CURIOSITY MISSION À HAUT RISQUE

Update février 2013

Par Jean-Pierre MARTIN
jpm@planetastronomy.com

✸Site de nouvelles sur l'Astronomie et l'Espace :
http://www.planetastronomy.com

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

PLAN DE LA PRÉSENTATION

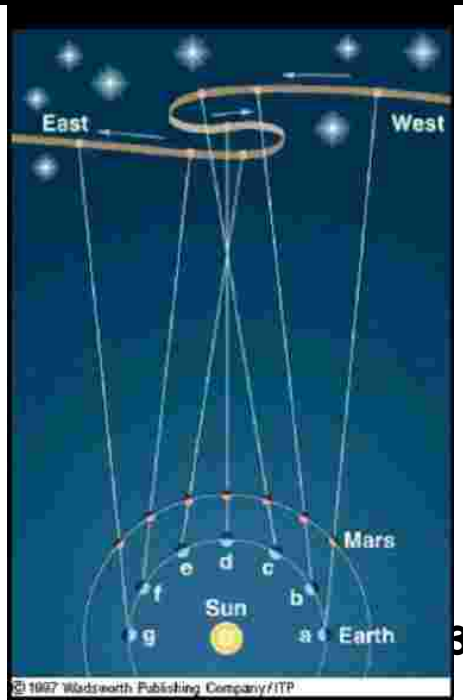
- 1) Quelques données sur Mars
- 2) Les premières missions martiennes
- 3) Que sait-on de Mars
- 4) La mission Curiosity
- 5) Le lancement
- 6) L'atterrissage
- 7) Le Rover
- 8) Les instruments
- 9) Le site d'atterrissage
- 10) Le succès!!!
- 11) Le début de la mission

La plupart des photos non marquées sont de la NASA/JPL ou de l'ESA pour Mars Express

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

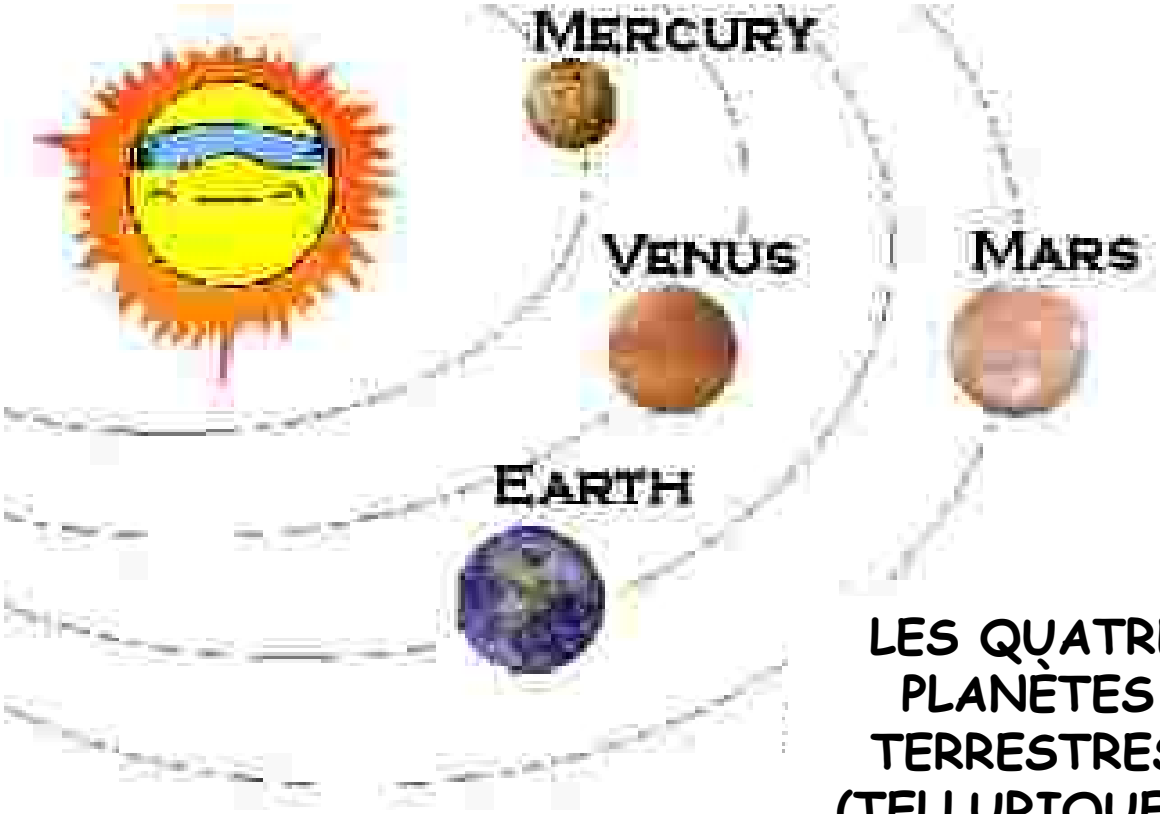
1-L'HISTOIRE DE LA PLANÈTE MARS

- Mars fut repérée très tôt dans le ciel par nos glorieux ancêtres, les Romains baptisèrent cette planète du nom de leur Dieu de la Guerre
- Son mouvement dans le ciel intriguait car il était rétrograde par moment
- Seul Copernic comprit pourquoi, en commettant un sacrilège : la Terre n'était plus au centre du système solaire



OÙ EST MARS?

- Située après la Terre et donc un peu plus loin du Soleil que nous, elle est à la limite de la « zone habitable »



LES QUATRE PLANÈTES TERRESTRES (TELLURIQUES)

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

MARS = ½ TERRE

- Mars est née en même temps que la Terre il y a approximativement 4.5 Milliards d'années
- Mars est 2 fois plus petite que la Terre et en gros **10 fois moins lourde** (densité plus faible)
- Ceci aura des conséquences sur son évolution :
- La gravité y est plus faible que sur Terre (1/3) et en conséquence **son atmosphère s 'échappe** au cours du temps (Vitesse de libération + faible)
- Le CO2 diminuant, l'effet de serre (qui a sauvé la race humaine!!!) s'inverse, **la température diminue**
- Les dés sont jetés, Mars sera une planète froide, c'est une Terre avortée

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy

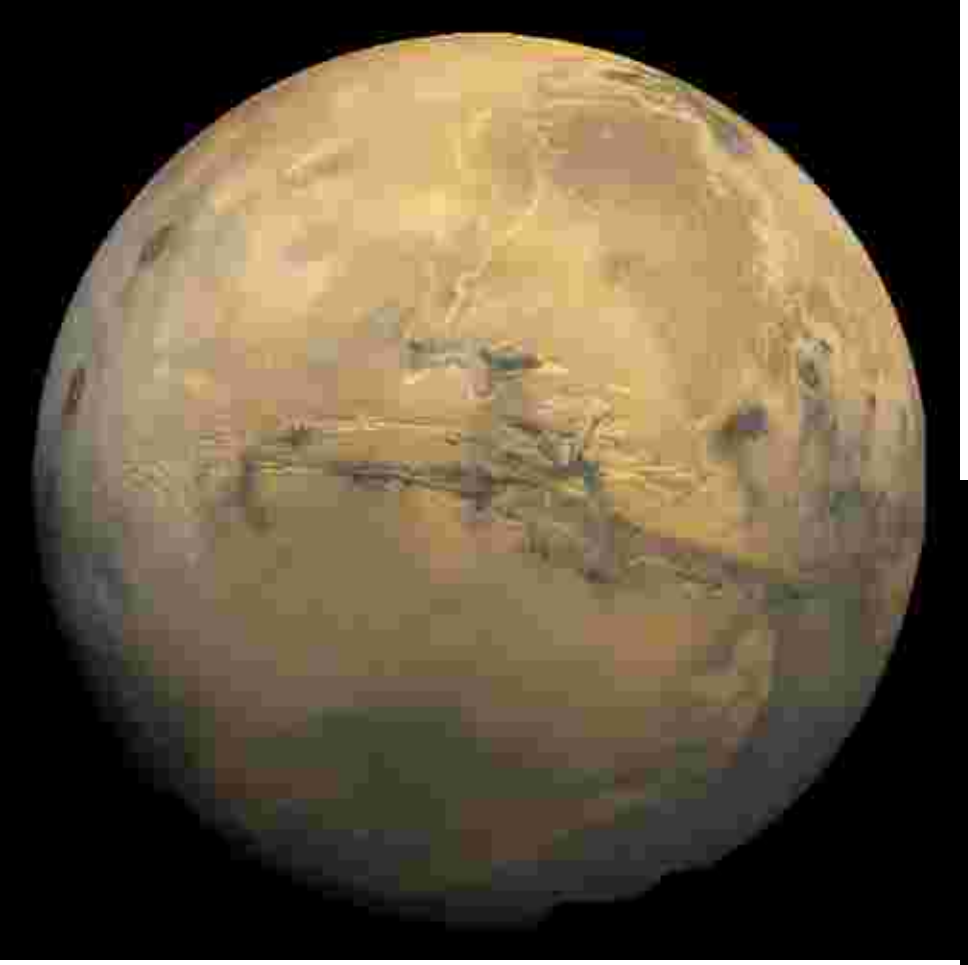
- Plus éloignée aussi du Soleil, elle se refroidit plus vite, **le noyau se solidifie** donc
- **Pas de champ magnétique**
- Donc pas de protection contre les particules dangereuses provenant du Soleil, et donc difficulté pour une certaine forme de vie de s'établir
- Le volcanisme est très actif : 20 volcans majeurs, les derniers ayant été actifs récemment (qq dizaines de millions d'années!)
- Pas de tectonique de plaques mais des failles et fractures (Valles Marineris)
- L'eau dans le passé a été un agent d'érosion, maintenant le vent joue un rôle essentiel

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

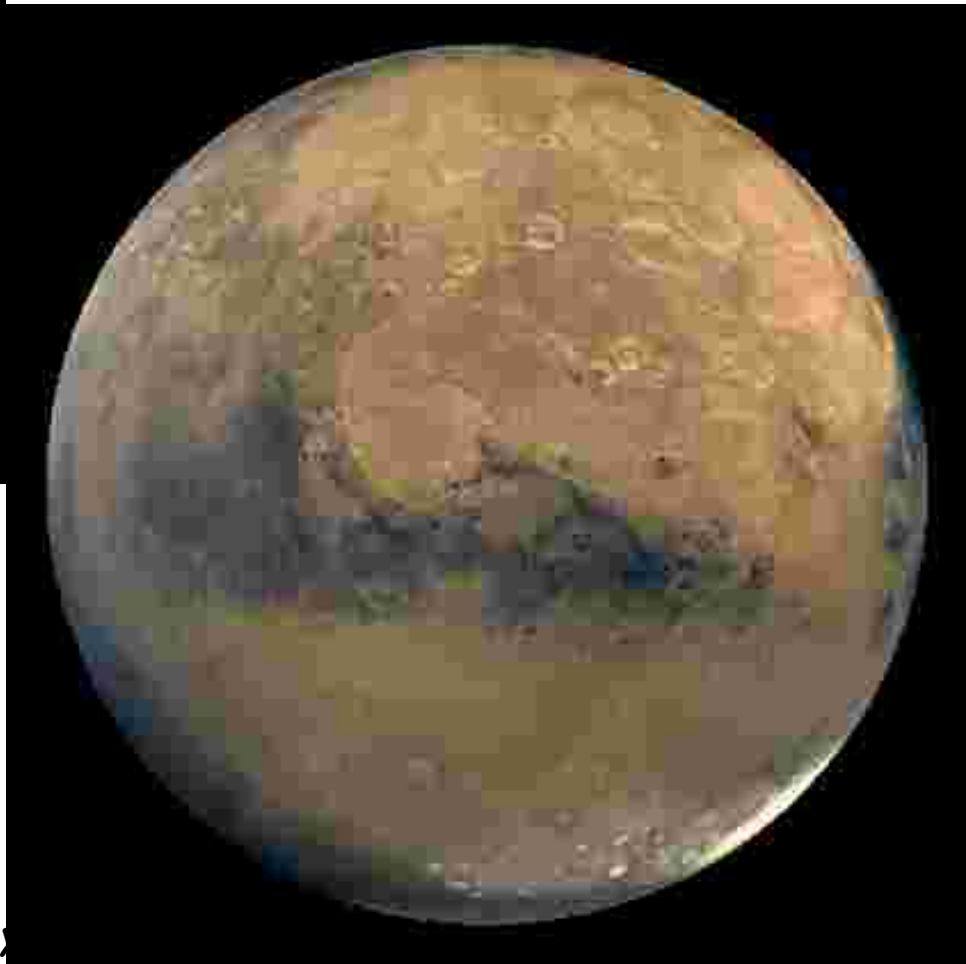
LE CLIMAT MARTIEN

- L'orbite de Mars est excentrique (elliptique) (e=0,09), cela induit des variations climatiques importantes entre périhélie et aphélie (saisons comme sur Terre)
- 40% de chaleur en plus au périhélie
- Température moyenne = -55 °C
- Min en hiver = -130 °C
- Max en été = +27 °C
- Mars est un DÉSERT GLACÉ

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



✸ Mars, un désert glacé



Photos NASA

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy

L'ATMOSPHÈRE DE MARS

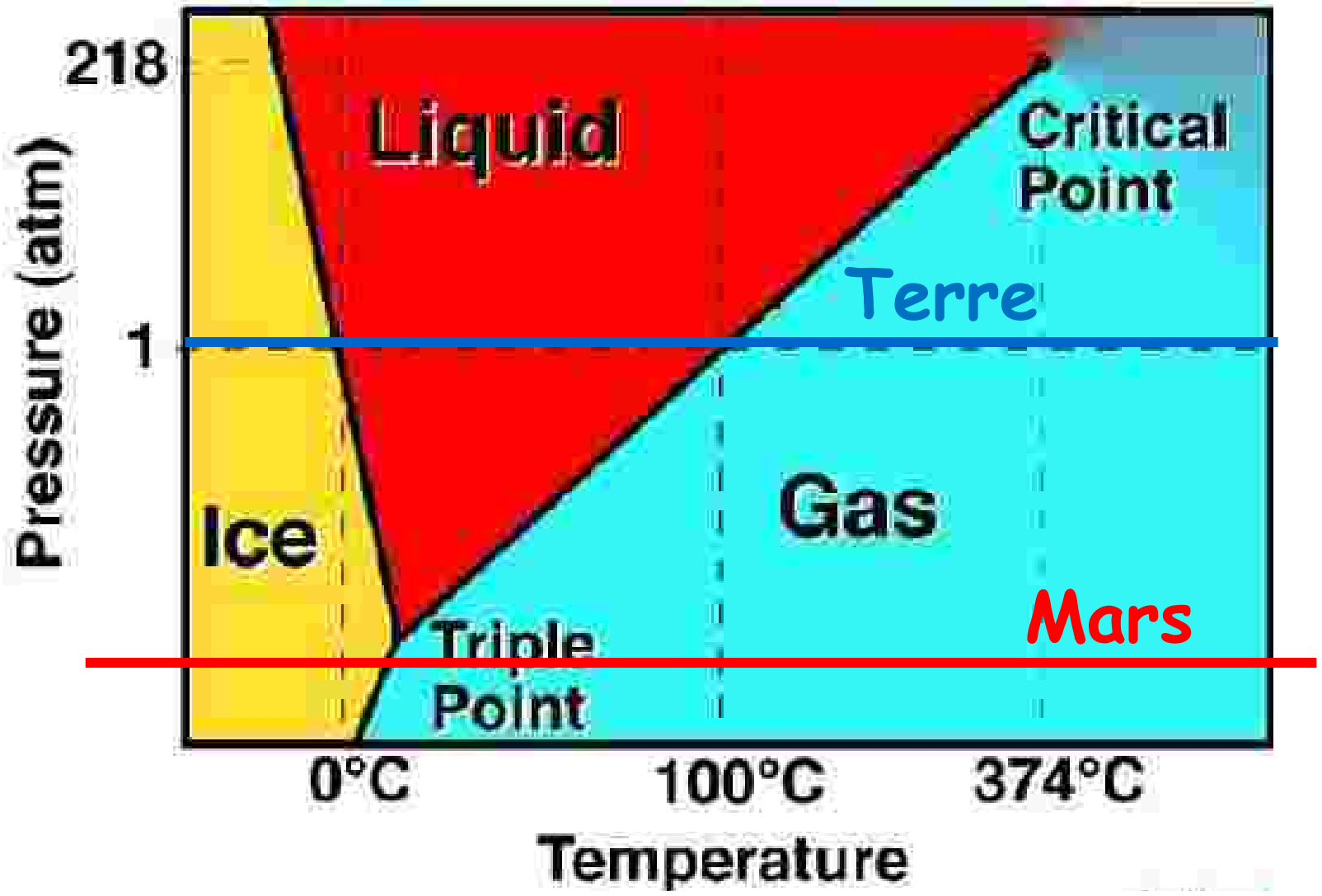
- 95.6% CO_2
- 2.7% N_2
- 1.6% Ar
- 0.1% O_2
- 0.03% H_2O
- **Pression moyenne** 6 mbar (1 – 9 mbar) soit **<1% de la nôtre**
- Venteux : jusqu'à 120km/h, tempêtes qui peuvent durer plusieurs mois → Érosion

9
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

L'EAU ?

- L'eau ne peut pas exister longtemps a l'état liquide en surface sur mars actuellement pourquoi?
- **Température trop basse** (de 0 a -100°c) et **pression trop faible**
  (<1% de la pression terrestre)
  →sublimation : **solide → gazeux directement**
- En fait l'eau liquide serait dans un état métastable, c'est à dire qu'elle pourrait rester liquide en surface pendant qq heures avant de se sublimer, c'est le grand espoir des sondes martiennes, ou alors, elle contiendrait des sels.
- Par contre de l'eau existe certainement en sous-sol

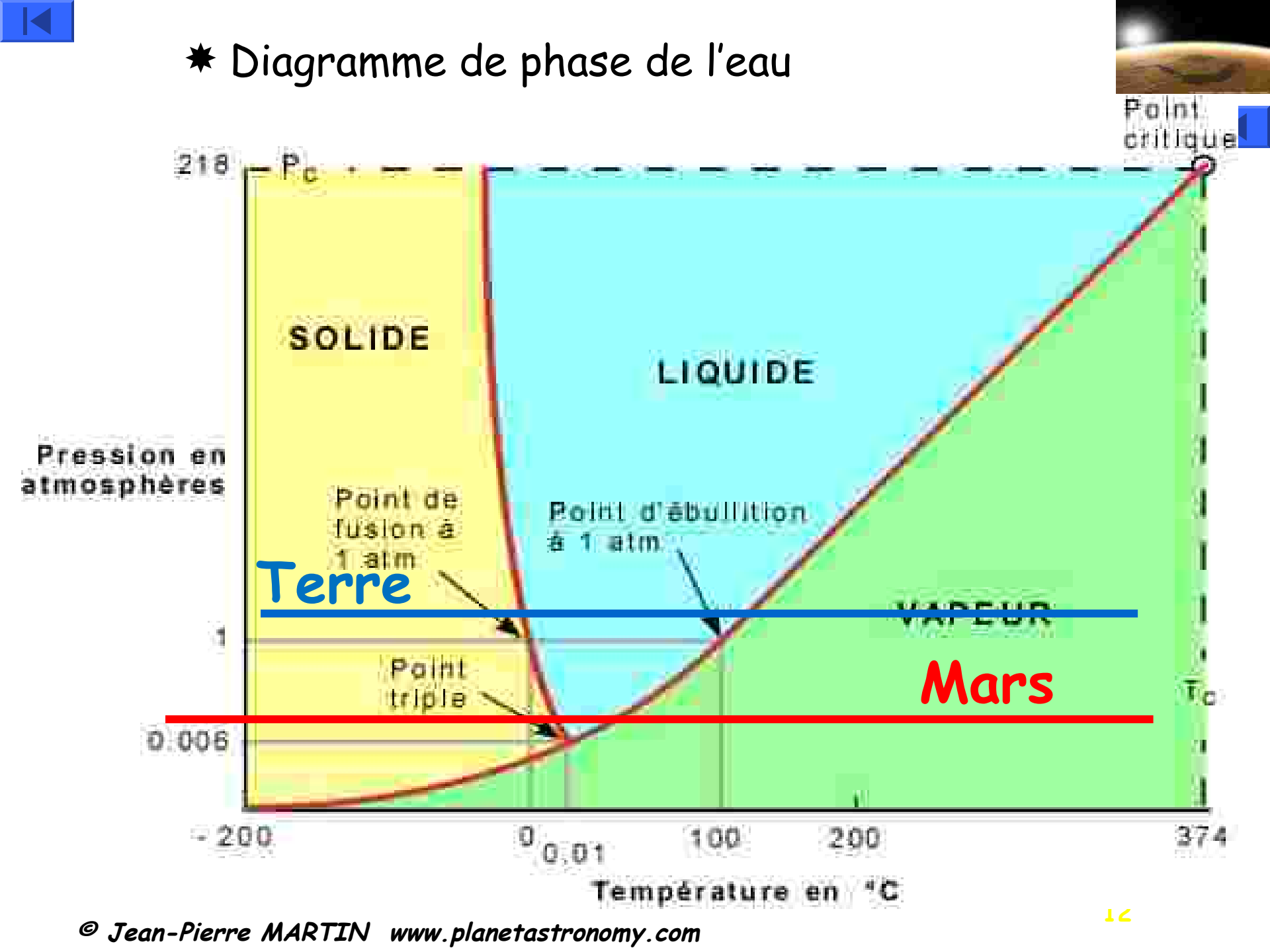
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

11

✸ Diagramme de phase de l'eau



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

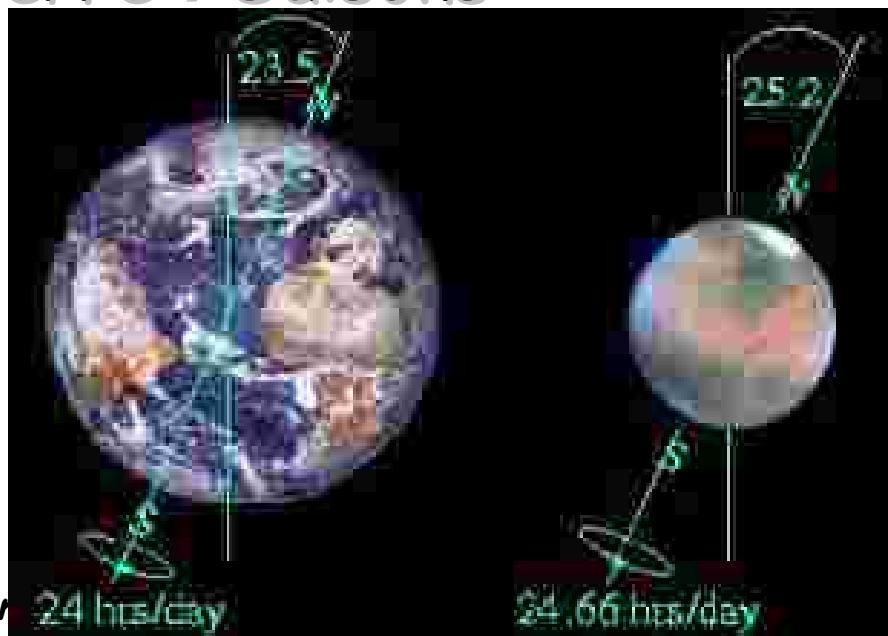
POURQUOI L'EAU EST-ELLE SI IMPORTANTE?

- Elle diffuse facilement à travers les membranes des cellules, c'est un **solvant parfait**
- Forte chaleur spécifique : peut stocker de grandes quantités de chaleur sur une planète, **amortit les variations climatiques**
- **GLACE MOINS DENSE QUE L'EAU** : elle flotte sur l'eau ce qui est FONDAMENTAL: protège les organismes sous la glace des basses températures
- Existe sous ses 3 formes sur Terre : cycle de l'eau
- Pour le futur : contient H et O : futures sources d'énergie?

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

CARACTÉRISTIQUES ORBITALES

- 1,5 UA Une année martienne = 687 jours
- 6900 km diamètre (la moitié de la Terre), d=3,9
- Très excentrique e = 0.09, cela a aidé Kepler a formuler sa première loi (ellipse)
- Inclinaison axe rotation ~Terre→Saisons
- **Un jour martien s'appelle : un sol~ un jour terrestre**
- Deux satellites miniatures, dont l'un (Phobos) sous la limite de Roche



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

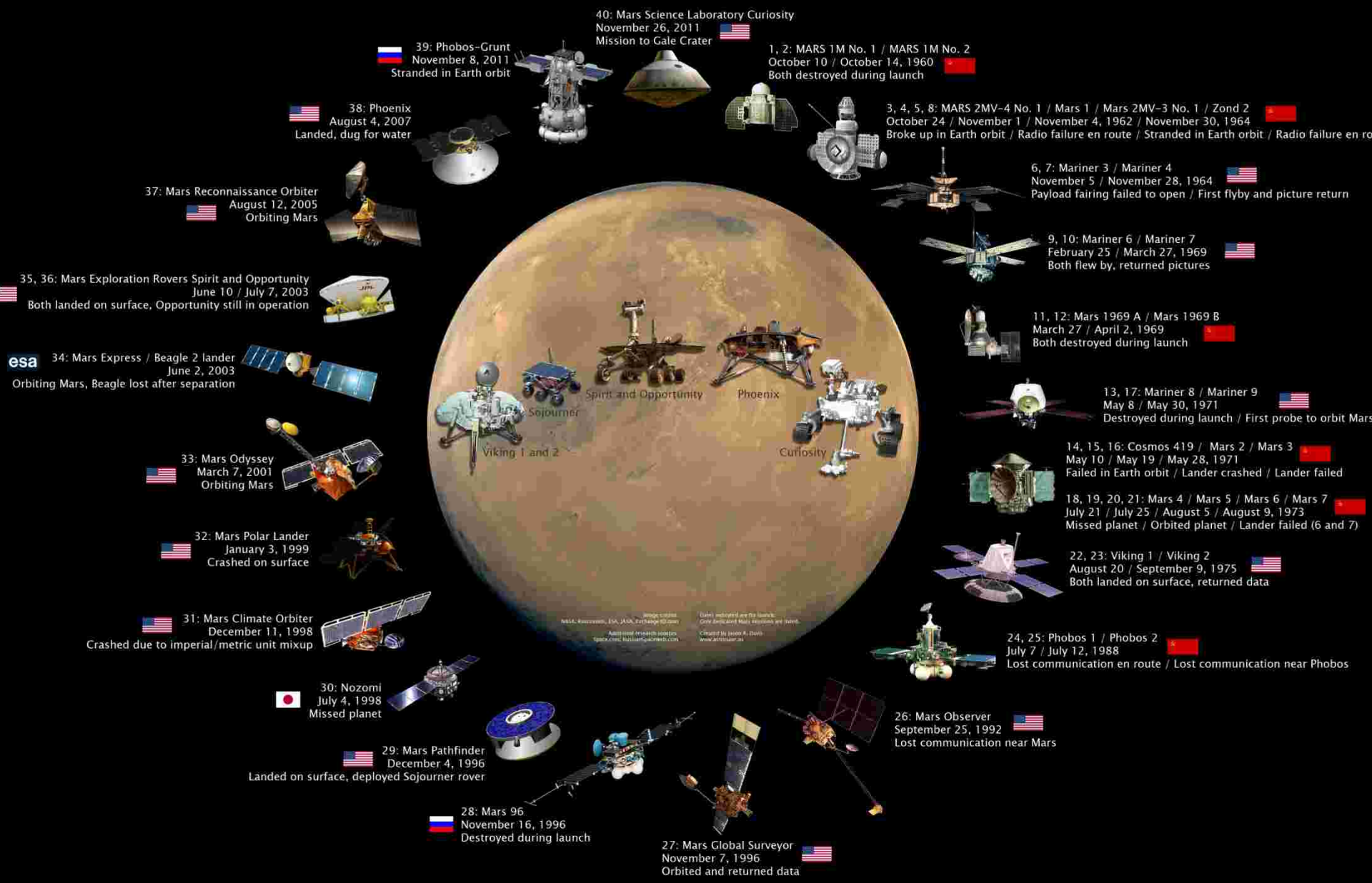
2-LES PREMIÈRES MISSIONS MARTIENNES

- Nos amis Russes n'ont jamais eu de chance avec Mars, toutes leurs missions ont échoué ou presque
- Toutes les missions à succès ont été US, mais ils ont eu aussi de cuisants échecs (50%)
- Cela a commencé avec l'épopée des Mariner dans les années 1960
- Puis vinrent les Viking avec la recherche de la vie
- Pathfinder, un démonstrateur prototype, ouvre ensuite la marche pour les
- Robots Spirit et Opportunity et Phoenix
- Une pléiade de satellites tournent aussi autour de Mars : MGS, Mars Express, Mars Odyssey, MRO etc..

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

MARS IS HARD!
EARTH
HALF-TIME SCORE:
MARS
15
24

Mars Exploration Family Portrait



LES ANNÉES MARINER

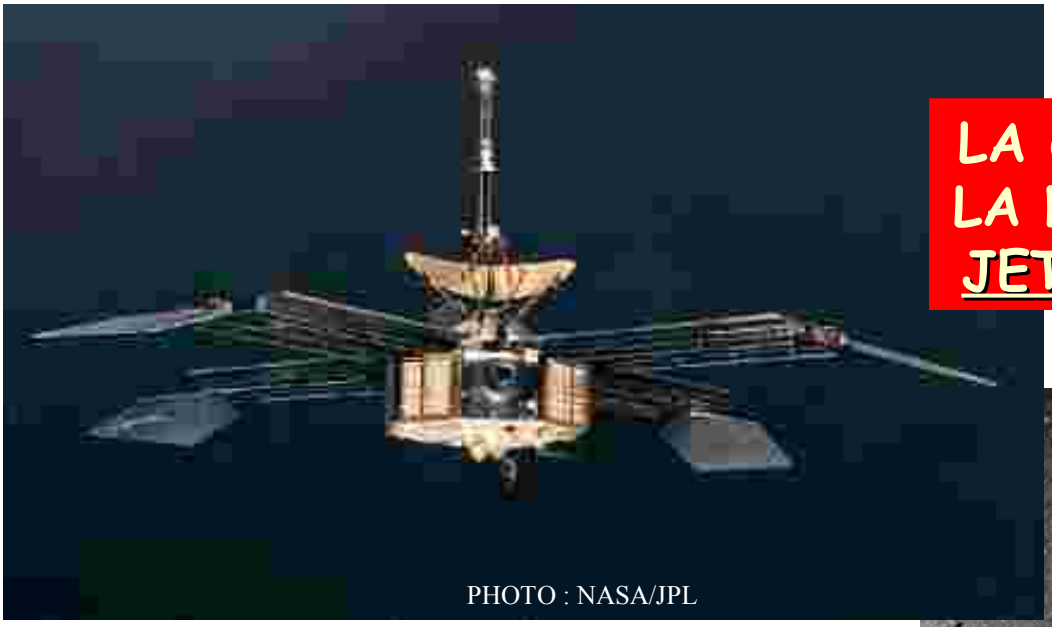
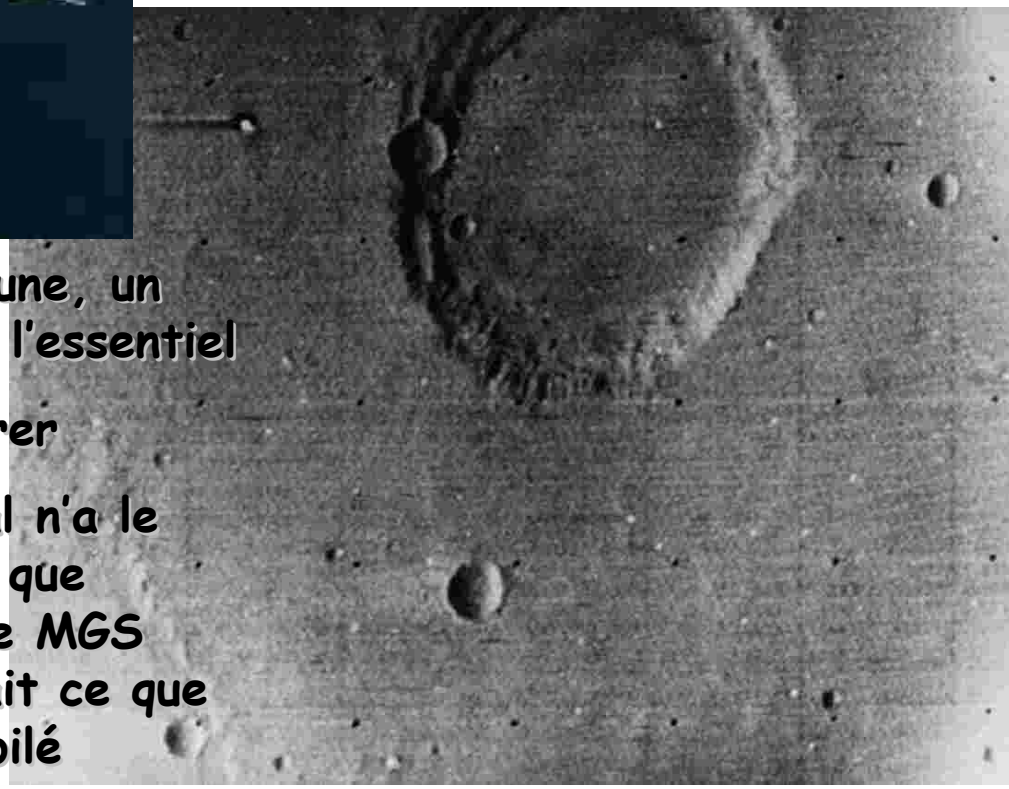


PHOTO : NASA/JPL

LA CLEF DE TOUS CES SUCCÈS :
LA NASA AU TRAVERS DU JPL :
JET PROPULSION LABORATORY



On pensait que Mars était comme la lune, un astre mort; On était passé à côté de l'essentiel

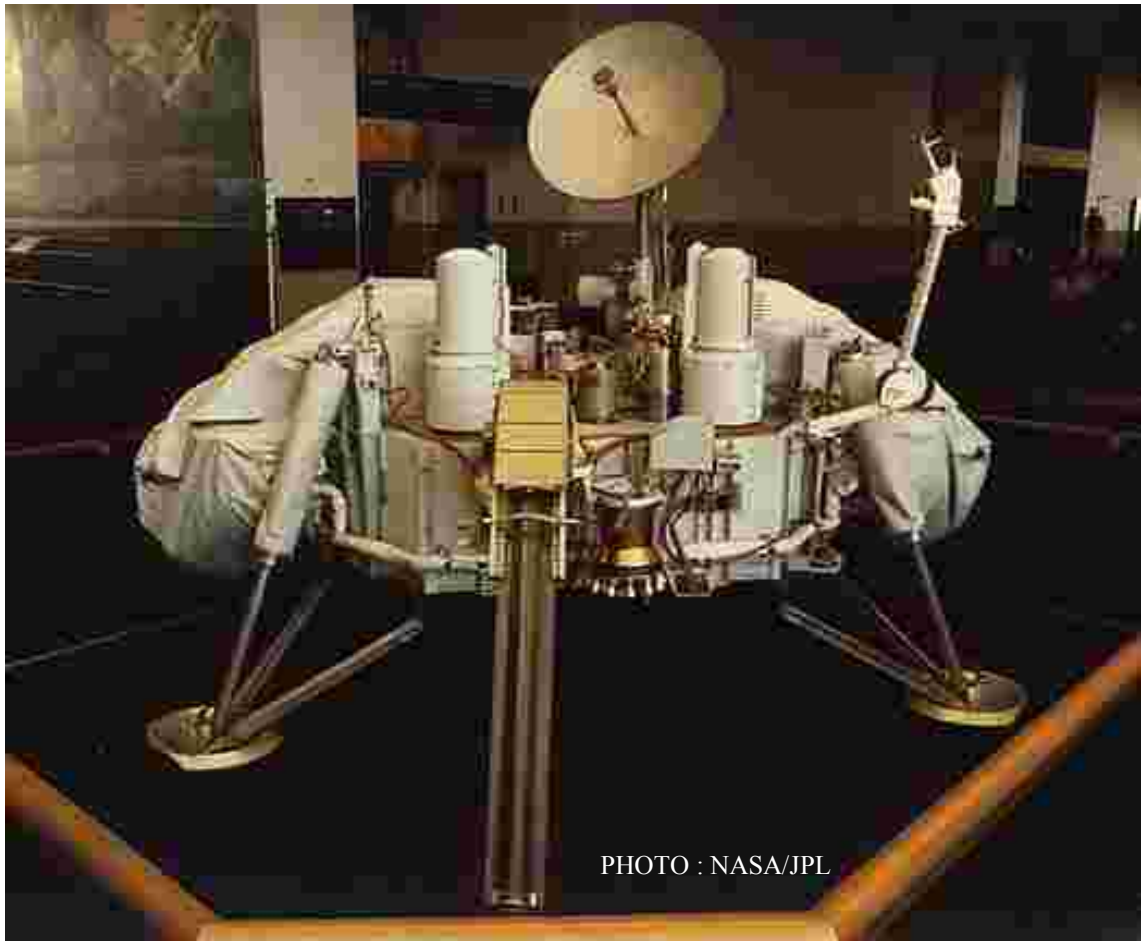
Les prochaines sondes vont nous éclairer

À cette époque, aucun vaisseau spatial n'a le plus changé notre vision d'une planète que Mariner 9 en 1971 (il faudra attendre MGS pour faire encore mieux), on découvrait ce que les autres Mariners n'avaient pas dévoilé

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

VIKING ET LA RECHERCHE DE LA VIE

* Viking procède en 1976 à trois expériences qui doivent rechercher une éventuelle vie martienne
* Mais les conditions imposées font que les réponses sont négatives ou au moins ambiguës
* À suivre



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

LA RÉVOLUTION C'EST PATHFINDER!

- Pathfinder / Sojourner
- Un robot de 16kg explore le site pendant 3 mois
- **C'est lui le véritable précurseur** : air bag; robot; etc….
- C'est un démonstrateur technologique qui a fonctionné à 200%!

© Jean-P…om

LA VRAIE COULEUR DES NUAGES DE MARS

PHOTO : NASA/JPL

21

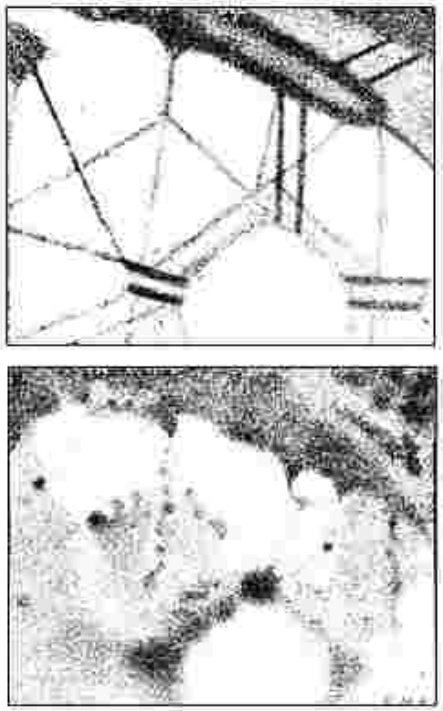
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

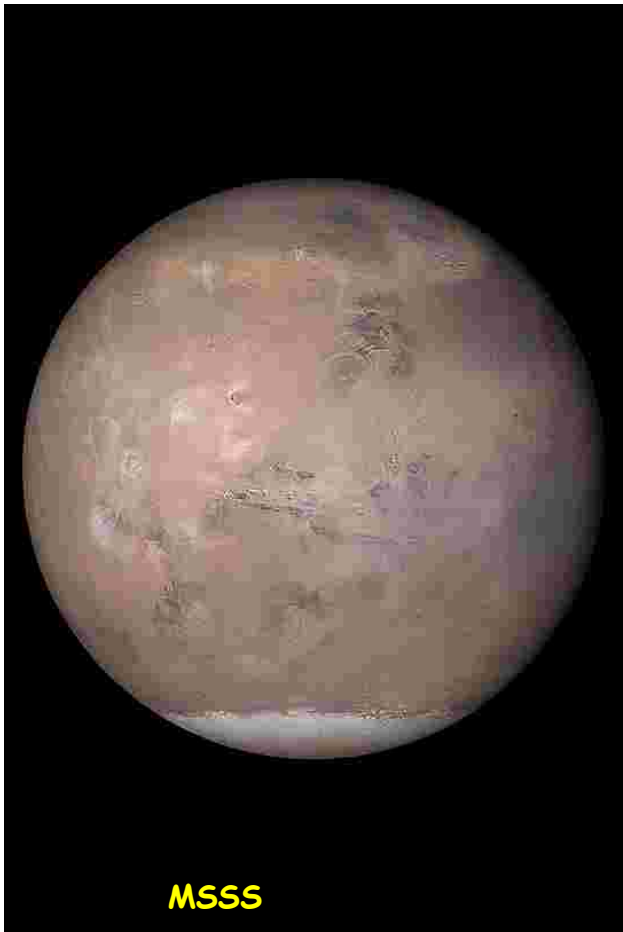
22

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

3-QUE SAIT-ON DE MARS ?

- Les sondes martiennes ont complètement changé la vision simpliste que nous avions au début des années 1960





MSSS

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

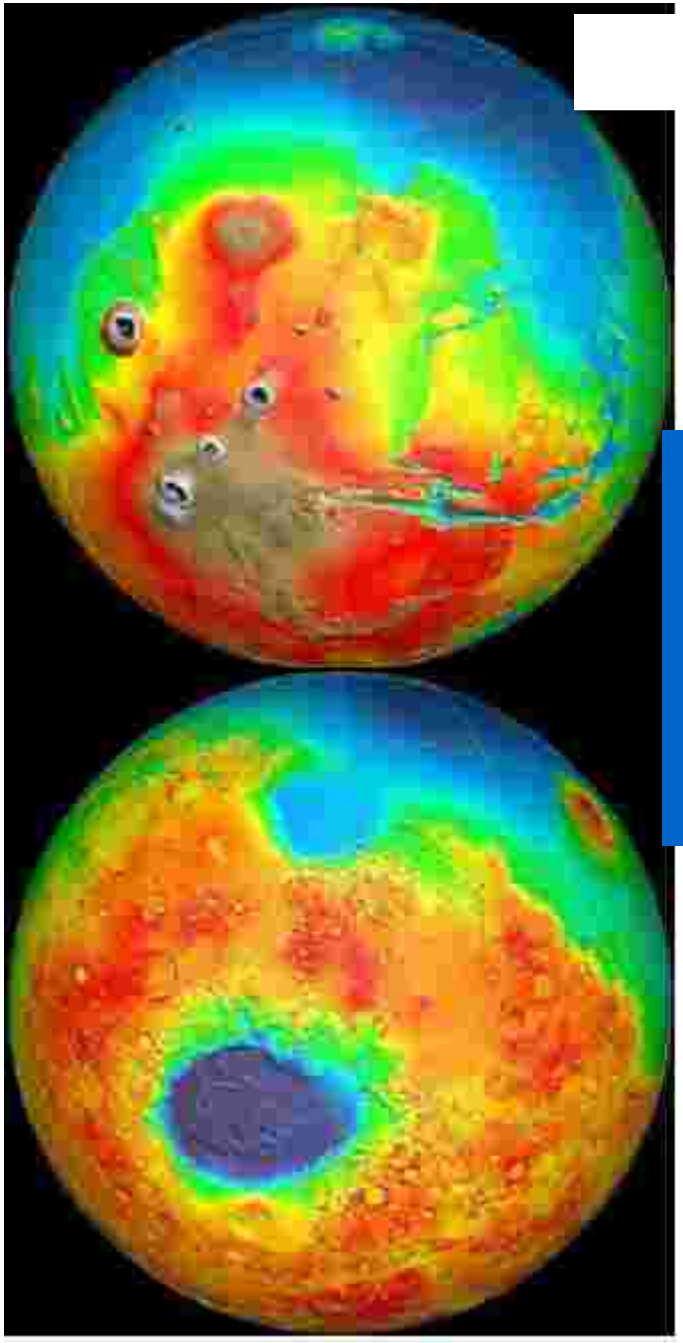
UNE NOUVELLE VISION DE MARS

- Depuis plusieurs décennies des sondes automatiques explorent Mars et nous en donnent une vue bien meilleure
- La planète a été entièrement cartographiée
- Des robots se sont posés à sa surface et ont analysé son sol
- Nos connaissances progressent

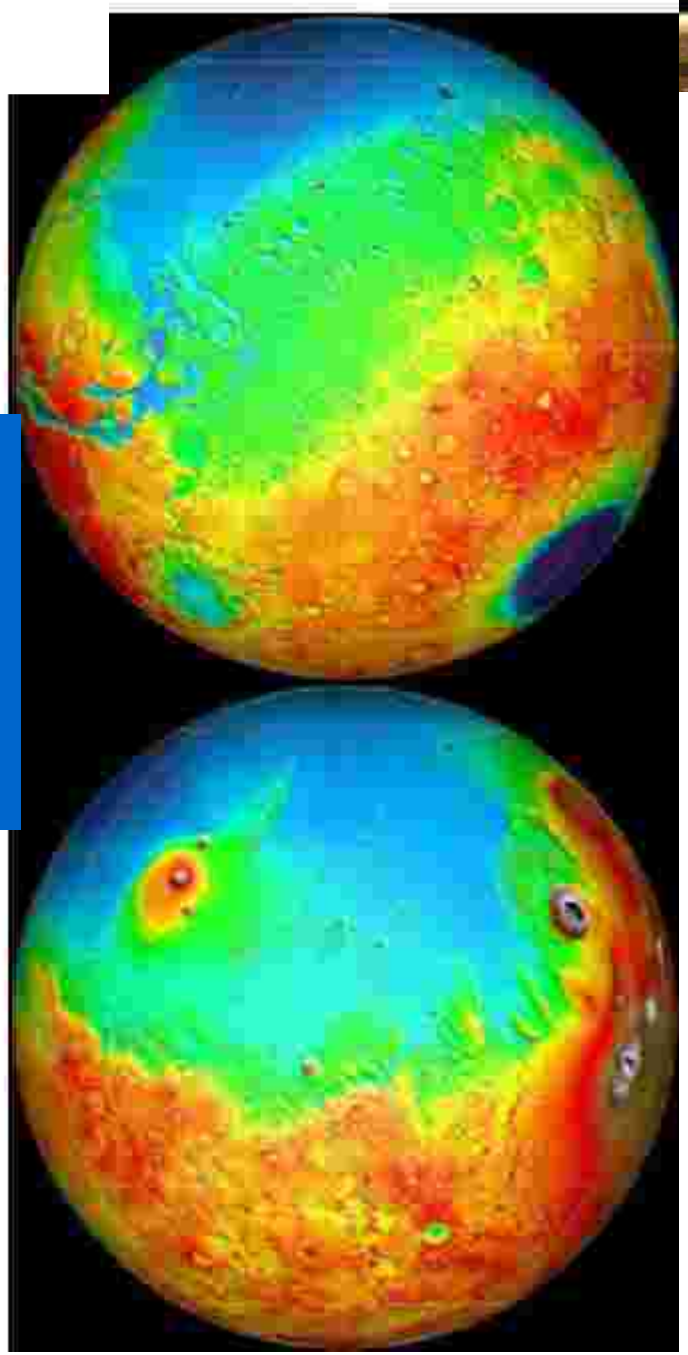
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.c

- Cartographie complète et précise de Mars en altitude et température
- **Le plus grand canyon du système solaire**, Valles Marineris, près de 4000km de long (les USA!) 2500m de profondeur en moyenne 10000m par endroits
- **Le plus haut volcan du système solaire** : Olympus Mons; 25km de haut, la moitié de la France en surface.
- Calcule masse d'eau des pôles = Groenland
- **Deux hémisphères différents**, le Nord avec de grands bassins (mer dans le passé?) et le Sud très cratérisé.
- Les vents jouent un grand rôle
- Résurgences liquides probables, des traces d'anciennes « rivières » sont apparentes
- La surface de Mars est riche en Fer Il y a approximativement 15 à 20% de Fer à la surface de Mars Ce fer s'est oxydé avec le temps et l'oxygène de l'atmosphère, **la planète est devenue….rouge**
- Mars a été comme toutes les planètes soumise à un bombardement météoritique incessant surtout au début de son histoire
- Beaucoup de questions en suspens

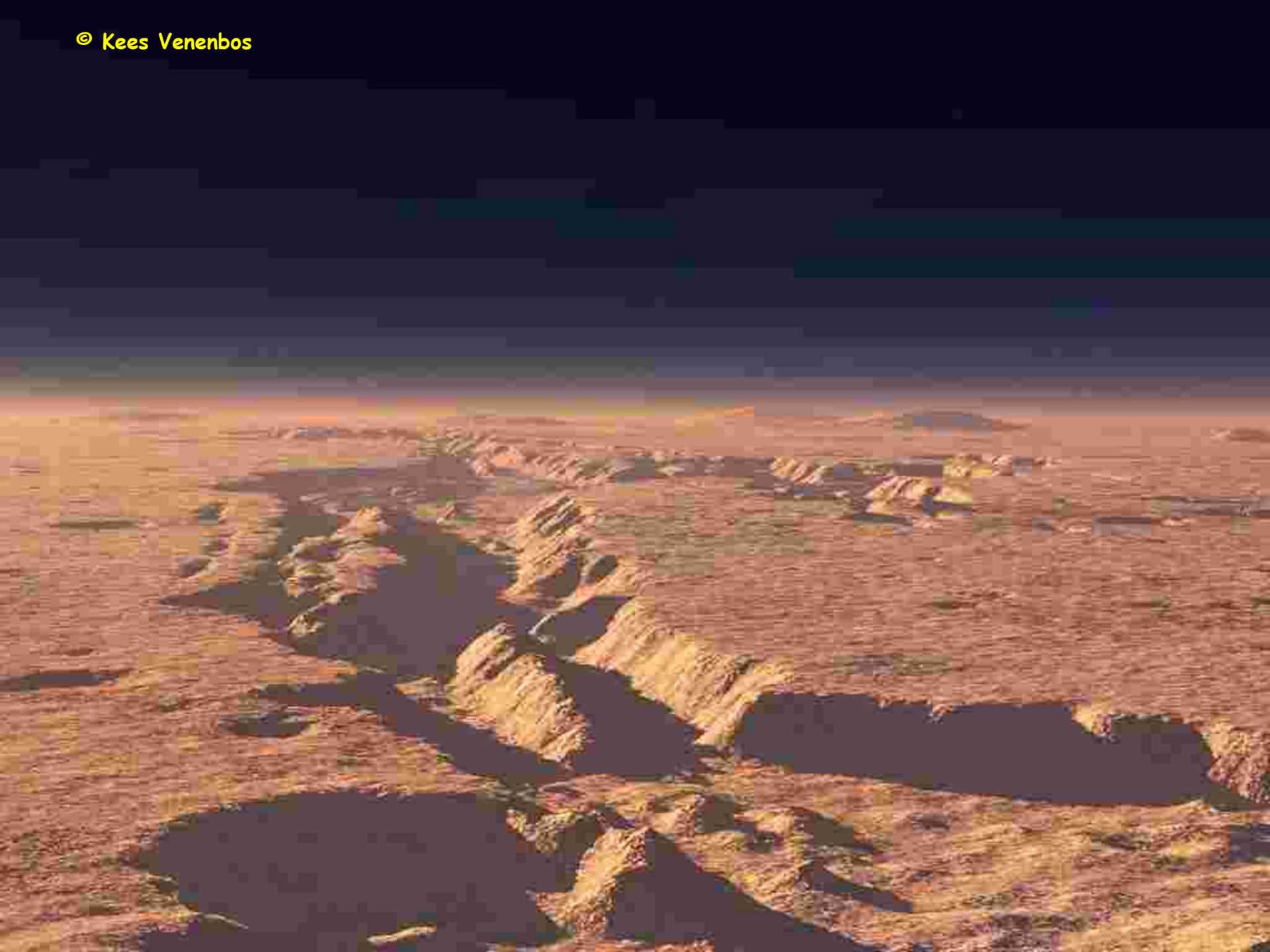
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

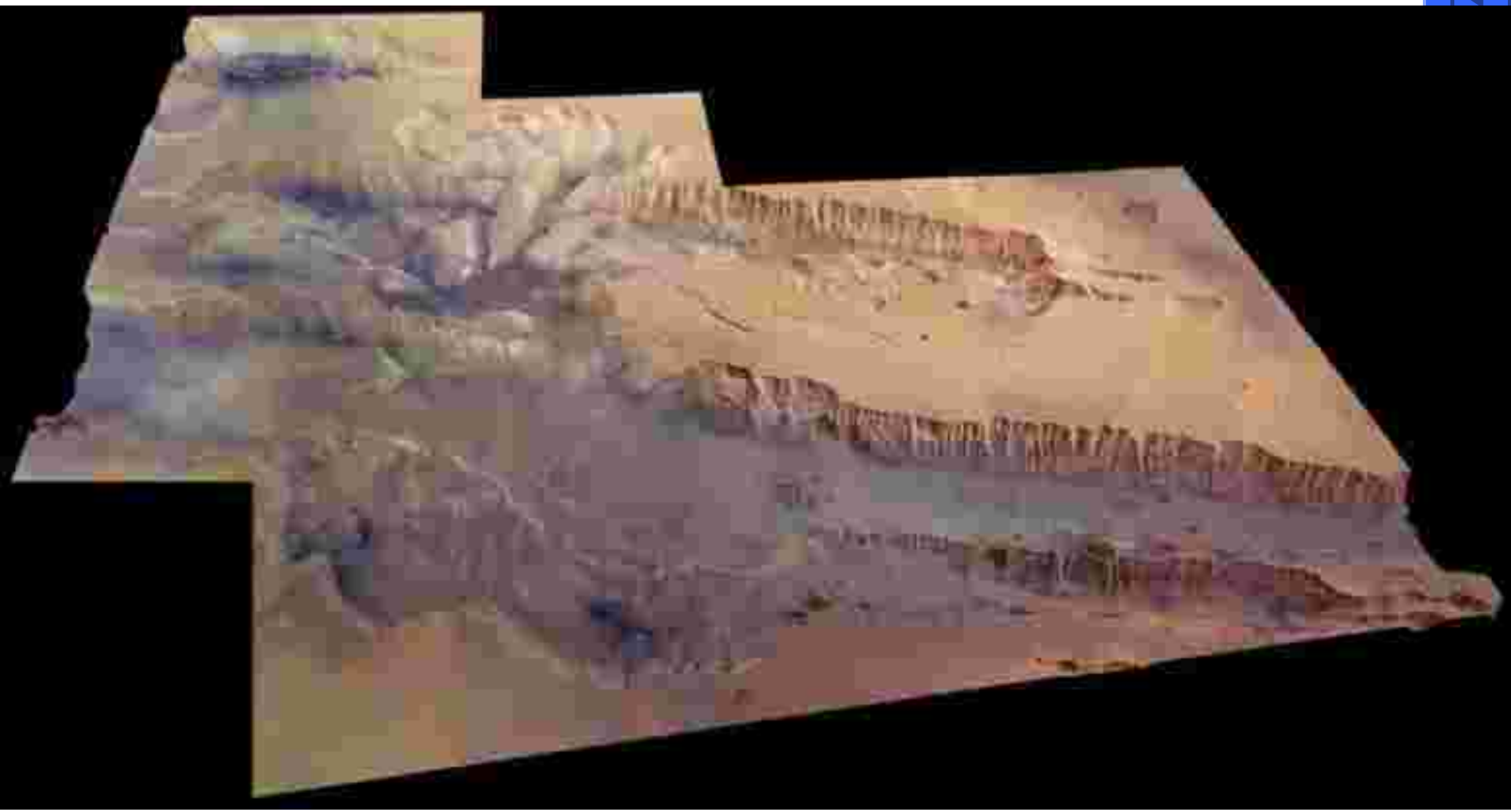


Hémisphère Nord en moyenne 5km plus bas que le Sud

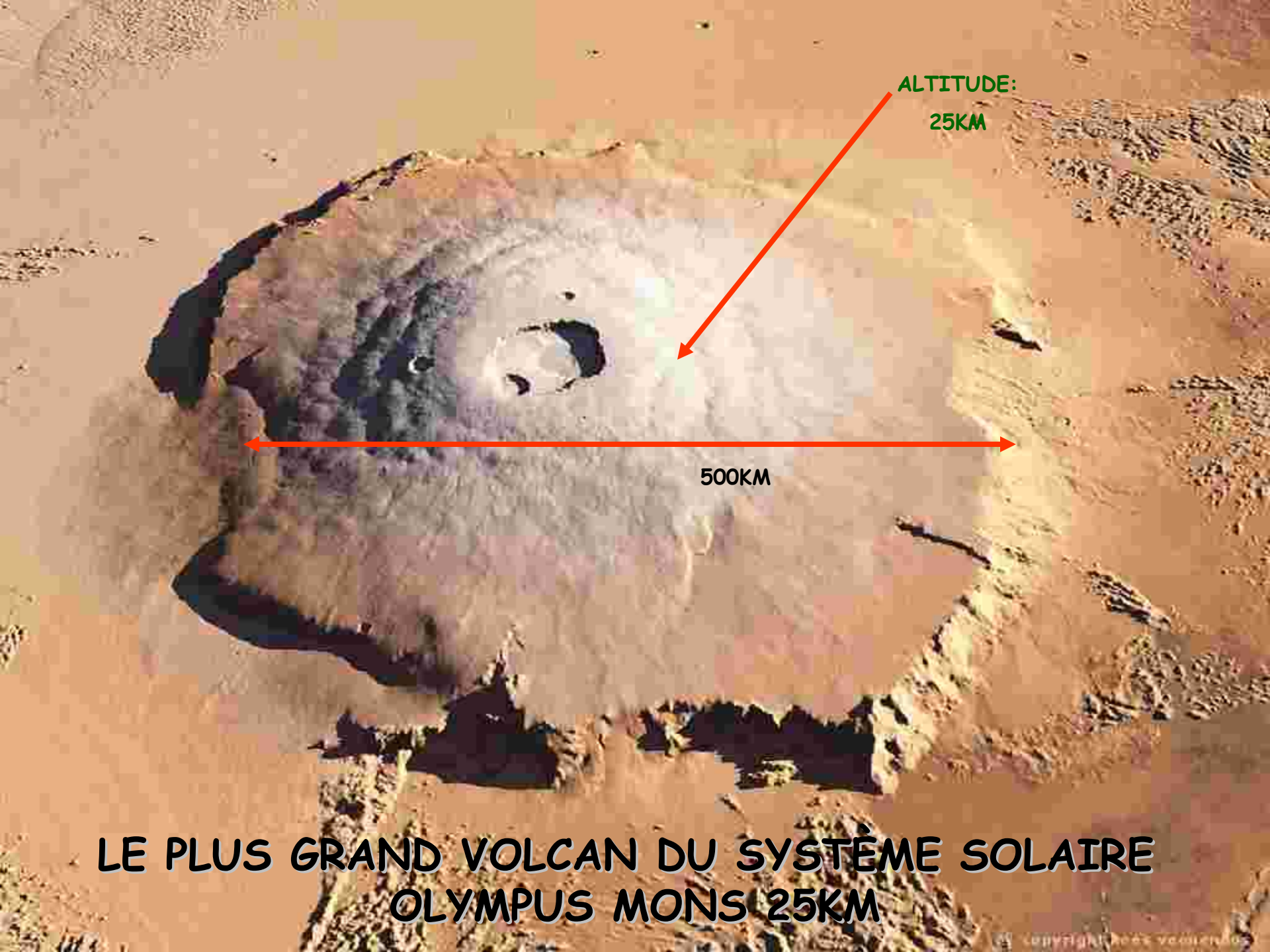


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com


© Kees Venenbos



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

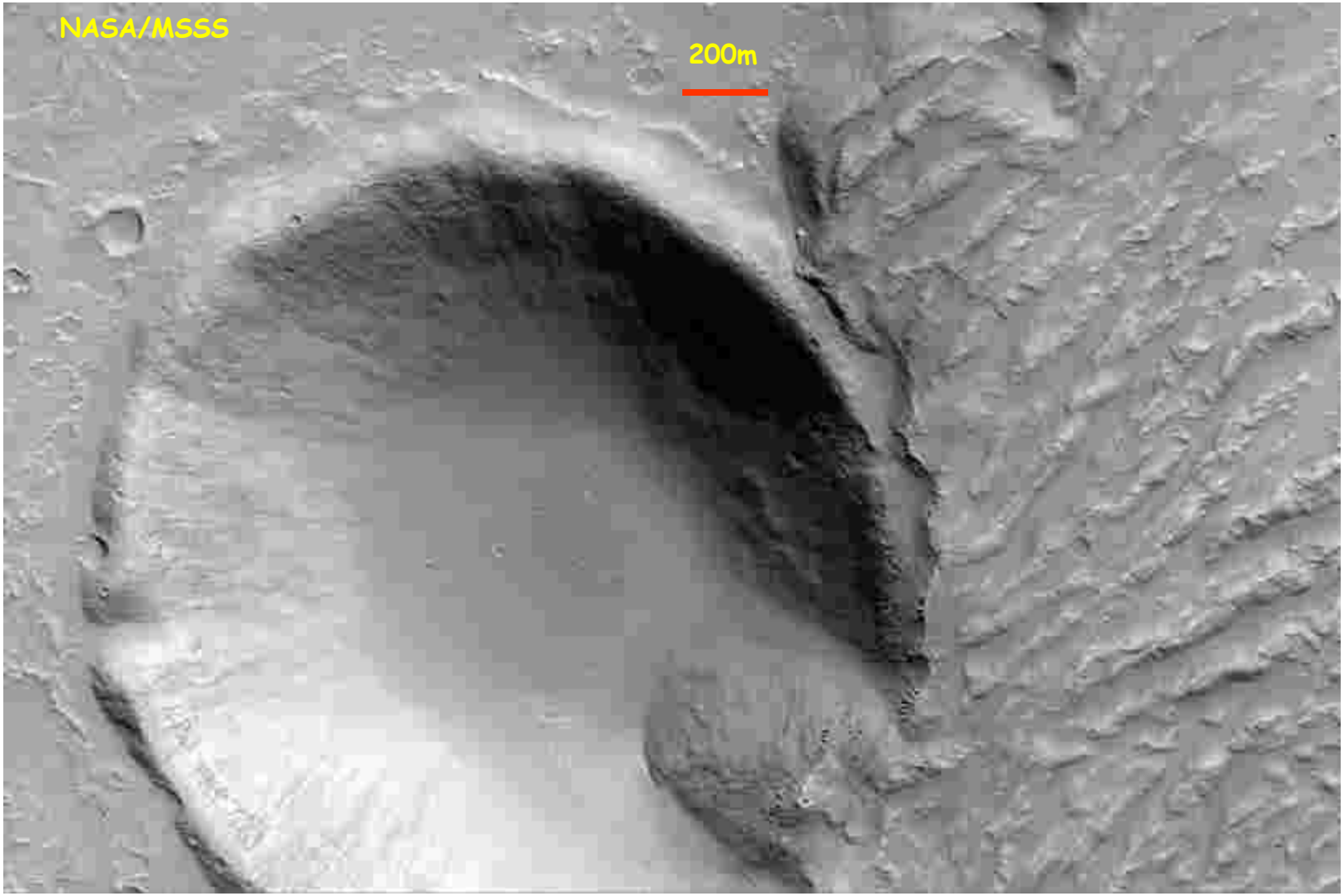


LE PLUS GRAND VOLCAN DU SYSTÈME SOLAIRE
OLYMPUS MONS 25KM

© copyright tous vacances

- Olympus Mons vu par Mars Express (Photo ESA/HRSC)

