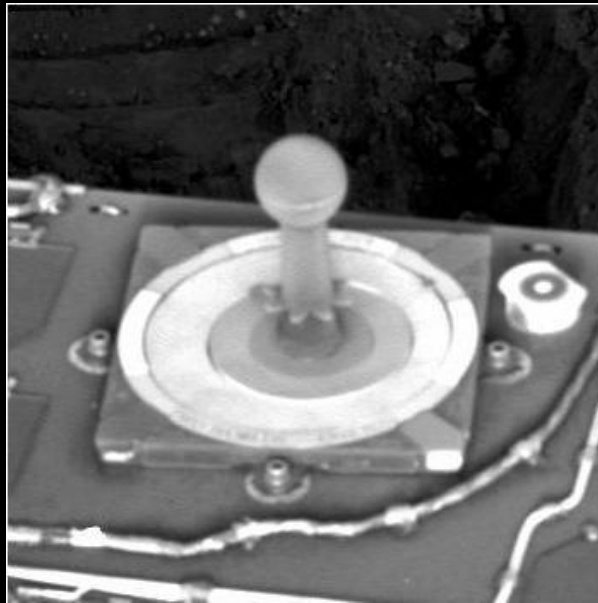
On peut reconstituer la suite des couches et la succession des environnements dans la région d'Endurance : un environnement de plage en bord d'un lac salé peu profond, entouré de dunes

