



Les aventures de Phoenix, Spirit et Opportunity, les trois petits robots géologues de la NASA qui explorent Mars

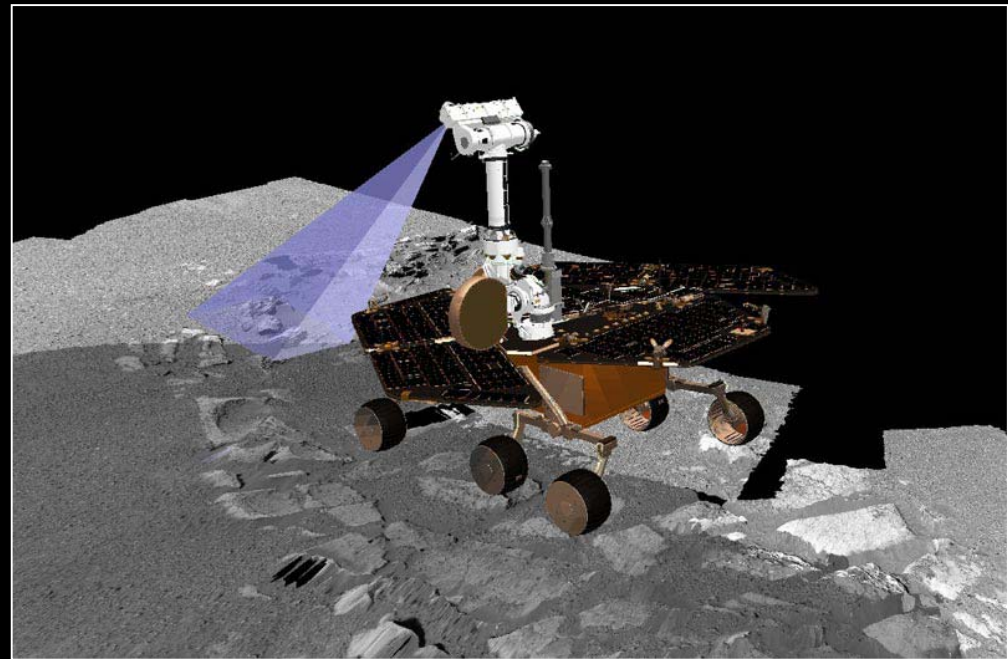
Pierre Thomas, ENS Lyon

Festival de Fleurance, août 2011



**En ce moment 3 sondes
en fonctionnement
tournent autour de
Mars, une s'y
« promène » et une
autre va y partir en
novembre prochain.**

Pourquoi ?



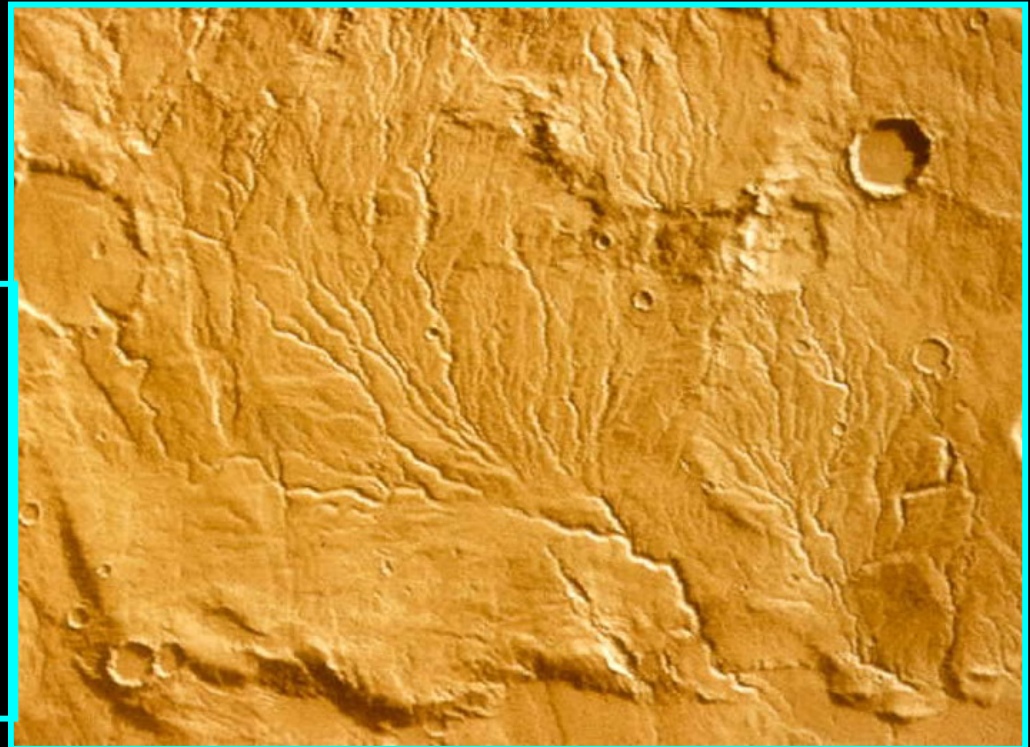


Pour tenter de répondre à certaine grandes questions concernant l'eau et les conditions d'habilité (anciennes) sur Mars.



**Pas de question sur la présence d'eau sur Mars !
On soupçonne qu'il y a de l'eau gelée sur Mars depuis ... 1666. On en a la preuve depuis 1964 !**

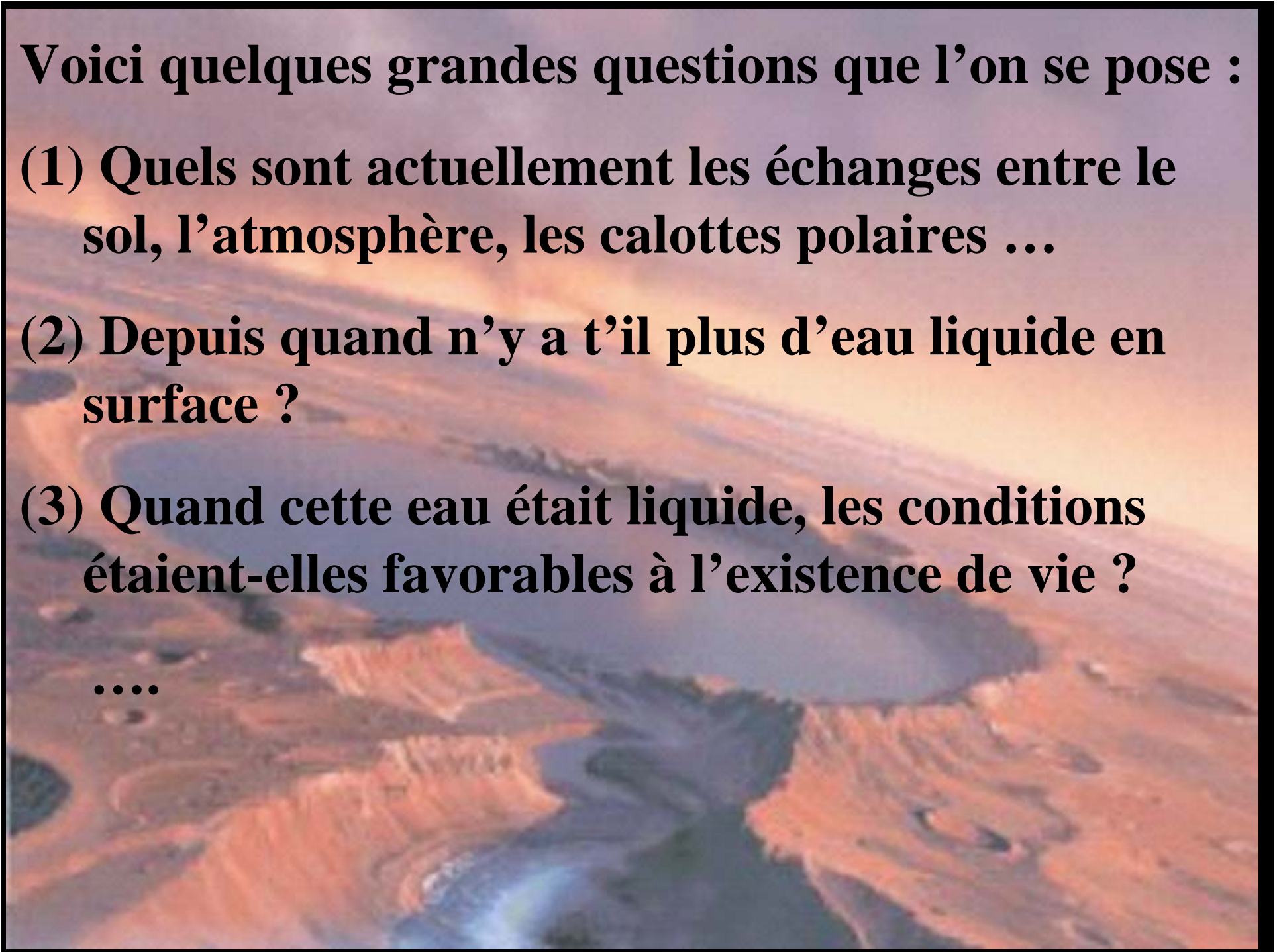
On sait depuis 1969 que cette eau a été liquide dans un passé lointain



Voici quelques grandes questions que l'on se pose :

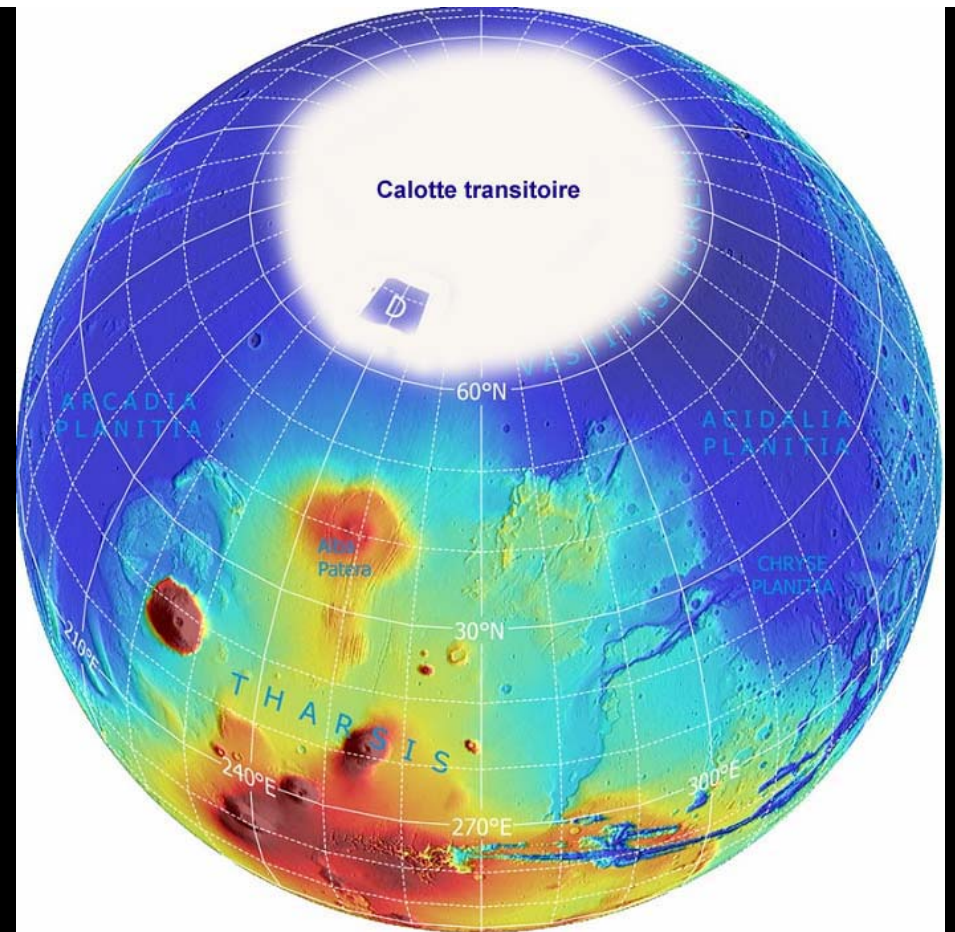
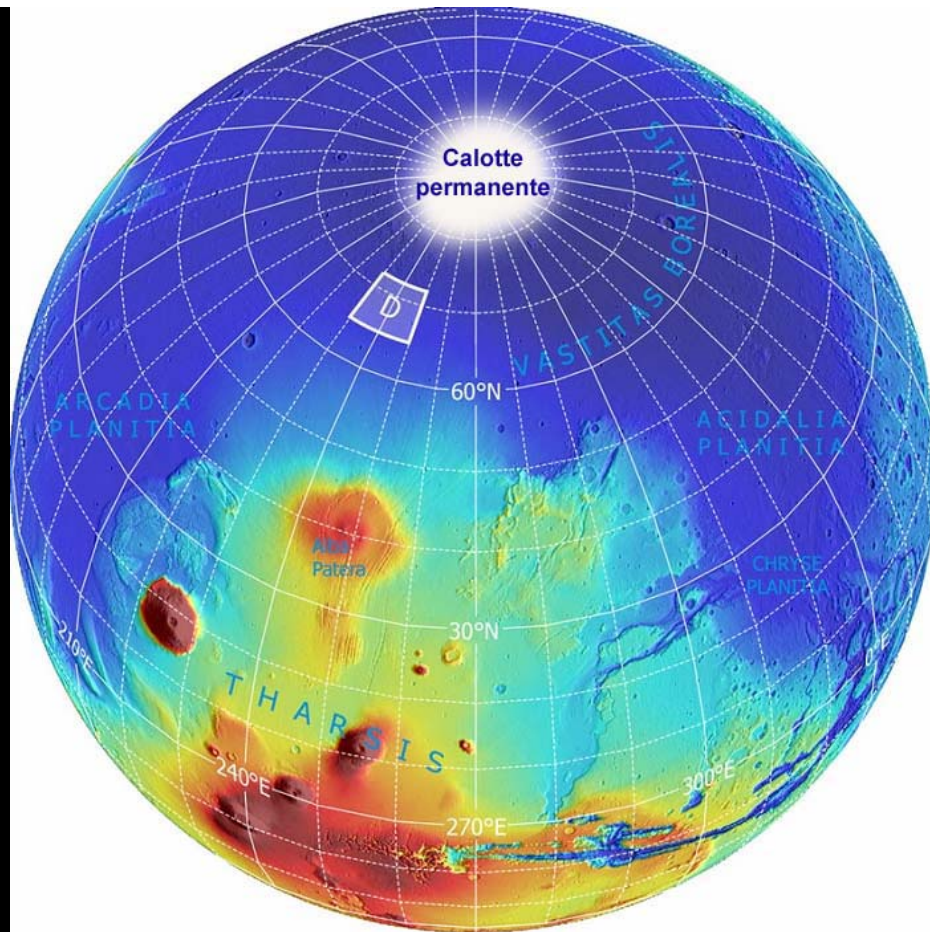
- (1) Quels sont actuellement les échanges entre le sol, l'atmosphère, les calottes polaires ...**
- (2) Depuis quand n'y a t'il plus d'eau liquide en surface ?**
- (3) Quand cette eau était liquide, les conditions étaient-elles favorables à l'existence de vie ?**

....

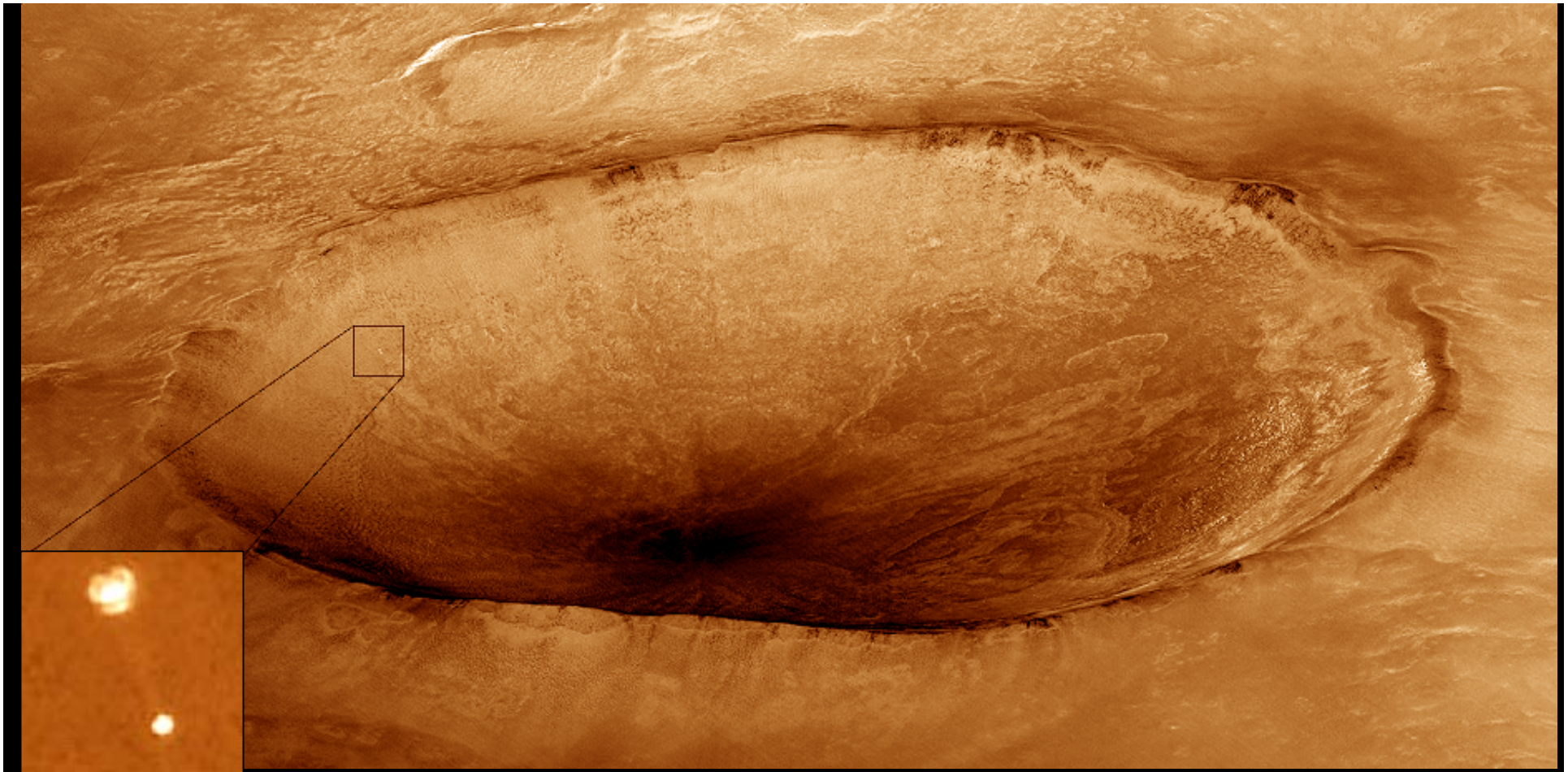


Pour essayer d'apporter des éléments réponses à ces questions, la NASA a envoyé deux « robots » mobiles, Spirit et Opportunity, qui se sont posés en janvier 2004 et dont un se « promène » et travaille encore. Elle a aussi envoyé un robot fixe, Phoenix, qui s'est posé en mai 2008. C'étaient des robots polyvalents, mais surtout géologues.

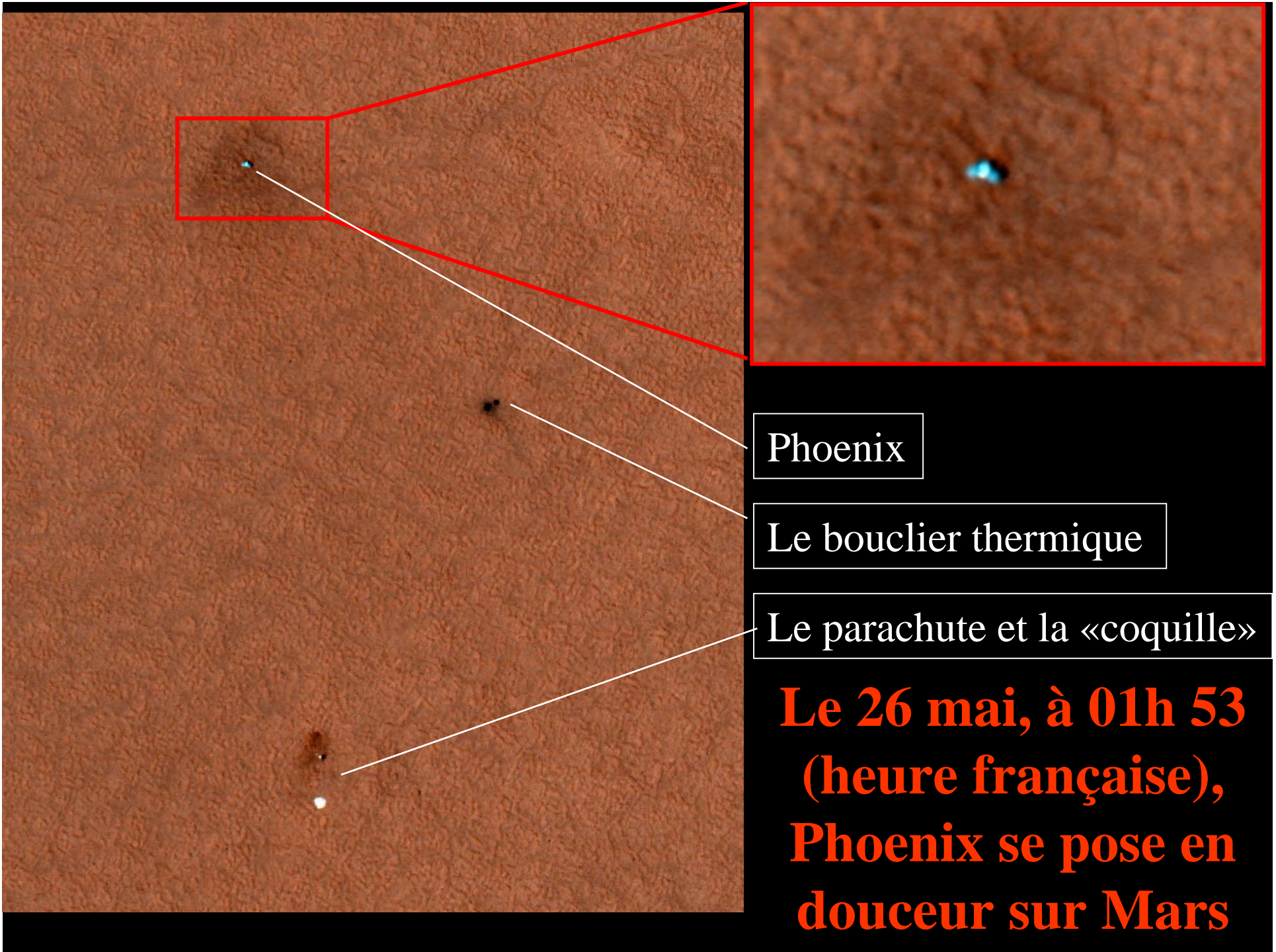




Phoenix s'est posée (fin mai 2008) par 68° latitude Nord pour comprendre les échanges de CO₂ et d'H₂O entre l'atmosphère, le sol et les glaces polaires et péri-polaires, pour connaître la composition de ces glaces (en volatils et en composés dissous), pour étudier la météo des hautes latitudes ...



Une « première » : le 26 mai 2008, la caméra Haute Résolution de MRO photographie Phoenix en train de descendre au bout de son parachute. Il va se poser 20 km en avant du cratère

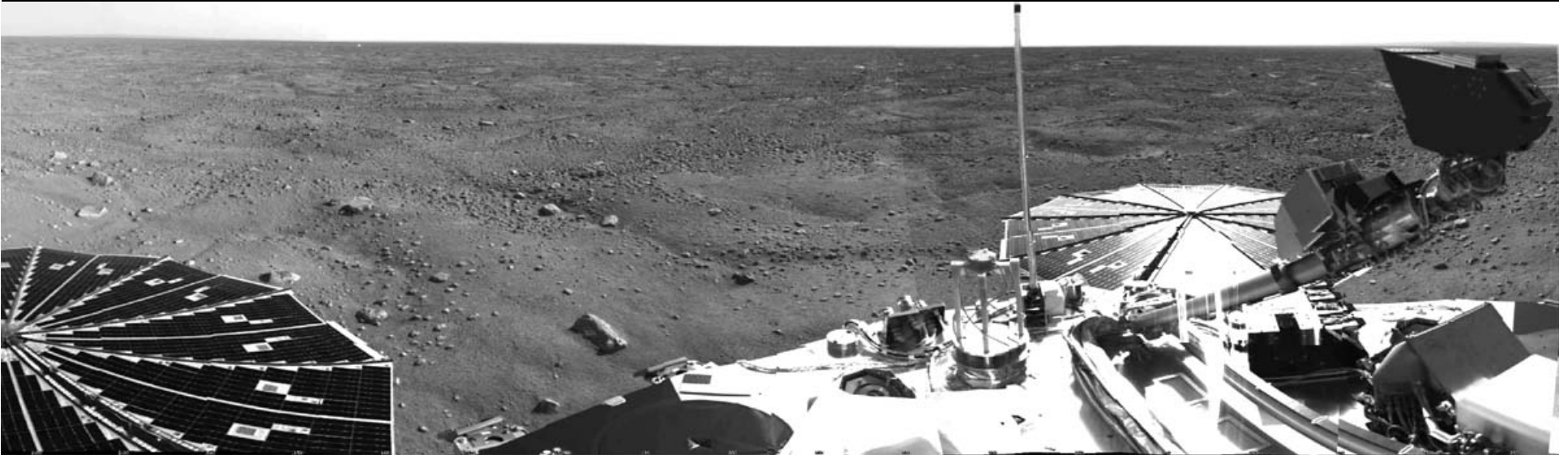


Phoenix

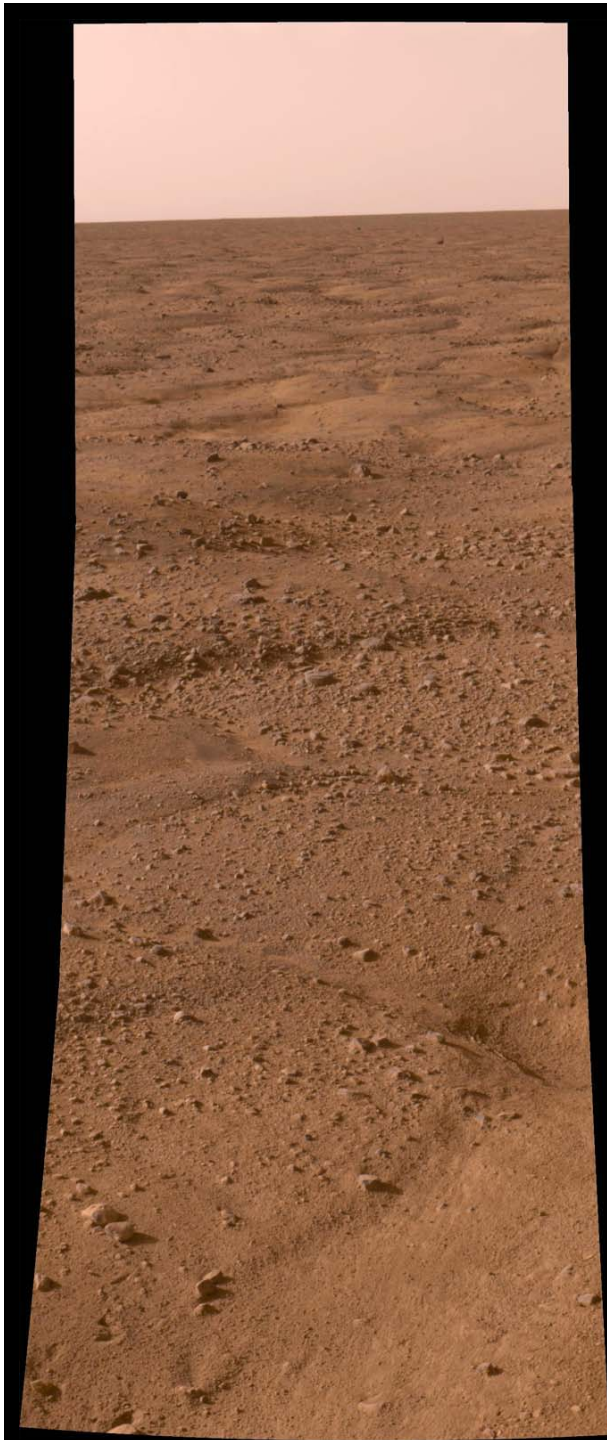
Le bouclier thermique

Le parachute et la «coquille»

**Le 26 mai, à 01h 53
(heure française),
Phoenix se pose en
douceur sur Mars**



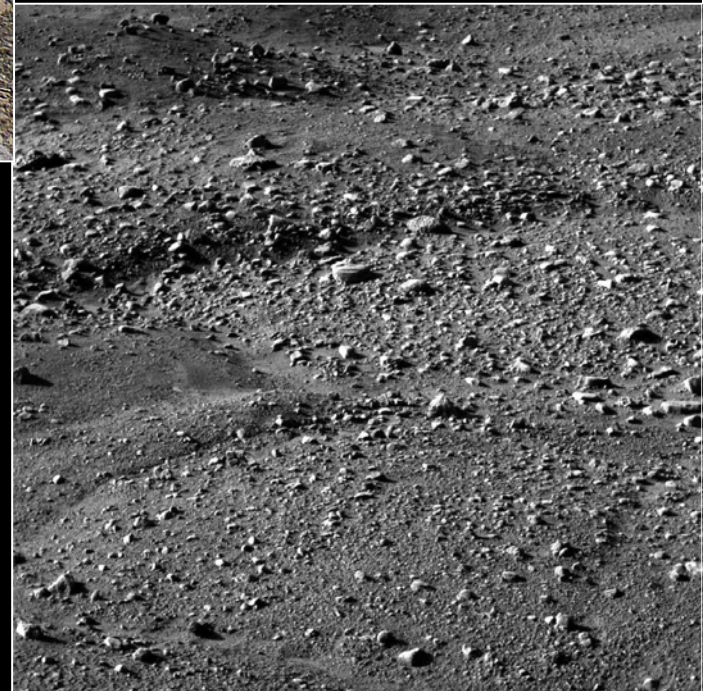
Voici, en 2 fois 180°, le paysage qu'il découvre.



**Un sol polygonal,
à perte de vue,
avec des
polygones de
dimension
métrique**



On en connaît aussi sur Terre de taille métrique (ici à 2700 m dans les Alpes), comme ceux de Phoenix



Mais pour faire des sols polygonaux (sur Terre), il faut un permafrost avec des alternances gel-dégel superficiel. Permafrost sur Mars, oui ; alternance gel-dégel par 68° lat. Nord sur Mars, non !

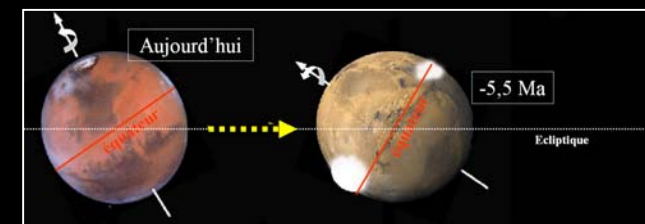
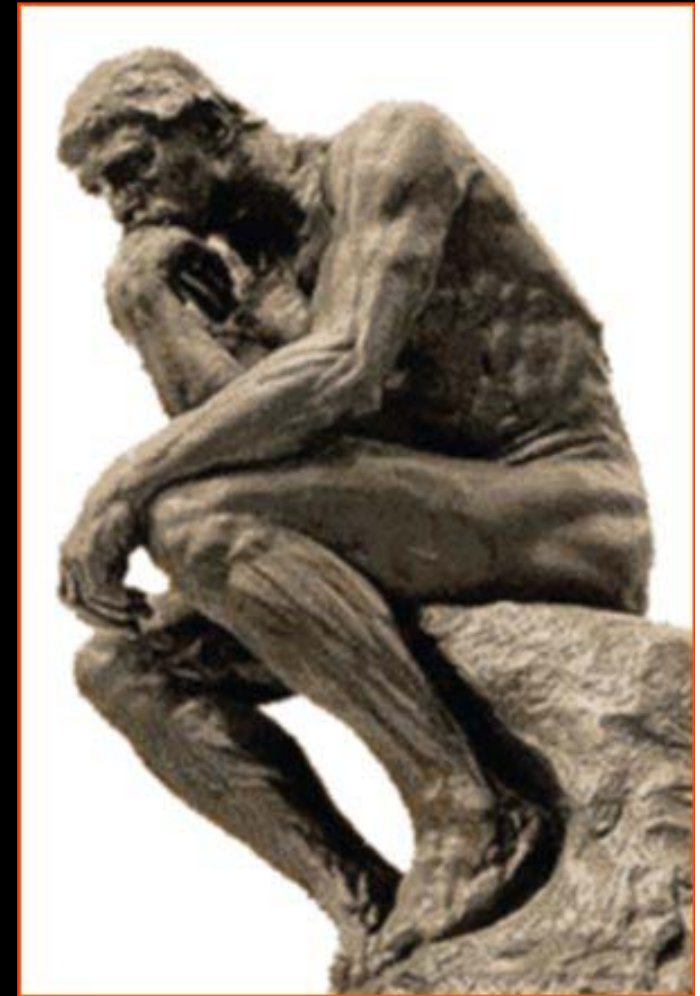
Depuis l'atterrissage, en plein été, la température oscille entre -25°C le jour et -90°C la nuit ! Et ça baisse avec l'arrivée de l'automne.

Comment faire des sols polygonaux quand il ne dégèle jamais ?

Peut-on faire des sols polygonaux avec des cycles condensation-sublimation ?

Et si ces polygones étaient fossiles, datant d'il y a $-5,5$ Ma quand les pôles étaient beaucoup plus chauds l'été ?

Peut-on conserver des sols polygonaux fossiles pendant si longtemps ??



15 juin



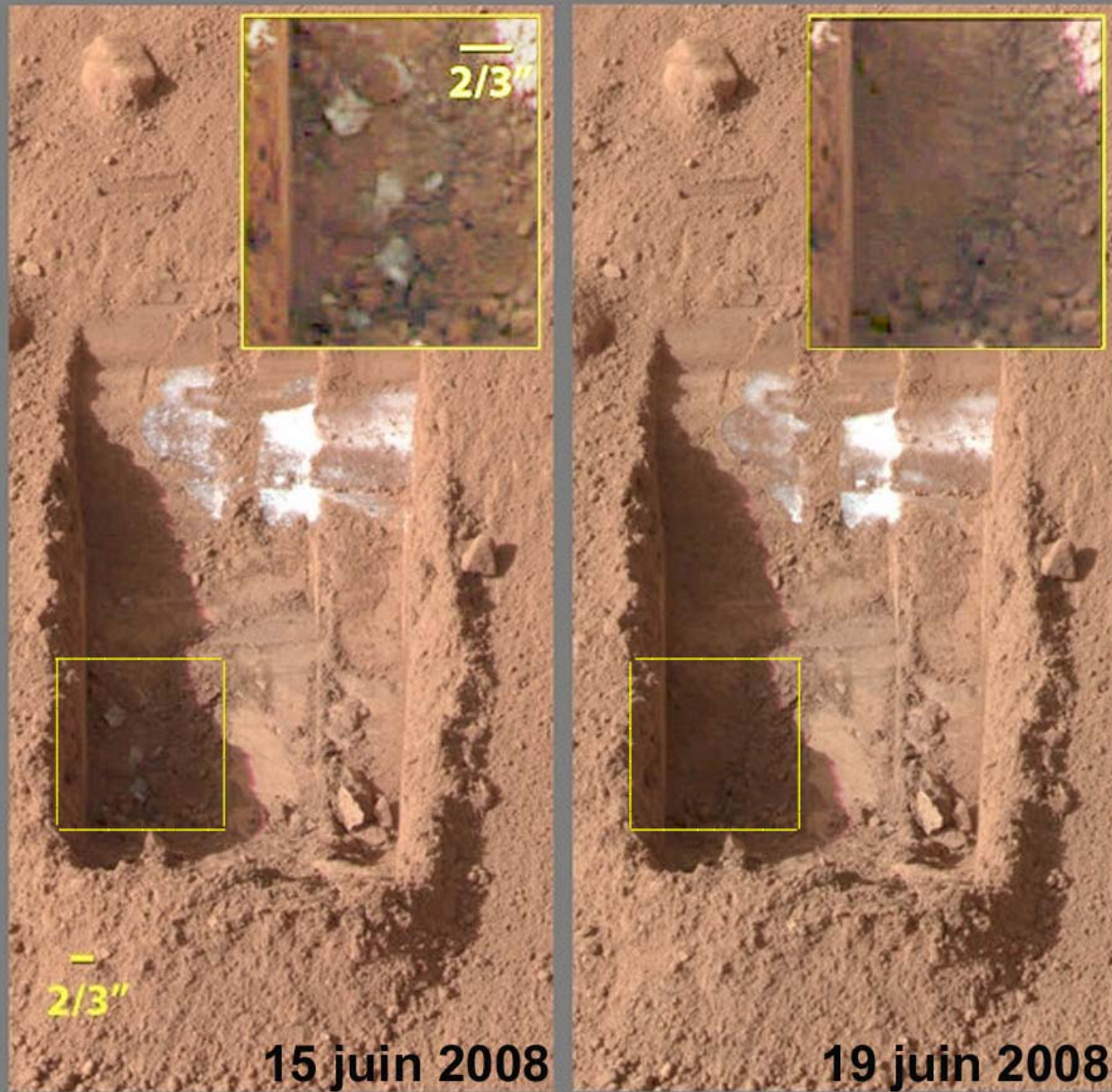
19 juin



Avec une pelle, il creuse des tranchées (ici, 3 fois 5 cm de large). Dans ces tranchées, une substance blanche. Glace ou sels ?

15 juin

19 juin



**Cette substance
blanche se
sublime
(partiellement)
en 4 jours.**

De la glace !

**Mais est-ce de
l'eau pure ?**

**Contient-elle des
volatils ($\text{CH}_4 \dots$)
des sels**

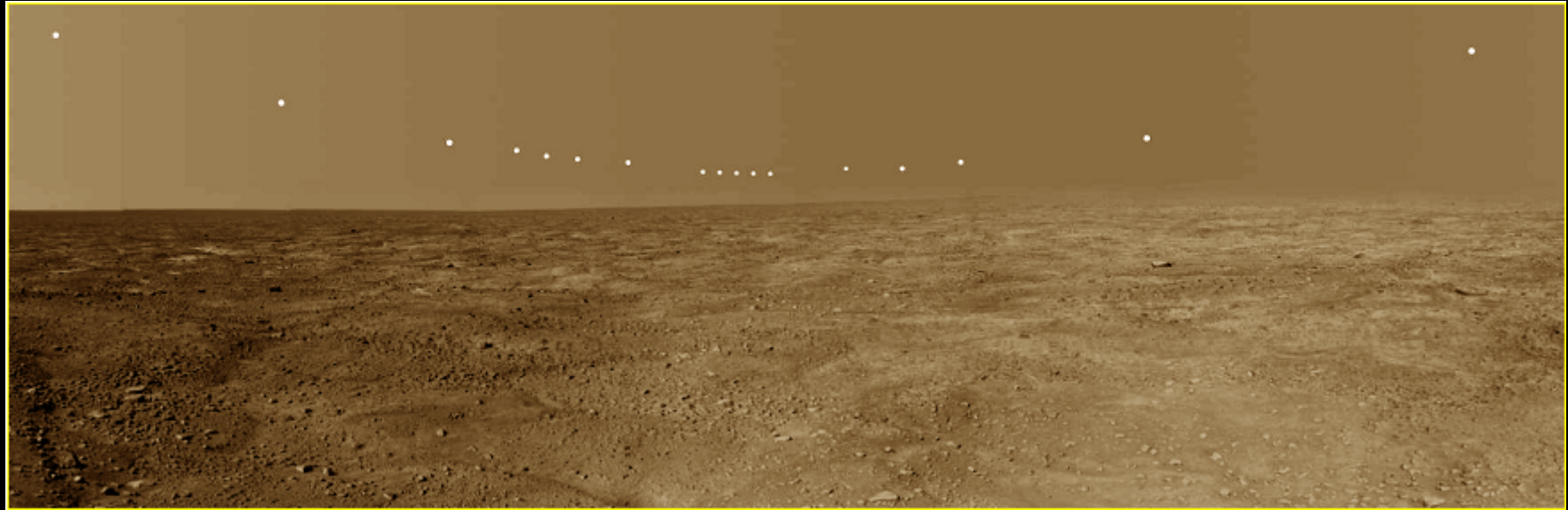
**($\text{SO}_4^{--} \dots$), autre
chose ... ?**

Il dépose le sol ramassé dans des mini-laboratoires automatiques d'analyse.

Victoire !



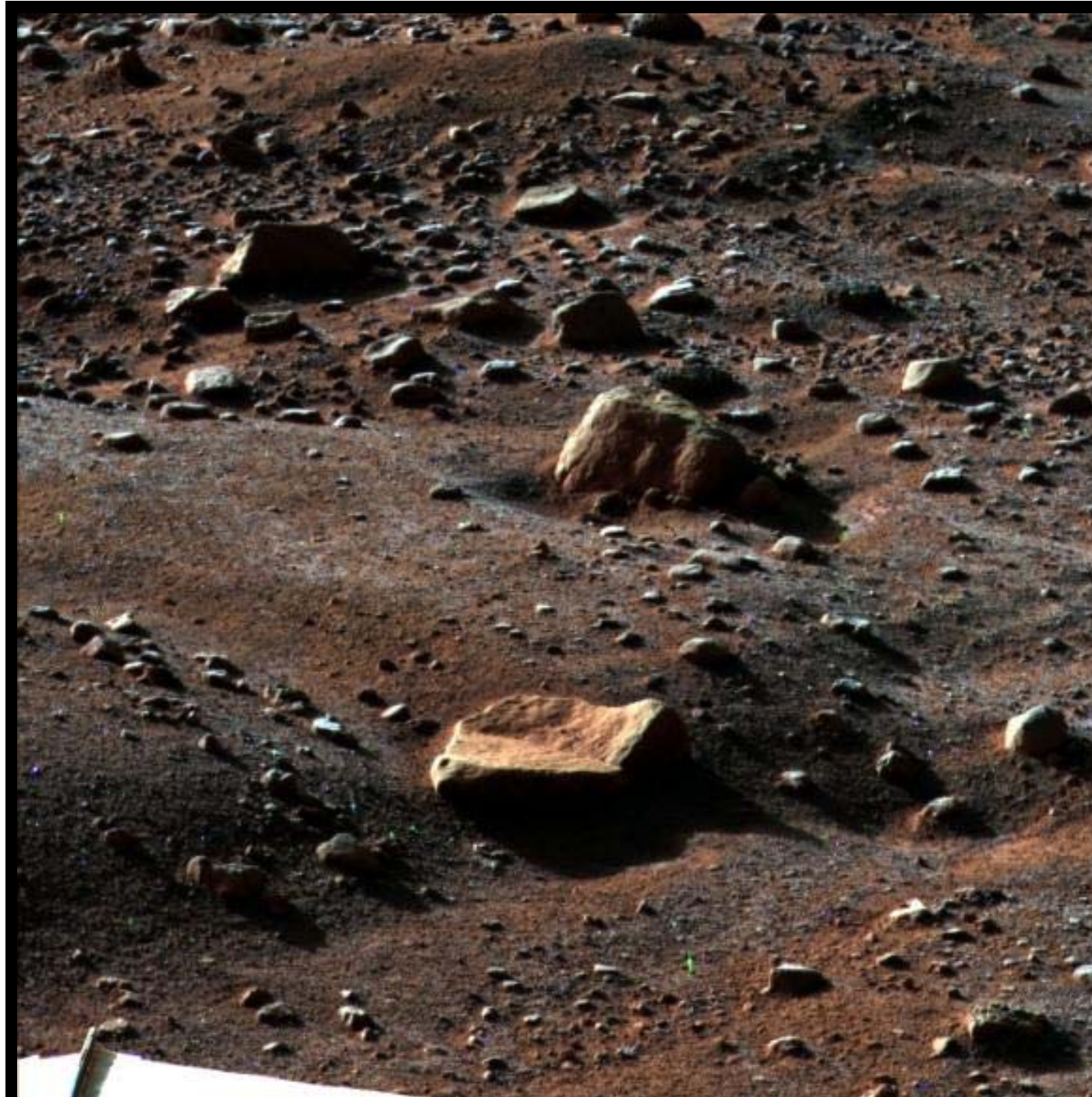
"We have water," said William Boynton of the University of Arizona, lead scientist for the Thermal and Evolved-Gas Analyzer, or TEGA. "We've seen evidence for this water ice before in observations by the Mars Odyssey orbiter and in disappearing chunks observed by Phoenix last month, but this is the first time Martian water has been touched and tasted." (Nasa News du 31 juillet 2008)



De mai à juillet 2008, c'était l'été martien ; le soleil ne se couchait jamais (soleil de minuit). Mais il faisait quand même frais vers 24h

Depuis août, le soleil se couche le soir et se relève le matin. Bientôt, il ne se lèvera plus.





Et depuis qu'il y a des nuits, Phoenix voit du givre chaque petit matin, givre qui se sublime très vite.

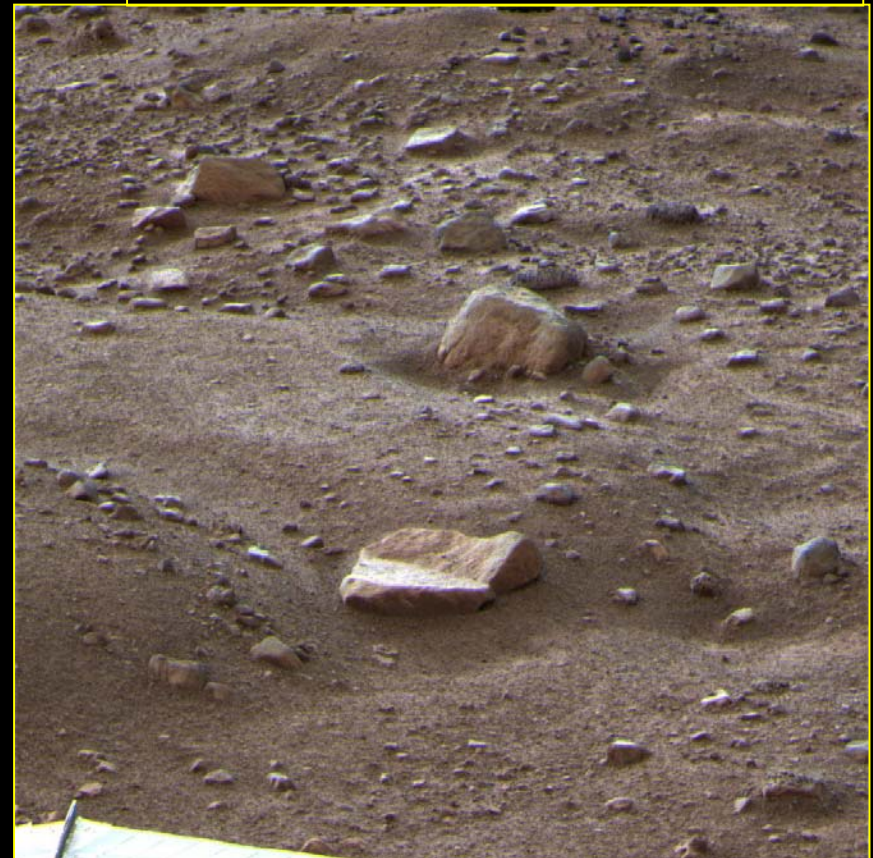
(Photo prise le 14 août 2008).