LA LAVE EST TRÈS PRÉSENTE



COULÉE DE LAVE AU SUD DE THARSIS (DIAM CRATÈRE 2KM)

31

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

PLANÈTE ROUGE

- À cause de la présence de « rouille » (Fer oxydé avec le peu d'Oxygène de l'atmosphère)

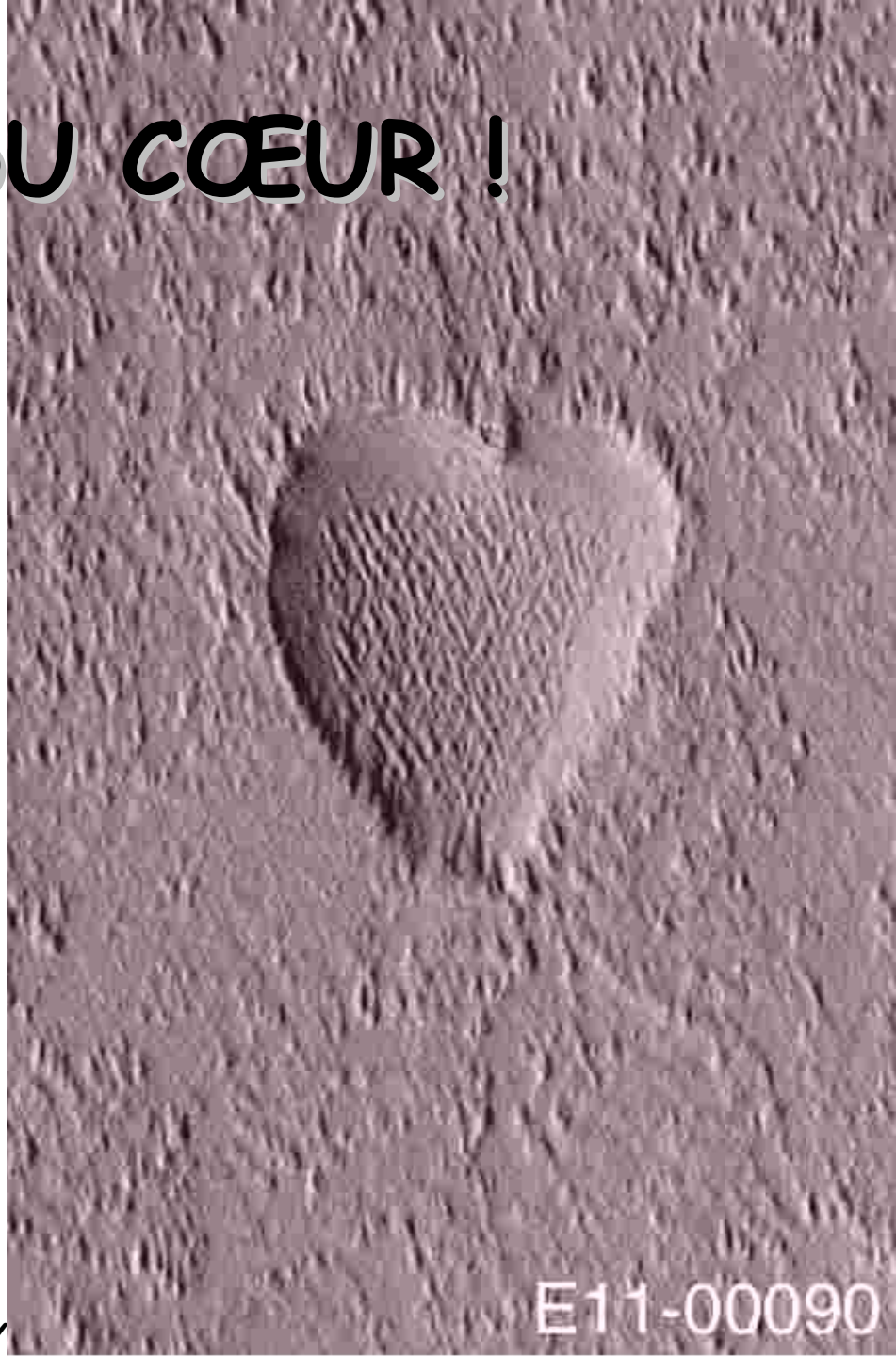
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

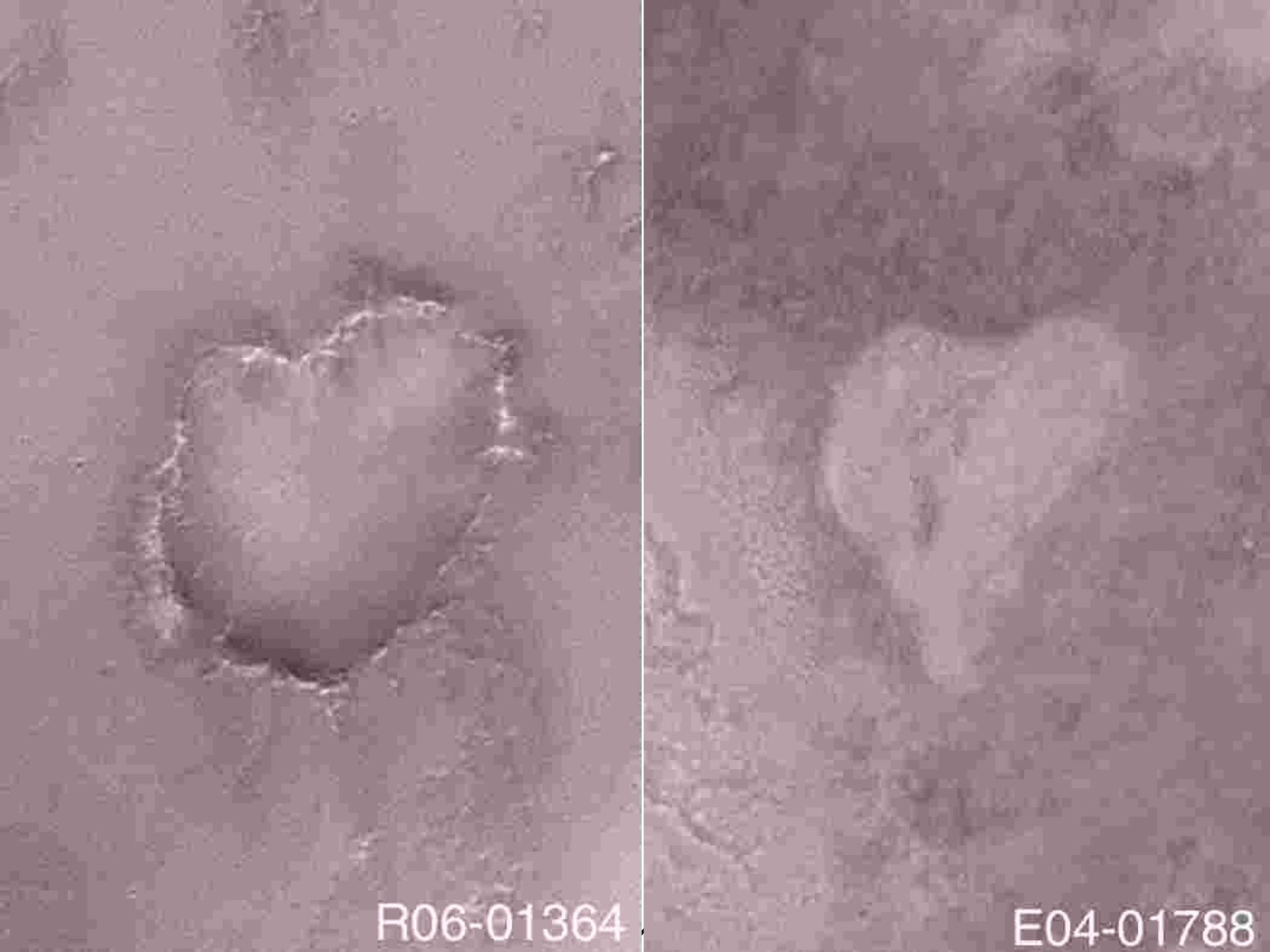
GLISSEMENT DE TERRAIN SUR MARS

- Ici Kasei Valles

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy

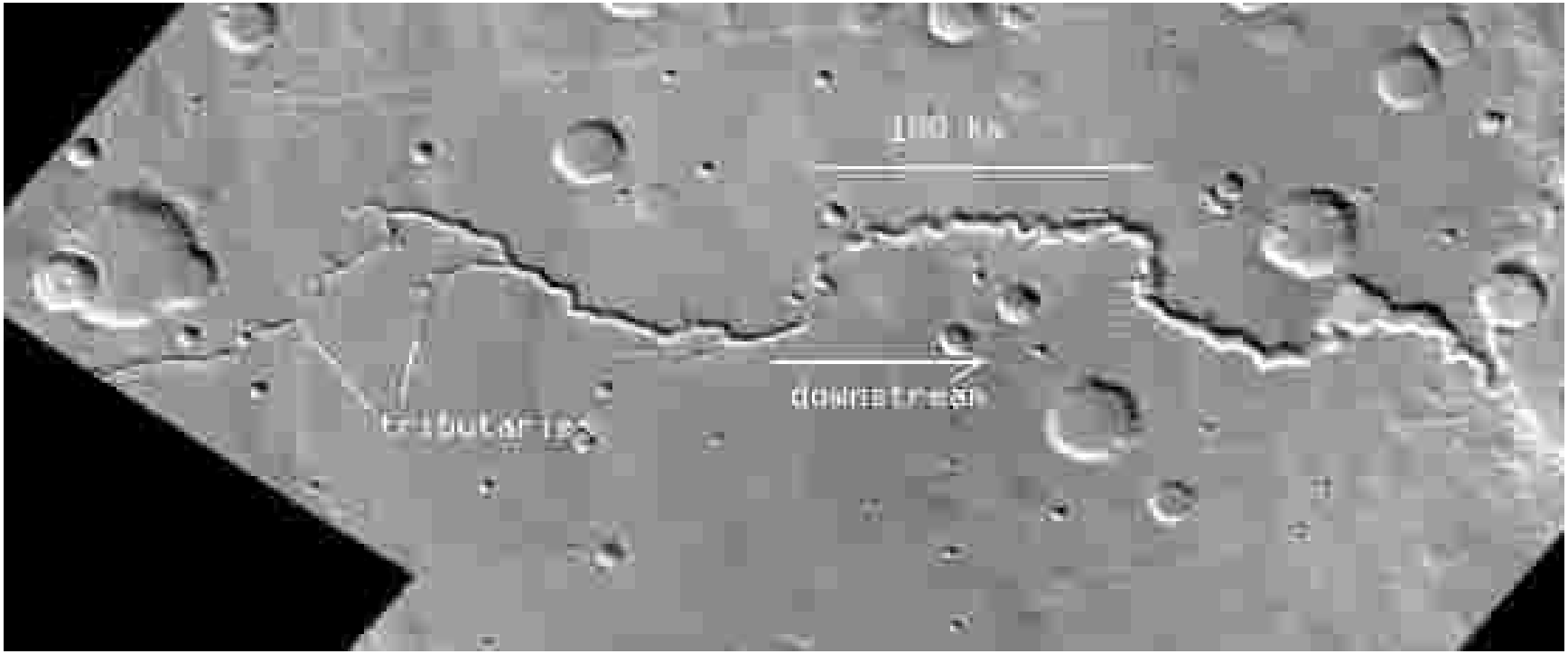
MARS A DU CŒUR !




R06-01364
E04-01788

Y-A-T'IL EU DE L'EAU SUR MARS ?

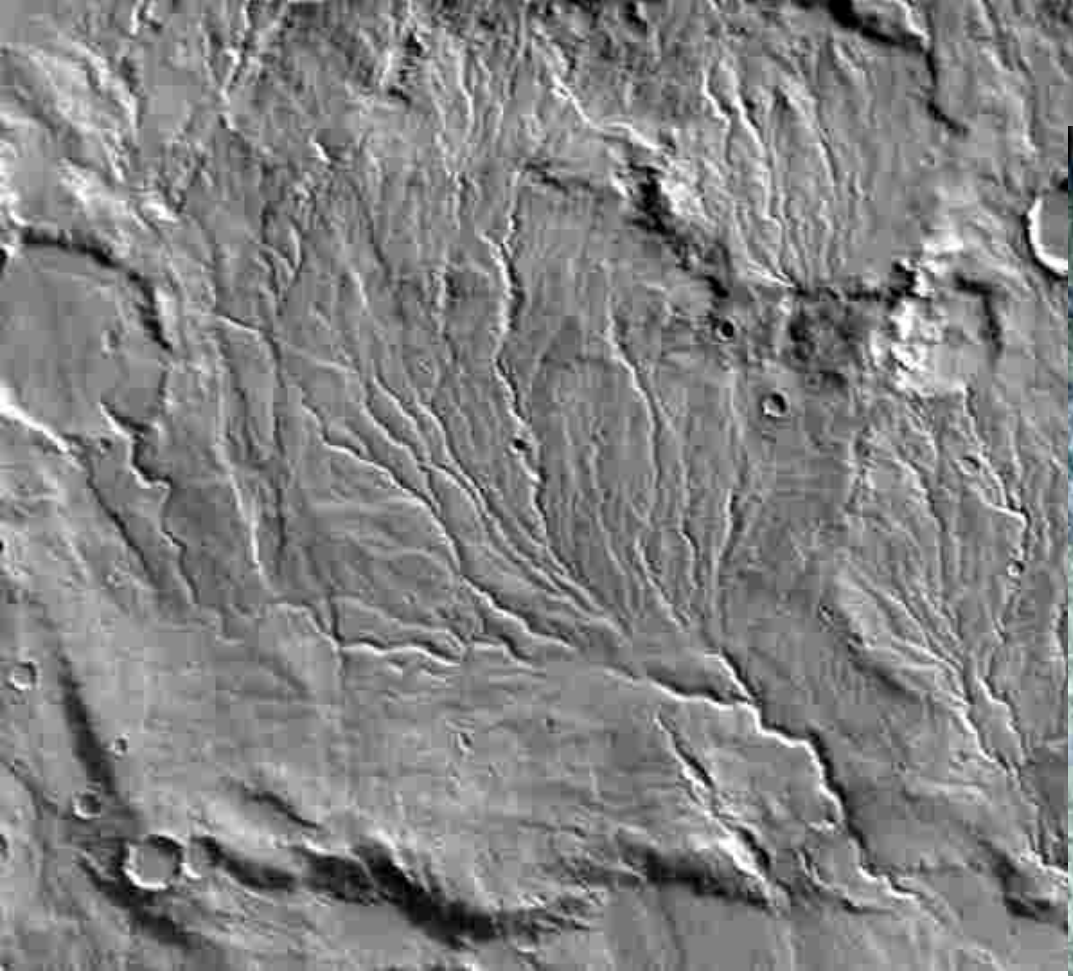
- Des traces d'anciennes « rivières » sont apparentes



Nirgal Vallis Mars Malin Space MSSS

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

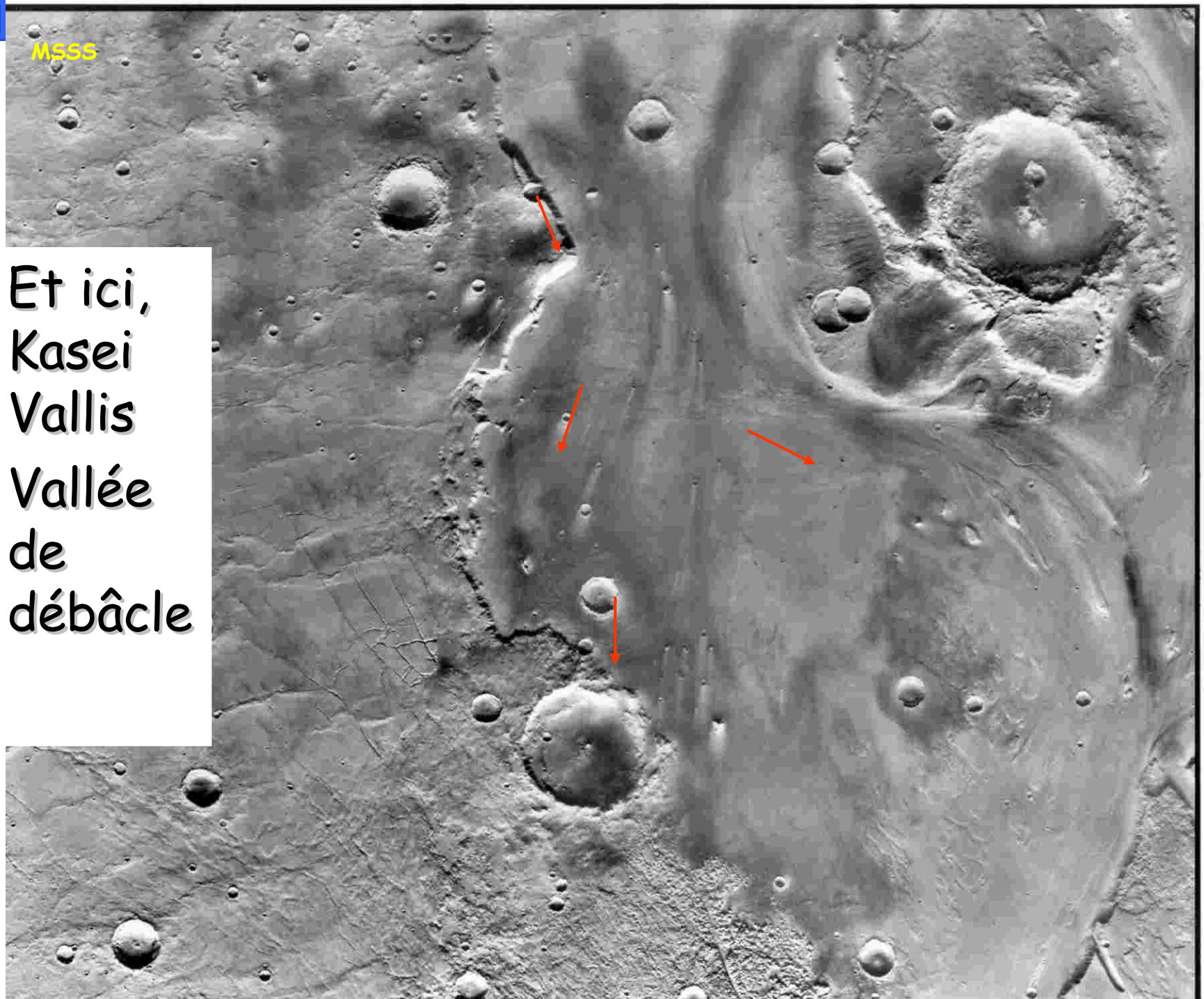
36



MARS

TERRE : YÉMEN UN ANCIEN
LIT DE RIVIÈRE

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

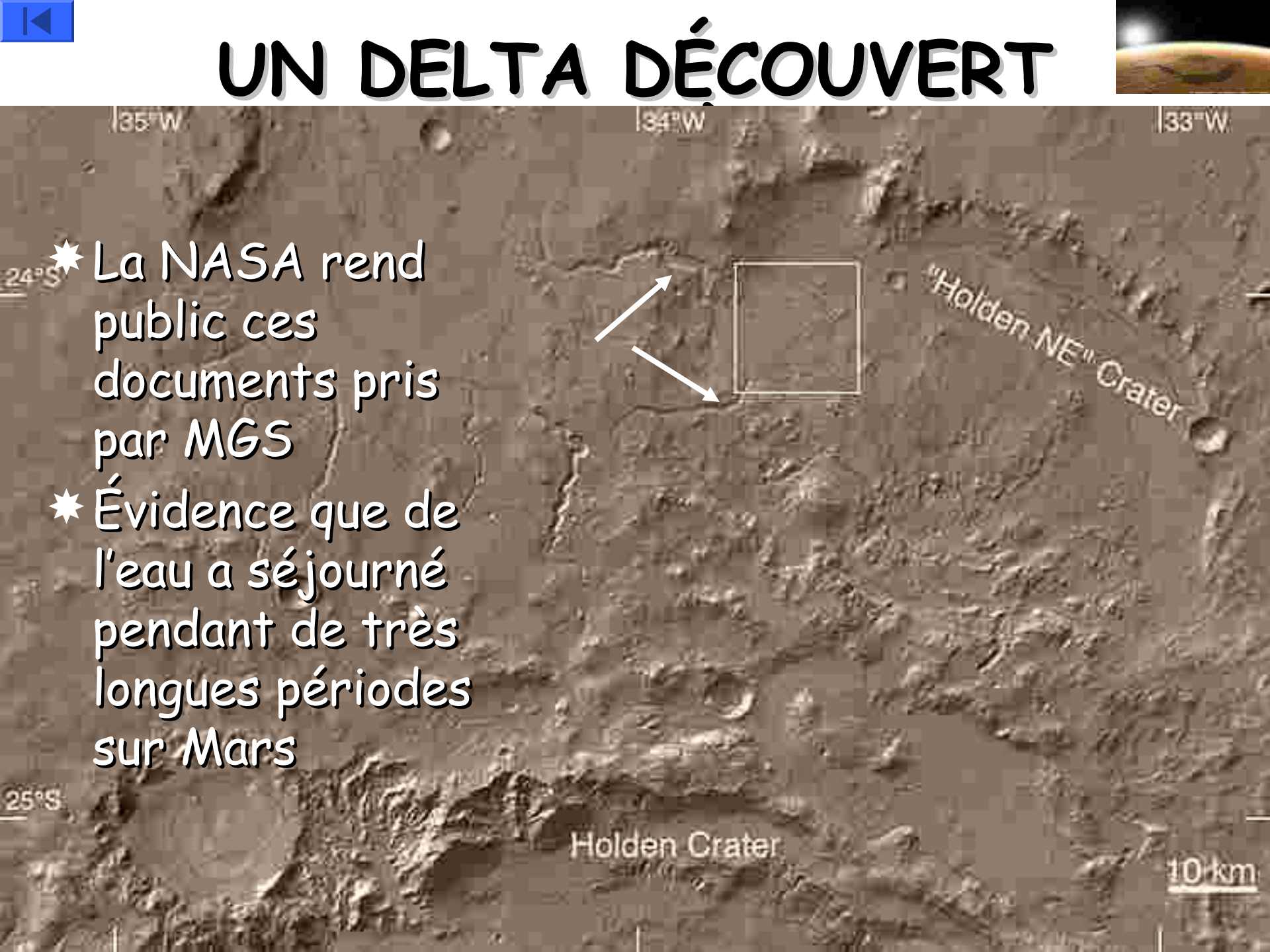


- Et ici, Kasei Vallis
- Vallée de débâcle

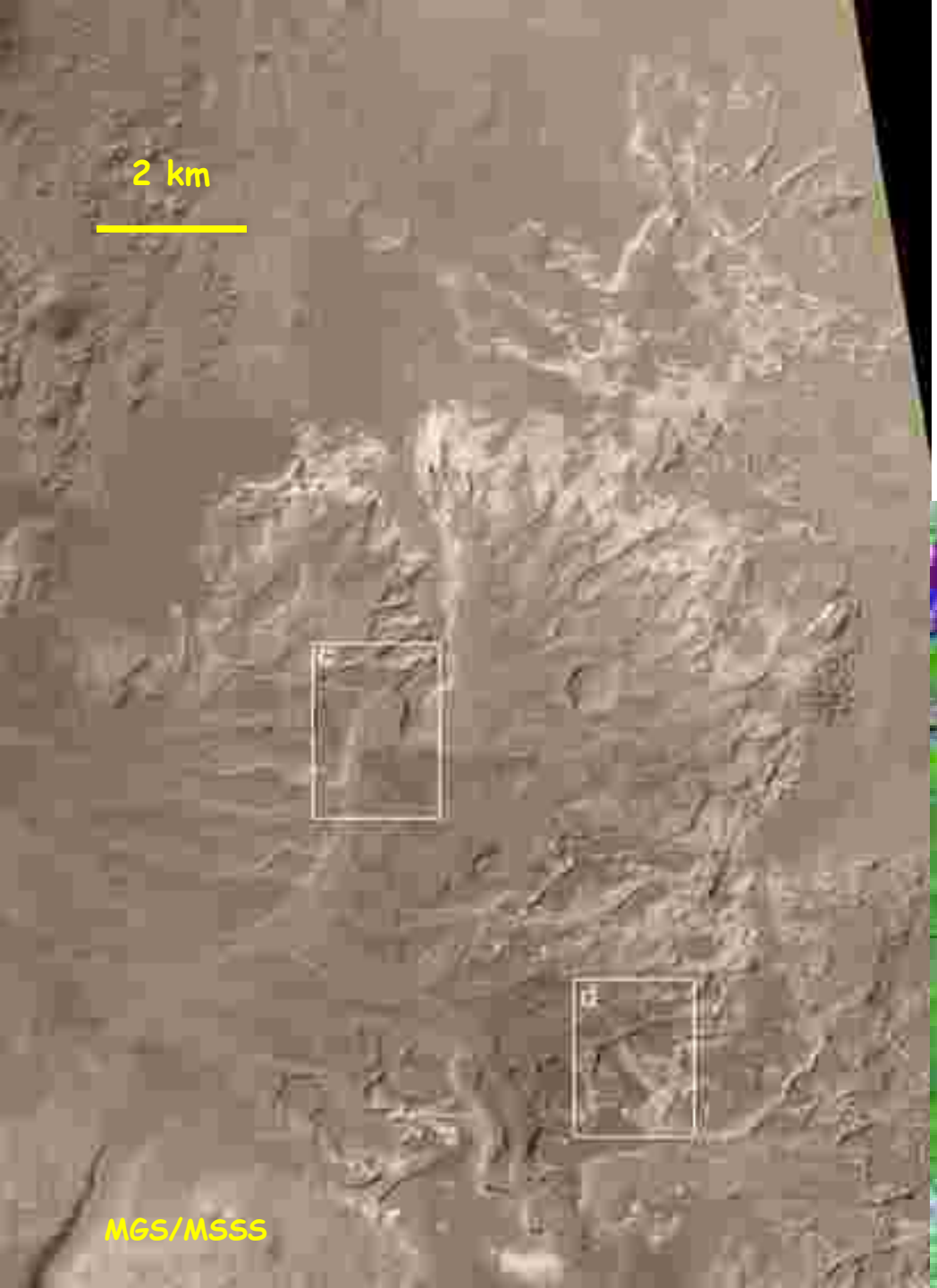
- Nanedi Vallis, cette photo couvre une largeur de 10km
- L'eau a creusé un sillon de plusieurs km de large

ON VOIT BIEN LE LIT DU « FLEUVE »

UN DELTA DÉCOUVERT



- La NASA rend public ces documents pris par MGS
- Évidence que de l'eau a séjourné pendant de très longues périodes sur Mars



C

DES
MÉANDRES

Par
comparaison
Le Gange
(Landsat)

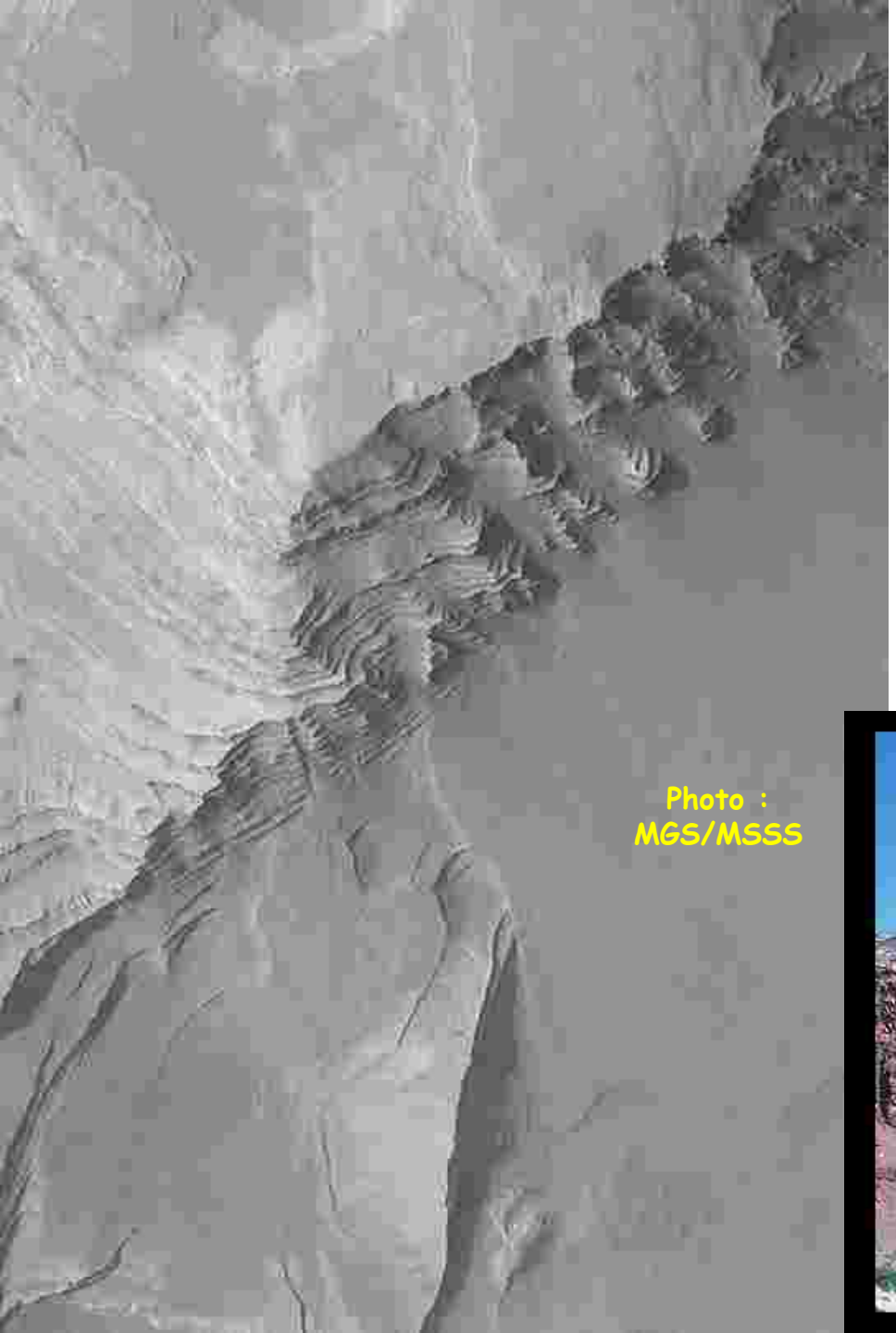


Photo :
MGS/MSSS

DES COUCHES SÉDIMENTAIRES COMME DANS LE GRAND CANYON

IL Y A EU BEAUCOUP D'EAU SUR MARS DANS LE PASSÉ

- On le voit bien sur les photos précédentes
- Les débits étaient probablement très importants
- Quels effets climatiques ont causé ces inondations?
- Une chaleur interne?; un changement de l'axe de Mars? il y a qq millions d'années l'inclinaison était de 35°; les météorites …
- Y aurait-il des cycles chaud/froid sur Mars?
- **OÙ EST PASSÉ L'EAU???**

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

GRANDE DÉCOUVERTE !

- Une découverte récente du Caltech : le Pôle Sud de Mars contient plein d'eau (avant on pensait que c'était principalement du CO2) sur 1km d'épaisseur
  - **Les pôles N et S contiennent donc principalement de la glace d'eau** recouverte d'une mince couche de glace carbonique

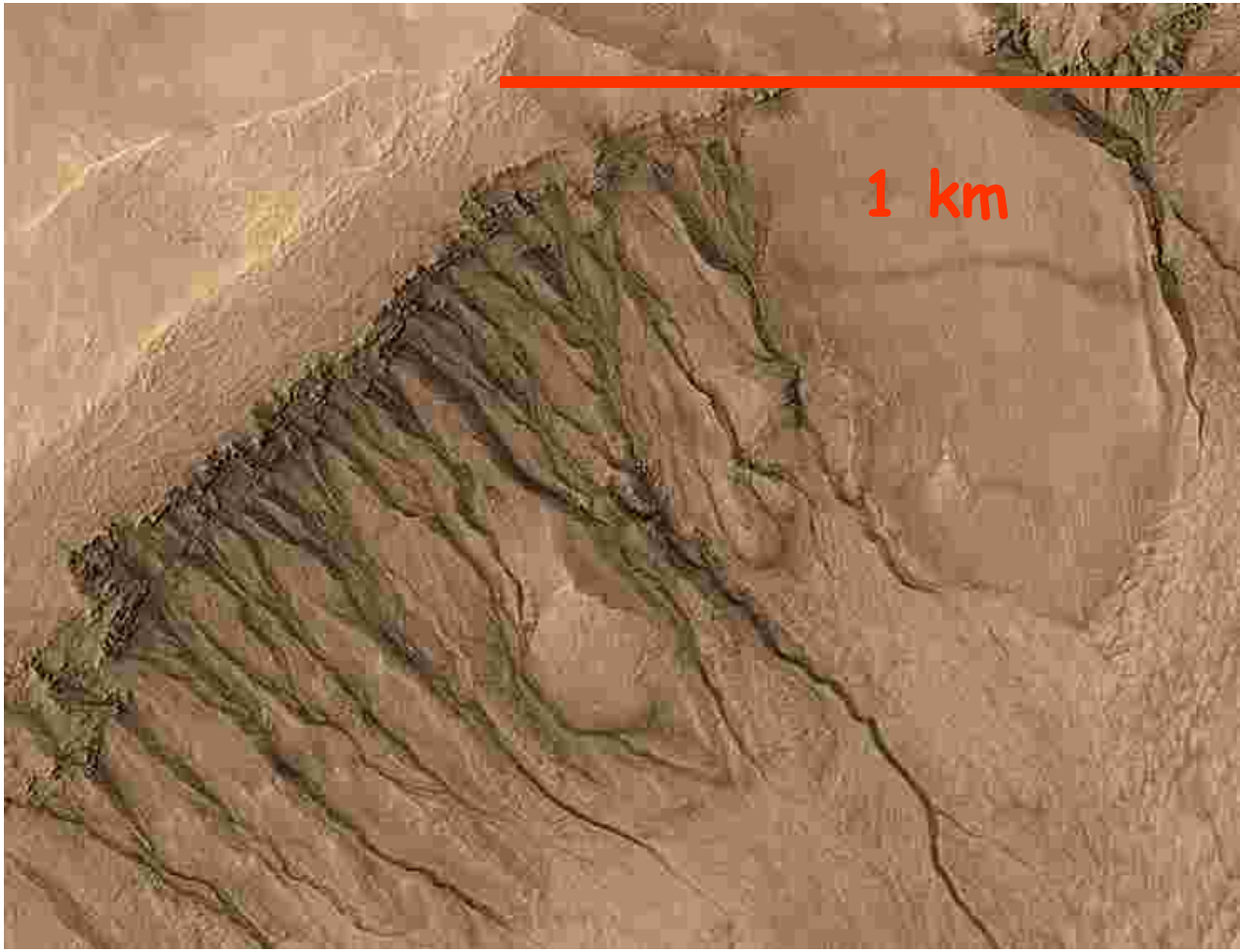
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

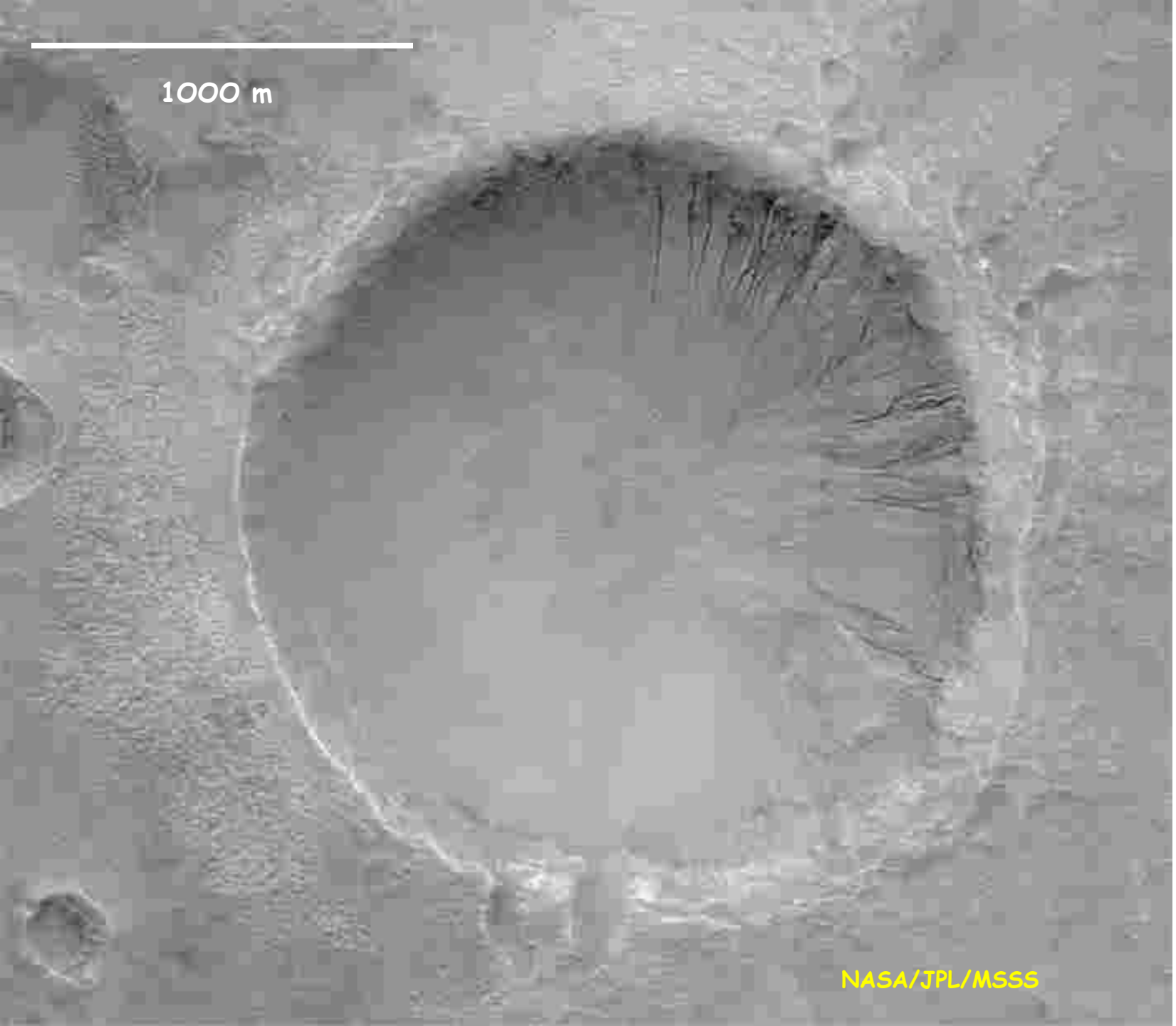
- Les Pôles N et S seraient identiques en composition, le N aurait 1m de glace carbonique (fond en été) et le S un peu plus, 8m qui ne fondrait pas totalement
- C'est une bonne et une mauvaise nouvelle à la fois :
- Bonne : pour une expédition humaine, on n'a plus besoin d'emmener une réserve immense d'eau
- Mauvaise : il semble qu'il n'y ait pas assez de CO2 sur Mars pour déclencher un effet de serre, afin de rendre Mars plus chaude (voir Terraforming). Mars serait le seule planète terrestre avec si peu de CO2 pourquoi??

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

MAIS IL N'Y A PAS DE L'EAU QU'AUX PÔLES

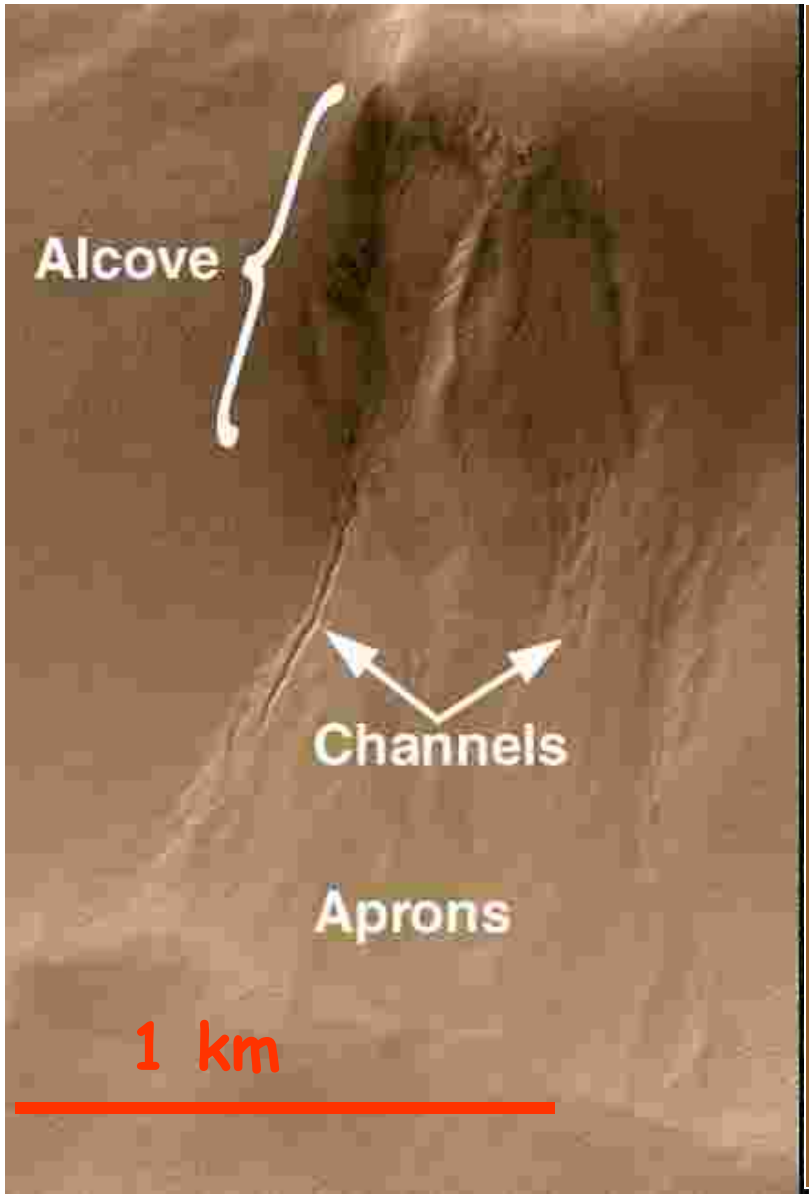
- Il semble qu'elle se soit écoulée en certains endroits (ravines, « gullies » en anglais) avant de se sublimer





NASA/JPL/MSSS

LES RAVINES



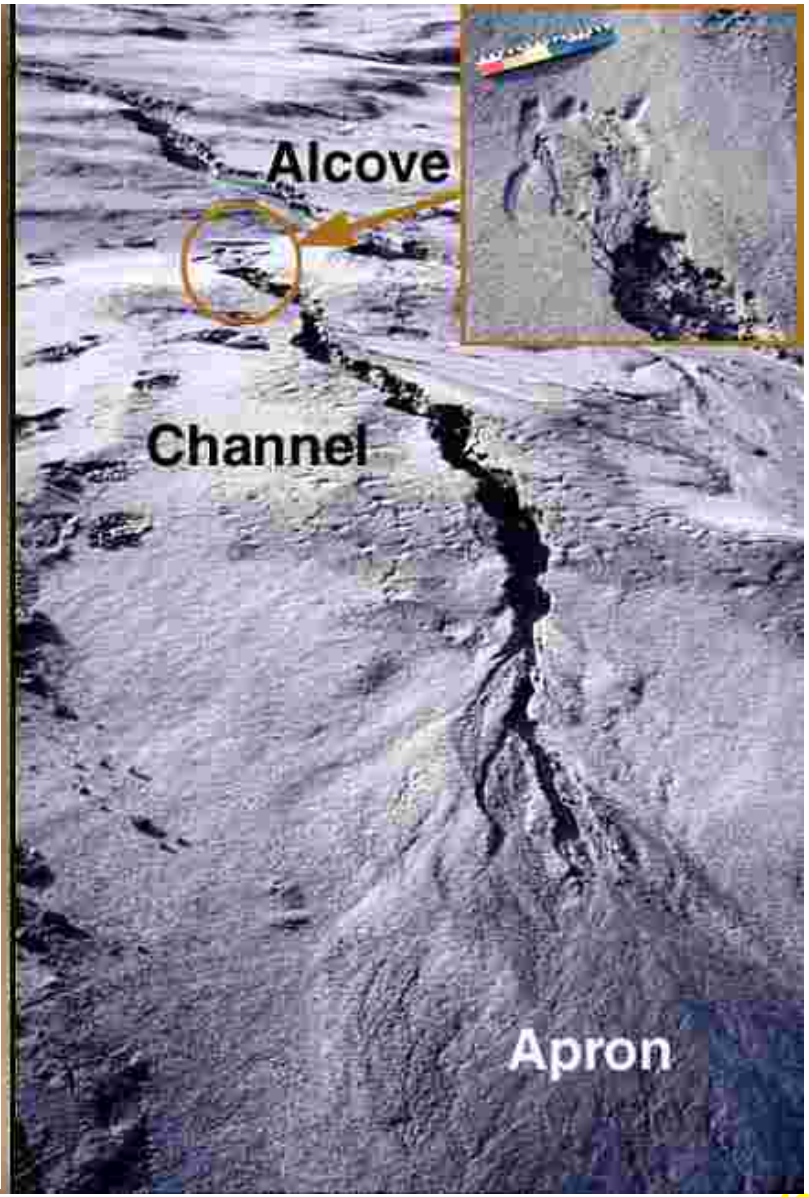
DE L'EAU S'ÉCOULE DES PENTES DU CRATÈRE

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

48

LES RAVINES

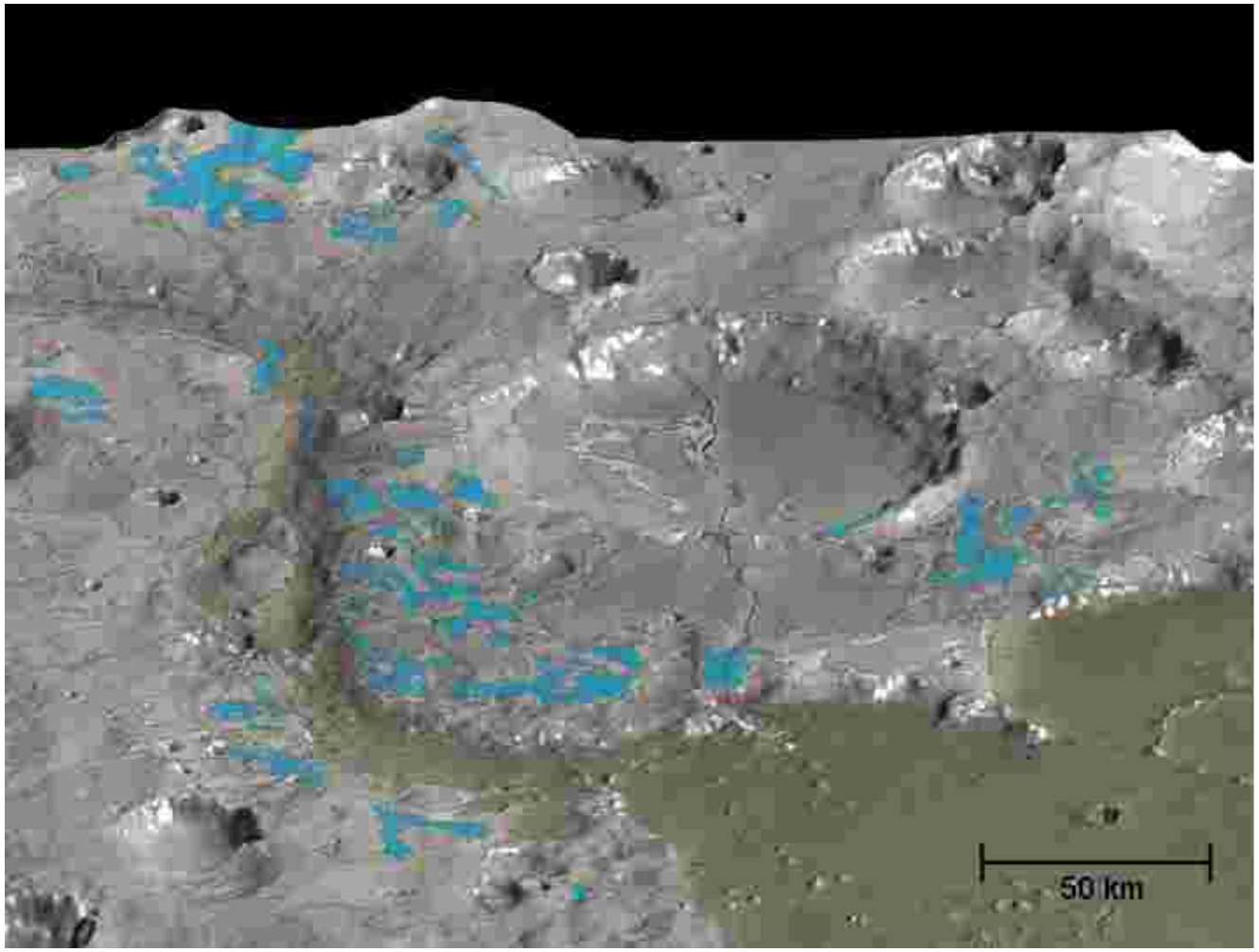
DE MÊME SUR CETTE PHOTO , DE L'EAU S'ÉCOULE DES PENTES DU CRATÈRE



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

49

LES ARGILES



- Les argiles découvertes par MEX sont plutôt sur les plateaux
- Ils prouvent l'existence passée d'eau pendant de longues périodes.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- un beau spectacle de vallée de débâcle indiquant clairement qu'un liquide a coulé à cet endroit.
- C'est la vallée Reull Vallis qui a été creusée il y a longtemps par un flot d'eau et de glace. Elle s'étend sur 1500km dans les hautes terres de l'hémisphère Sud,

© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

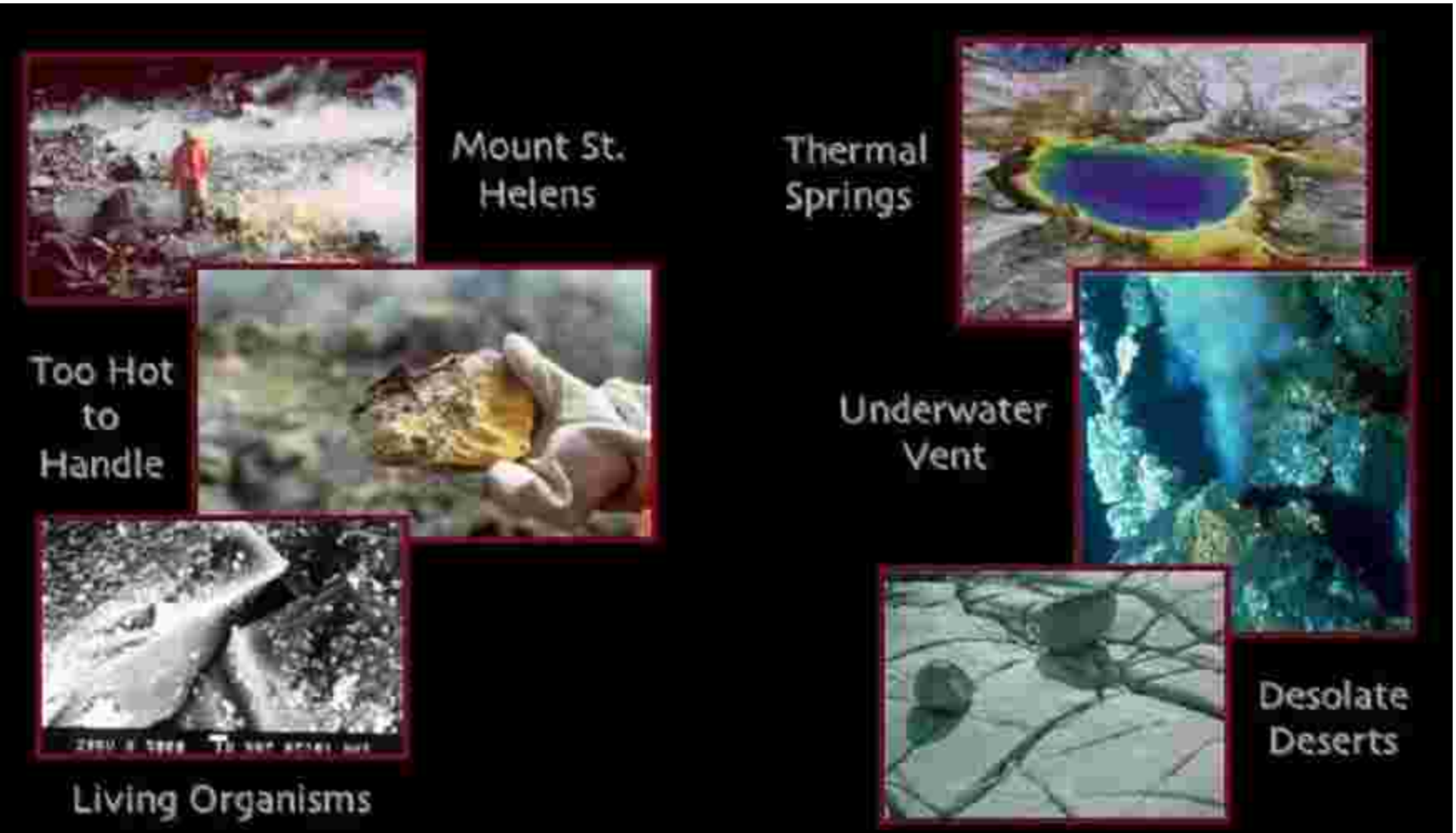
MARS : HISTOIRE D'EAU !!!

- On peut donc en ce début de XXIème siècle faire le point sur la présence d'eau sur Mars :
- 1) Présence en sub-surface d'énorme quantité d'eau solide incorporée dans le sol dans les régions près des pôles (permafrost)
- 2) Contrairement à ce que l'on pensait depuis plus de 30 ans , les Pôles sont principalement de la glace d'eau et non de CO2
- 3) Il y a en certains endroits sur les parois les plus froides de cratères des résurgences RÉCENTES d'eau
- De nouvelles missions doivent confirmer encore tout cela

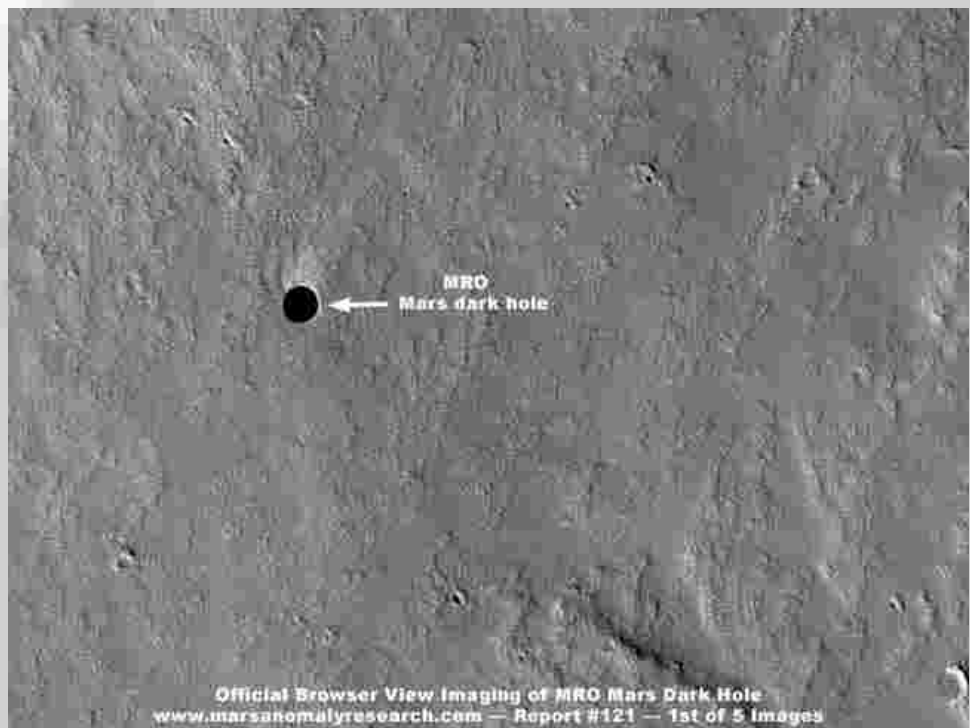
52
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

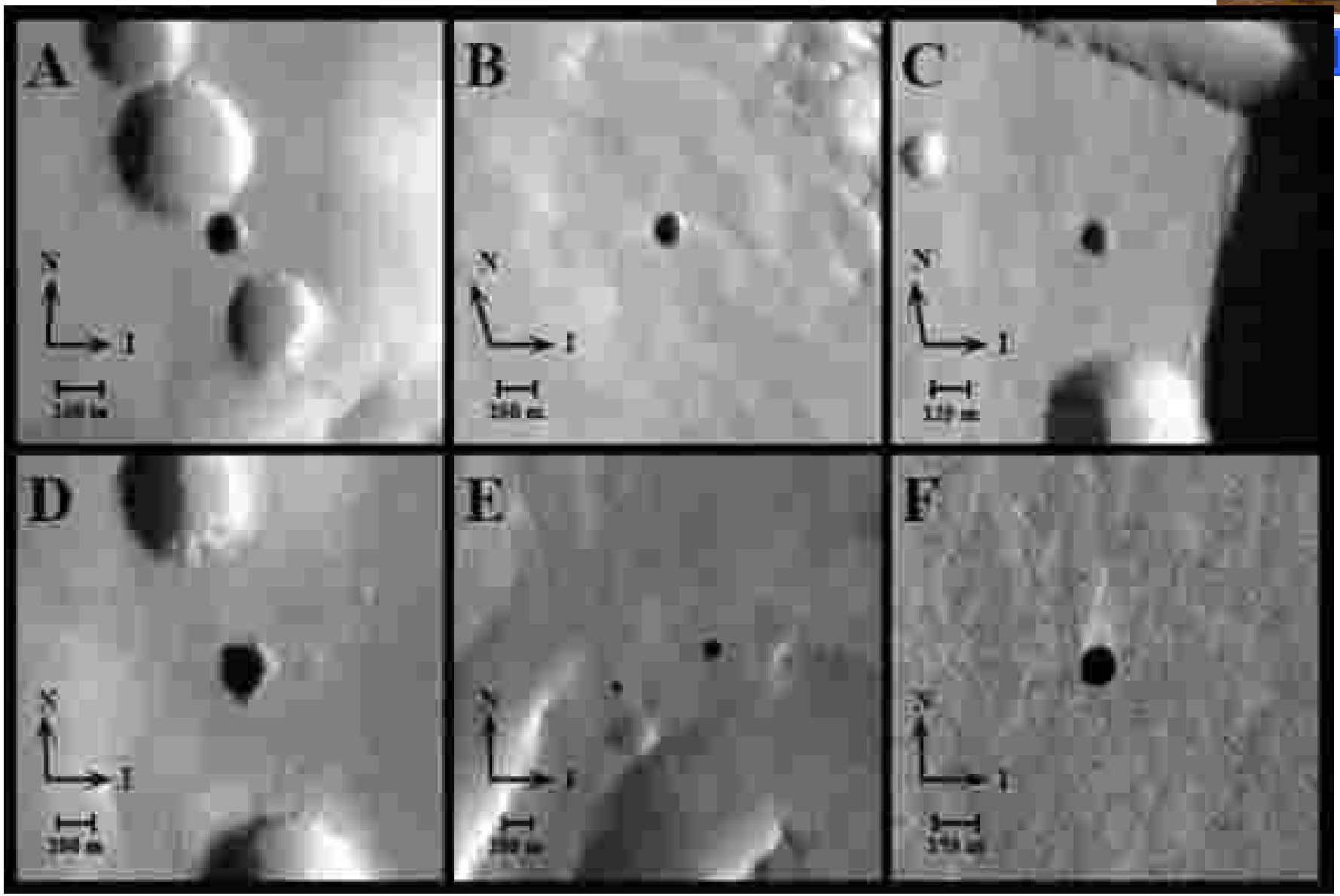
LA VIE ?