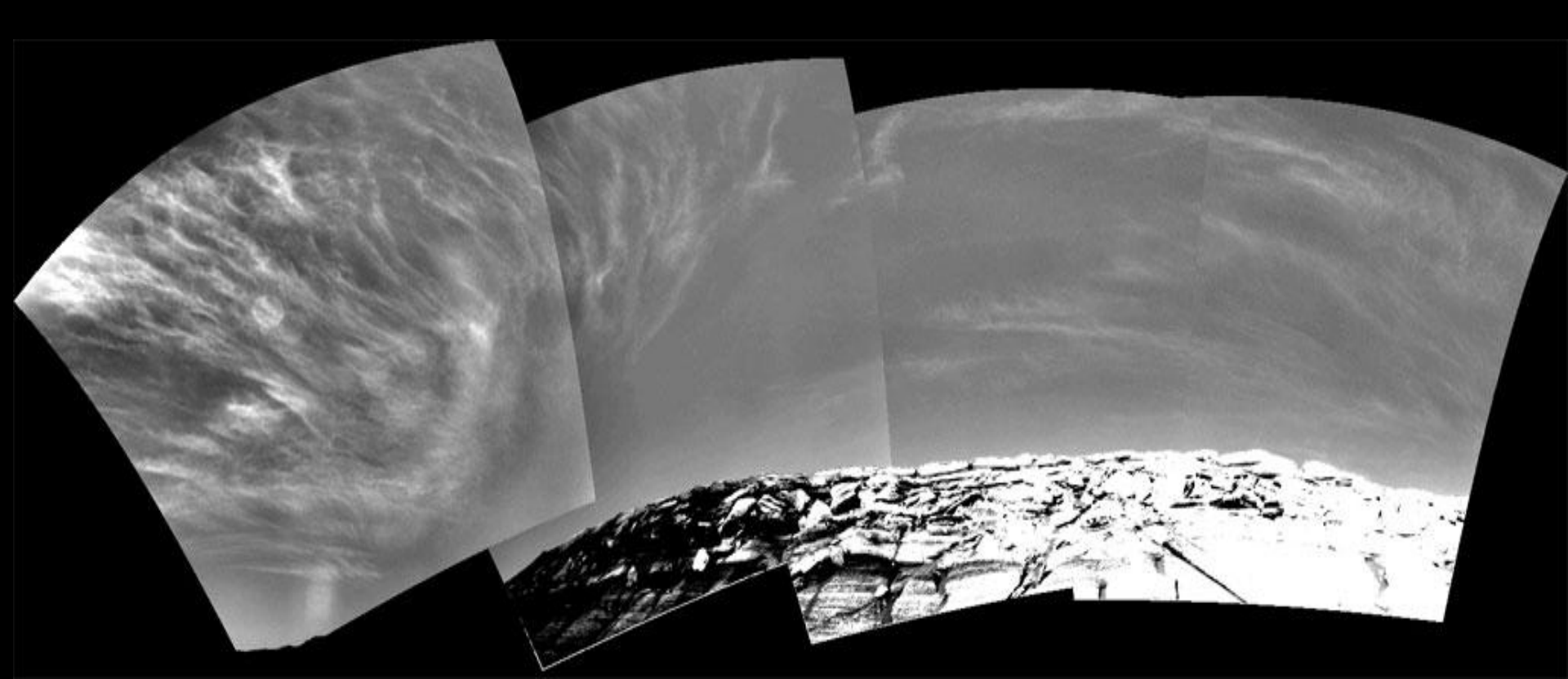




**Dans le cratère,
il a fait
également de la
météo.
À gauche, les
variations de
température,
sur 6 mois**

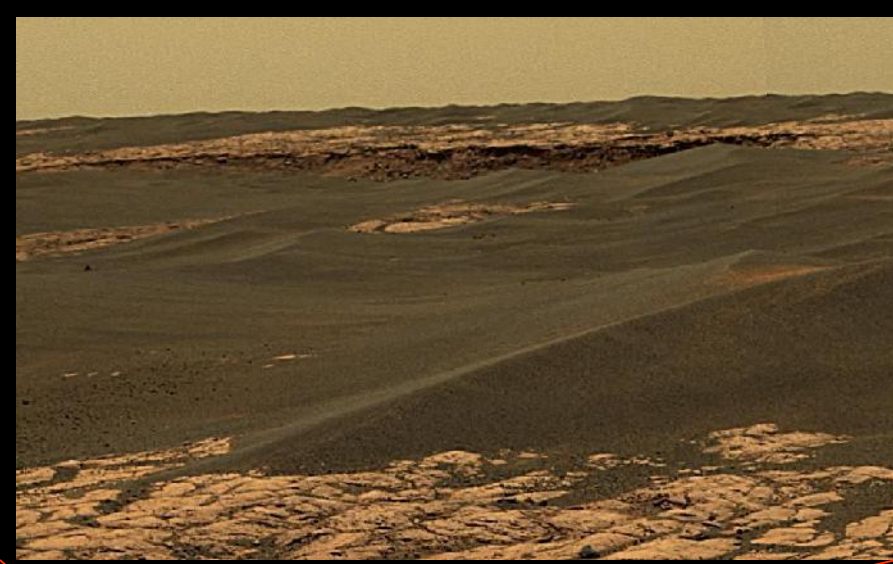
**La nuit, le robot
se recouvre de
givre d'H₂O ; le
matin, ce givre se
sublime**