La mission va durer jusqu'à ce que le froid « tue » la sonde.

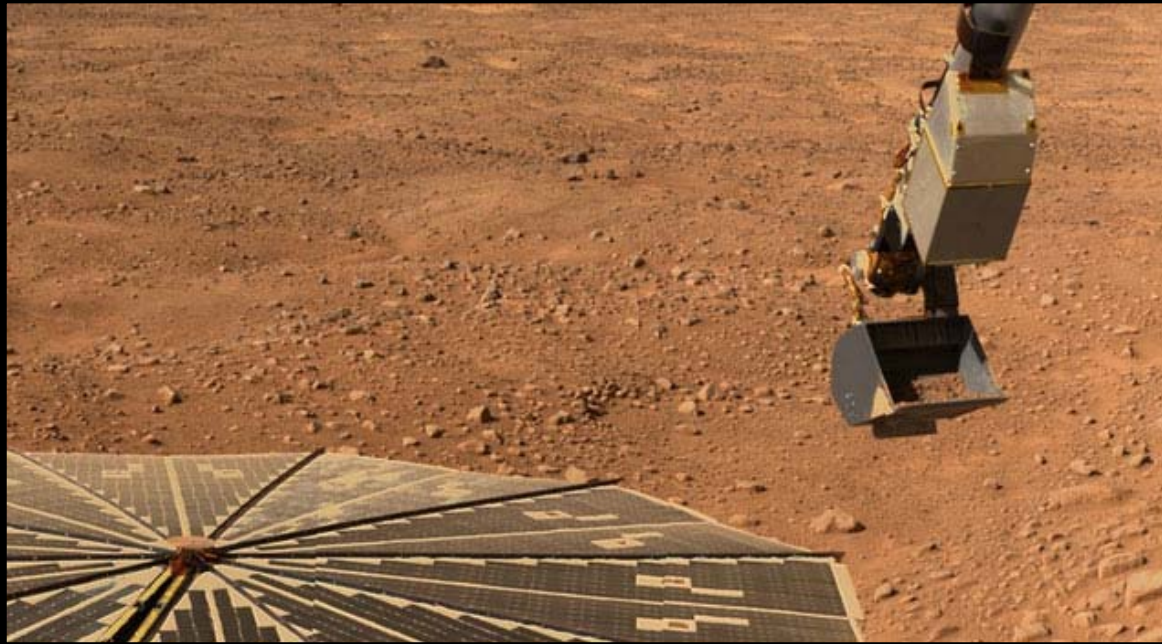


Givre du 14 août 2008

Givre du 27 octobre 2008



**Une des dernières
photos de Phoenix :
de plus en plus de
givre !**



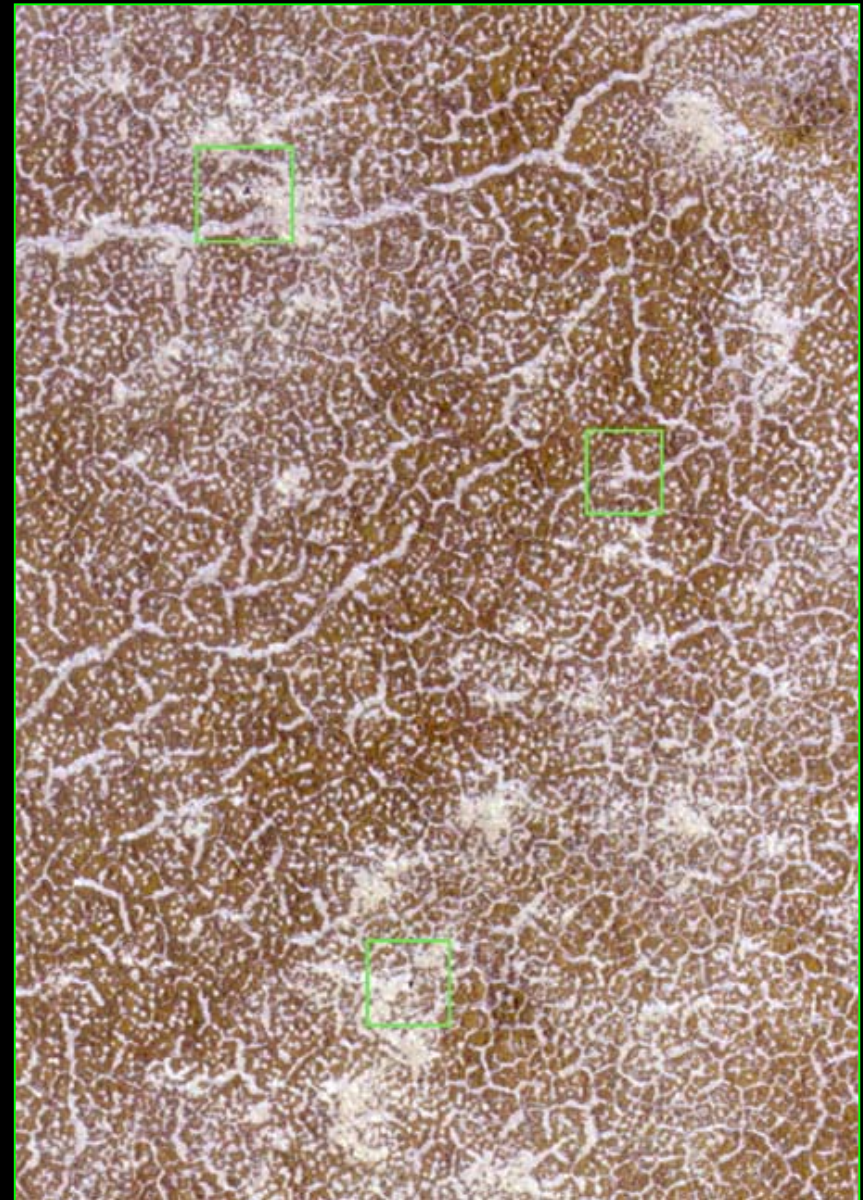
**Et le 2 novembre
2008, les
communications
s'interrompent !
Voici « l'avis de
décès » officiel :**

November 10, 2008

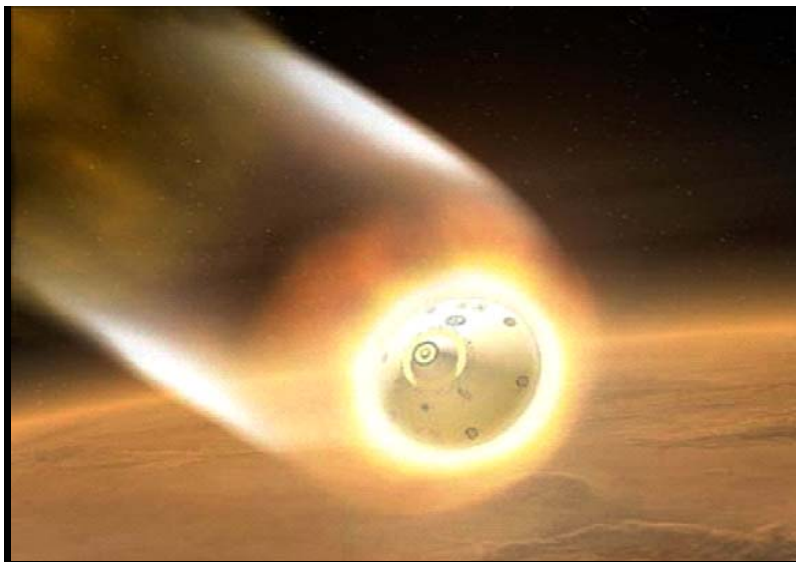
PASADENA, Calif. -- NASA's Phoenix Mars Lander has ceased communications after operating for more than five months. As anticipated, seasonal decline in sunshine at the robot's arctic landing site is not providing enough sunlight for the solar arrays to collect the power necessary to charge batteries that operate the lander's instruments.



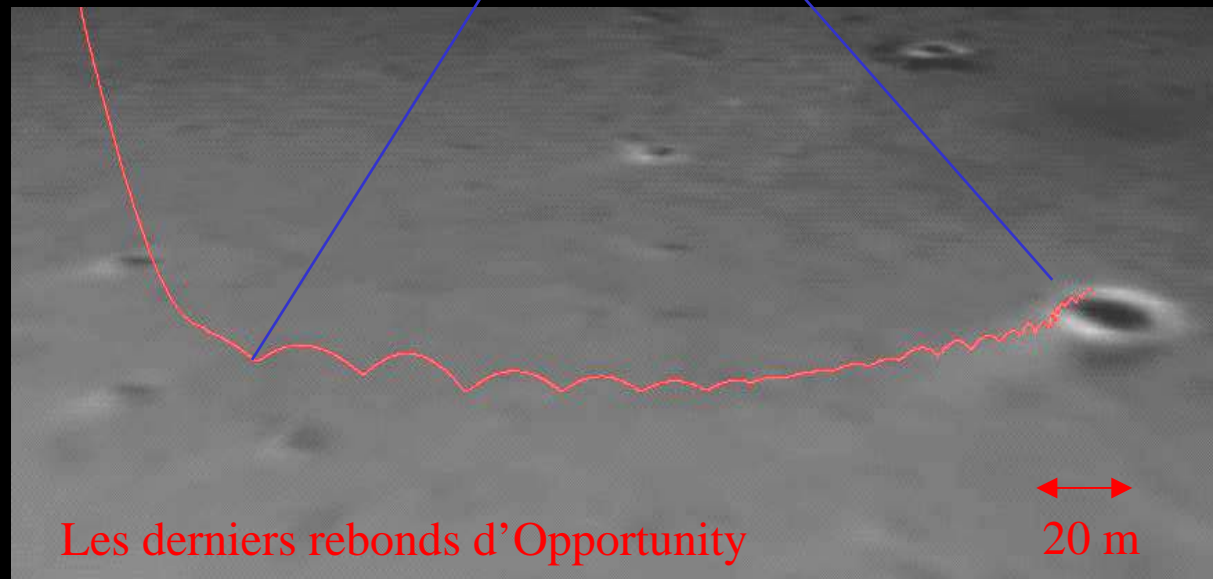
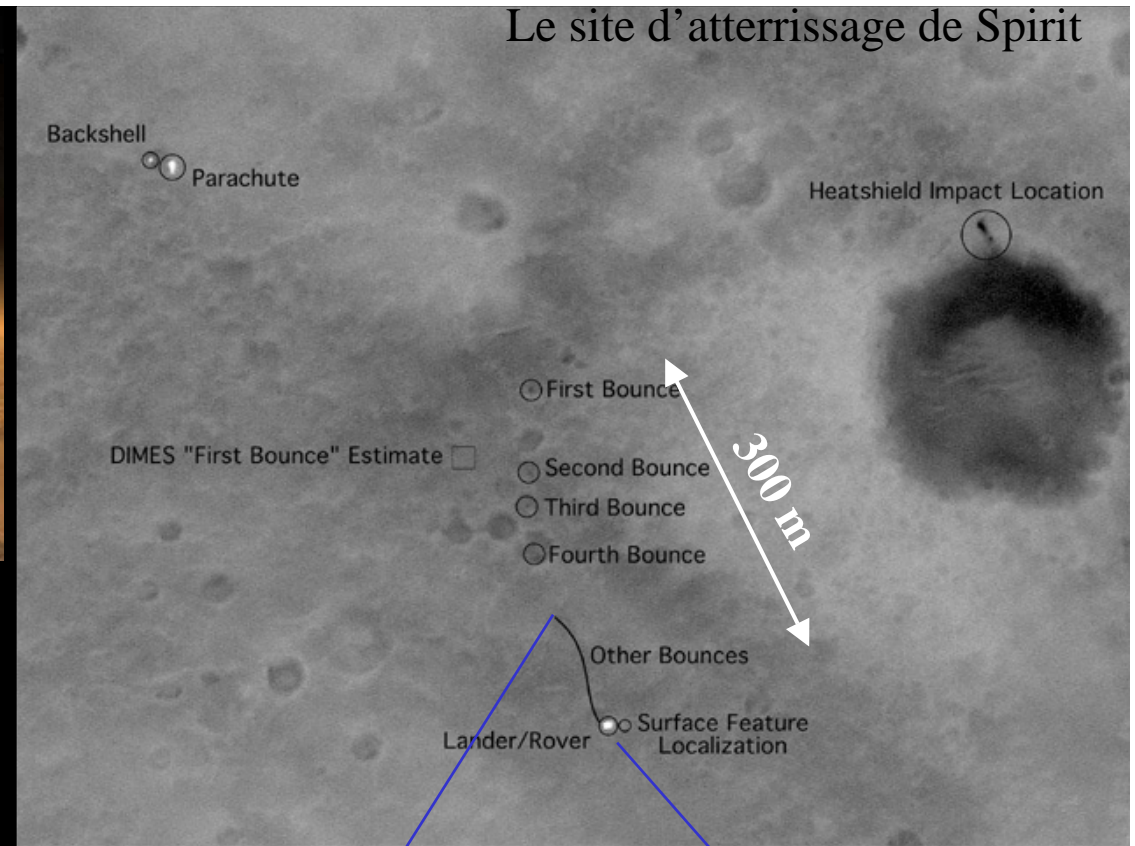
**Le site d'atterrissage de
Phoenix en plein été**



**Le site d'atterrissage de
Phoenix en fin d'hiver**

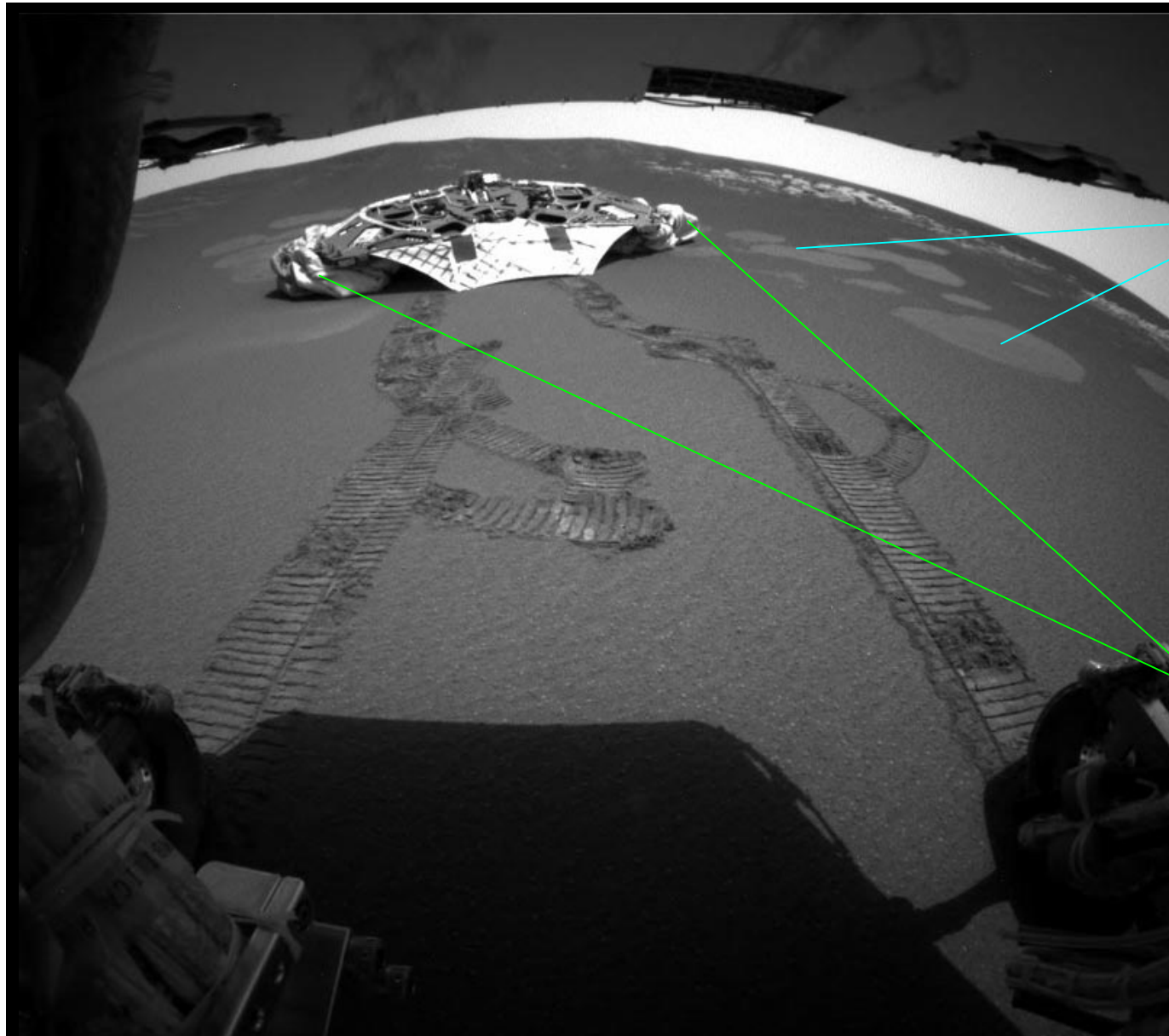


**Les 2 robots
mobiles, avec une
technique
d'atterrissage
originale : bouclier
thermique, puis
parachute, puis
chute libre avec
airbags et rebonds.**





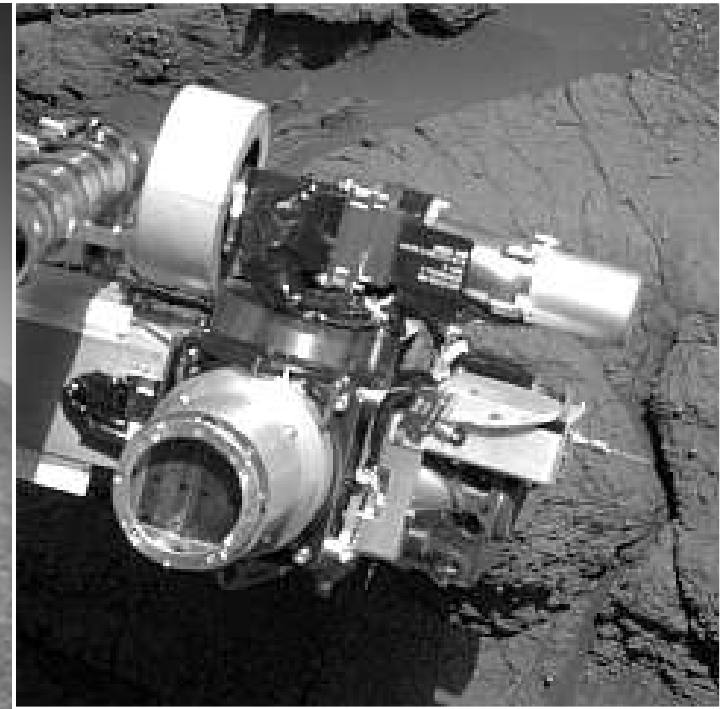
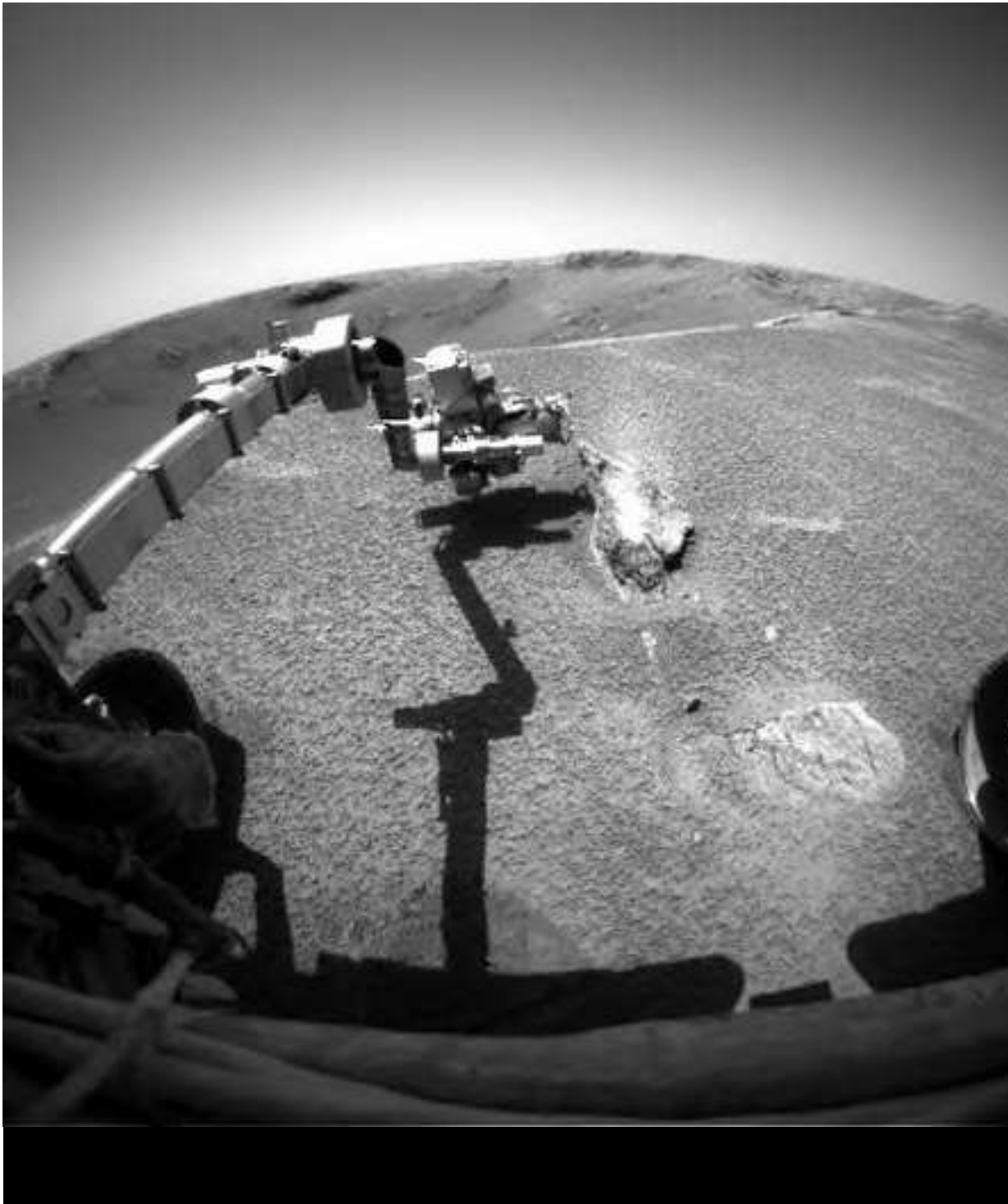
**Gros plans sur les empreintes des airbags laissées
dans la poussière martienne autour
d'Opportunity**



Les traces
des derniers
rebonds

Les restes
des airbags
dégonflés

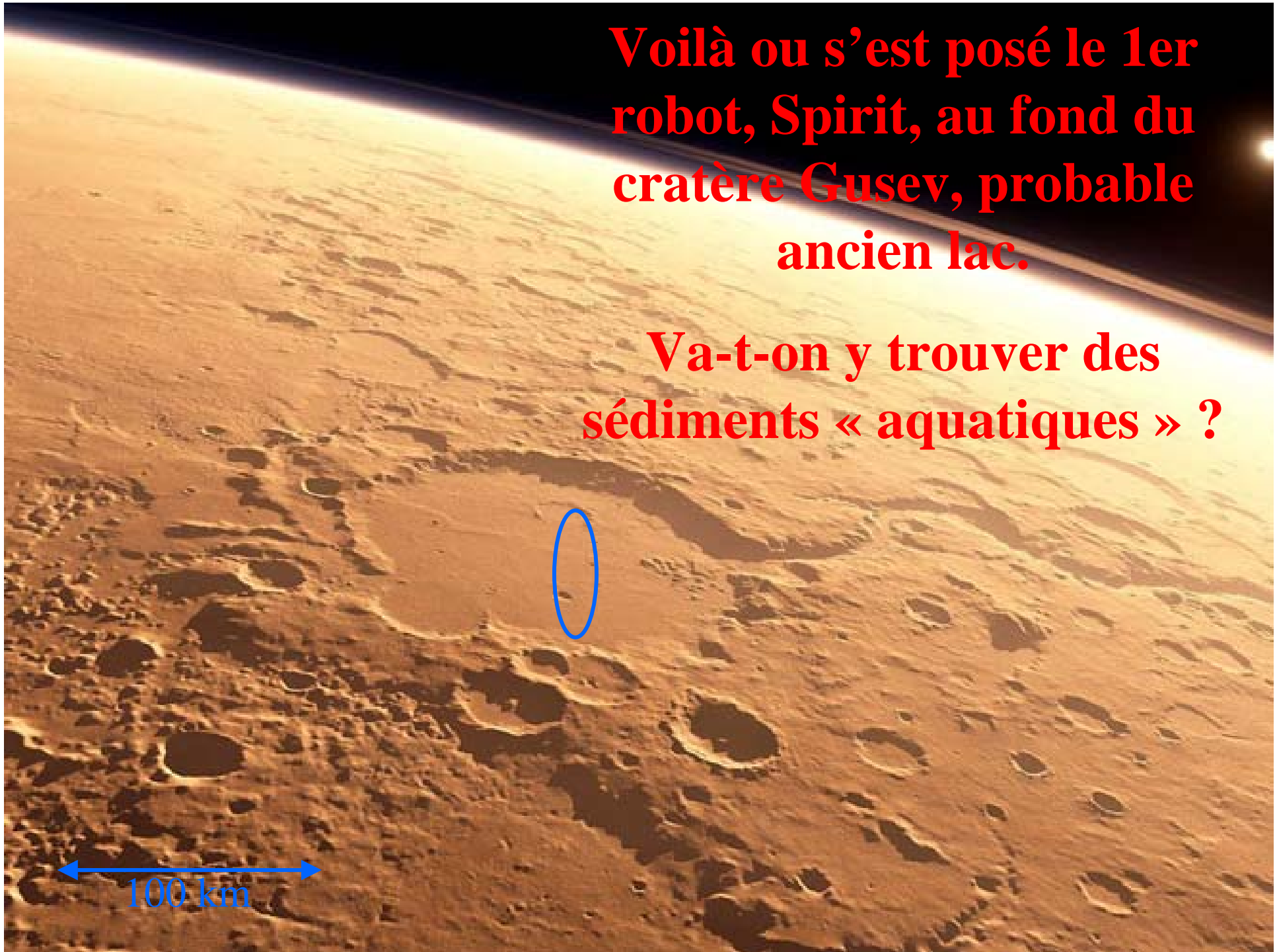
Le robot quitte son « socle ». Il part s'éloigner faire son travail. Il est « garanti » 3 mois et/ou 600 m



**Le bras du
robot où sont
situés la
foreuse, et les
instruments
scientifiques**

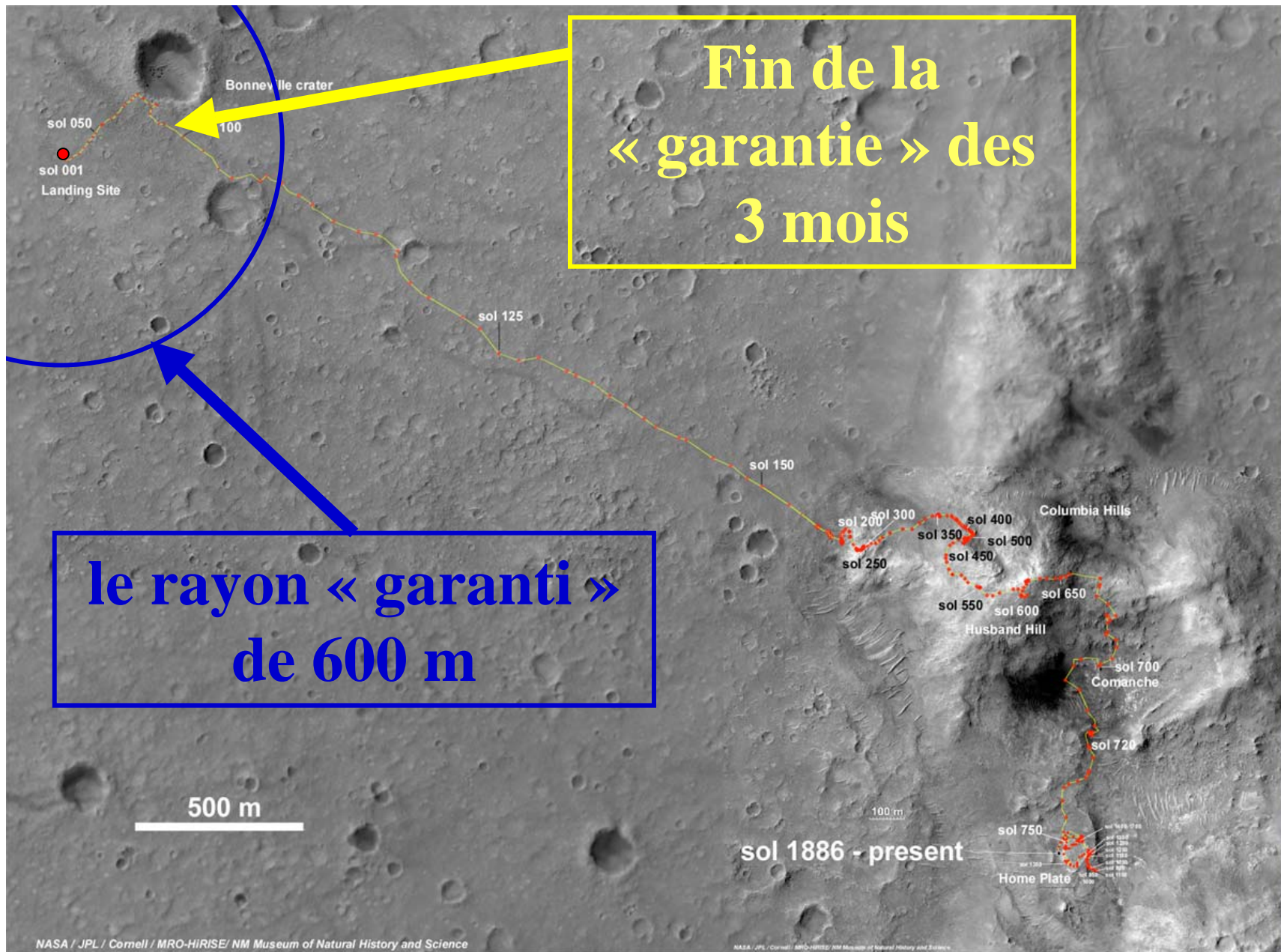
Voilà où s'est posé le 1er robot, Spirit, au fond du cratère Gusev, probable ancien lac.

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



**Fin de la
« garantie » des
3 mois**

**le rayon « garanti »
de 600 m**



Le trajet de Spirit, programmé pour 90 jours et 600 m !!!

Spirit 2004

Que découvre
Spirit ?

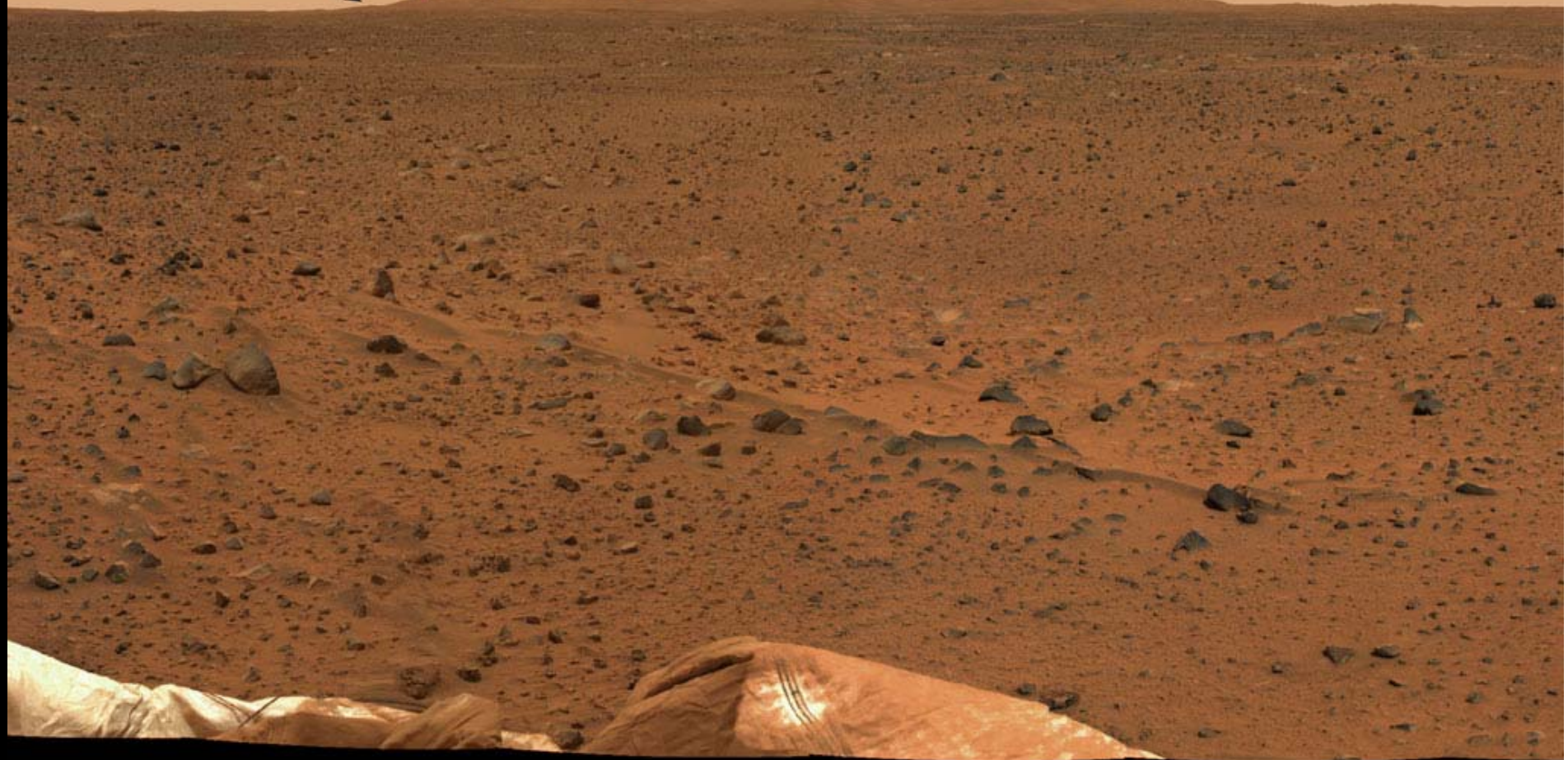
Viking 1976

**Le paysage : une morne plaine
parsemée de cailloux, comme
« toujours » (cf Viking).
Pas d'affleurement, mais des
blocs épars ! Décevant !**

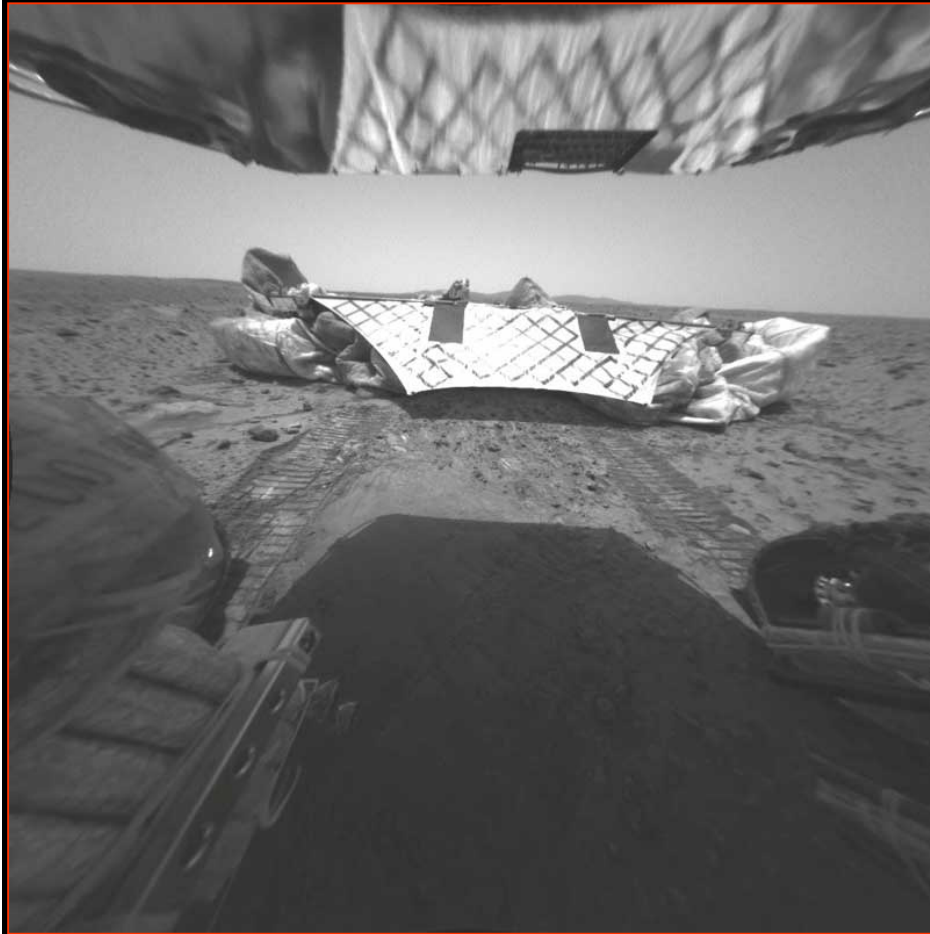


Columbia Hills Complex

Anderson Hill 95.2° Azimuth 3.1 Kilometers	Brown Hill 97.4° Azimuth 2.9 Kilometers	Chawla Hill 100.8° Azimuth 3.0 Kilometers	Clark Hill 106.1° Azimuth 3.0 Kilometers	Husband Hill 113.9° Azimuth 3.1 Kilometers	Mc Cool Hill 125.1° Azimuth 4.2 Kilometers	Ramon Hill 129.7° Azimuth 4.4 Kilometers
--	---	---	--	--	--	--



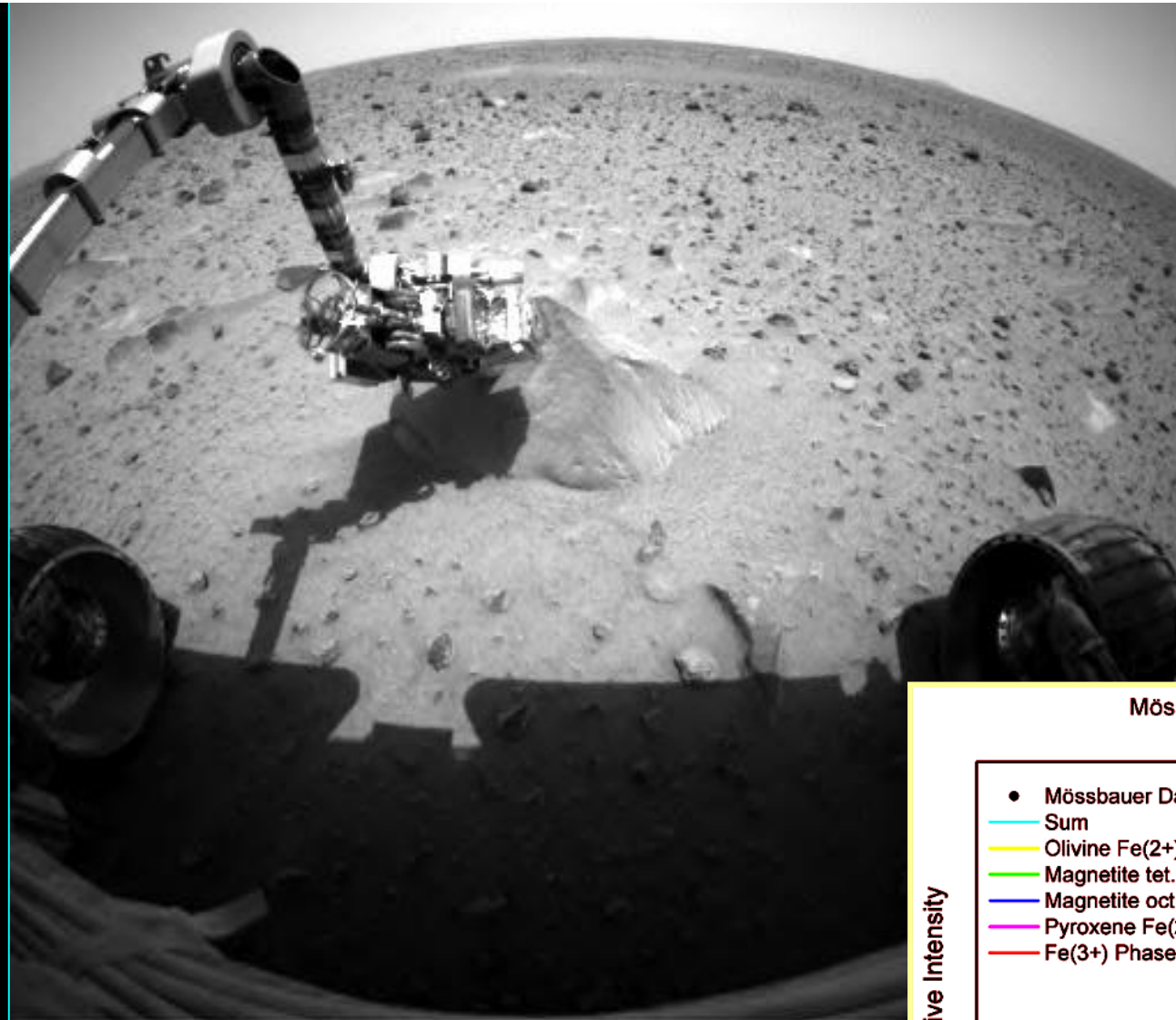
Une différence avec Viking : il y a des collines à 3 km, théoriquement beaucoup trop loin !



Spirit quite son « socle »

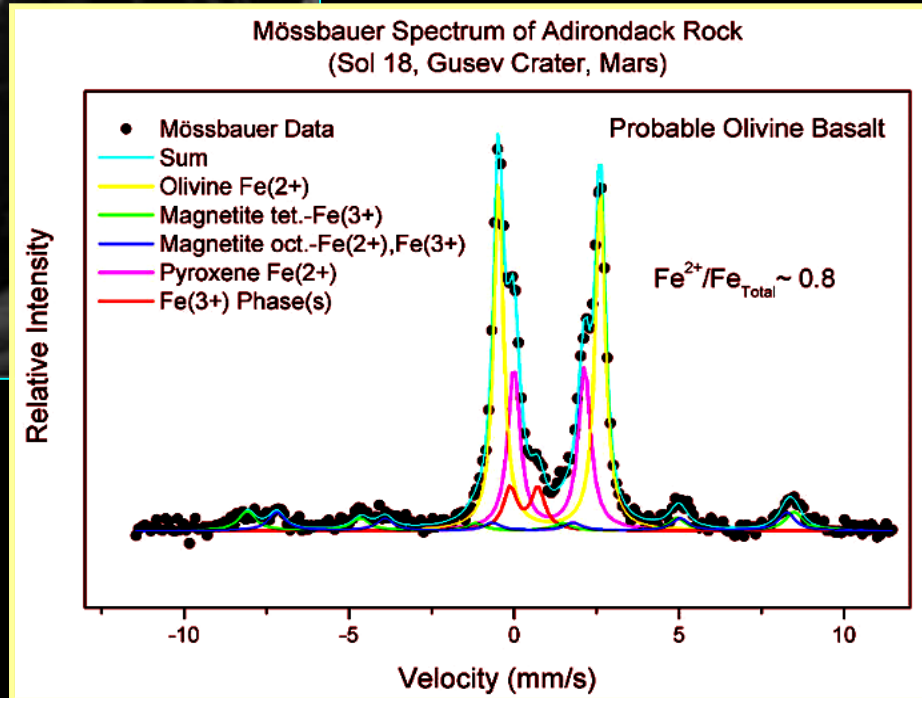
et va vers les premiers gros cailloux, comme ...