- Sur Terre la vie est apparue il y a 4 milliards d'années. On trouve la vie même dans les milieux les plus hostiles



Y a-t-il de la vie au fond de certains trous que l'on trouve ça et là??





© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

55

LA VIE SUR MARS ?

- Pas impossible, mais……..
- Il y a quelques problèmes ou handicaps:
  - La vie nécessite des molécules complexes (**chimie organique**) qu'il va falloir trouver
  - La vie nécessite de **l'eau liquide** : possible qu'il y en ait en certains endroits , à vérifier
  - La vie peut être **détruite par les UV**, or l'atmosphère martienne n'a pas assez d'ozone pour les bloquer
  - Le **champ magnétique martien est aussi trop faible** pour protéger contre les particules solaires comme sur Terre
- Alors……

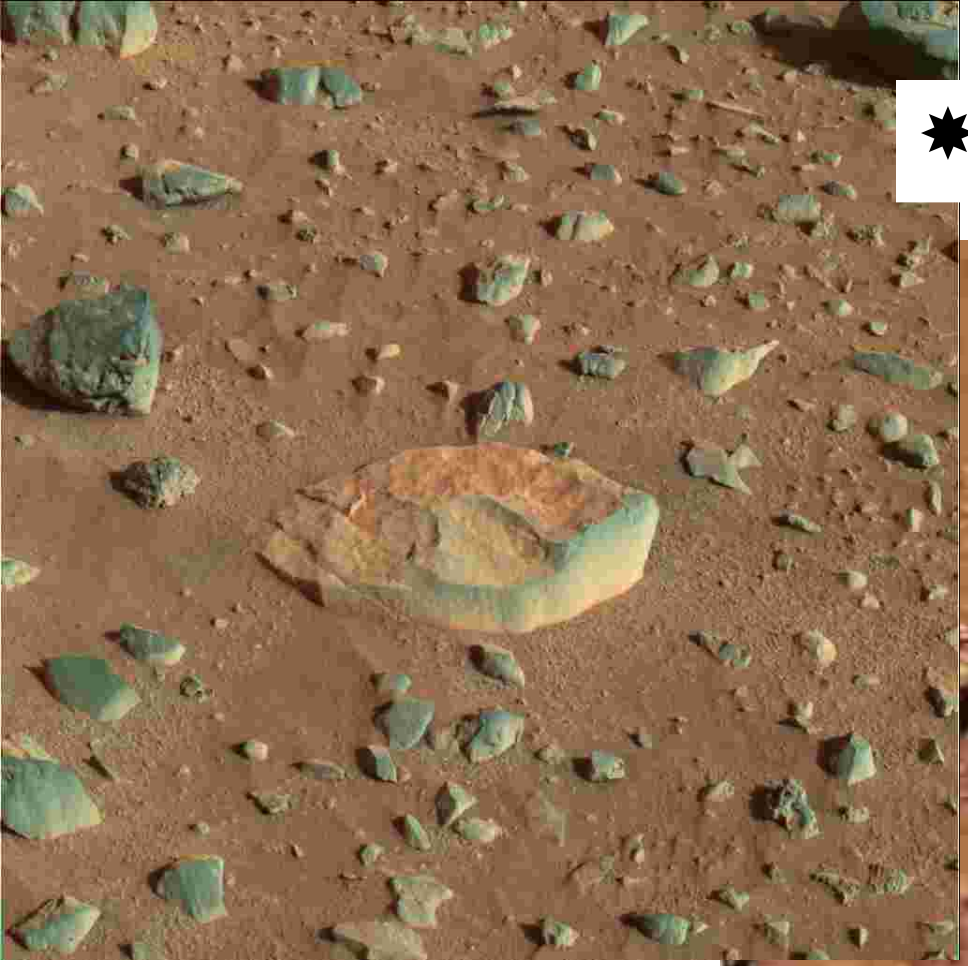
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

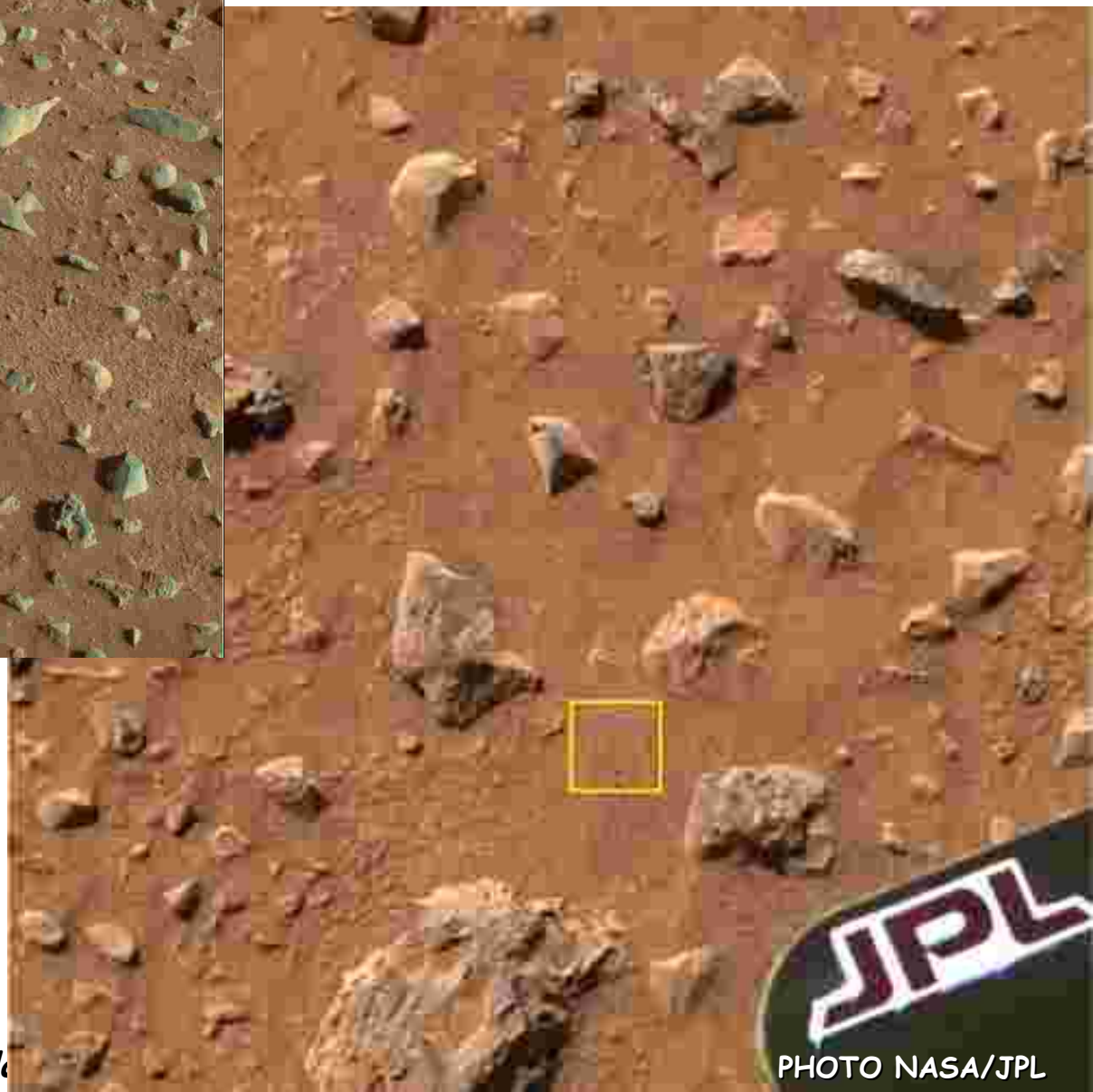
SOMMES NOUS DES MARTIENS ???

- La vie sur Terre est apparue presque au tout début : vers 4 Milliards d'années
- Probablement, un phénomène similaire s'est produit sur notre sœur Mars
- Mars étant plus petite et plus loin du Soleil que la Terre, s'est refroidie plus vite
- La vie aurait pu apparaître sur Mars avant d'apparaître sur Terre
- A-t-on été ensemencé par des météorites martiennes?
- Si oui, les Martiens, c'est NOUS!!

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

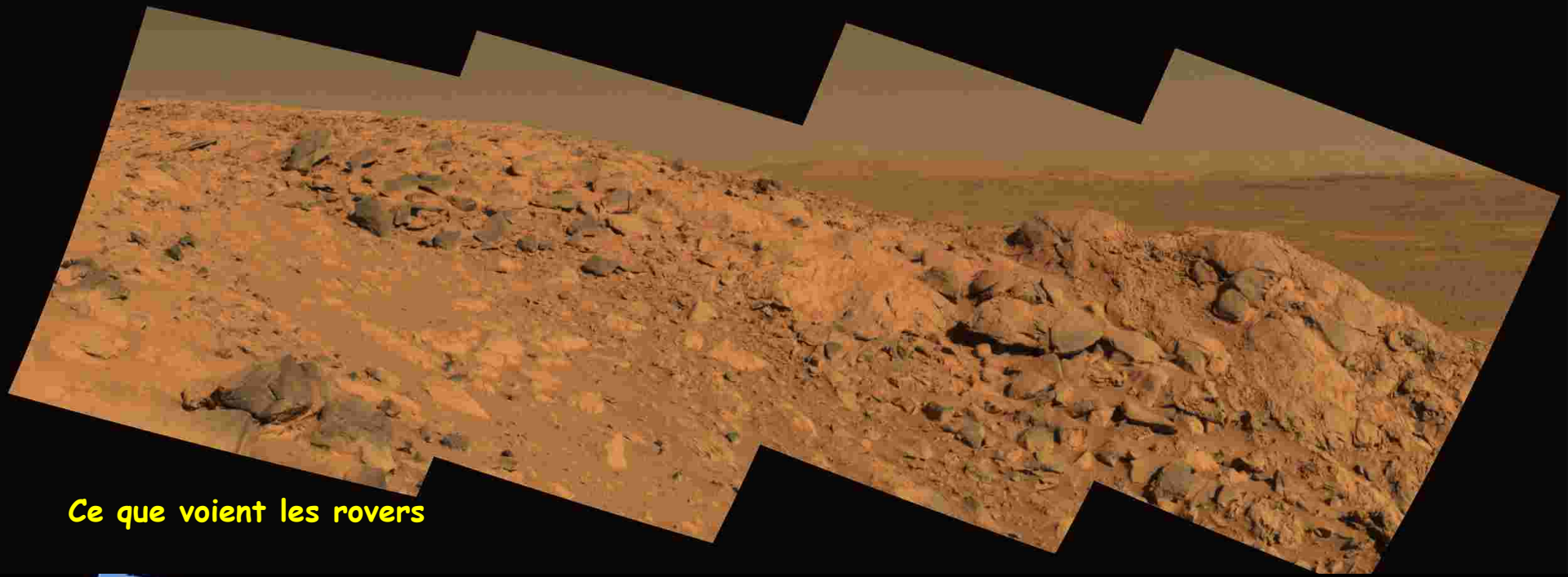
✸ Continuons l'exploration



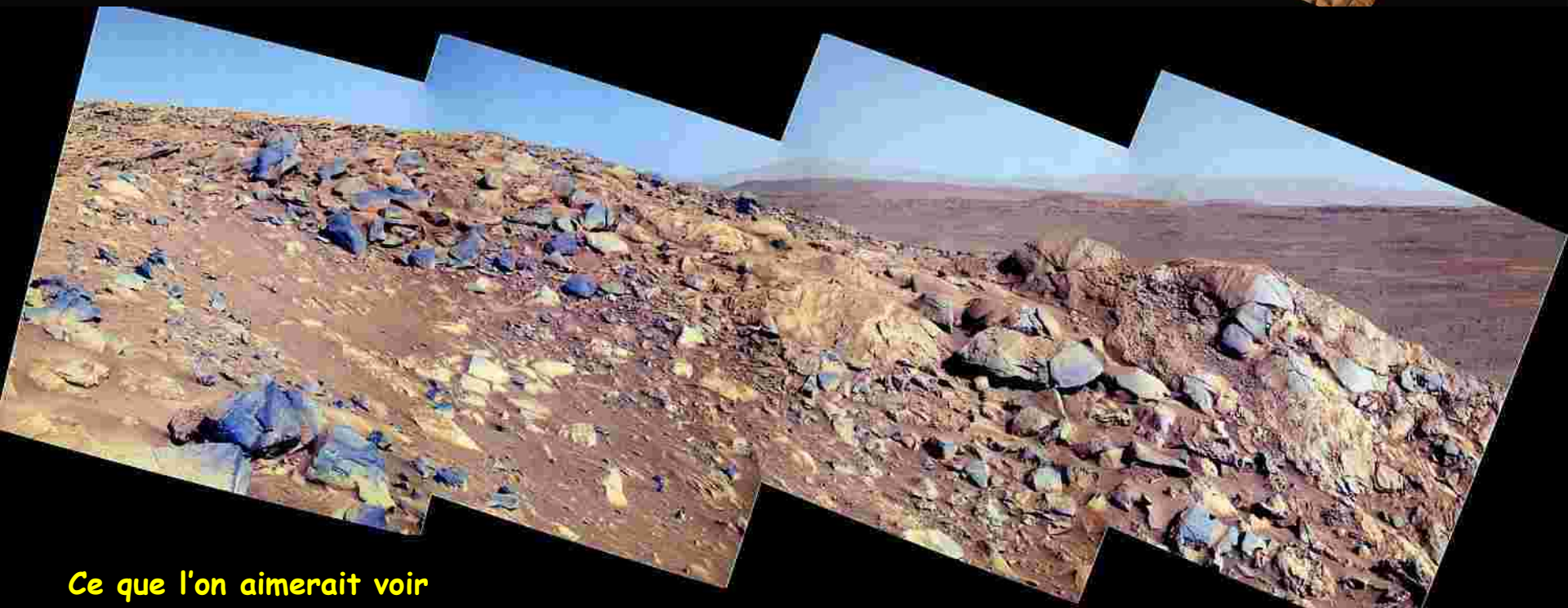


© Jean-Pierre MARTIN www.pl

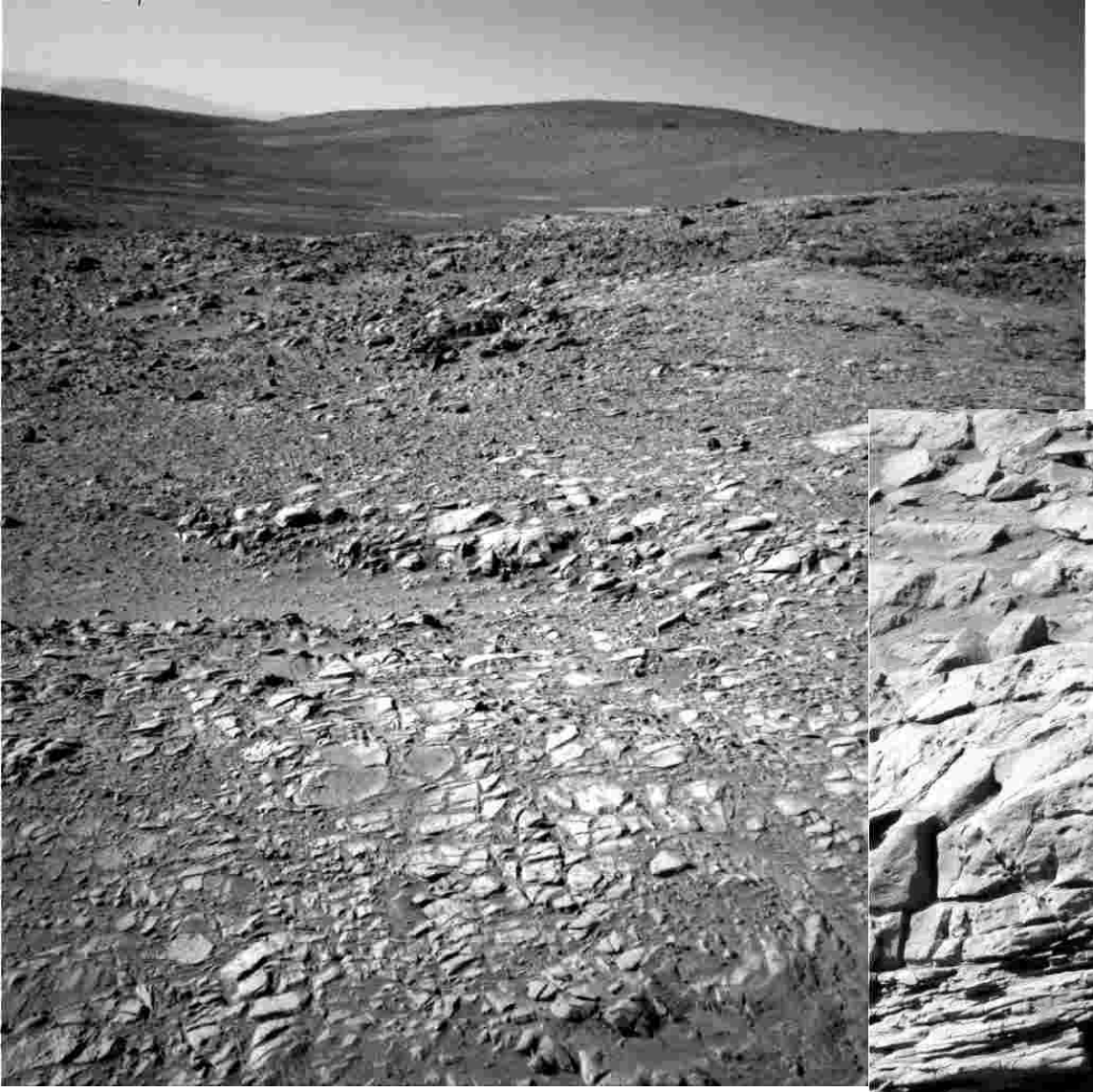
PHOTO NASA/JPL

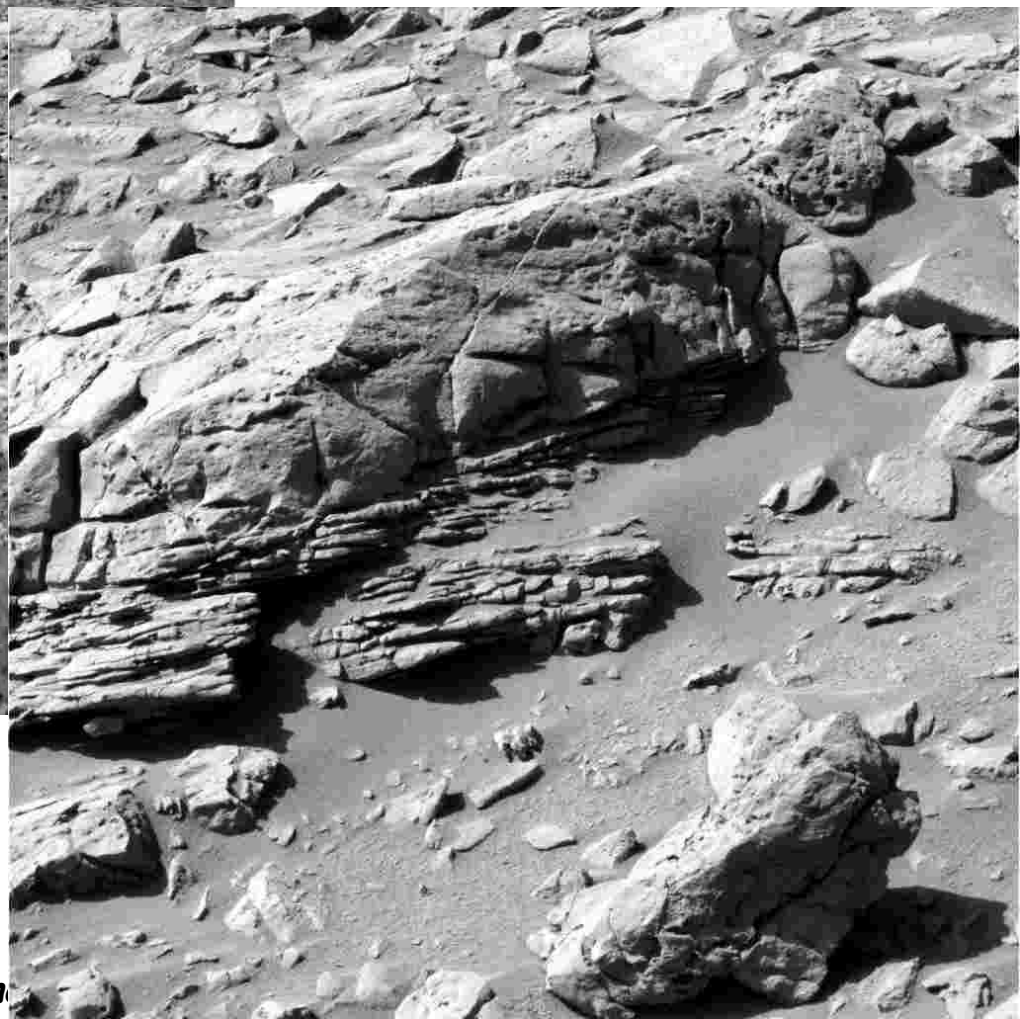


Ce que voient les rovers



Ce que l'on aimerait voir



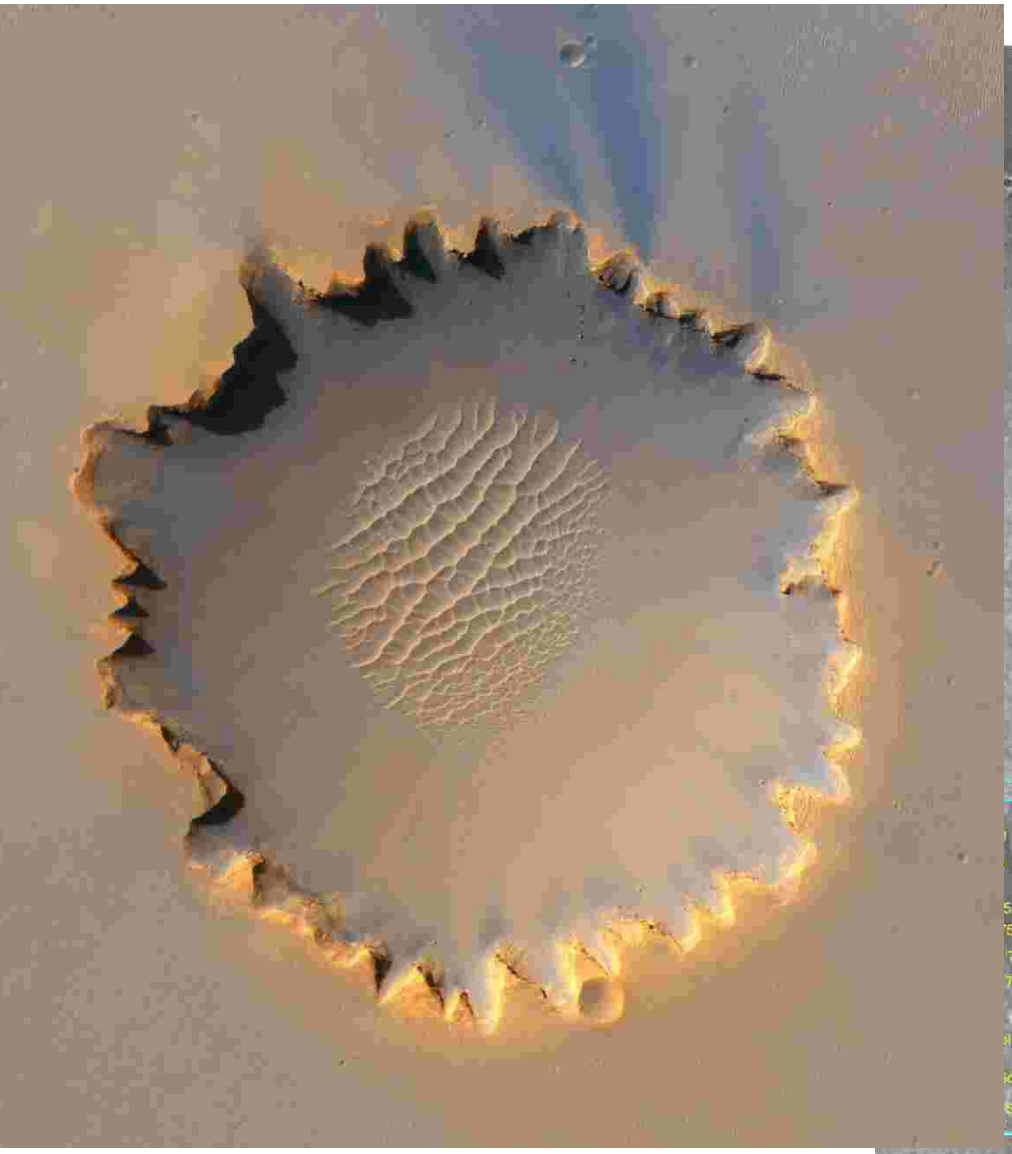


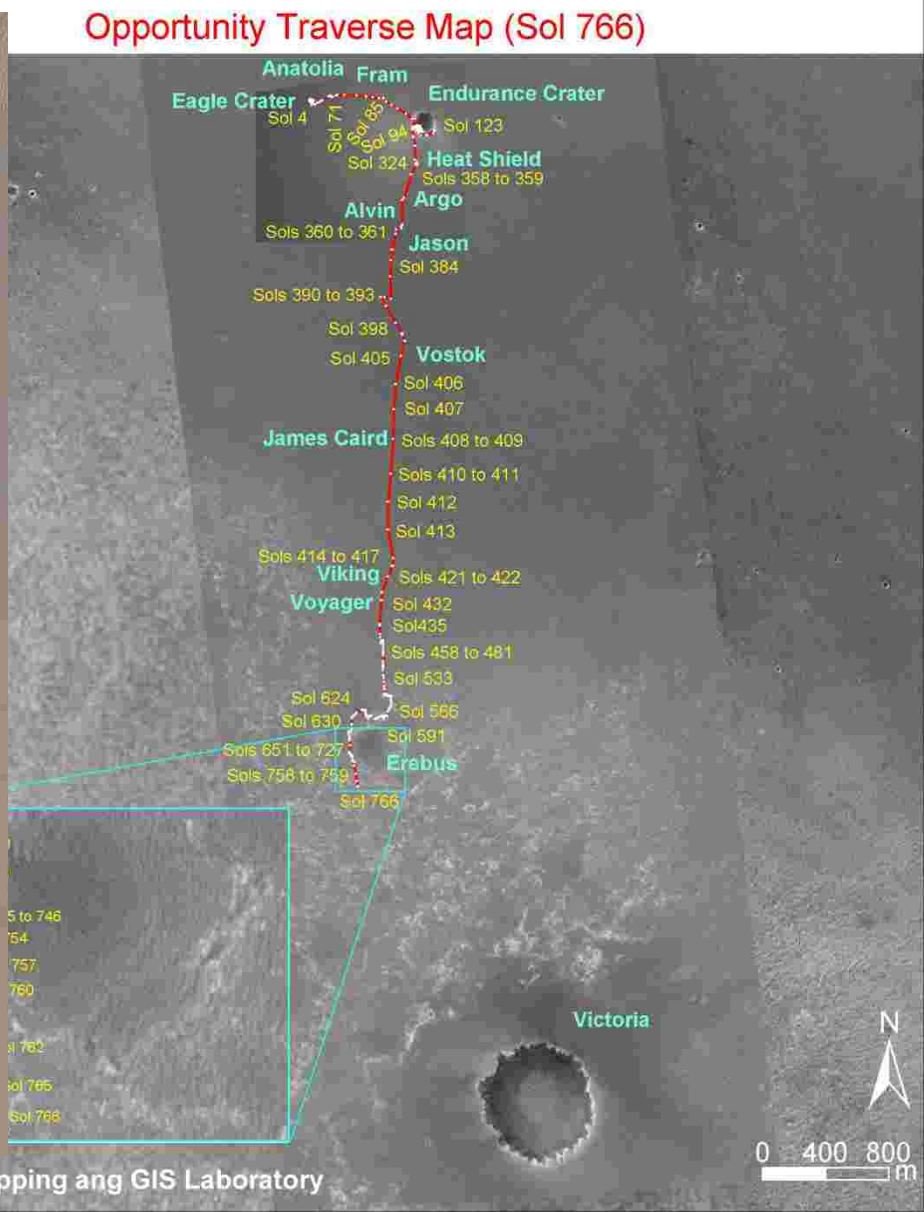
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastron

Des myrtilles toujours des myrtilles (hématites)

(c) OdG "Visions of MARS"/Abrams Publ.

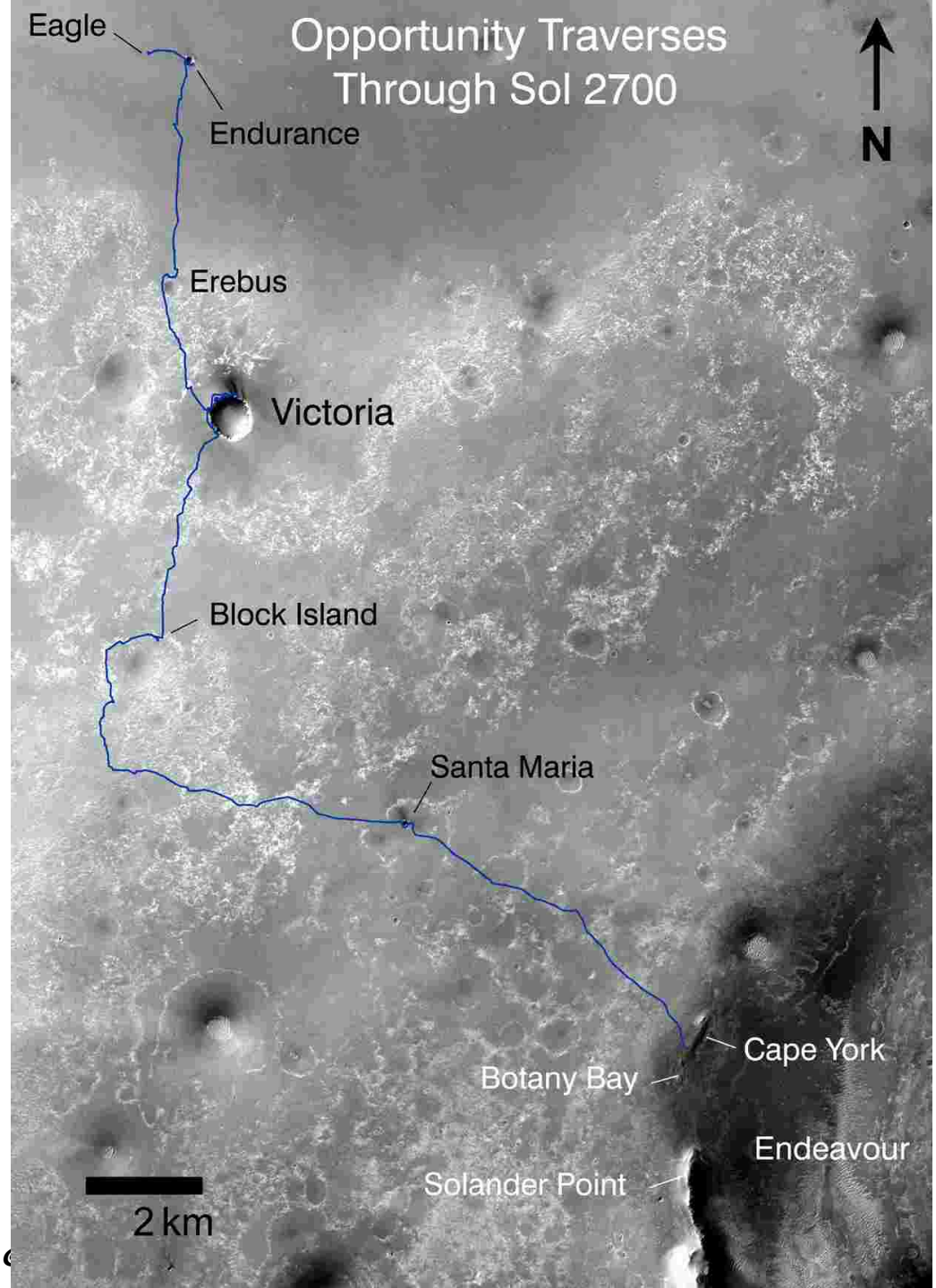
EN ROUTE POUR VICTORIA



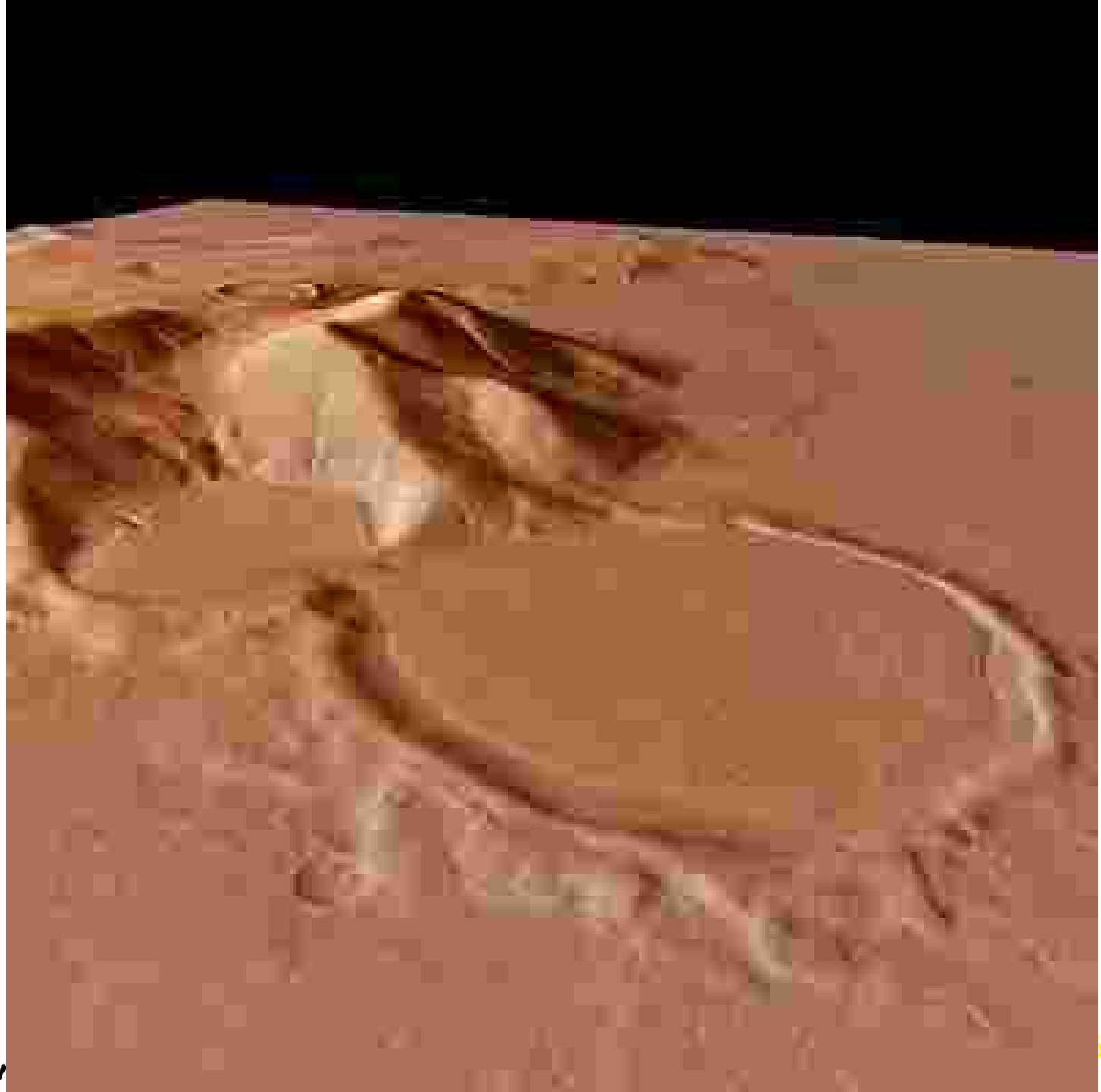


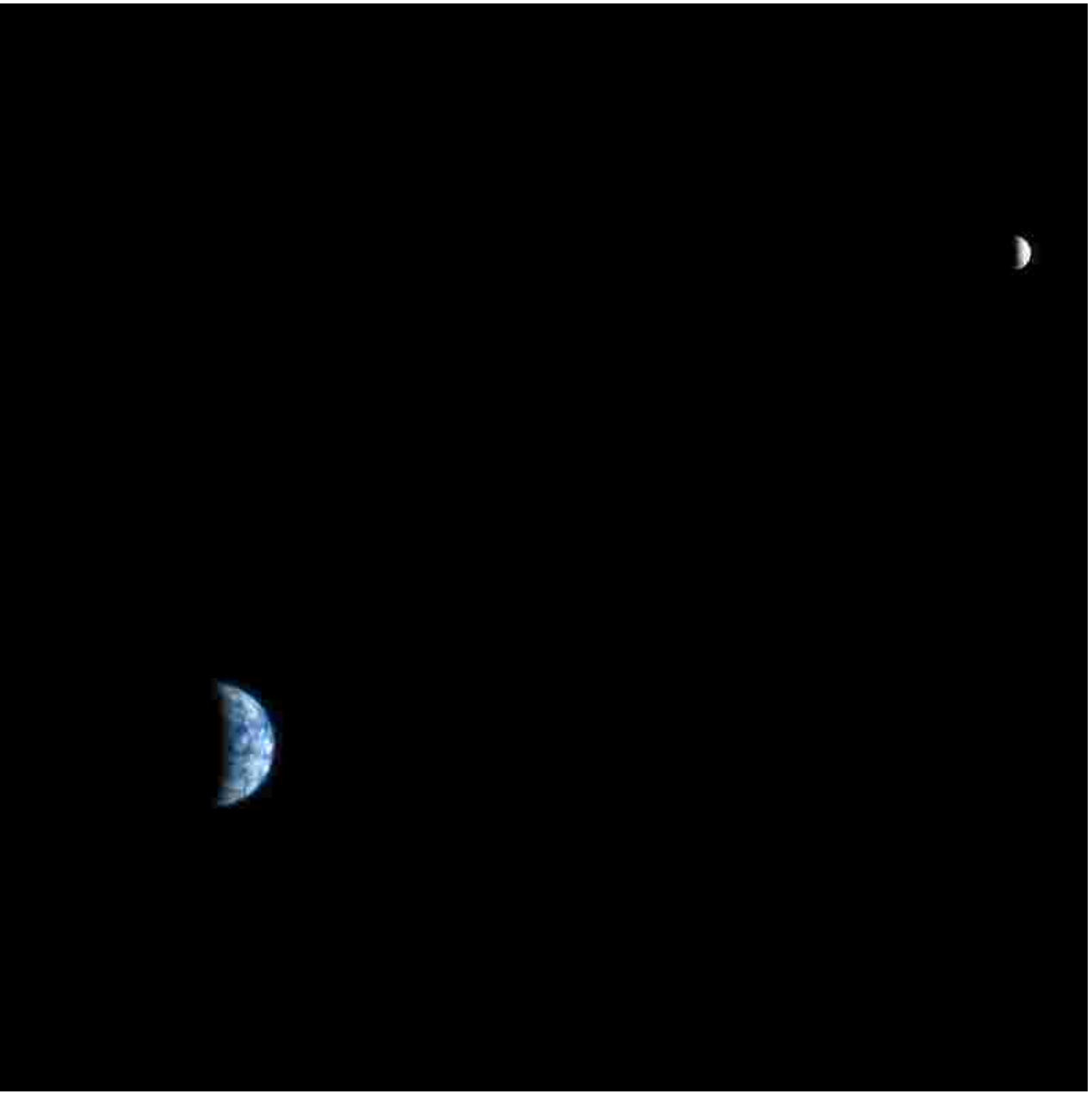
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastro

Opportunity Victoria Crater sol 1133
©NASA/JPL www.planetastronomy.com
colorized & stitched by JPM



- Le trajet d'Opportunity depuis 2004.

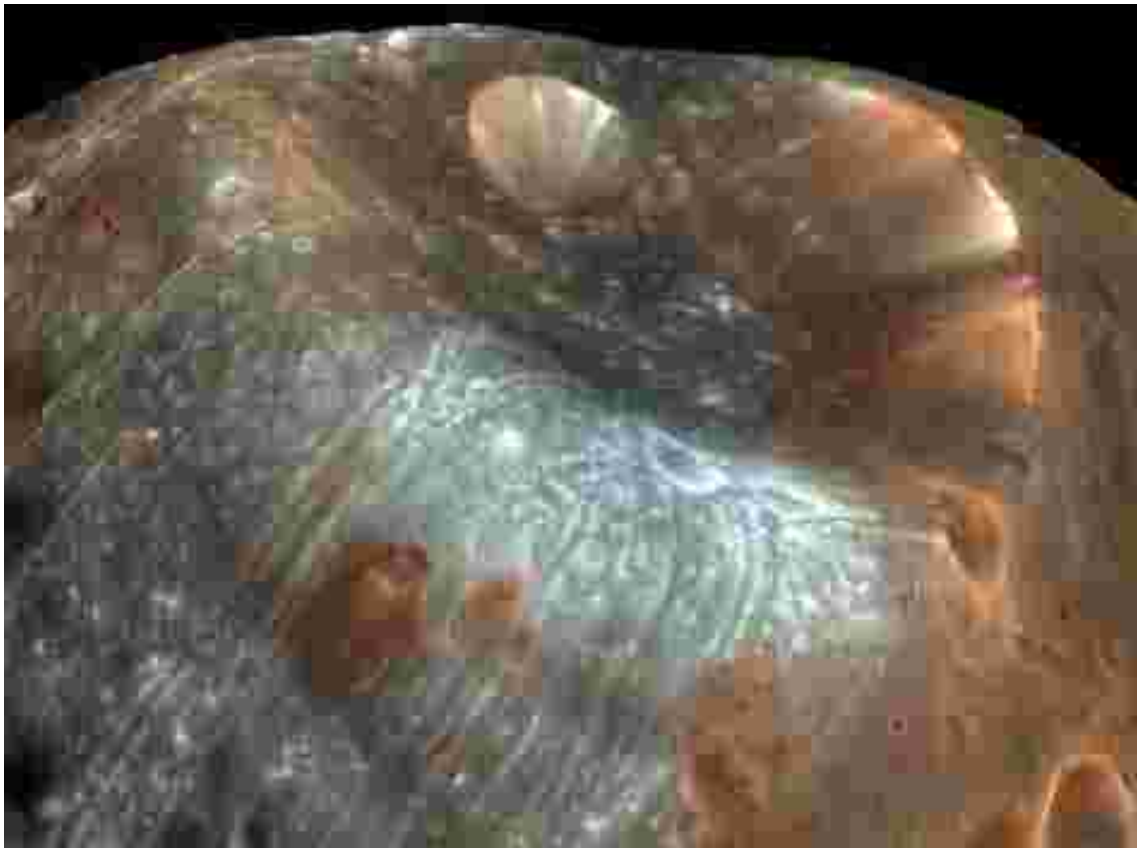




- Mais une des photos les plus émouvantes de MRO est celle de notre environnement: la Terre et la Lune.
- Voici ce système double vu depuis l'orbite de Mars
- Elle a été prise le 3 Octobre 2007 par la caméra HiRISE, à cette époque Mars était éloigné de 142 millions de km de nous.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- Phobos une vingtaine de km de "diamètre" est condamné, il est en dessous de la limite de Roche et s'écrasera un jour sur Mars; sa surface possède une caractéristique : un grand cratère de 10km de diamètre, le cratère Styckney, dû à un choc avec un astéroïde certainement.
- Photo prise avec filtres couleurs qui mettent au jour une zone bleue due au "splash" de l'impact, dont on ne connaît pas l'origine.

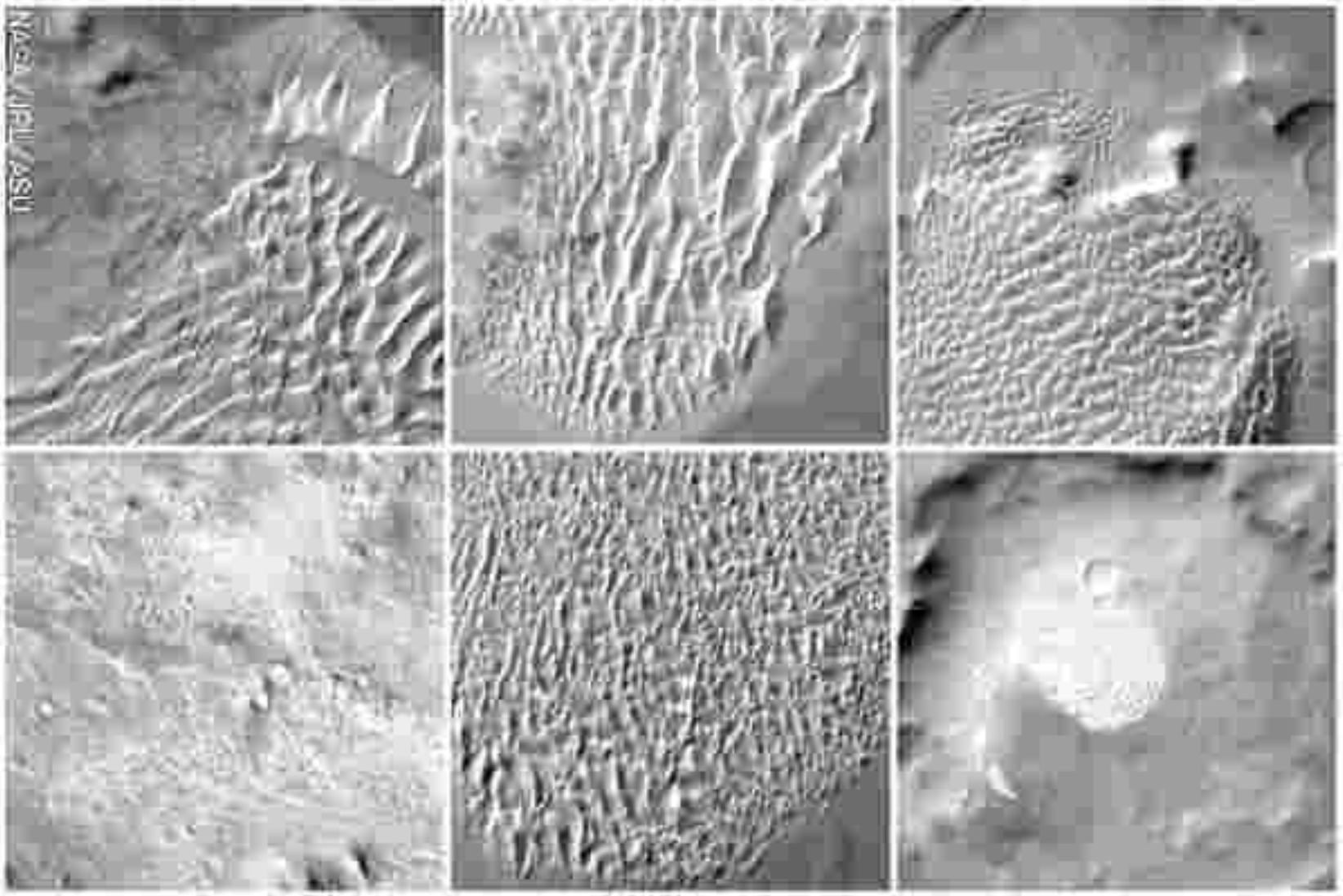


LE VENT EST UN AGENT D'ÉROSION IMPORTANT

- Les tempêtes de sable peuvent durer des mois
- MGS a découvert aussi l'existence de tornades locales de poussières (dust devils) qui laissent des traces noires sur le sol

ronomy.com

LES DUNES MARTIENNES

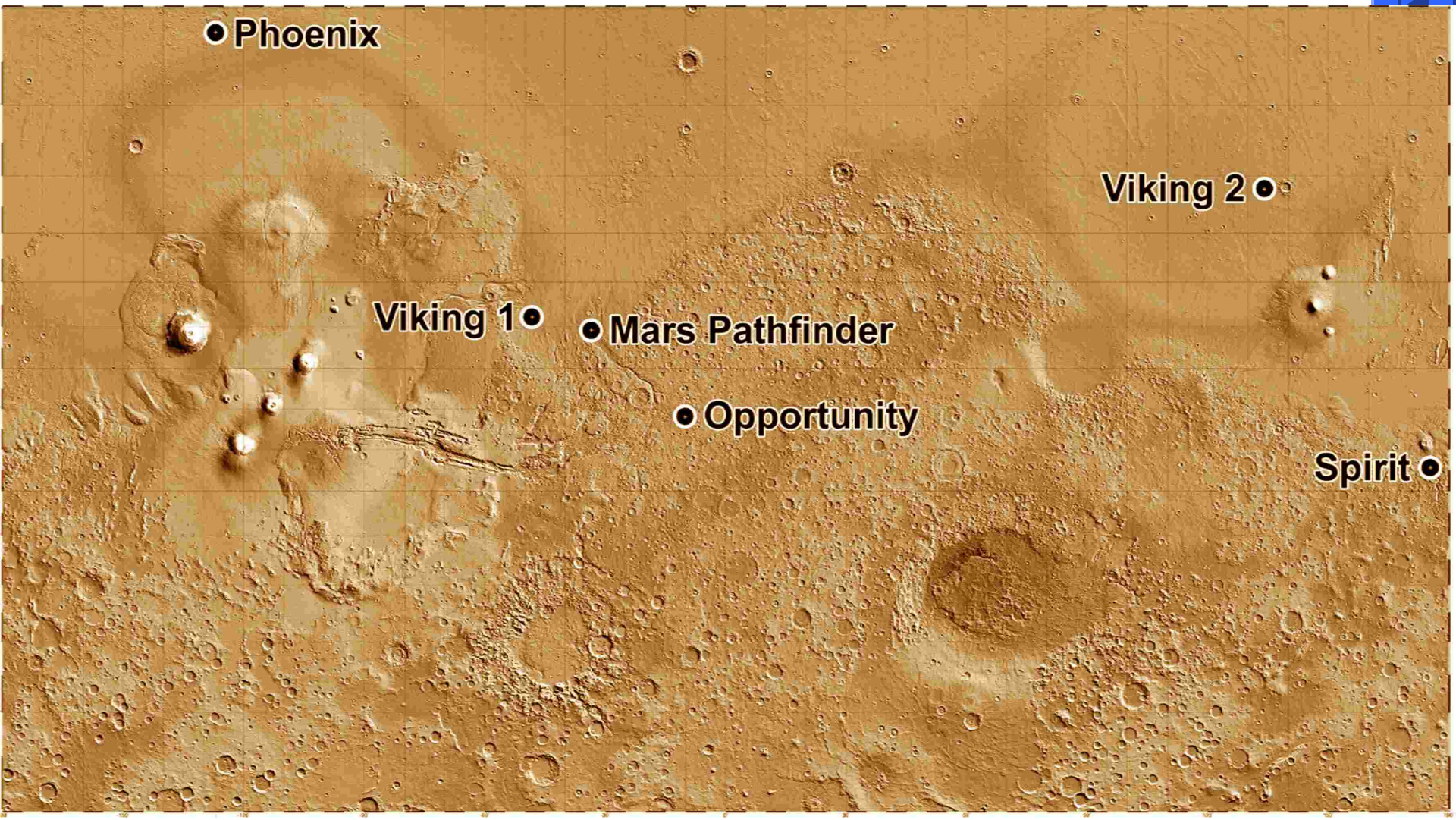


70

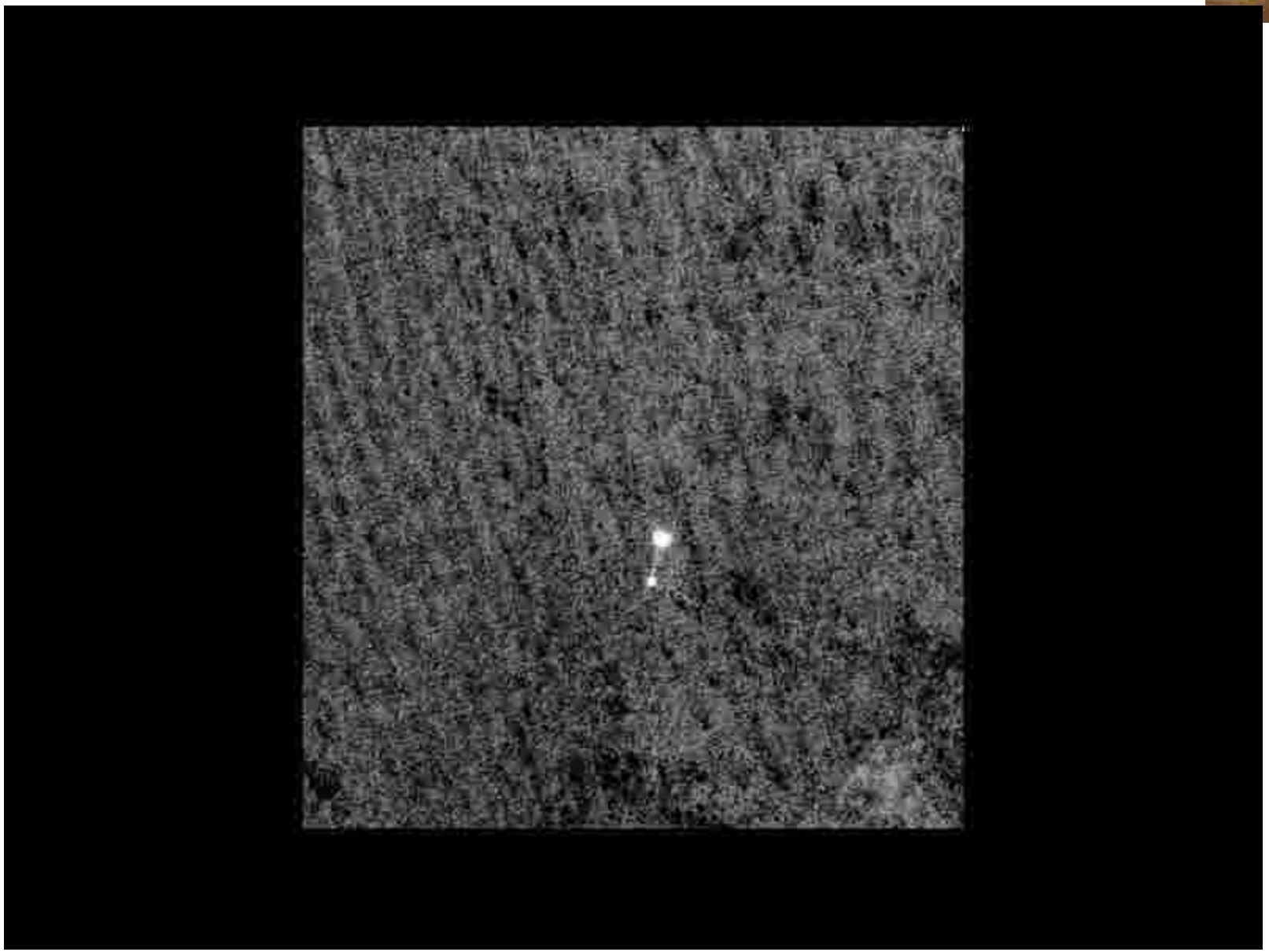
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- La caméra HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) a surpris une des ces tornades de poussières martiennes (les fameux dust devils en anglais) en train de se déplacer sur le sol de la planète rouge.
- Cette tornade blanche fait quelques 30m de diamètre et s'élève jusqu'à 800m d'altitude

71
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

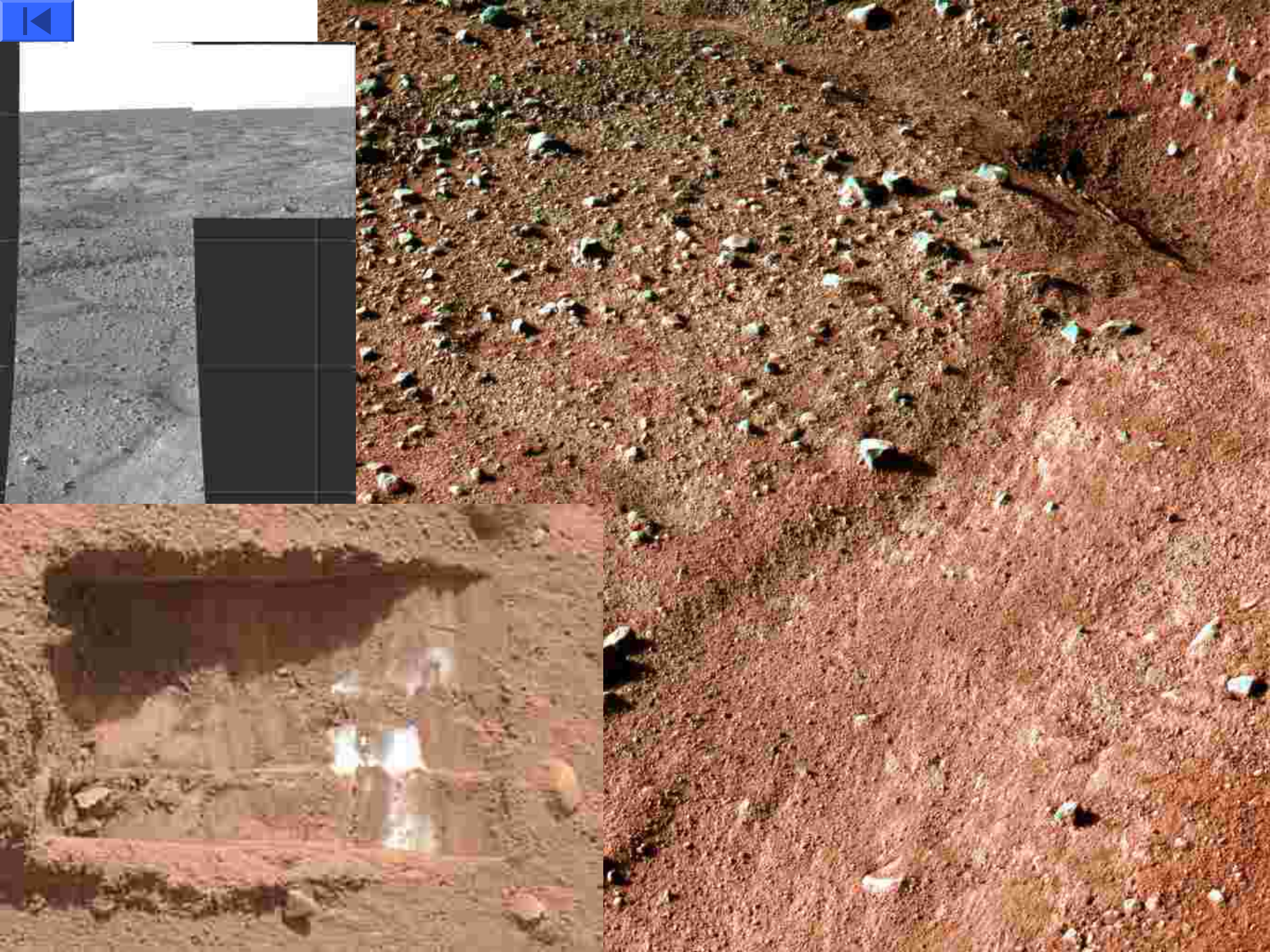


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



74

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



4-LA MISSION CURIOSITY

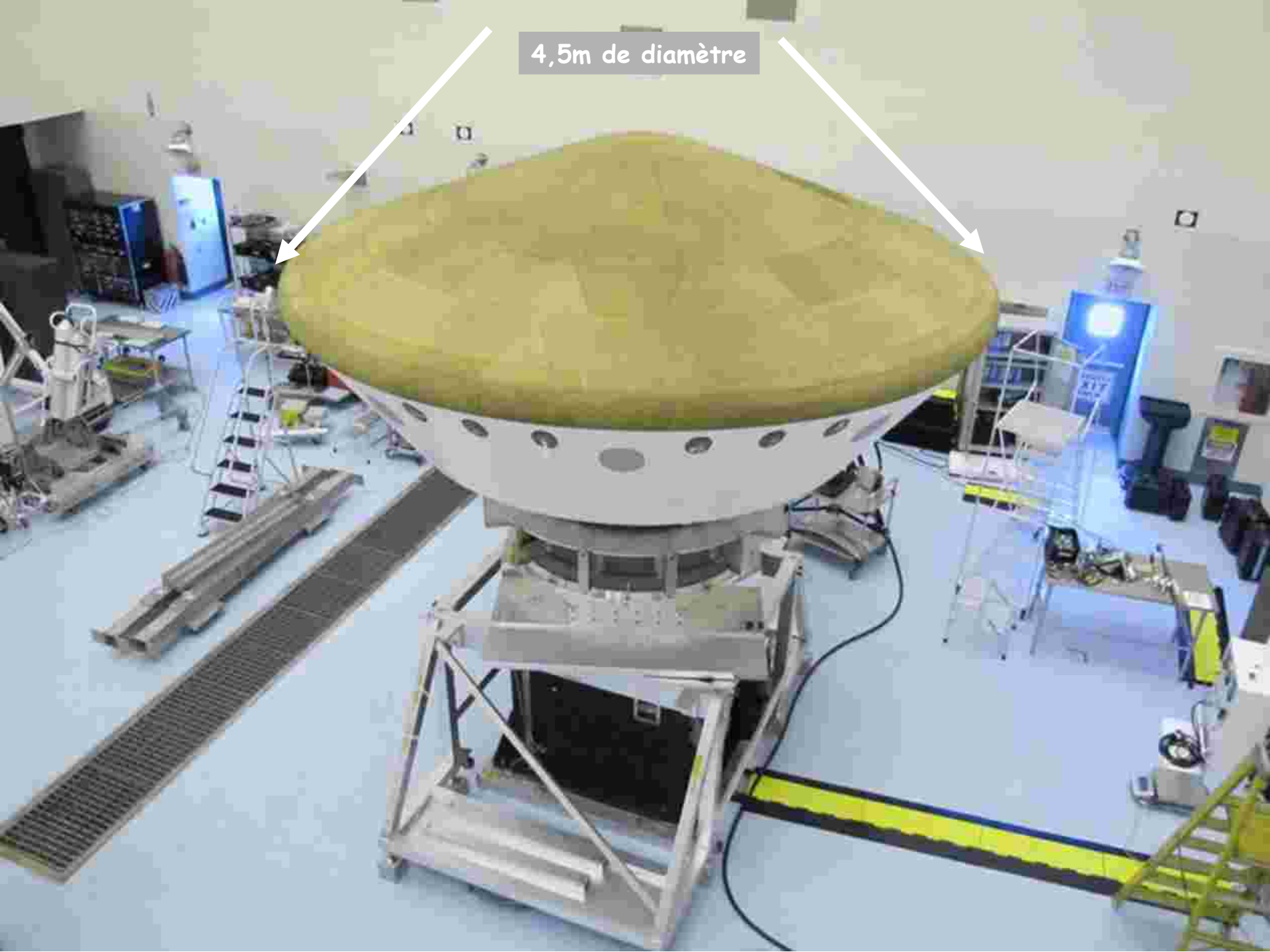
- La mission MSL (Mars Science Laboratory) avec son rover Curiosity, est la mission la plus importante (et probablement la plus chère : 2,5 Milliards de $) du XXI ème siècle.
- 900kg dont 90kg de charge utile (les expériences) avec une masse au départ de près de 4 t.
- Arrivée rapide sur Mars (Mach 2), ce qui occasionnera des températures de 2000°C sur le bouclier thermique
- Mais la grande nouveauté avec Curiosity, c'est son mode d'atterrissage très différent des autres missions :
- L'atterrissage est assez intéressant, car le support de MSL possède une « grue ascenseur" (sky crane) qui le dépose au sol lorsqu'il est à quelques mètres d'altitude.