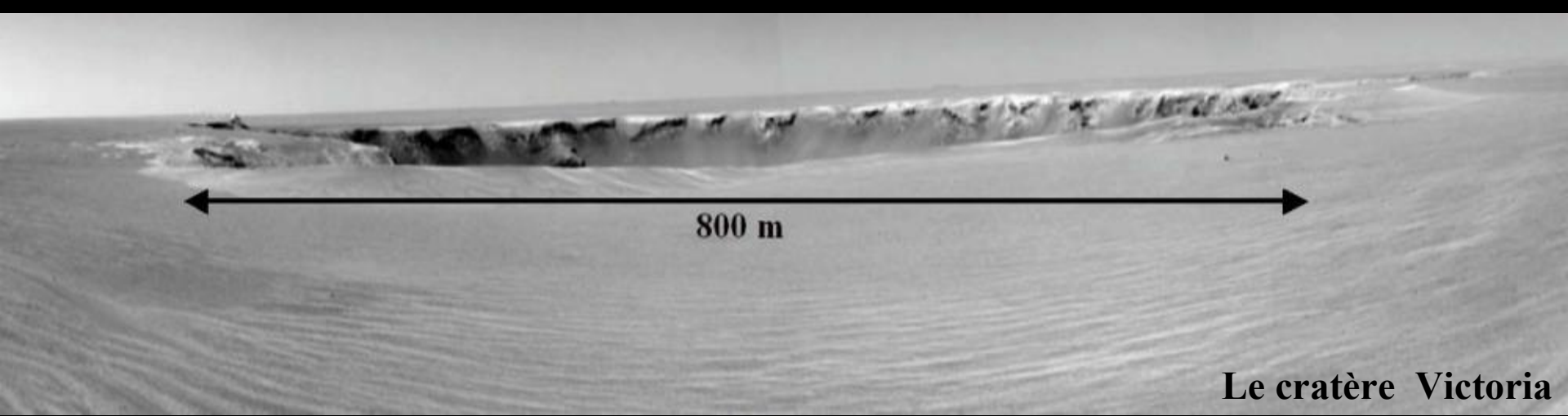




En général, il fait beau ; mais il arrive qu'il y ait des nuages, qui ressemblent à des cirrus (nuages formés de micro-cristaux de glace)

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'H₂O 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.