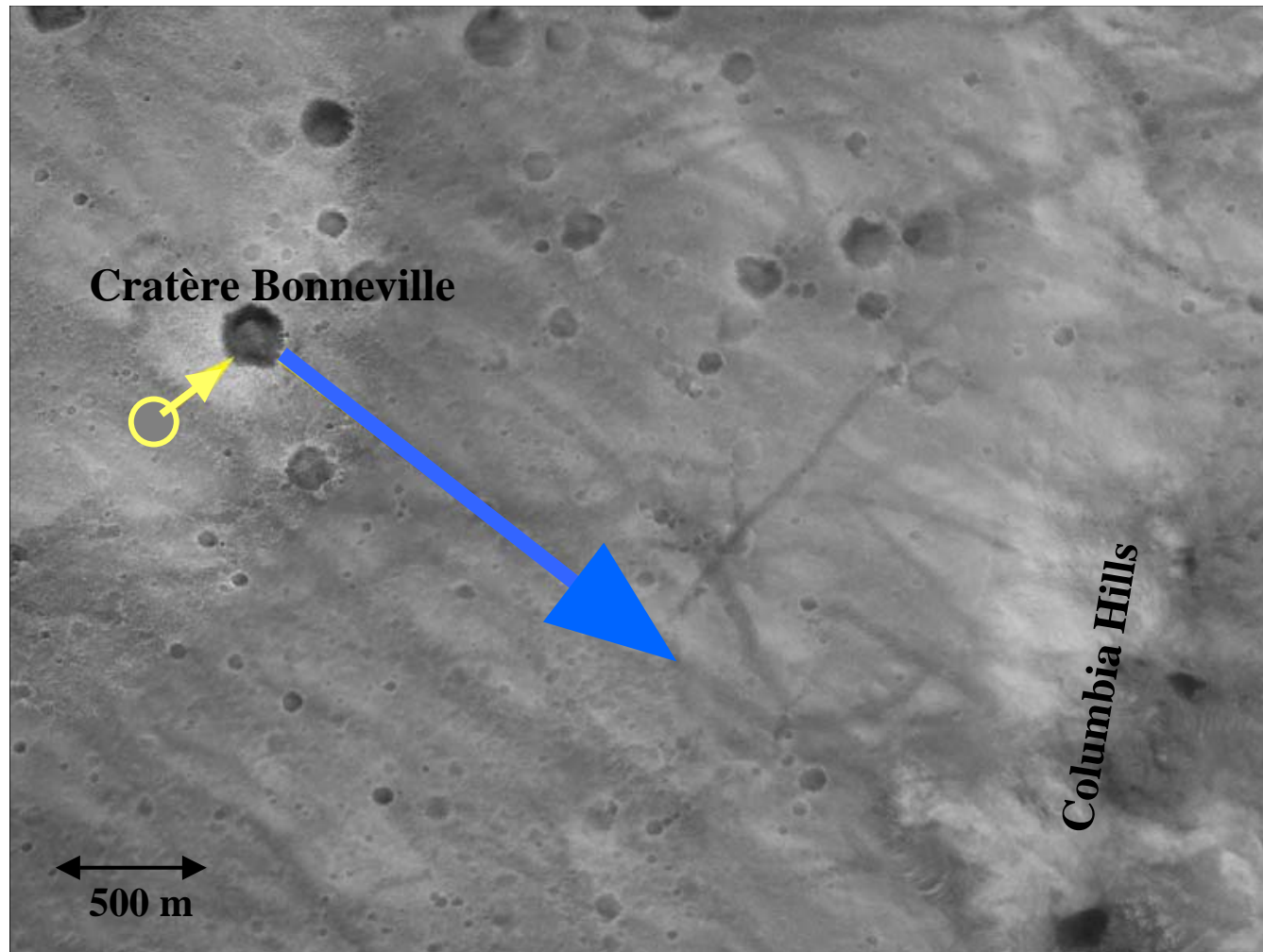




**Adirondack,
qu'il analyse.**

**Et c'est du basalte, comme
pour Viking et Pathfinder.
Quelle déception !**



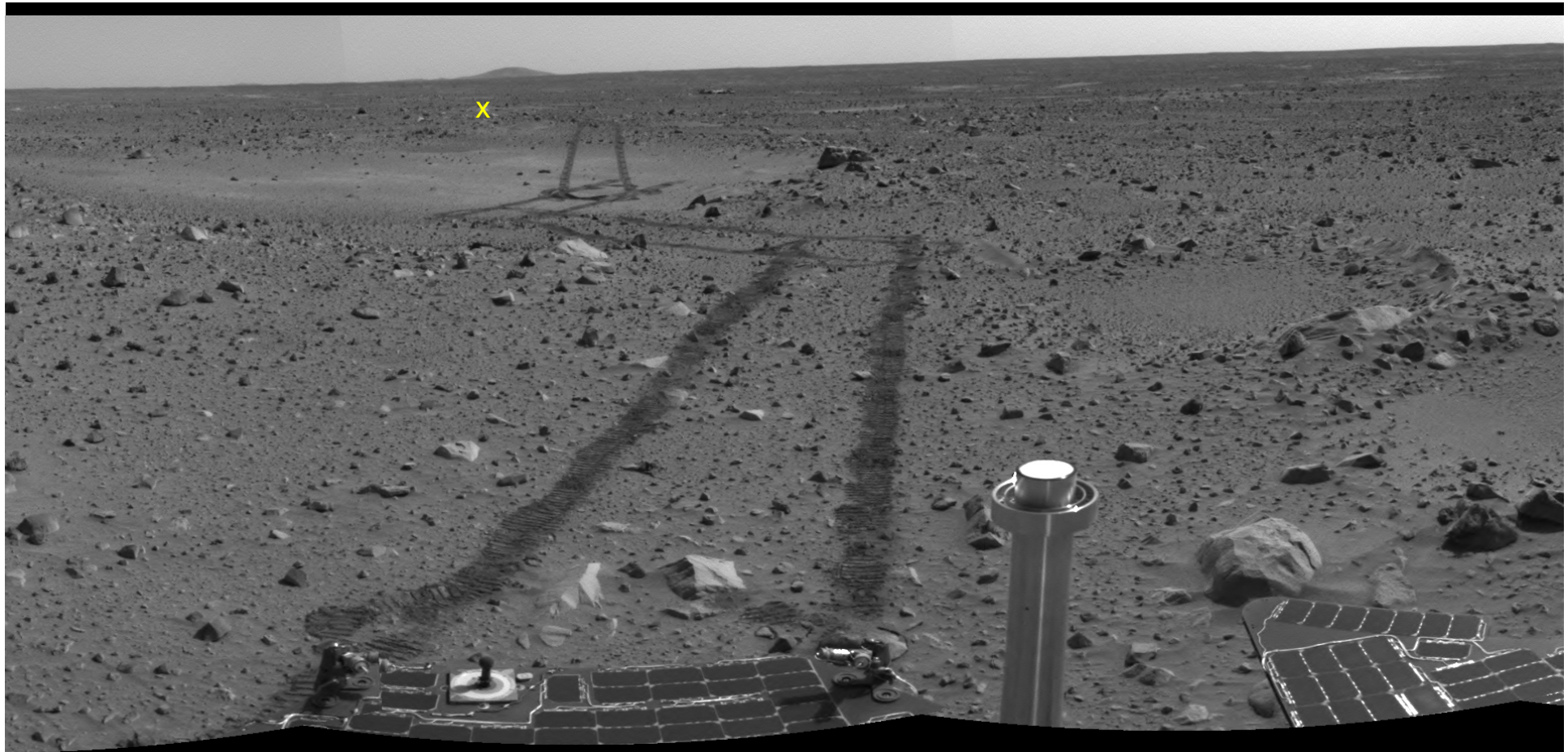


Après 1 mois et demi passés à explorer les environs immédiats du site d'atterrissage (O) et à ne trouver que des basaltes, il faut décider où aller !

La NASA décide d'aller vers le cratère Bonneville, de 200 m de diamètre et 20 m de profondeur, ce qui permettra d'avoir une « coupe » naturelle de 20 m de hauteur.

Peut-être verra-t-on ce qu'il y a sous les basaltes si ... ?

Et si le robot marche encore, on continuera en direction des collines



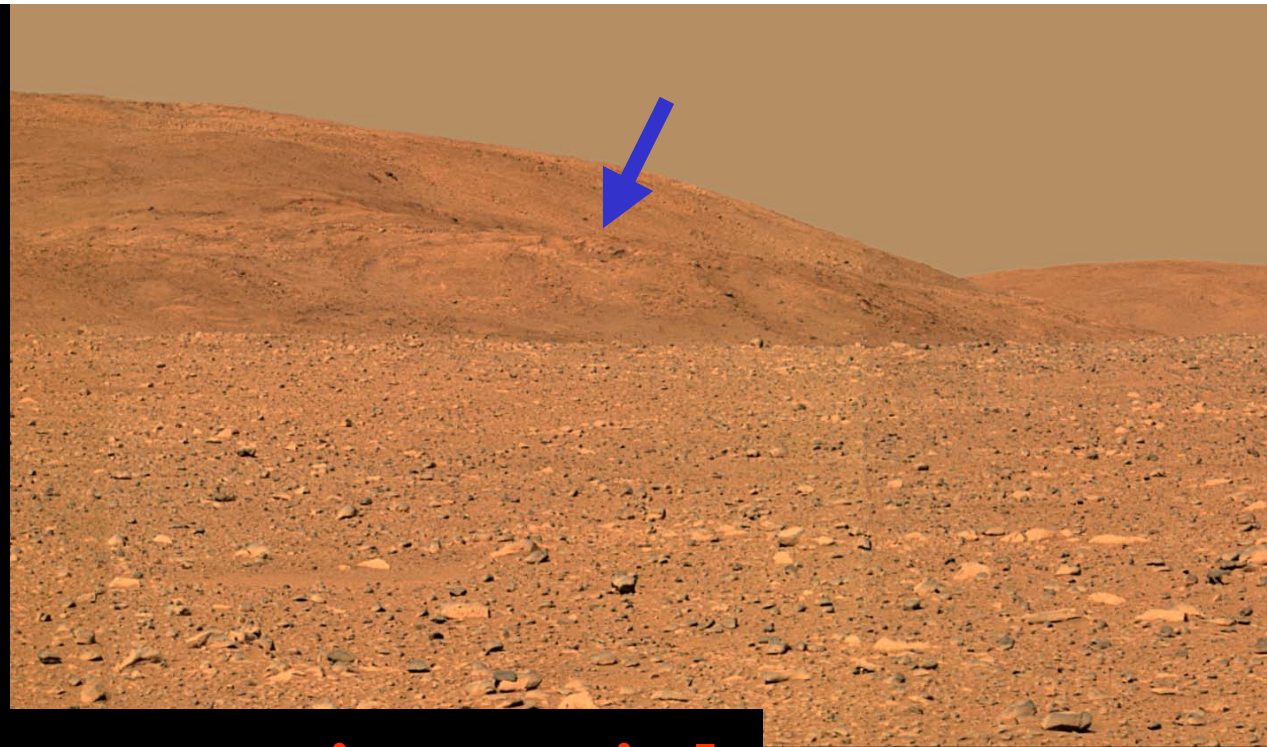
**Il quitte son site d'atterrissage (x) et « regarde »
d'où il vient, derrière lui ...**



Spirit arrive au bord du cratère Bonneville (D = 200 m) le 11 mars 2004, après 66 « sols ». Pas d'affleurement au bord ; quelle déception ! Spirit analyse les roches autour : encore des basaltes ! Au fond, pas d'affleurements visibles ! La NASA renonce à le faire descendre.



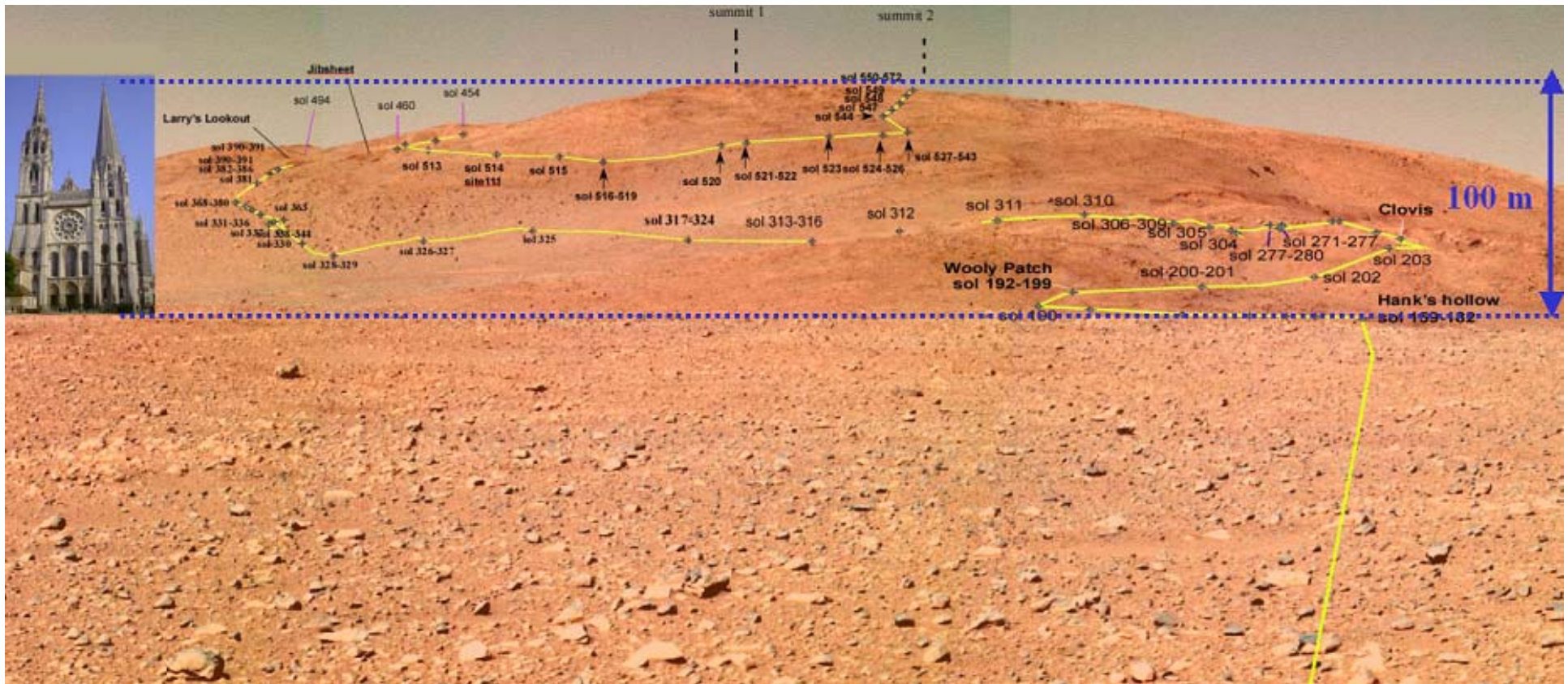
La NASA fait alors le pari de se diriger vers les Columbia Hills, que l'on voit à l'arrière plan, à 3 km du cratère Bonneville dont on voit une partie à gauche. Au 1er plan, une mini dune



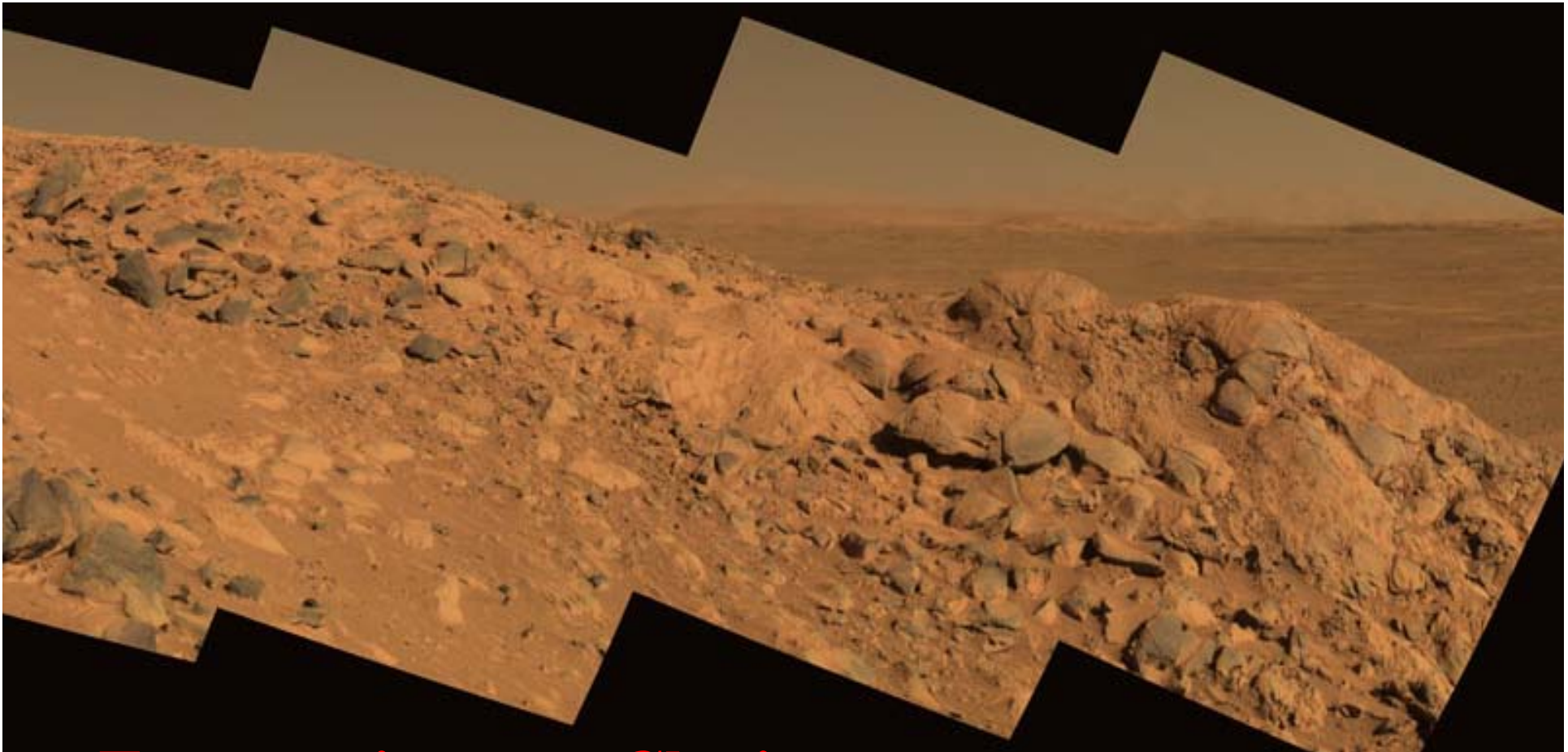
**Spirit
s'approche des
collines ...**

**... et arrive au pied.
A mi-pente, il y a
des affleurements,
des roches en place
(par exemple celle
nommée Clovis) !**



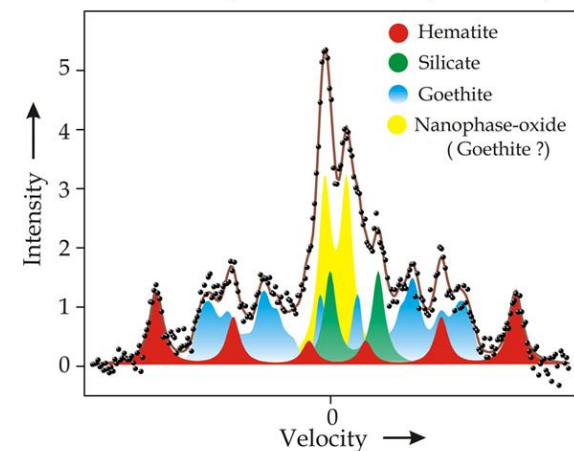


La Nasa décide d'essayer de monter sur ces collines. Et ça a marché !

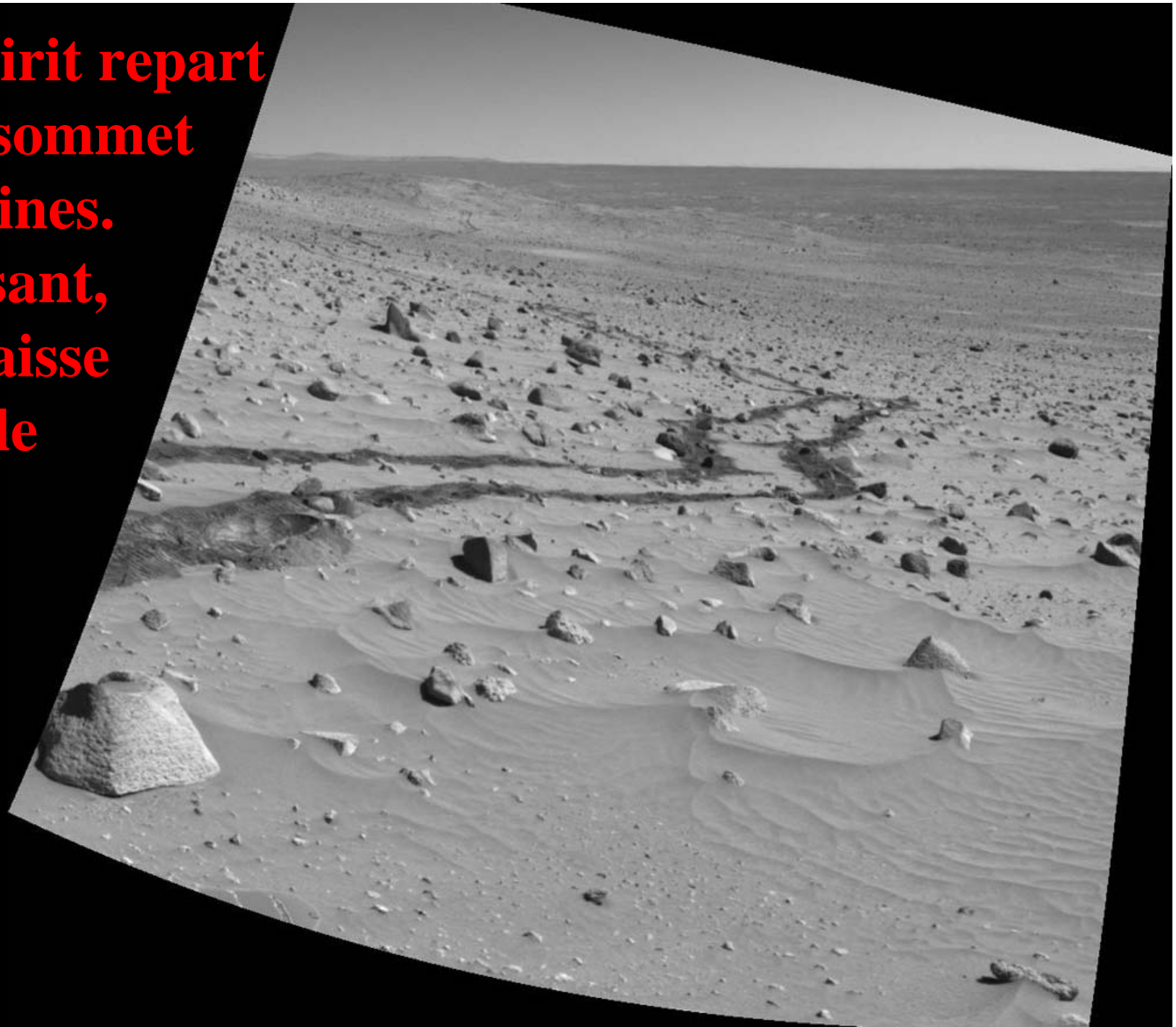


**Et on arrive vers Clovis.
C'est encore du basalte,
altéré, comme si il avait
été « mouillé » pendant un
long moment.**

Mössbauer Spectrum of Clovis (200 - 220K)

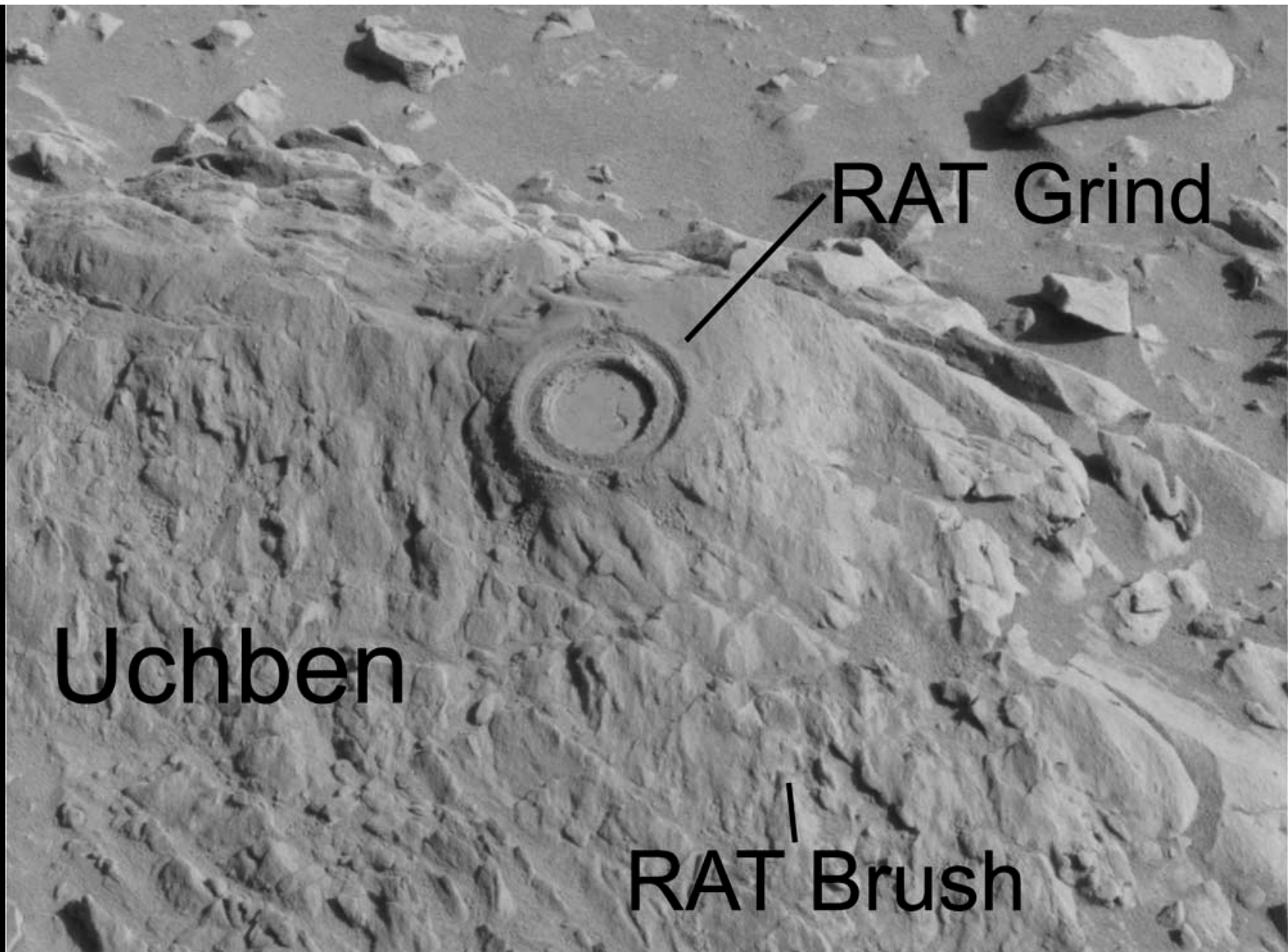


**Puis Spirit repart
vers le sommet
des collines.
En passant,
Spirit laisse
une belle
trace !**



Continuons notre ascension. On découvre des vraies des strates !





Uchben

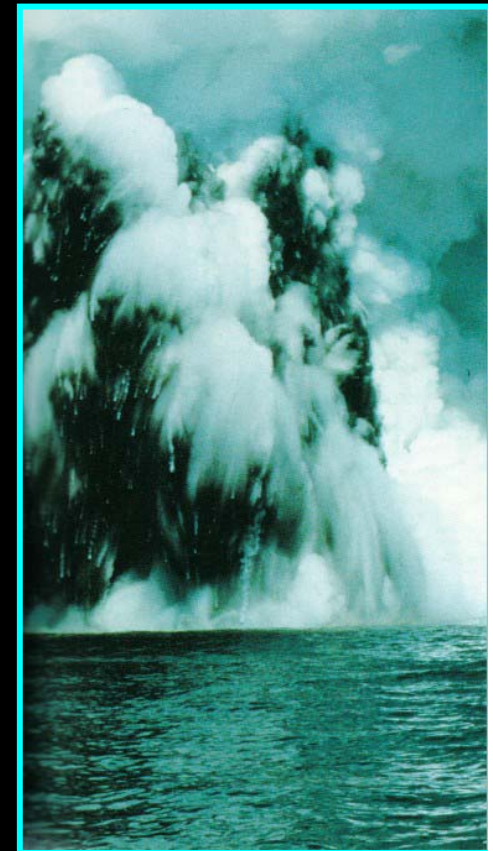
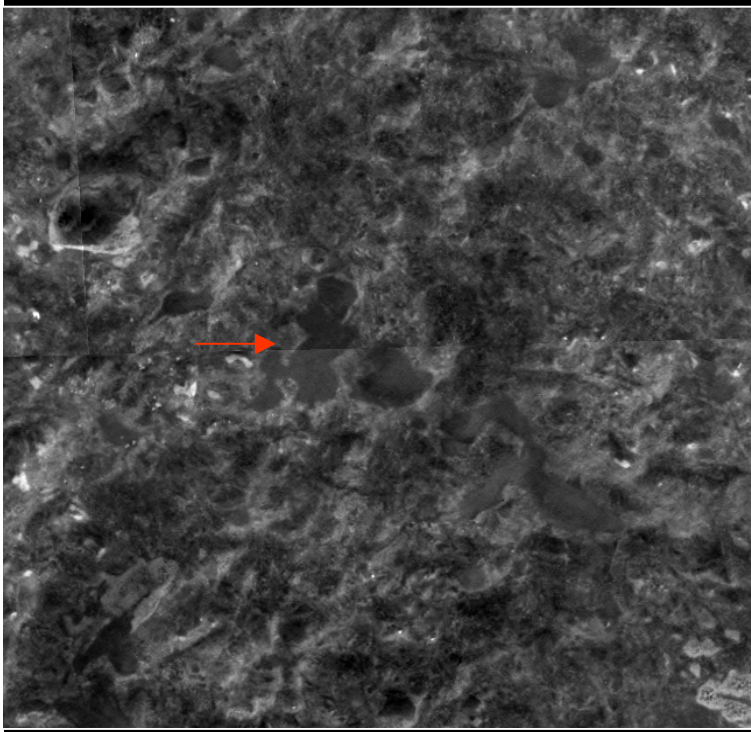
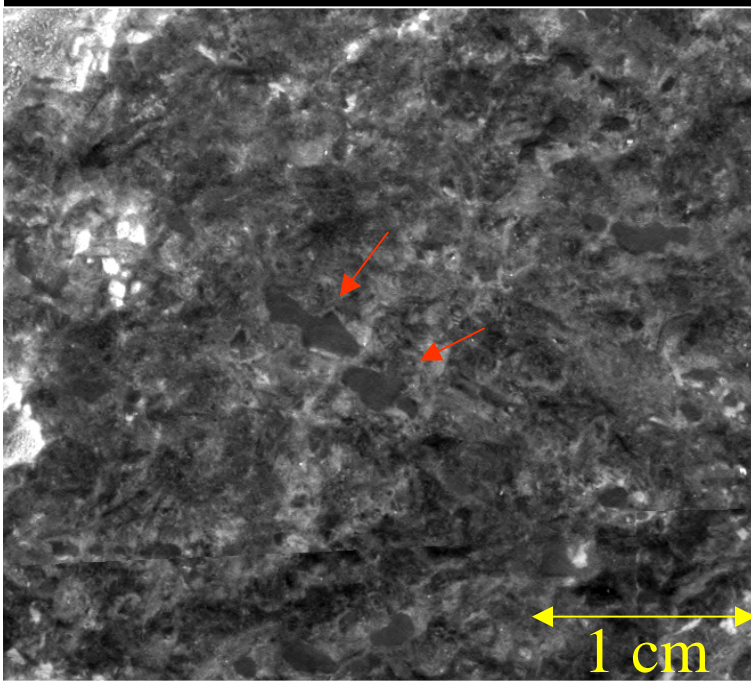
RAT Grind

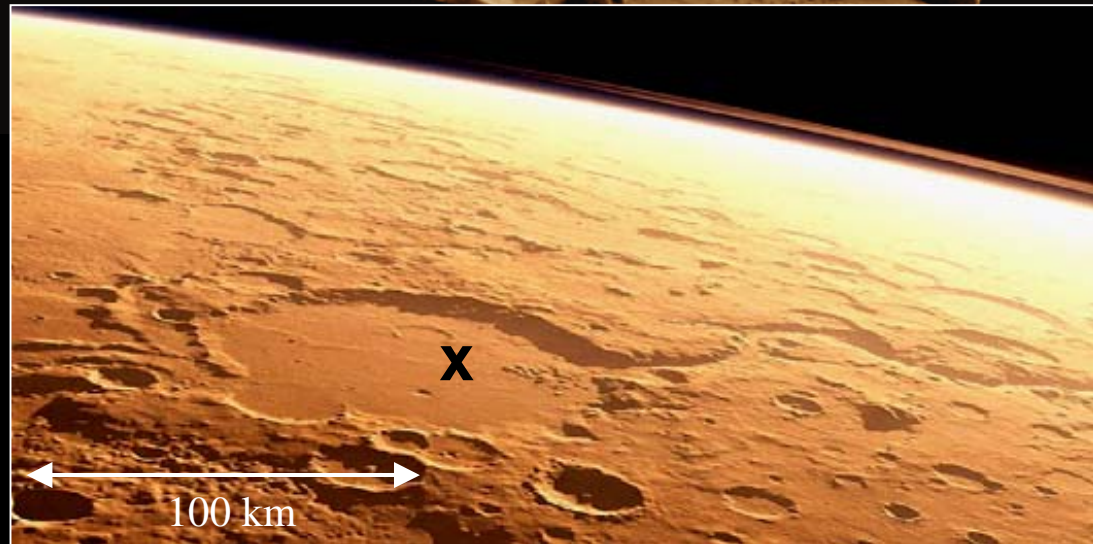
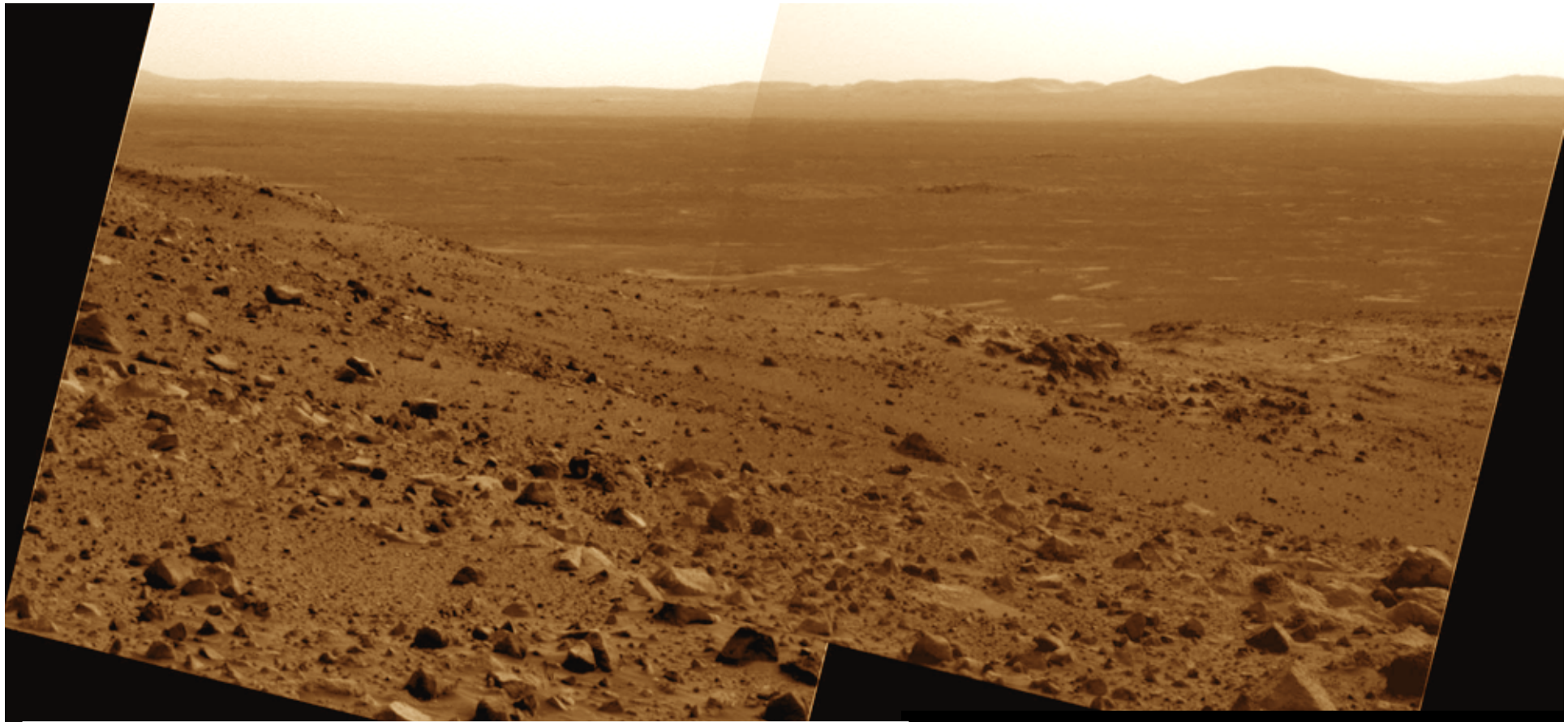
RAT Brush

Contournons ce rocher ; polissons/forons sa surface supérieure

Il regarde ces roches « à la loupe » et découvre une roche avec des cristaux de forme particulière (automorphe dans notre jargon de géologue)

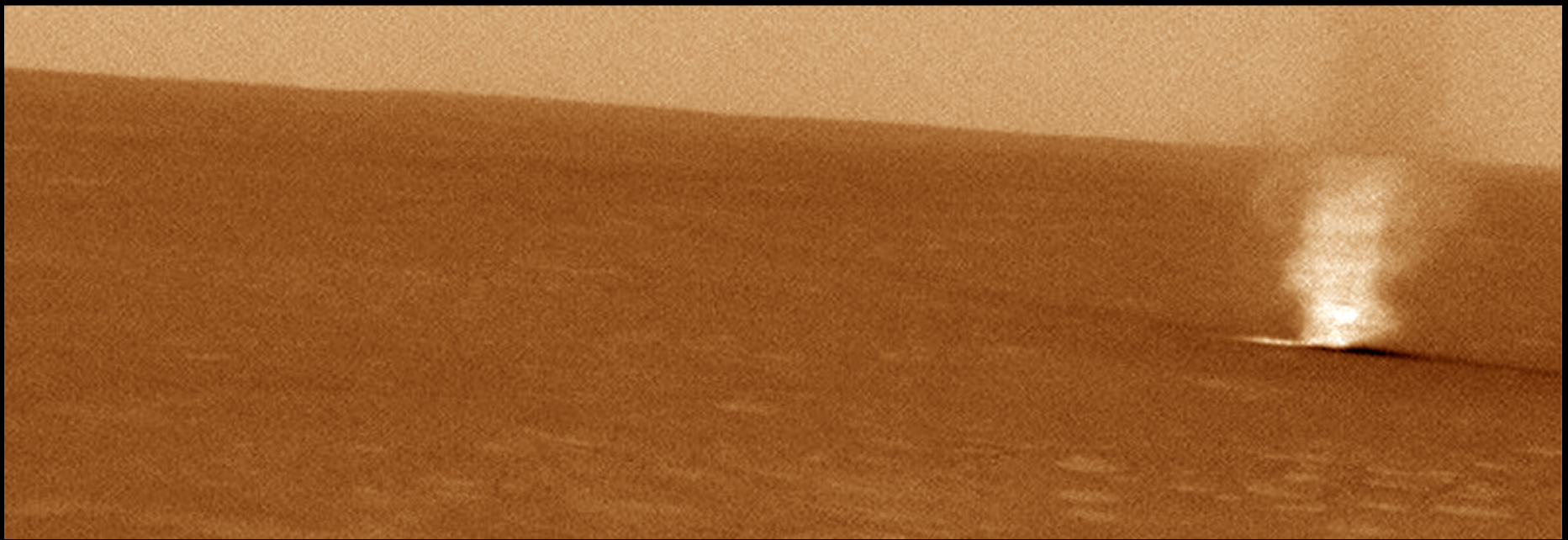
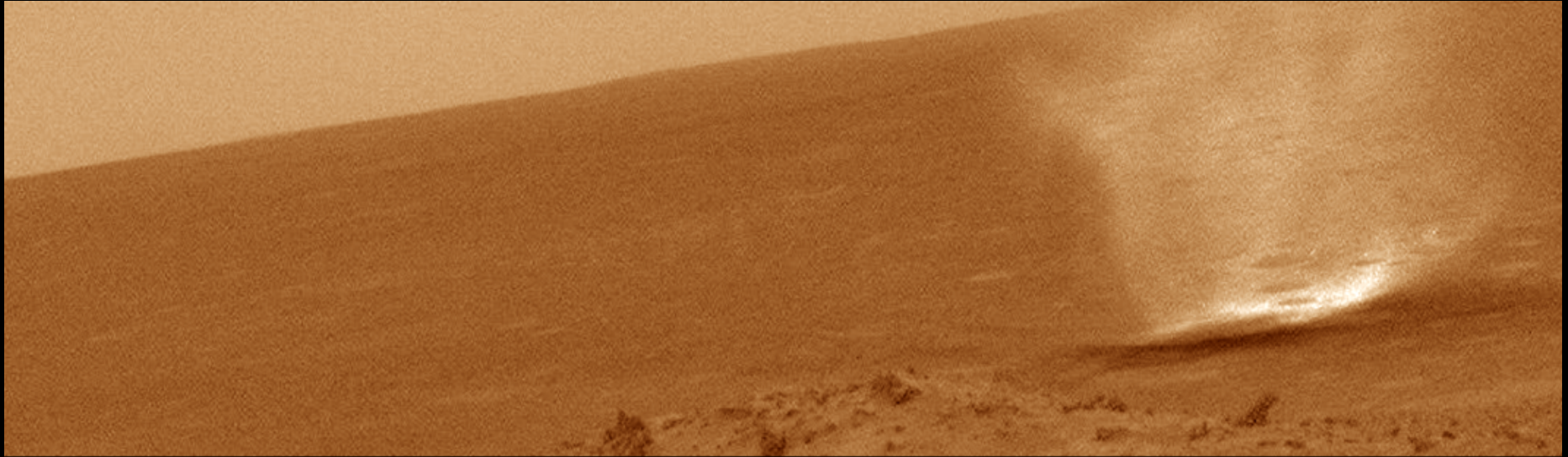
Sur Terre, tous ces affleurements stratifiés, « granulaires », avec cristaux automorphes, à chimie de basalte altéré ... feraient penser à des dépôts phréatomagmatiques (éruption volcanique en eau peu profonde ou dans une nappe phréatique)





**Il continue à monter.
Quand il fait clair, on
découvre les bords du
cratère Gusev, à 50 km
de là. Vivement qu'on
arrive au sommet !**

Et dans la plaine, Spirit observe des mini-tornades

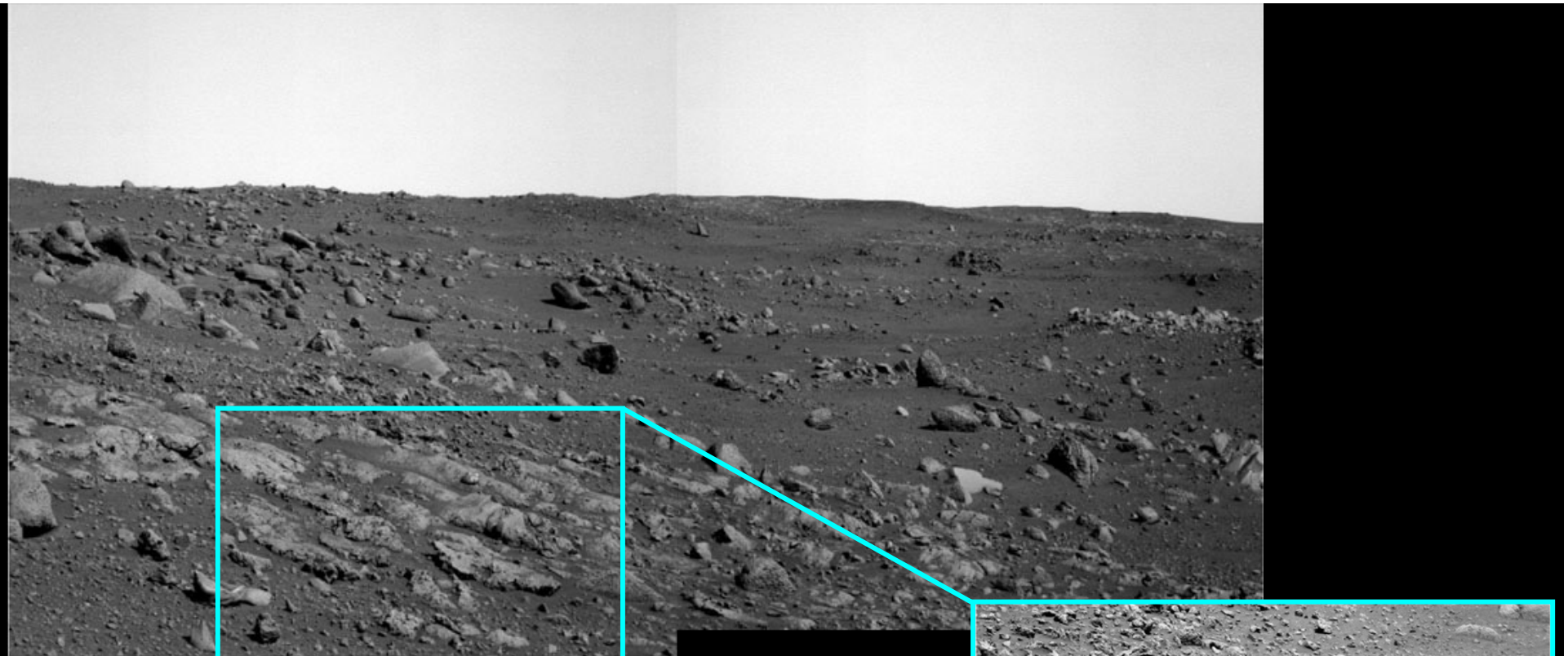




**Exemple de mini-tornade terrestre dans le désert
de Gobi (= dust devil = poussières du diable)**

Ce temps « venteux » a eu le mérite de nettoyer la poussière posée sur Spirit, en particulier sur ses panneaux solaires. Ici, images de la mire colorée, avant et après un coup de vent.