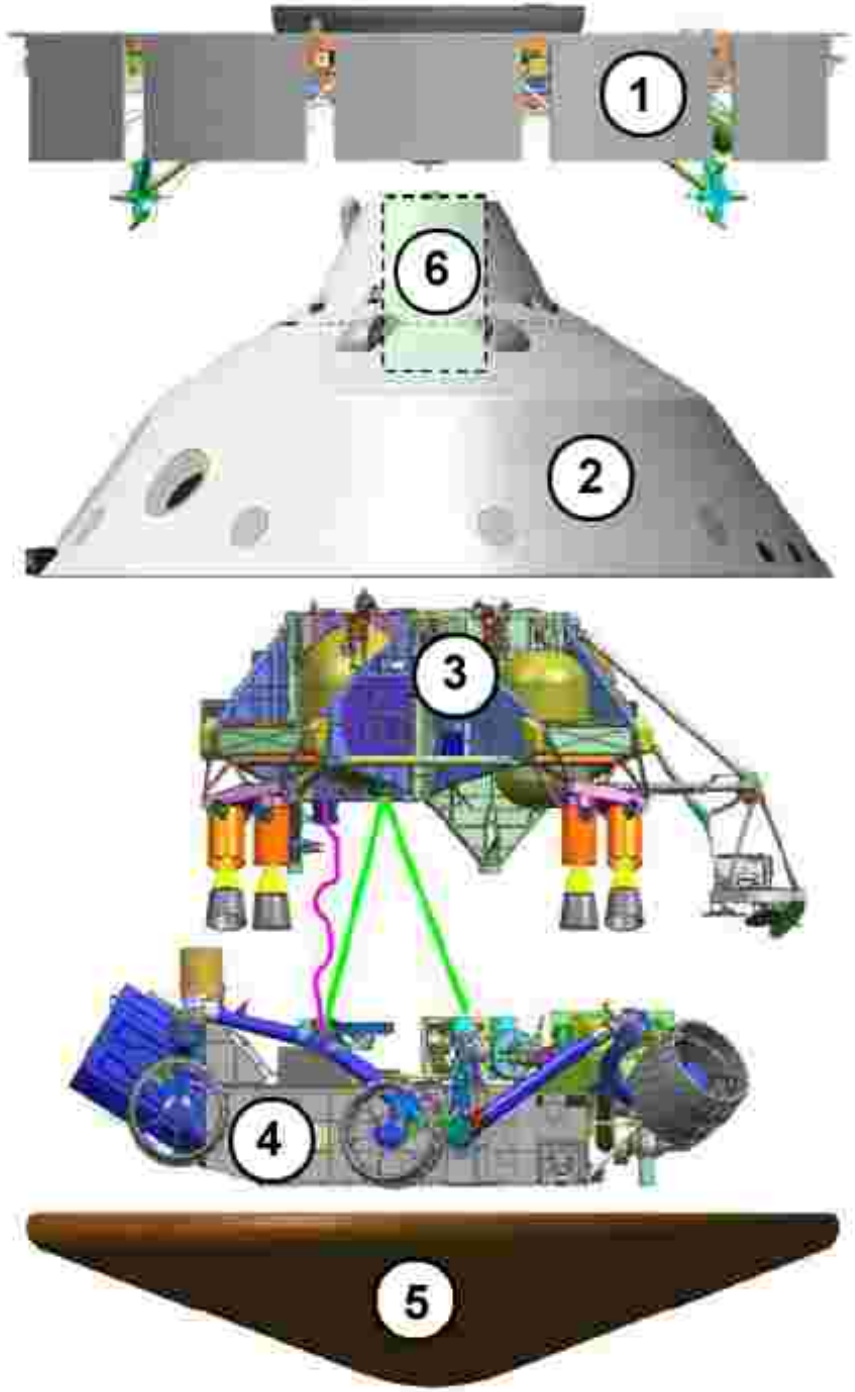
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

LES OBJECTIFS DE LA MISSION

- · **Déterminer si la vie a pu exister sur Mars**. Les dernières missions ont montré que l'eau liquide a existé sur Mars peu après la formation de la planète. Qu'en est-il maintenant ?
- La mission est conçue pour étudier **les cycles du carbone (chimie organique?)** et de l'eau sur la planète au cours du temps. Les instruments de MSL tenteront de déterminer sous quelle forme et en quelle quantité le carbone et l'eau sont stockés sur la planète et dans l'atmosphère.
- · **Étudier le climat** de Mars présent et passé (paléoclimat) et la composition de l'atmosphère.
- · **Étude de la géologie** martienne. Recherche de la preuve de la formation de roches en présence d'eau liquide.
- · **Préparer une éventuelle exploration humaine**.

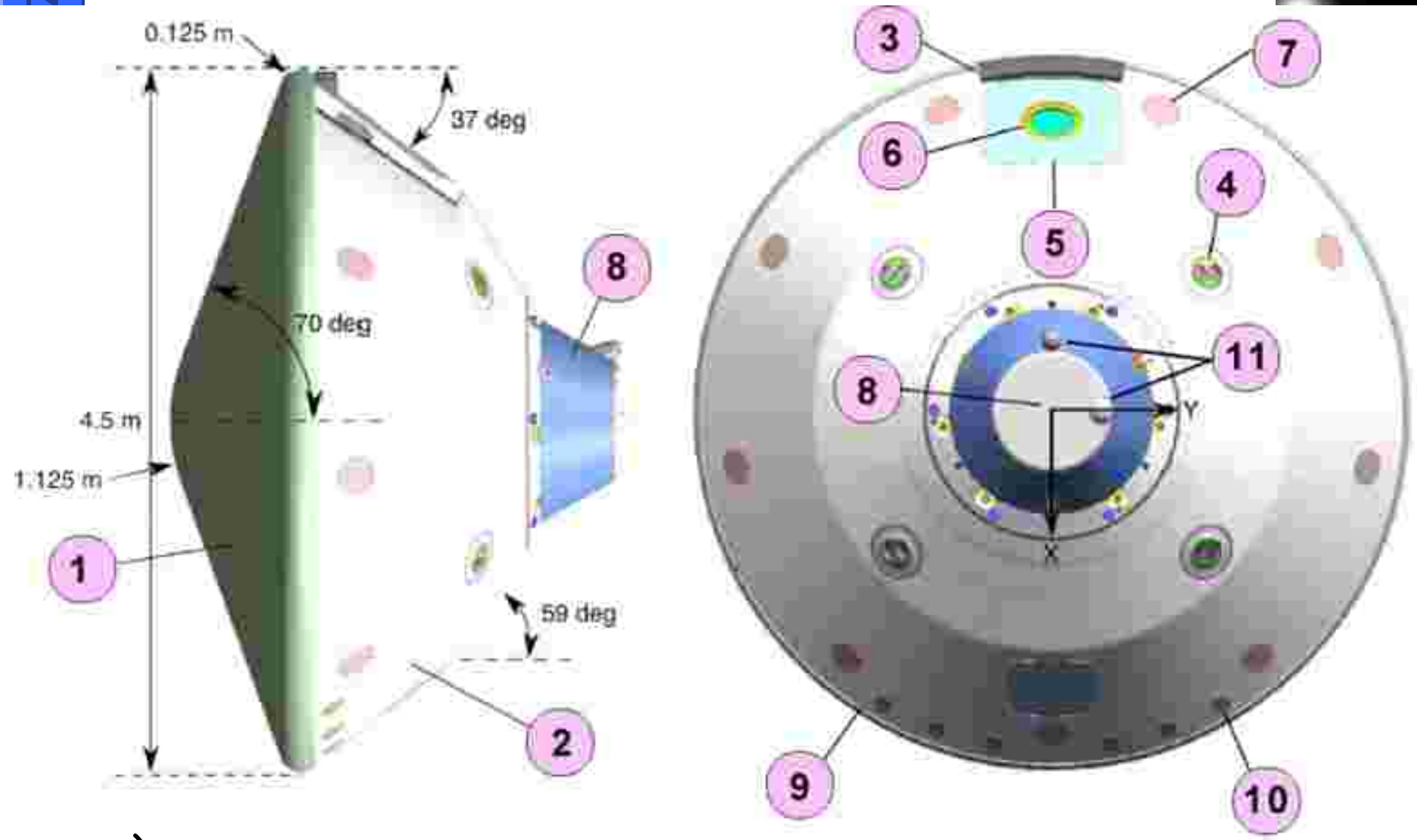
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com


4,5m de diamètre



- 1 - Étage de croisière (600kg)
- 2 - Bouclier arrière (350kg)
- 3 - Étage de descente (1300kg)
- 4 - Rover (900kg)
- 5 - Bouclier thermique (380kg)
- 6 - Logement du parachute

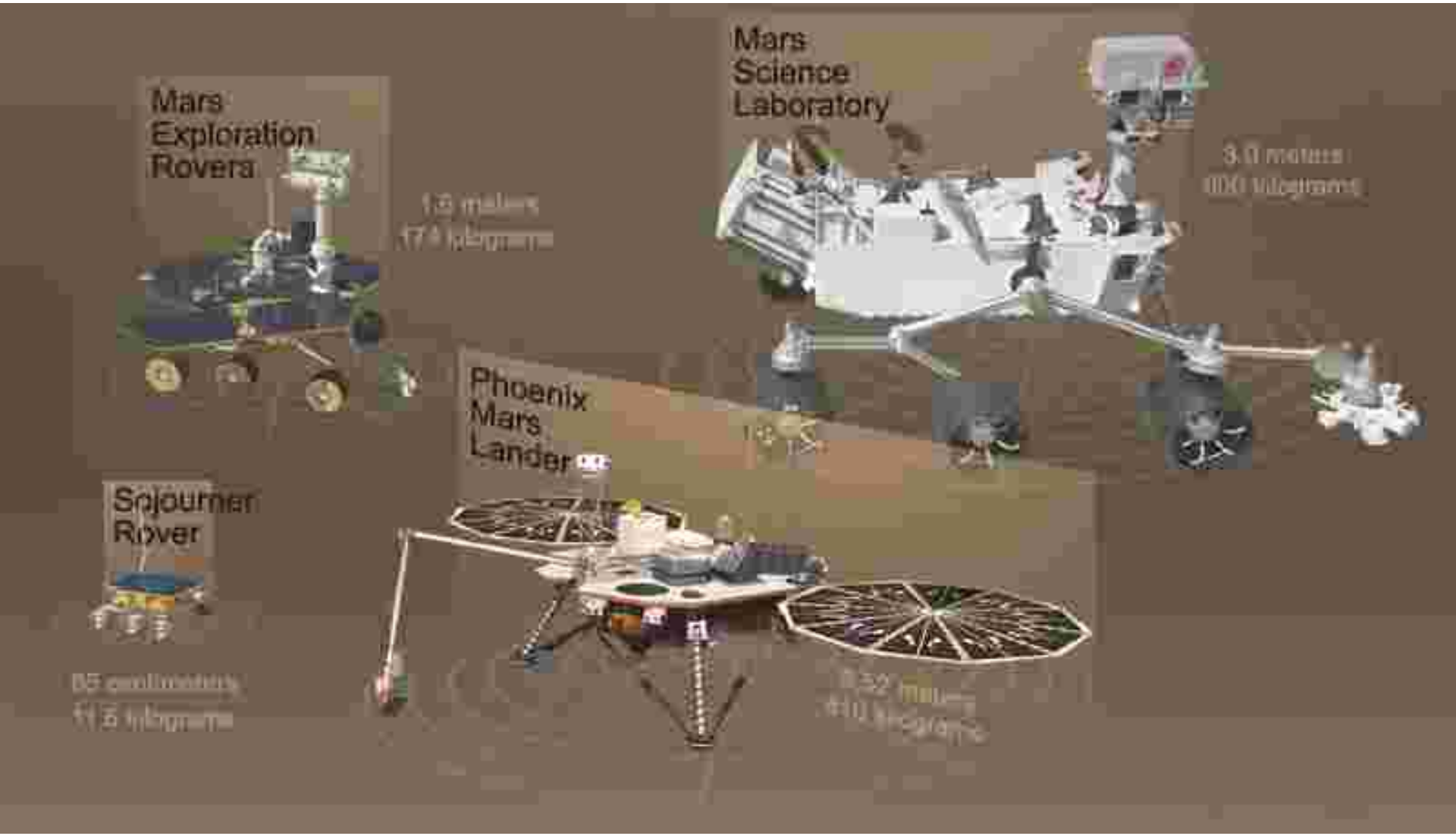
©



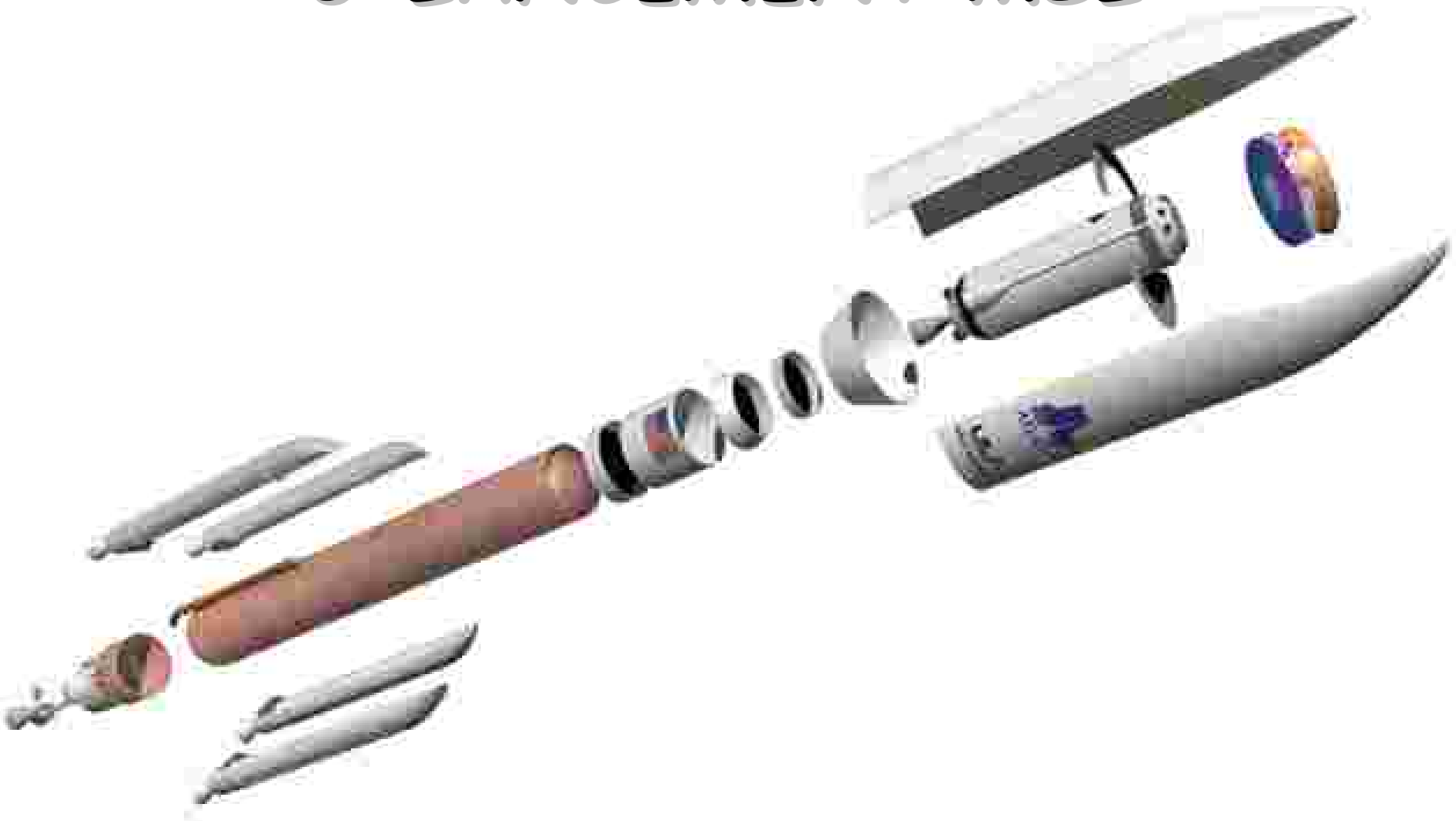
- À noter : en 3 et 10 : lests largués avant l'entrée, en 4 : moteurs d'orientation

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Comparaison avec les rovers précédents



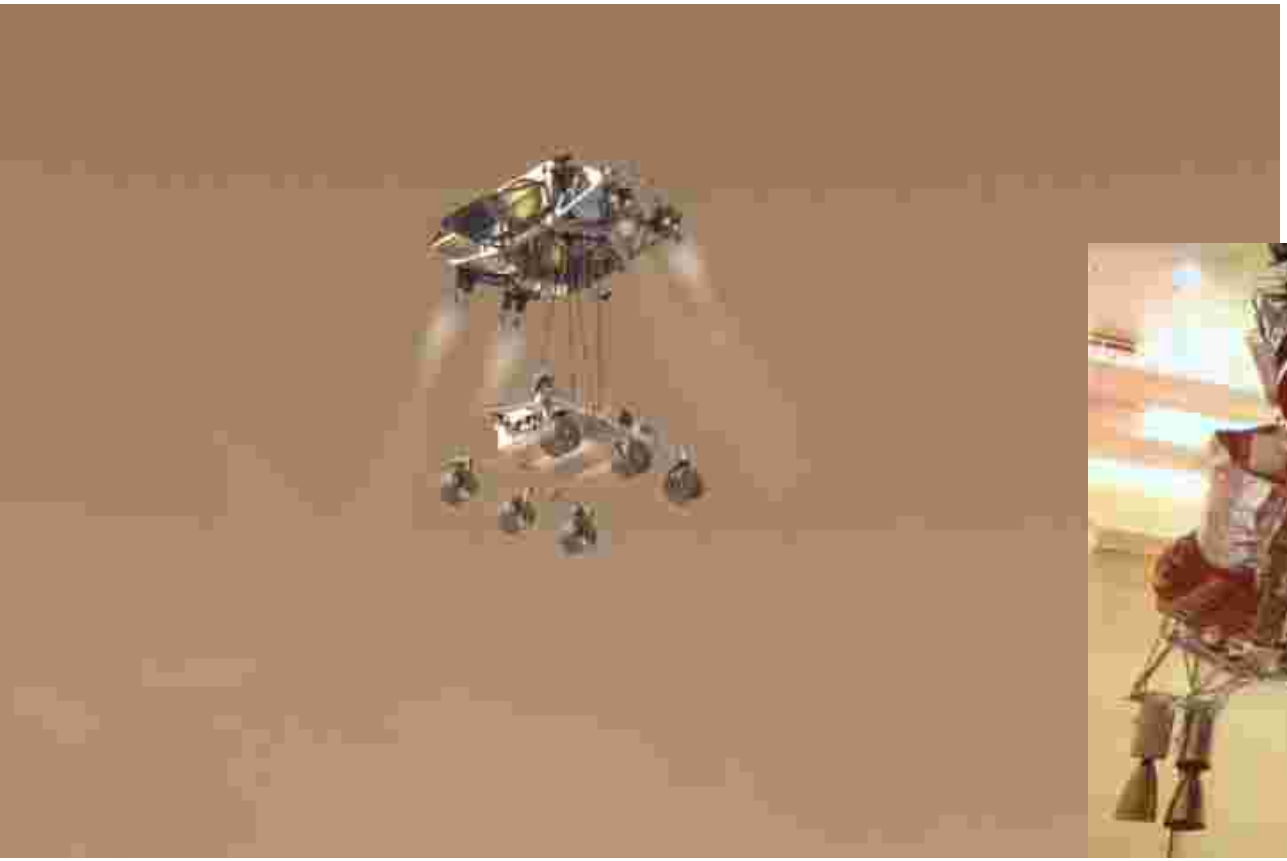
5-LANCEMENT MSL

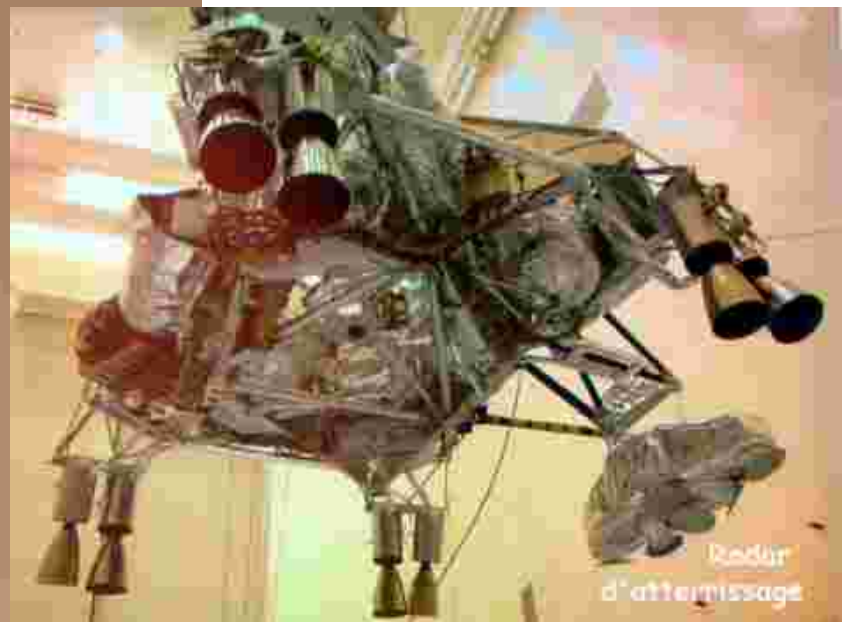


© Jean-Pierre

- Lancement de MSL le 26 Novembre 2011 par une Atlas V
- Durée du voyage : 7 mois et demi

6-L'ATTERRISSAGE





© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

7 MINUTES DE TERREUR!

- La phase d'entrée commence quand la sonde atteint l'atmosphère martienne vers les 130km d'altitude, elle se terminera avec l'atterrissage.
- Mais la grande nouveauté avec Curiosity, c'est son mode d'atterrissage très différent des autres missions:
- Cette entrée dans l'atmosphère ne se fait pas au hasard, elle est guidée afin d'obtenir **une extrême précision à l'atterrissage** (ellipse de 20km autour du point choisi, alors que les MER : 150 par 20km)
- Cela est possible grâce à des petites fusées situées sur le bouclier arrière
- Après une phase de ralentissement classique avec parachute et rétrofusées, la suite devient plus intéressante, **car le support de MSL possède un "ascenseur" (sky crane)** qui le dépose au sol lorsqu'il est à quelques mètres d'altitude.
- Lorsqu'il est bien sur le sol, la partie sky crane est ensuite propulsée plus loin et ne sert plus, elle va s'écraser à plusieurs km de distance.
- **Le rover est immédiatement opérationnel.**
- Voyons cela en détails maintenant.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

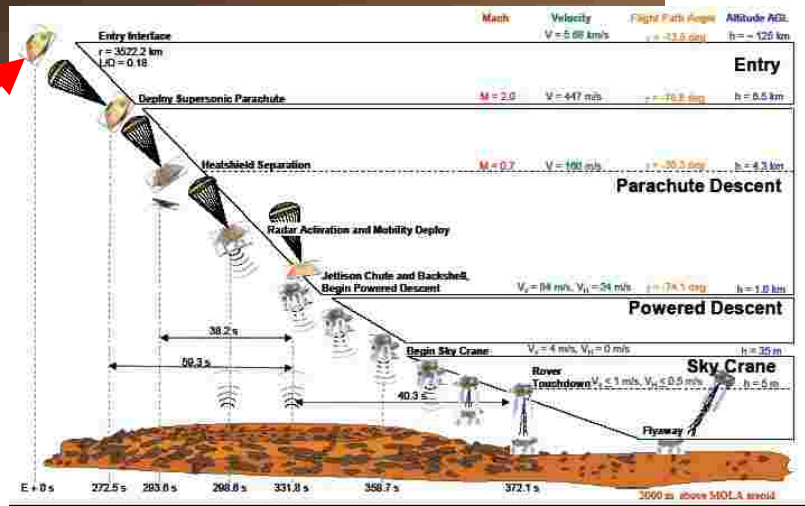
POURQUOI UNE ENTRÉE SI PRÉCISE?

- En effet cette mission se différencie des précédentes par la précision nécessaire pour l'atterrissage 20km au lieu de 150.
  Pourquoi? Pour deux raisons :
- L'endroit où l'on veut se poser est chaotique, **il faut être sûr de se poser sur du plat et de l'amener au pied d'une montagne** que l'on veut absolument explorer.
- Afin de se poser dans des endroits « bas » de la planète et de bien viser.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- **Comment viser le bon point sur Mars** :
- L'étage de croisière est équipé de fusées pour guider la sonde grâce à des corrections de trajectoire, la dernière ayant lieu 2 heures avant l'atterrissage.
- L'étage de croisière se sépare ensuite.
- Ensuite, ce qui se passe est tout nouveau pour une mission spatiale : l'entrée n'est plus balistique comme les missions précédentes (cône d'entrée dirigé dans la direction du mouvement, rotation autour de l'axe de symétrie, trajectoire contrôlée par l'atmosphère) mais **l'entrée est contrôlée** et sa position stabilisée sur 3 axes. La sonde effectue une rotation pour que sa pointe soit dirigée vers la cible.
- 5 minutes avant l'entrée dans l'atmosphère, des lests (75kg) en Tungstène sont éjectés d'un côté de la capsule afin de modifier son centre de gravité, le nez va piquer alors de 20° vers le bas, inclinaison que l'on va conserver pendant toute l'entrée atmosphérique. (entrée = 130km d'altitude approx de la cible, qui est un point relativement bas de Mars)
- **L'entrée est rapide : 6km/s! 2000°C** Cela va nécessiter un revêtement différent des autres missions pour le bouclier thermique (PICA). Le bouclier absorbe 90% de l'énergie cinétique.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

EDL : Entry, Descent and Landing

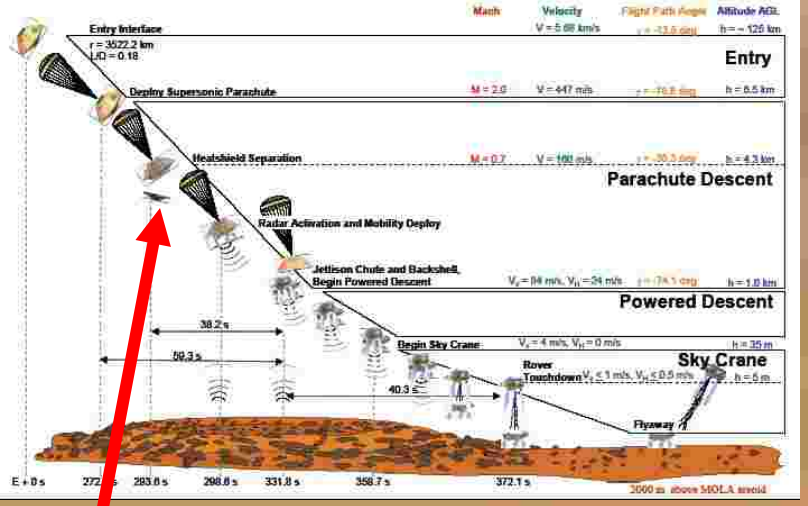
- La sonde ne tombe plus, elle « vole » maintenant dans l'atmosphère de Mars, sa trajectoire est analysée par des gyroscopes à bord, qui vont jouer sur son angle de rentrée afin d'être sur la bonne coordonnée pour ouvrir le parachute avec la bonne vitesse.
- La sonde ralentit, elle atteint Mach 2, quand elle atteint la bonne altitude (approx 11.000m) pour déployer le parachute, elle éjecte 6 masses de 25kg de l'autre côté de la précédente éjection de lest, afin de la rééquilibrer
- Le parachute peut maintenant se déployer.
- On entre dans la phase EDL : Entry, Descent and Landing qui peut être divisée en 2 parties :

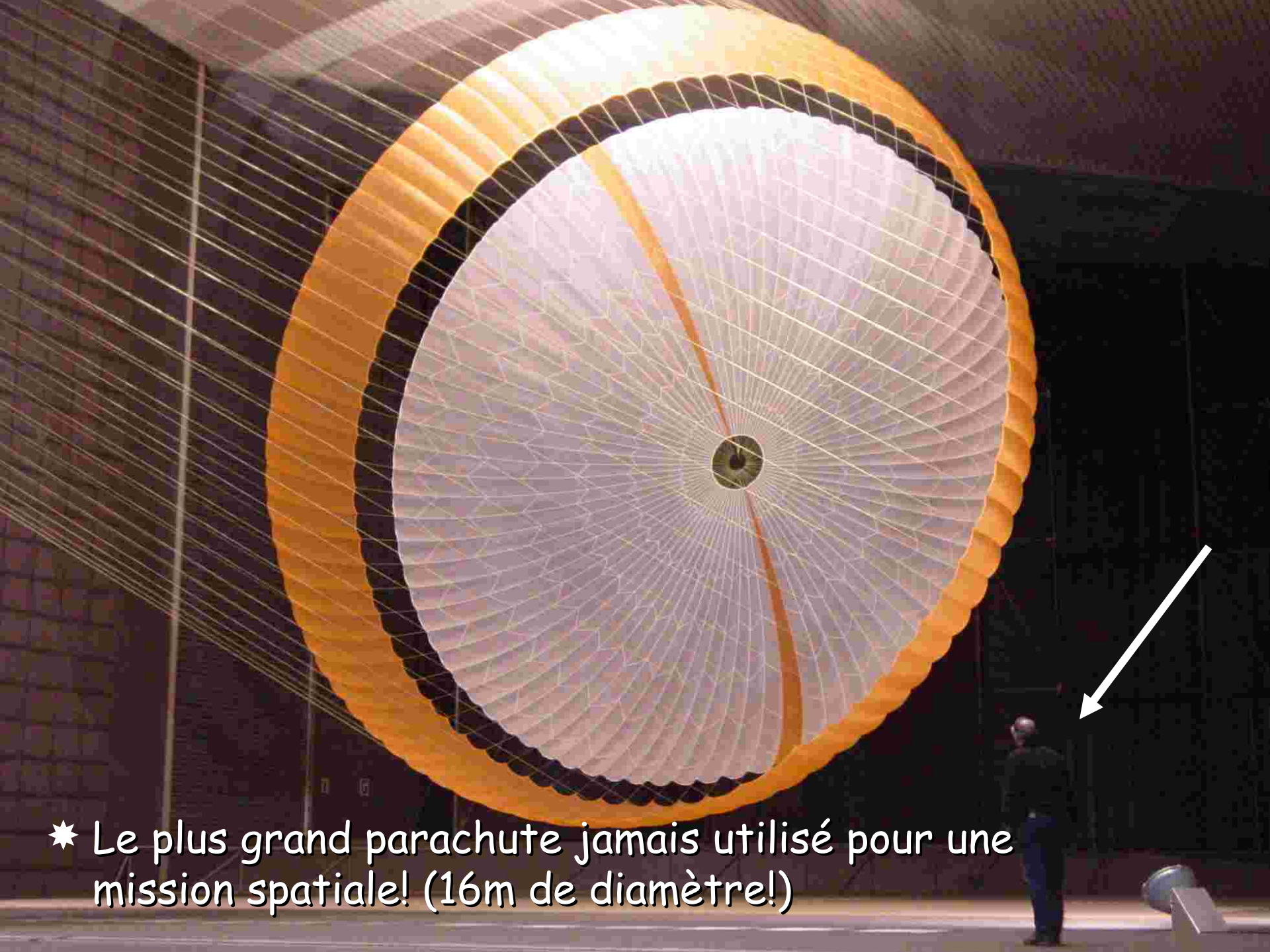
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

DESCENTE EN PARACHUTE

- La descente en parachute : elle dure de l'ordre d'une minute, mais le parachute (énorme : 16m de diamètre, si gros qu'il se verra facilement sur les photos de MRO!) doit absorber pendant ce court laps de temps 95% de l'énergie cinétique de la sonde.
- Le bouclier thermique est éjecté grâce aux boulons explosifs, les capteurs de distance (TDS terminal descent sensors) sont maintenant en fonctionnement.
- La caméra de vision du sol (MARDI Mars descent imager) est activée. Elle donnera plus tard des informations sur le site d'atterrissage.
- Vers les 2000m ou 1500m , la sonde a ralenti à 100m/s; on est prêt pour la phase suivante.

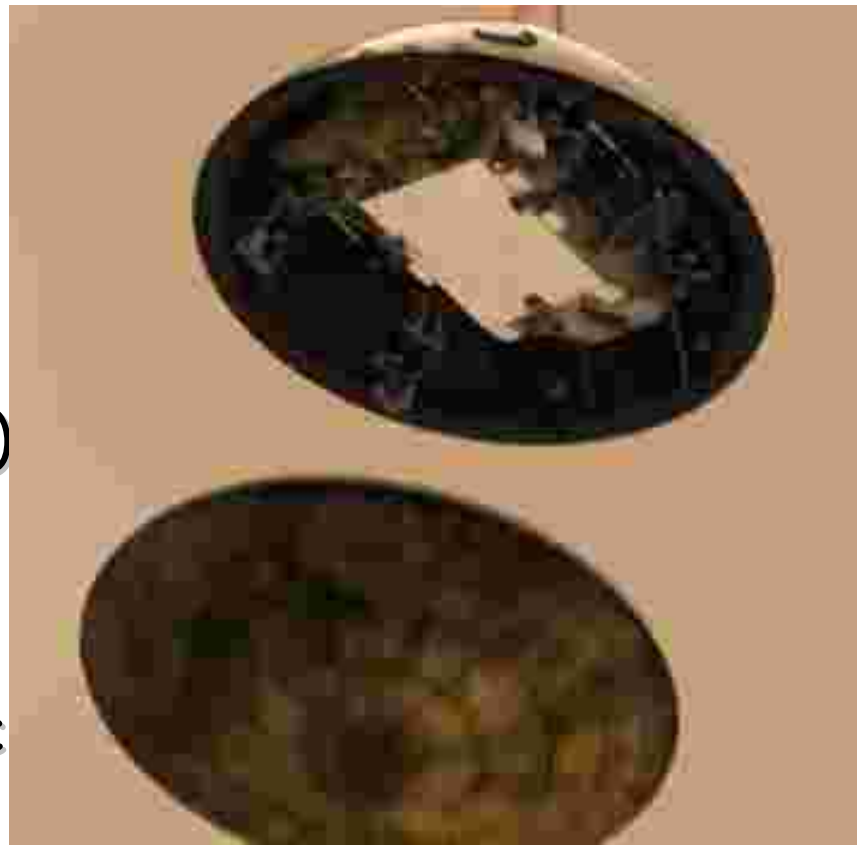
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com


Mach
Velocity
Flight Path Angle
Altitude AGL
Entry Interface
r = 3522.2 km
LAD = 0.18
V = 5.68 km/s
h = ~ 125 km
Entry
Deploy Supersonic Parachute
M = 2.0
V = 447 m/s
h = 8.5 km
Heatshield Separation
M = 0.7
V = 100 m/s
h = 4.2 km
Parachute Descent
Radar Activation and Mobility Deploy
Jettison Chute and Backshell,
Begin Powered Descent
h = 1.8 km
Powered Descent
38.2 s
59.3 s
Begin Sky Crane
h = 35 m
Sky Crane
Rover
Touchdown
h = 6 m
40.3 s
Flyaway
E + 0 s
283.6 s
298.6 s
331.8 s
358.7 s
372.1 s
2000 m above MOLA areoid



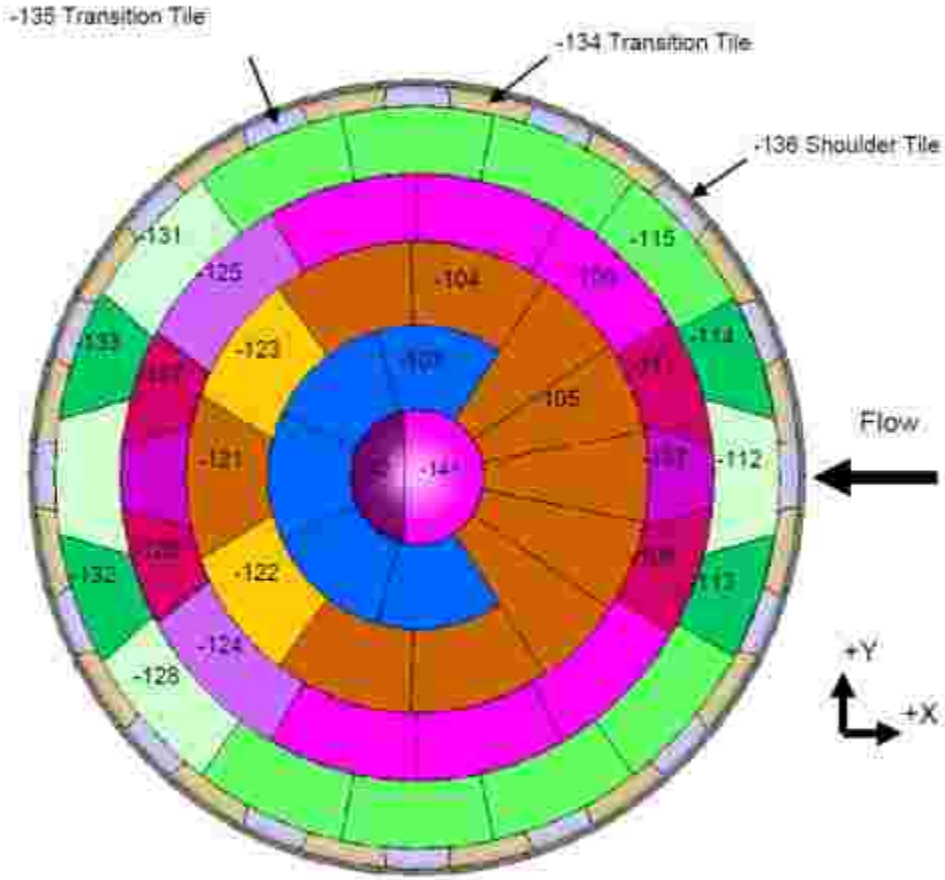
- Le plus grand parachute jamais utilisé pour une mission spatiale! (16m de diamètre!)

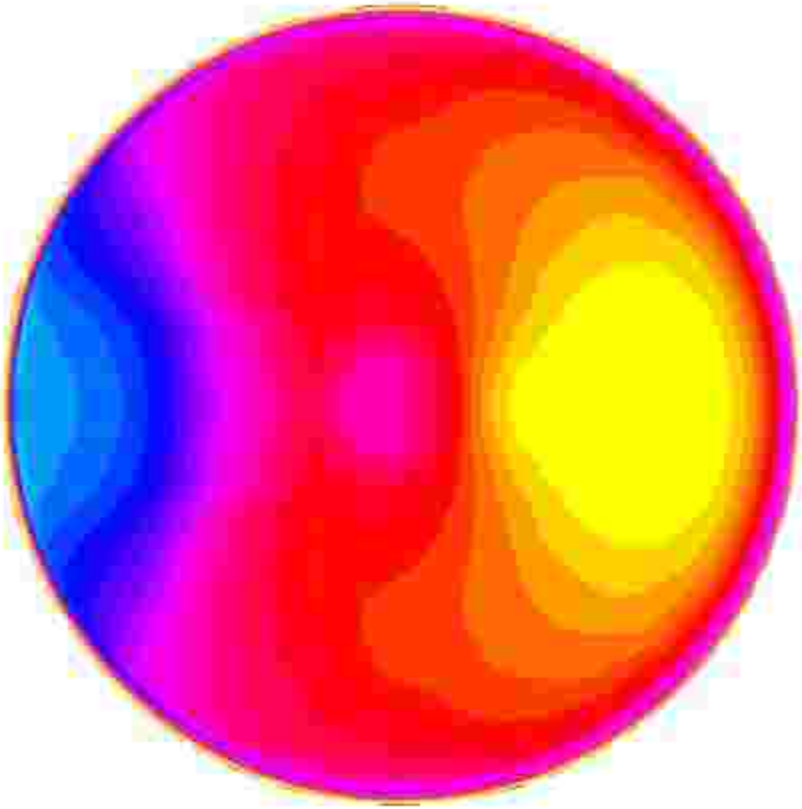
- Des boulons explosifs vont libérer les deux boucliers de protection
- Nos amis Américains étant friands de symboles , c'est **76 boulons explosifs** qui seront installés au total sur la sonde (rappelant la révolution de 1776!)
- 17 minutes avant l'atterrissage, les 10 premiers boulons seront allumés à 5 ms d'intervalle, libérant l'étage de croisière avec son véhicule de descente.
- 125ms plus tard deux boulons liés à des ressorts éjectent le bouclier



- Le plus grand de tous les boucliers thermiques (2000°C) : 4,5m de diamètre

✸ Répartition de la chaleur pendant l'entrée sur les différentes tuiles isolantes (PICA)





© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- La caméra MARDI (Mars Descent Imager) nous permet de voir l'atterrissage!
- Elle est fixée sous le châssis du rover.

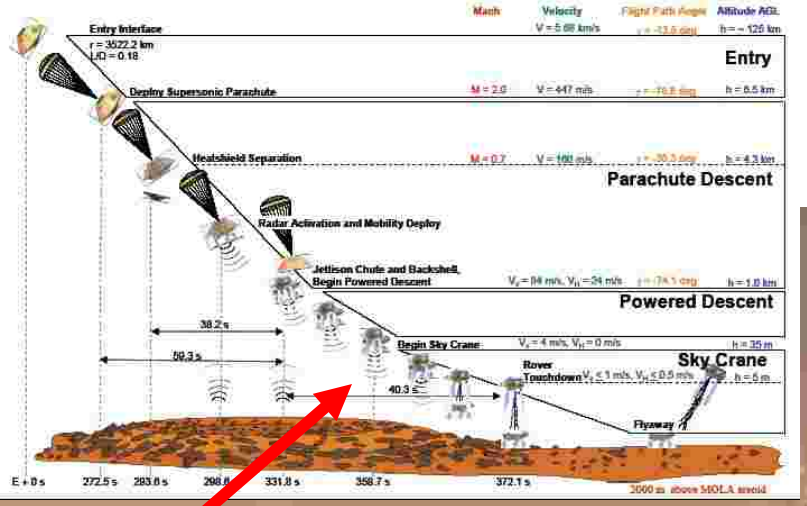
99

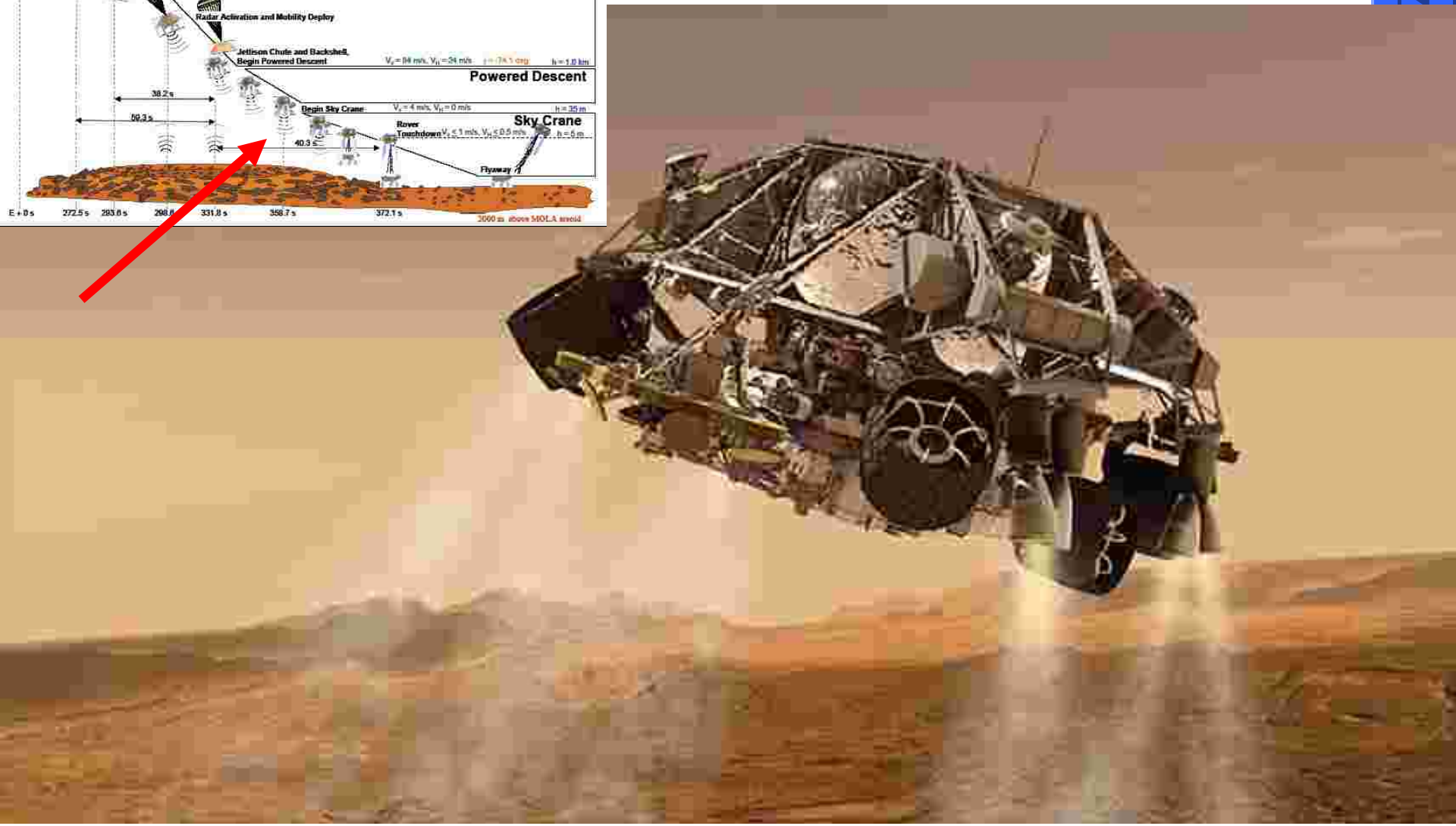
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

DESCENTE CONTRÔLÉE

- La descente contrôlée (Powered Descent) ; les 8 rétro fusées sont prêtes à être activées
- Les boulons explosifs séparent le bouclier arrière et le parachute du reste de la sonde, la sonde accélère pendant un court instant, on ne peut pas allumer les rétro tout de suite de peur de « cogner » le bouclier arrière!
- Les rétro fusées s'allument enfin après une seconde.
- Arrivée vers 400m la descente ralentit à un taux de 20m/s, cela va prendre approx 30secondes.
- Arrivé vers les 50m d'altitude, les rétro fusées sont allumées plus fortement afin de réduire la vitesse à un petit 0,75m/s
- Nous sommes arrivés vers les 20m d'altitude, il faut arrêter de freiner sinon on ne se pose pas! On coupe 4 des 8 fusées.
- On est prêt pour la phase critique de l'atterrissage : la grue ascenseur (Sky Crane)

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

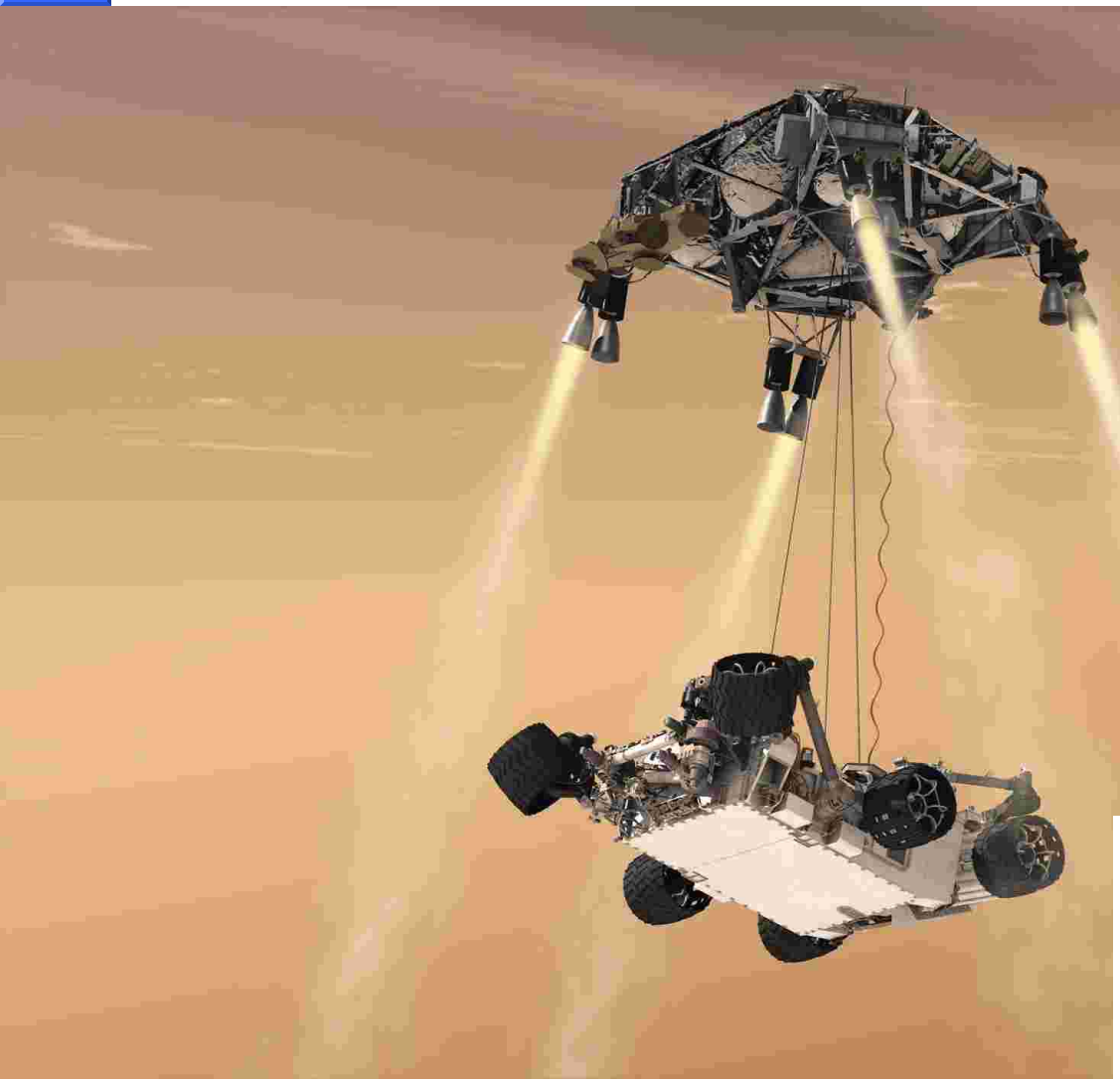

Mach
Velocity
V = 5.68 km/s
Flight Path Angle
Altitude AGL
h = ~ 125 km
Entry Interface
r = 3522.2 km
1/D = 0.18
Entry
Deploy Supersonic Parachute
M = 2.0
V = 447 m/s
h = 8.5 km
Heatshield Separation
M = 0.7
V = 100 m/s
h = 4.2 km
Parachute Descent
Radar Activation and Mobility Deploy
Jettison Chute and Backshell,
Begin Powered Descent
V_x = 84 m/s, V_H = 24 m/s
h = 1.8 km
Powered Descent
38.2 s
59.3 s
Begin Sky Crane
V_x = 4 m/s, V_H = 0 m/s
h = 35 m
Sky Crane
Rover
Touchdown $V_z \leq 1$ m/s, $V_H \leq 0.5$ m/s
h = 6 m
40.3 s
Flyaway
E + 0 s
272.5 s
283.6 s
298.6 s
331.8 s
358.7 s
372.1 s
2000 m above MOLA areoid

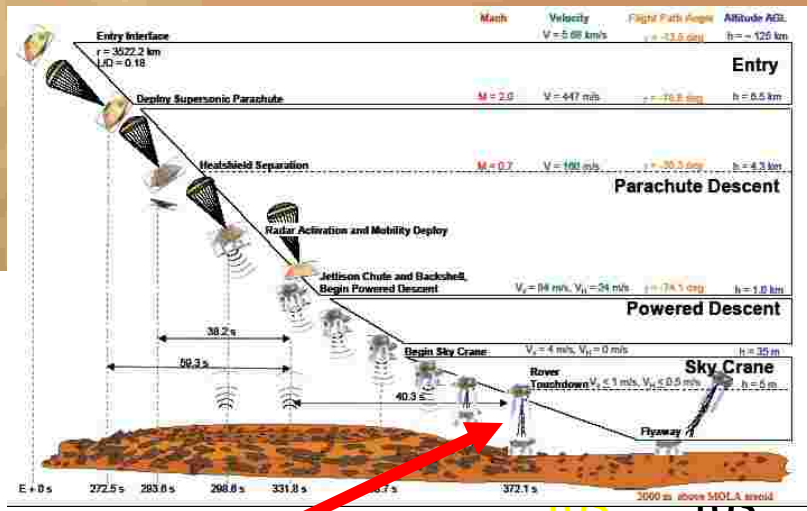


LE SKY CRANE

- Le Sky Crane : **Mais pourquoi un tel système?**
- Curiosity est énorme (5 fois la masse d'Opportunity) : 900kg, ce qui rend un impact classique (comme pour les MER) difficile à garantir sans problème, d'autre part des fusées de guidage comme pour les Vikings entacherait sa capacité à se déplacer sur le sol martien avec la place que cela prendrait.
- Nos amis du JPL devaient trouver une autre solution : le Sky Crane qui doit assurer un atterrissage en douceur du rover.
- De plus le fait d'avoir des rétro fusées qui ne polluent pas trop le sol près de l'atterrissage est aussi un plus pour les expériences.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



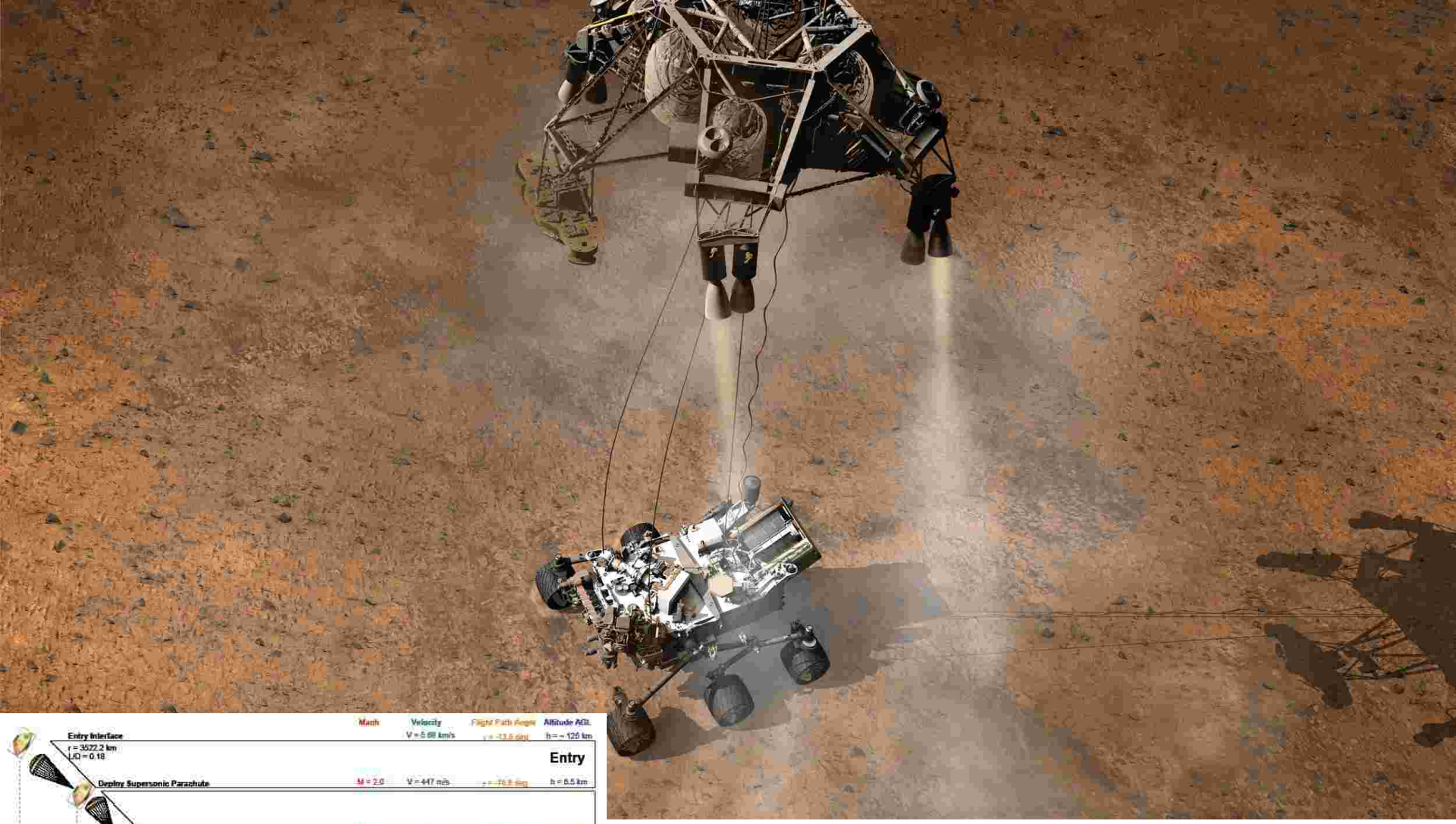


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

UNE MANŒUVRE À HAUT RISQUE

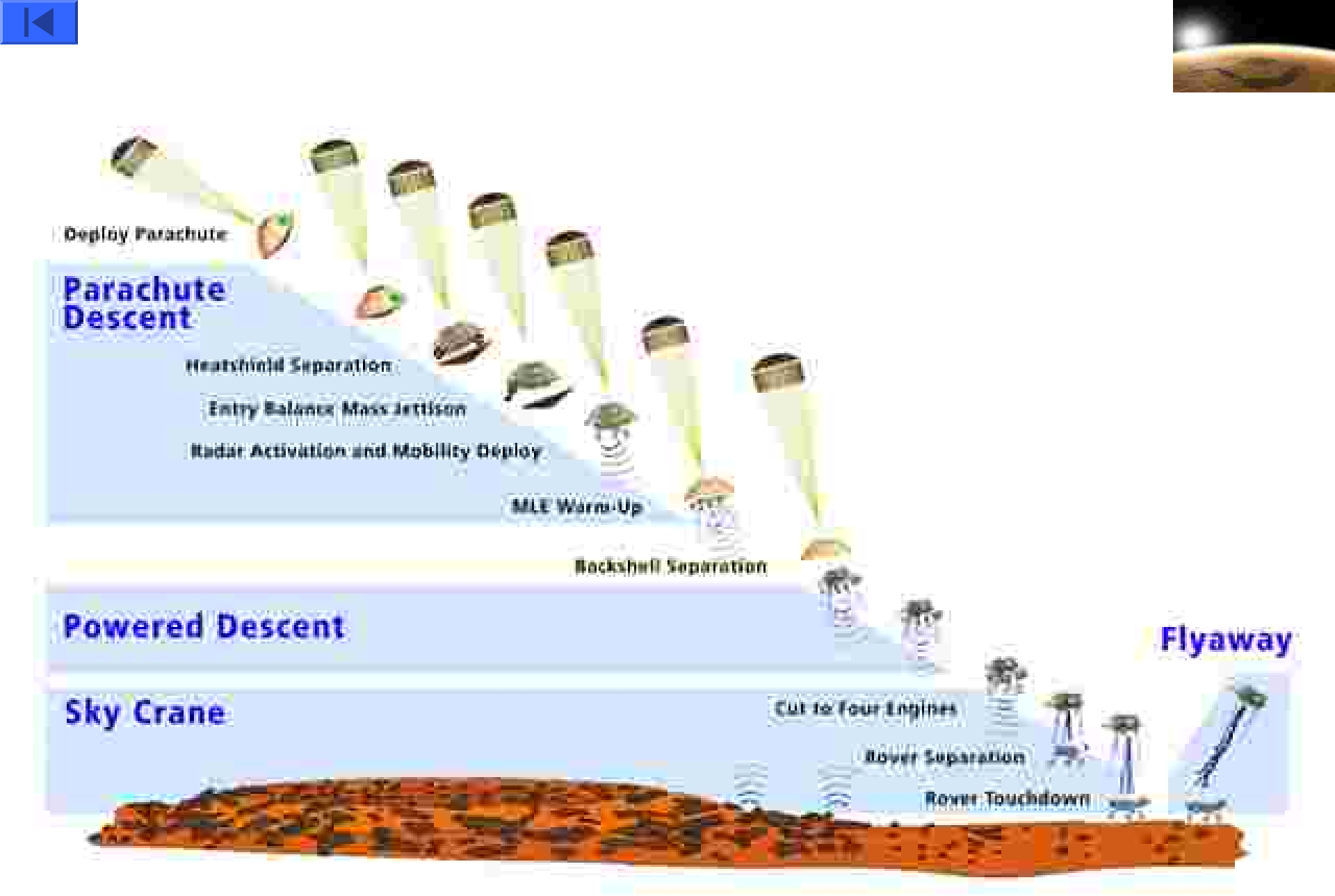
- La manœuvre s'effectue en 5 étapes :
- Couper les rétro fusées
- Déployer les roues du rover
- Déposer le rover doucement sur la surface, le contact est détecté par la grue (moins d'effort)
- Couper les connexions électriques et mécaniques (3 câbles de Nylon très solides qui seront coupés par des boulons pyrométriques) entre le rover et la grue
- Éjecter la grue le plus loin possible (150m?) grâce à ses rétro fusées.
- Et alors, et alors..Curiosity est arrivée!!!
- Comment le saura-t-on? 3 sondes martiennes (Mars Odyssey; MRO et Mars Express) vont écouter Curiosity et transmettre les OK des différentes séquences à la Terre.
- Distance parcourue : 567 Mkm 14 min. de décalage avec la Terre.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