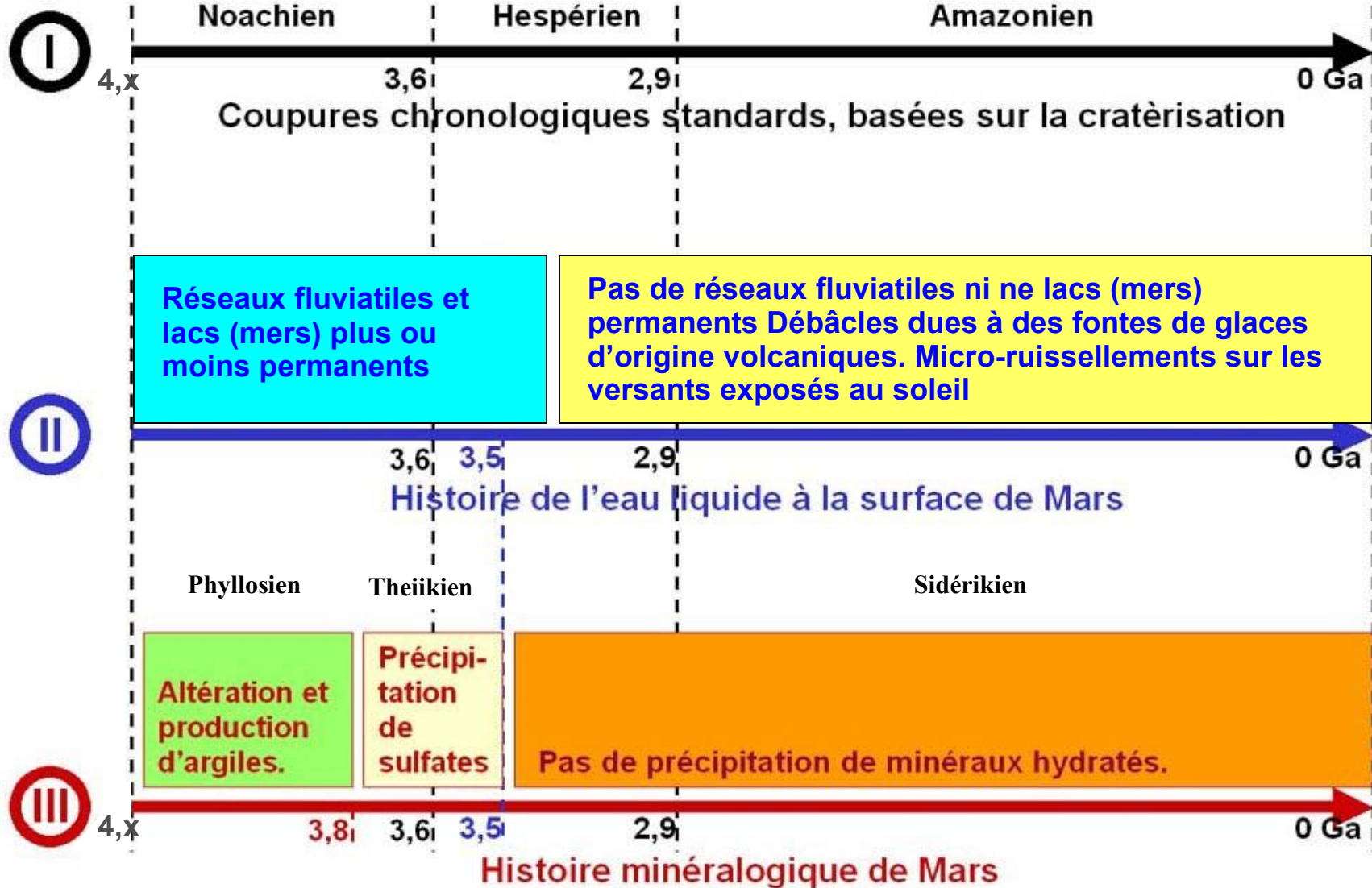


***De 4,X à 4-3,8 Ga, il y avait de l'eau liquide pérenne à la surface de Mars.**

***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 CO₂ et de l'effet de serre.**

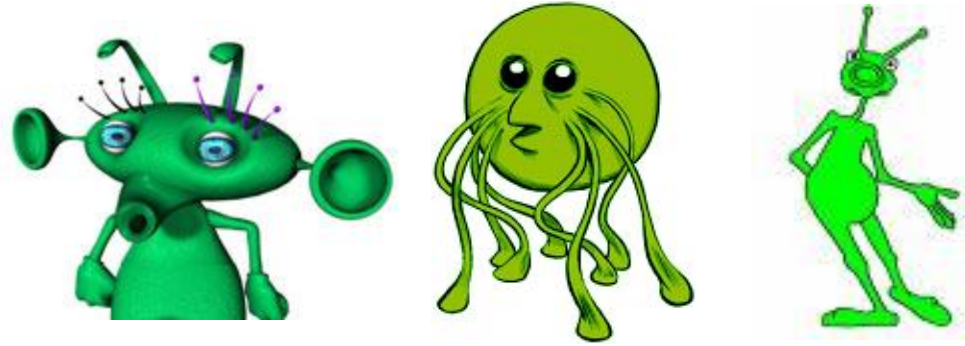
***Depuis 3,5-3 Ga, il n'y en a plus, sauf exceptionnellement et en déséquilibre (volcanisme, versant sud au soleil ...)**

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



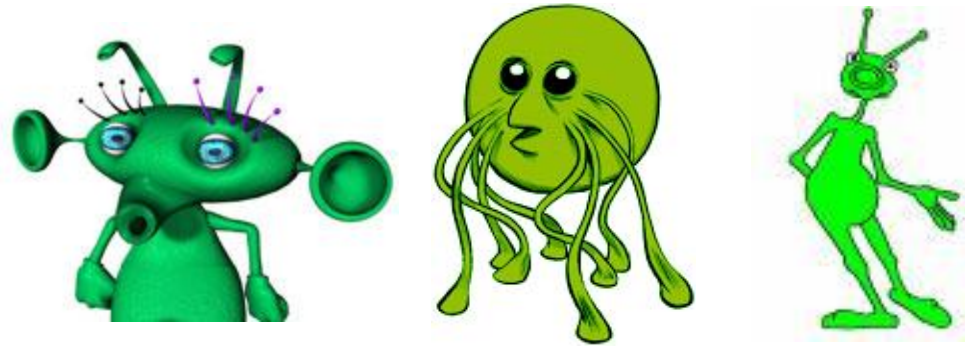
Un triple résumé de l'histoire de Mars

Plus vieilles traces de vie sur Terre



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 ?**