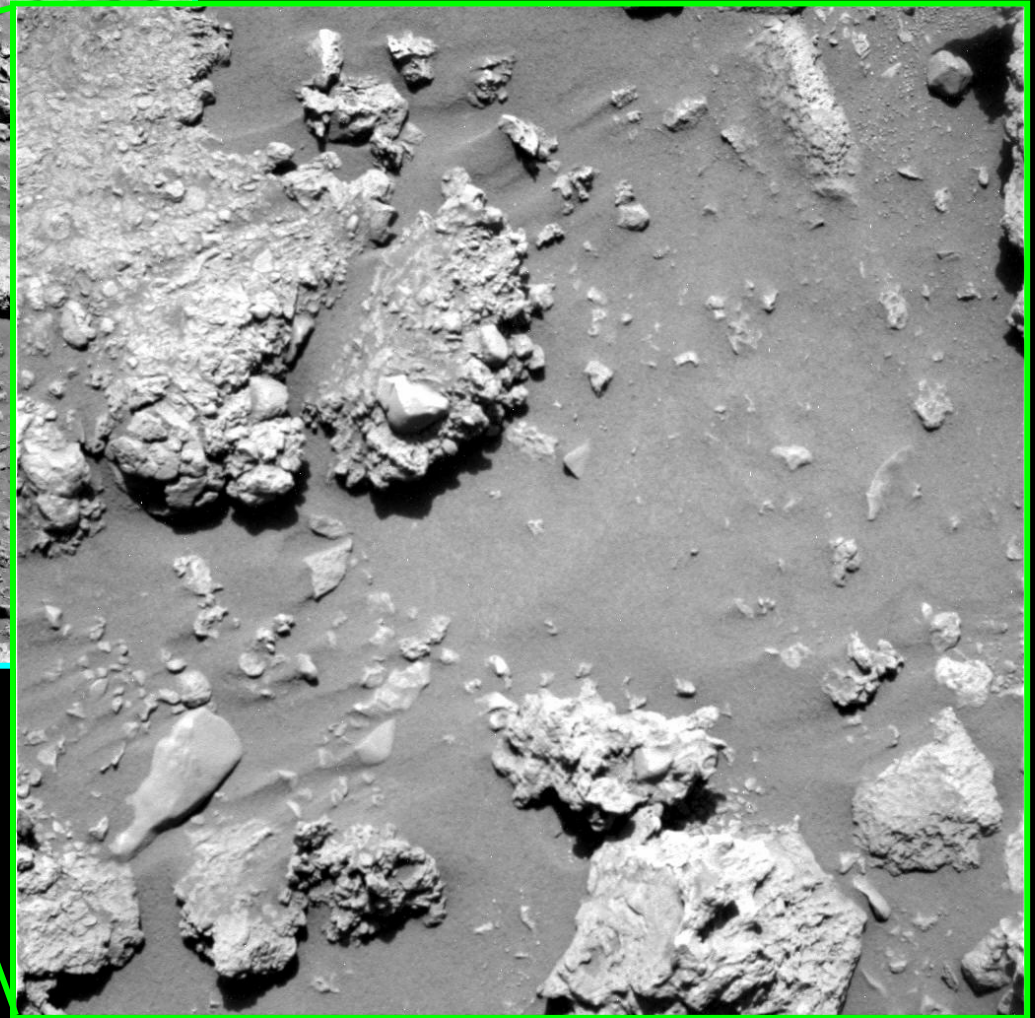
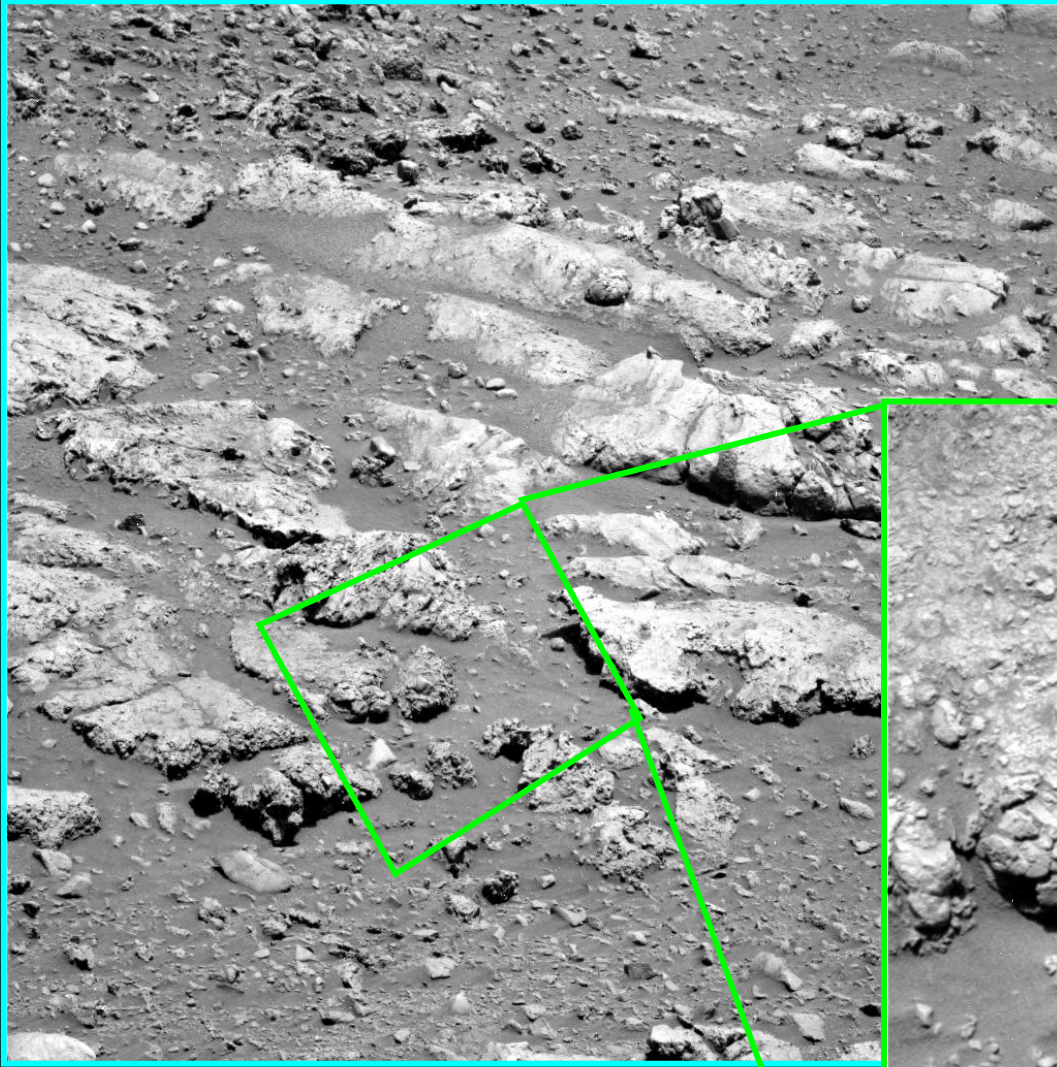


**Près du sommet, de
nouveaux affleurements**

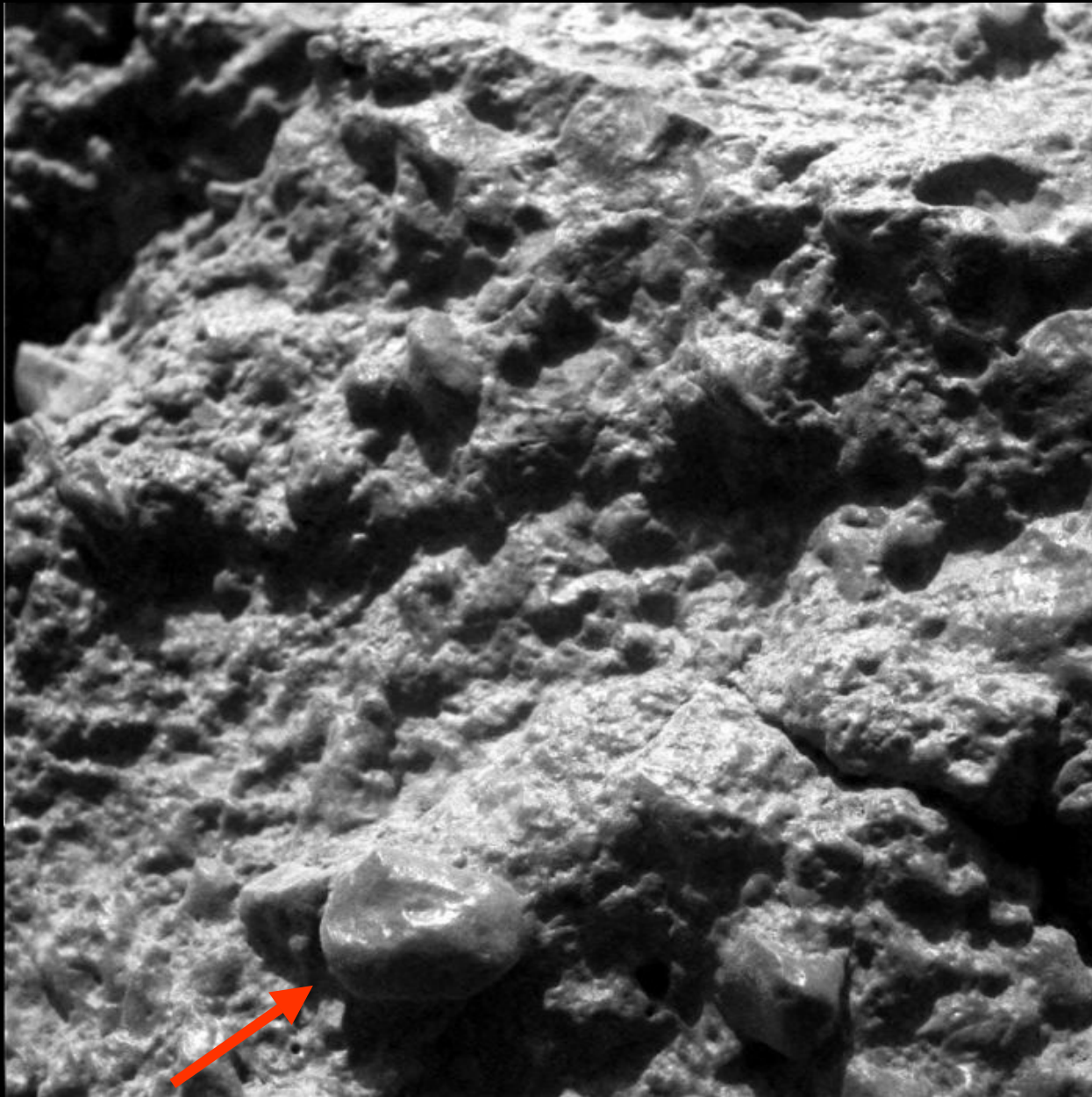
**Détaillons cet
affleurement vaguement
stratifié**



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



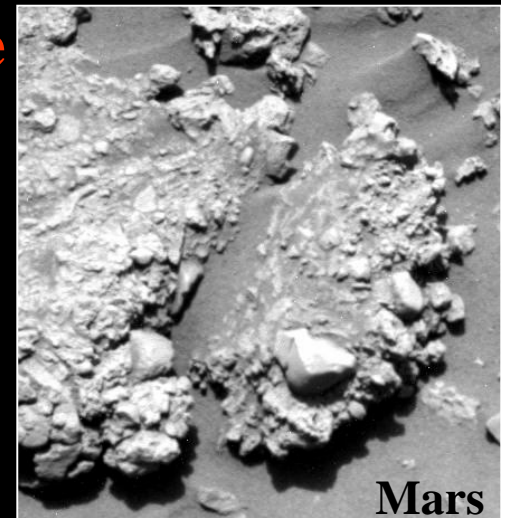
**Brèches sédimentaires,
brèches volcaniques,
brèches d'impact ?**

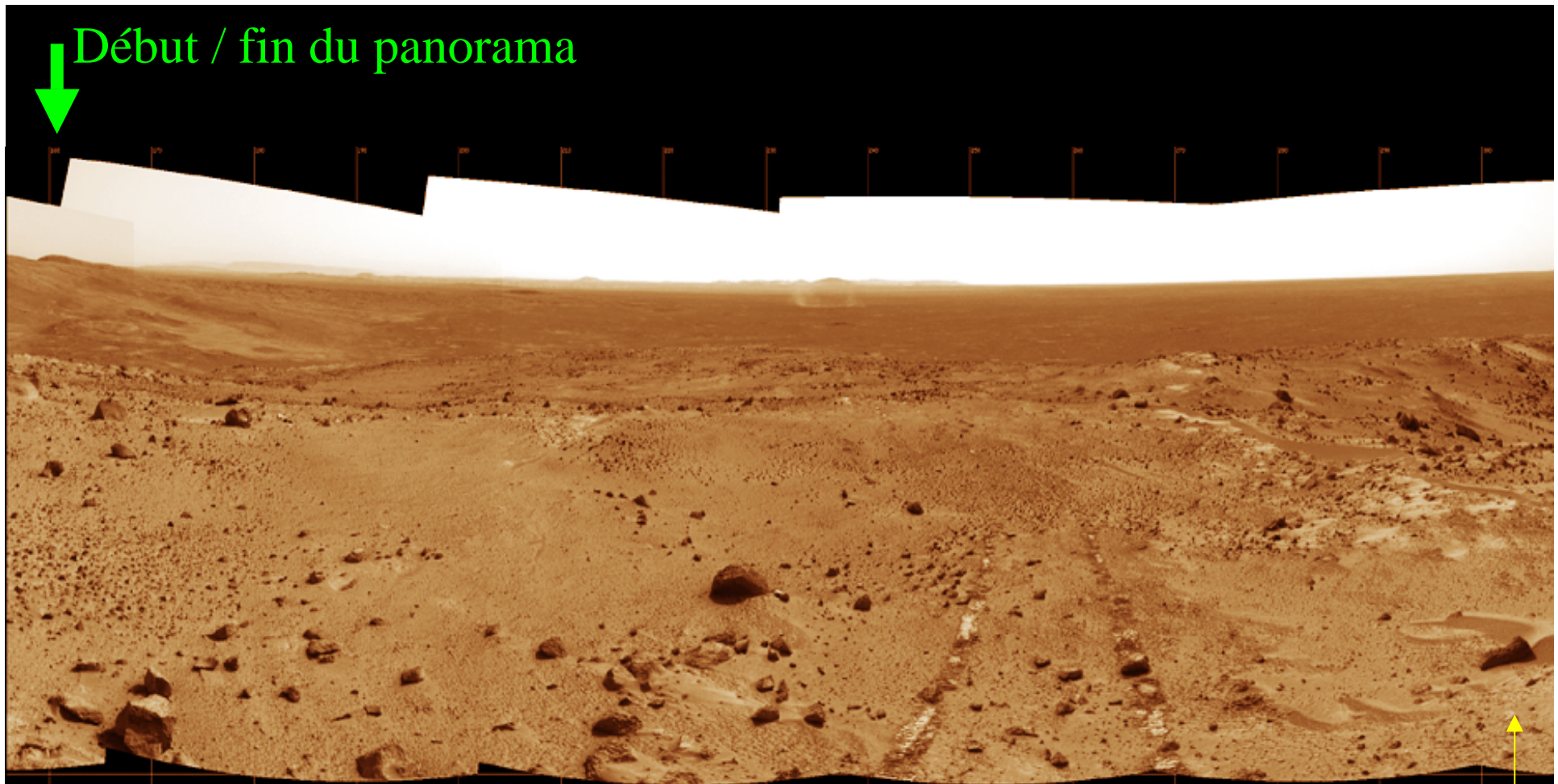


**Certains
« galets » de
la brèche
sont
arrondis. Ils
ont été
« roulés » par
de l'eau ou
dans du
matériel
« boueux »**



Ici, un exemple de brèches volcaniques terrestres, genre coulées boueuses, ce qui semble le plus représentatif du contexte géologique des Columbia Hills

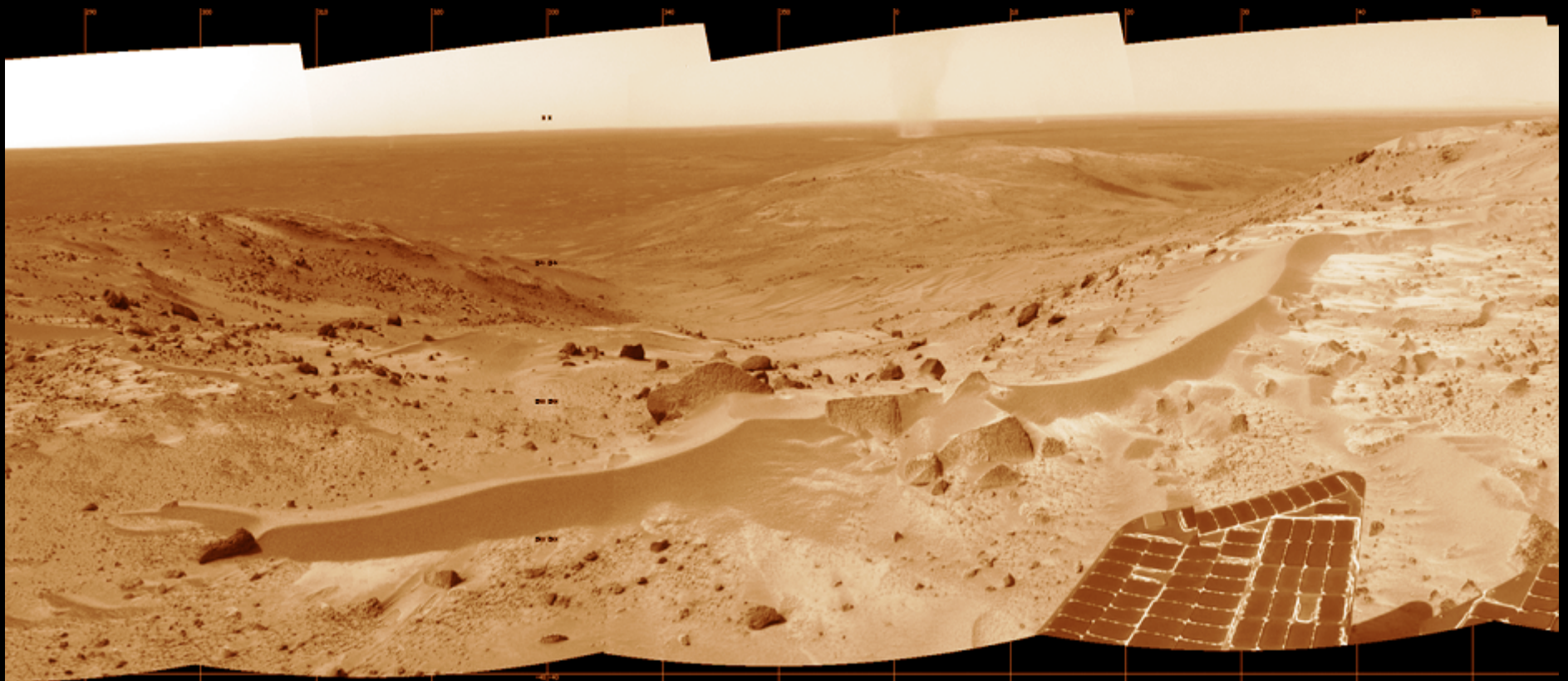




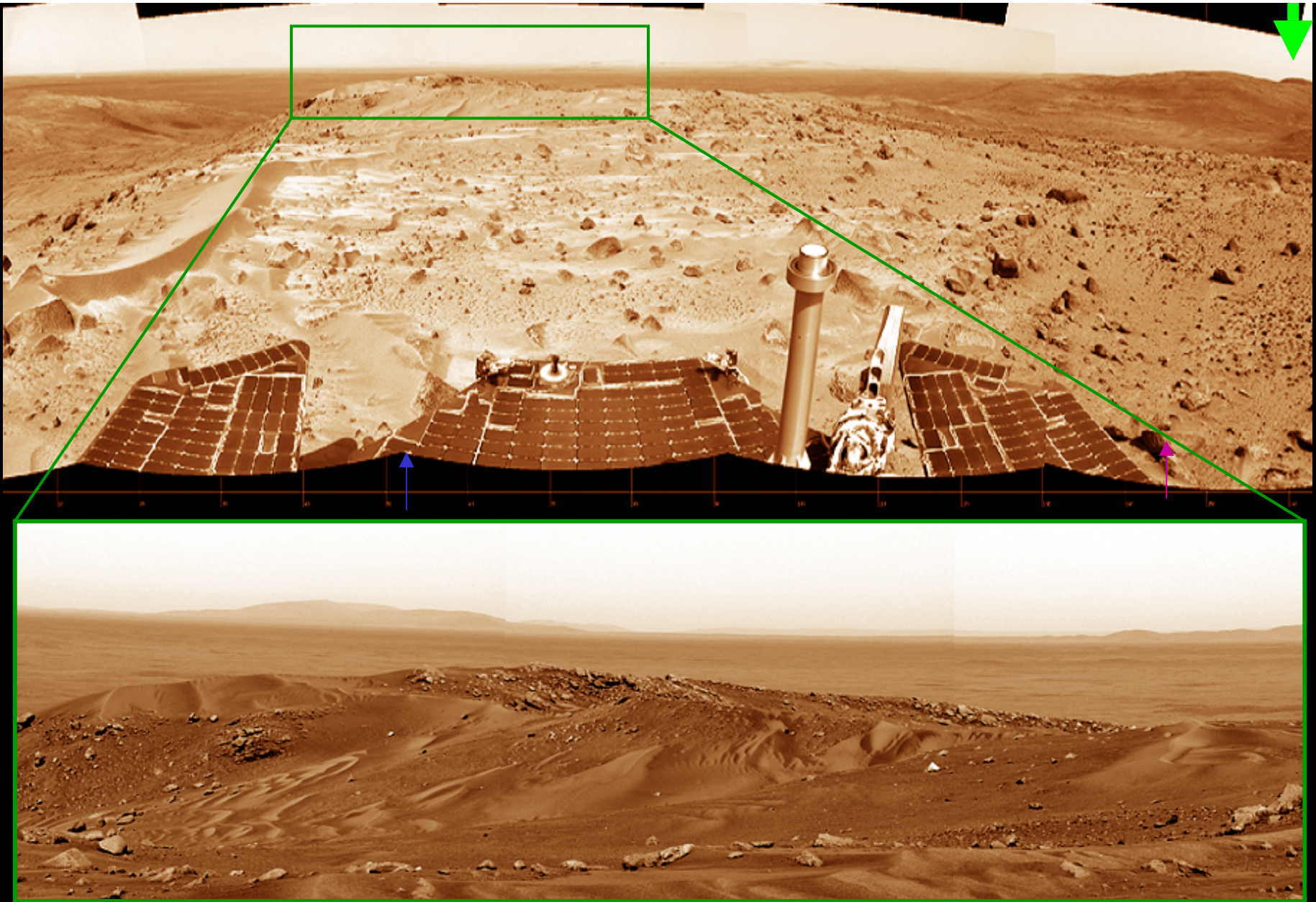
Début / fin du panorama

Voici, en 3 diapos, un panorama circulaire pris du sommet où est arrivé Spirit.

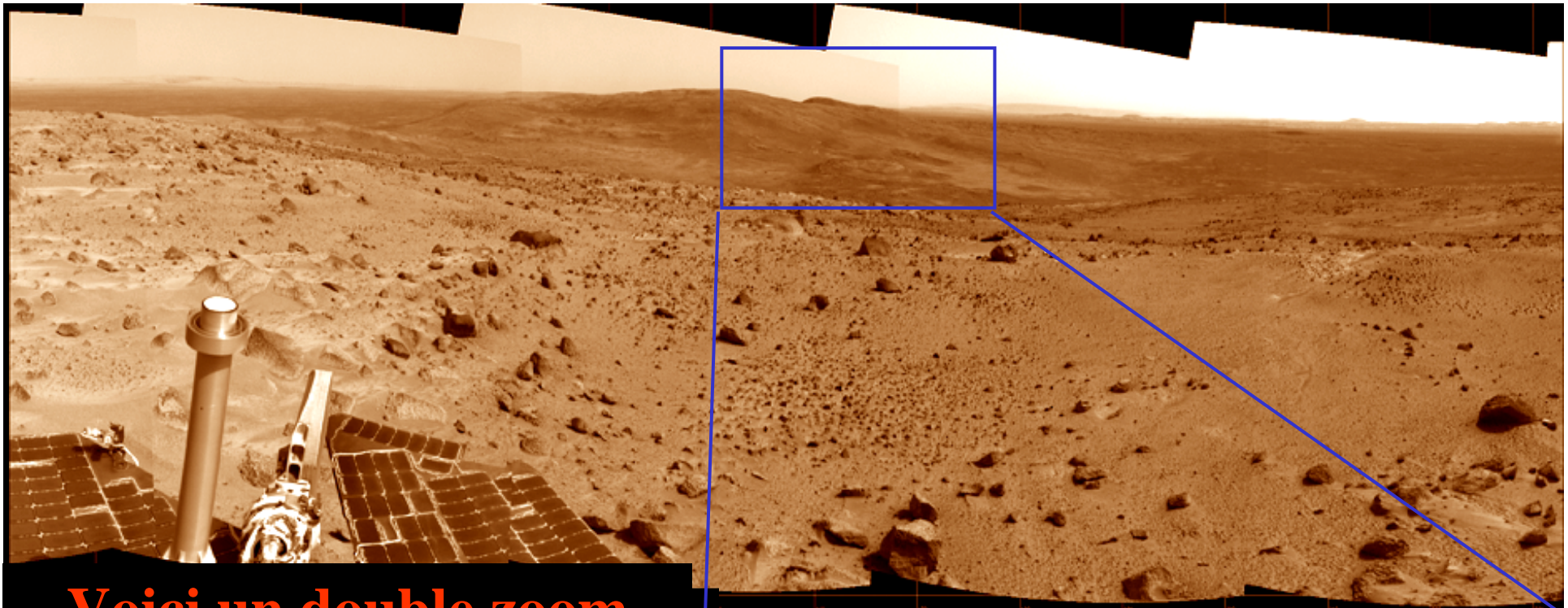
Début du panorama circulaire pris du sommet, avec vue vers le SO. Au fond, une tornade



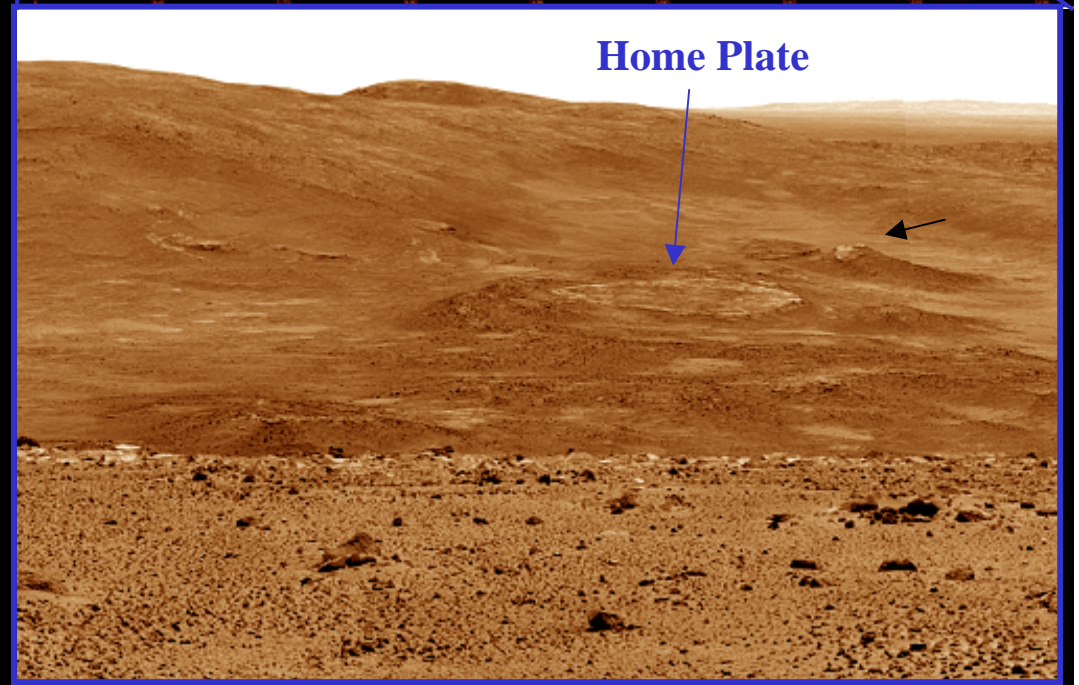
**Suite du panorama circulaire, avec
vue vers le NO, et au autre tornade**

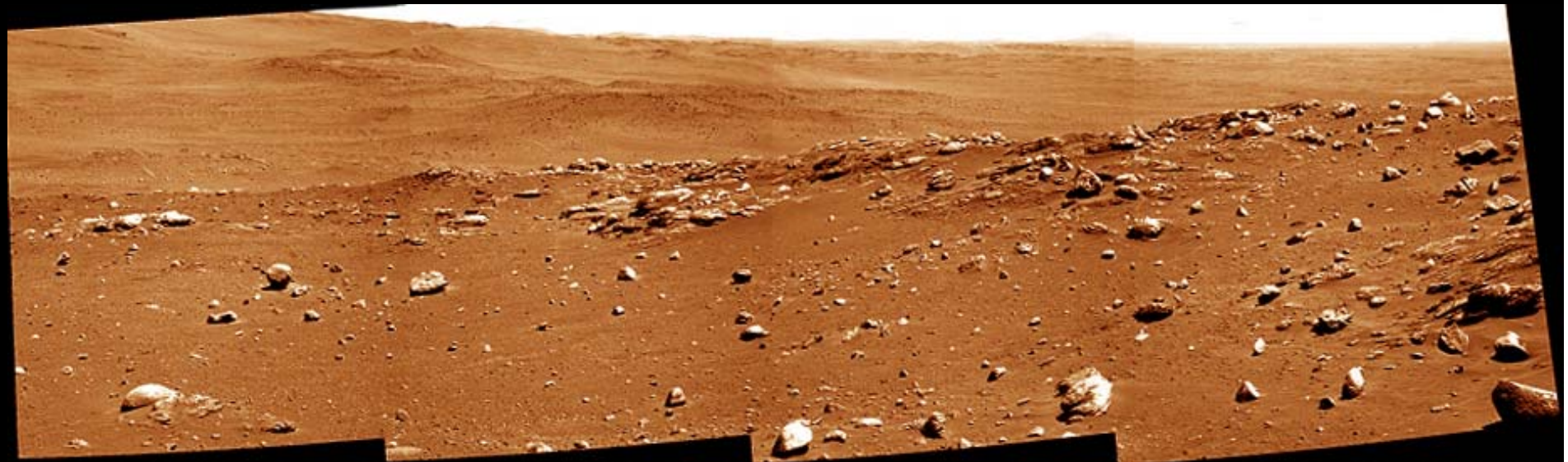
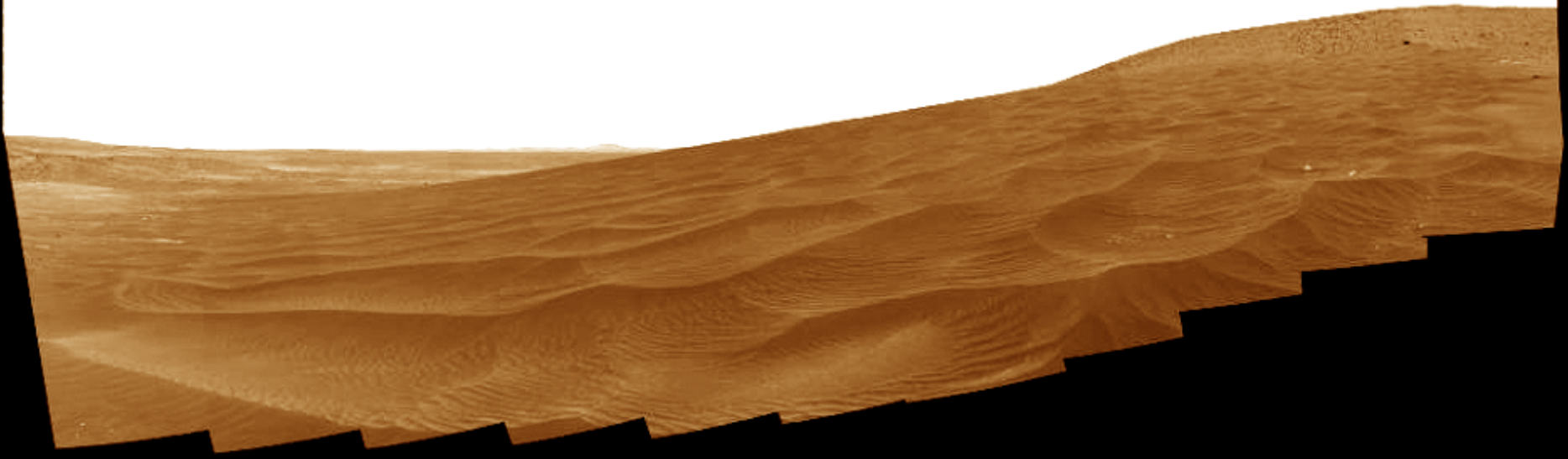


**Suite du panorama circulaire, avec
vue vers le NE**

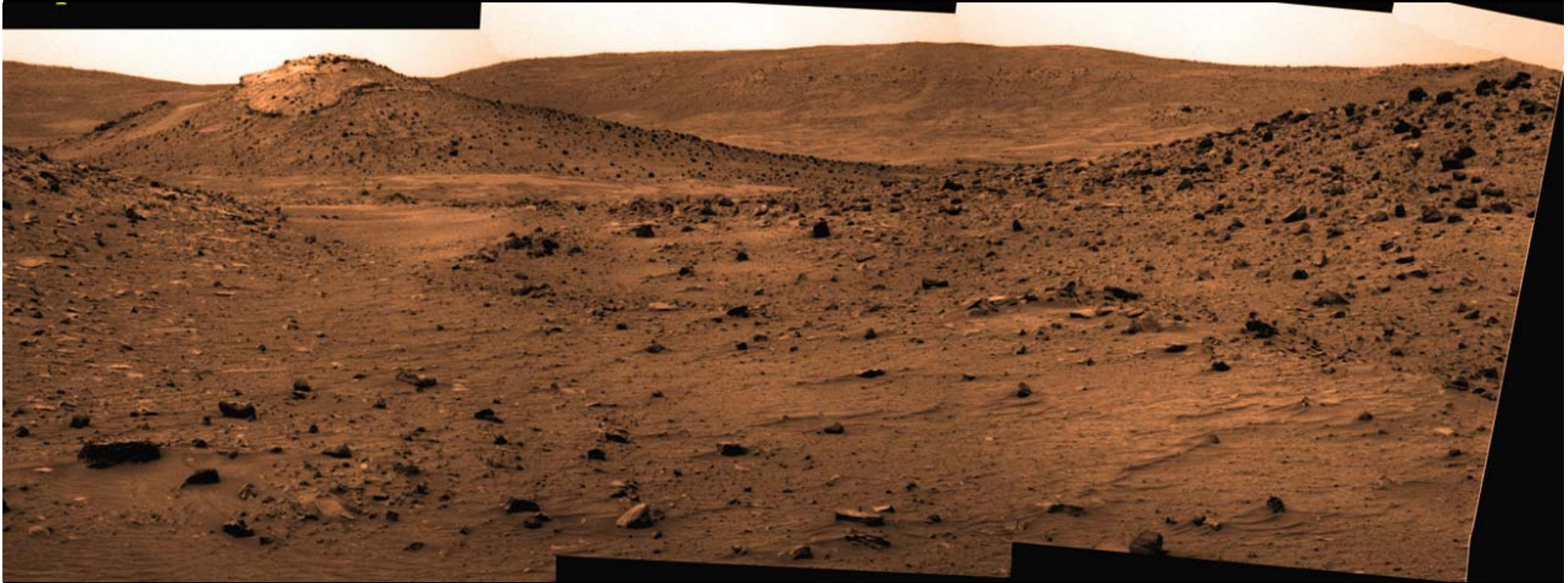


**Voici un double zoom
vers le Sud, du côté
opposé à celui de la
montée. Une étrange
structure circulaire
(D = 80m), Home Plate
sera la prochaine
destination de Spirit**

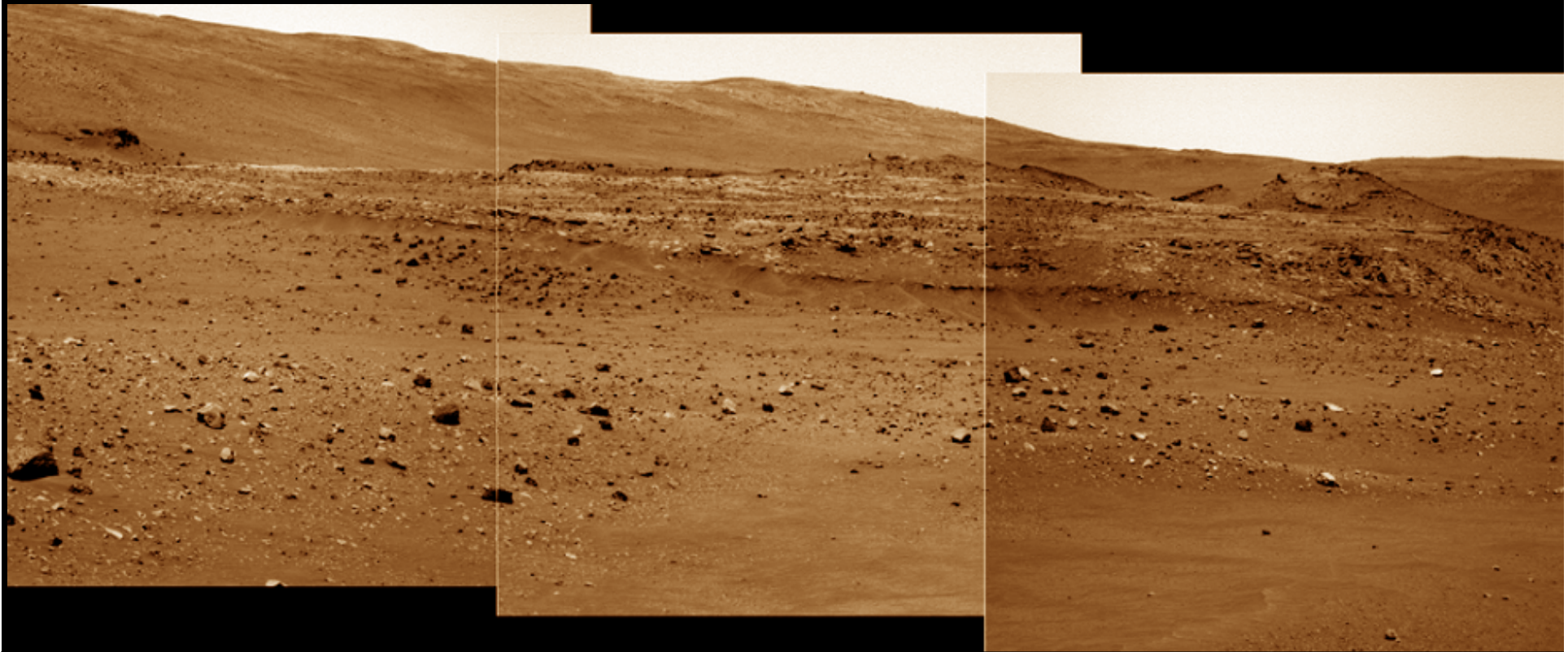




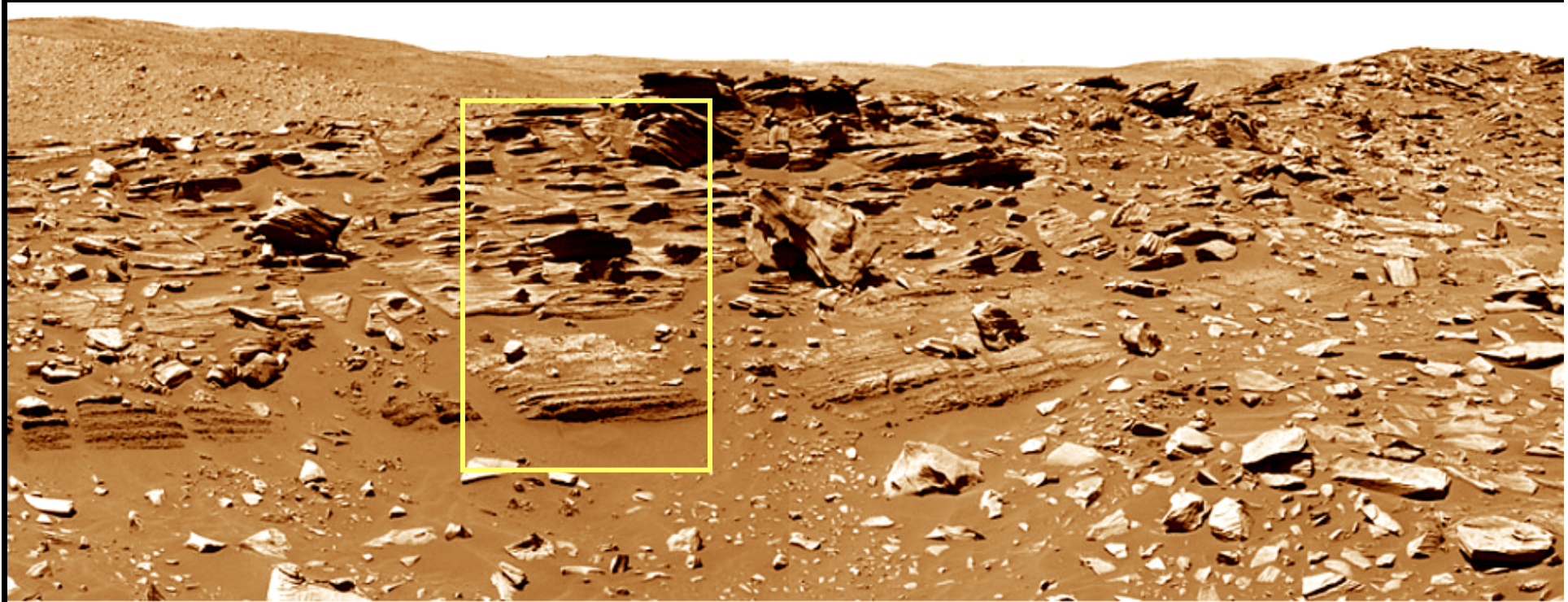
Que voit-il pendant sa descente ? Un champ de dunes, des roches stratifiées ...



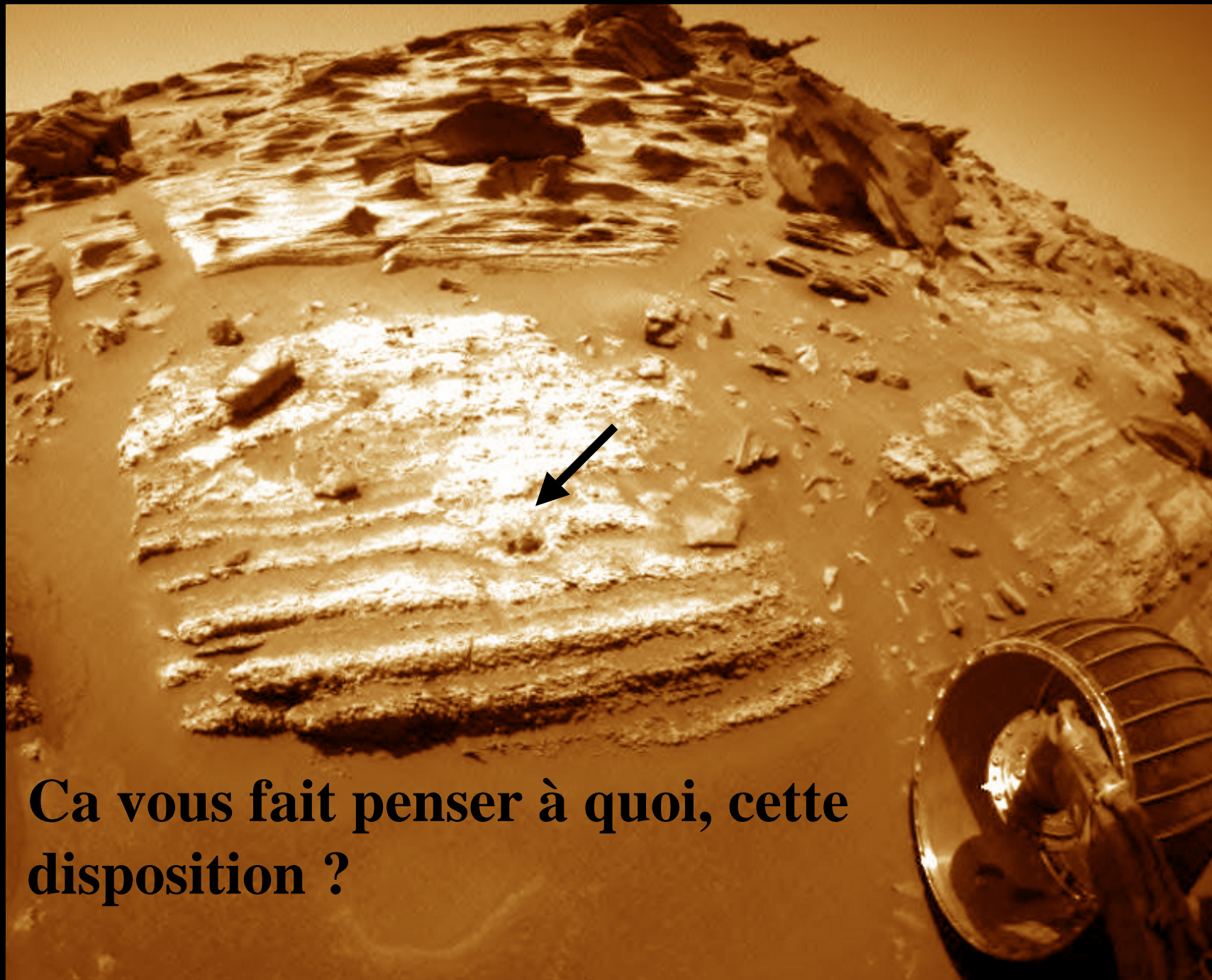
Un « pic » recouvert d'une « carapace » claire.