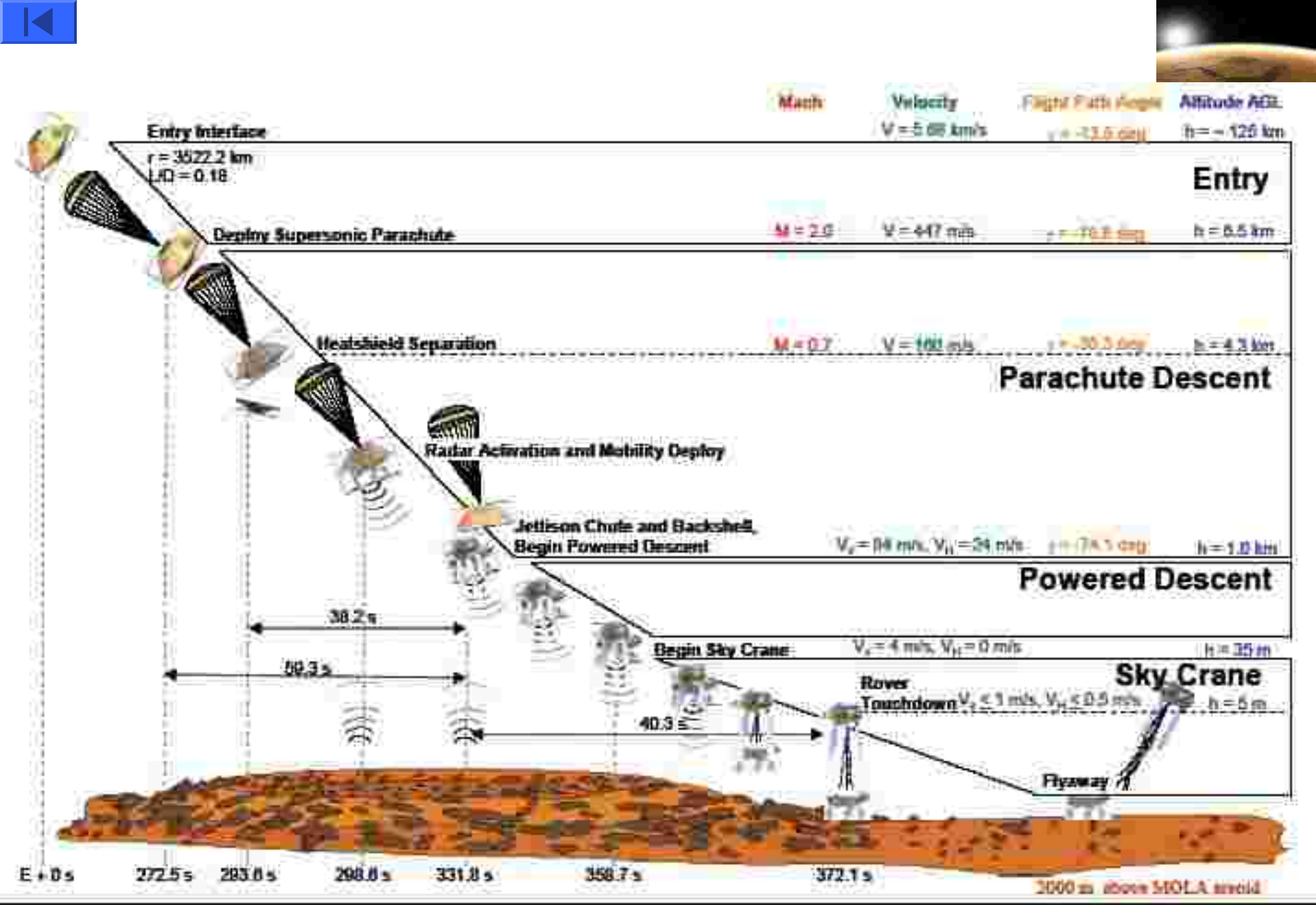

Mach
Velocity
Flight Path Angle
Altitude AGL
Entry Interface
r = 3522.2 km
LAD = 0.18
V = 5.68 km/s
h = ~ 125 km
Entry
Deploy Supersonic Parachute
M = 2.0
V = 447 m/s
h = 6.5 km
Heatshield Separation
M = 0.7
V = 160 m/s
h = 4.2 km
Parachute Descent
Radar Activation and Mobility Deploy
Jettison Chute and Backshell,
Begin Powered Descent
h = 1.8 km
Powered Descent
38.2 s
59.3 s
Begin Sky Crane
h = 25 m
Sky Crane
Rover
Touchdown
40.3 s
Flyaway
E + 0 s
272.5 s
283.6 s
298.6 s
331.8 s
358.7 s
372.1 s
2000 m above MOLA areoid

106

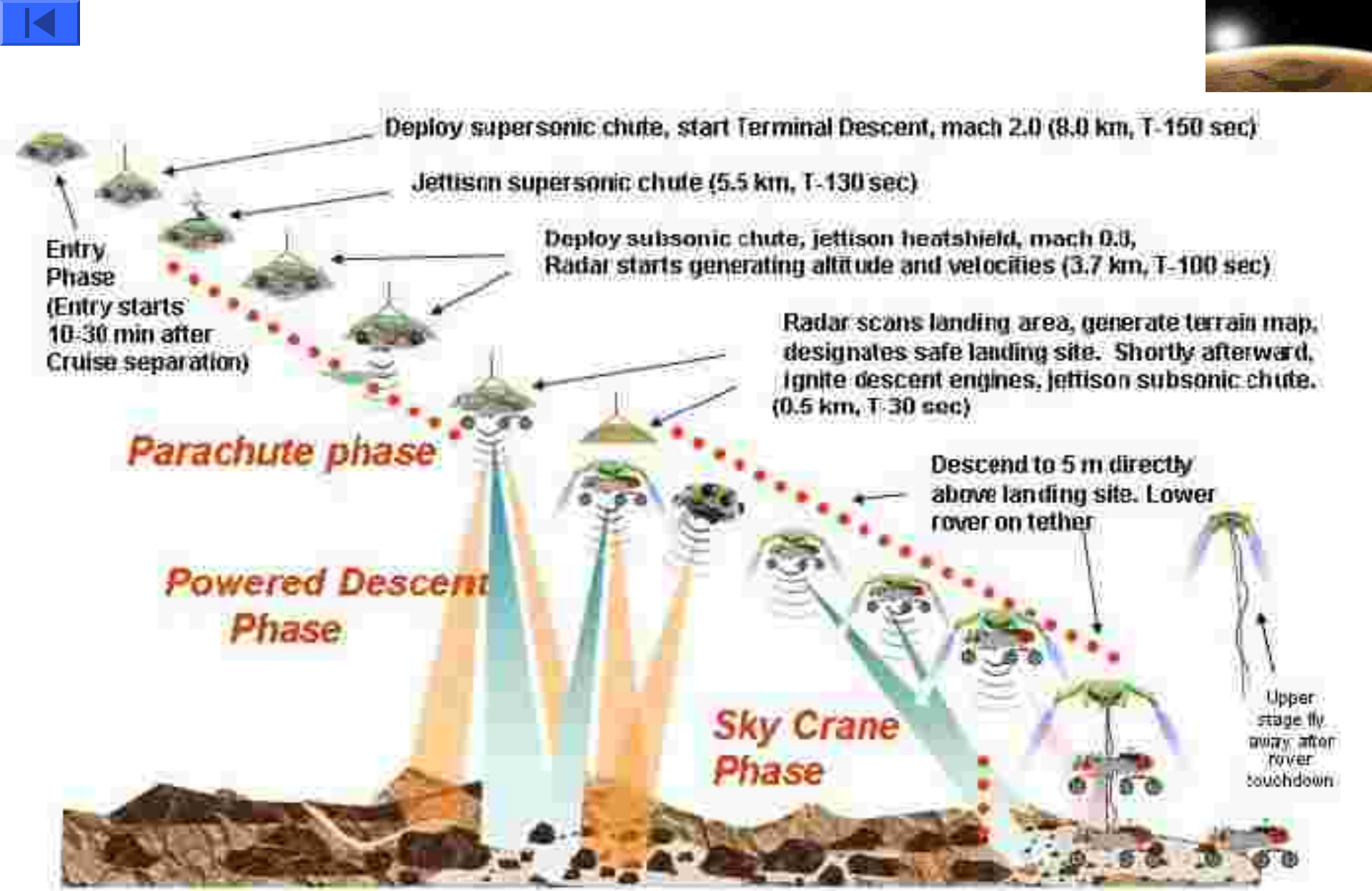
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



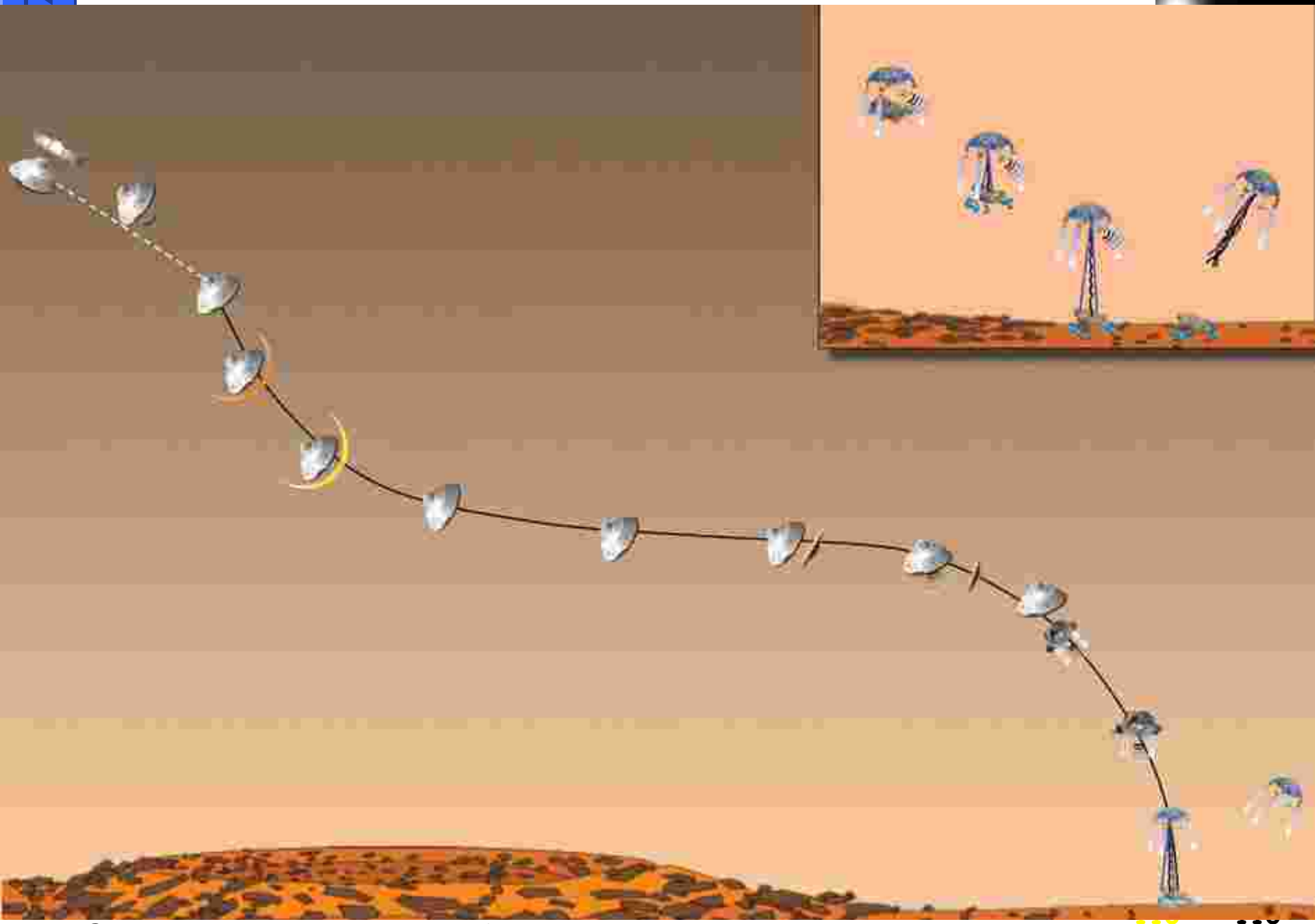
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



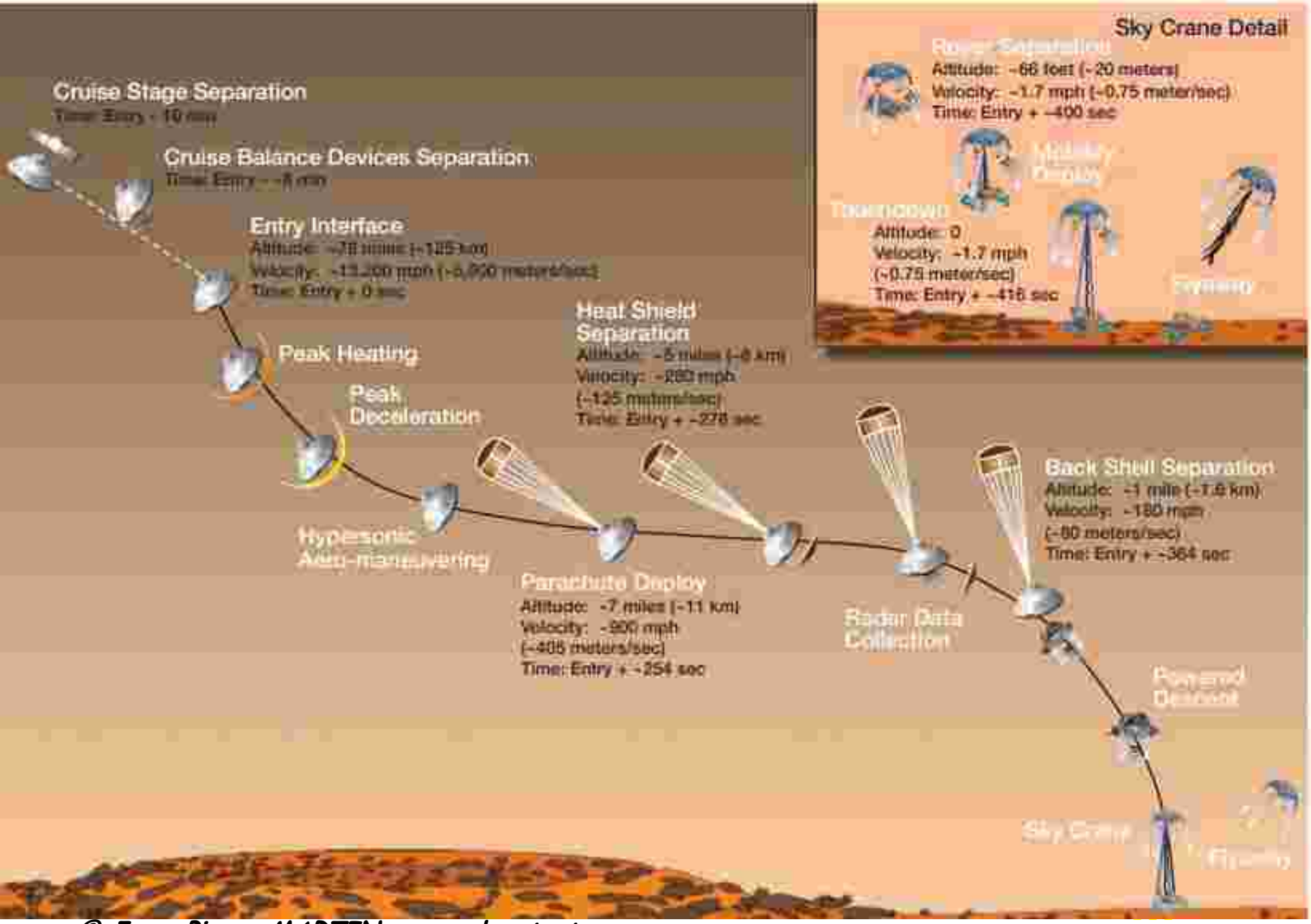
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

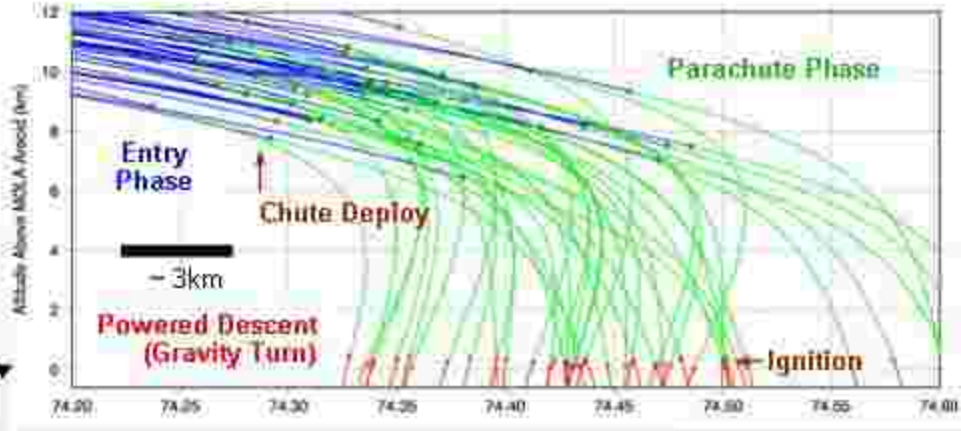


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Landing accuracy capabilities & concepts

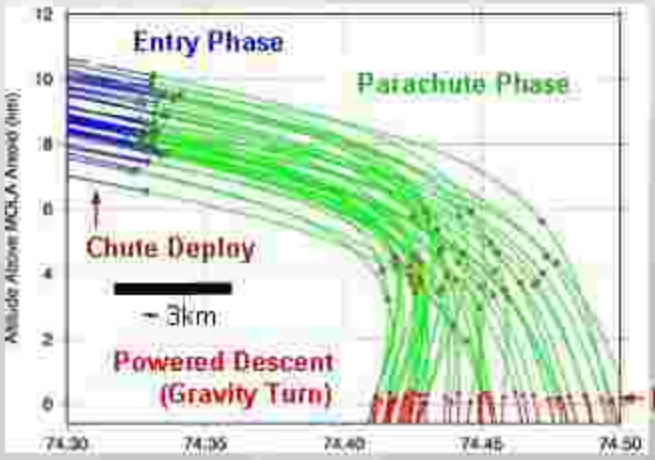
Unguided (MER, Phoenix, Exomars):
50 km radius

Ballistic guided entry phase (MSL):
10 km radius



MSL 2009 System
Triggers chute deployment on speed

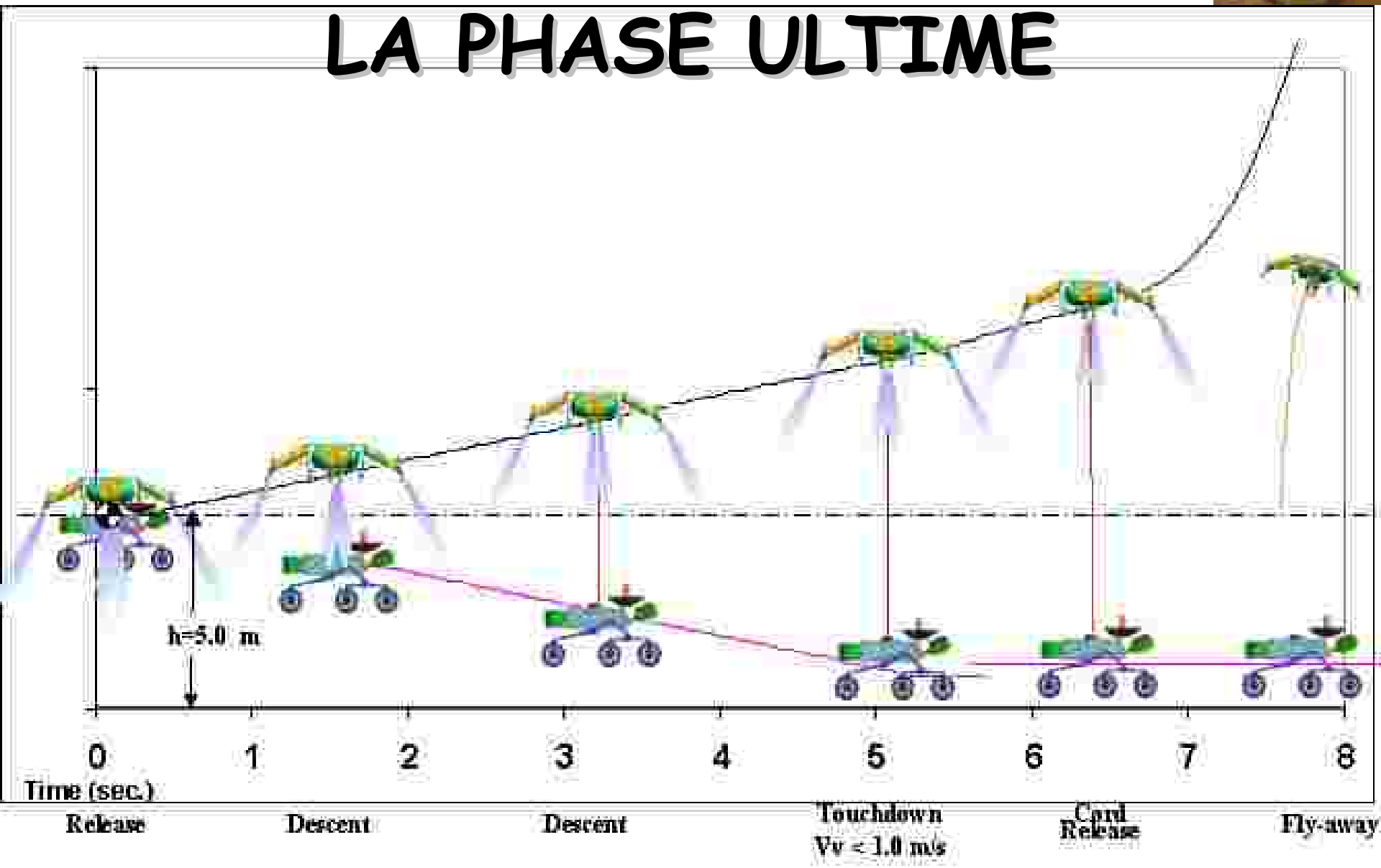
Ballistic guided entry phase and optimised parachute opening (enhanced MSL):
3 km radius



Improved accuracy, triggers chute
Deployment on position

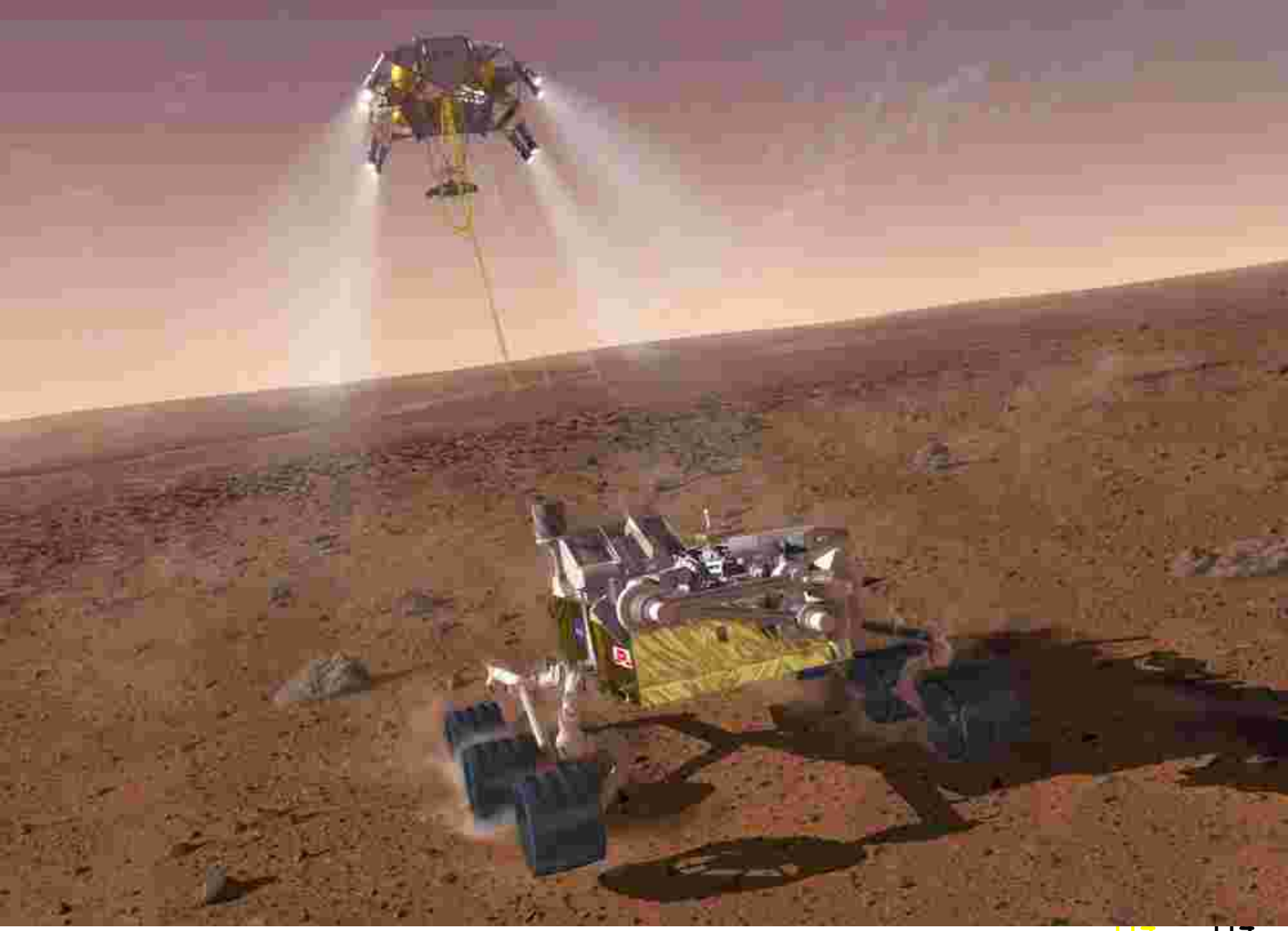
Pinpoint landing (< 3 km) would require ground observation during descent and lateral guided powered terminal phase

LA PHASE ULTIME



113

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- Il y a différentes animations concernant cette mission :
- Animation globale
- Animation de l'atterrissage (5 min)
- Animation Rover

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

UNE COOPÉRATION INTERNATIONALE POUR « VOIR » L'ATTERRISSAGE

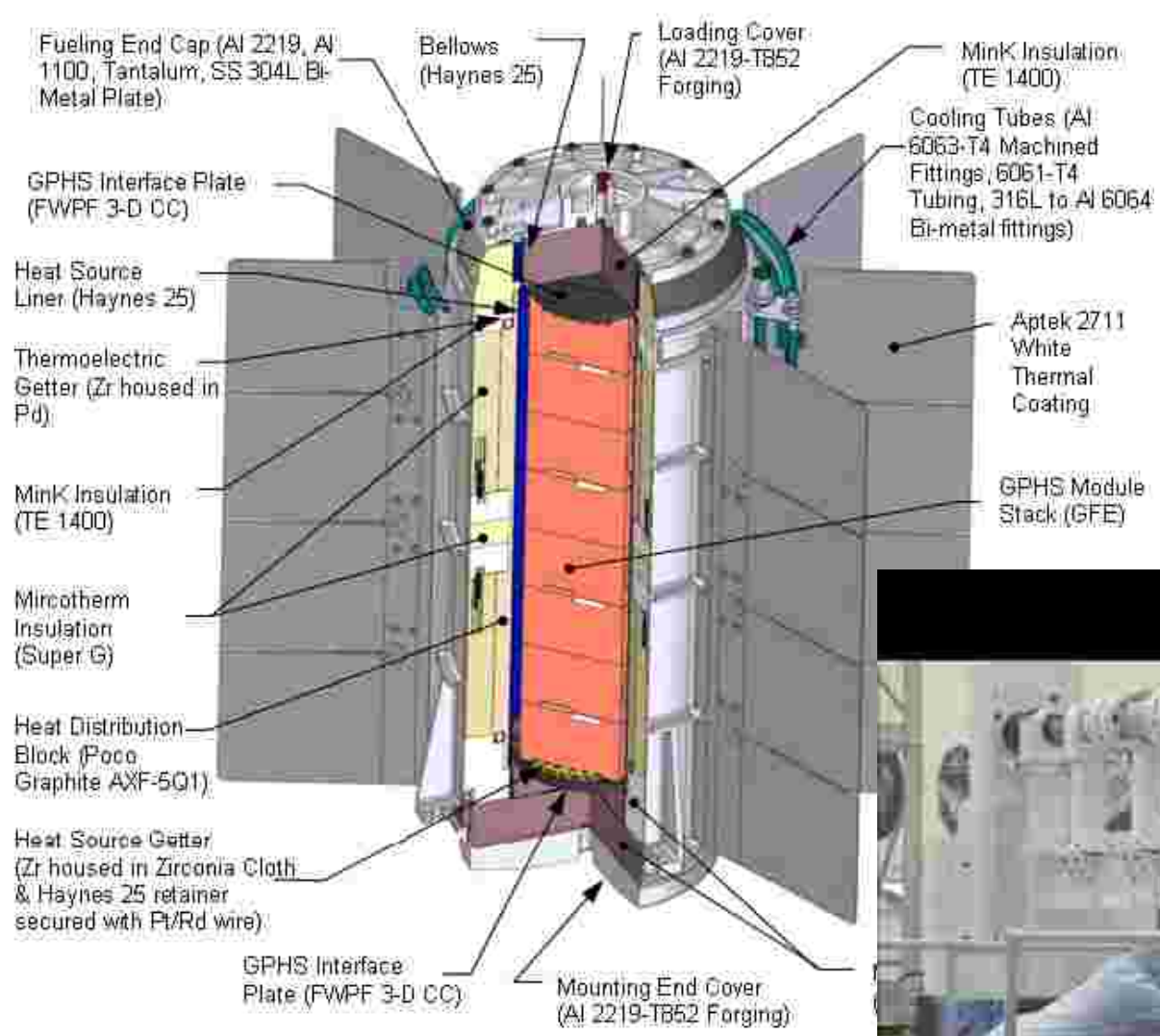
- Les sondes MRO et Mars Odyssey amércaines changent d'orbite pour aider à la transmission lors de l'atterrissage et essayer de capturer ce moment.?
- De même la sonde européenne Mars Express sera présente en back up
- Toutes transmissions : UHF 400 MHz

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

7-LE ROVER CURIOSITY

- C'est un 6x6 comme le dit malicieusement Francis Rocard! Il devrait être capable de parcourir jusqu'à 300m par jour!
- Le rover devrait pouvoir passer des obstacles de 75cm de haut.
- La propulsion du rover Curiosity est nucléaire, assurée par des GPHS-RTG, grâce à un générateur thermoélectrique à radio-isotope (RTG) de nouvelle génération (le MMRTG)
- Utilisation de 4,8 kg de dioxyde de plutonium (PuO2) enrichi en plutonium 238
- Puissance initiale de 2 000 W thermiques convertis en 200W électriques par des thermocouples (PbTe/TAGS) (effet Seebeck) Énergie de 2,5 kWh/j (au lieu des 0,6 à 0,9 kWh/j sur les MER) Dans 14 ans, 100W électriques attendus Autonomie totale jour/nuit et hiver/été
- Des radiateurs de 50 m de tubes rejèteront la chaleur excédentaire grâce à un fluide caloporteur

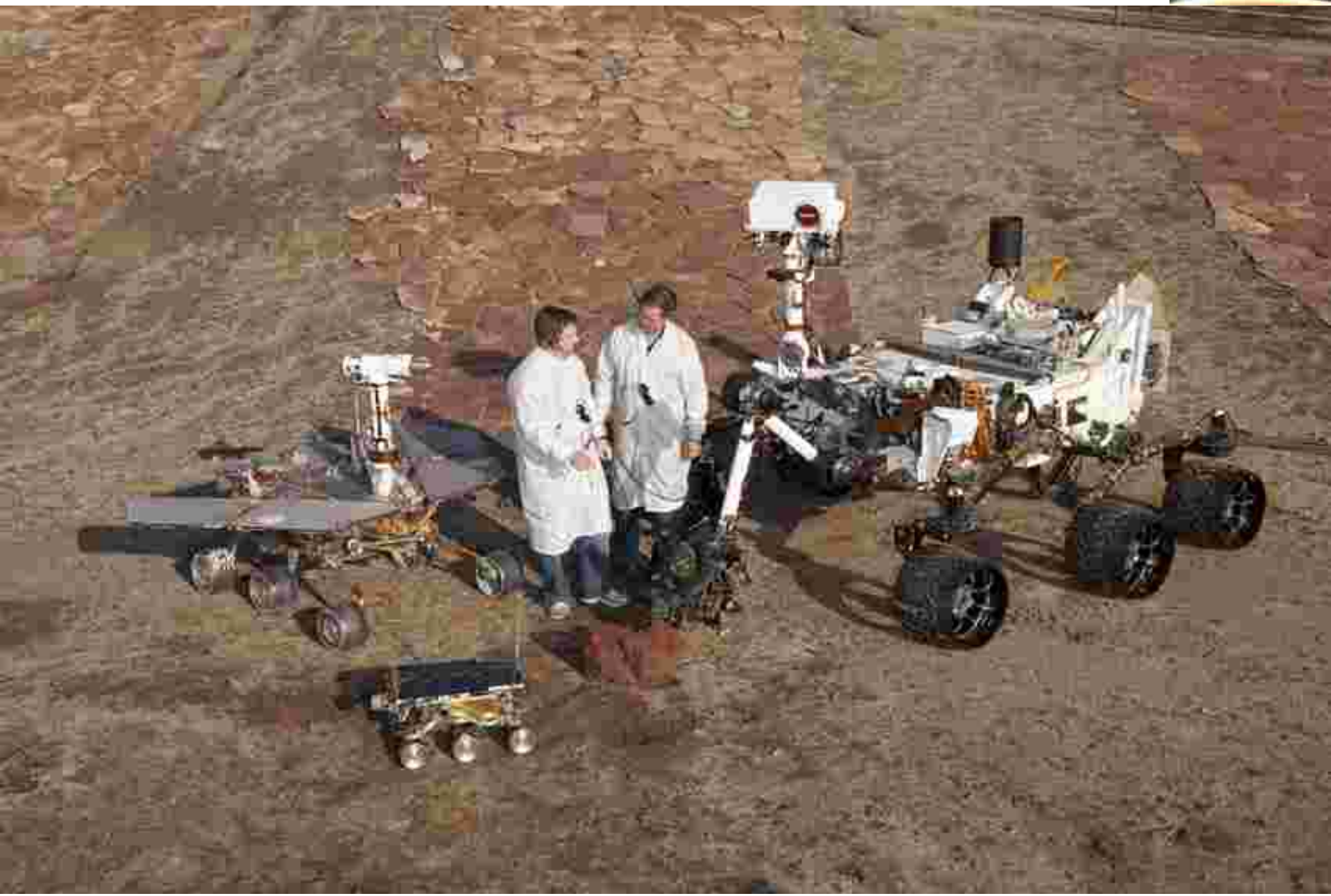
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



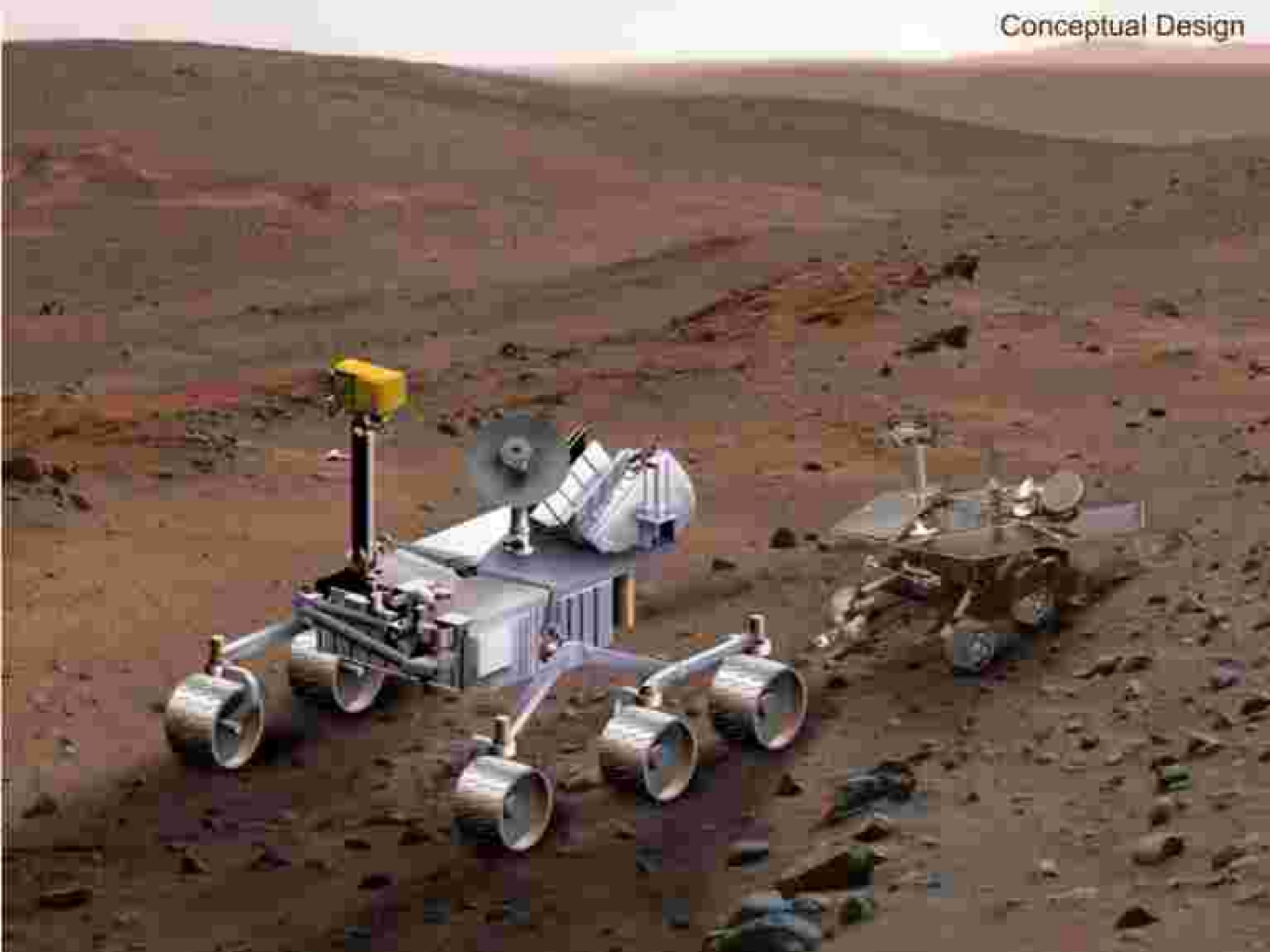
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- La taille comparée des roues
- Les roues de Curiosity font 50cm de diamètre

119
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



Comparaison des caractéristiques de Curiosity avec celles des MER et de Sojourner

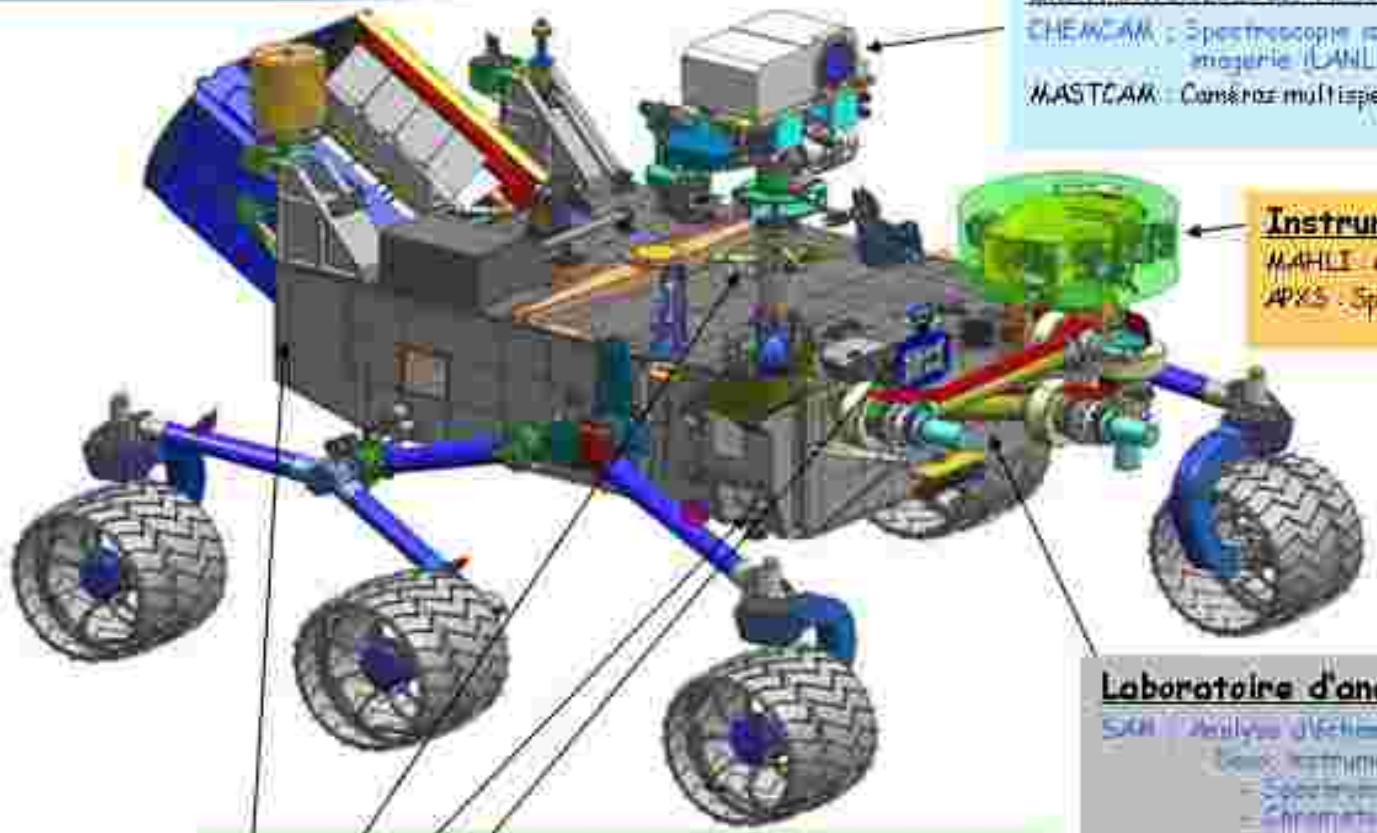
Caractéristiques \ ROVER	Curiosity (2011)	MER (Mars Exploration Rover) (2003)	Sojourner (1996)
Masse (lancement/entrée/rover)	3400 / 2600 / 900 kg	1077 / 841 / 179 kg	895 / 620 / 10,6 kg
Puissance-Energie par sol (croisière/surface)	1000 W-solaire / 2500 WHrs-RTG	600 W-solaire / 900 WHrs-solaire	
Hauteur du mât/base des roues	2,1 m / 1,9 m	1,5 m / 1,4 m	0,3 m
Garde au sol/Diamètre roue	0,66 m / 0,5 m	0,3 m / 0,26 m	0,2 m / 0,13 m
Site d'atterrissage Taille de l'ellipse Altitude max Latitude	Cratère Gale 20 km x 20 km 2 km +60° à -60°	Cratère Gusev (Spirit) Meridiani Planum (Opportunity) 150 km x 20 km 1,3 km +10° à -15°	Ares Vallis 200 km x 100 km - 1,5 km
Masse Charge Utile Scientifique	85 kg	6 kg	0,6 kg
Capacité de déplacement (distance max)	20 km	600 m (7,7 km pour Spirit et plus de 30 km pour Opportunity)	101,8 m

Document CNES

122

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

8-LES INSTRUMENTS



Instruments sur le mât

CHEMCAM : Spectroscopie avec un tir laser et imagerie (LANL et CESR/CNES)

MASTCAM : Caméras multispectrales et stéréos

Instruments au contact (bras)

MAHLI : Microscope (roches, sol, givre et glace)

APXS : Spectromètre Proton/ X-ray backscatter

Laboratoire d'analyse (chassis de devant)

SAM : Analyse d'échantillons minéraux et gazeux (GSFC)

Deux instruments scientifiques :

- Spectromètre de masse quadripole (GSFC)
- Chromatographe en phase gazeuse (France)

CHEMIN : Analyse minéralogique par diffraction et fluorescence X

Instruments pour l'environnement

DAN : Détecteur de neutrons pour mesurer l'H

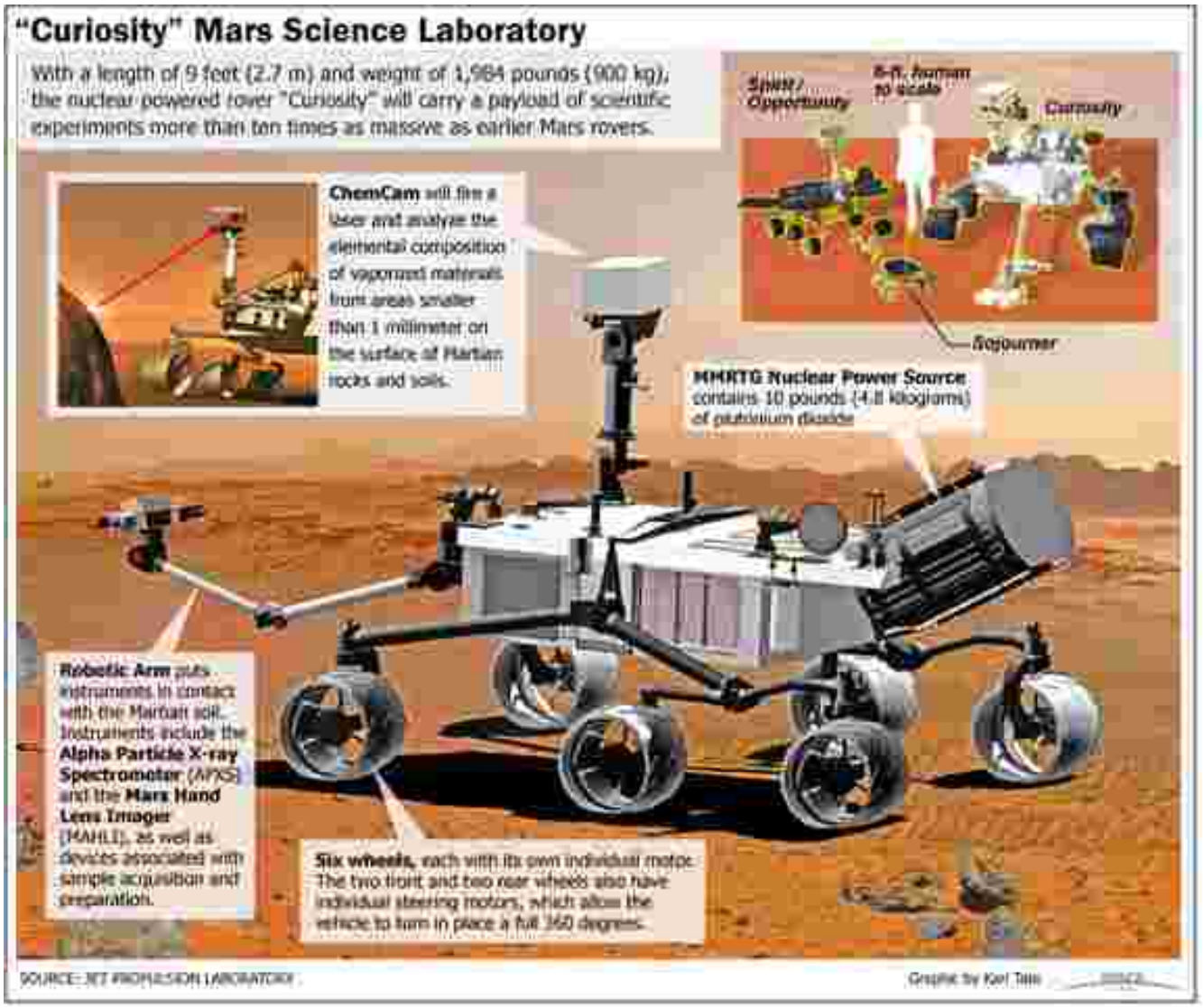
REMS : Capteurs météorologique (vent, T°, P et UV)

MARDI : Imageur HR et couleur pour la descente

RAD : Spectromètre de mesure des radiations de surface

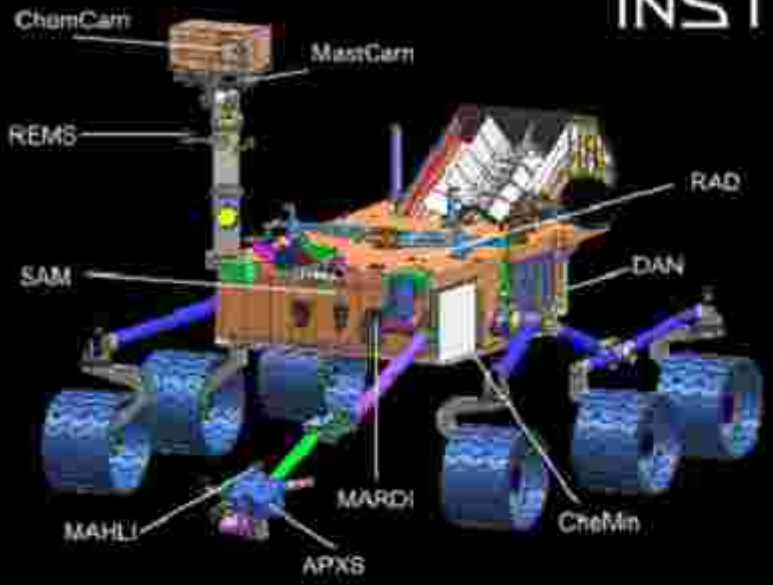
- Curiosity emporte 10 expériences scientifiques
- Pour détecter des traces d'eau
- Pour analyser les roches et minéraux (argiles, sulfates, carbonates…)
- Pour imager à haute résolution l'environnement
- La France participe activement à de nombreux instruments.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

INSTRUMENTS



Mesure et Observation à Distance (mât) :

- CHEMCAM : Analyse par spectrométrie de la lumière d'un plasma issu d'un tir laser (jusqu'à 10 m de distance) sur des roches martiennes
- MASTCAM : Ensemble de caméras pour réaliser des images multispectrales et stéréos à des distances variant de quelques centimètres à plusieurs kilomètres et des vidéos haute définition (10 images/s)

Instruments de contact (bras) :

- APXS : Déterminera les abondances élémentaires des roches et du sol
- MAHLI : Microscope pour réaliser des images des roches, du sol, du givre et de la glace

Laboratoire d'analyse (avant du chassis) :

- CHEMIN : Analyse minéralogique d'échantillons de roches par diffraction et fluorescence des rayons X
- SAM : Suite instrumentale qui réalisera des analyses minérales et atmosphériques, détectera des composés organiques et réalisera des analyses d'isotopes stables d'organiques et de gaz nobles.

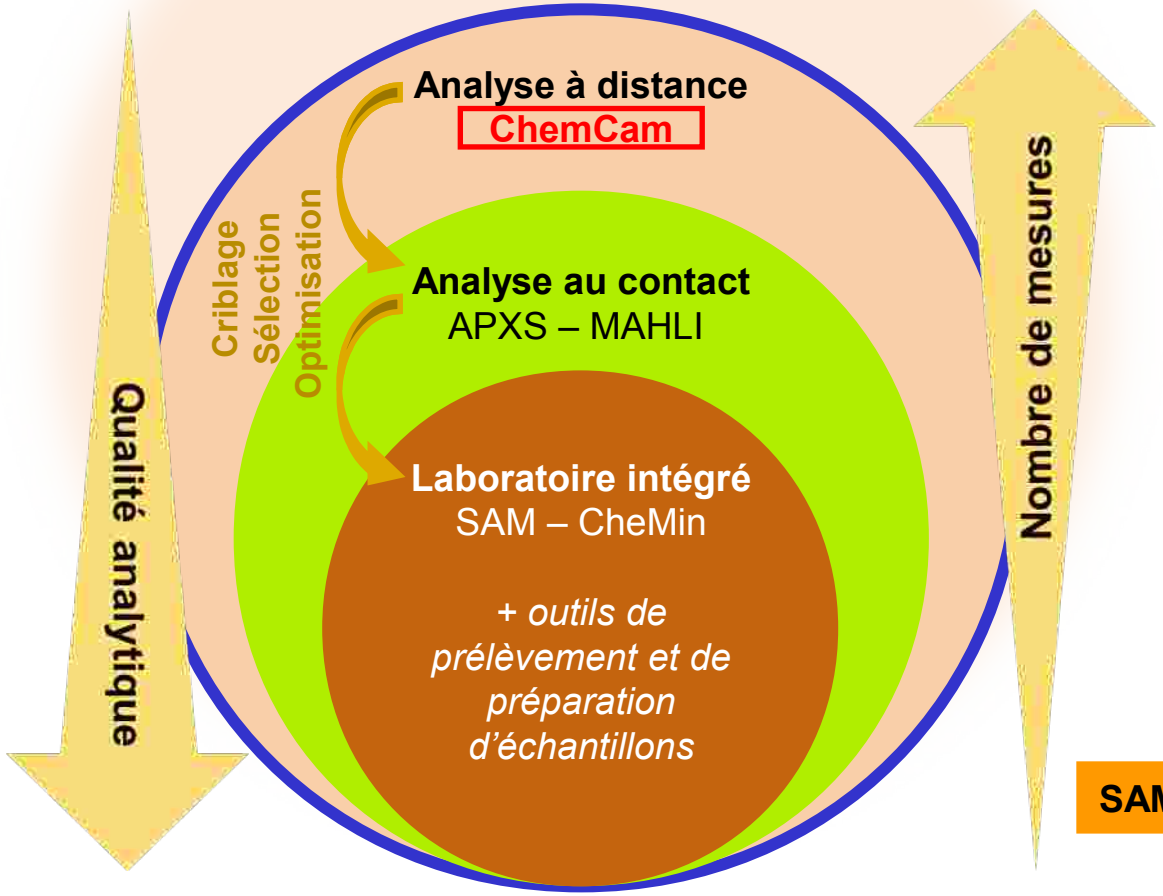
Caractérisation de l'environnement (montée sur le corps ou le mât) :

- DAN : Détecteur de neutrons pour mesurer l'hydrogène (incluant l'eau)
- MARDI : Caméra pour réaliser lors de la descente et de l'atterrissage sur Mars des images hautes résolution et en couleur pour étude du contexte géologique du site
- RAD : Caractérisera un large spectre de radiation en vue de l'exploration humaine de Mars
- REMS : Package météorologique pour le mesure du vent, de la pression et de la température avec en plus un capteur Ultraviolet

MSL – STRATÉGIE ANALYTIQUE POUR L'EXPLORATION MARTIENNE

Visualisation
MastCam
ChemCam (RMI)

Mesures d'environnement
RAD – DAN – REMS



ChemCam (2 ans) : > 8000 (~ 12 / jour)

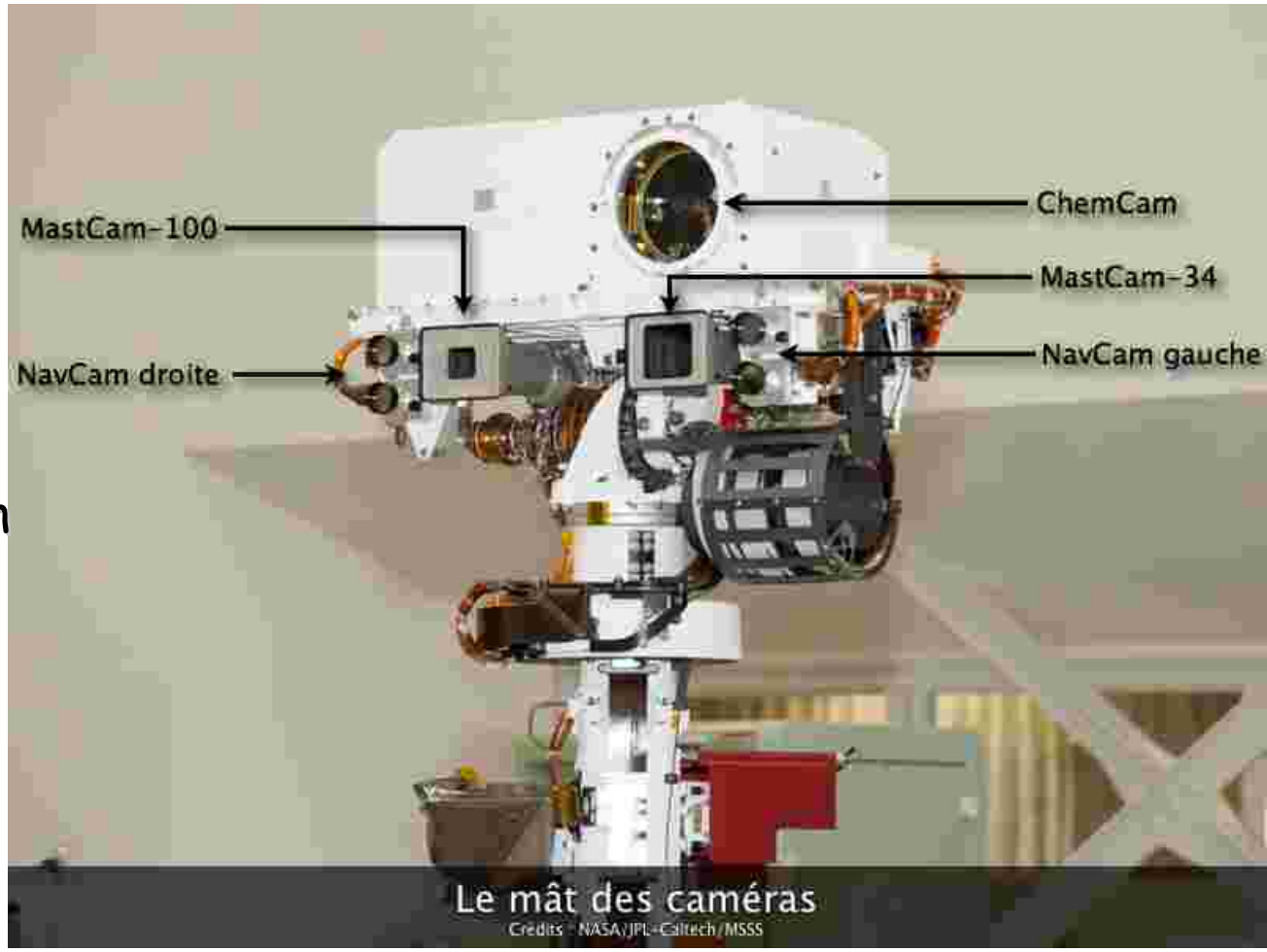
SAM (2 ans) :

Rôle clé de ChemCam dans la stratégie de déplacement et d'analyse du rover

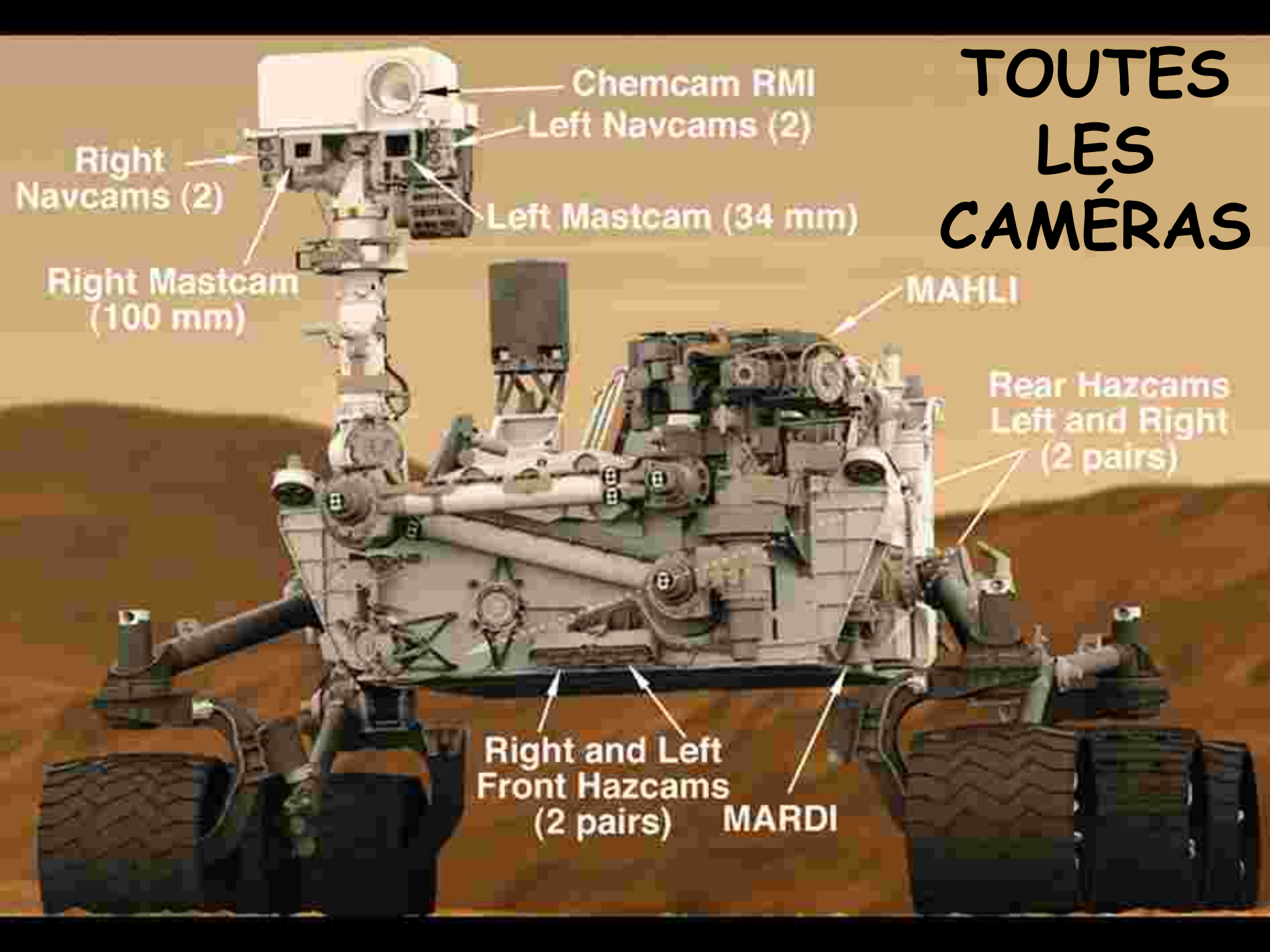
D'après document CEA

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- MASTCAM (Mast Camera) est un ensemble de deux caméras fixées au sommet du mat du rover MSL à une hauteur de 2m au-dessus du sol qui fournit des images en couleurs, en lumière visible et en proche IR.
- Une grand angle 34mm et une télé 100mm
- Développée par la célèbre firme Malin Space (MGS, MRO).