**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 ?



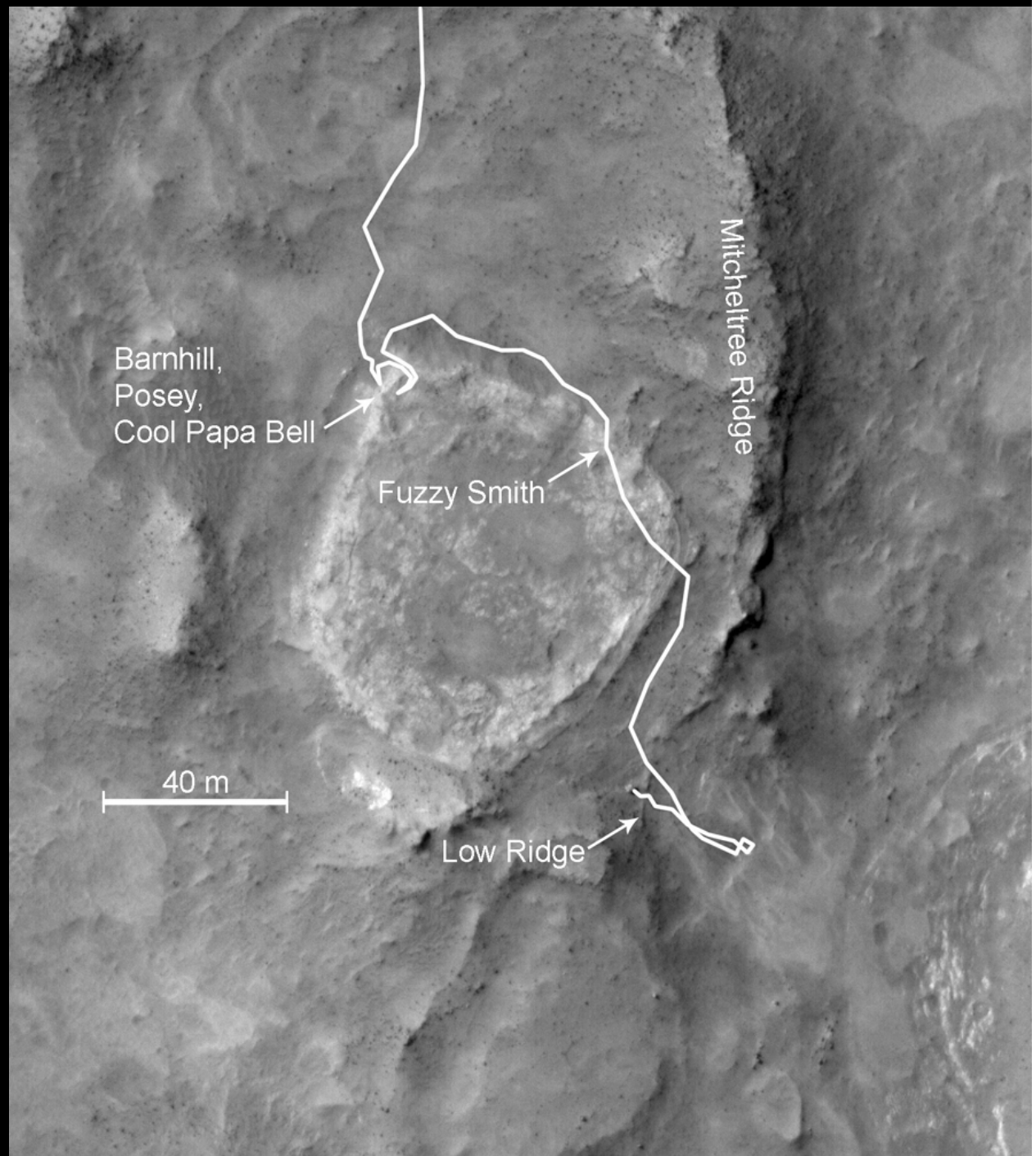
A des figures de chocs dues à la chute d'objets pesants, éjectés par des éruptions explosives Et qui dit volcanisme explosif dit gaz, donc très probablement vapeur d'H₂O. Il continue à explorer le secteur, ...



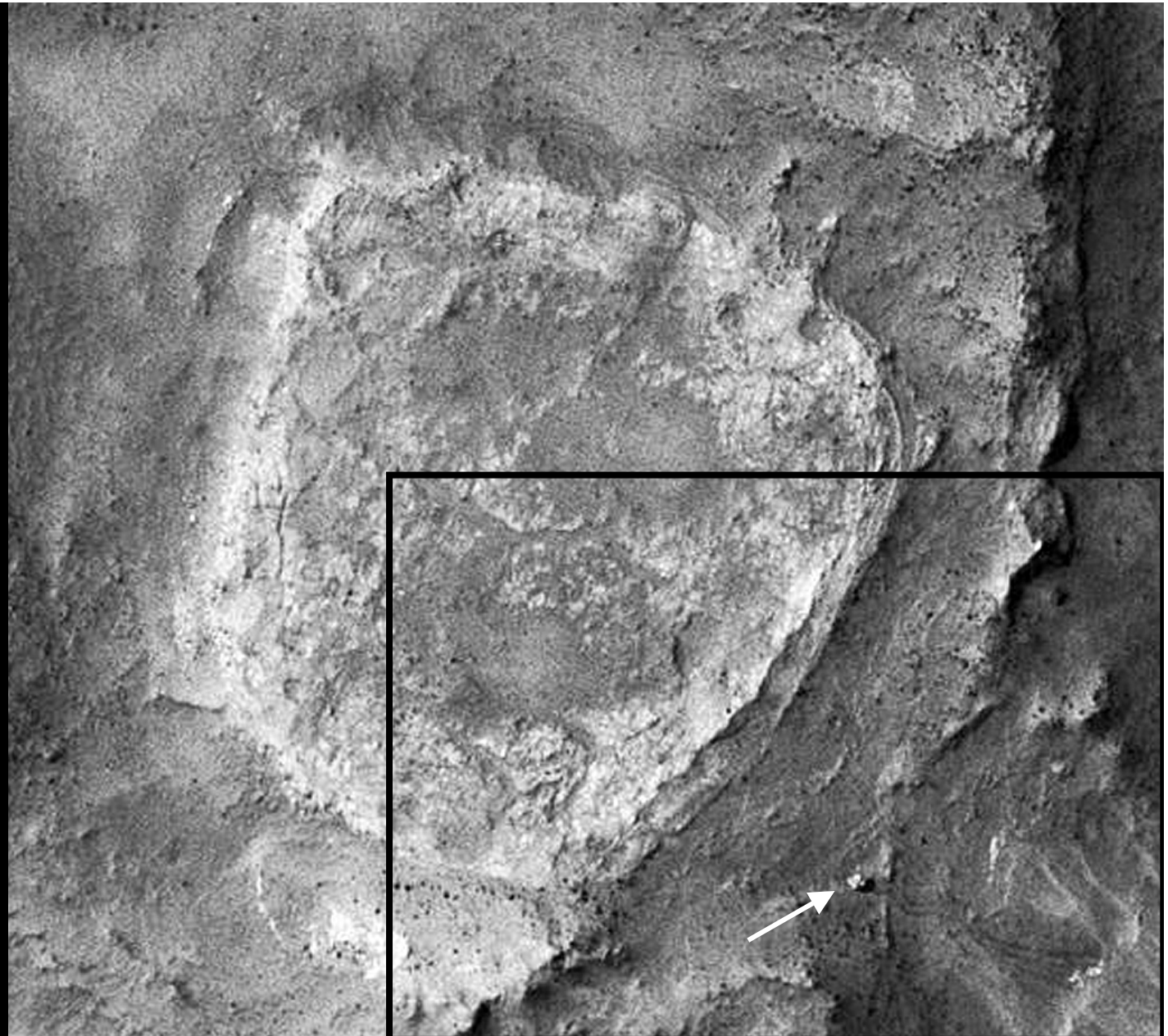
... monte sur Home plate,

**... redescend,
passe un hiver à
« Low Ridge ».**

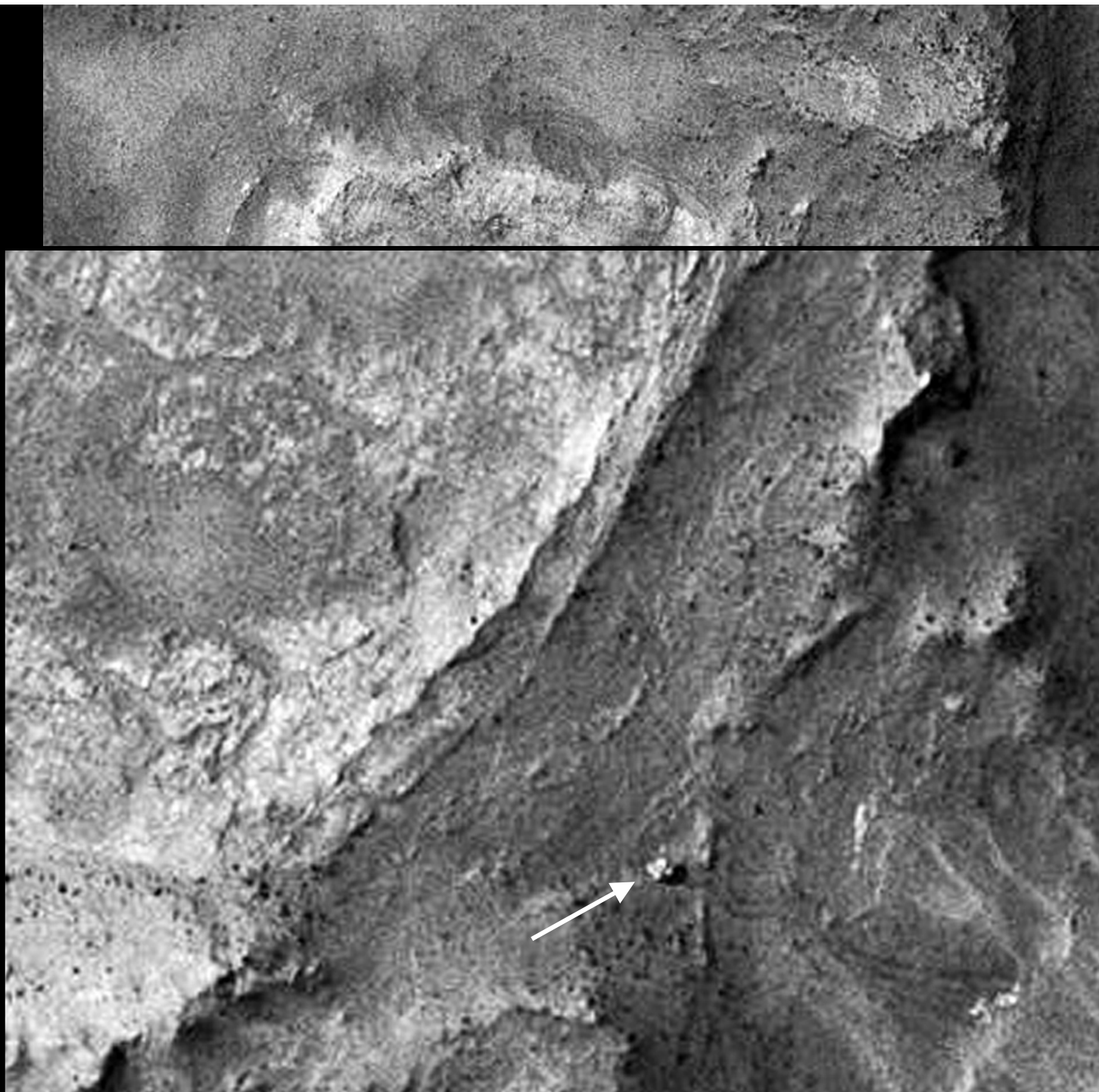
**Pendant qu'il
hiverne, la
caméra HIRISE
de Mars
Reconnaissance
Orbiter (MRO)
prend des
photos détaillées
du secteur.**

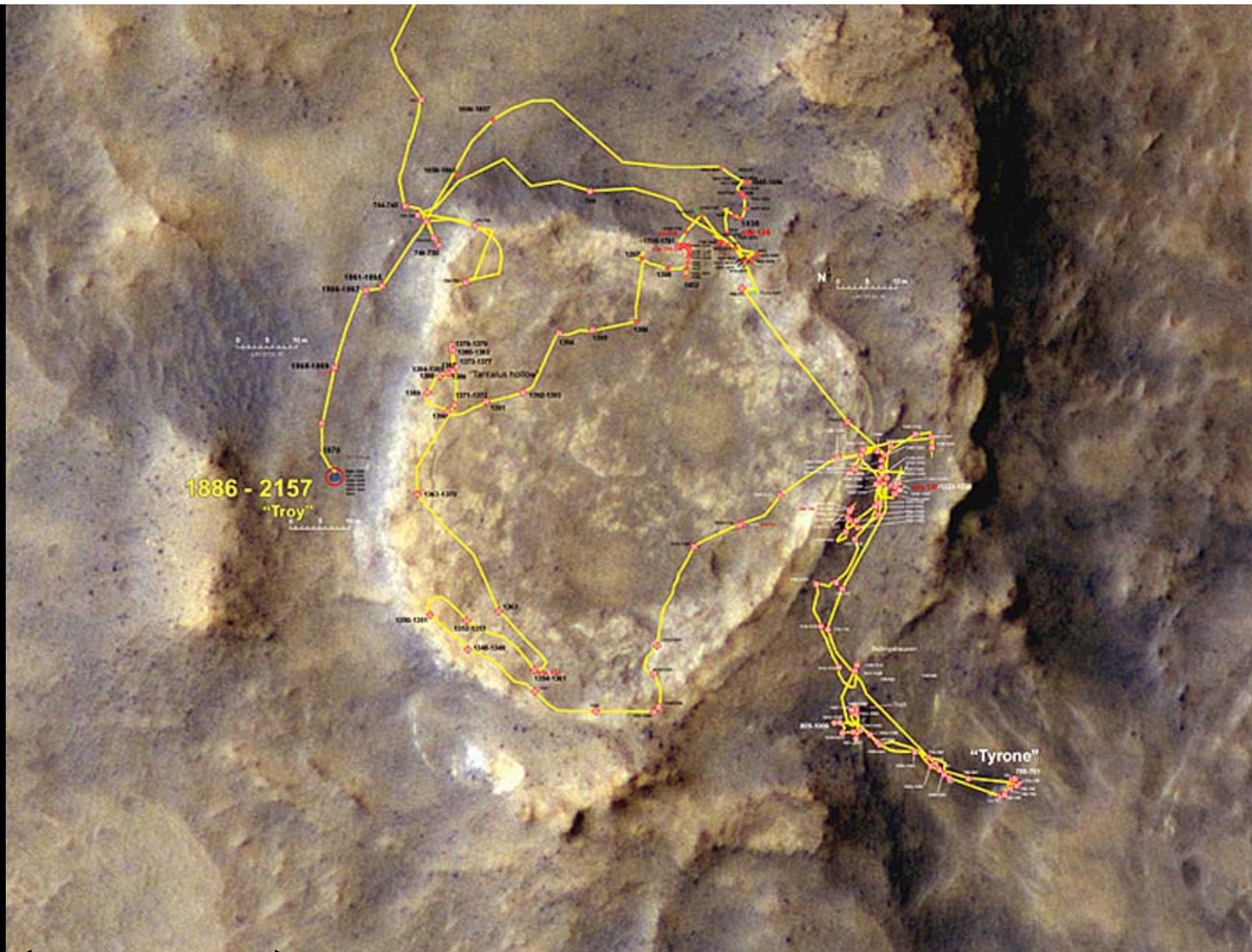


**On y voit
très bien le
rover et les
traces qu'il
laisse
derrière lui.**



**On y voit
très bien le
rover et les
traces qu'il
laisse
derrière lui.**

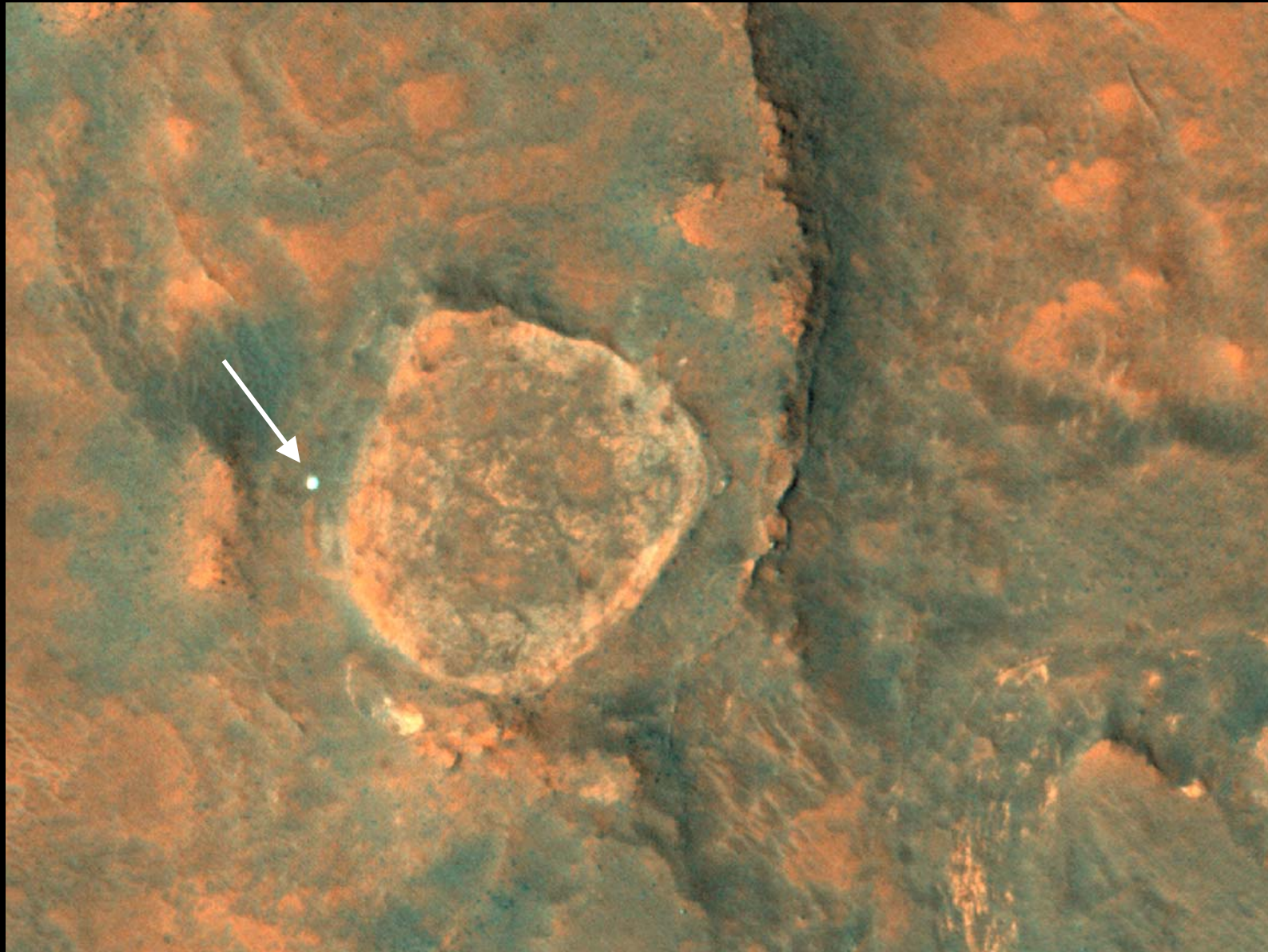




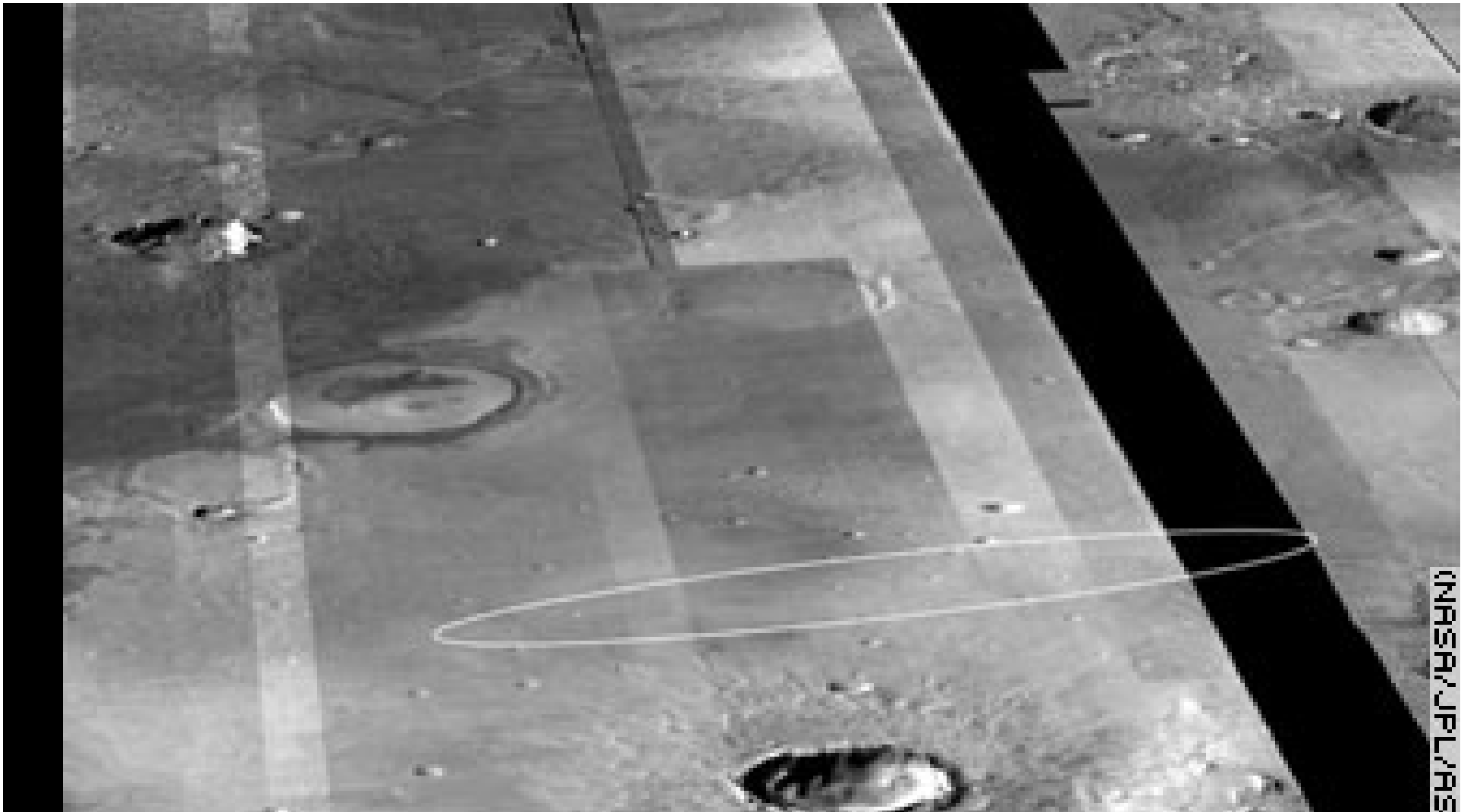
Il explore en détail tout ce secteur de Home Plate ...

... mais Spirit s'est fait « coincer » par un rocher (nommé Troy) à l'Ouest d'Home Plate en mai 2009, au bout de 1886 jours (martiens) de bons et loyaux services. La NASA n'a pas pu le décoincer. Les communications ont cessé (c'était prévu) pendant l'hiver martien qui a suivi (solstice d'hiver en mai 2010). Malgré de nombreuses tentatives, les communications n'ont pas pu reprendre au printemps. Après celui de Phoenix, c'est le deuxième avis de décès.

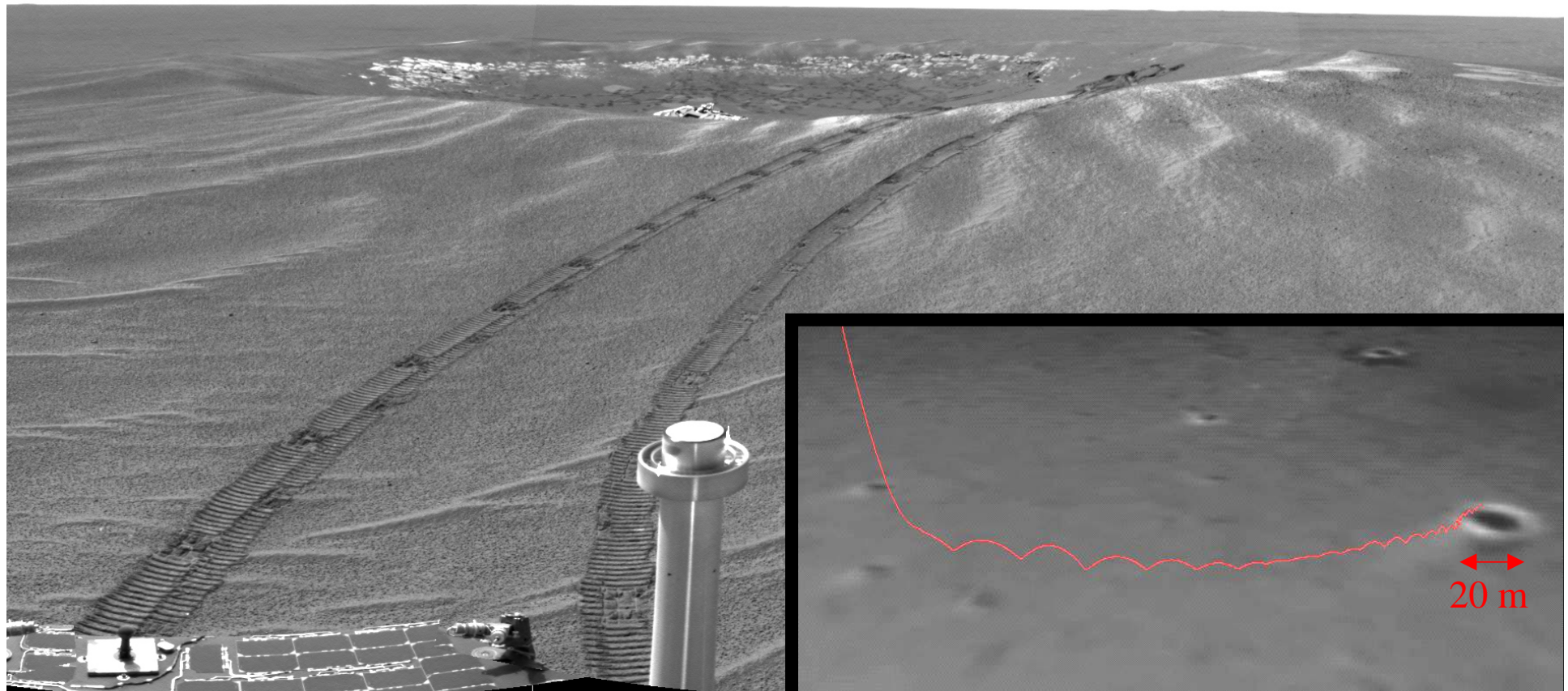
Il explore en détail tout ce secteur de Home Plate ...



Mais si Spirit est mort, il brille encore au soleil, comme le montre cette photo prise par MRO le 31 mars 2011



Après Spirit, Opportunity, le 2eme robot mobile. Il 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.

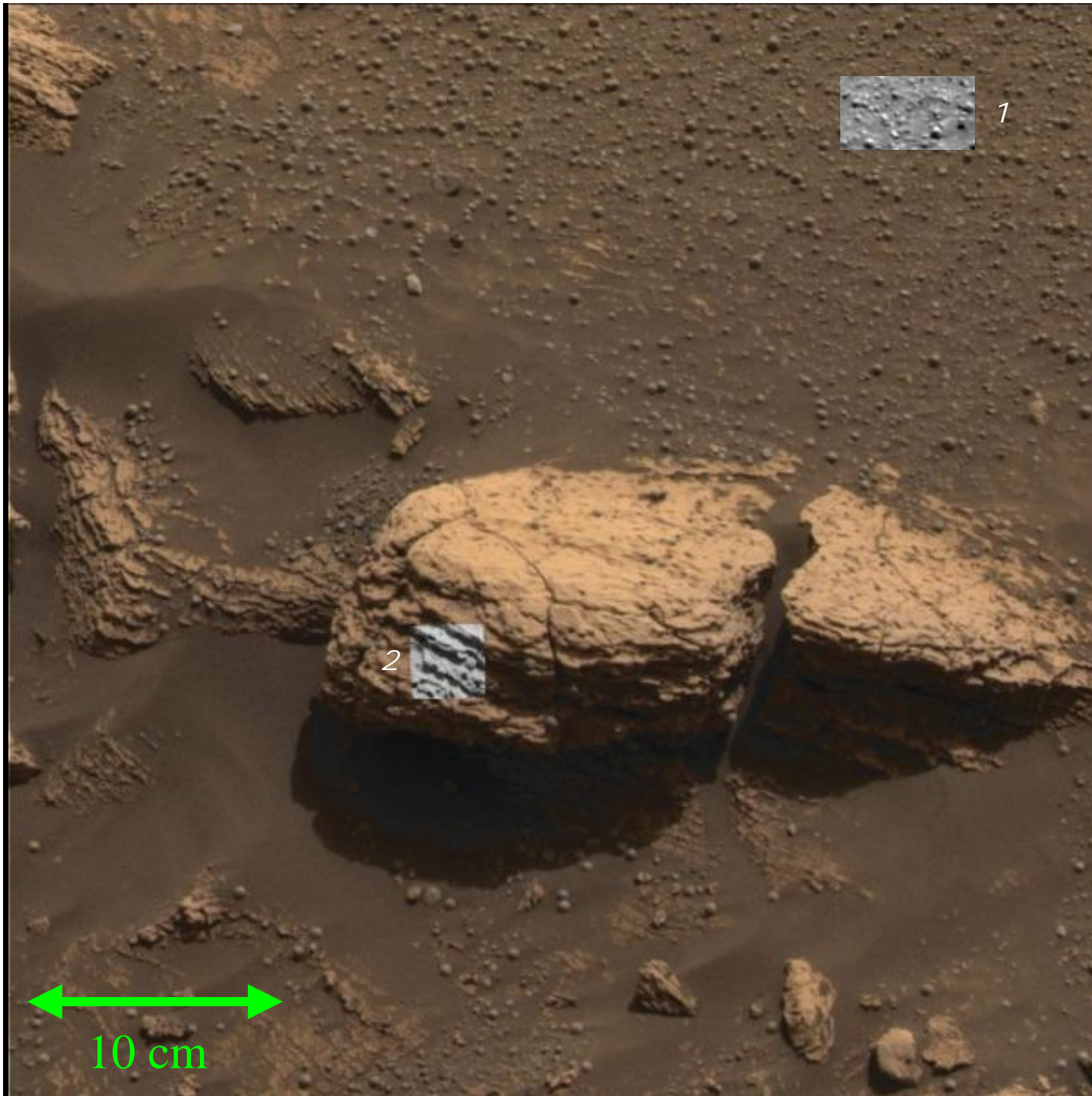


Ce 2eme robot s'est posé dans la plaine « Méridiani » (faite d'un tapis de mini-dunes) plus précisément et tout à fait par hasard dans le petit cratère Eagle (D = 20m, profondeur de 2 m). Voici les traces qu'il a fait pour en sortir, après 2 mois d'études géologiques approfondies.

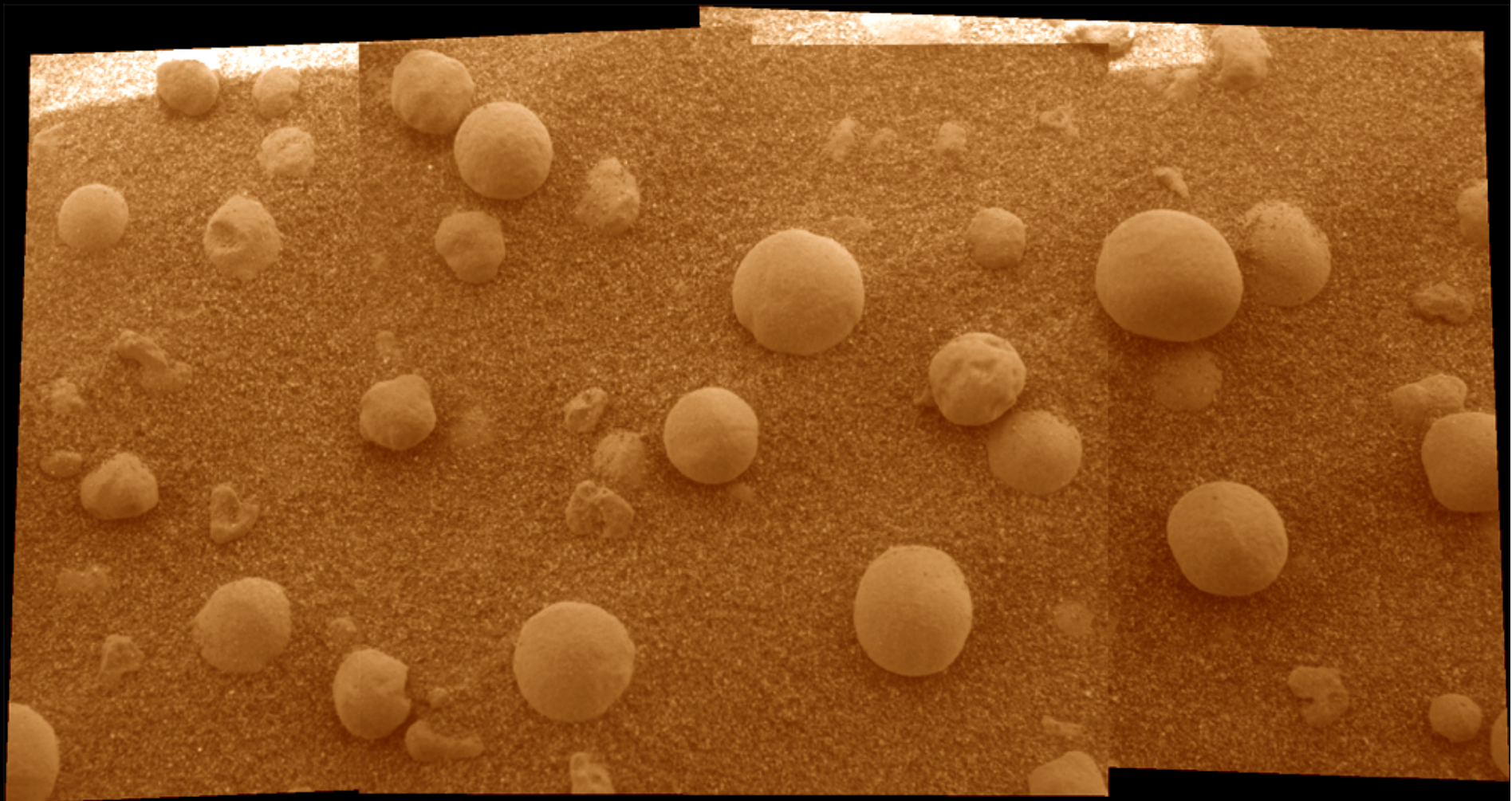


↑ «Falaise»
de 75 cm
↓ de haut

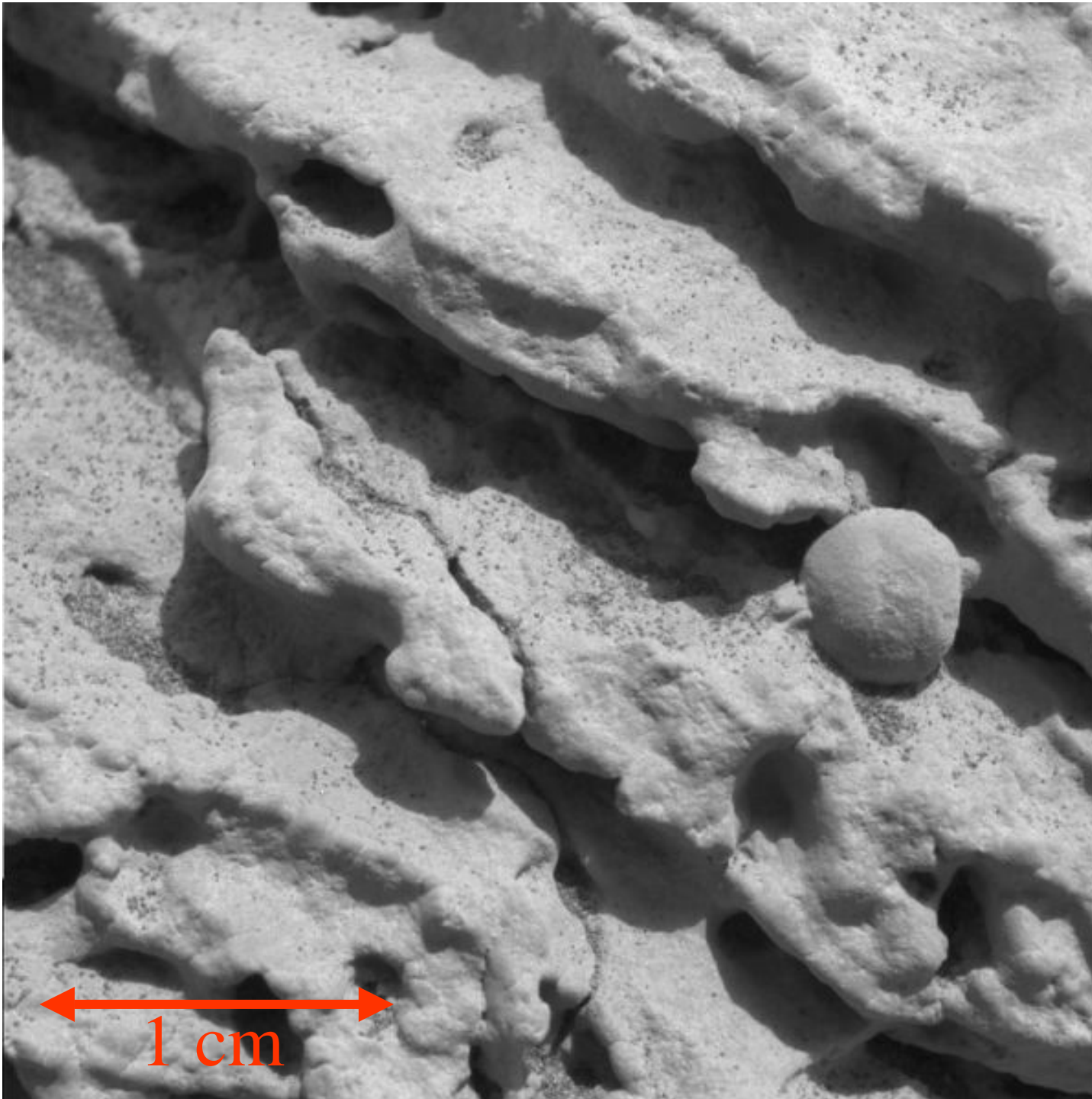
Dans ce cratère Eagle, on voit des affleurements disposés en strates ! Le jackpot !! Mais des strates de quoi ? Des laves, des cendres volcaniques, des sédiments ? Et si ce sont des sédiments, sont-ils éoliens, « aquatiques » ... ?



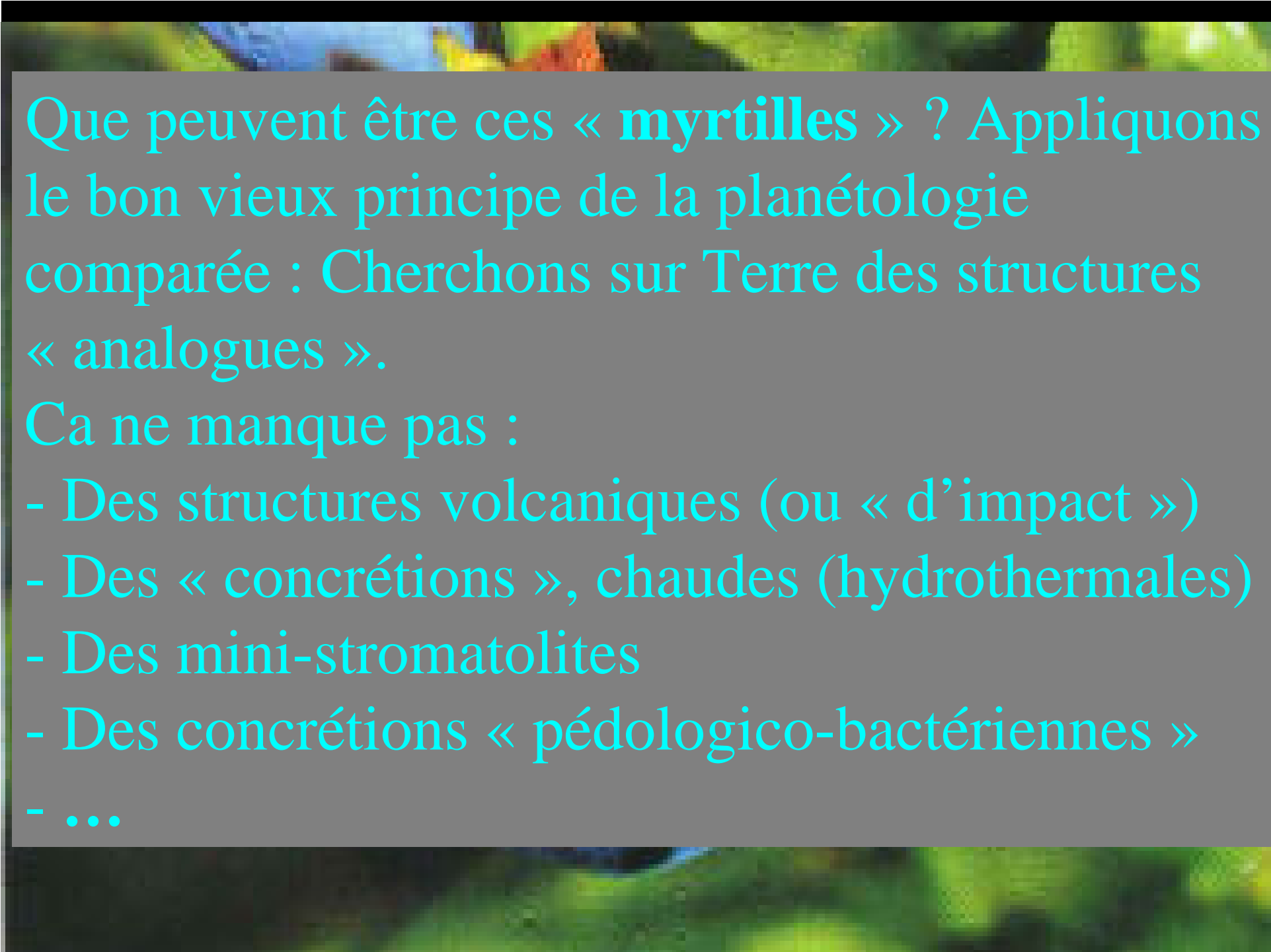
**Dans le sol,
des petites
boules. Il y
en a
partout,
autour des
rochers,
dans les
rochers.
Regardons
de près !**



Des milliers de petites boules dans le sol, de quelques mm de diamètre et dorénavant appelées « myrtille » (berry).



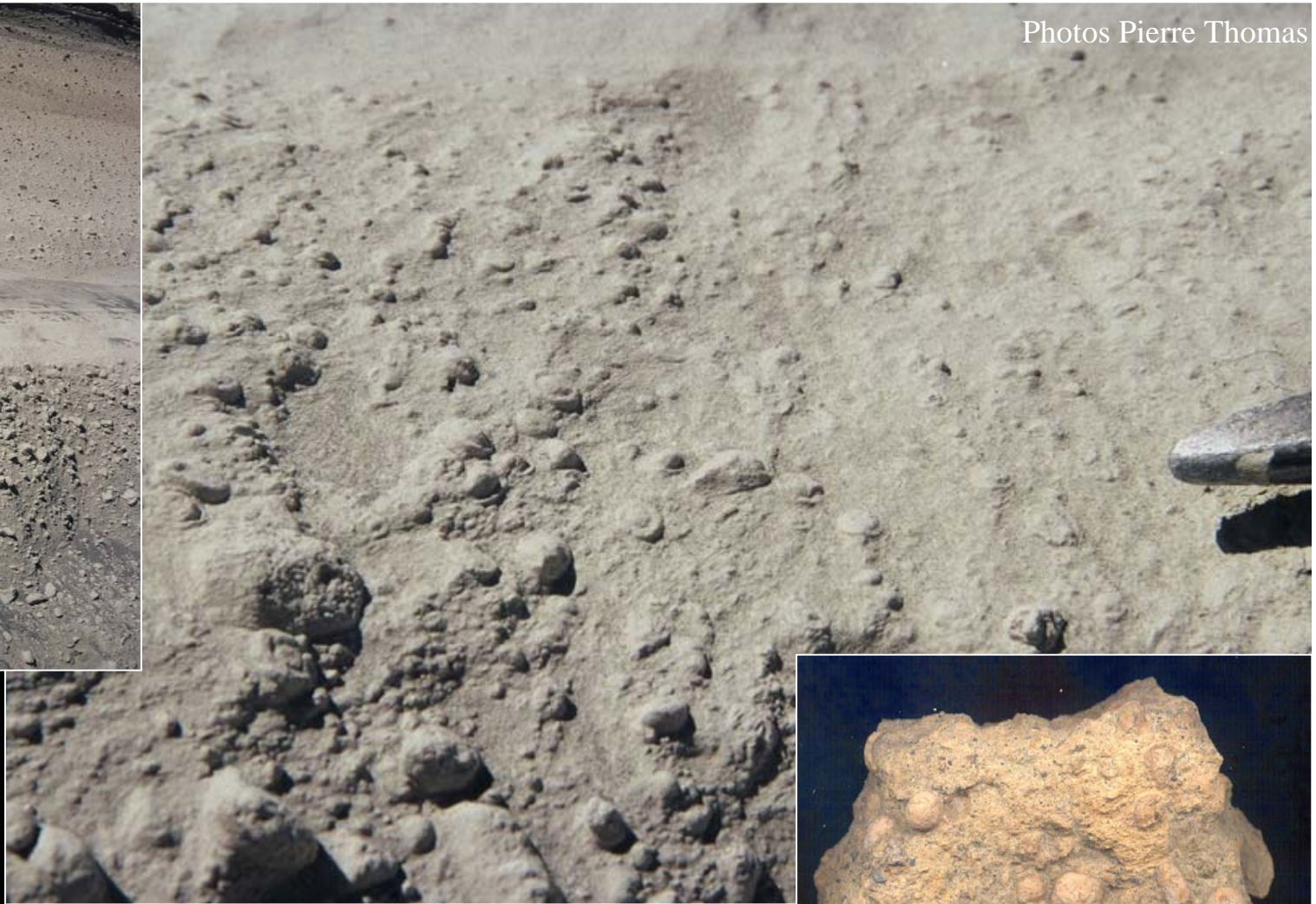
**De près,
voici une
petite boule
enchâssée
dans la
roche, De
quoi sont-
elles faites ?**



Que peuvent être ces « **myrtilles** » ? Appliquons le bon vieux principe de la planétologie comparée : Cherchons sur Terre des structures « analogues ».

Ca ne manque pas :

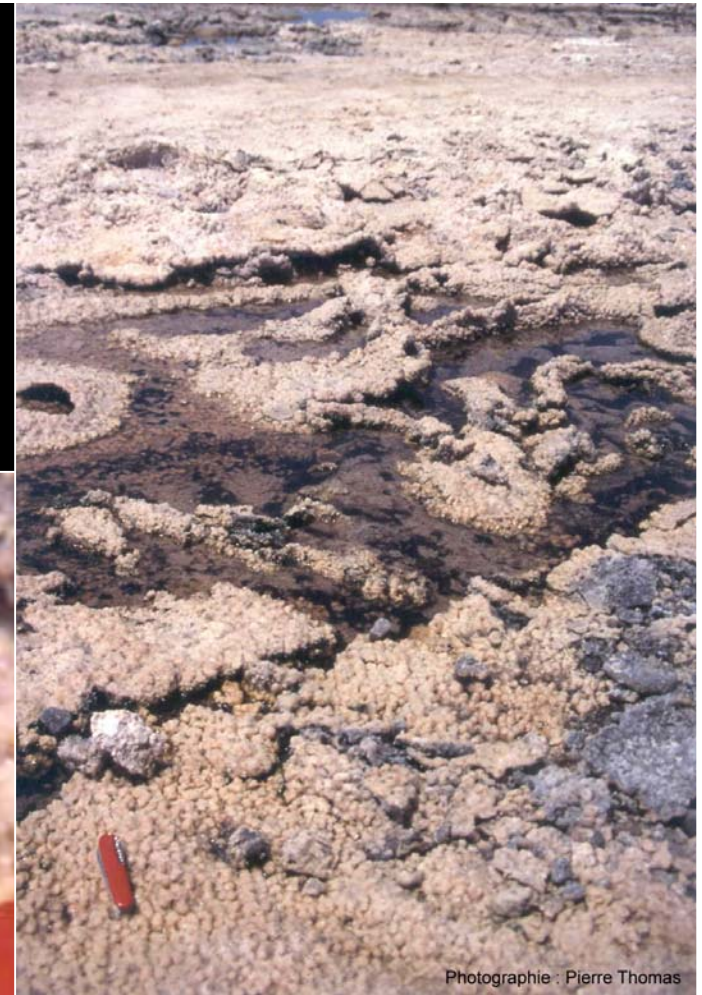
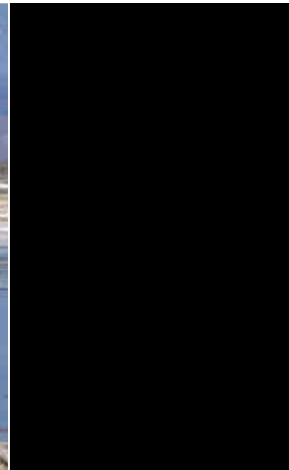
- Des structures volcaniques (ou « d'impact »)
- Des « concrétions », chaudes (hydrothermales)
- Des mini-stromatolites
- Des concrétions « pédologico-bactériennes »
- ...



Lapillis accrétionnés = « grêlons de cendre » : retombées de cendres + gouttes d'H₂O les ayant soudées



Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Pierre Thomas

**Des
concrétions
gypso-calcaro-
stromatoliti-
ques**

**Des sphérules riches en oxyde de fer
dans des cuirasses latéritiques ou des
argiles**



Photo Pierre Thomas

Ici dans les séries
basales de l'Oligocène
de Limagne



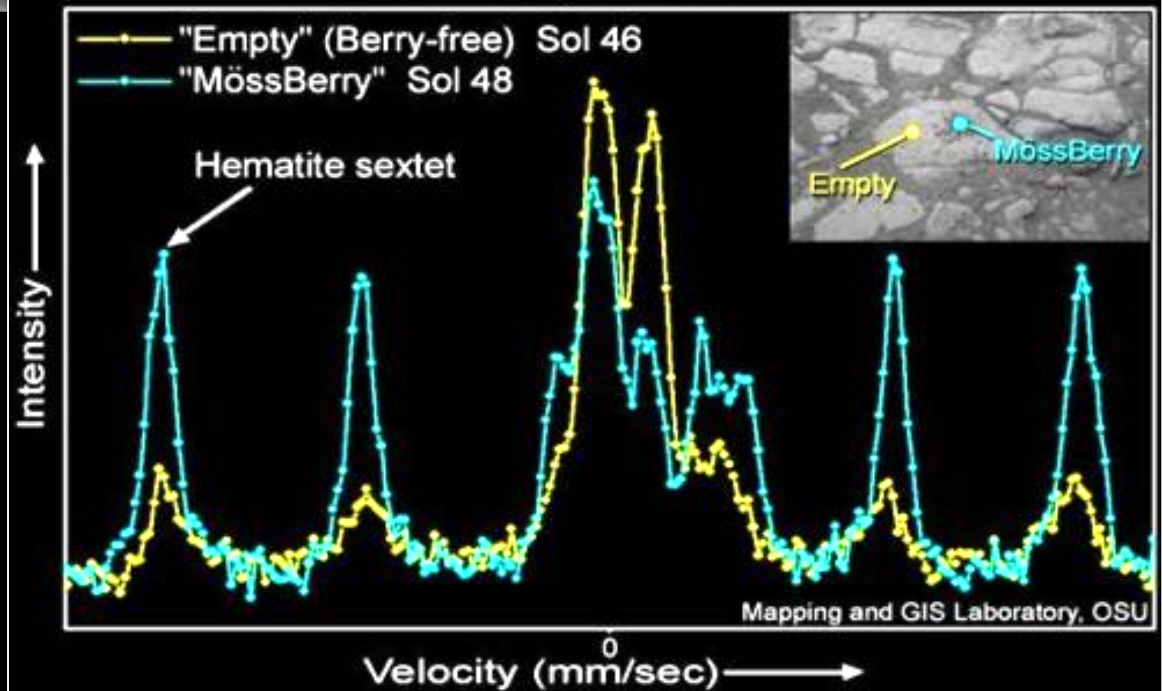
Photo Pierre Thomas



**Une analyse
Mössbauer
différentielle montre
que ces myrtilles sont
très riches en hématite
(Fe₂O₃)**



Mössbauer spectra of the BlueBerry bowl
and bare outcrop at Meridiani Planum



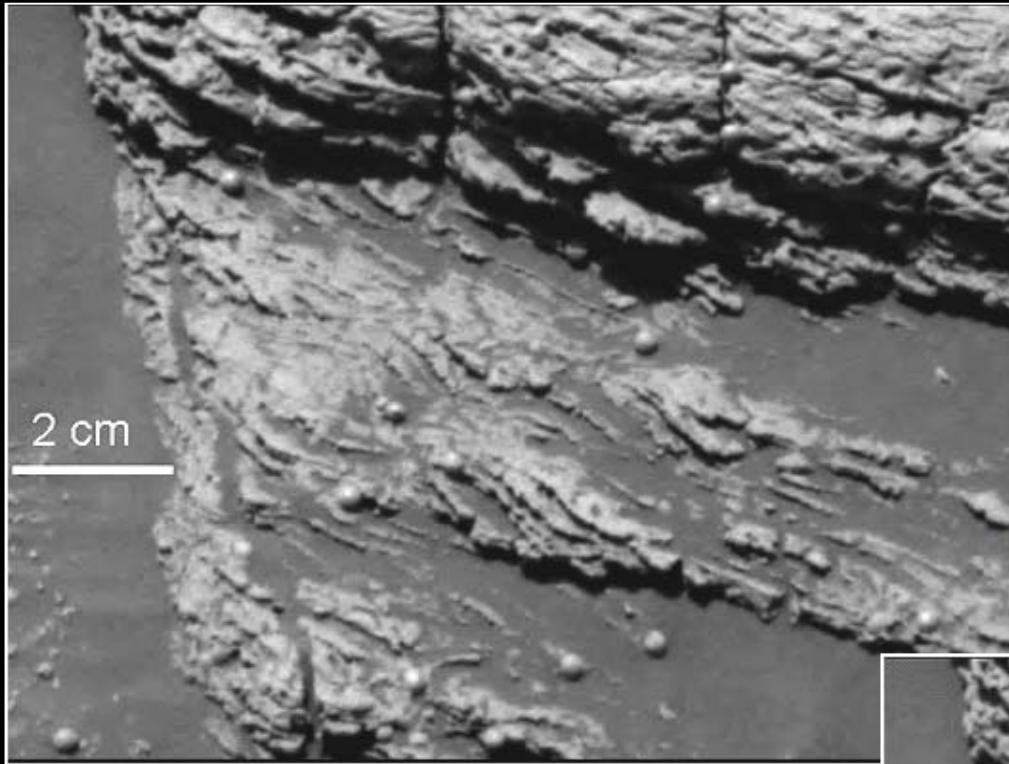
**Sur Terre, les sphérules en
hématite (ou limonite) se font
souvent « in situ » dans des
sols humides, souvent
tropicaux**



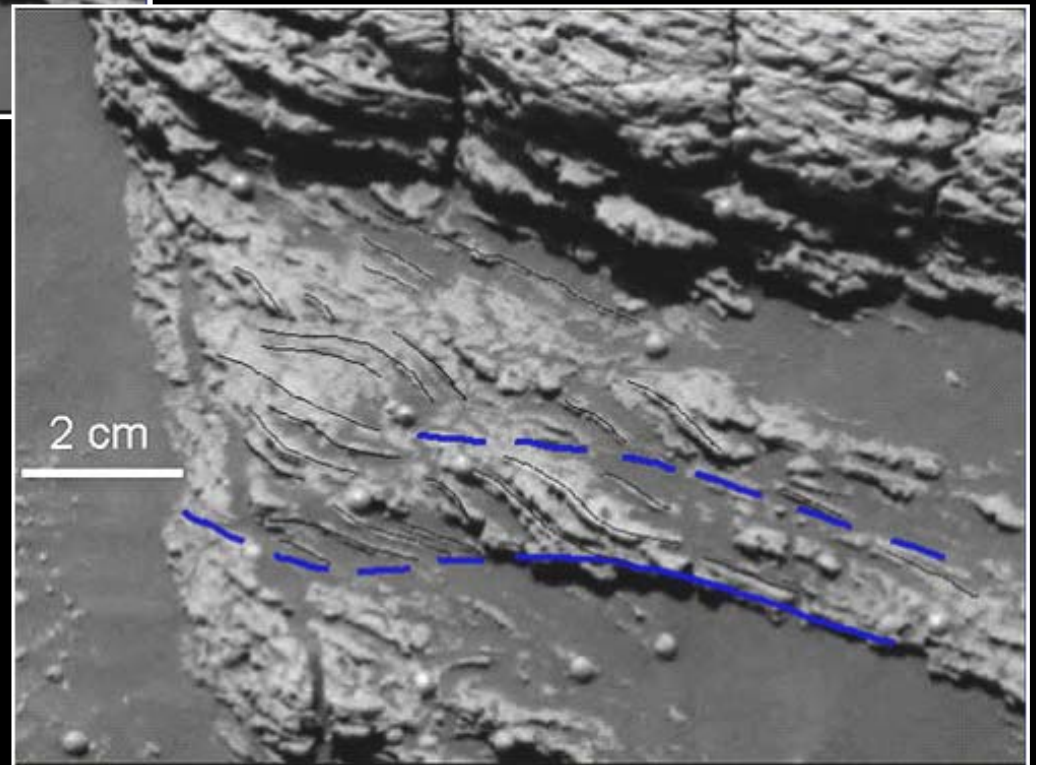
**Les myrtilles
martiennes
ressemblent à ces
sphérules
pédologiques !**

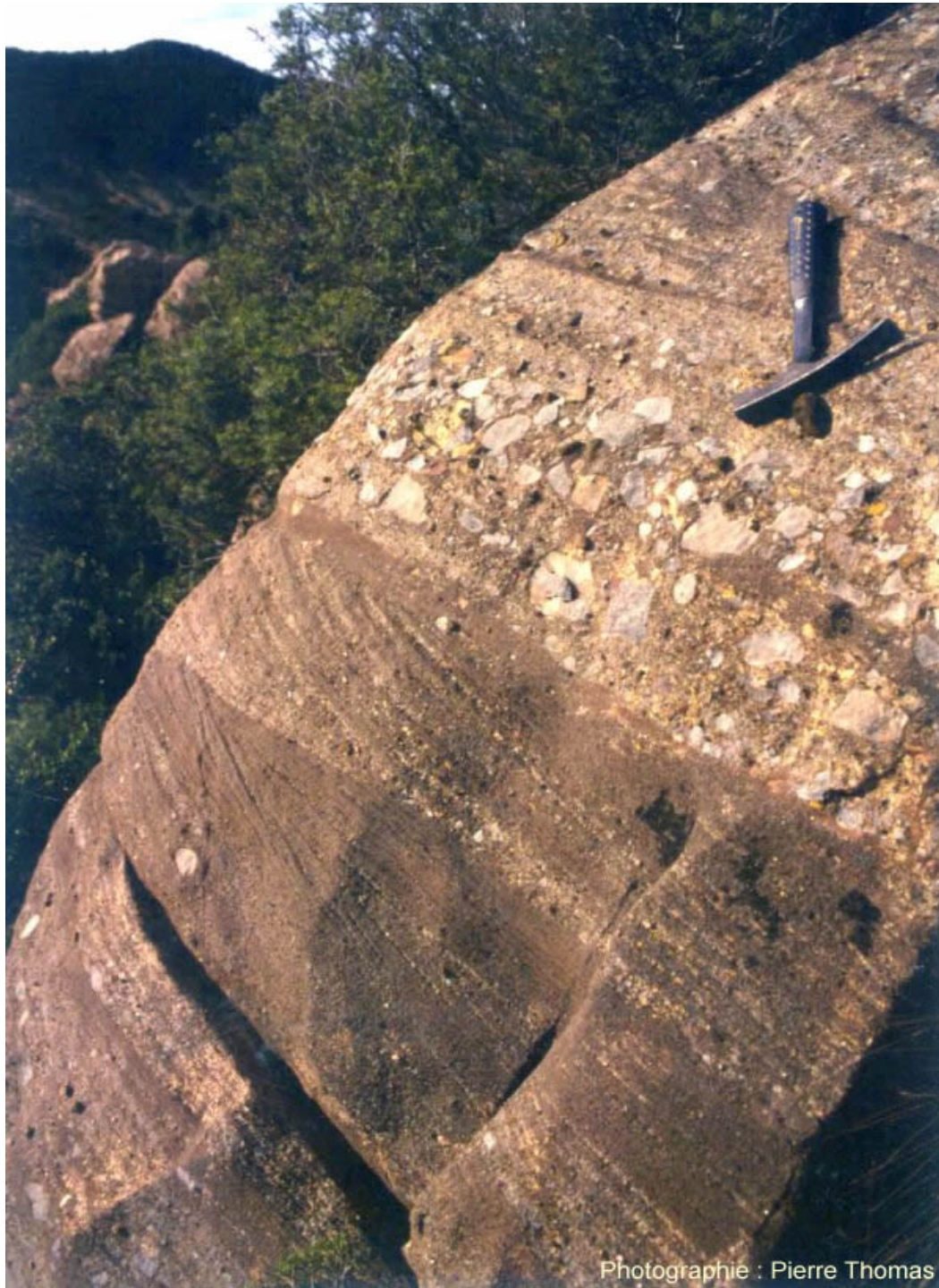


Et en regardant le détail des stratifications, Opportunity découvre des stratifications obliques !



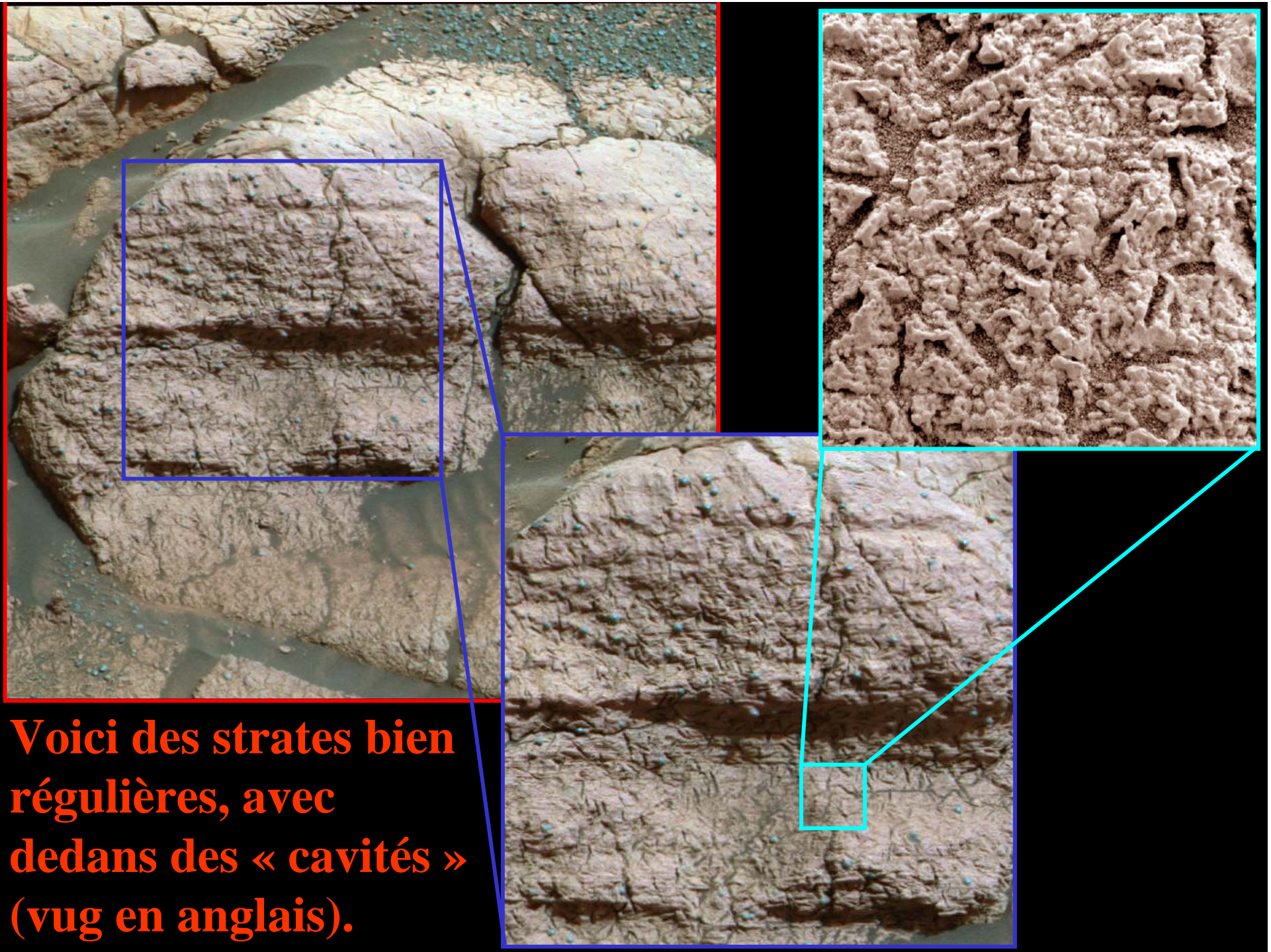
Et des sédimentologues patentés nous affirment que se sont des stratifications faites sous un courant d'eau



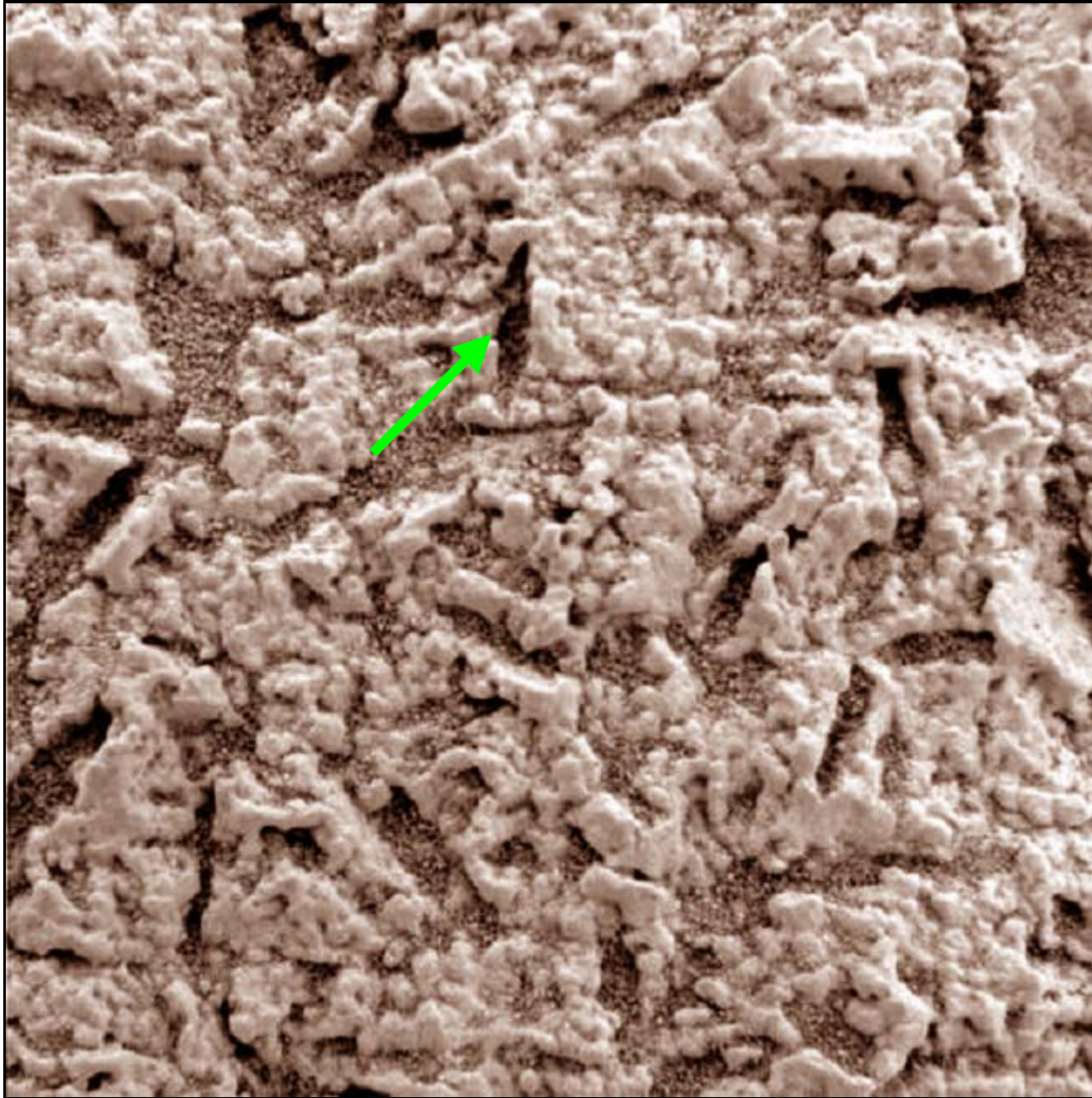


Photographie : Pierre Thomas

**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).

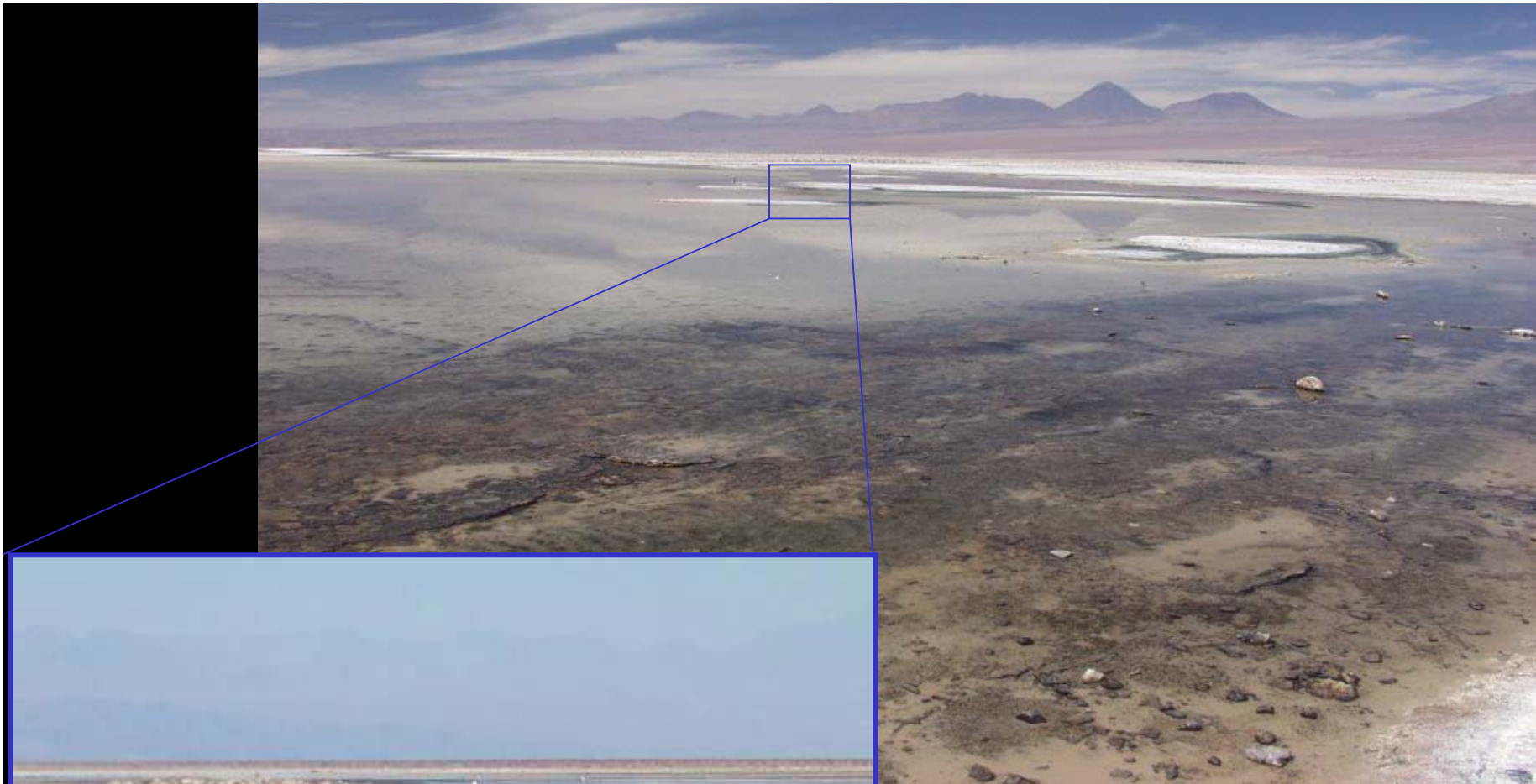


**Les « vugs » ?
Parfois ils ont
des formes
«géométriques»
rappelant
furieusement la
forme des
cristaux de
gypse (roche se
formant par
évaporation
d'une mer ou
d'un lac salé)**

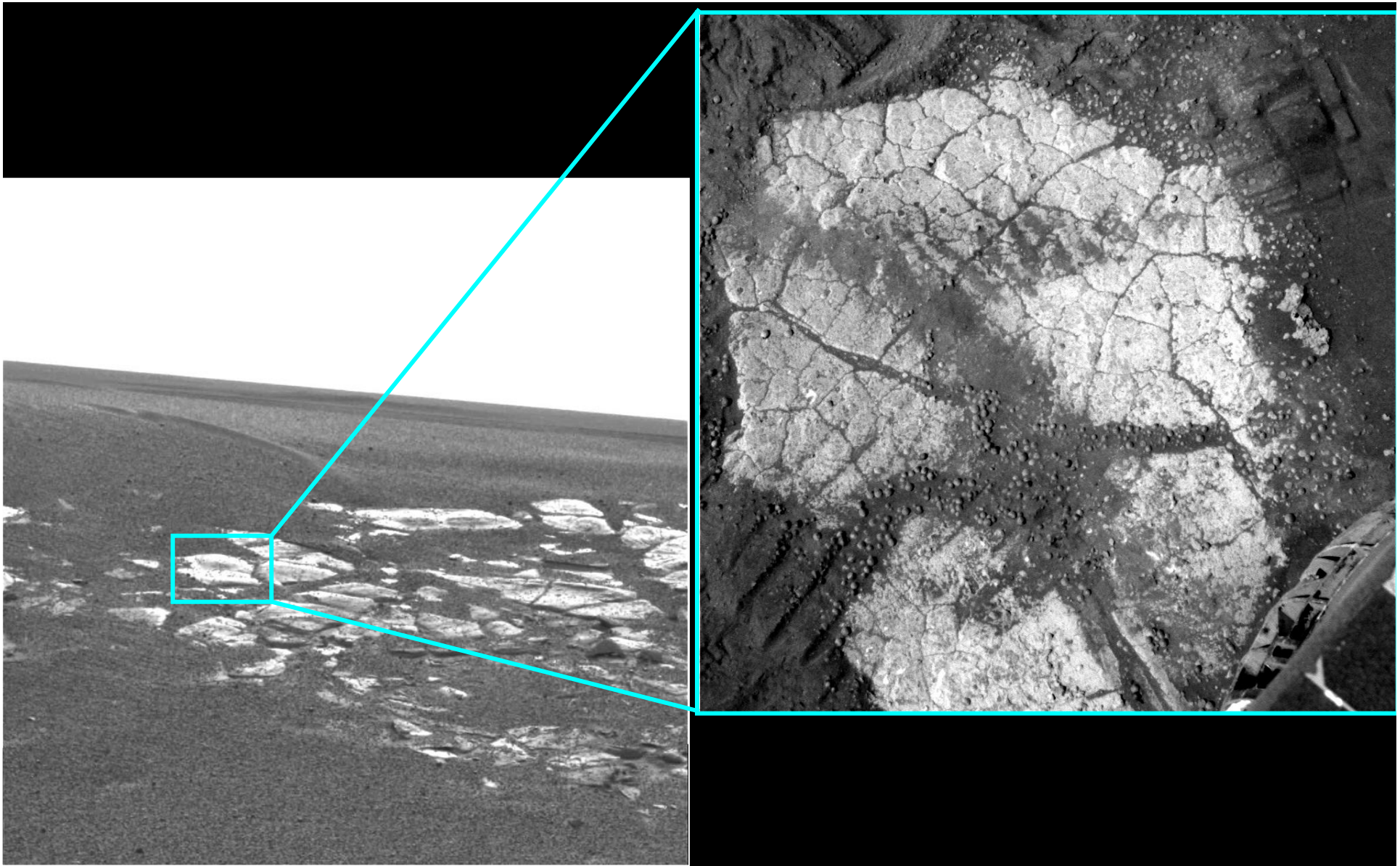


**Les « vugs » ressemblent à
des pseudomorphoses de
gypse et autres sels**

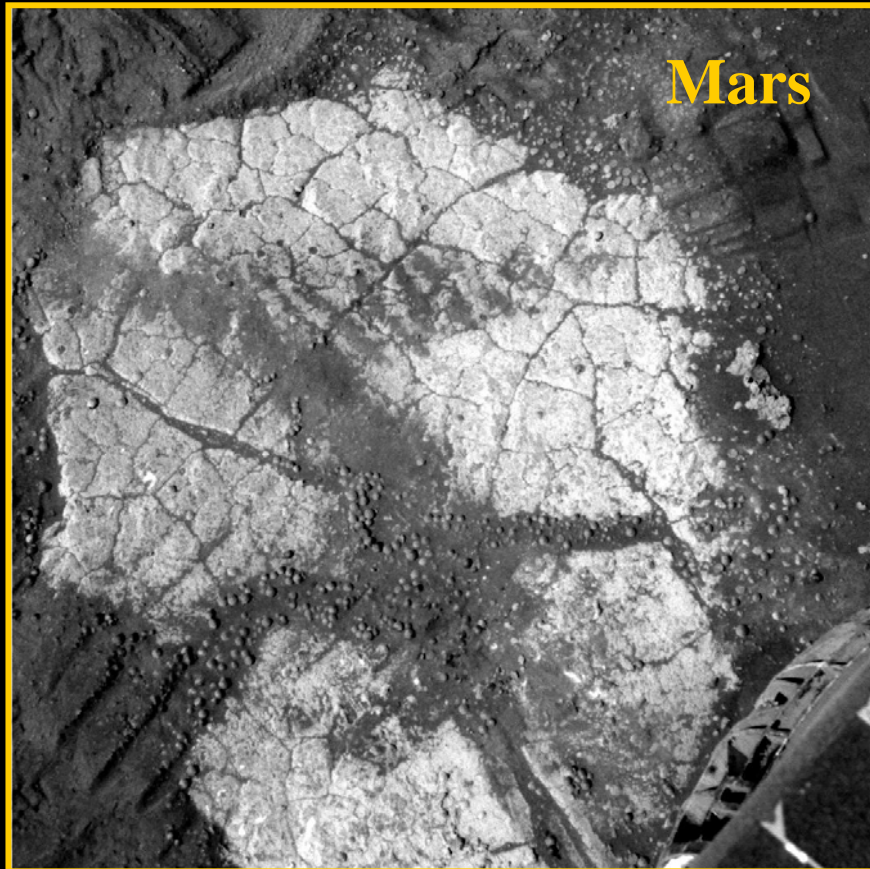




**Gypse, et autres sels,
ça se dépose dans des
lacs salés, des lagunes
en bord de mer ...**



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

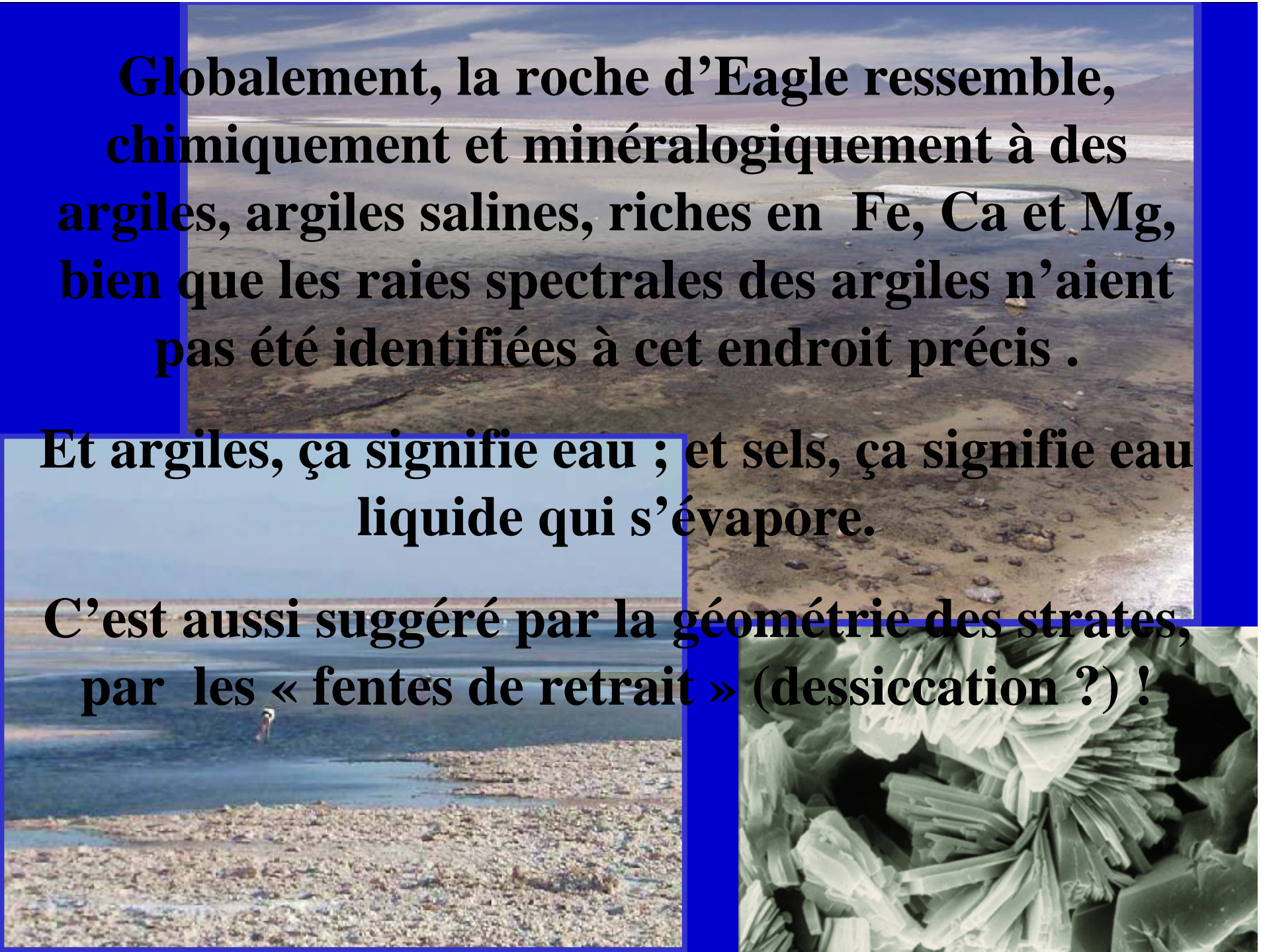


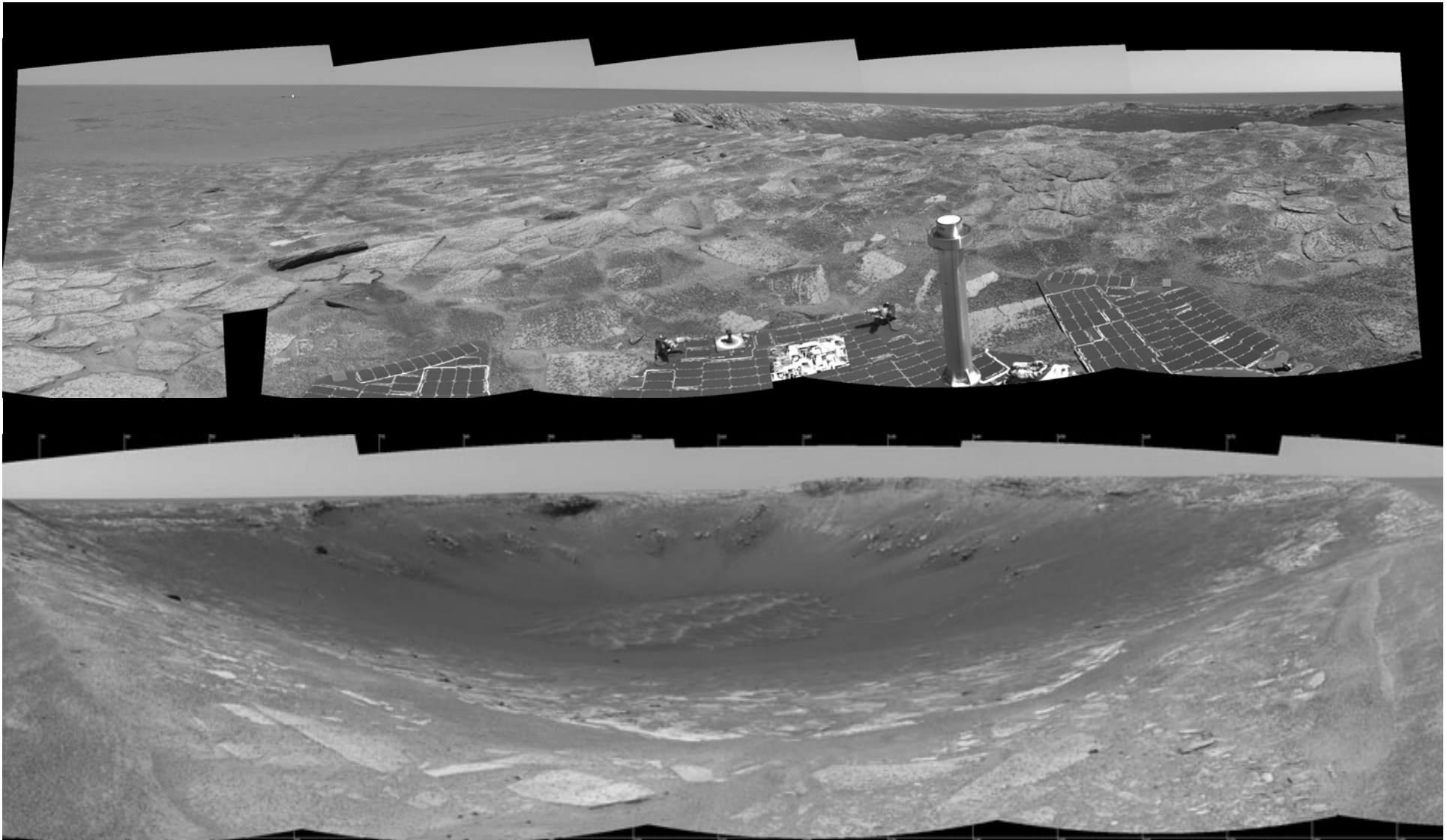
Certaines de couches, vues de dessus, présentent un réseau de fentes polygonales, comme une argile qui se rétracte ! Et sur Terre, ces fentes de rétraction se font en général par dessiccation !

Globalement, la roche d'Eagle ressemble, chimiquement et minéralogiquement à des argiles, argiles salines, riches en Fe, Ca et Mg, bien que les raies spectrales des argiles n'aient pas été identifiées à cet endroit précis .

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

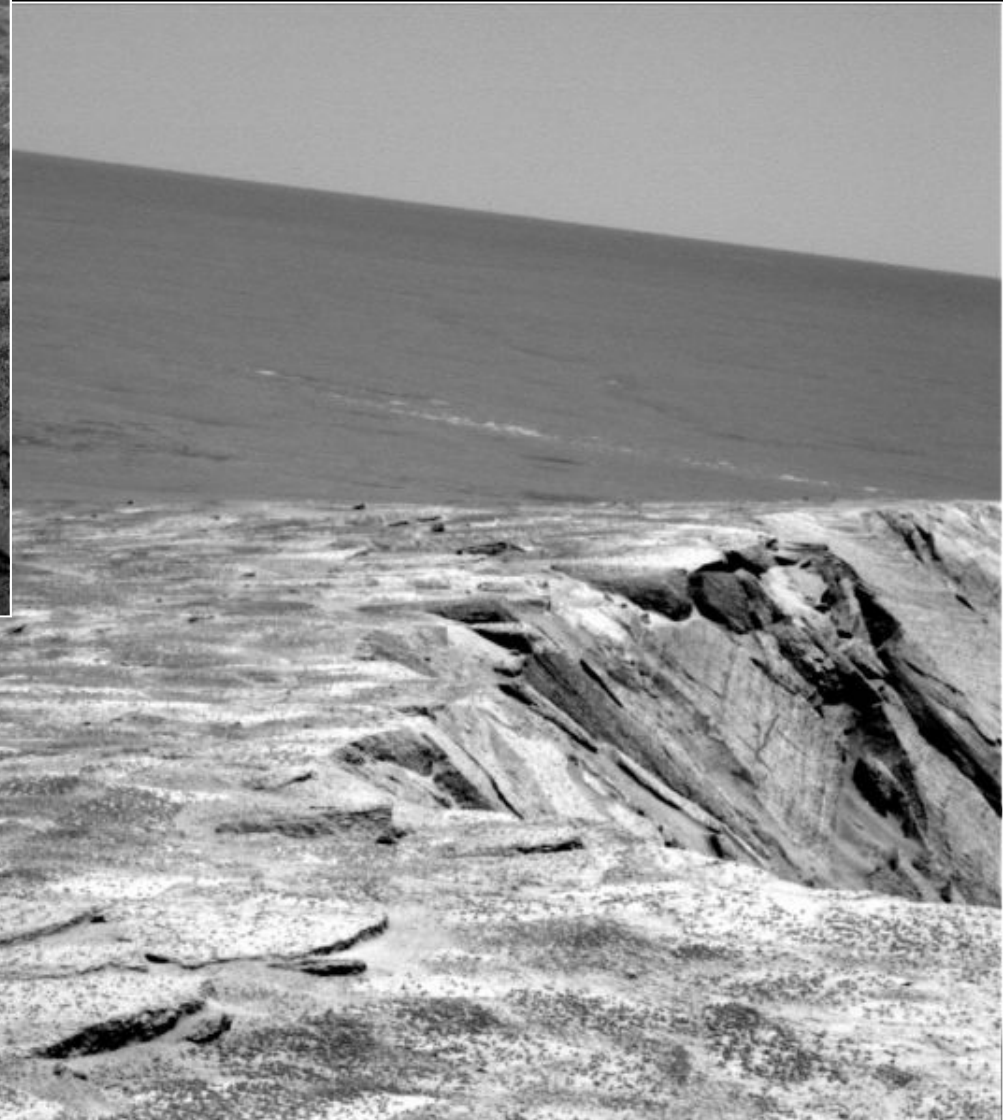
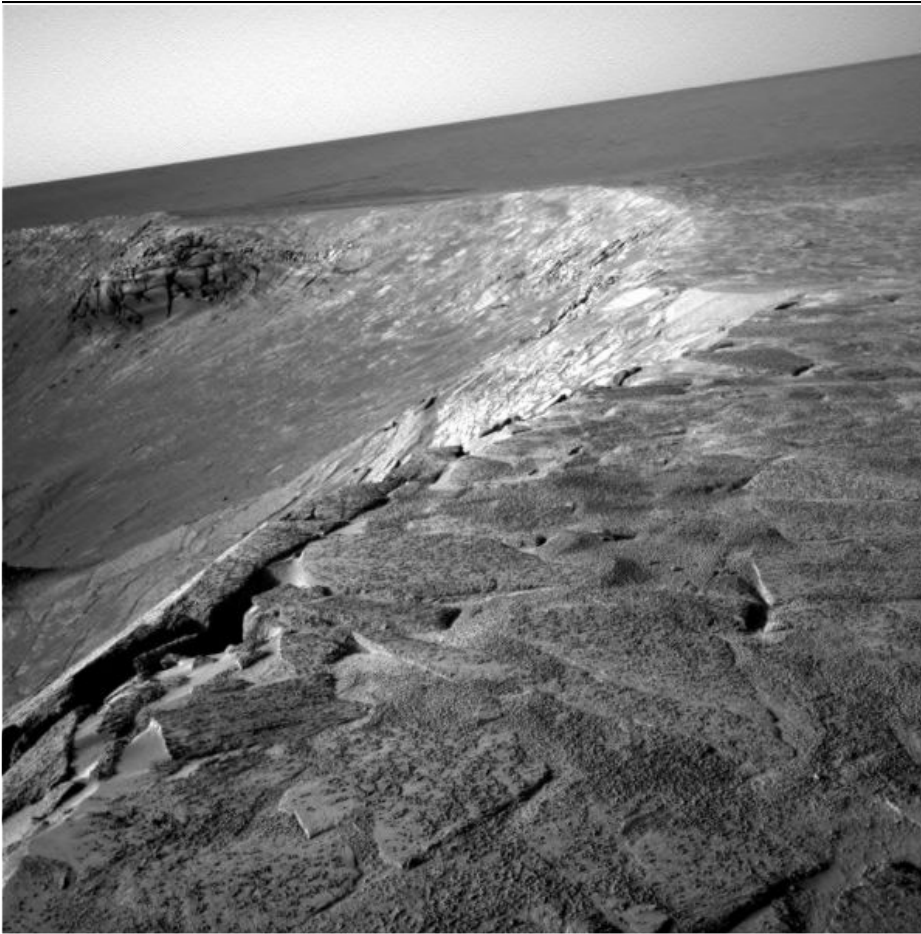
C'est aussi suggéré par la géométrie des strates, par les « fentes de retrait » (dessiccation ?) !