Le mât des caméras
Crédits : NASA/JPL-Caltech/MSSS

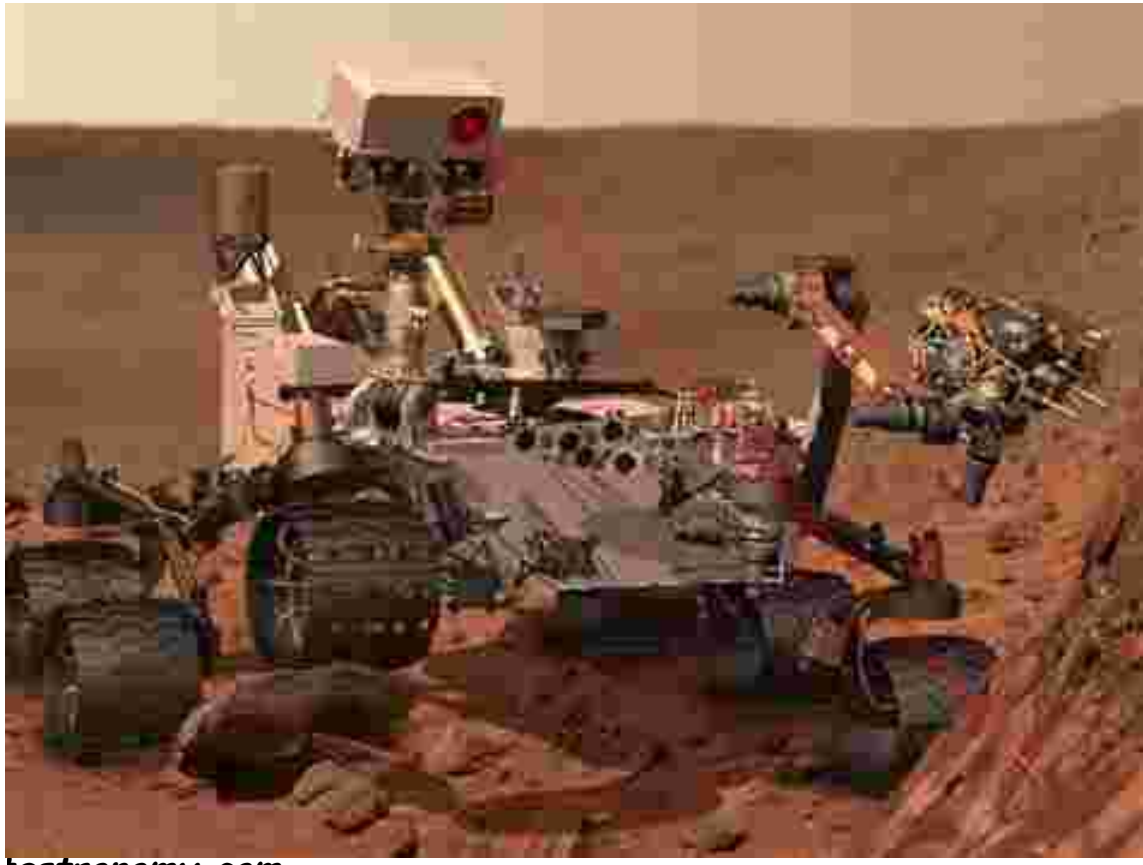

TOUTES LES CAMÉRAS
Chemcam RMI
Left Navcams (2)
Right Navcams (2)
Left Mastcam (34 mm)
Right Mastcam (100 mm)
MAHLI
Rear Hazcams Left and Right (2 pairs)
Right and Left Front Hazcams (2 pairs)
MARDI

COMPARAISON DES DIFFÉRENTS CHAMPS DE VISION

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

LE CHEMCAM

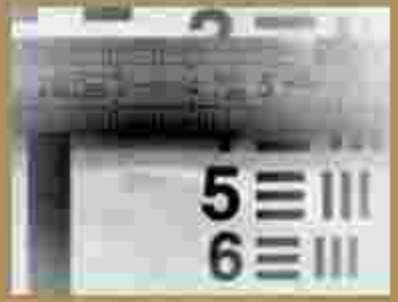
- **Le ChemCam** (Chemistry Camera); c'est un instrument d'analyse élémentaire des roches et des sols autour du Rover et jusqu'à environ 9 mètres.
- Il utilise la technique d'analyse spectroscopique induite par évaporation laser.
- Il est situé dans le mât et bombarde (jusqu'à 9m) avec un faisceau Laser sa cible et analyse la vapeur émise.
- Développé par le CEA, le CNES et un laboratoire de Los Alamos.

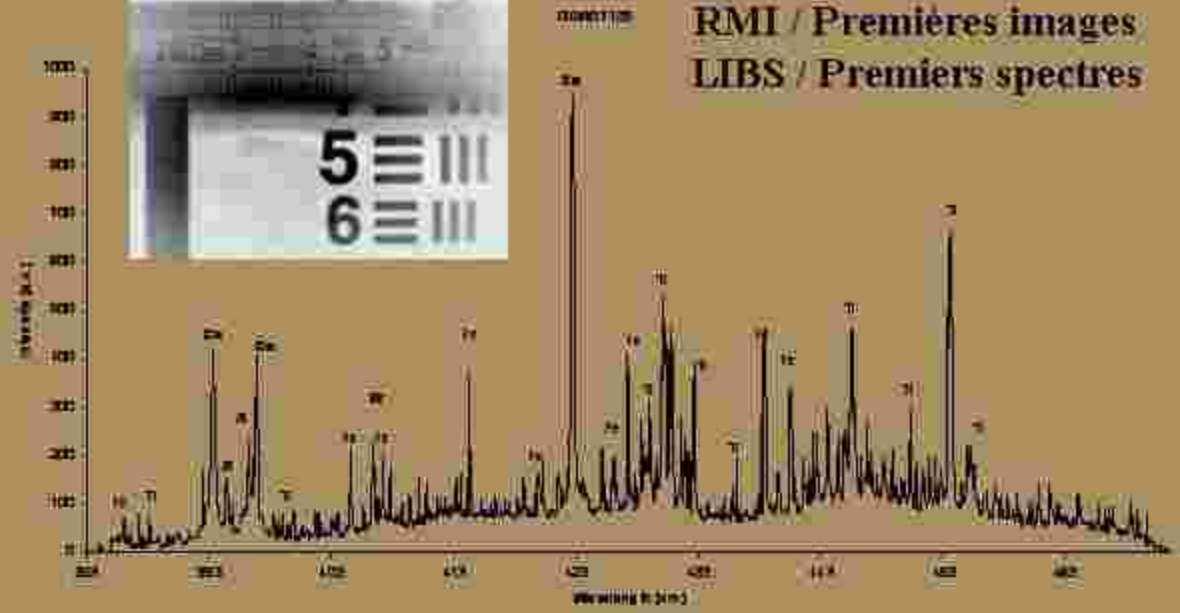


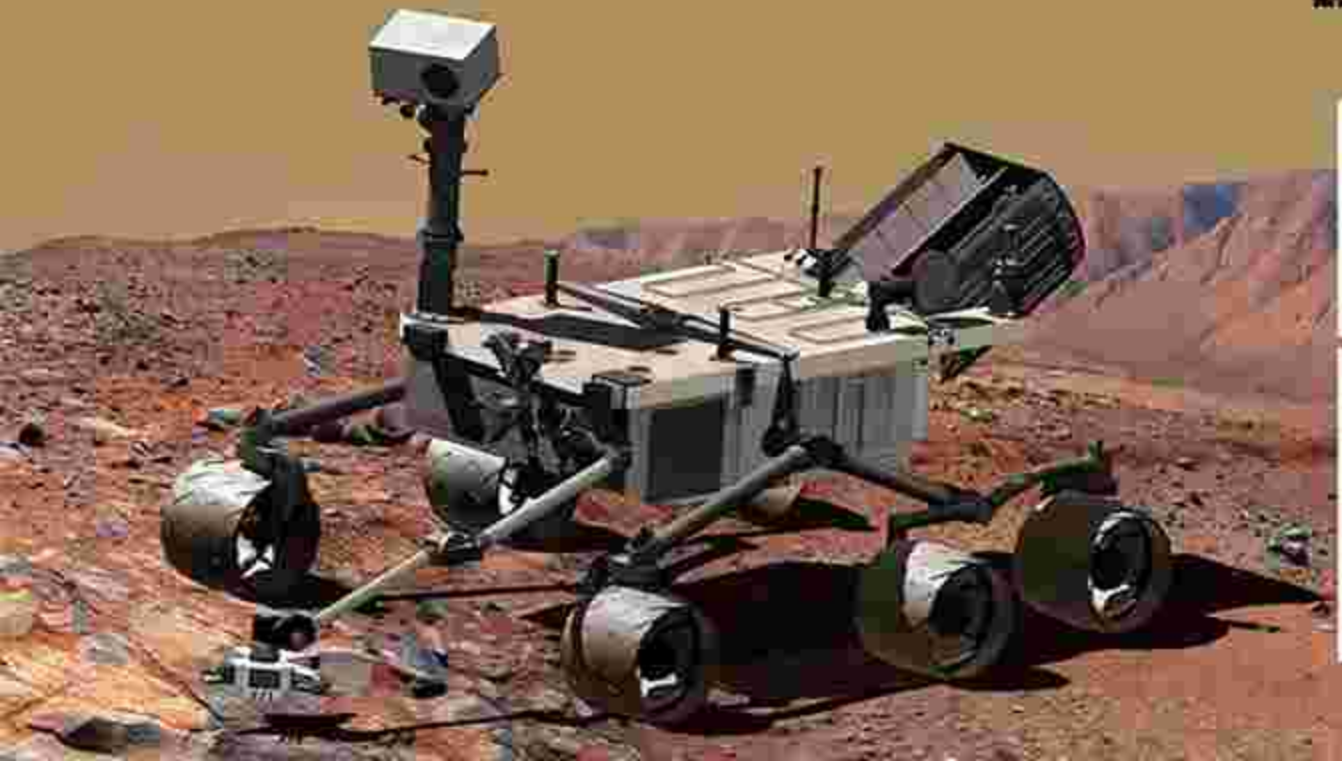
astronomy.com

ChemCam

RMI / Premières images
LIBS / Premiers spectres





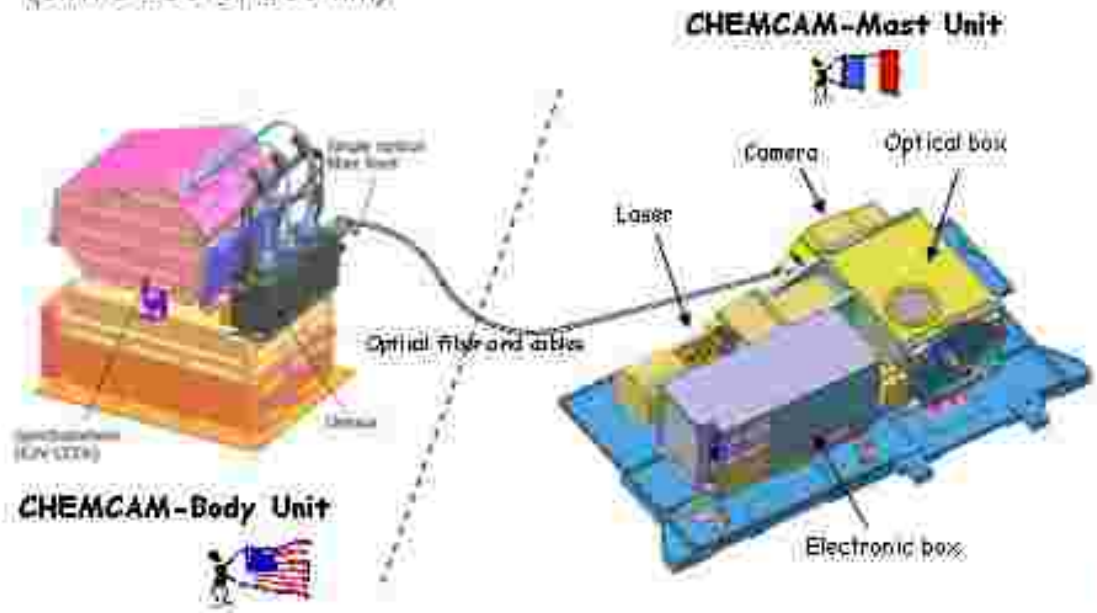


CHEMCAM-MU Deputy-PI : Sylvestre Maurice (CESR)

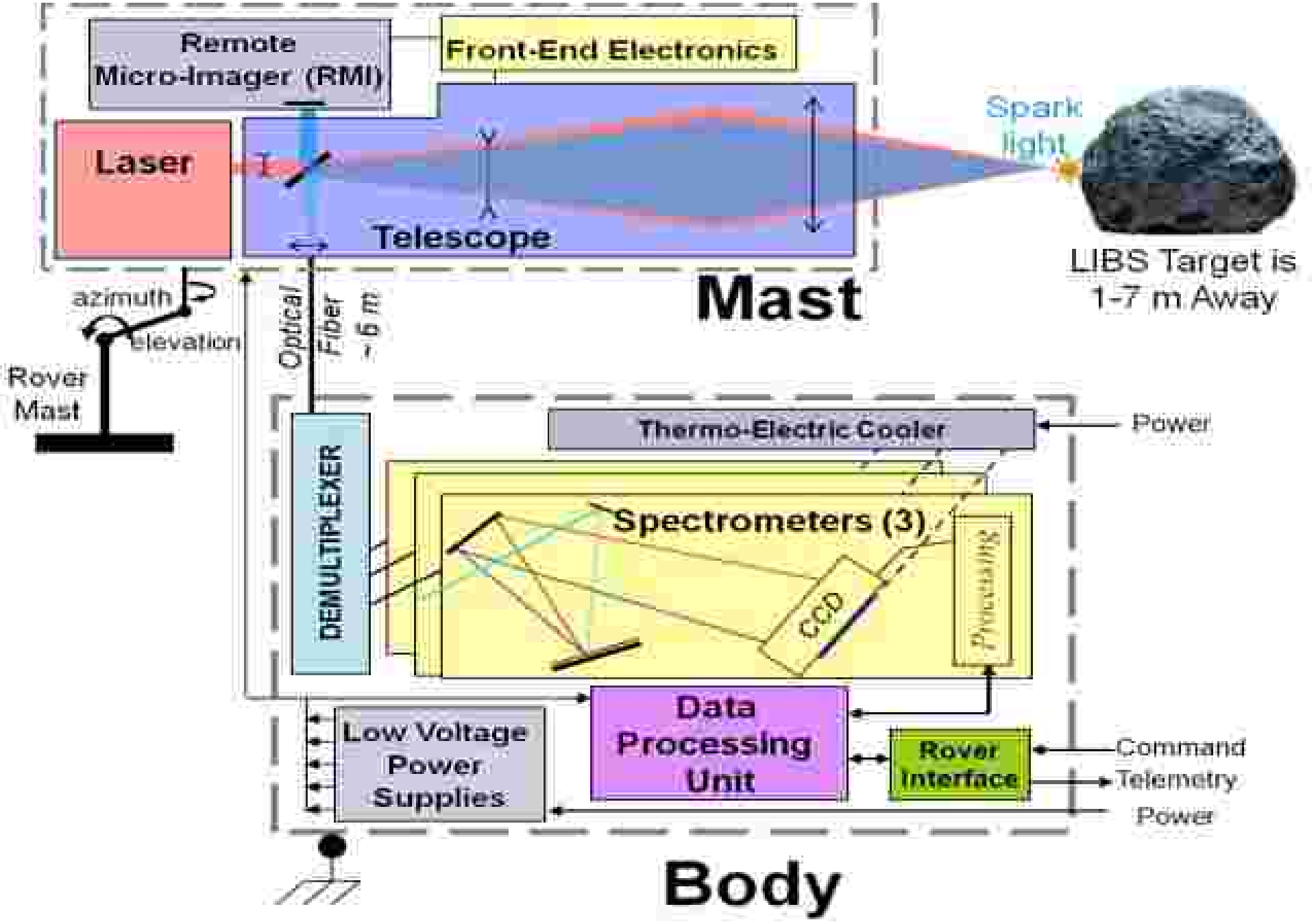
CESR

PRINCIPALES FONCTIONS DE CHEMCAM

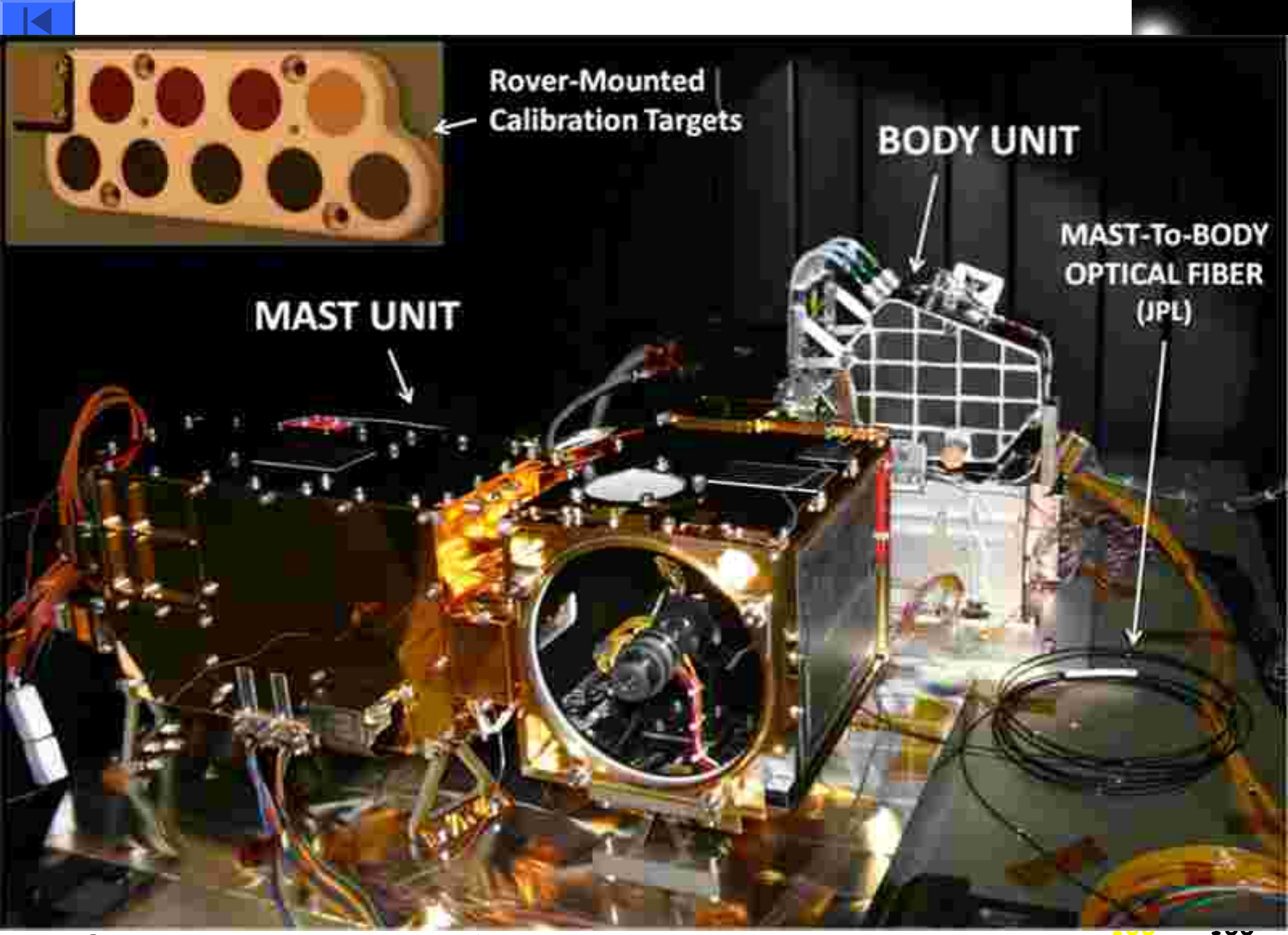
- Viser un échantillon (distance entre 2 et 10 m)
- Former une image de l'échantillon
- Envoyer un faisceau Laser pulsé vers l'échantillon (1 GW/cm²)
- Collecter la lumière pour analyse spectrale (entre 250 et 800 nm)



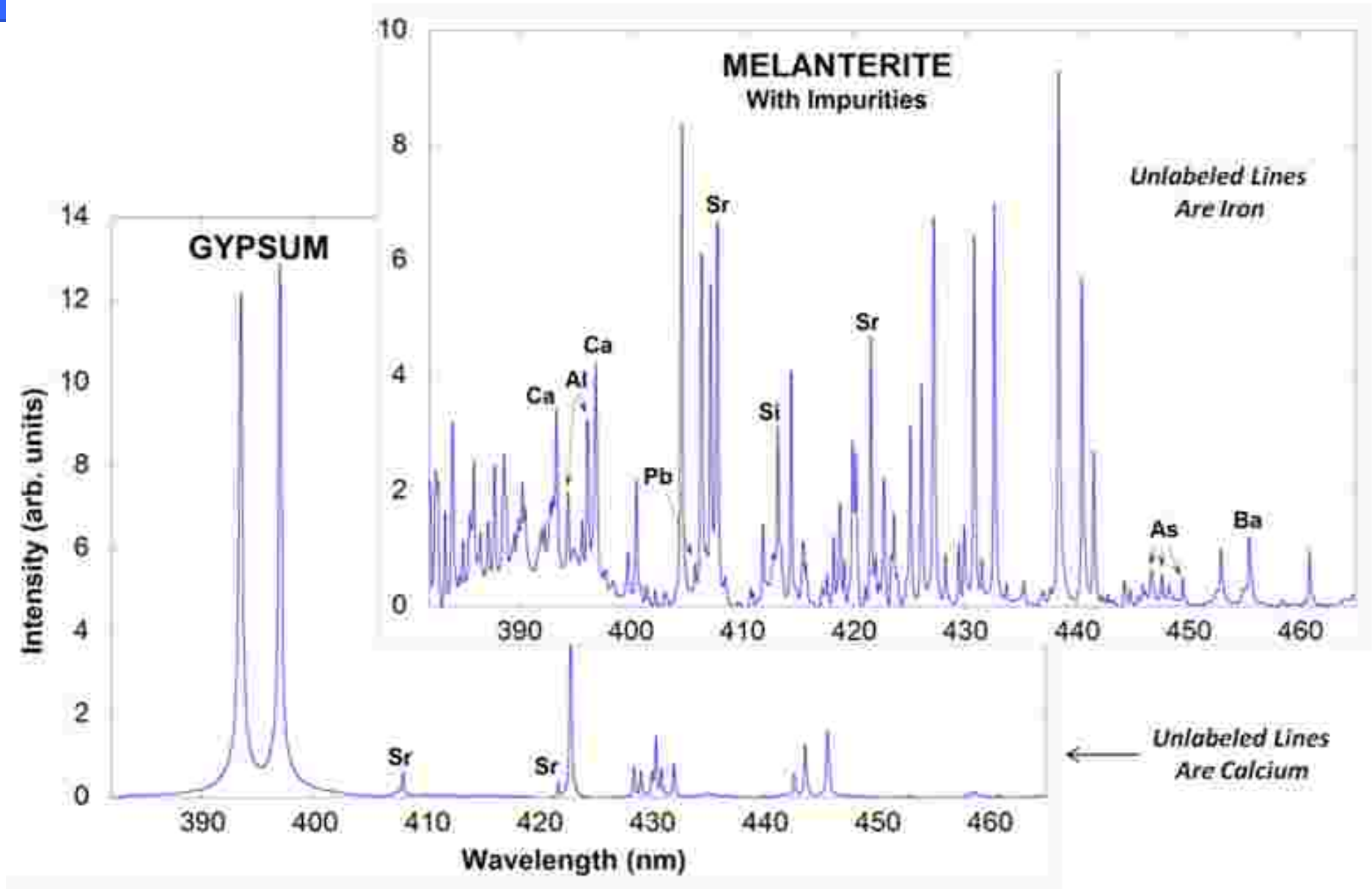
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

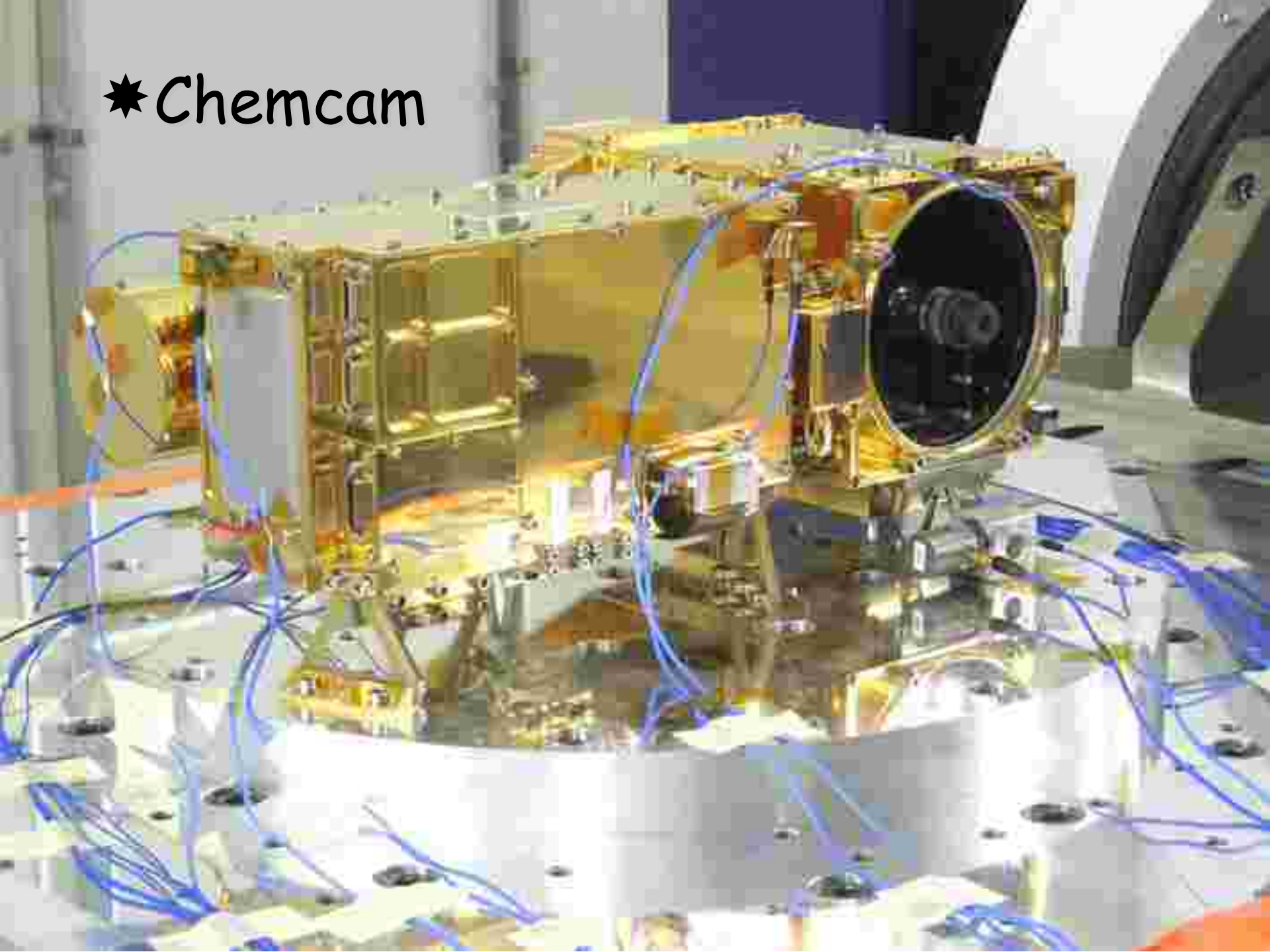

Remote Micro-Imager (RMI)
Front-End Electronics
Laser
Telescope
Spark light
LIBS Target is 1-7 m Away
Mast
azimuth
elevation
Rover Mast
Optical Fiber ~6 m
DEMULTIPLEXER
Thermo-Electric Cooler
Power
Spectrometers (3)
CCD
Photodiodes
Data Processing Unit
Low Voltage Power Supplies
Rover Interface
Command
Telemetry
Power
Body

- On produit un plasma en focalisant un faisceau Laser sur le corps à analyser. La lumière réémise donne la composition.
- Contrairement à la mesure par Rayonnement X, la technique Laser (LIBS en anglais laser-induced breakdown spectroscopy) est sensible aux **éléments légers** de faible n° atomique tels que : H, Li, Be, B, C, N, O. Donc les composés organiques sont mesurés facilement.
- Chemcam comporte 6144 canaux d'analyse couvrant le spectre de 240 à 850nm.
- Le **rayon d'analyse est aussi très fin**, ce qui est utile pour l'étude de strates sédimentaires.
- Il va donner des informations sur les roches et les sols autour du rover.



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com


MELANTERITE
With Impurities
Unlabeled Lines
Are Iron
Ca
Al
Ca
Pb
Sr
Si
Sr
As
Ba
GYPSUM
Sr
Sr
Unlabeled Lines
Are Calcium
Intensity (arb. units)
Wavelength (nm)

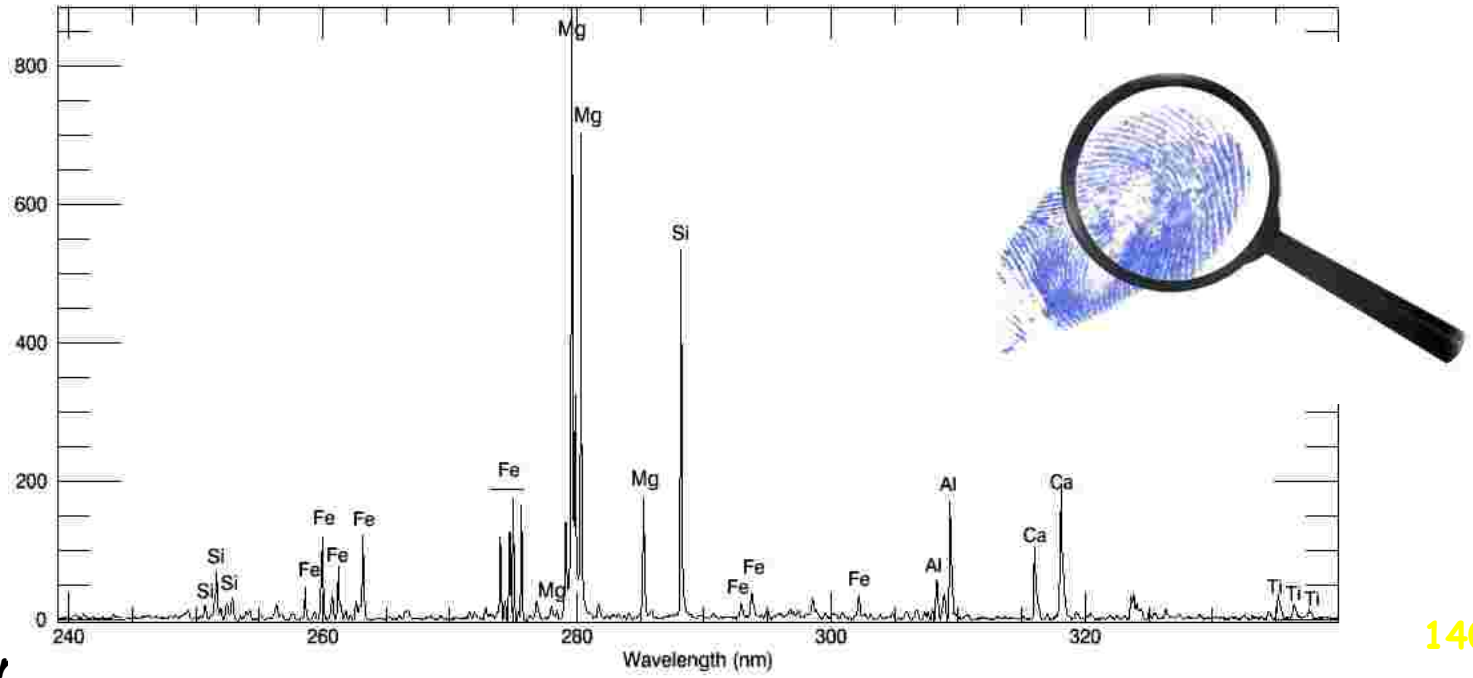

Chemcam

✸Les yeux de Chemcam!

Photo : LANL

SAM : Sample Analysis at Mars

- Le SAM dont le co-PI est Michel Cabane (LATMOS), c'est un chromatographe en phase gazeuse (GCMS)
- La mission de SAM ? **Recenser les composés organiques présents dans les échantillons de sol et d'atmosphère** prélevés sur place. (un peu comme les Vikings)
- Spectre du basalte vu par SAM.



© Jean

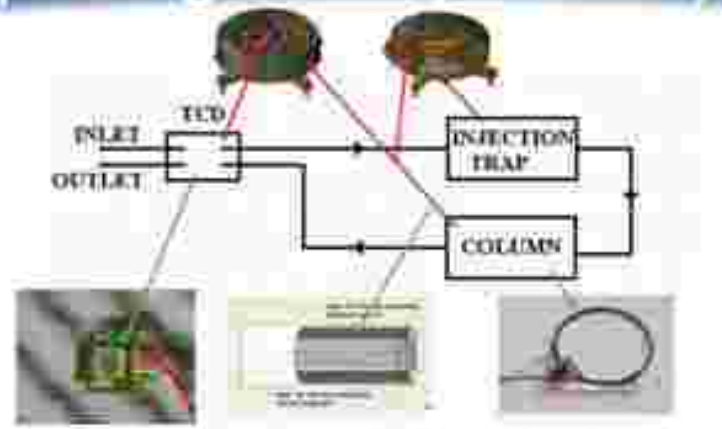
140

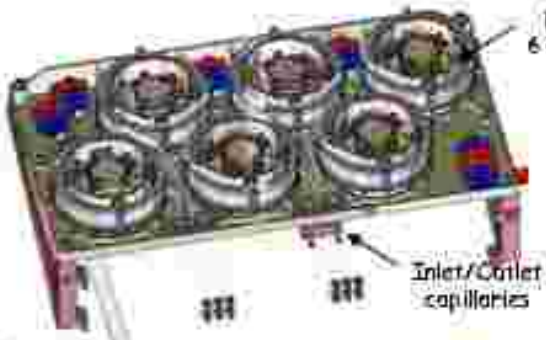
PRESENTATION DE MSL-09
Chromatographe en phase gazeuse (SAM-GC)

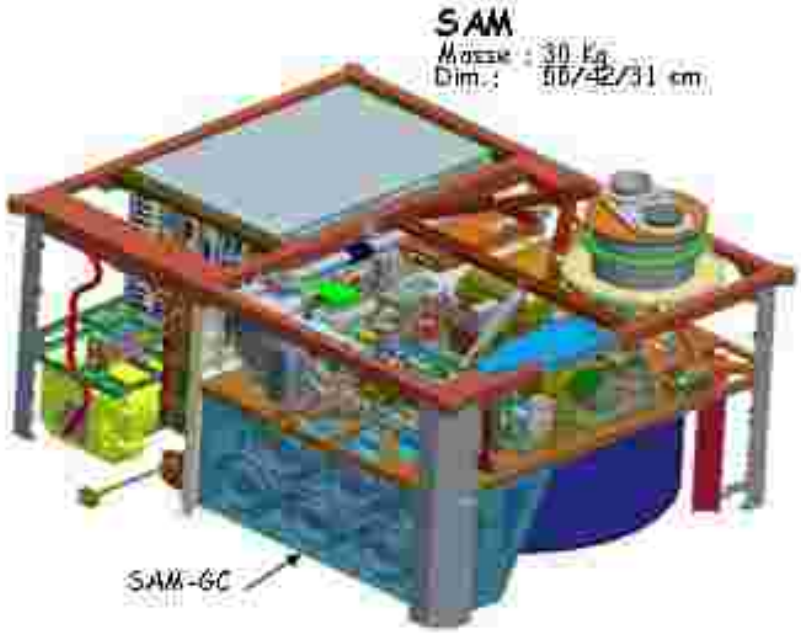
SAM-GC Co-PI : Michel Cabane (SA)

PRINCIPALES FONCTIONS DU GC

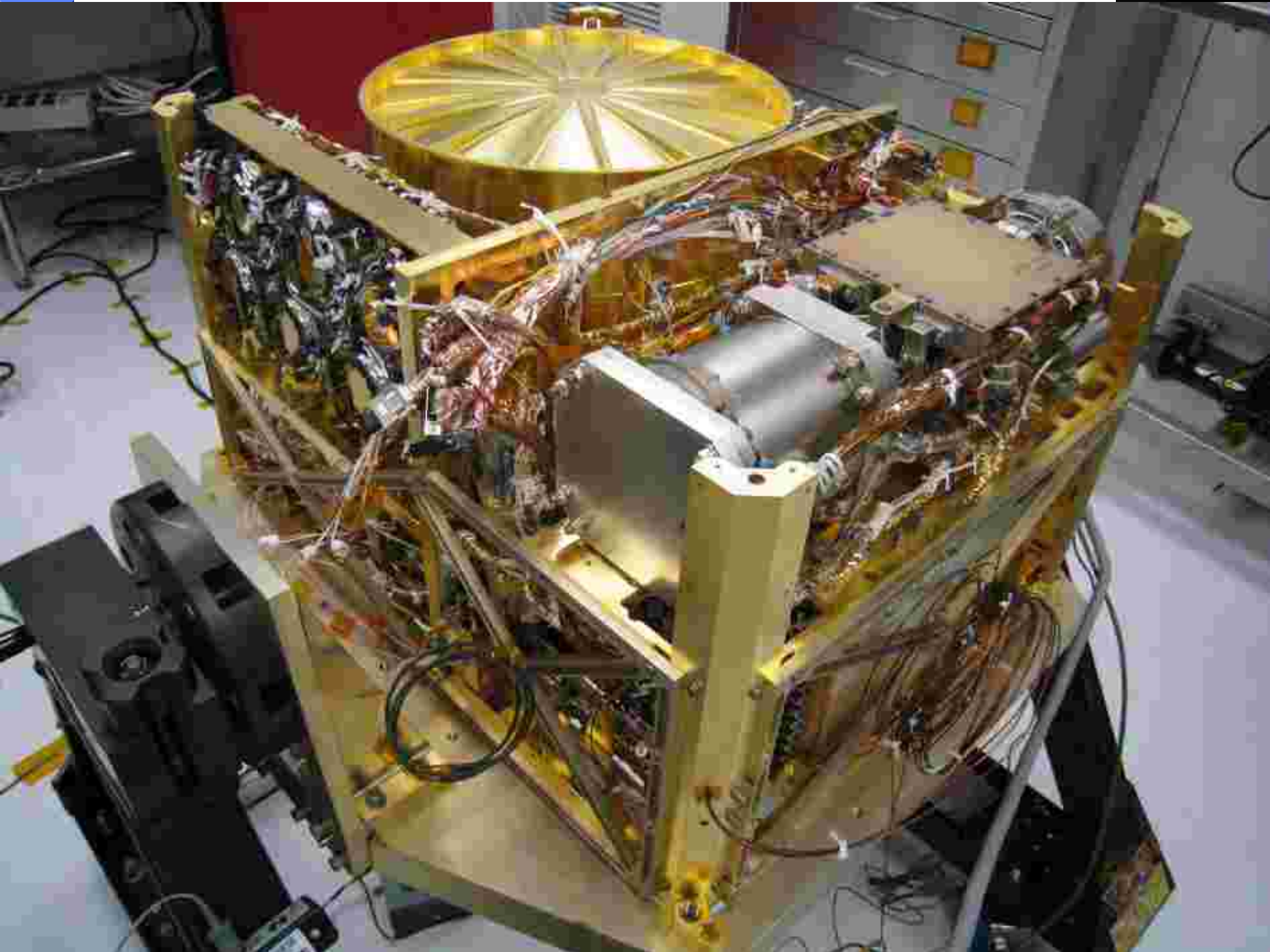
- Séparer des composés d'un échantillon de gaz à l'aide de colonnes chromatographiques (tubes capillaires métalliques de longueur 10 à 30 m et de diamètre 0,3 à 0,5 mm)
- Détecter les composés gazeux à l'aide d'un TCD (Détecteur à Conductivité Thermique)
- Envoyer les composés gazeux à un spectromètre de masse

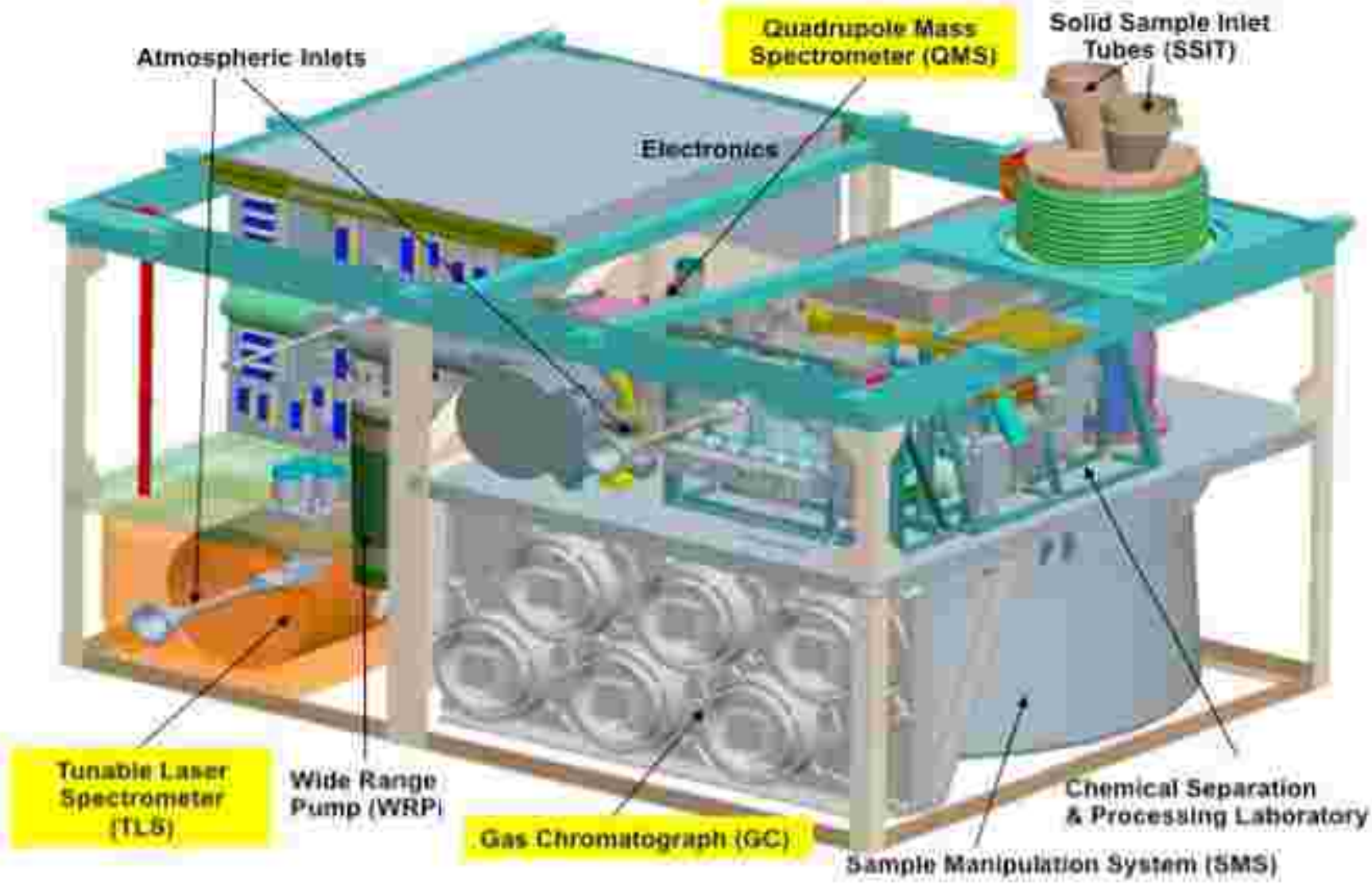






© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com




Atmospheric Inlets
Quadrupole Mass Spectrometer (QMS)
Solid Sample Inlet Tubes (SSIT)
Electronics
Tunable Laser Spectrometer (TLS)
Wide Range Pump (WRP)
Gas Chromatograph (GC)
Chemical Separation & Processing Laboratory
Sample Manipulation System (SMS)

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

COMMENT CELA FONCTIONNE-T-IL ?

- On prélève un échantillon du sol que l'on pulvérise
- Il est ensuite conduit vers un des 74 réceptacles puis transféré dans le four (1000°C)
- On sépare les composants dans le chromatographe (analyse de la composition)
- Les différentes molécules sont identifiées.
- Un autre instrument (spectromètre Laser) prend la suite pour certaines molécules comme l'eau et le CO2
- Les résultats sont envoyés sur Terre
- Voir vidéo

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

✸Les buts de SAM

Science and Measurement Goal	Habitability Question
1) Survey carbon compound sources and evaluate their possible mechanisms of formation and destruction 2) Search for organic compounds of biotic and prebiotic importance, including methane	What does the inventory or lack of carbon compounds near the surface of Mars tell us about its potential habitability?
3) Reveal the chemical and isotopic state of elements (i.e. N, H, O, S and others) that are important for life as we know it. 4) Determine atmospheric composition including trace species that are evidence of interactions between the atmosphere and soil.	What are the chemical and isotopic states of the lighter elements in the solids and in the atmosphere of Mars and what do they tell us about its potential habitability?
5) Better constrain models of atmospheric and climatic evolution through measurements of noble gas and light element isotopes.	Were past habitability conditions different from today's?

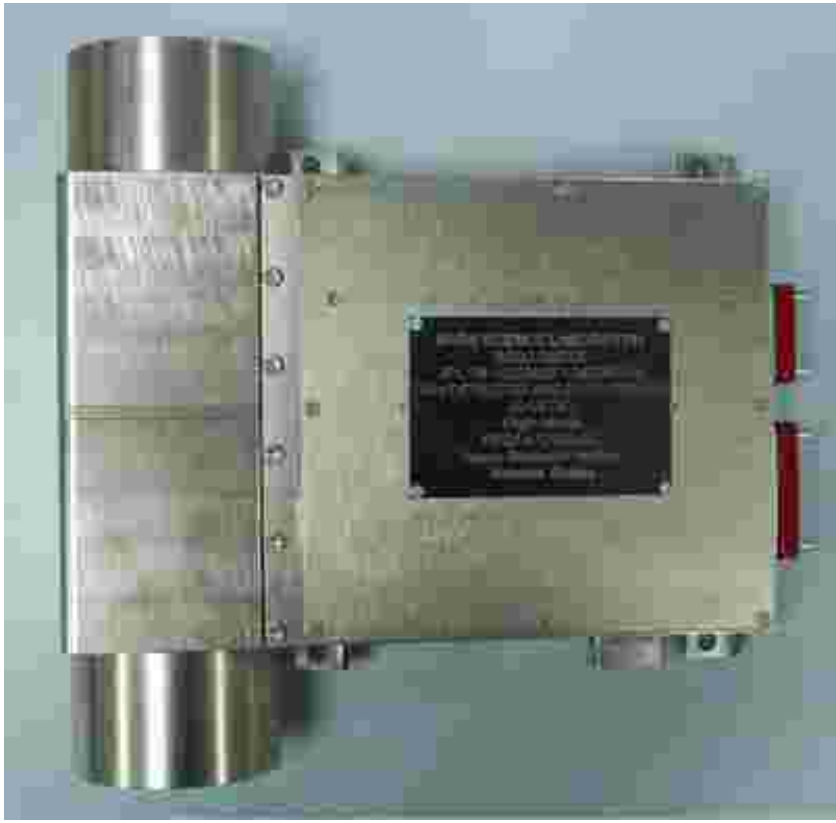
LE RAD

- C'est le Radiation Assessment Detector, détecteur de tous les types de particules (p, e-, He+, n …) qui atteignent le sol martien.
- Essentiel pour mesurer l'influence biologique (des organismes peuvent ils survivre dans le sol?) et pour préparer une éventuelle présence humaine.
- En apprendre sur les particules en provenance du Soleil
- Allemand/Américain

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

LE DAN

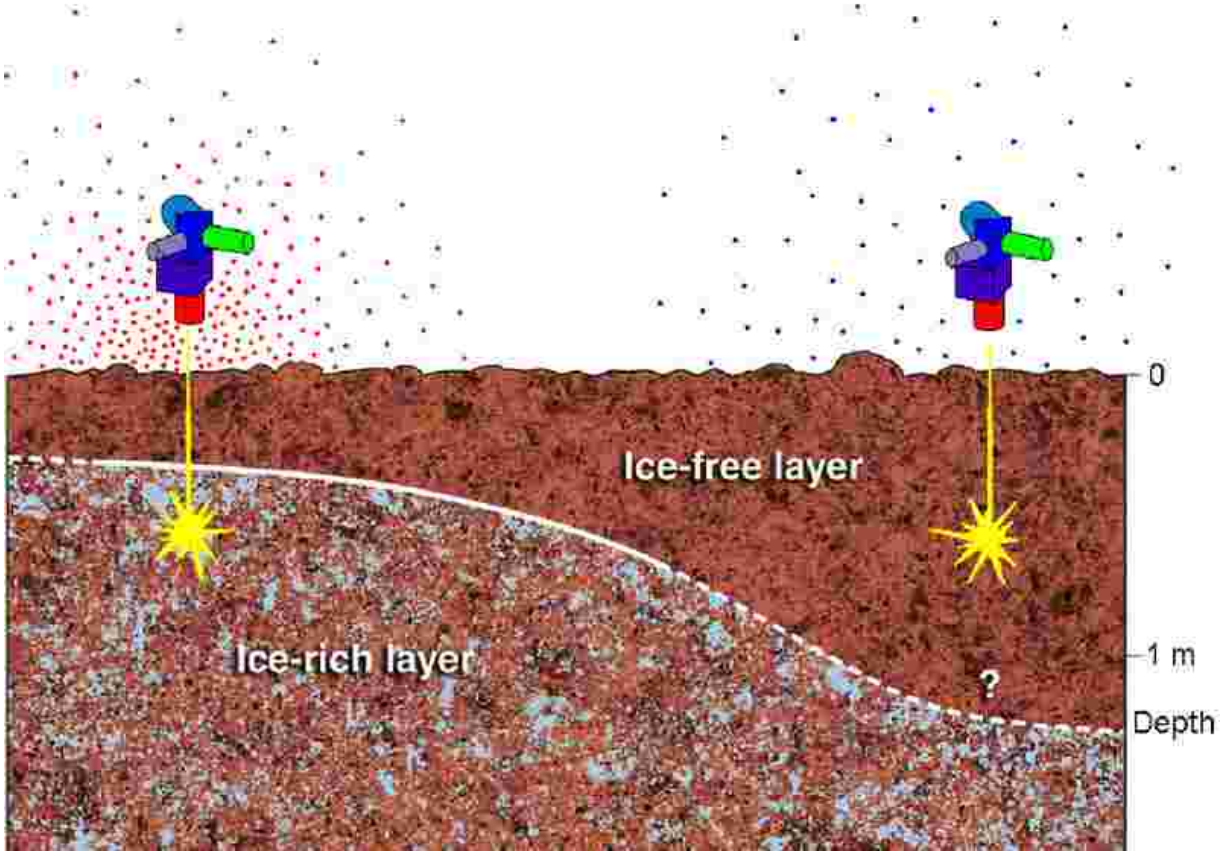
- Acronyme de Dynamic of Albedo Neutrons, détecteur de neutrons dans le sol jusqu'à 1m de profondeur.
- C'est en fait **un détecteur de H dans le sol**, donc d'une possibilité de présence d'eau (glace), l'Hydrogène (en fait l'eau et les composants hydratés) absorbant fortement les neutrons.
- Fourni pas nos amis Russes.

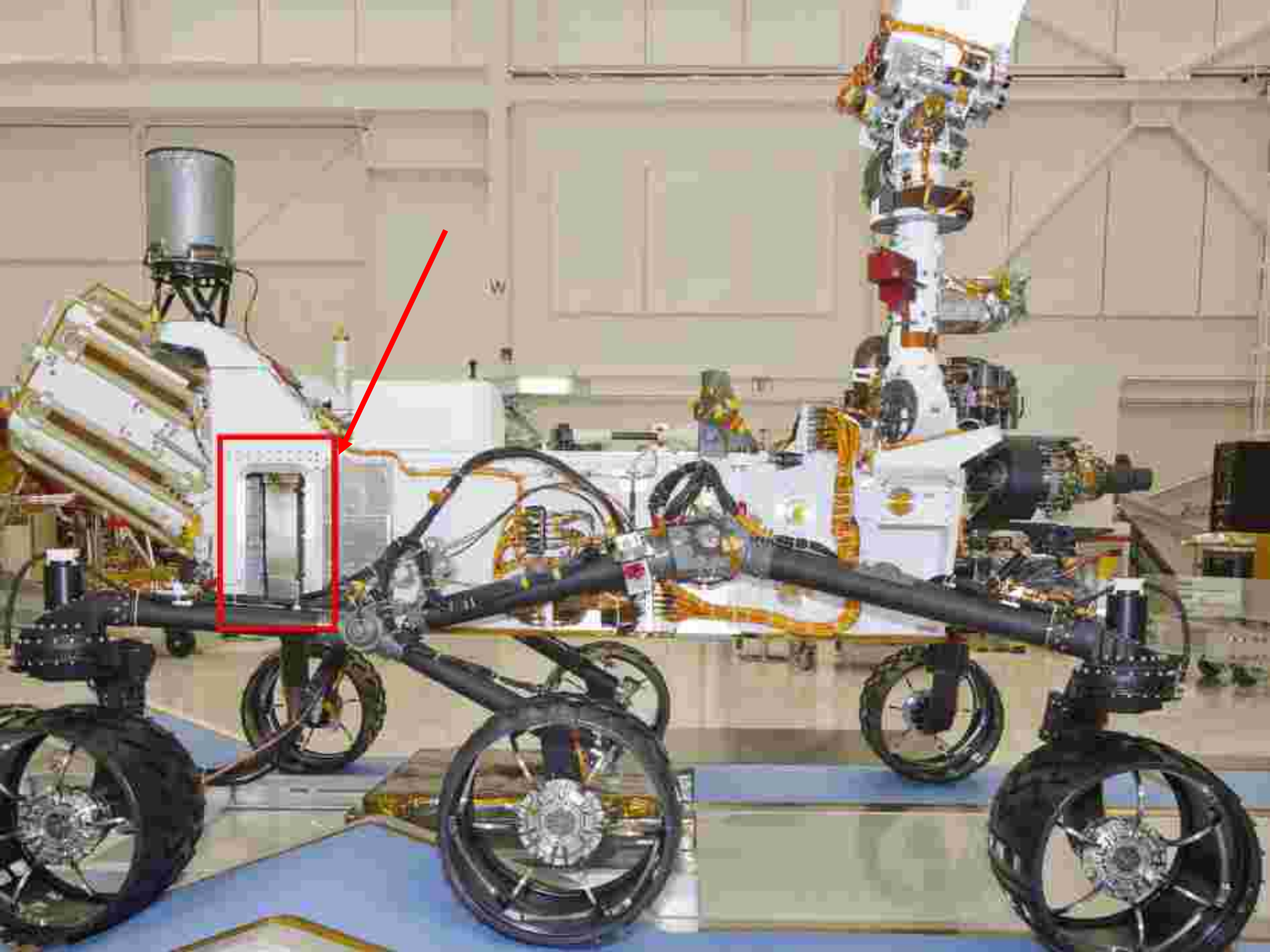


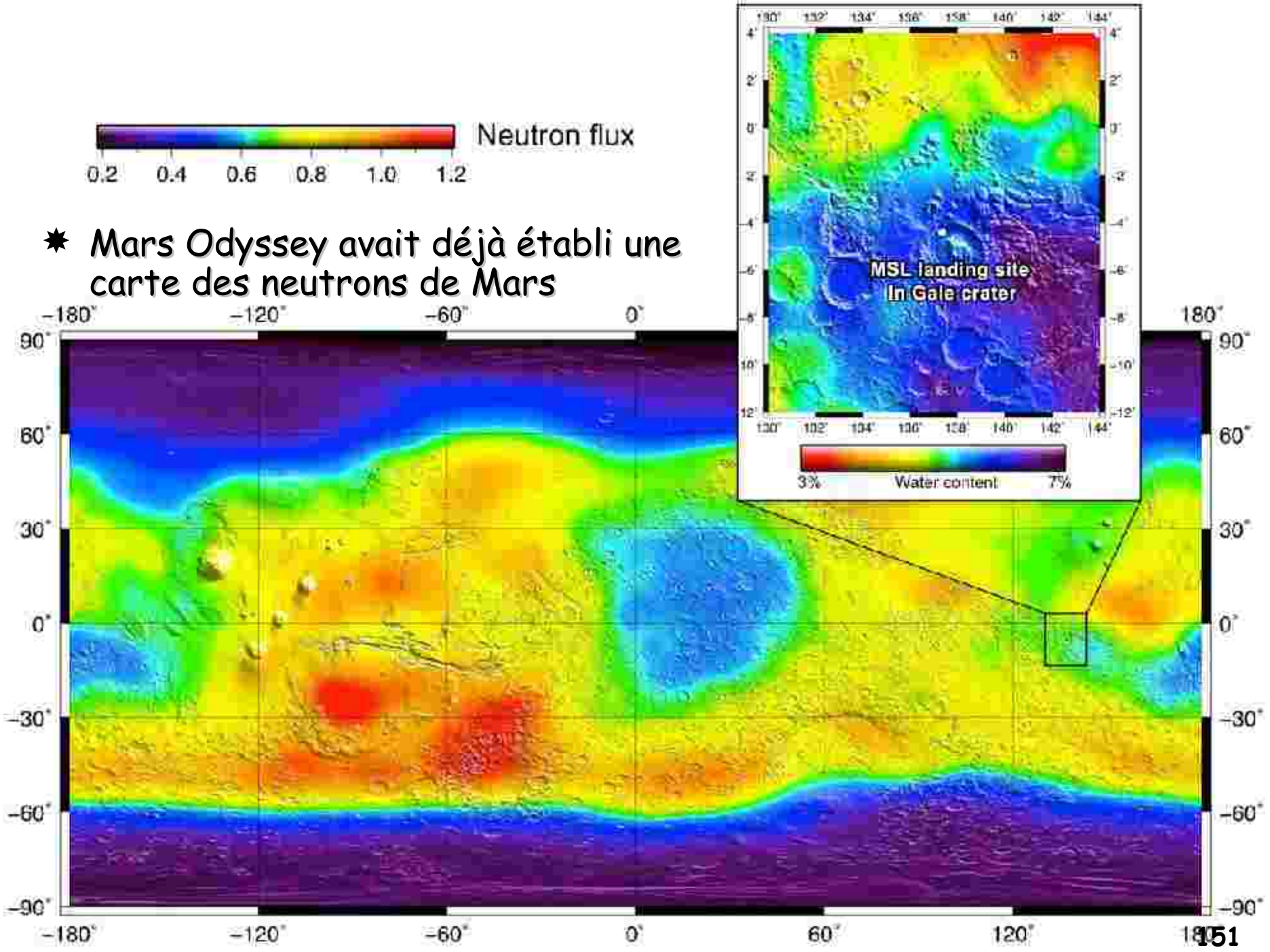
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

L'EAU DE SUB-SURFACE

- Est mesurée par le détecteur à neutrons DAN : Dynamic Albedo of Neutrons
- Fourni par les Russes, il devrait être capable de **détecter de l'eau (de la glace) jusqu'à 50cm sous la surface.**
- Mesure l'énergie des neutrons émis, H les ralentit.