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

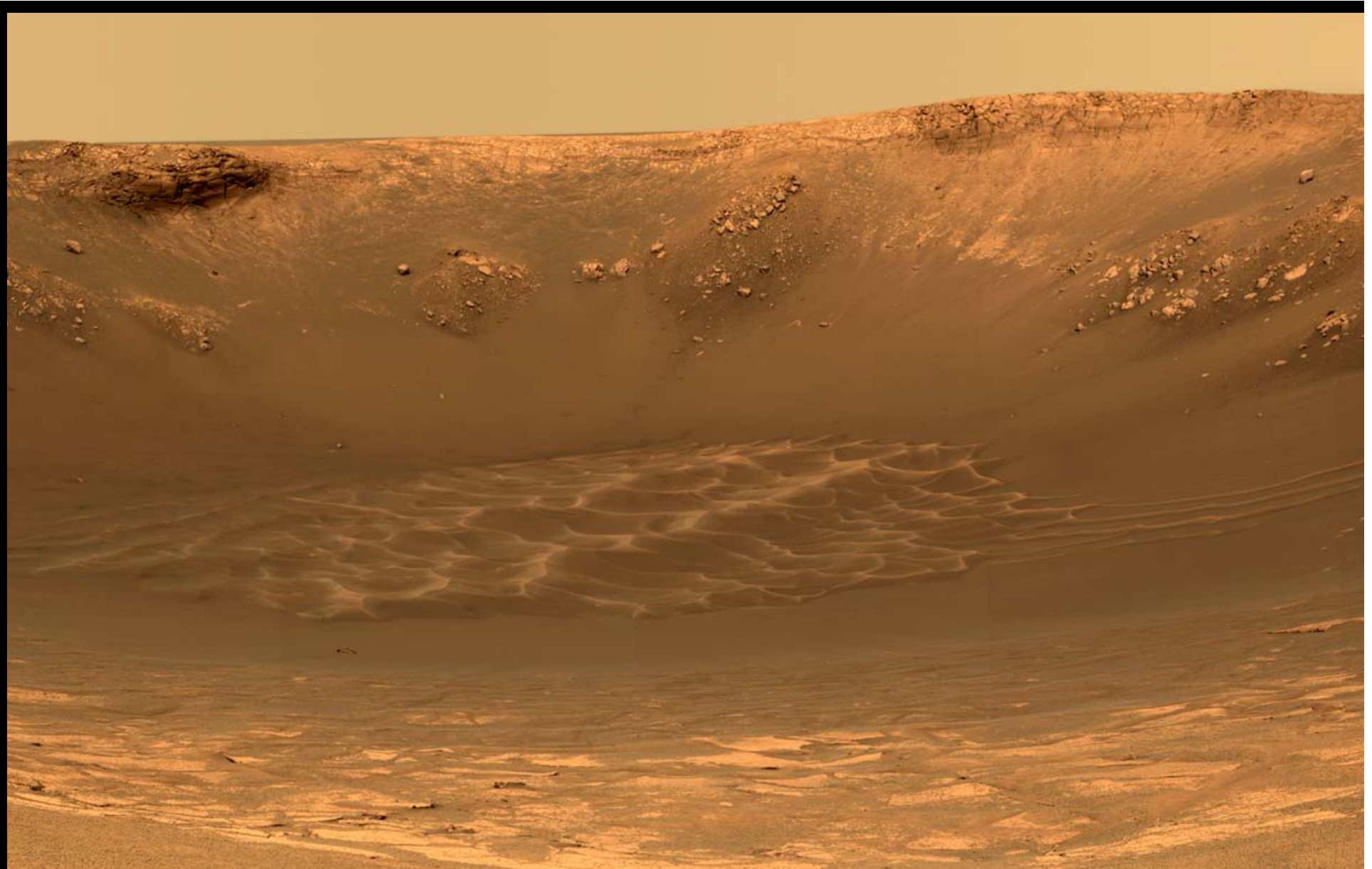
**Opportunity tourne
autour du cratère et
analyse des roches**



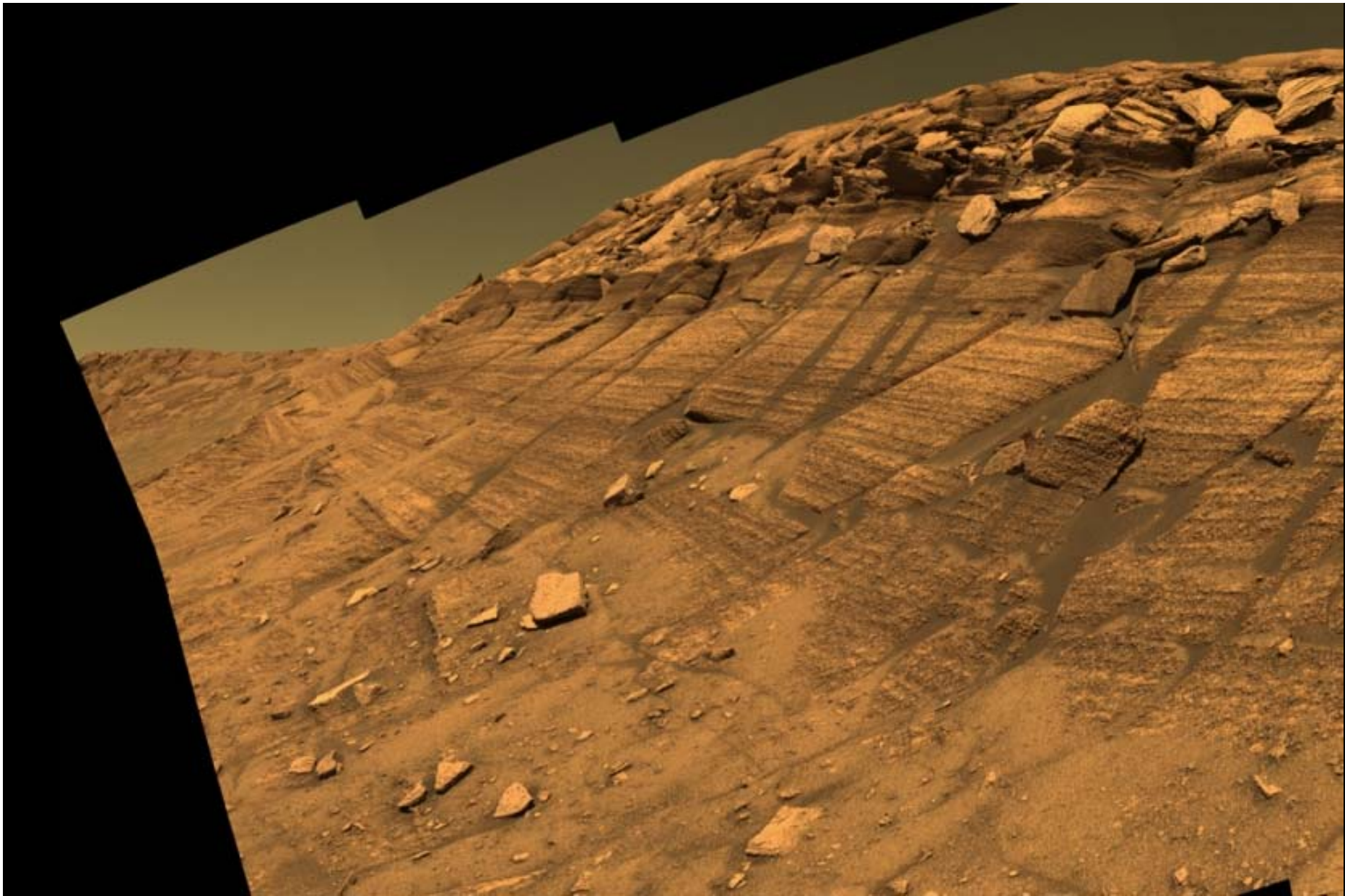
**Ce sont partout les
mêmes roches
(argiles + sels) avec
myrtilles)**



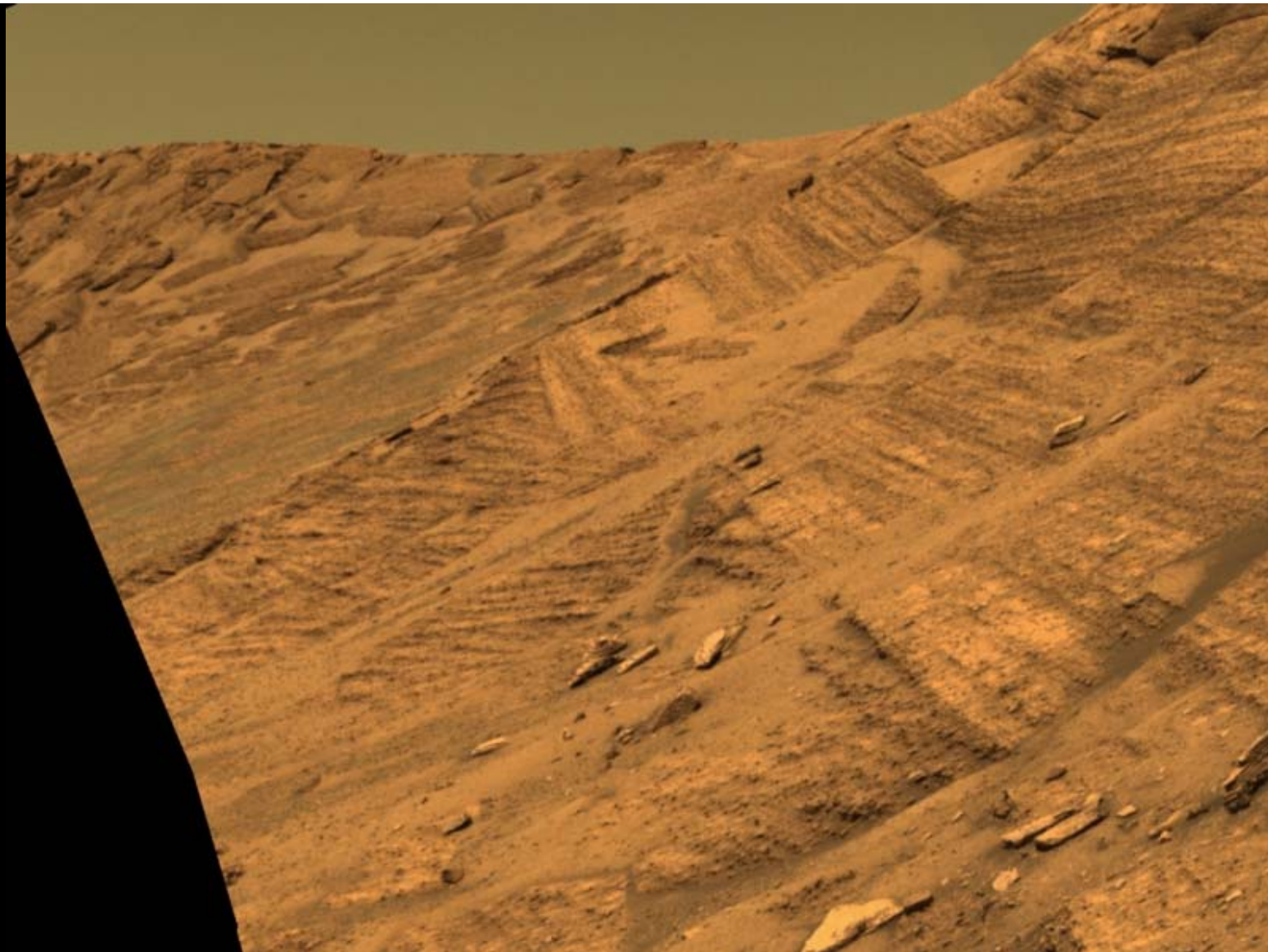
**Le trajet effectué le 25 août 2004, (données NASA)
+ le trajet effectué le 20 novembre, puis jusqu'à sa
sortie en février 2005, après 6 mois passés dans le
cratère**



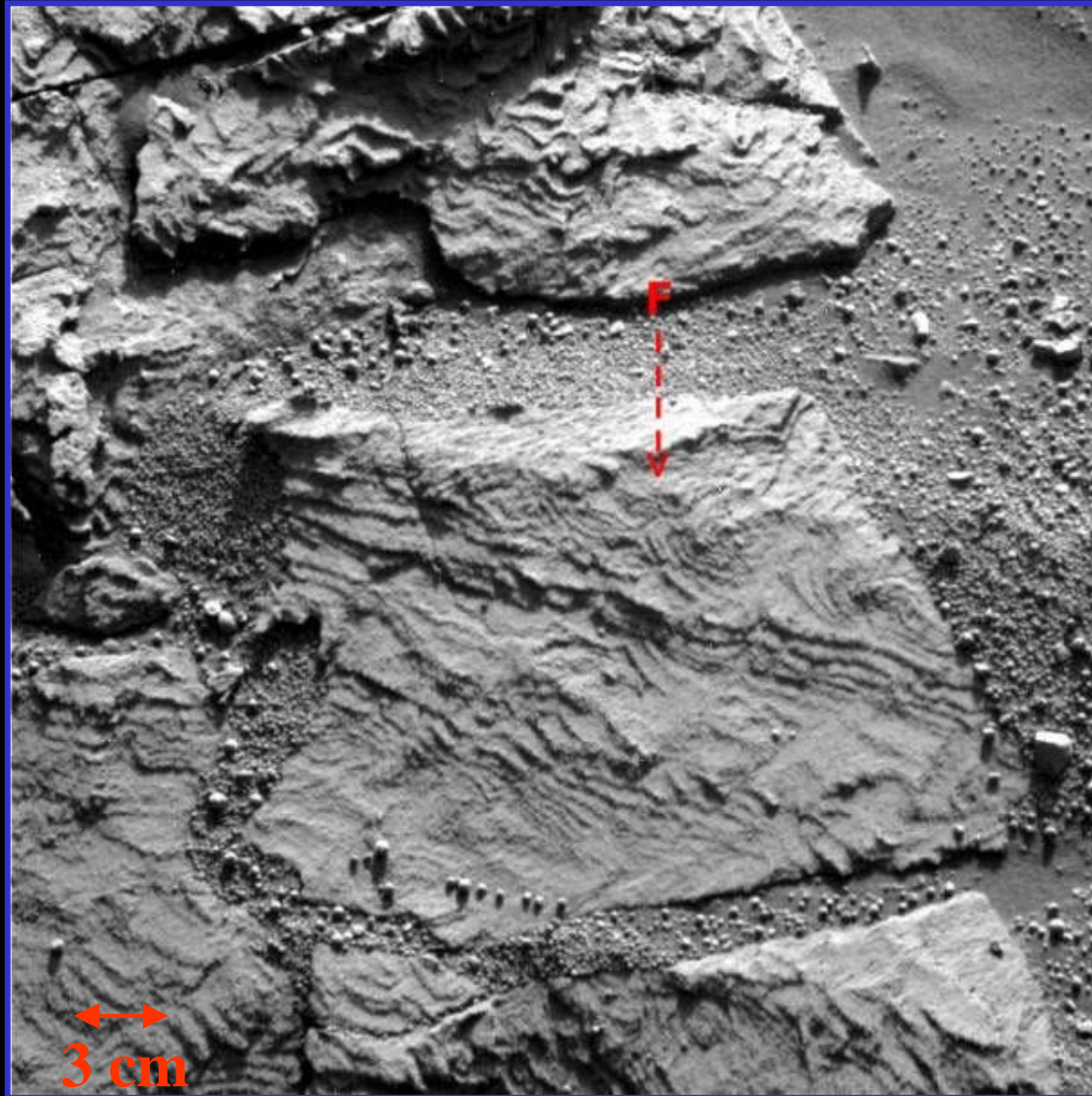
Au fond, un joli champ de dunes



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



... avec leur discordance



Voici un exemple de travail géologique. Ici, les strates sont « festonnées ». Sur Terre, on connaît de telles states 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 donc la succession des environnements passés dans la région d'Endurance : un environnement de plages en bord d'un lac salé peu profond, entouré de dunes, avec une nappe phréatique qui monte et qui descend.


Facies sédimentaire

 Ripple marks et stratifications entrecroisées sous-aquatiques (quelques cm de profondeur)

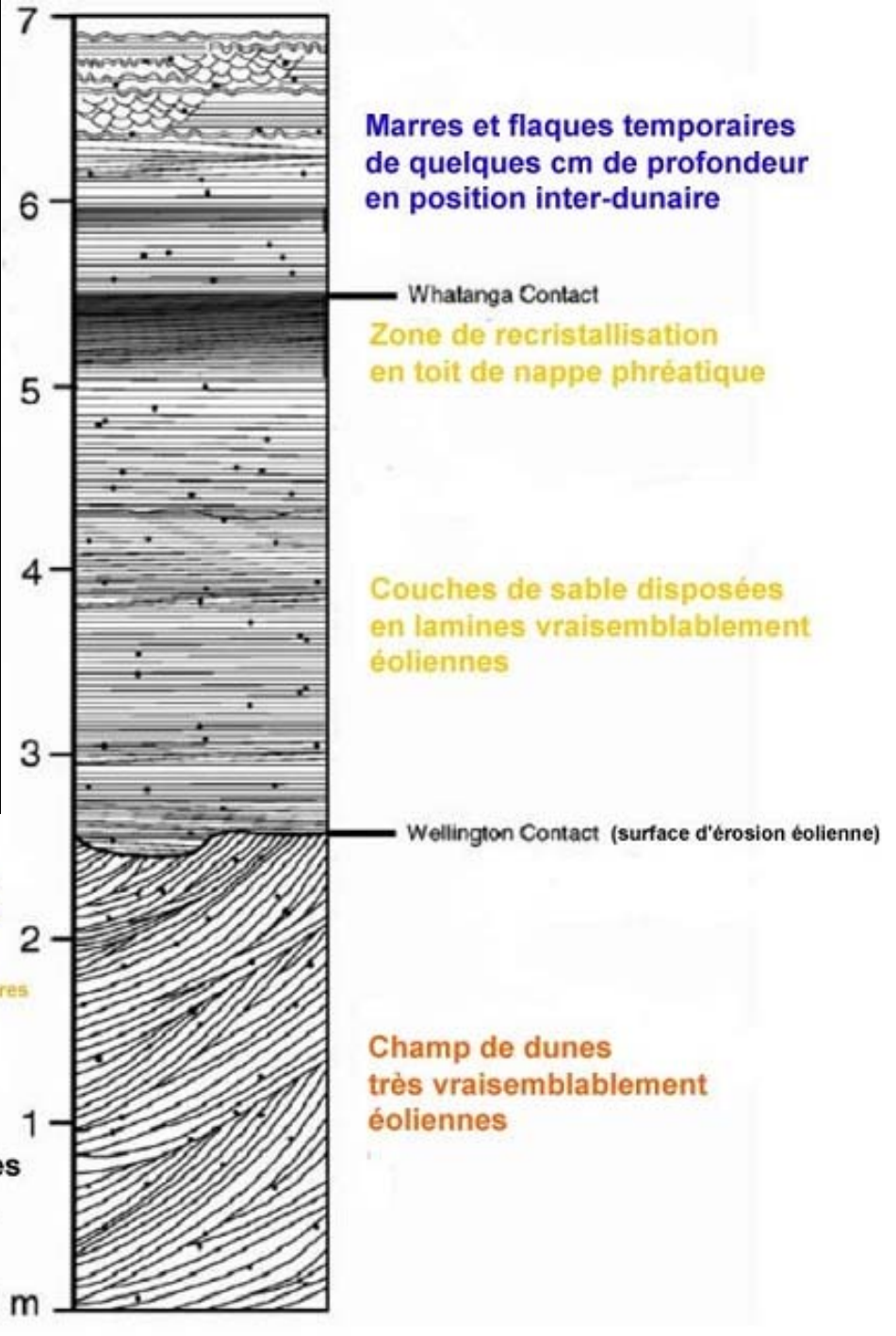
 Couches sableuses interdunaires sèches à humides

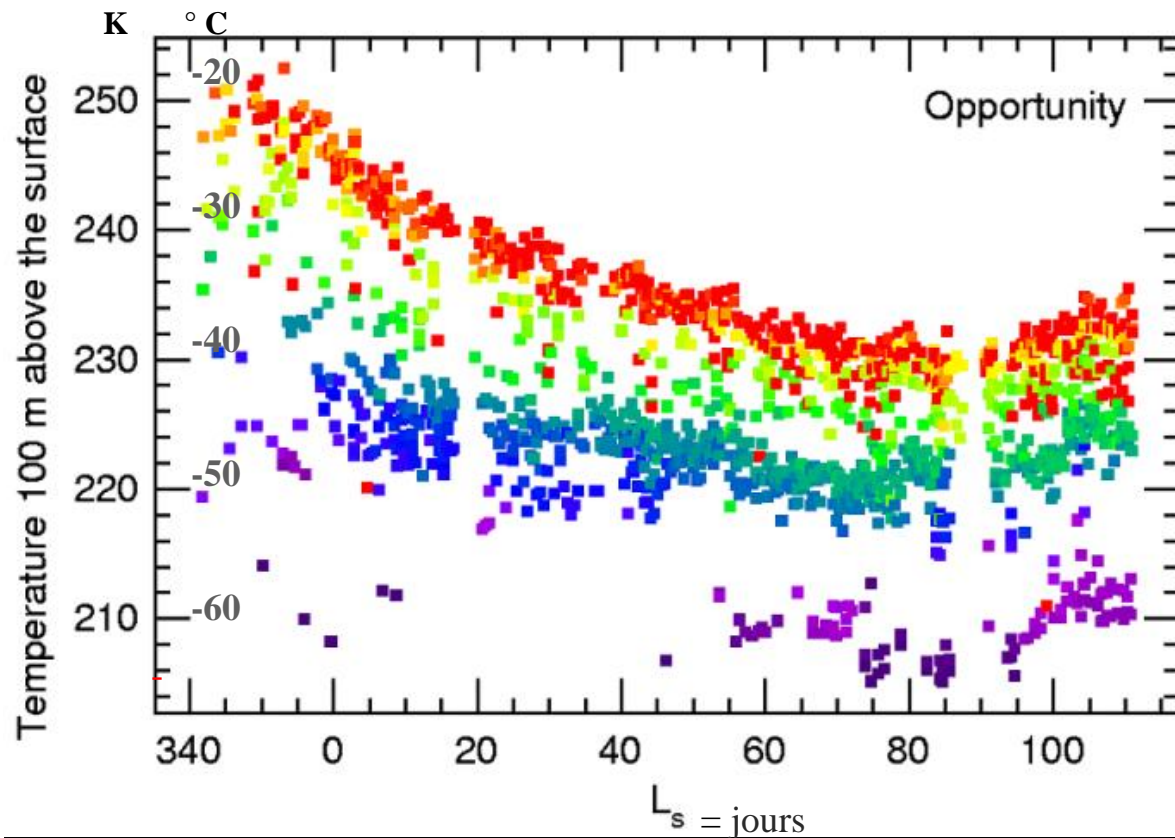
 Stratifications obliques de dunes probablement éoliennes

Modifications diagénétiques

 Concrétionnements en zones phréatiques (myrtilles)

 Recrystallisations en zone de toit de nappe phréatique

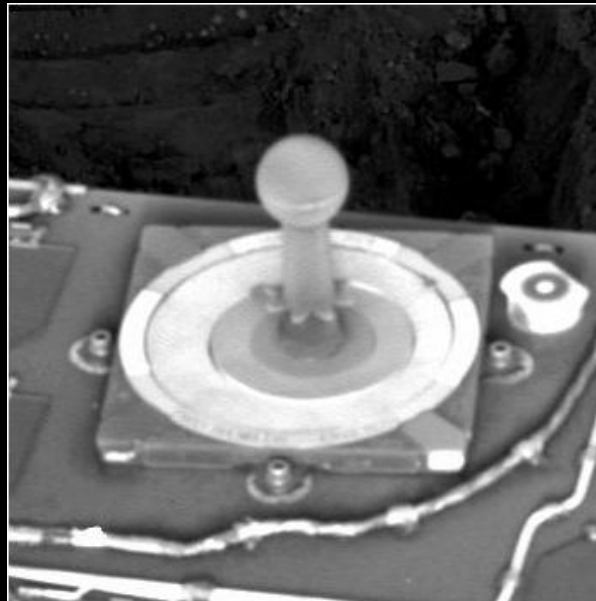


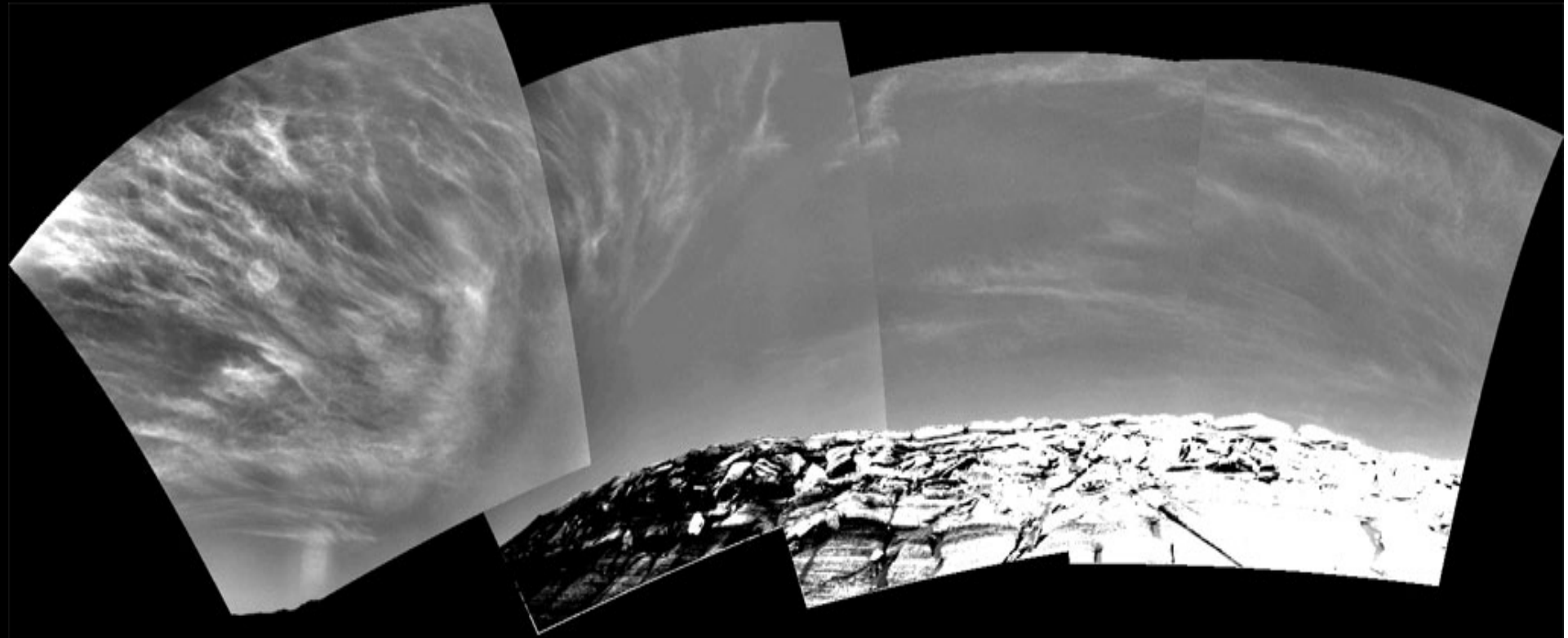


**Dans le cratère,
il a également
fait de la météo.**

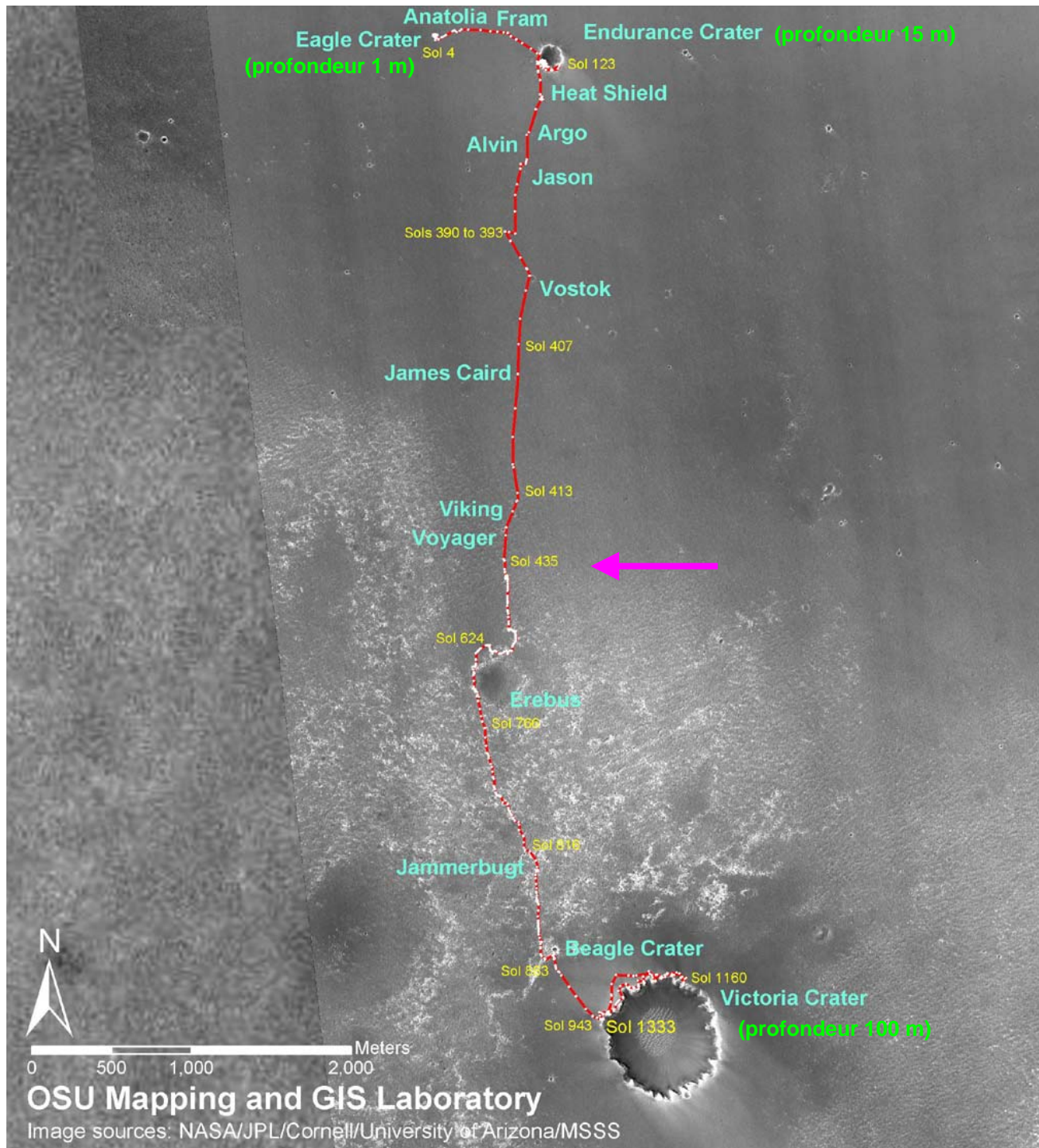
**A gauche, les
variations de
température,
sur les 6 mois**

**La nuit, le robot
se recouvre de
givre ; 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)

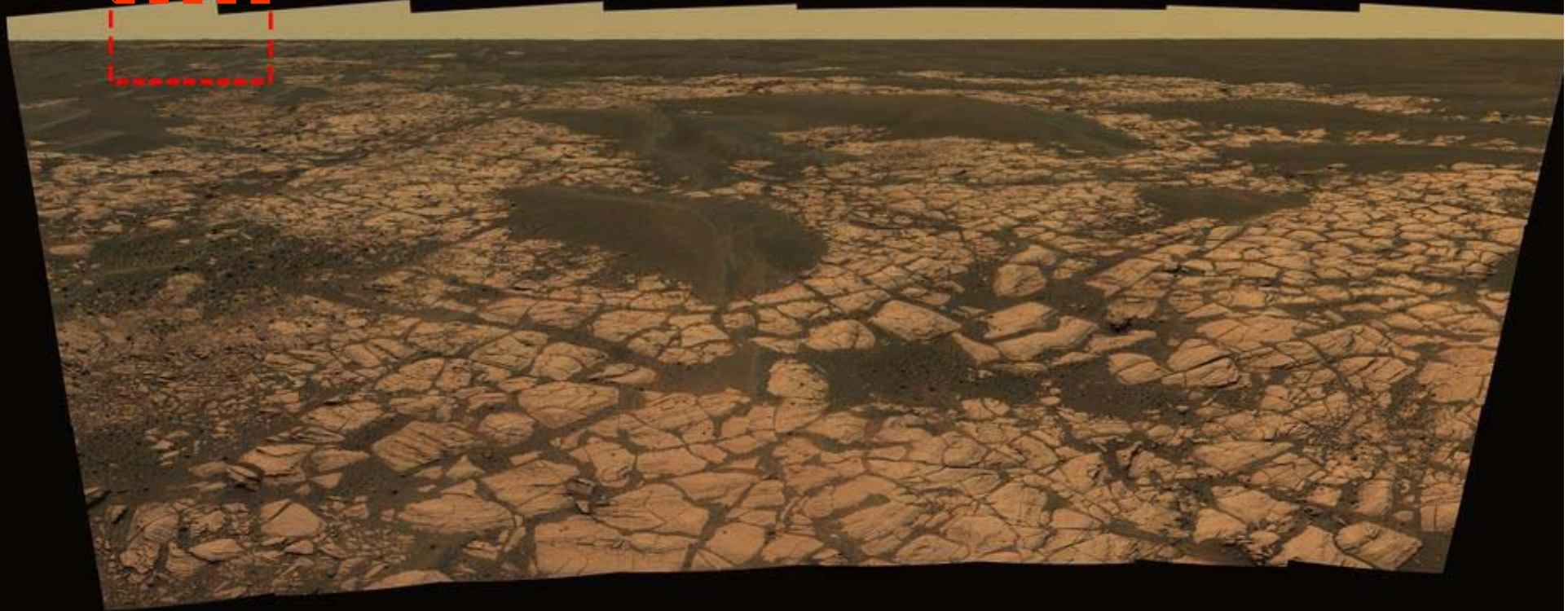


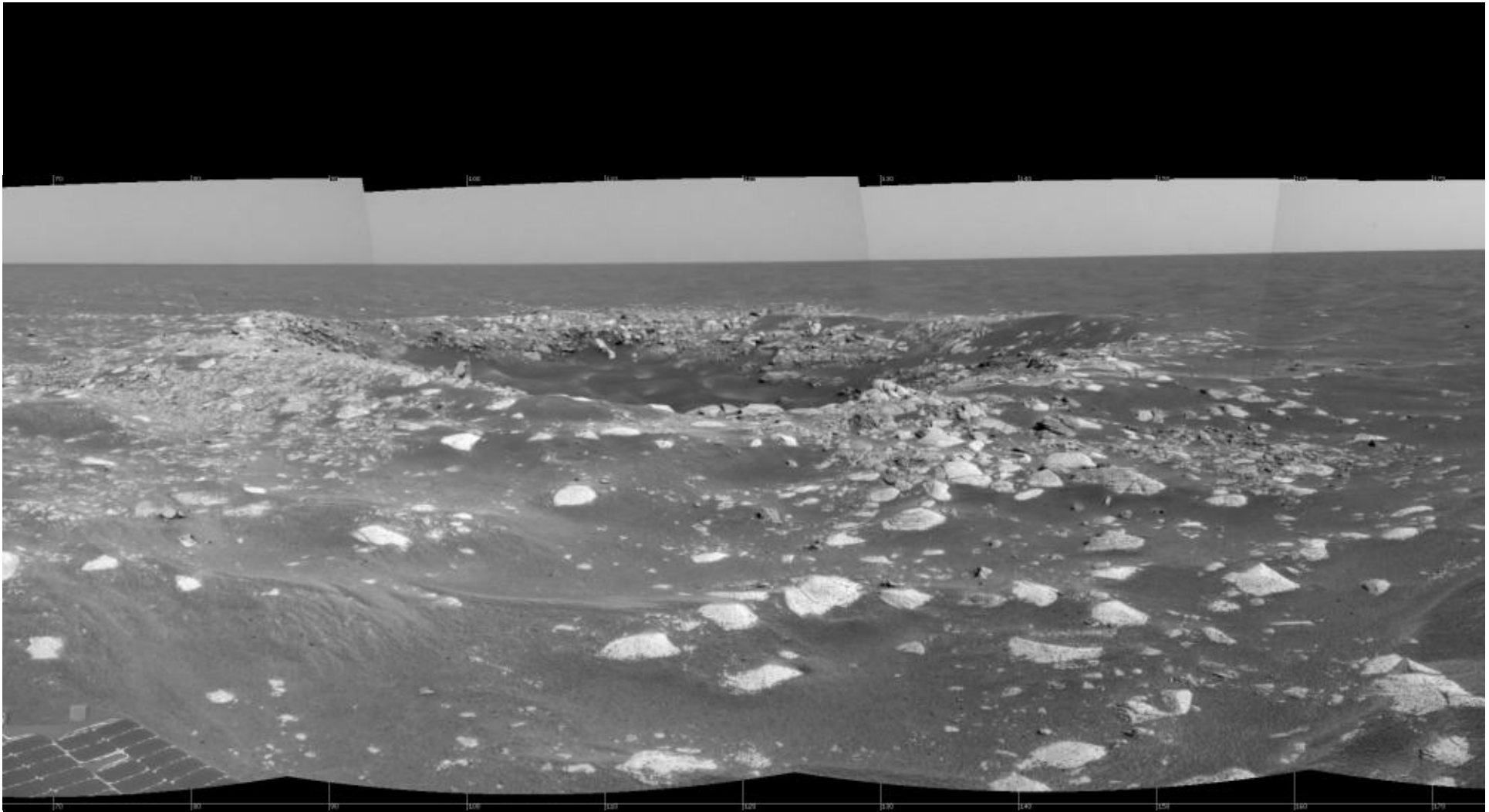
Après être tombé dans le cratère Eagle, l'avoir étudié, être allé près du cratère Endurance, y être entré et ressorti, que faire, où aller ?
 Une cible, le cratère Victoria, mais à 6 km.
 Mais que se passe-t-il à partir du sol 446 ?



**Opportunity
qui donc son
2eme
cratère, et
s'aventure
dans un
champs de
dunes, vu ici
« par
l'arrière ».**

Parfois, sous les dunes, affleure le même type de roches que dans Eagle et Endurance. Il s'y arrête pour travailler, et repart.

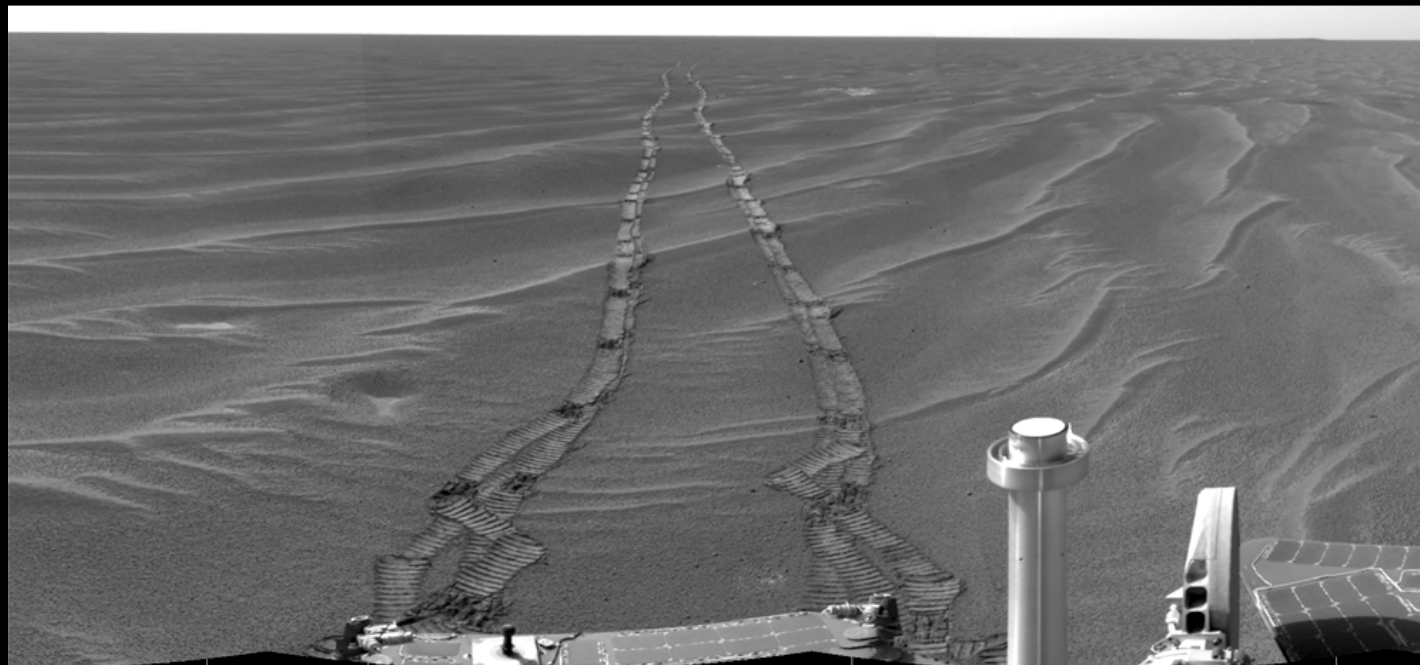




En passant, il découvre le cratère Viking, de taille décamétrique. Toujours les même roches !



Le paysage « devant »



Le paysage « derrière »

**Pas
d'obstacle ;
on roule de
plus en
plus vite
(200 m par
sol). Et ce
qui devait
arriver
arriva :**

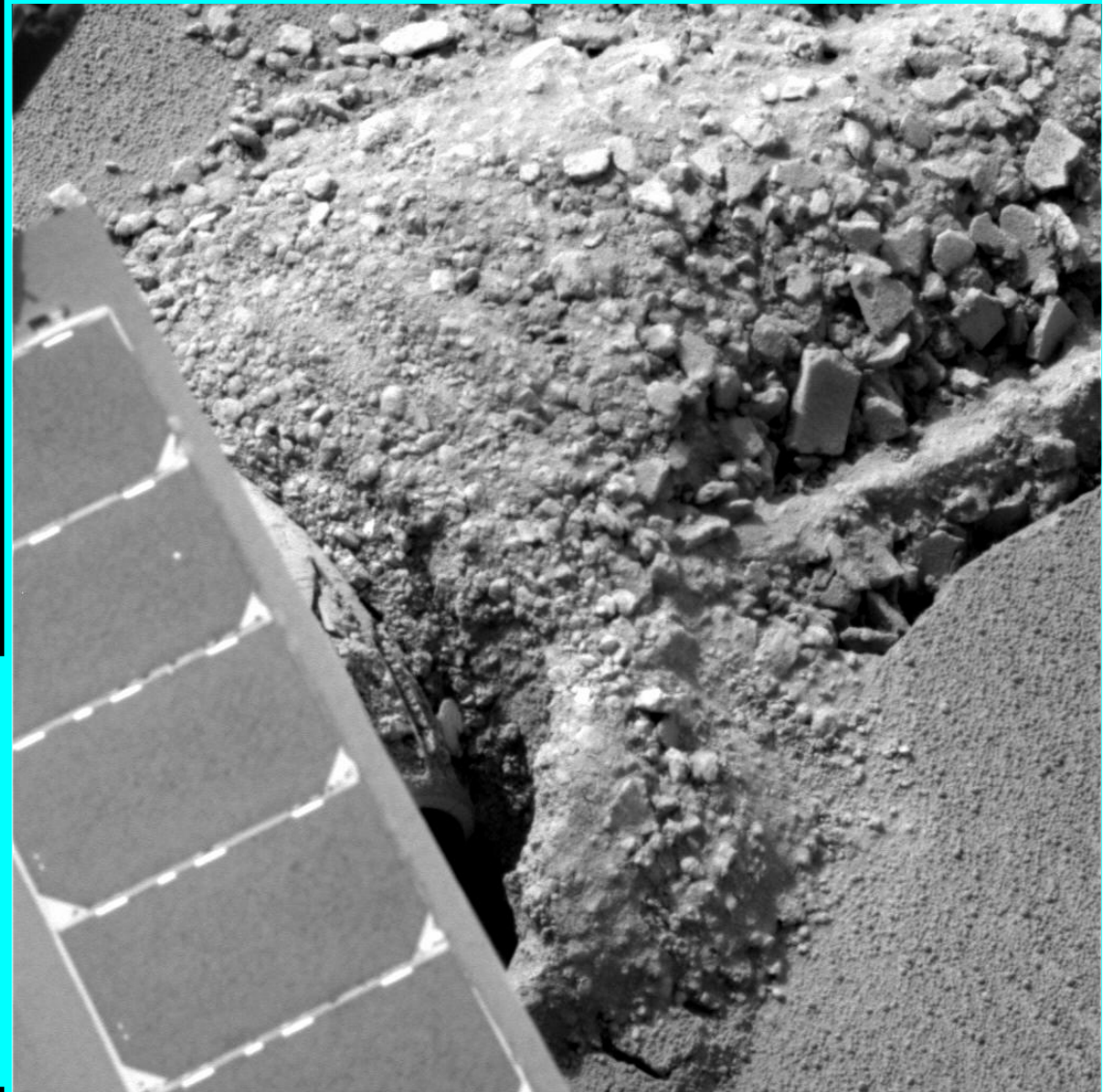


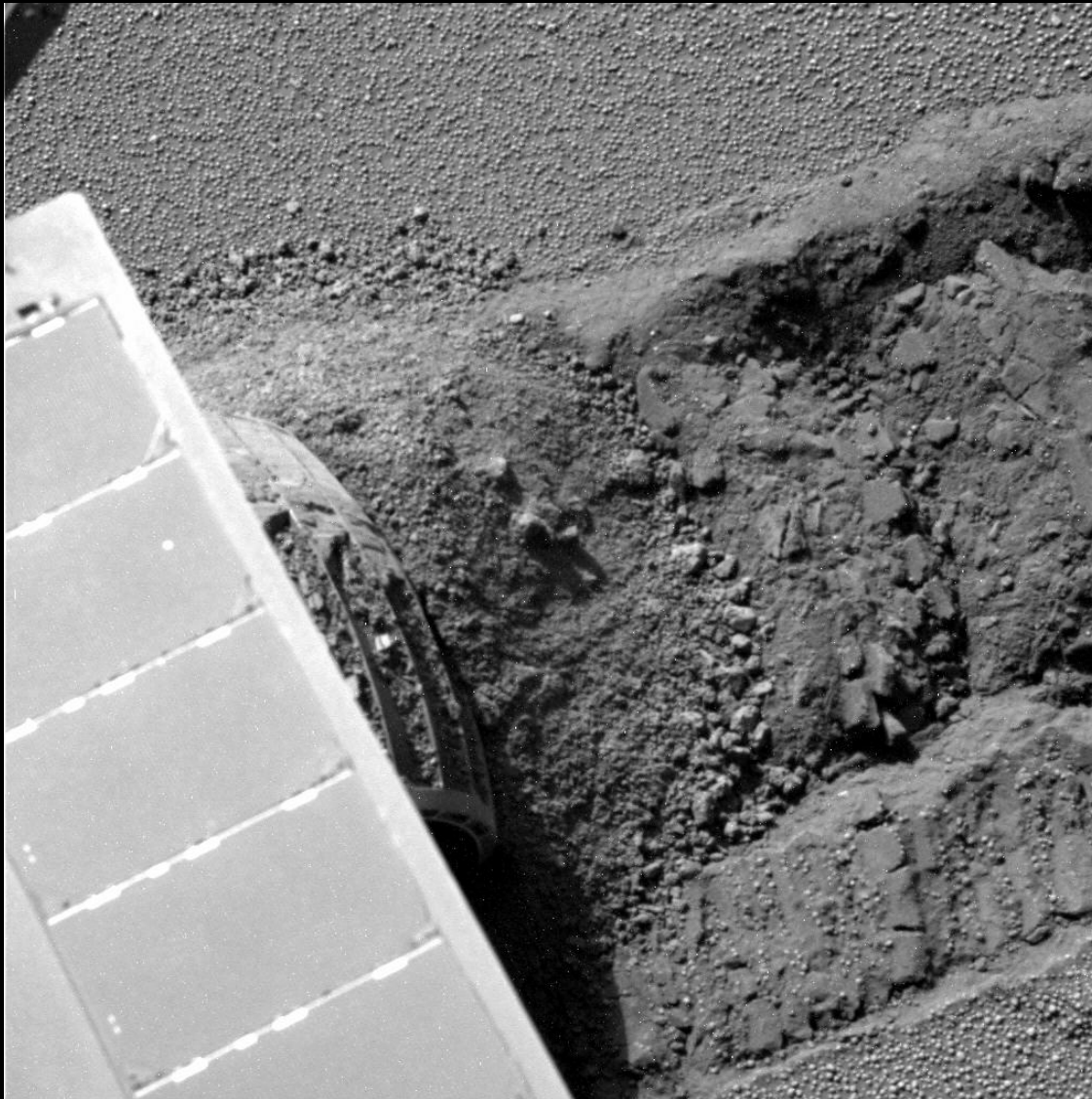
**Le 26
avril 2005
(sol 446),
il s'enlisa
dans une
dune
(ici, vue
de la
trace
arrière)**

**La roue avant droite
enfouie au 3/4**



Une roue arrière
qui s'enfonce en
tournant en rejetant
le sable à l'arrière





**Les roues sont devenues lisses !
On ne peut plus ni avancer ni
reculer.**

**Toutes les
« rainures » des
roues se
remplissent de
sable**





Pour tenter de sauver le robot, on expérimente sur Terre « tour de roue après tour de roue », angle de braquage au degré près ...

Et ça a marché ! Au bout de cinq semaines (sol 446 à 484), cm après cm, ça y est, il est enfin sorti !

13 mai

19 mai

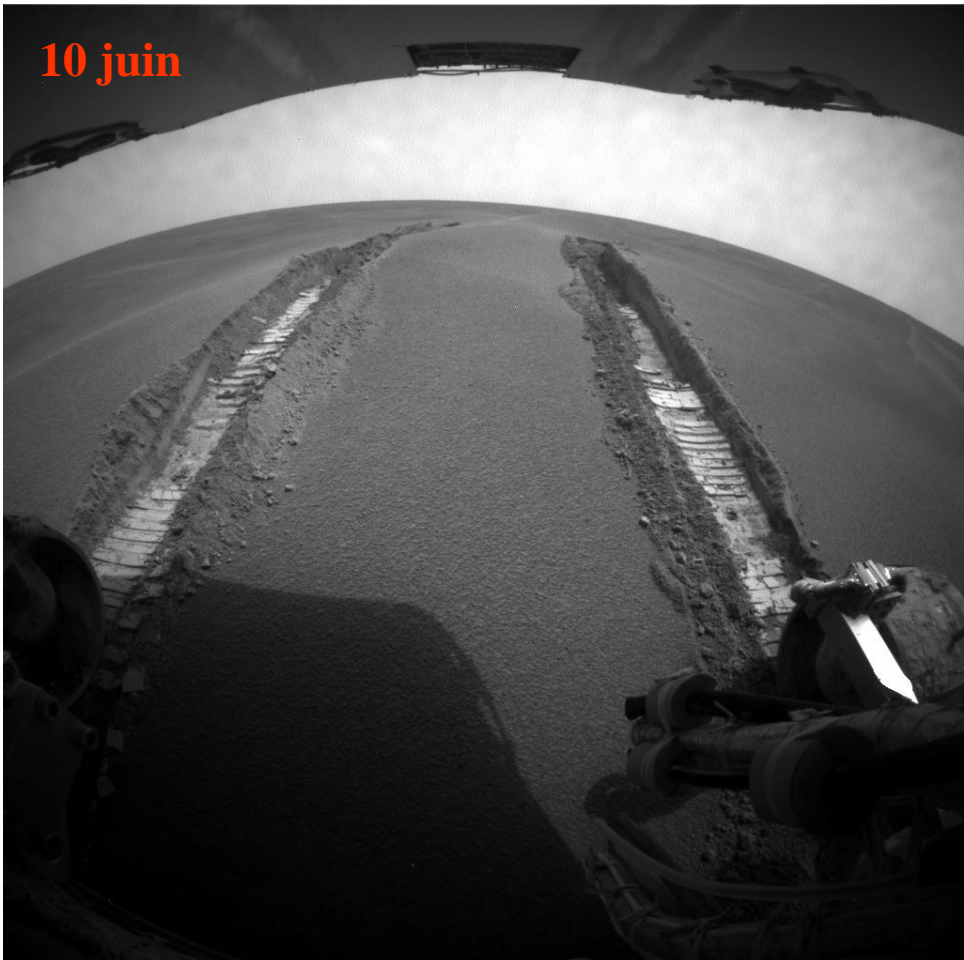
21 mai

2 juin

3 juin

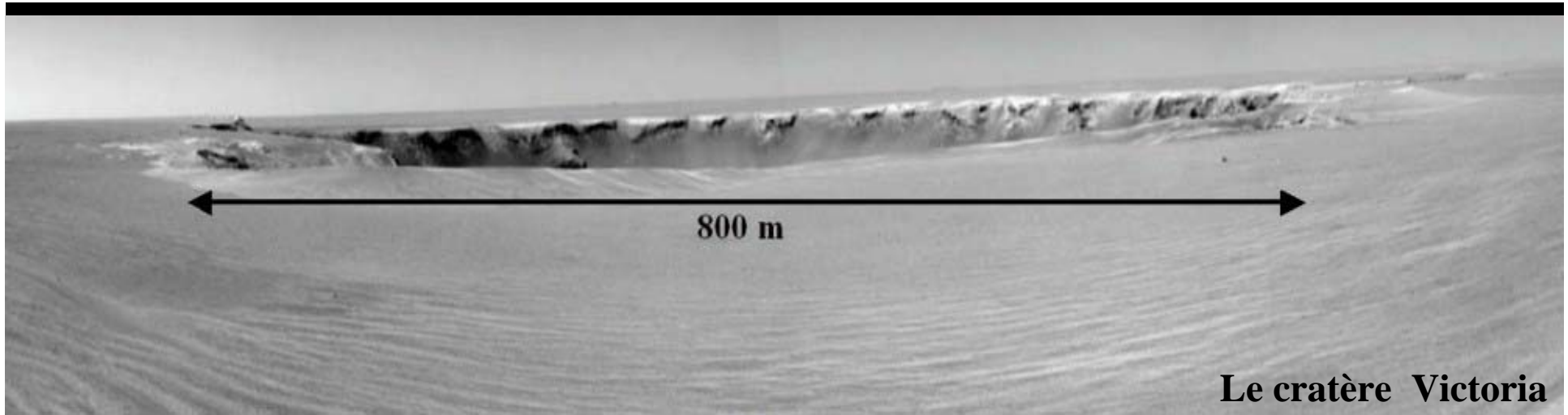
Cinq « étapes » de la sortie

10 juin

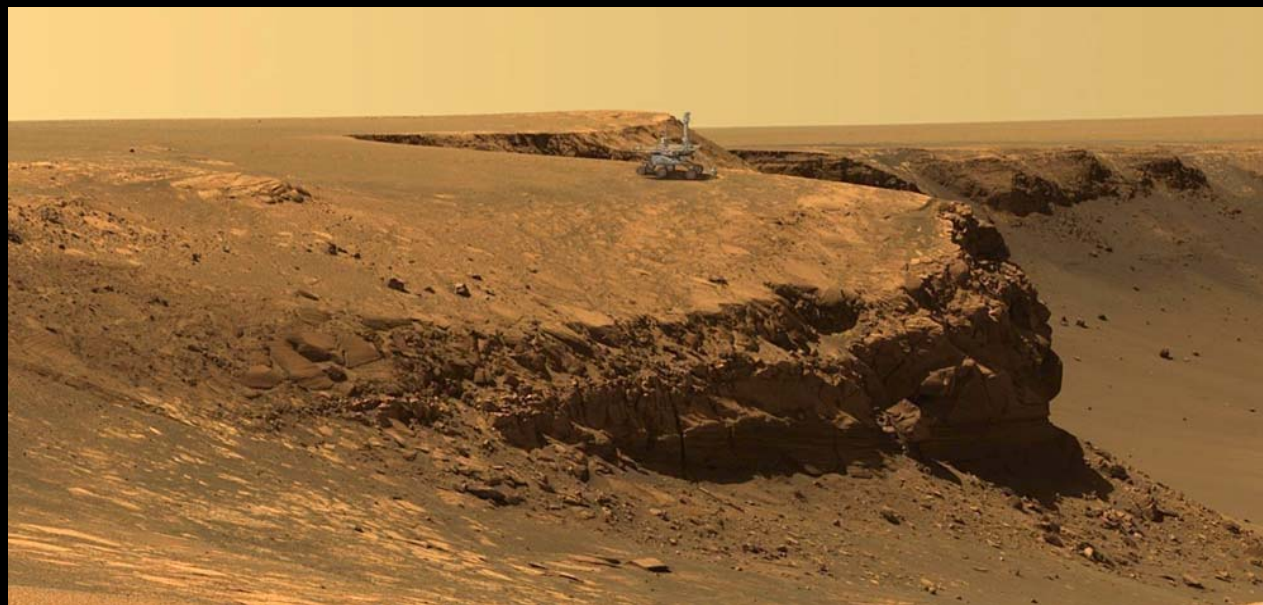


11 juin





Le cratère Victoria

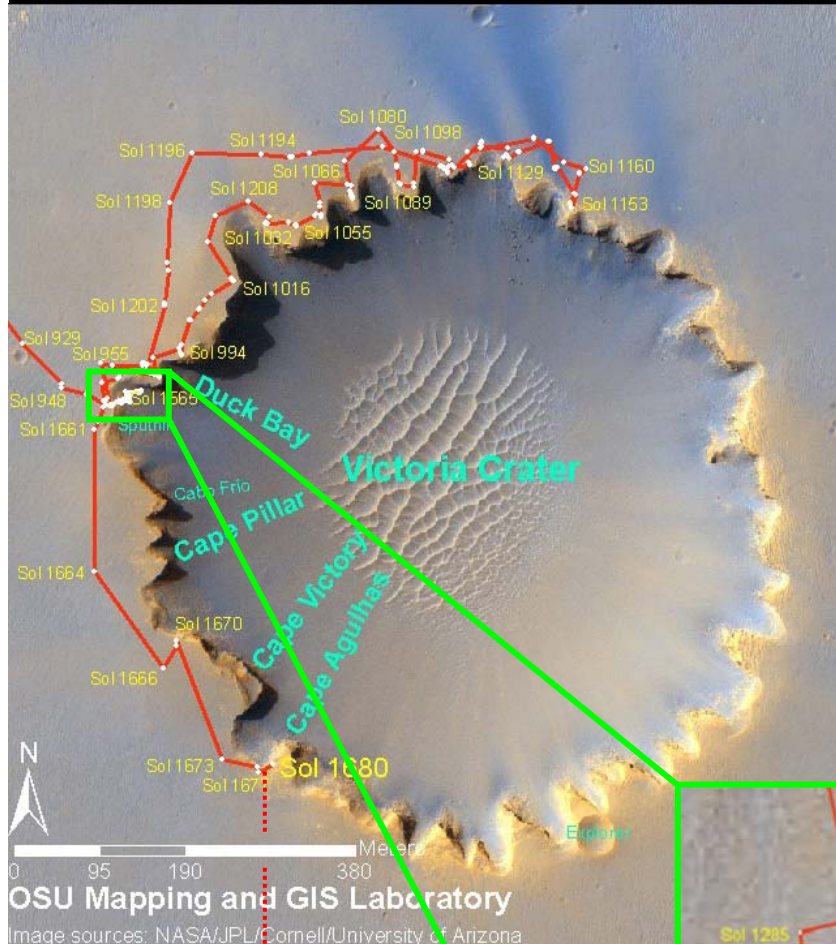


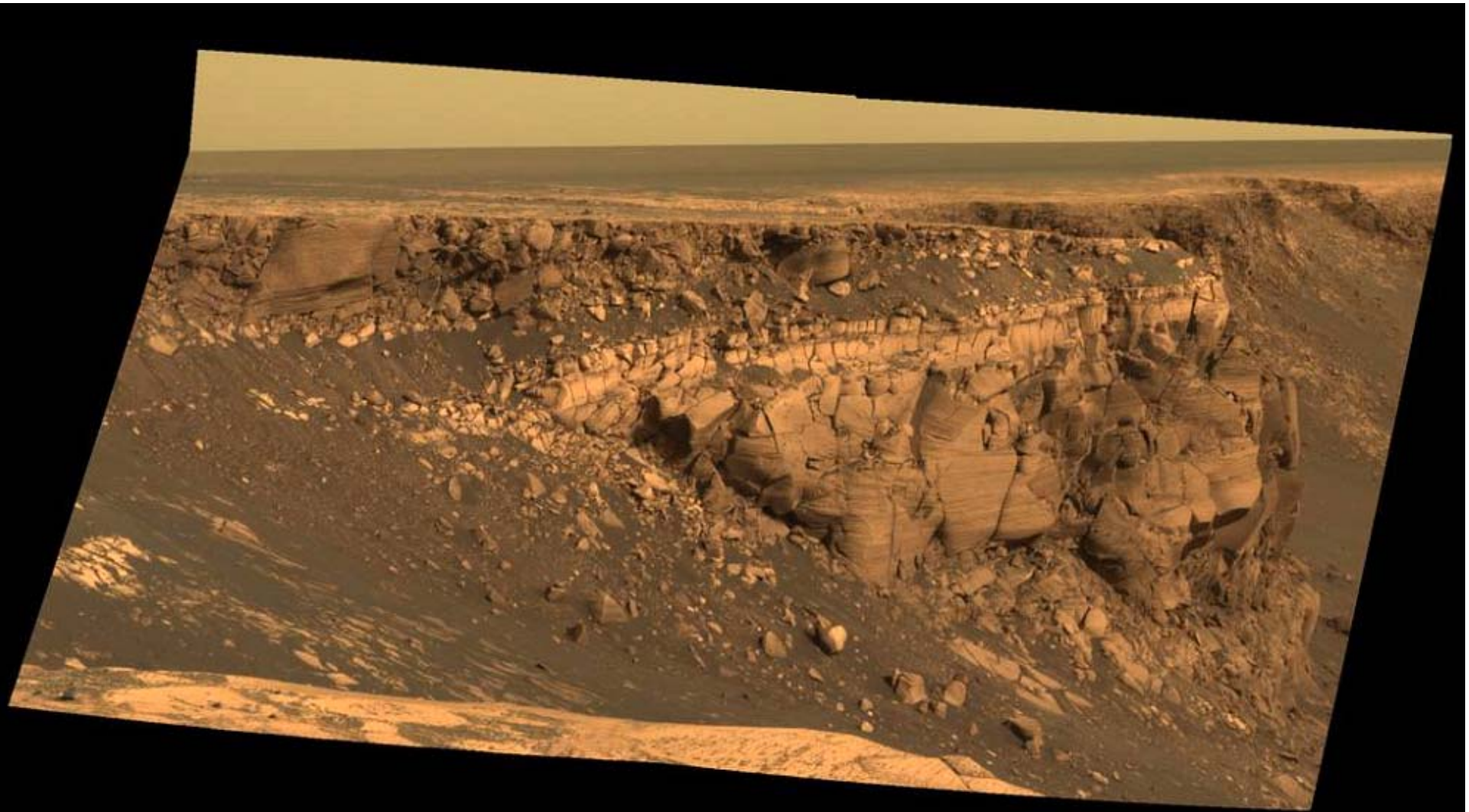
Et après avoir roulé plus de 10 km, notre robot atteint un grand et profond cratère, le cratère Victoria. Après

en avoir exploré les bords, Opportunity va y descendre. On va passer de 7m à 30m de succession de couches !

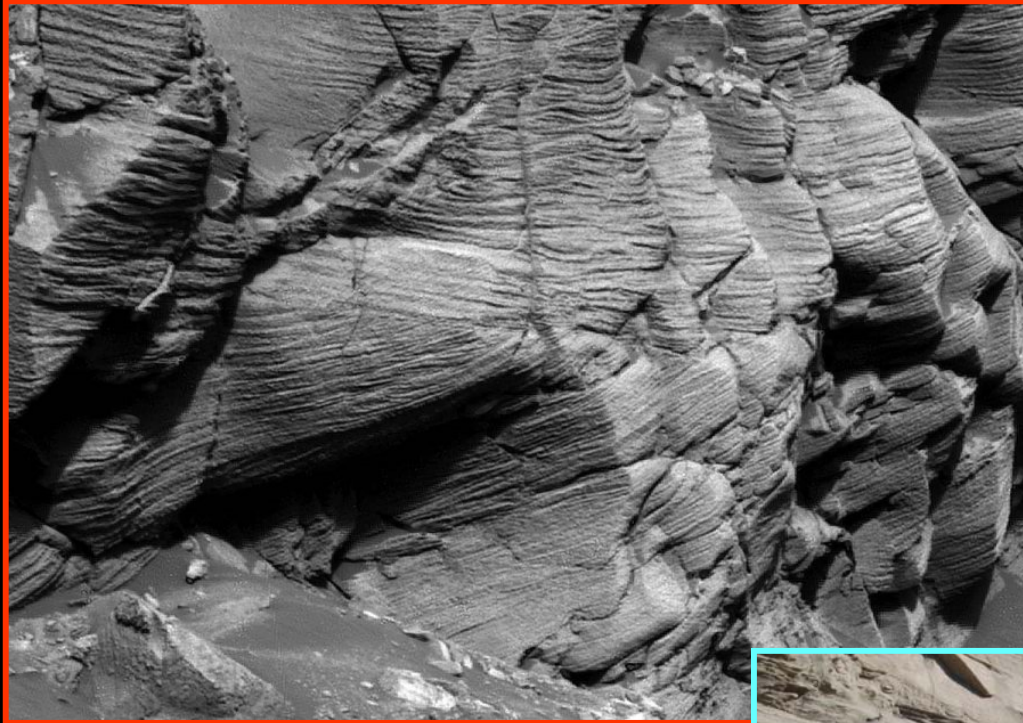
Que va-t-on découvrir ??

Opportunity étudie les bords du cratère, descend dans le cratère, y reste plus de 300 jours ...



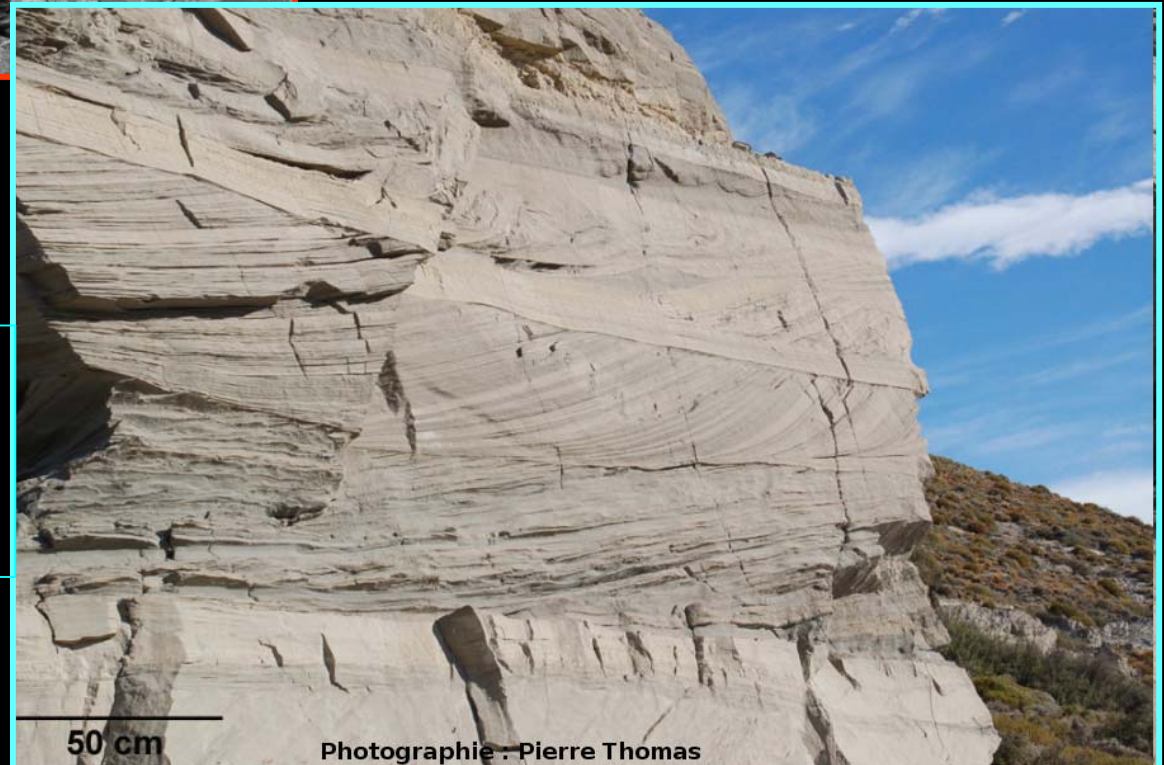


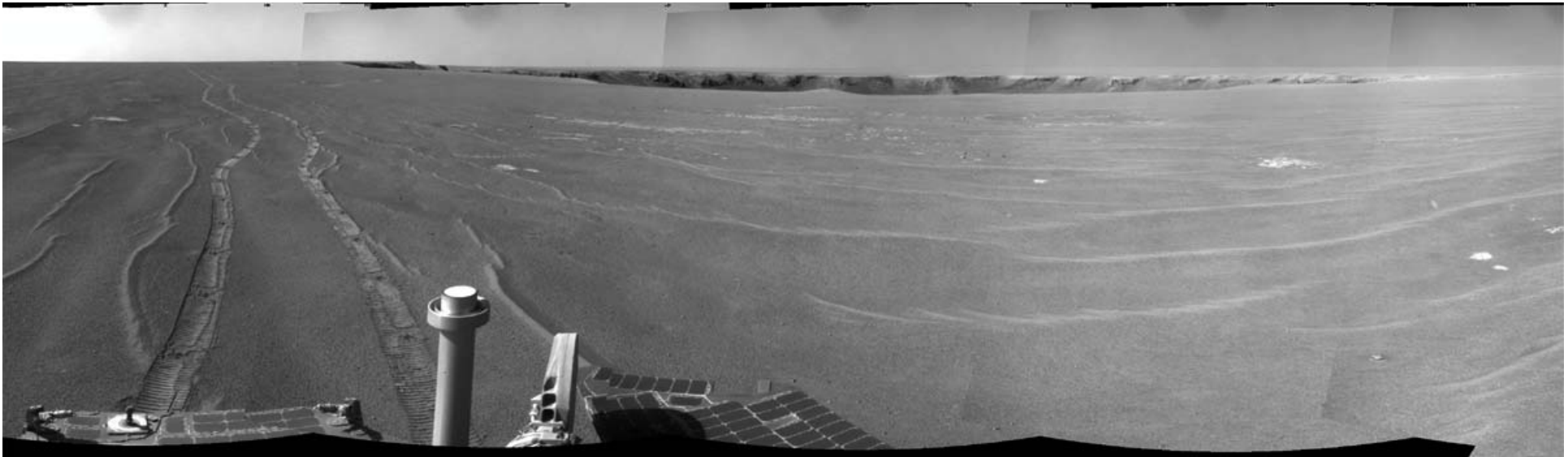
On commence à descendre. C'est beau et spectaculaire, mais y aura-t-il du nouveau ?



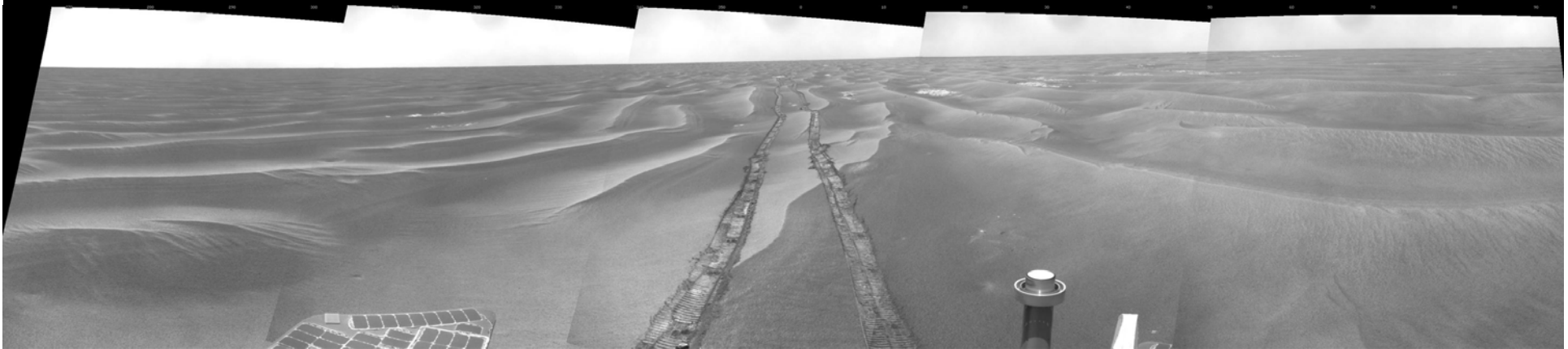
Non! on y voit et analyse à peu près la même chose que « d'habitude » ! C'est beau, mais « décevant »

Je ne peux pas m'empêcher de faire cette comparaison !

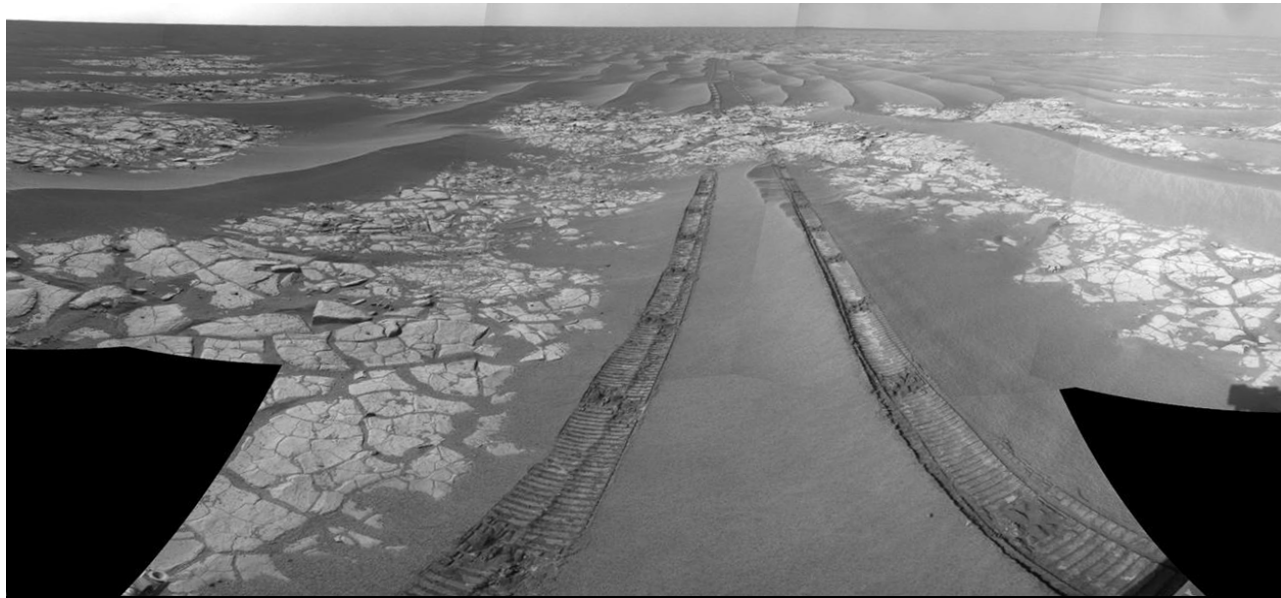




Et après être sorti de Victoria (sol 1600), on repart.



On franchi (avec prudence) des mini-dunes,

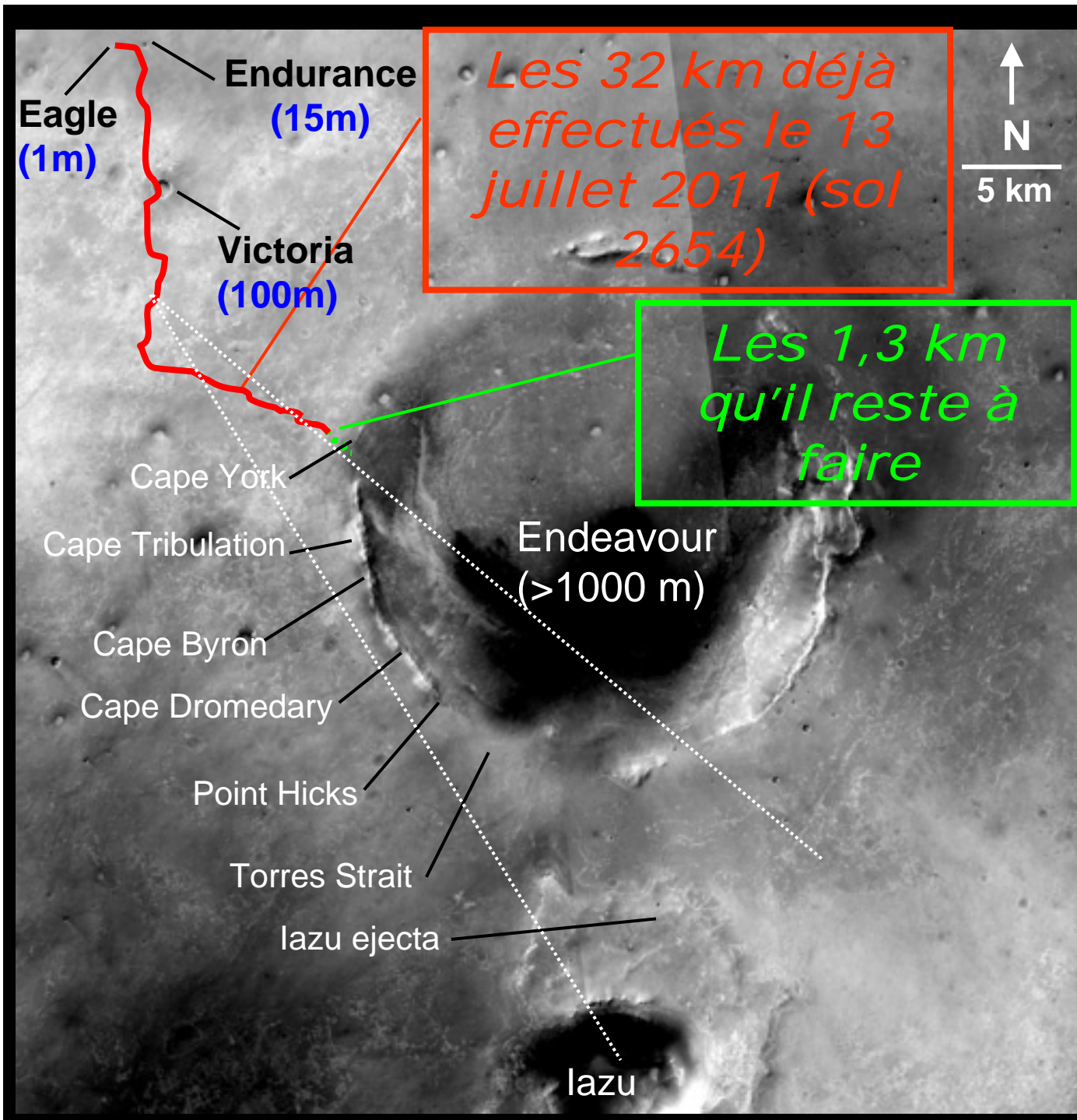


... on passe à côté d'affleurements,

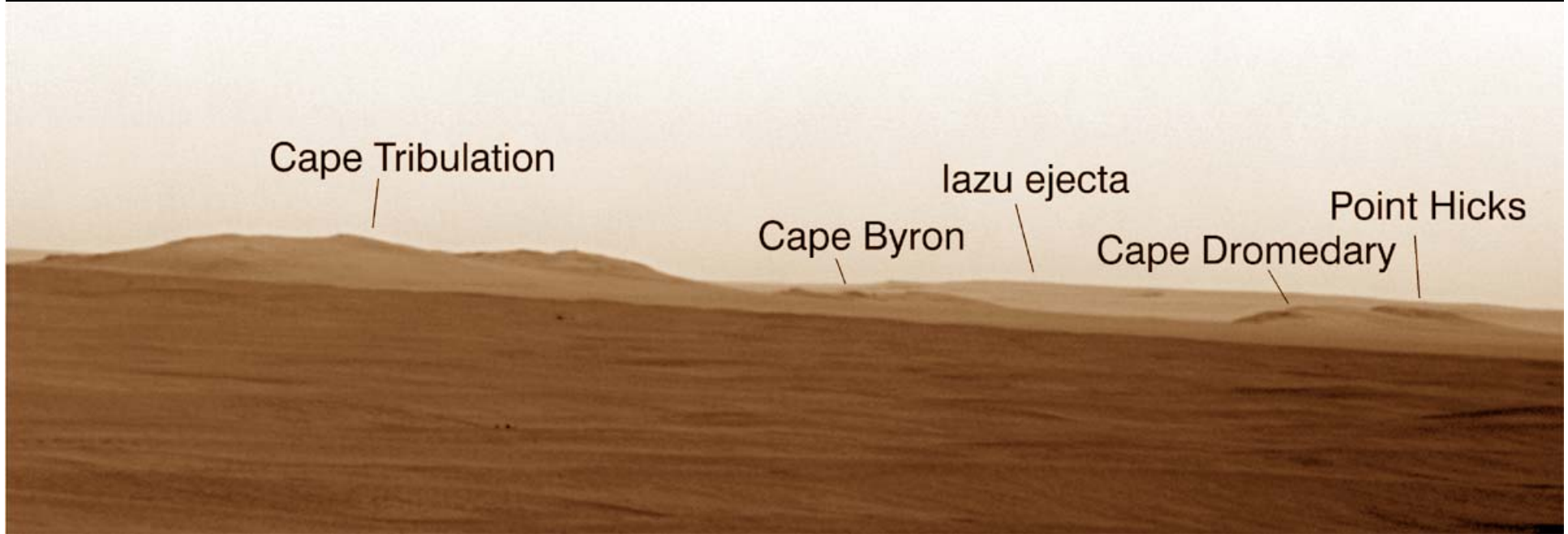


... de beaux cratères, comme Santa Maria ($D = 90$ m).

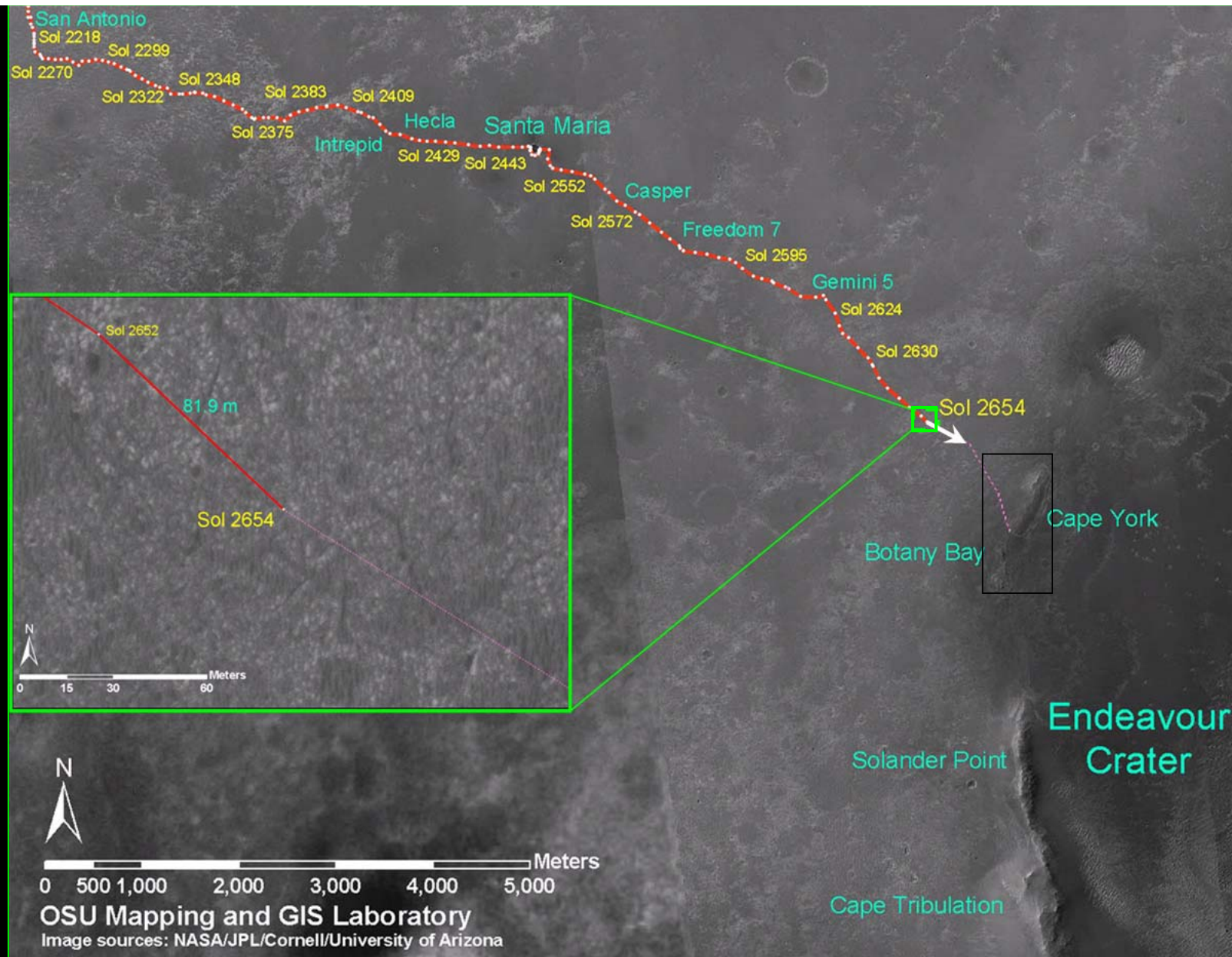
On y étudie les roches (toujours les mêmes), mais on ne prend pas le risque d'y descendre. En effet, on se dirige vers un cratère encore plus profond, mais à ... 20 km !



Opportunity a déjà fait 32 km depuis janvier 2004. Il lui reste 1,3 km à faire pour arriver au bord du cratère Endeavour, aussi profond que le canyon du Colorado. Que va-t-il y découvrir ?



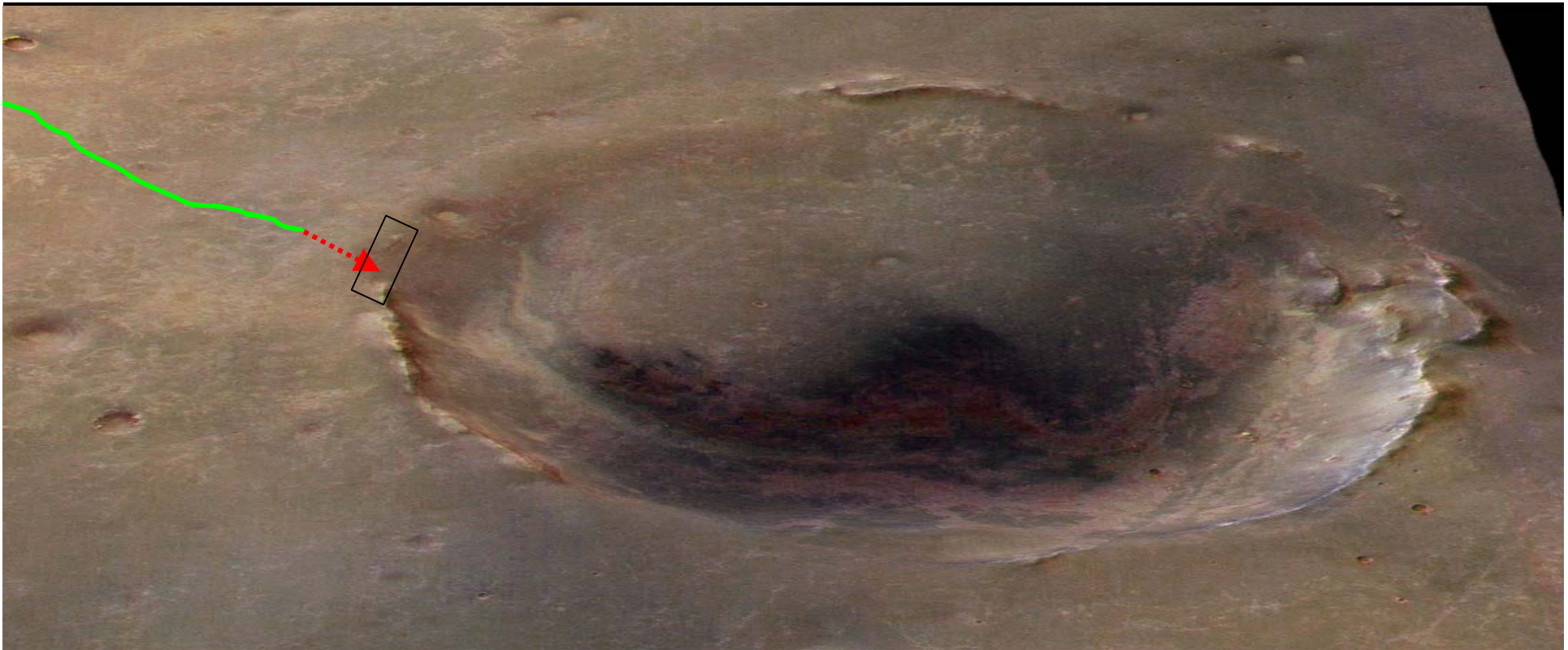
Une vue en direction du rebord SO du cratère Endeavour, où les sondes en orbite ont identifié de l'argile. Le « trou » de plus d'1 km de profondeur est juste derrière ces collines.



La dernière carte publiée le 13 juillet



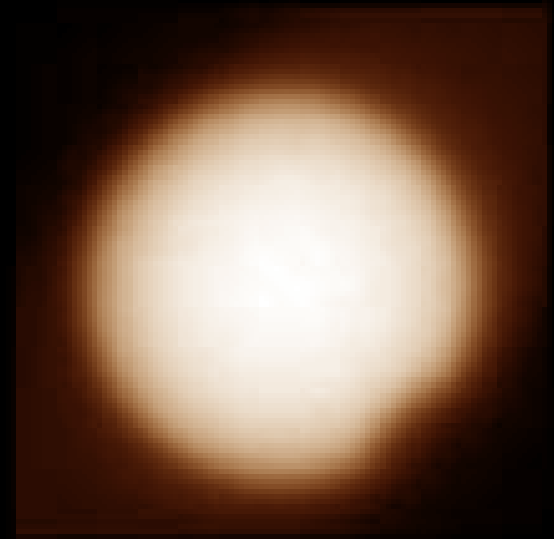
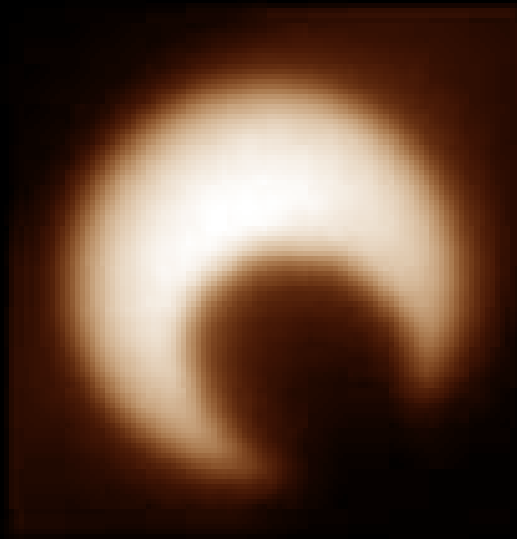
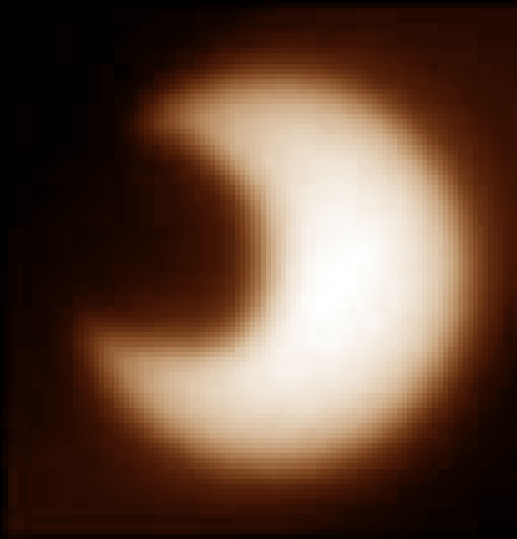
Opportunity va arriver au bord d'Endeavour à Botany Bay, col situé au sud de Cape York, vu ici en noir et blanc, et fausses couleurs. C'est prometteur !



Le cratère Endeavour, de 21,5 km de diamètre.

De quoi sans doute occuper Opportunity jusqu'à la fin de sa longue et fructueuse carrière.

Et n'oublions pas que Curiosity, robot mobile beaucoup plus perfectionné, va être lancé en novembre.




**Et en plus de faire de la géologie, de la
météorologie ... , on peut assister à des spectacles
astronomiques, comme cette éclipse de Soleil par
Phobos le 11 mars 2004**



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

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



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

**Voilà, 123 diapos. C'est fini pour
aujourd'hui, mais il y aura une suite.
Merci de votre attention !**