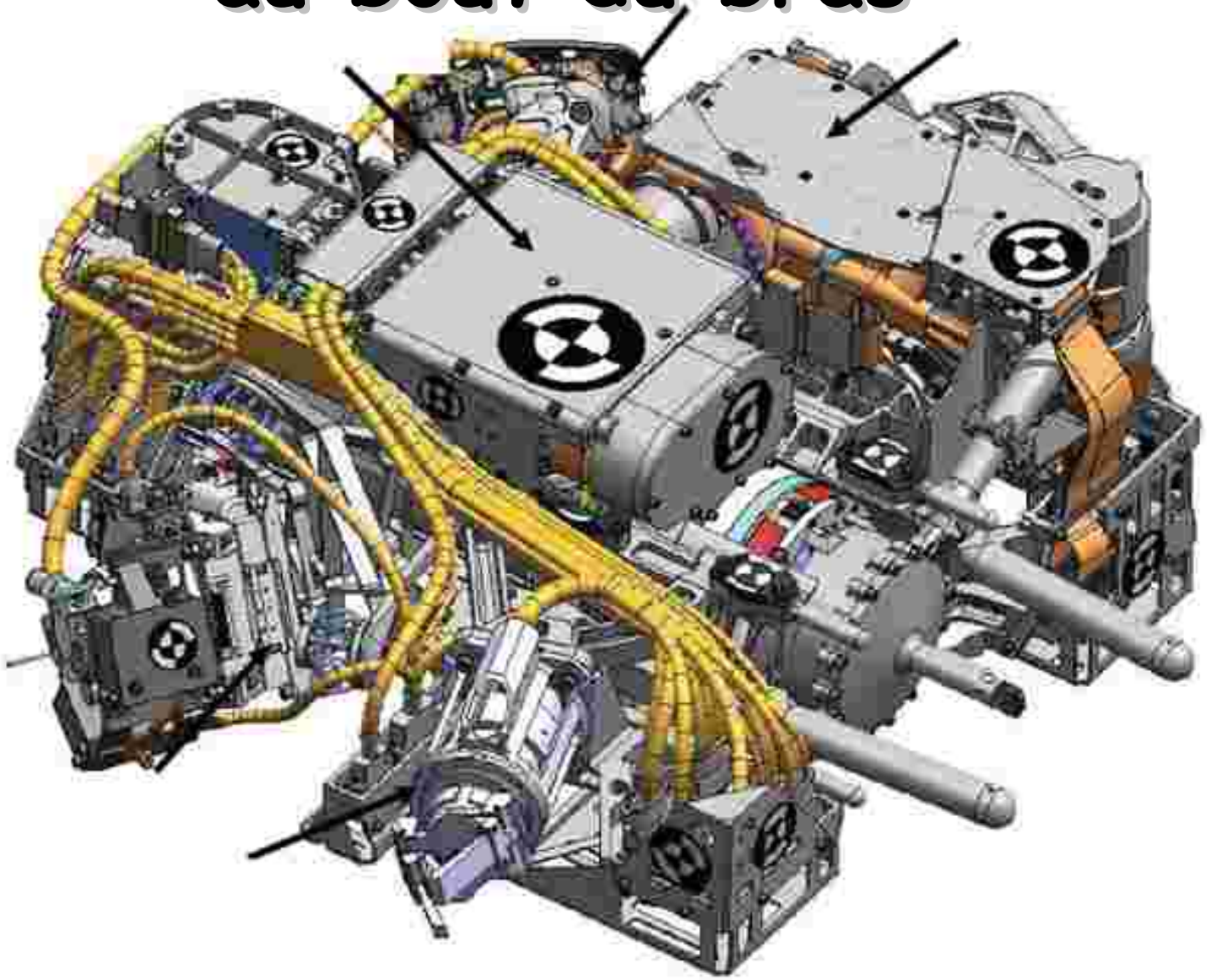




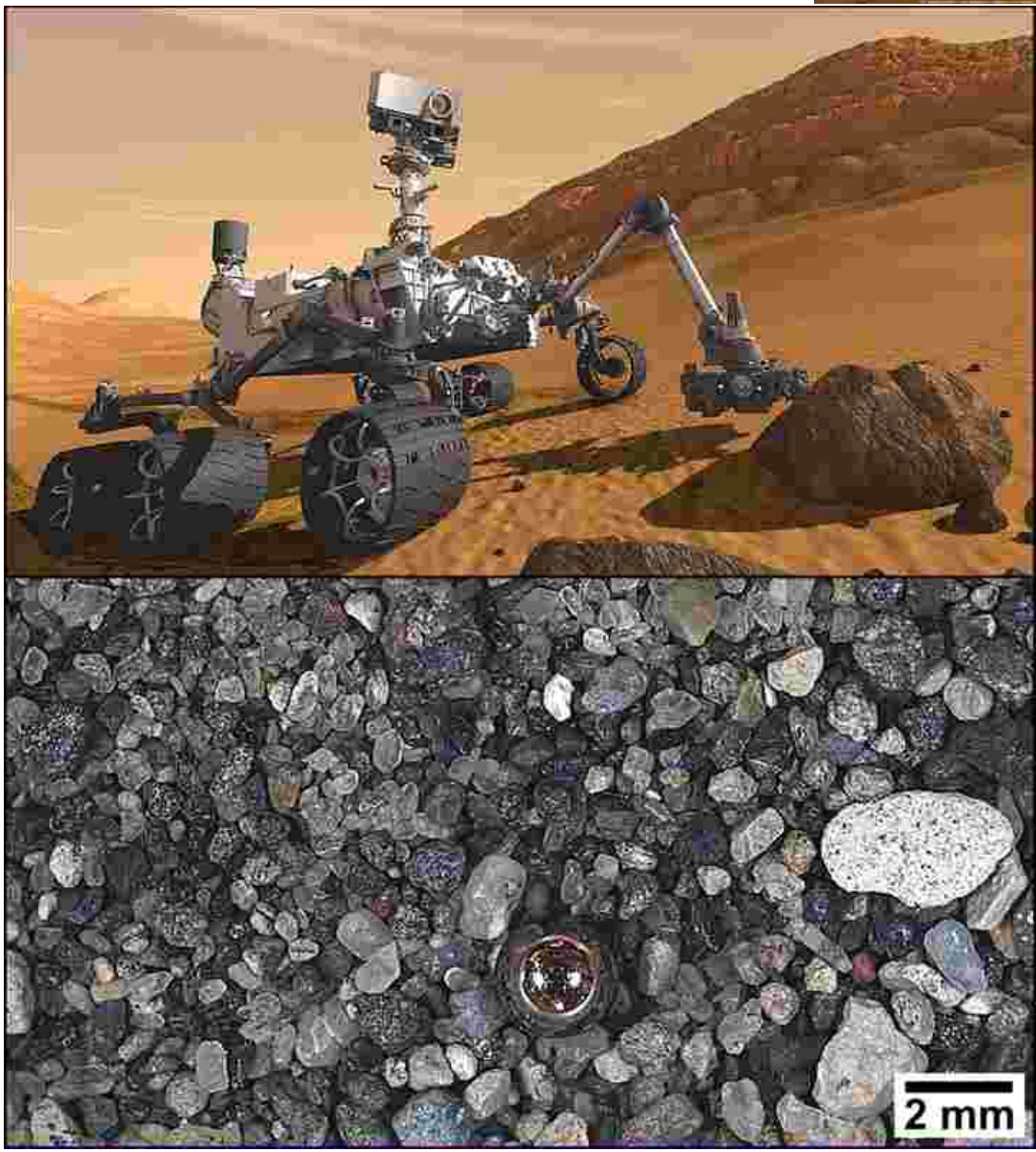


- Mars Odyssey avait déjà établi une carte des neutrons de Mars

Les instruments au bout du bras



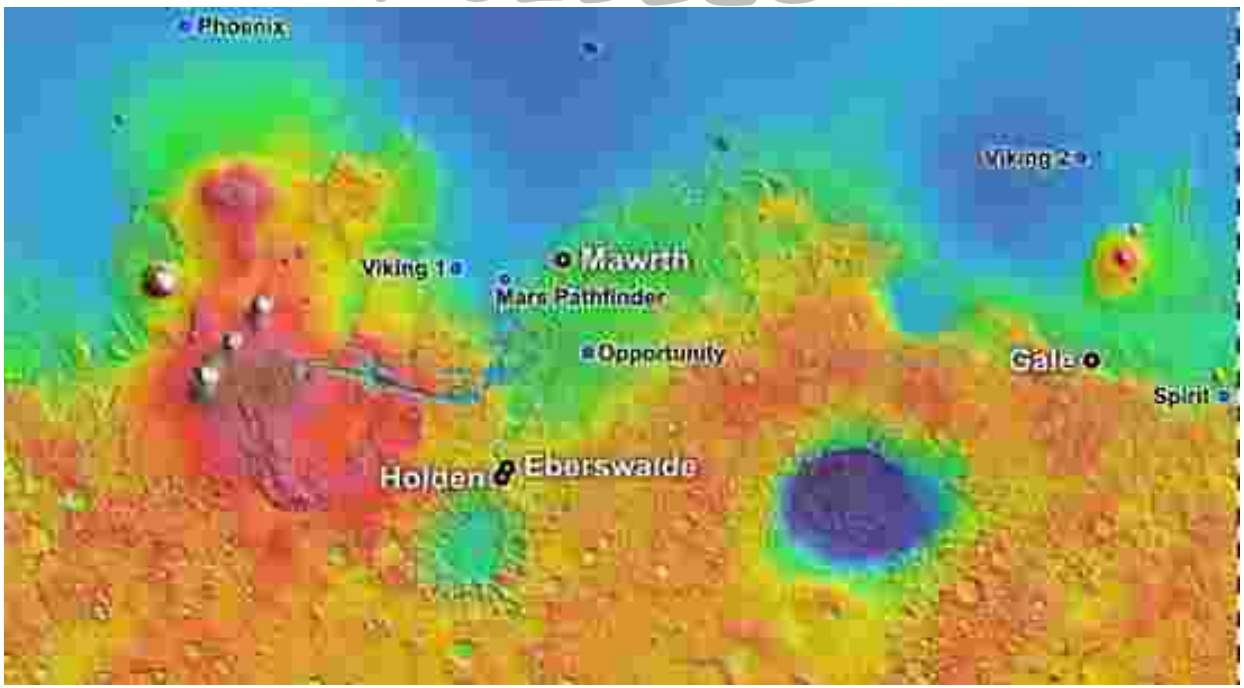
- Sur le bras télémanipulateur se trouve entre autre, une caméra pour voir de près, incluant prise de vue en couleur et vidéo
- MAHLI : Mars Hand Lens Imager
- Développée par Malin Space



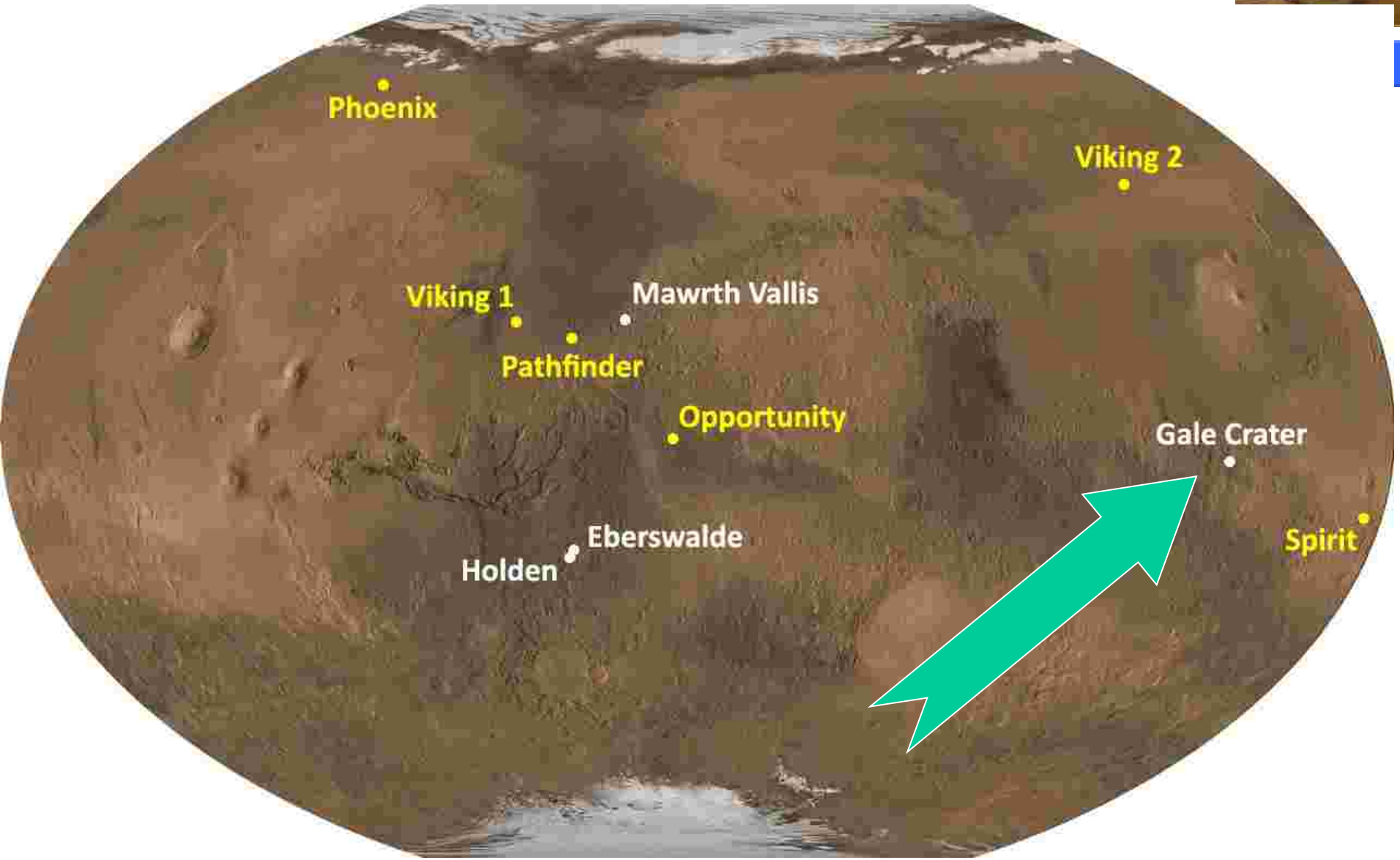
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- Plaque de calibration pour la Mahli

9-UN CHOIX ENTRE 4 CIBLES

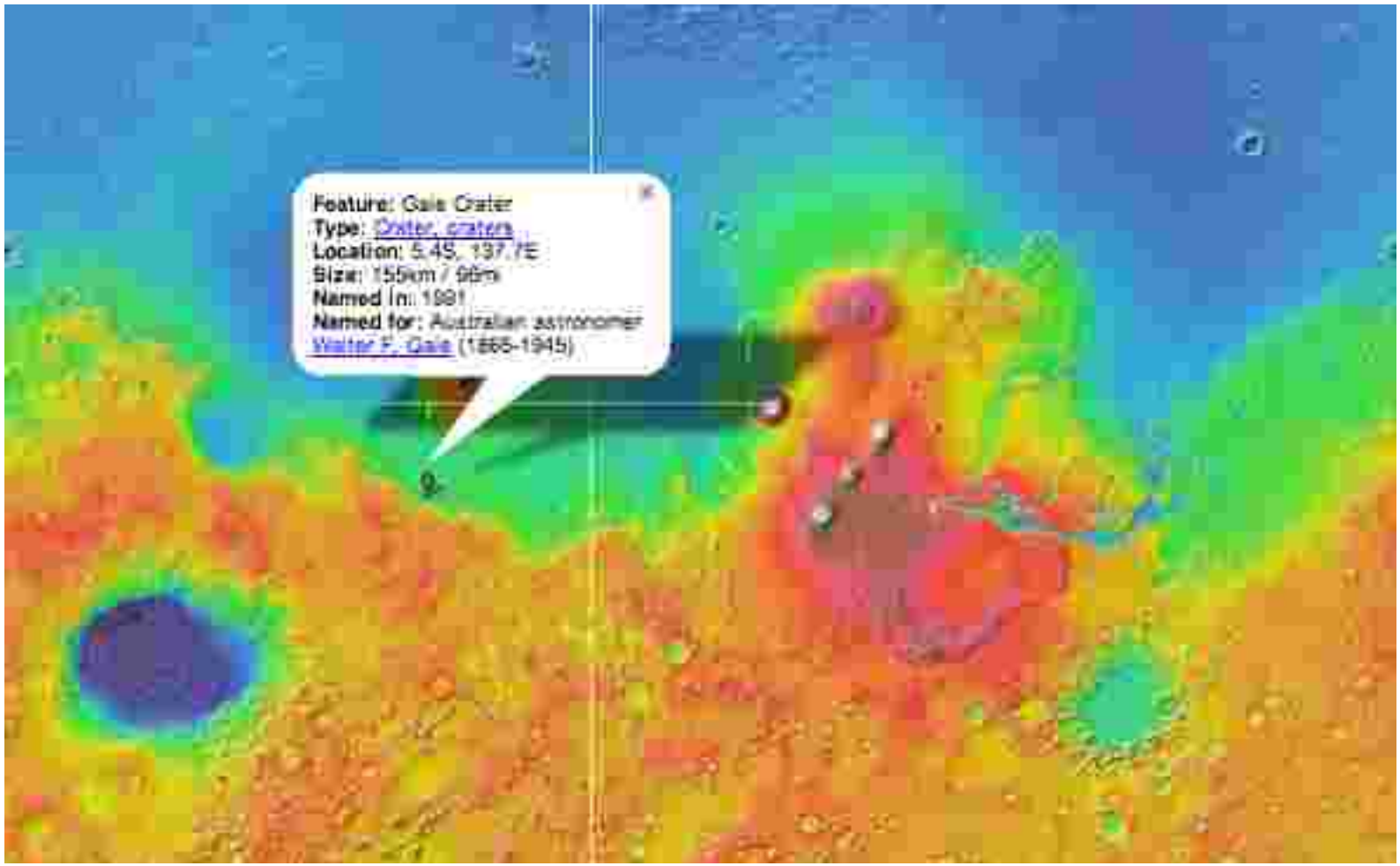


- Il y eut 133 sites proposés, qui se sont réduits progressivement à 10 sites prioritaires, puis à 4 (indiqués sur la slide ci-dessus) et finalement
- The winner is…..



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

La cible : le cratère GALE



Gale Crater: Clays & Sulfates

- Fe-rich smectite (nontronite) w/ Al^{3+}
- Mg-sulfates (mono and polyhydrated)
- mafic signatures in rocks & aeolian material
- lower ~1 km dominated by sulfates
- crystalline hematite....from sulfate strata?
- origin of clay/sulfate unknown
- fluvial system being exhumed
- strata in Upper formation apparently lack evidence of hydrous minerals

Mawth Vallis: Clays & Sulfates(?)

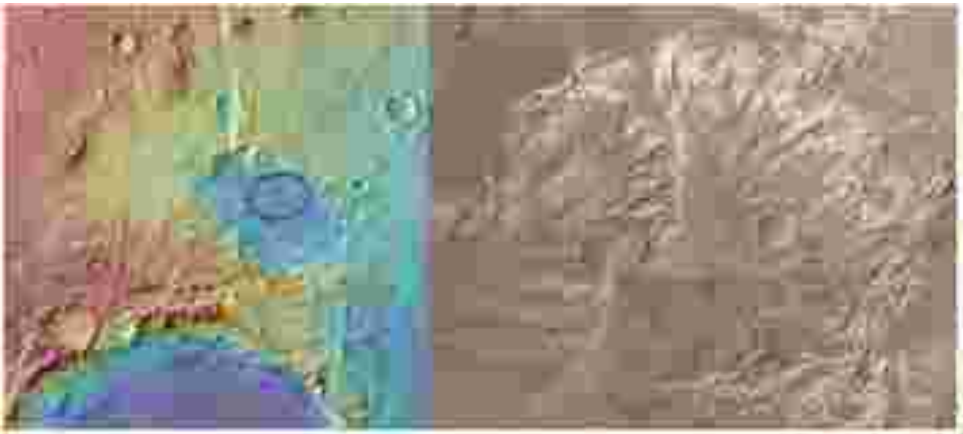
- Al-rich clay minerals
- Fe-rich smectite (nontronite)
- Hydrous phases....sulfates?
- Al-clays mixed with sulfates?
- origin of clay/sulfate unknown
- most strata planar & exhibit parallel bedding
- In crater S of ellipse, great examples of non-planar bedding, faults/folds, vertical accretion, brecciation, etc.

Holden Crater: Clay Minerals

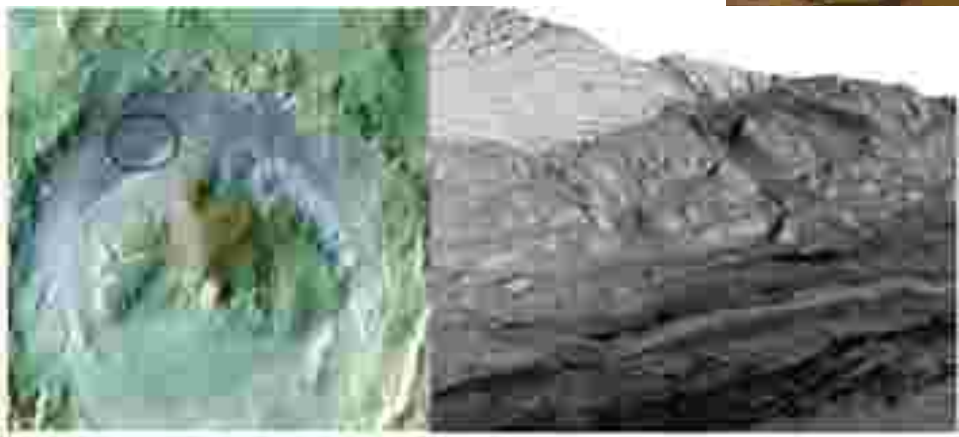
- Mg/Fe mixed-layer chlorite/smectite, similar to what is seen throughout ULM
- possible non-mixed-layer Mg/Fe-smectite in Uzboi, but not yet observed in Holden
- olivine & pyroxene signatures in crater wall
- clays accessible to MSL are largely consistent with a detrital origin
- association of clays & mafics in crater wall suggest some of those clays may be authigenic

Eberswalde Crater: Clay Minerals

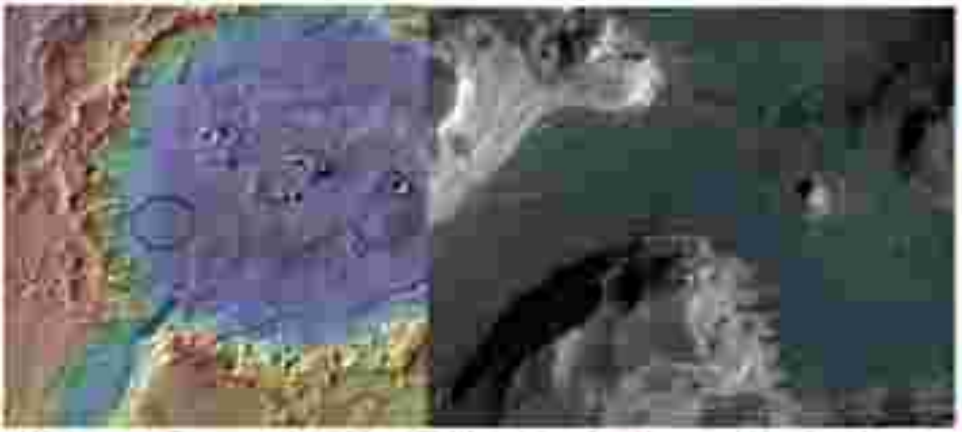
- Mg/Fe mixed-layer chlorite/smectite in delta
- Fe-bearing smectite (nontronite?); from altered olivine in Holden ejecta?
- pyroxene signatures in delta, surrounding terrains
- clay minerals in the ellipse and along any potential traverse path
- clays may be a mix of detrital and authigenic



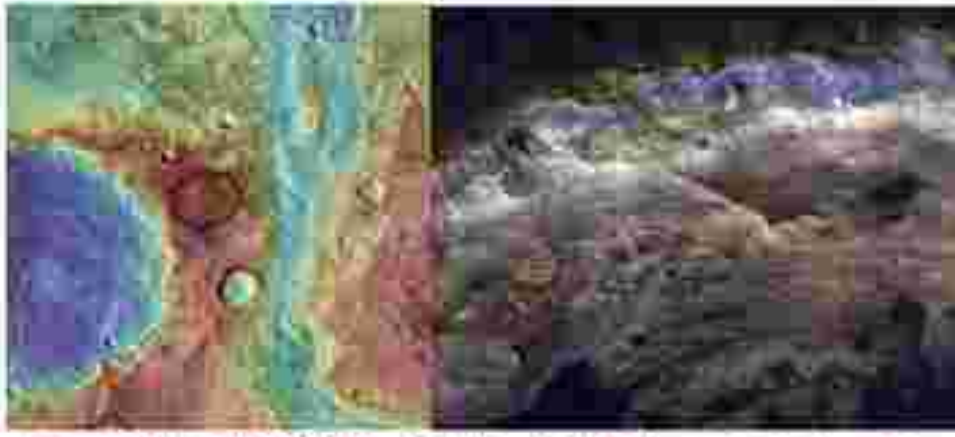
Eberswalde Crater (24°S, 327°E, -1.5 km) contains a clay-bearing delta formed when an ancient river deposited sediment, possibly into a lake.



Gale Crater (4.5°S, 137°E, -4.5 km) contains a 5-km sequence of layers that vary from clay-rich materials near the bottom to sulfates at higher elevation.

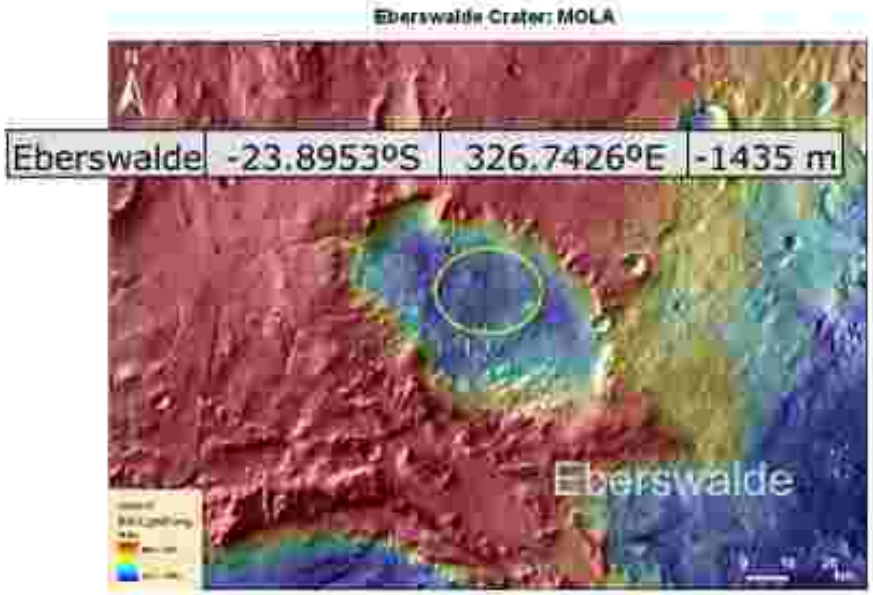


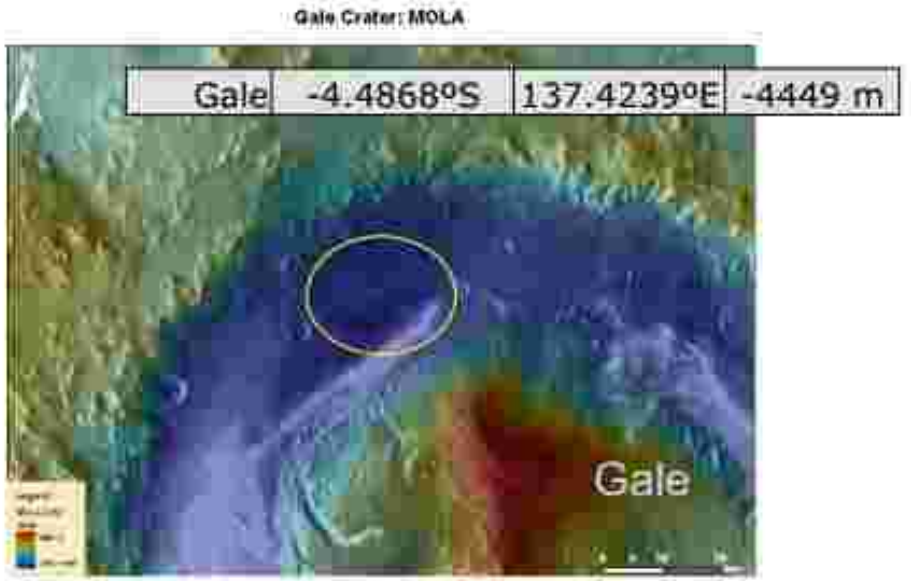
Holden Crater (26°S, 32.5°E, -1.9 km) has alluvial fans, flood deposits, possible lake beds, and clay-rich sediment.

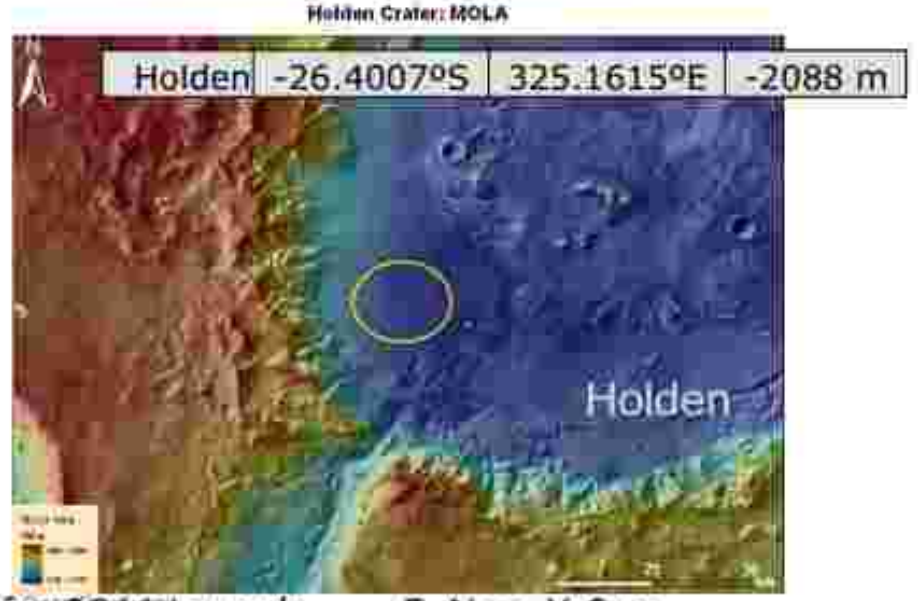


Mawrth Vallis (24°N, 341°E, -2.2 km) exposes layers within Mars' surface with differing mineralogy, including at least two kinds of clays.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



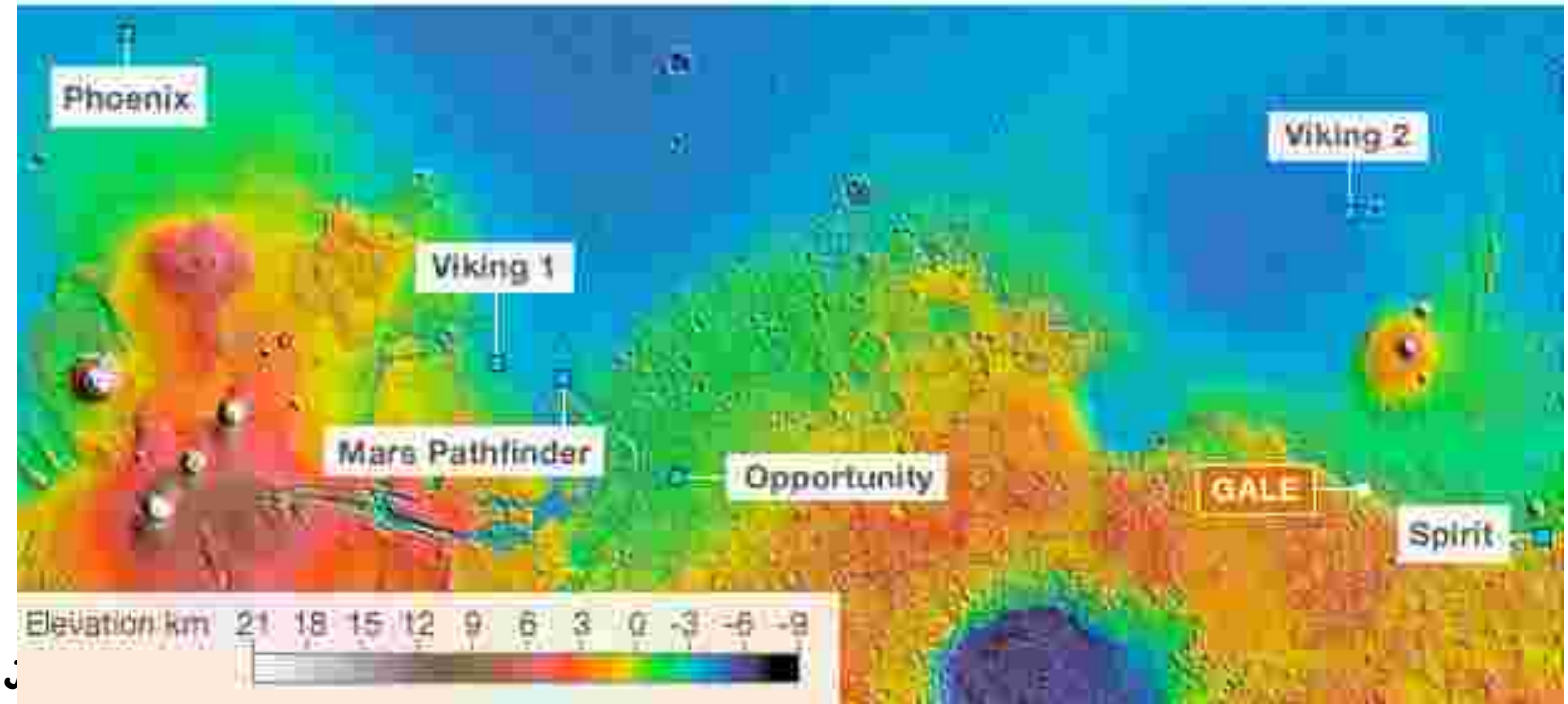




25 km x 20 km Ellipses Oriented ~E-W for 2011 Launch E. Noe, Y. Sun

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

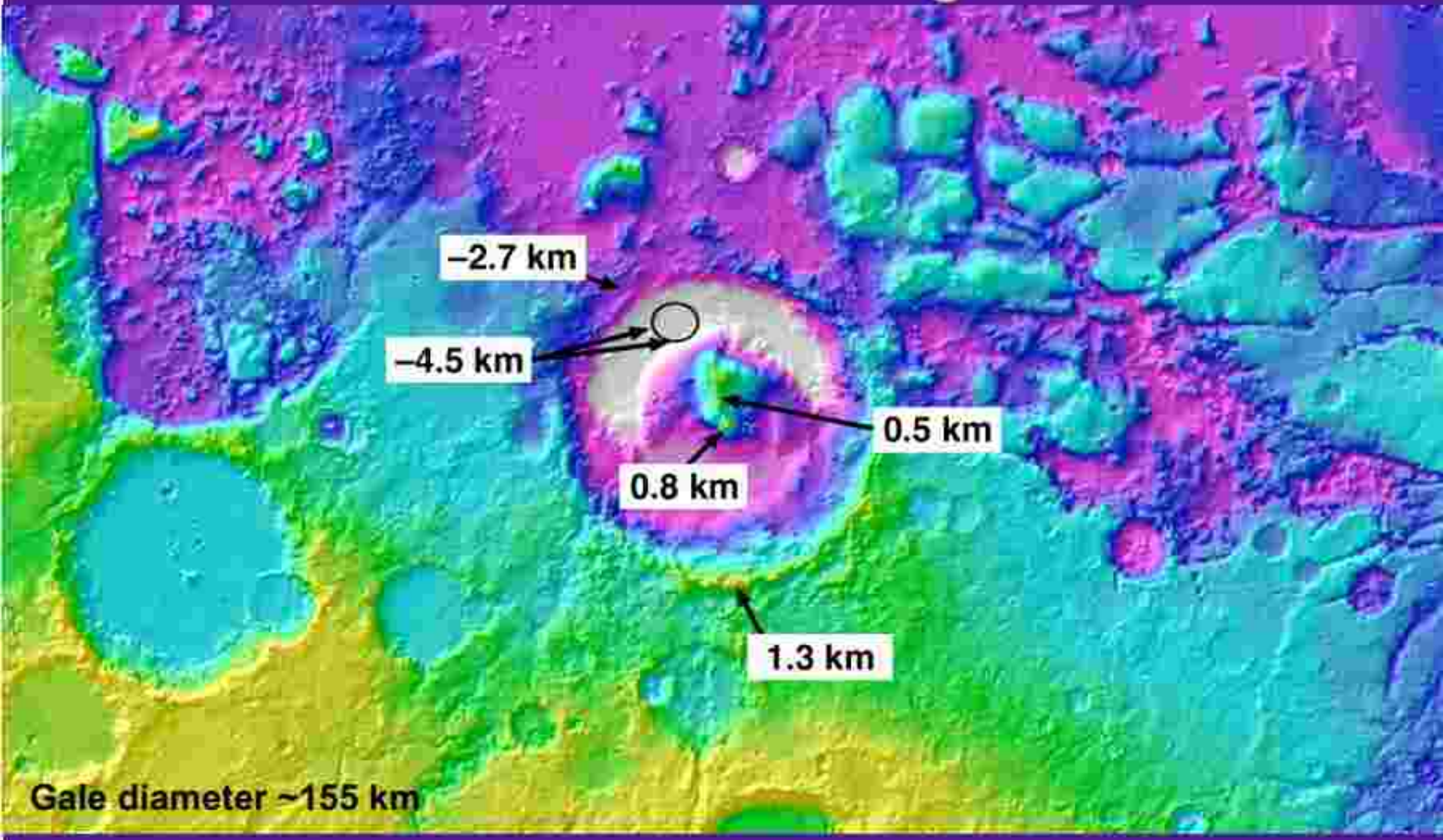
Mars Science Lab's two year journey through Martian geology
GALE CRATER
Mountain top:
Duststone rock
(youngest formation)
MSL's
exploration
begins
Mountain bottom:
Clay minerals and
sulfate salts
(oldest formations)
Landing site


Previous landings
Phoenix
Viking 2
Viking 1
Mars Pathfinder
Opportunity
GALE
Spirit
Elevation km 21 18 15 12 9 6 3 0 -3 -6 -9

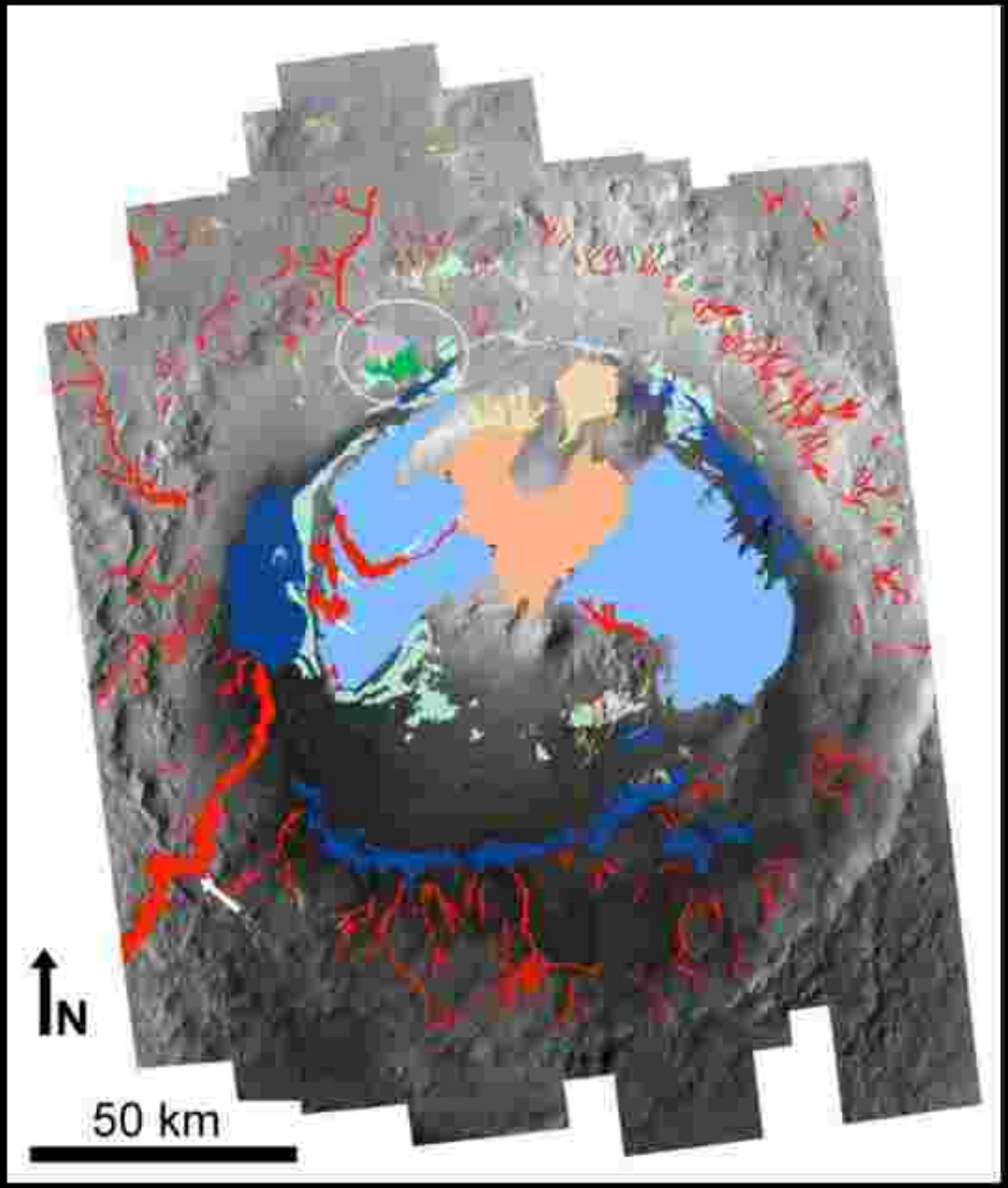
- Cratère Gale
- 155 km de diamètre Alt = 1500 m Prof = 3000m 3,8 à 3,5 Mds années (fin Noachien)
- **Pic central : plus de 5 km** au-dessus du fond du cratère. Altitude max = 700 m au-dessus du 0
- Curiosity devrait escalader une partie de ce pic!
- **Couches sédimentaires**; actions probables de l'eau
- Sa position sur Mars, à l'opposé d'Opportunity, permettrait à la NASA de pouvoir opérer ces deux rovers facilement dans le temps.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Gale's Key Topographic Attributes
Mound is 5 km High



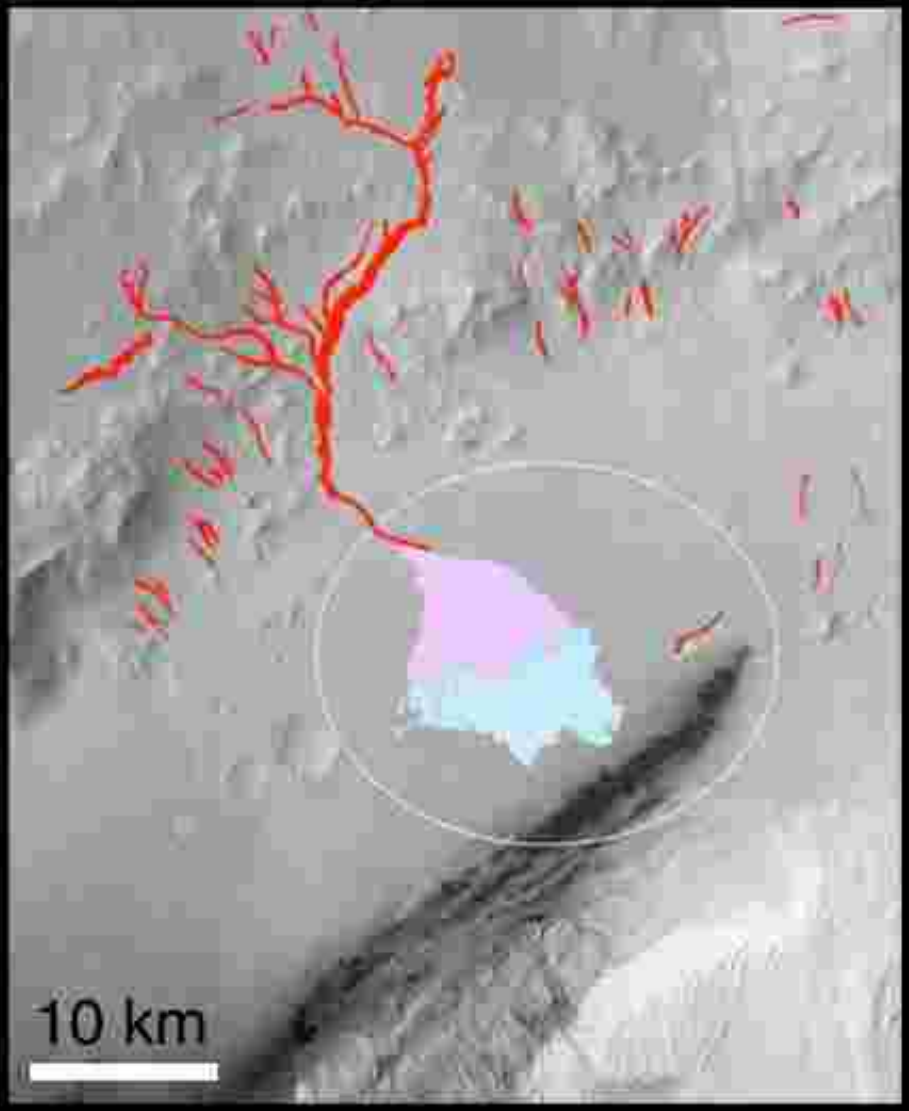
MOLA topography



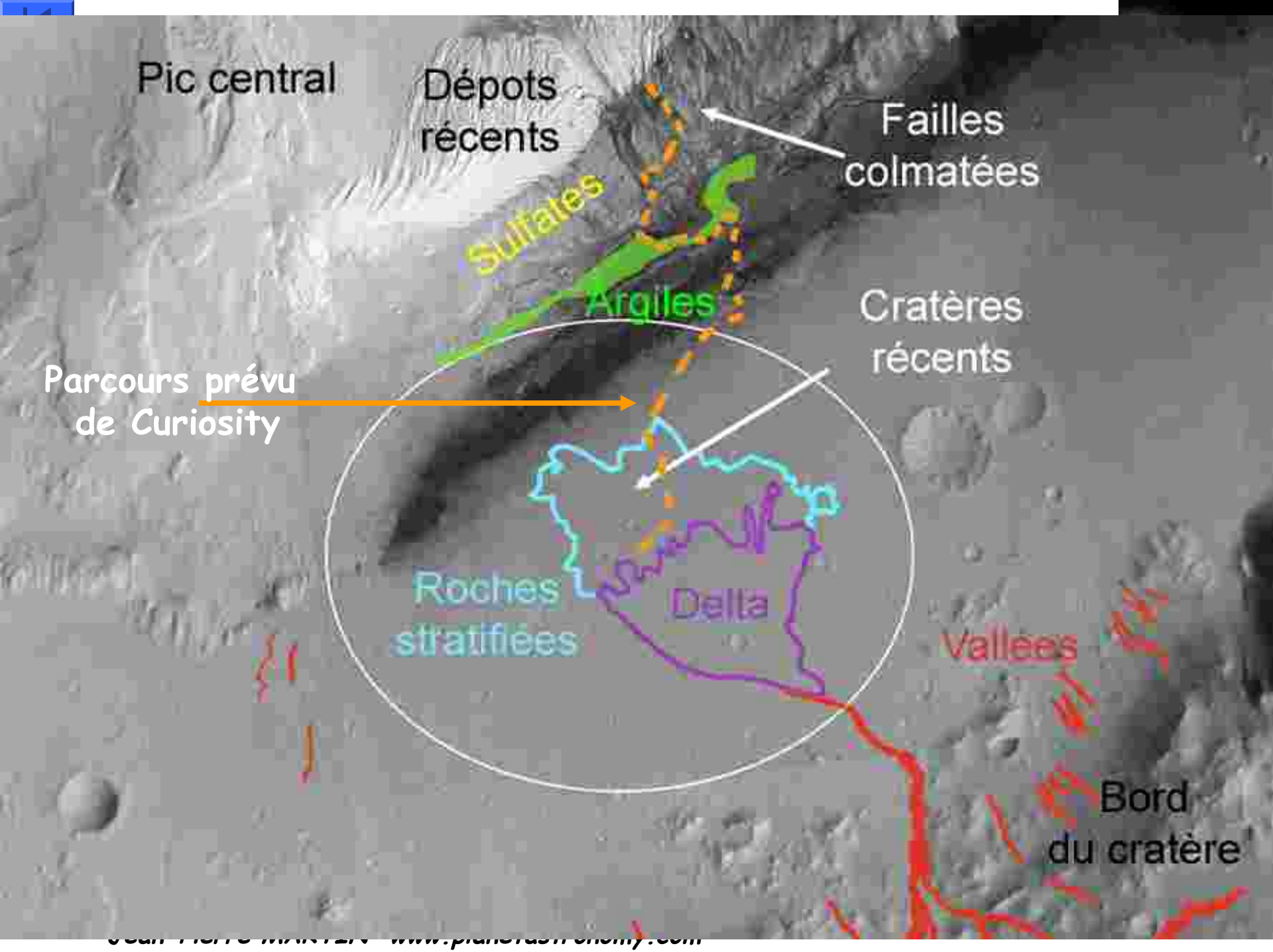
Valleys and Canyons
Dark-toned Dunes
Dark-toned Layered Yardangs
Upper Mound
High Thermal Inertia Fan
Low Thermal Inertia Fan
Lobate Features
Mound Skirting Unit (or similar texture)
Sinuous Ridges

Anderson & Bell (2010)

Ellipse Science: Alluvial Fan



- Fan sediment, inverted channels
  - Infer depositional process and duration
- Fan stratigraphy
  - Erosional and depositional history
- Samples of Gale crater wall (noachian crust)
  - Composition and alteration history


Pic central
Dépots récents
Failles colmatées
Sulfates
Argiles
Cratères récents
Parcours prévu de Curiosity
Roches stratifiées
Delta
Vallées
Bord du cratère

CRISM Mineral Story (Milliken et al. 2010)

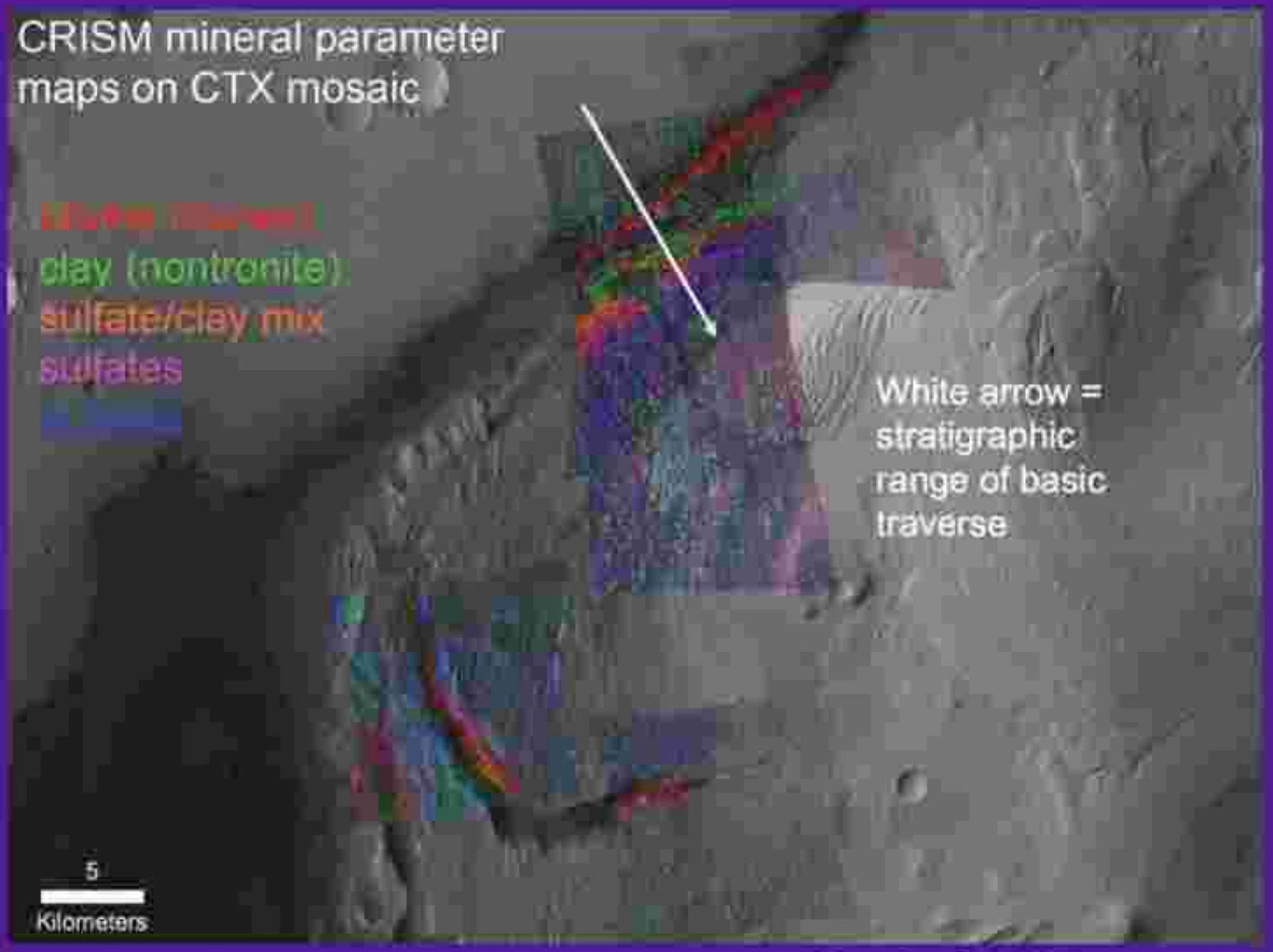
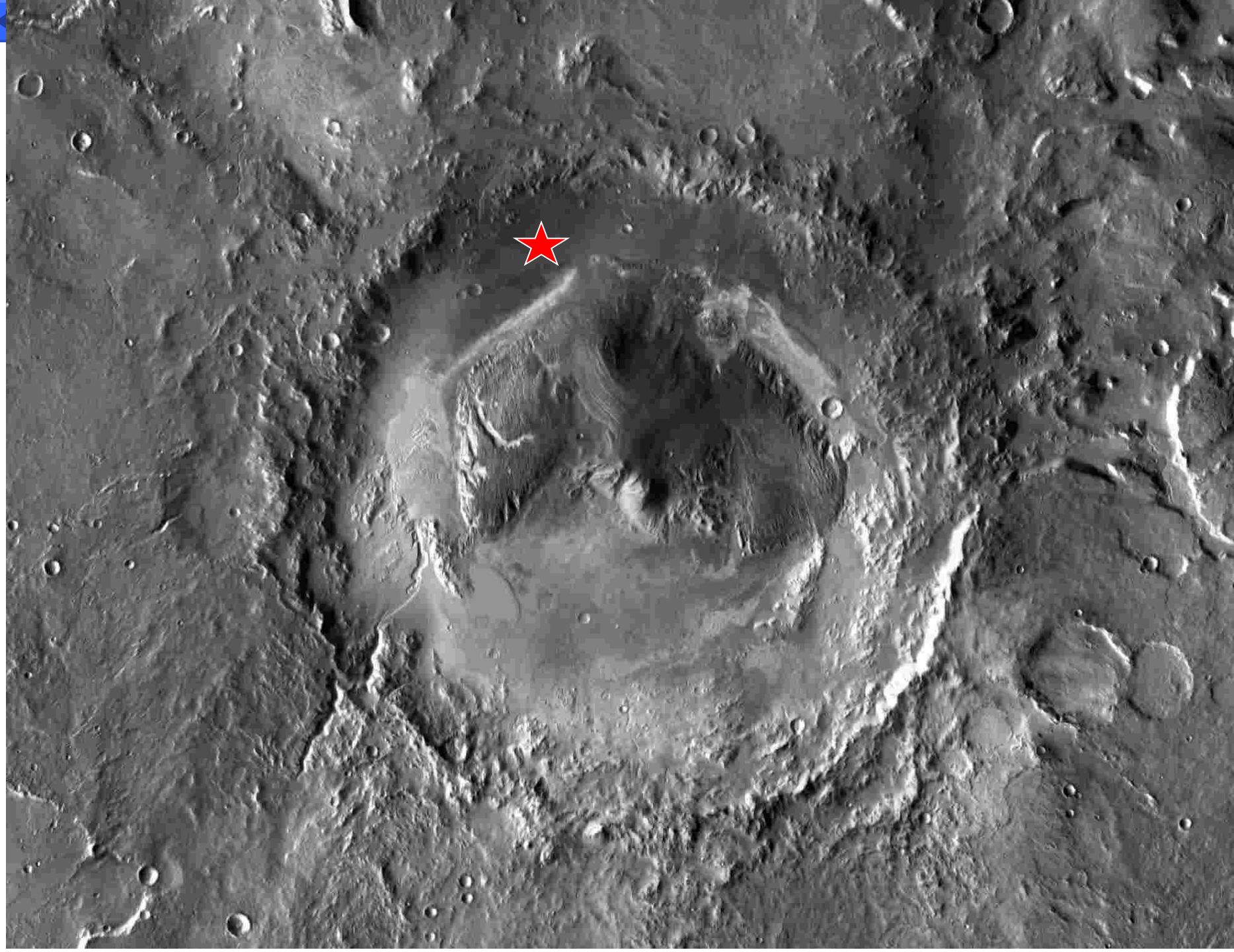
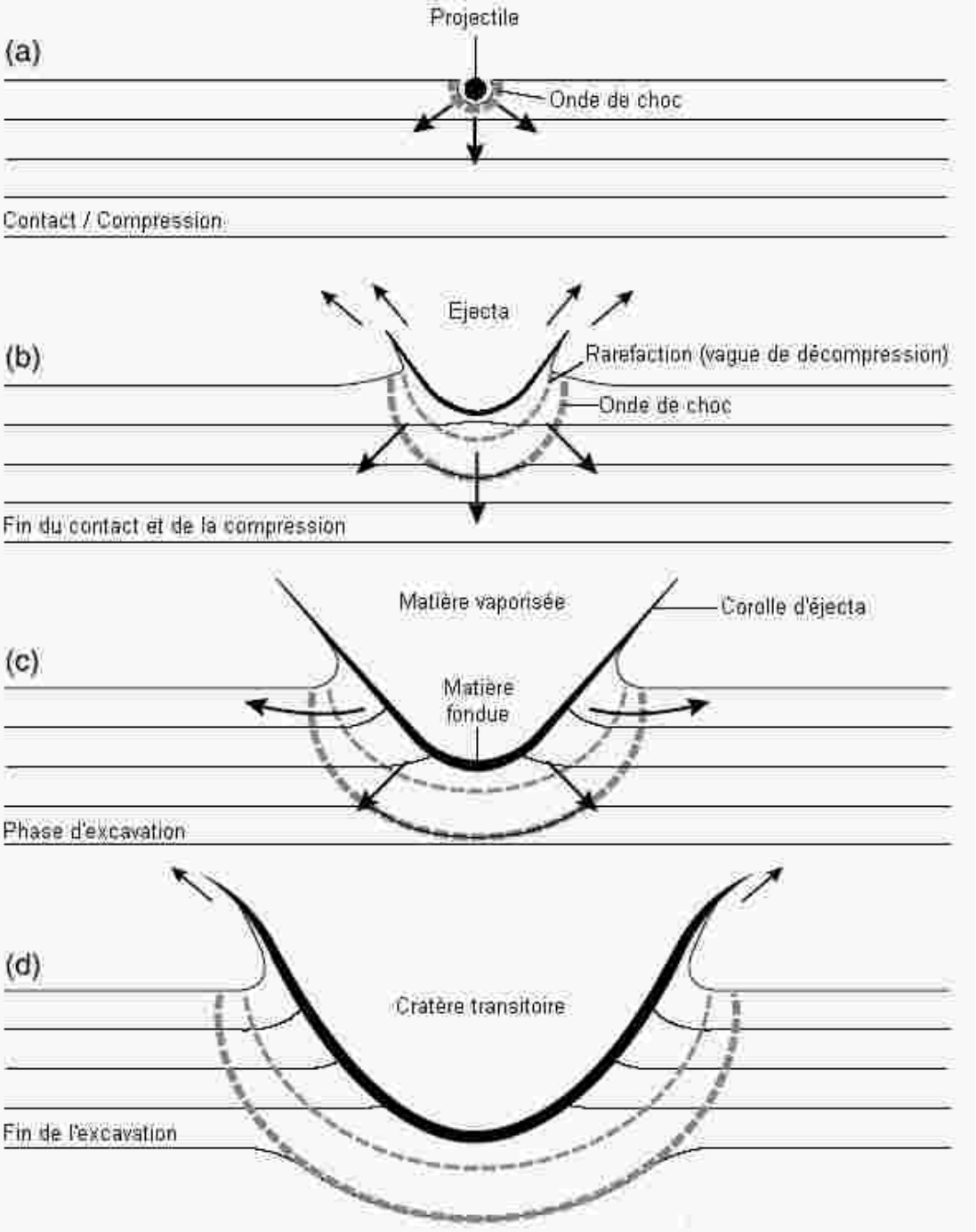
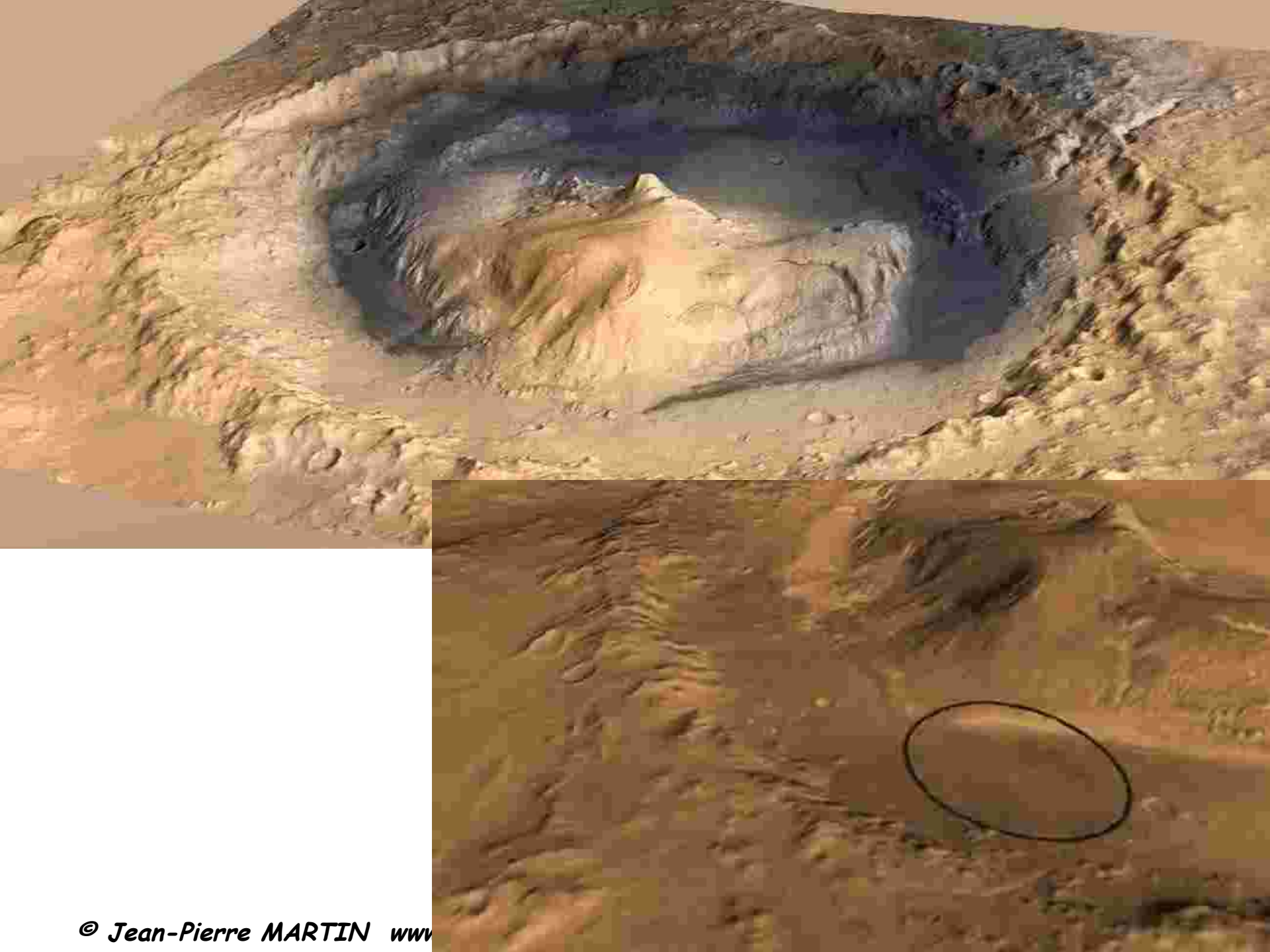


figure from Ralph Milliken

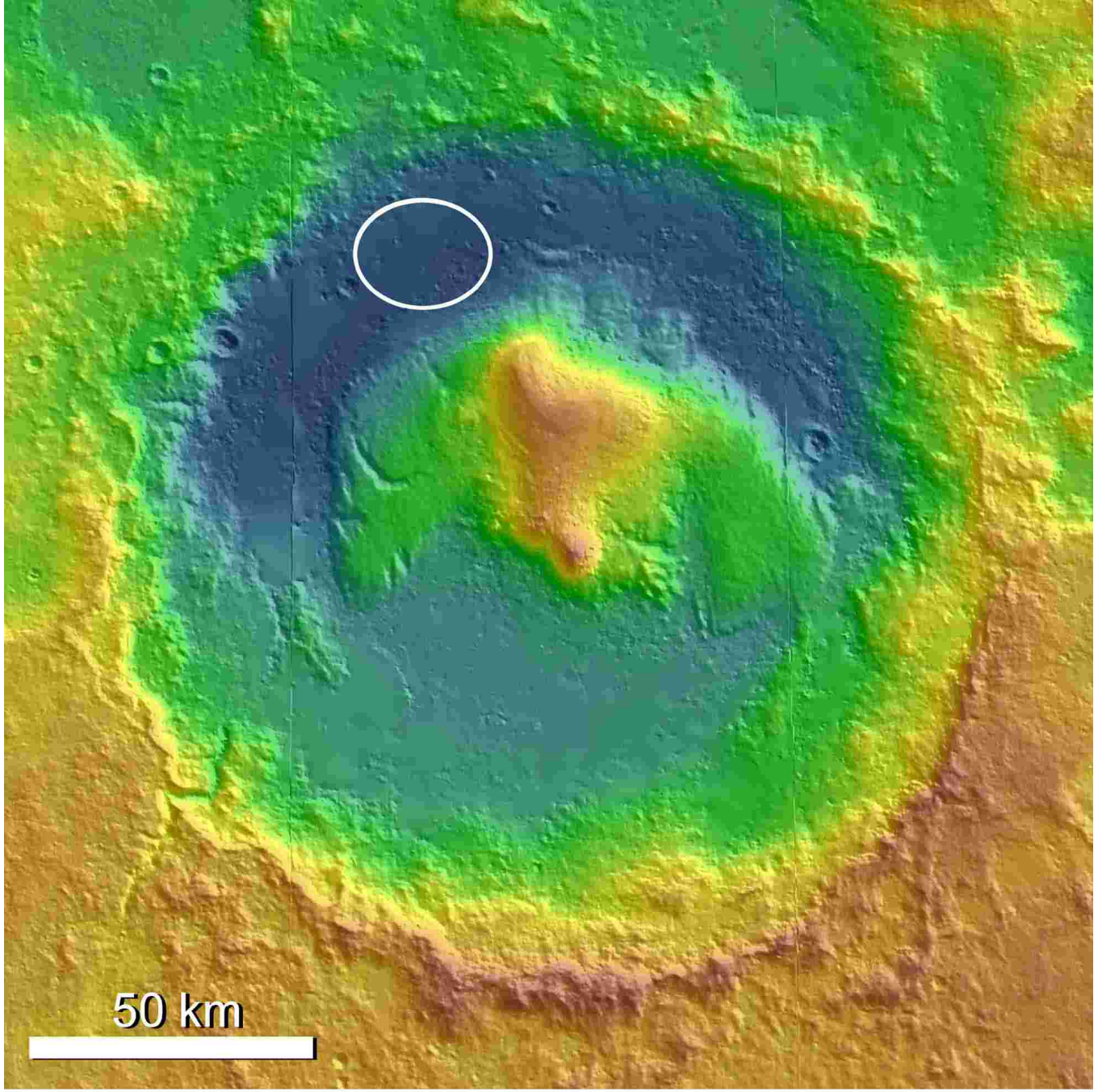




© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

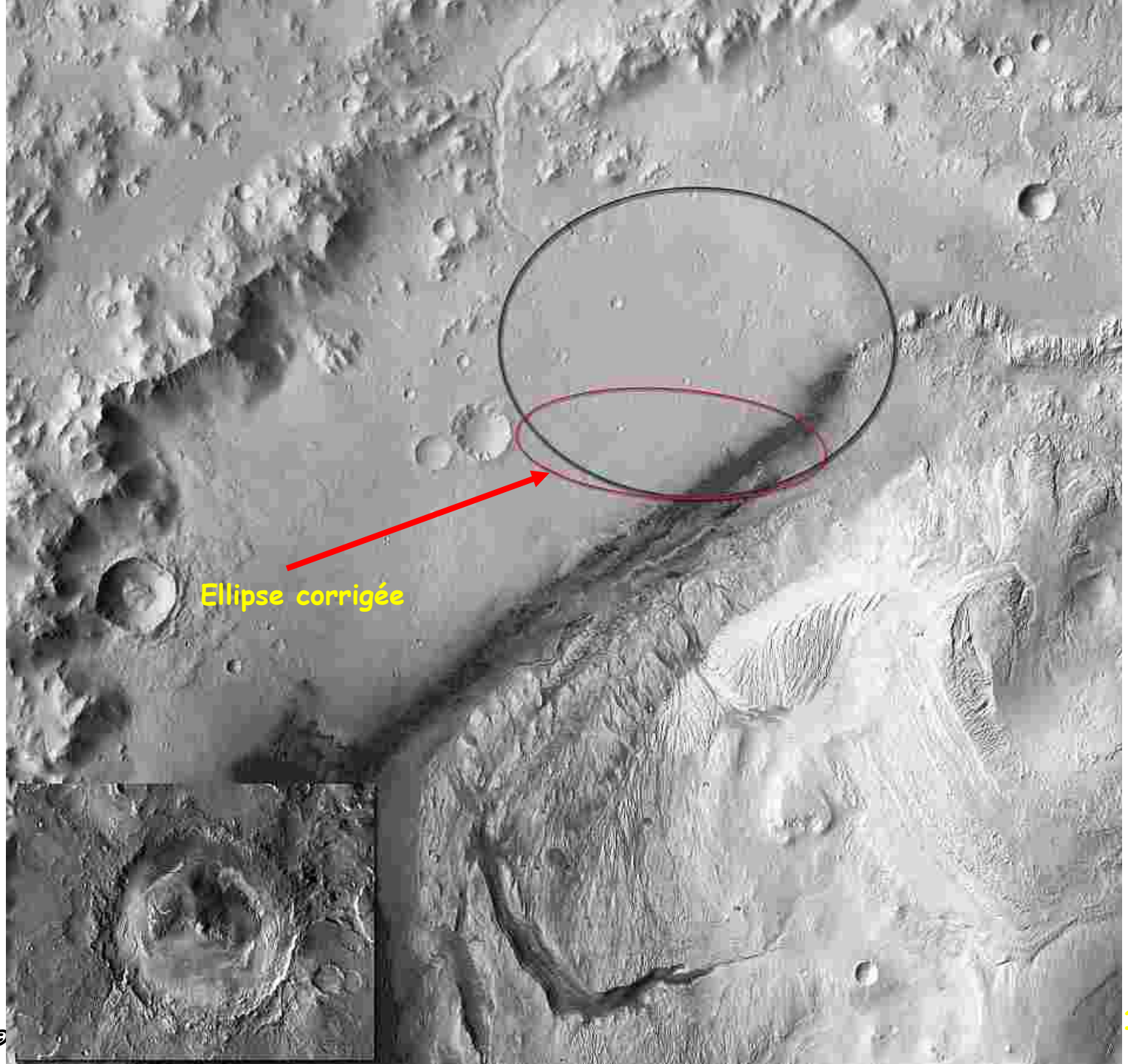


© Jean-Pierre MARTIN www



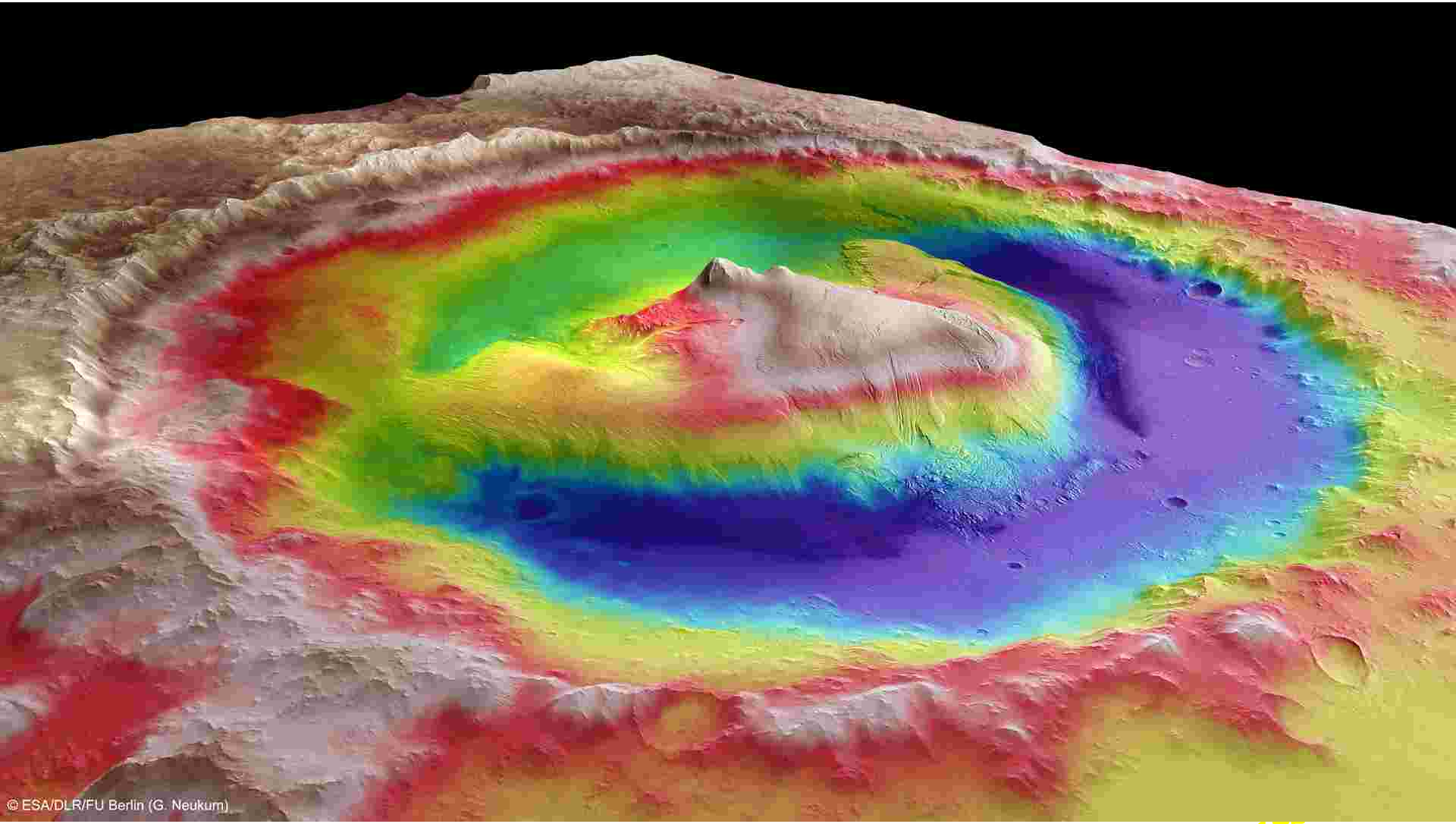
© Jean-Pi

172

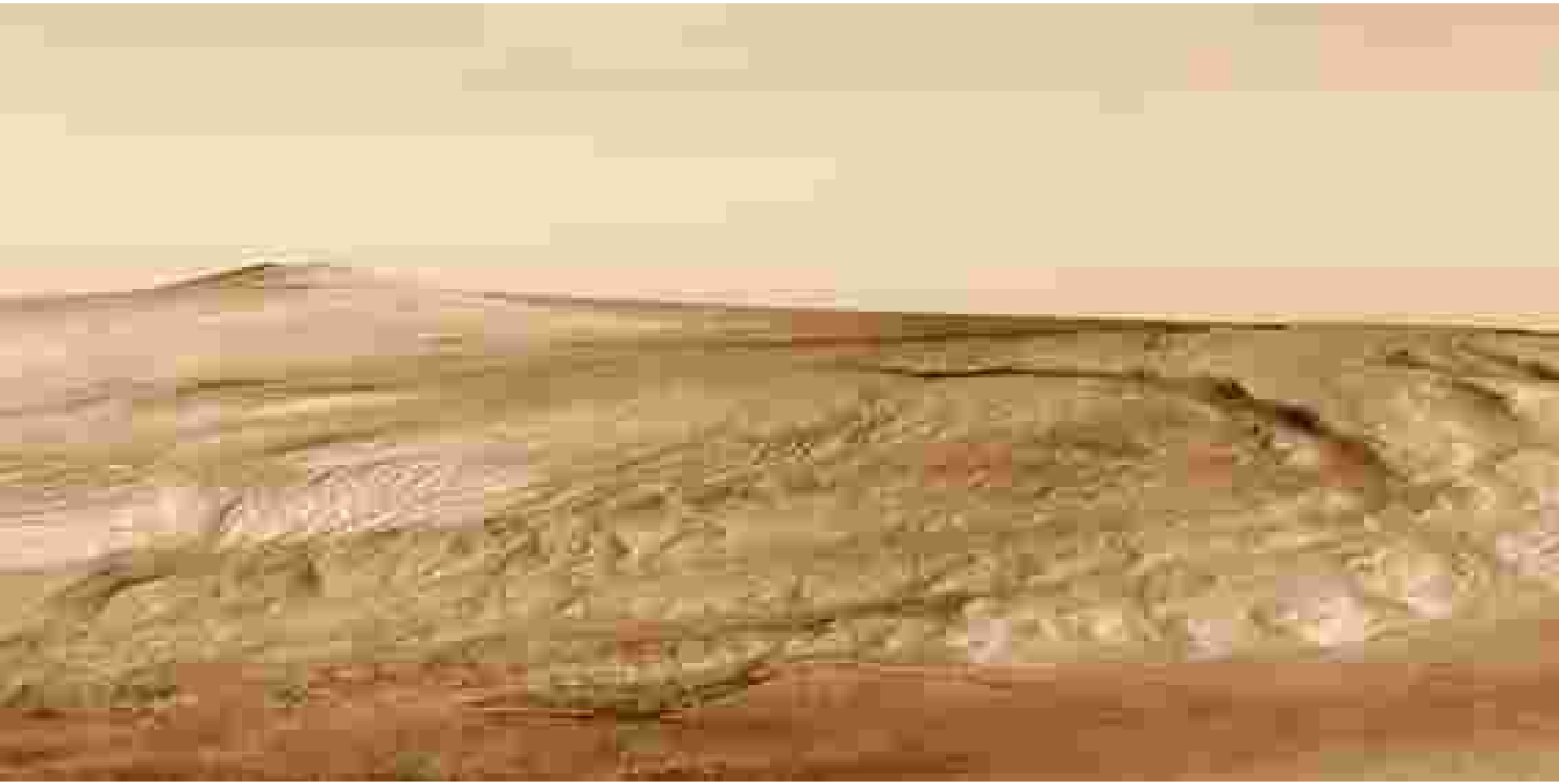

Ellipse corrigée

Une grande variété de sols

VU PAR MARS EXPRESS



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

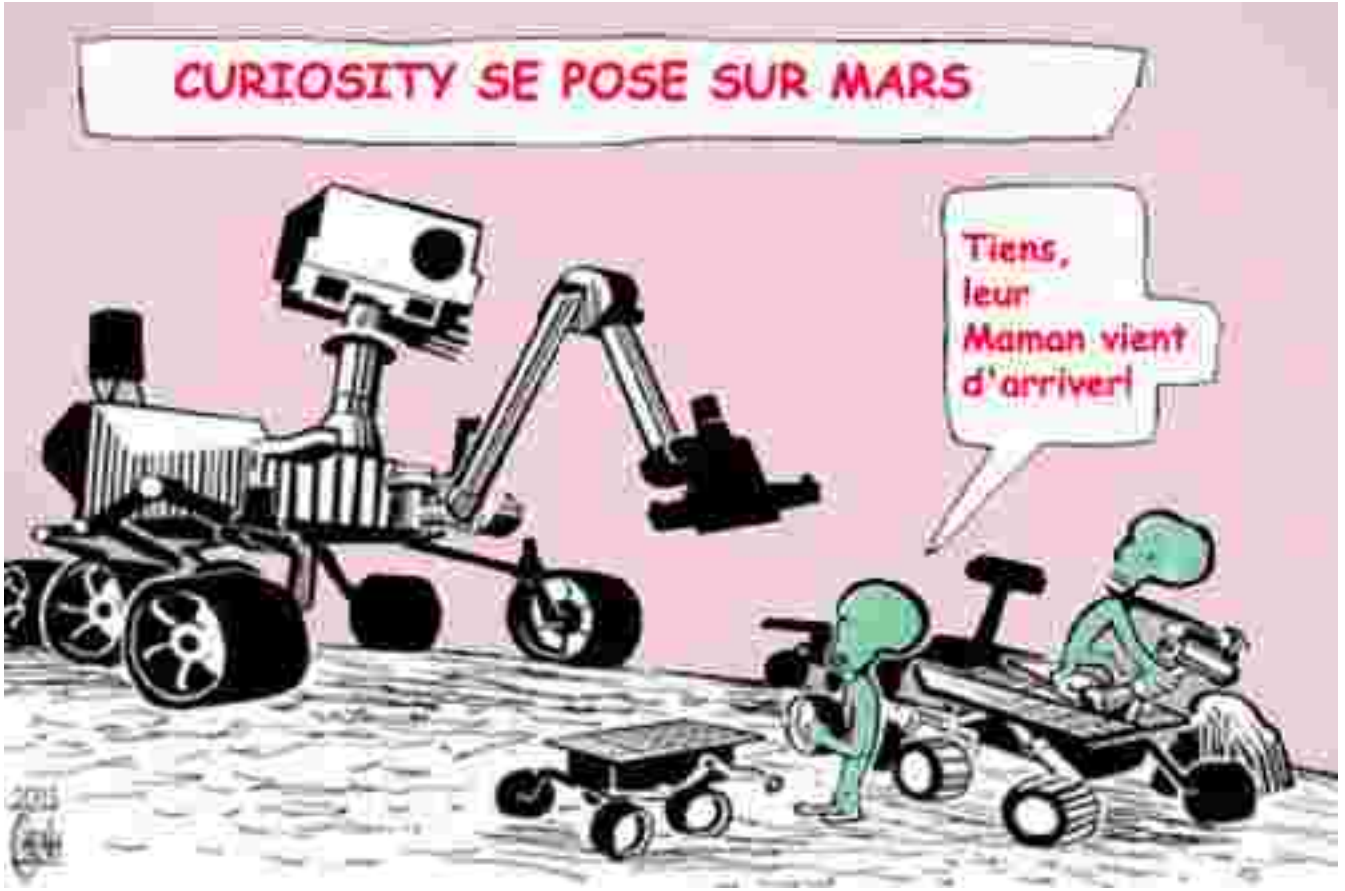


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

10-LE SUCCÈS

- Et le 6 Août 2012 à 7H32 du matin heure de Paris, le JPL nous informe que
- **Touchdown confirmed. We're safe on Mars !**
- L'atterrissage s'est bien passé, on est sur Mars
- Applaudissements

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

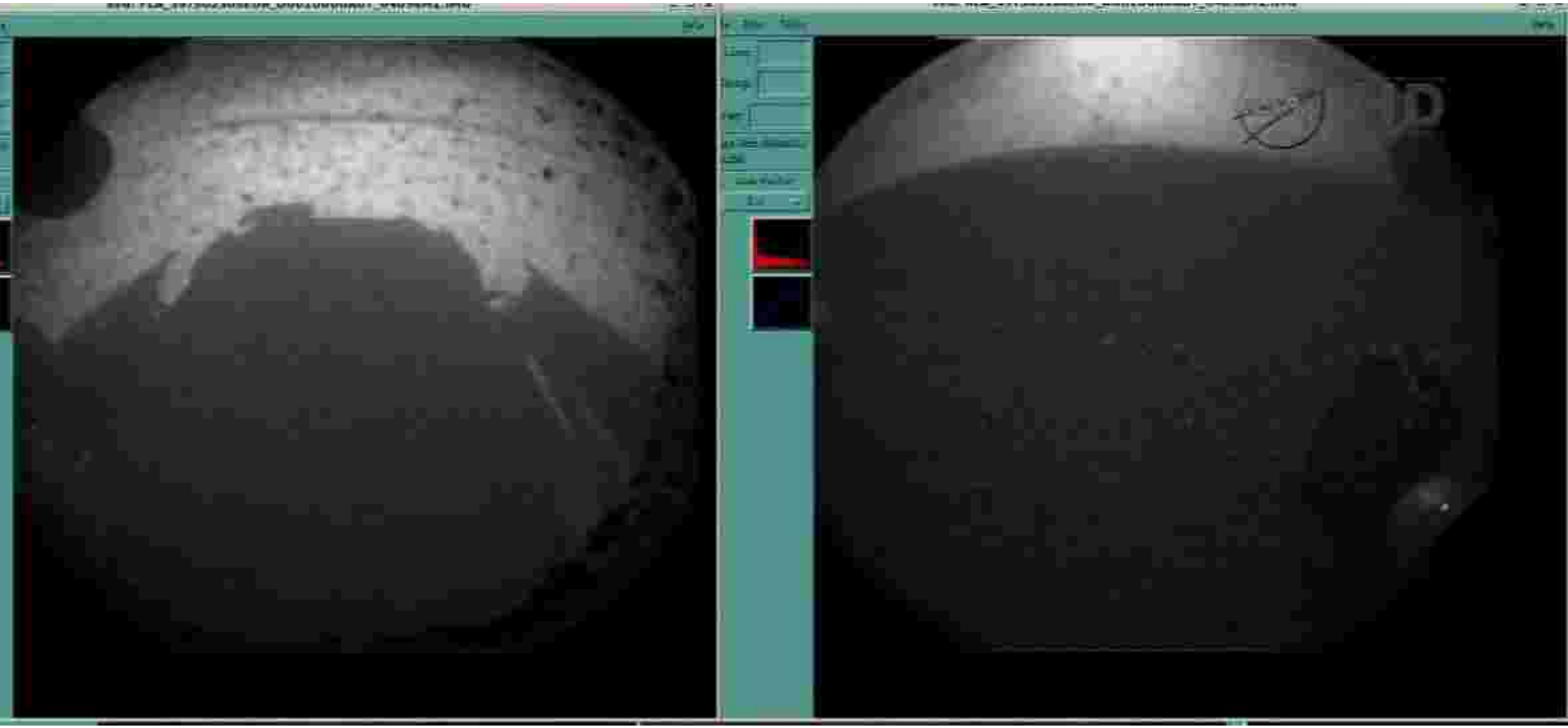


© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

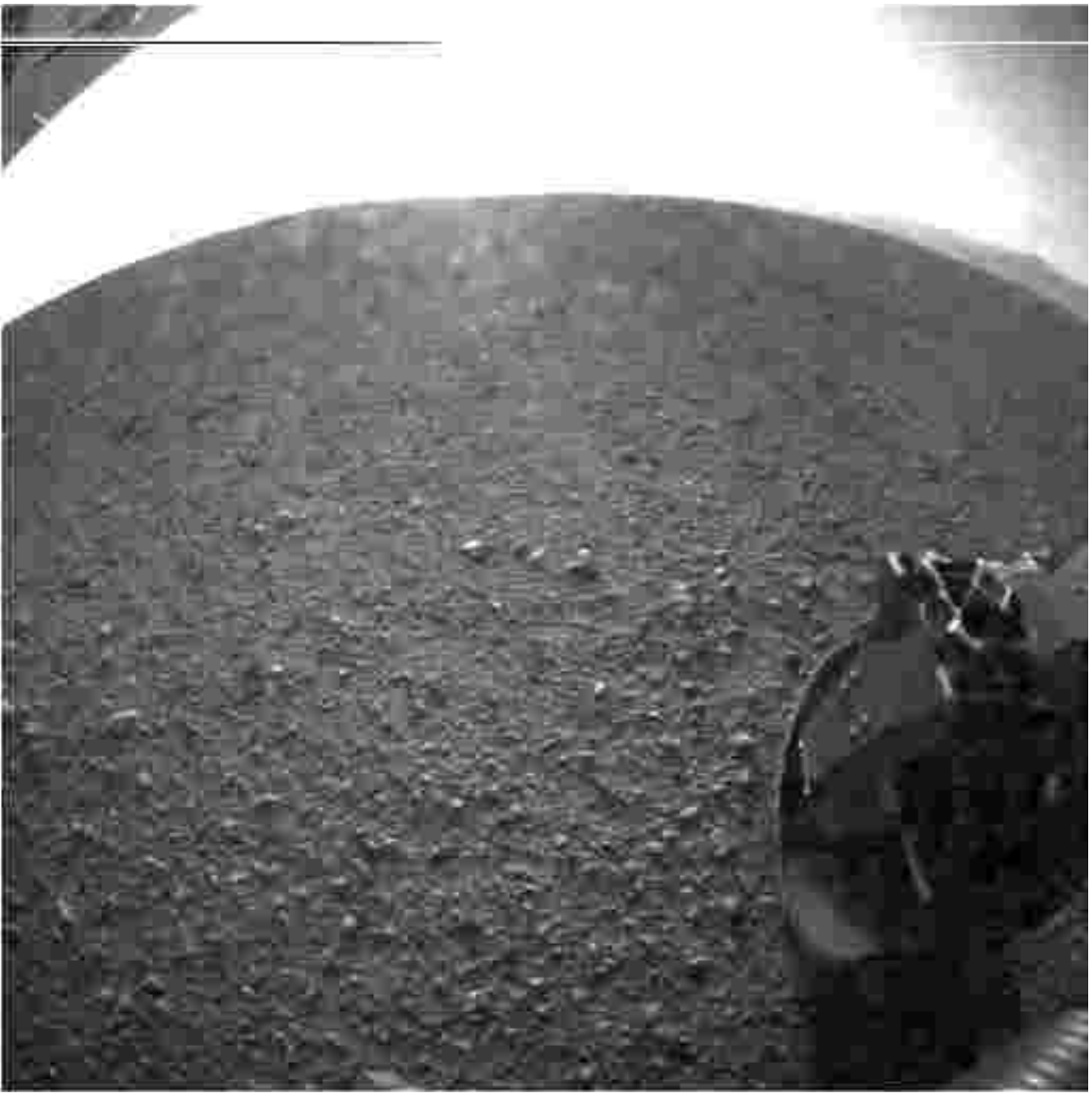
MAIS AVANT D'EN ARRIVER LÀ, QUE S'EST IL PASSÉ ?

- Les 7 minutes de terreur de la descente comme le disait les Américains, sont devenues les 7 minutes de bonheur.
- Les différentes étapes étaient suivies religieusement :
- Le bouclier thermique s'oriente correctement, on est à 130km d'altitude, la vitesse : approx 20.000km/h, MSL est le premier engin à effectuer une entrée « guidée » dans l'atmosphère martienne et non plus balistique
- À cet effet des masselottes (balance mass) de Tungstène sont éjectées, afin que le centre de gravité soit correct, des fusées s'allument pour corriger la trajectoire
- Le bouclier thermique une minute après l'entrée est à son maximum : 2000°C
- 4 minutes après l'entrée atmosphérique, 6 masselottes d'une vingtaine de kg chacune sont éjectées afin de corriger encore le centre de gravité de la sonde et de permettre de ralentir
- Quelques instants plus tard, à 10.000m le parachute géant s'ouvre. On est à Mach 2.
- 24 secondes plus tard : Le bouclier thermique et le capot arrière sont séparés, on est vers les 7000m
- · Le radar a détecté le sol
- · Le rover et sa grue se détachent du parachute et les 8 rétrofusées se mettent en marche
- · On est à 1000m et on descend à 70m/s, puis 40m à 10m/s
- · Le sky crane (la grue) descend Curiosity sur la surface à la vitesse de 2km/h
  - Touch down ! Contact des roues OK Les câbles de la grue sont coupés, celle-ci est propulsée plus loin.

- Quelques instants après les premières images basse résolution (thumbnails) arrivent, elles proviennent des hazcams situées très près du sol, ce sont des fisheye, d'où l'aspect ; encore des applaudissements.



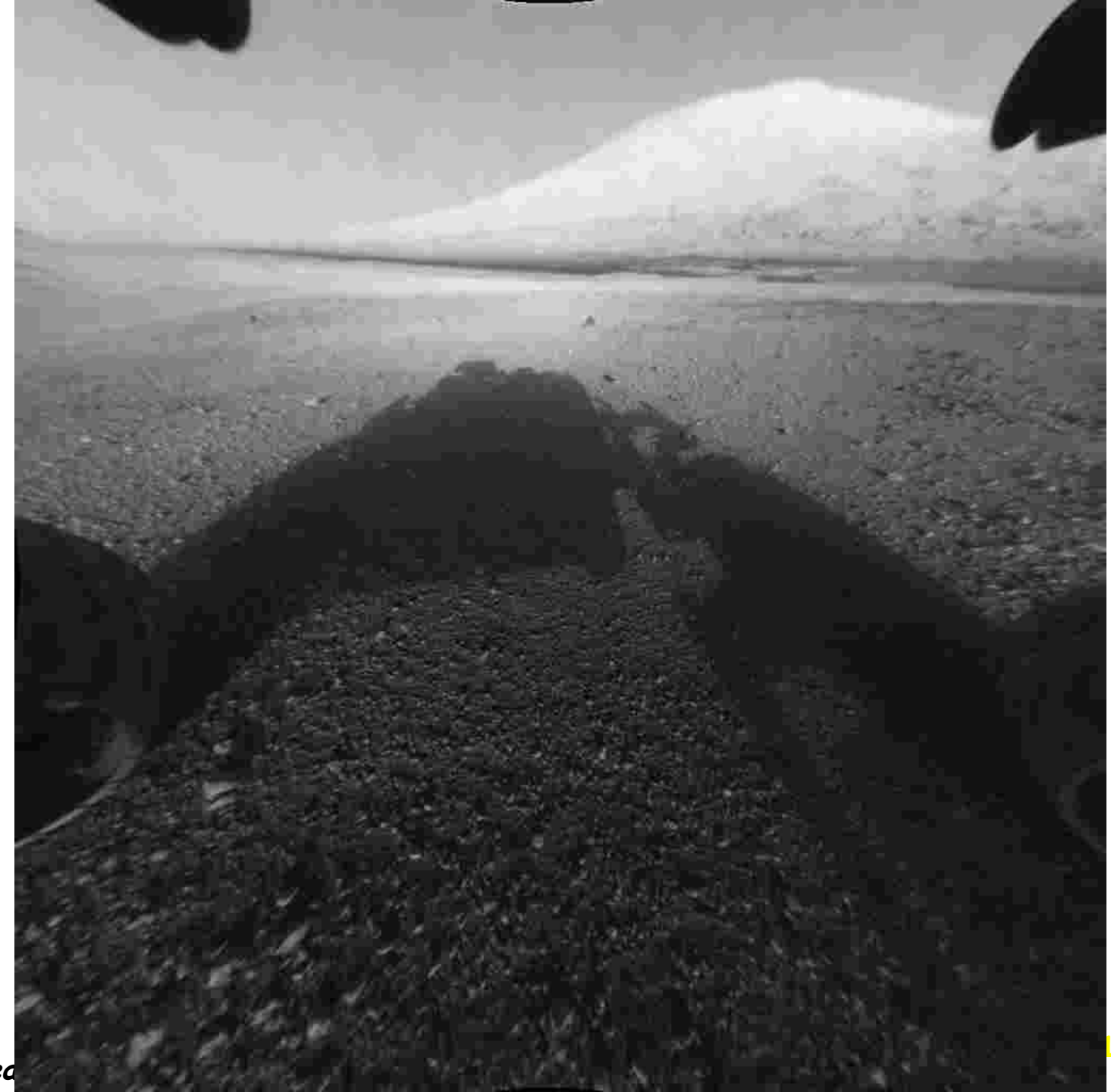
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



- Puis la première haute résolution
- Prise par la Hazcam arrière gauche
- On y voit le sol martien sous la sonde

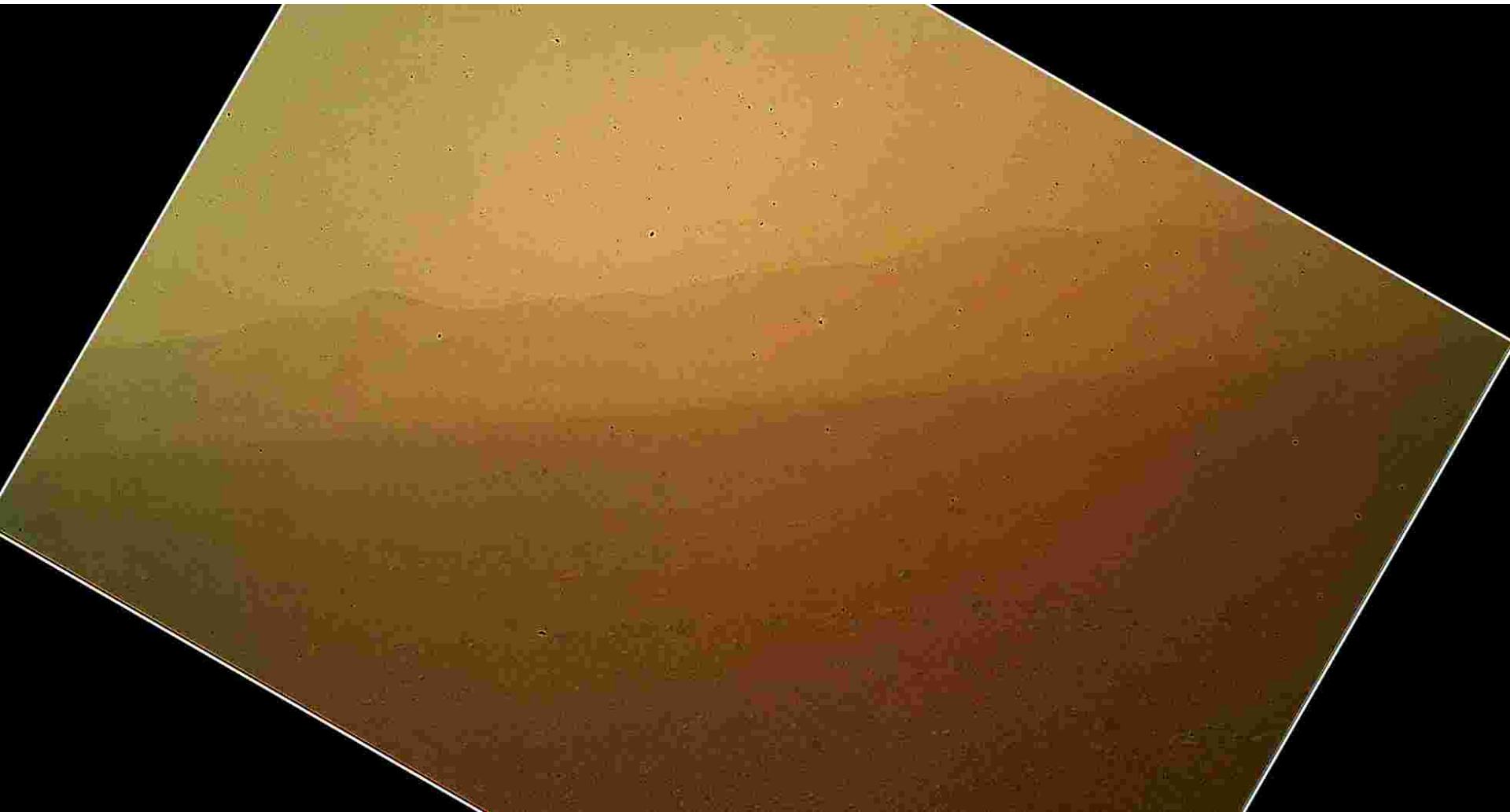
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Impact of sky crane (1 second after touchdown)
Curiosity Hazcam Aug 6 , 2012

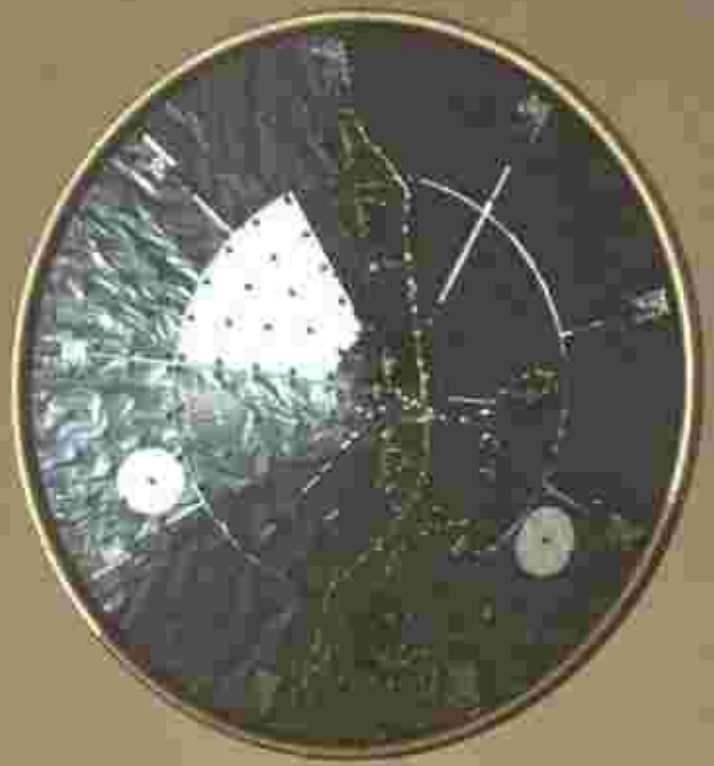


© Jea

- La première image couleur :
- Prise par la MAHLI
- Au loin le bord Nord du cratère Gale
- De la poussière reste probablement sur la caméra

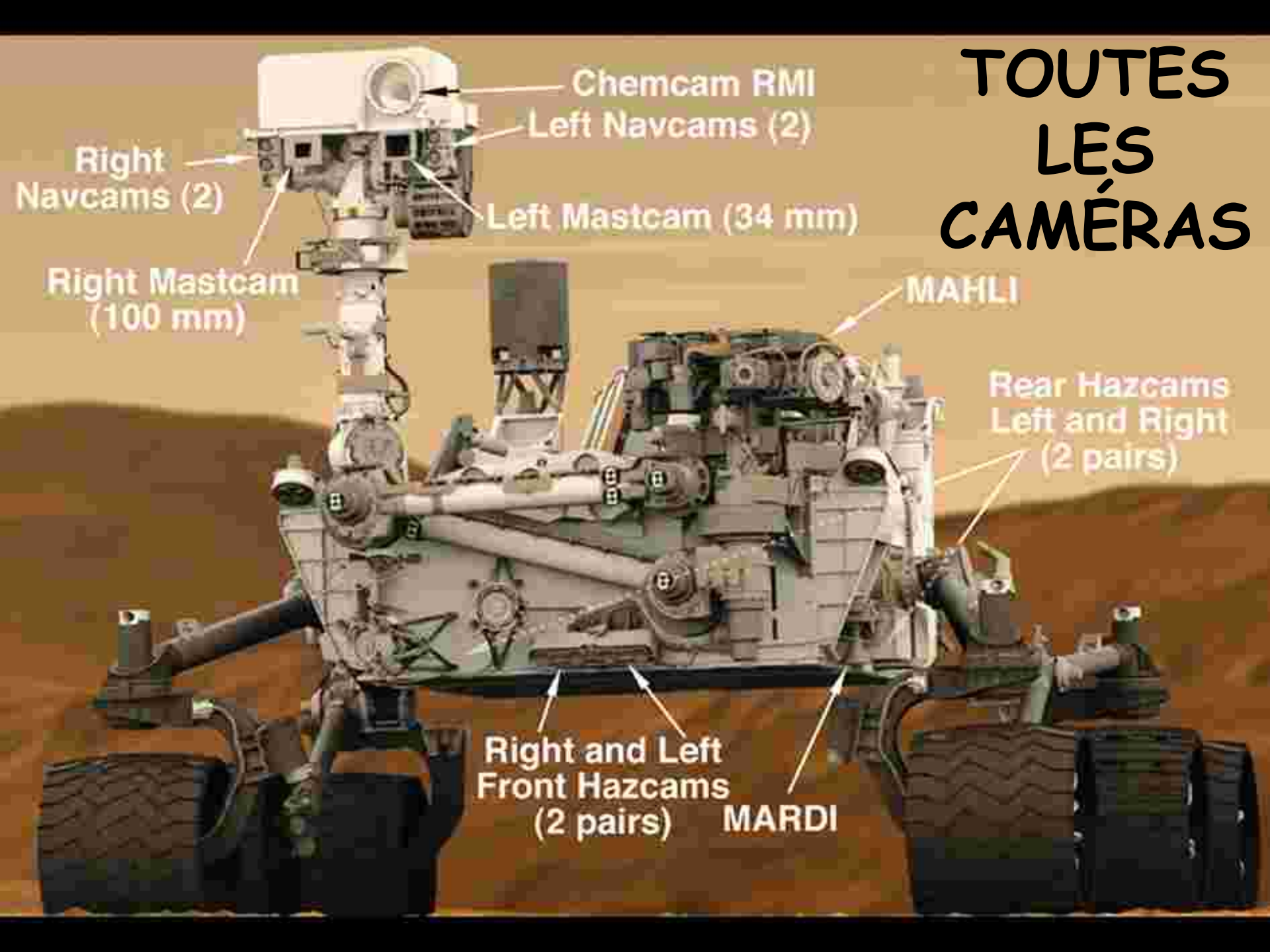


- Prise par la caméra MARDI du rover lors de la descente
- On voit le bouclier thermique éjecté de la sonde
- Prise 3 secondes après son éjection 2 minutes et demi avant touch down
- La MARDI a pris plusieurs centaines d'images qui forment une vidéo

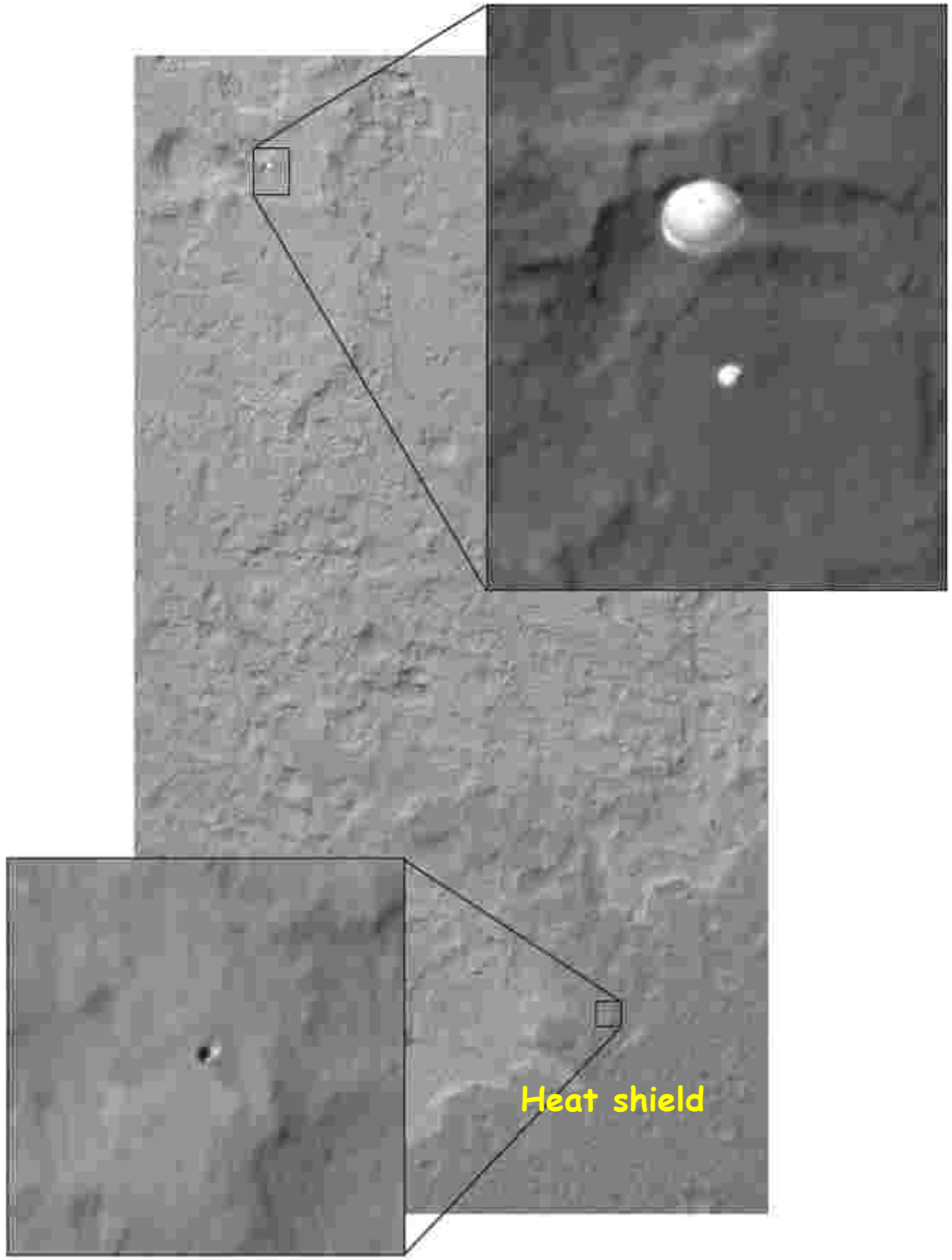


- Prise aussi par la MARDI avant l'atterrissage, on y voit le souffle presque circulaire d'une des rétrofusées sur le sol
- Curiosity est à 20m du sol

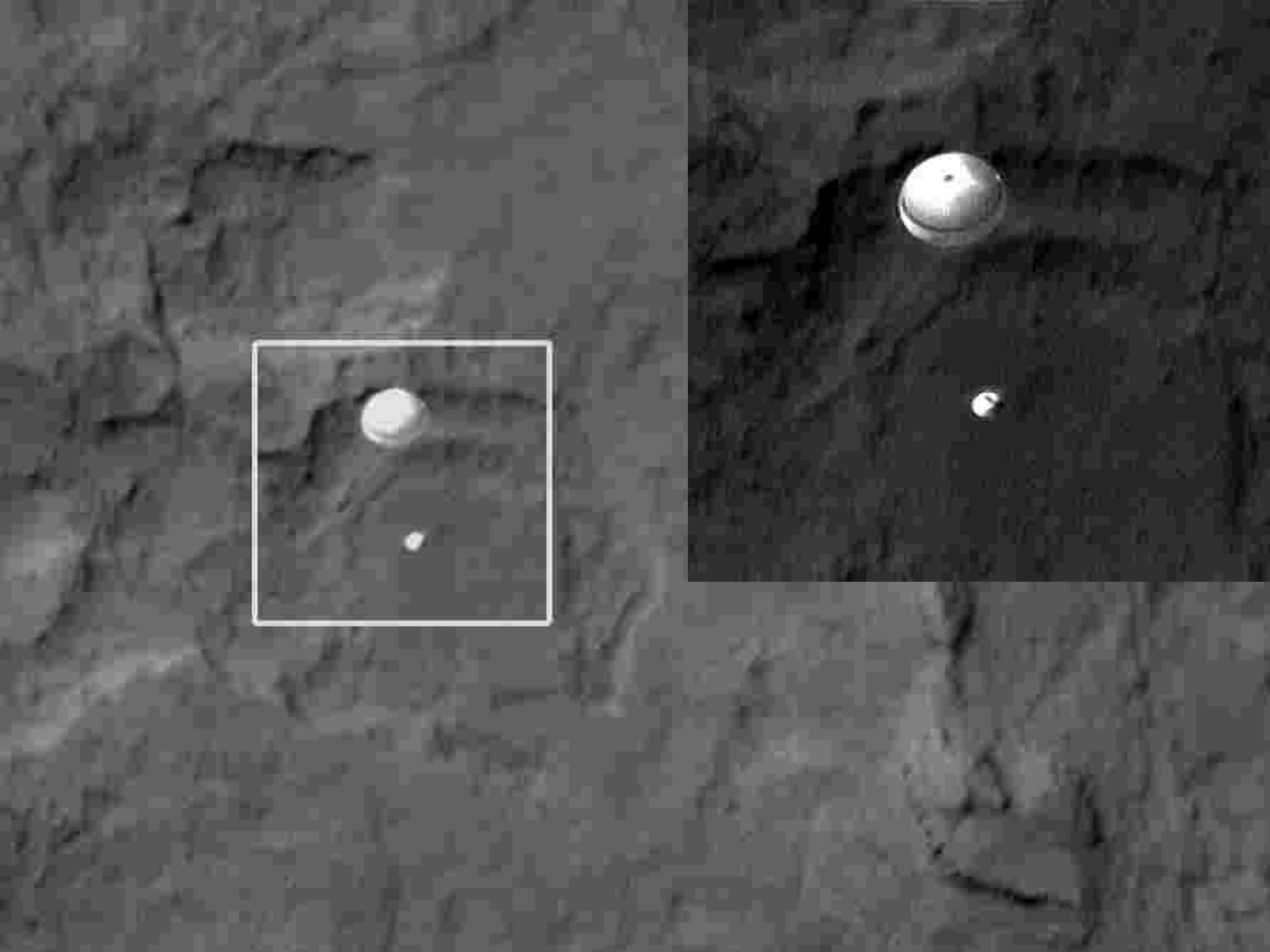
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com


TOUTES LES CAMÉRAS
Chemcam RMI
Left Navcams (2)
Right Navcams (2)
Left Mastcam (34 mm)
Right Mastcam (100 mm)
MAHLI
Rear Hazcams Left and Right (2 pairs)
Right and Left Front Hazcams (2 pairs)
MARDI

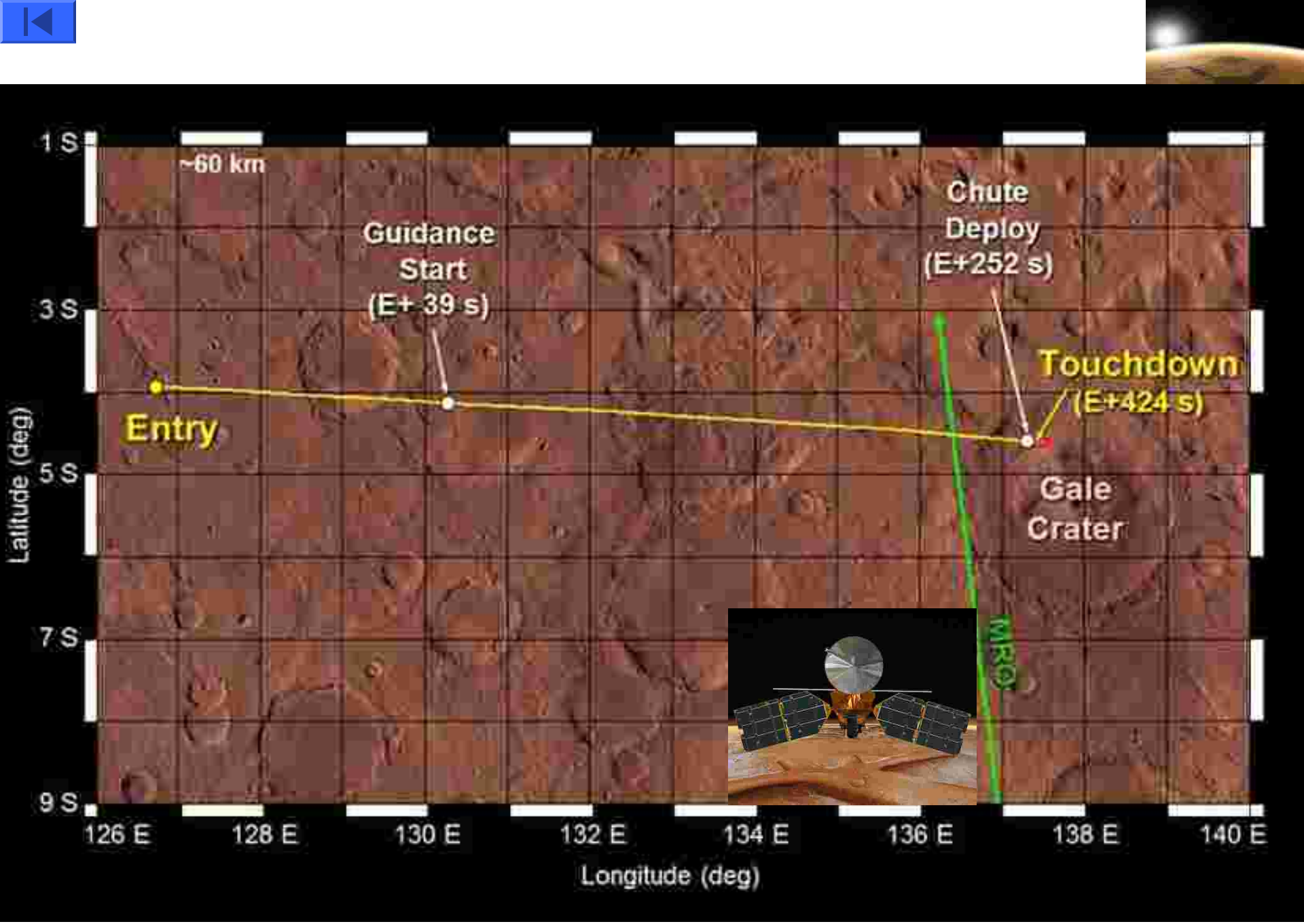
- Image extraordinaire vue par MRO
- Quand on pense que le direct n'est pas possible à cause du décalage horaire et qu'il a fallu estimer correctement la trajectoire d'entrée de Cusiosity pour pouvoir photographier son parachute
- MRO était à 340km de Curiosity et lui même à 3000m de la surface.
- Bravo les Américains!



© Jean-Pierre MARTIN www.planetas

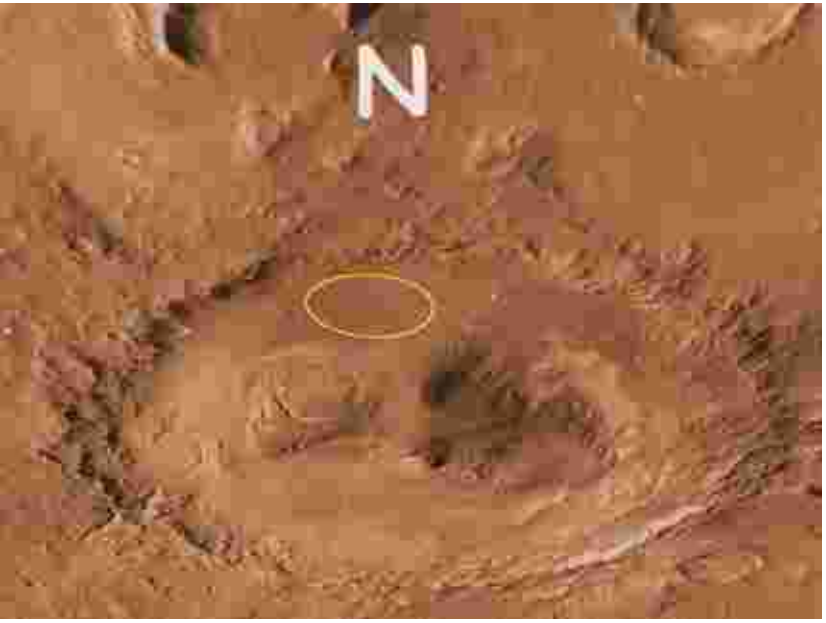


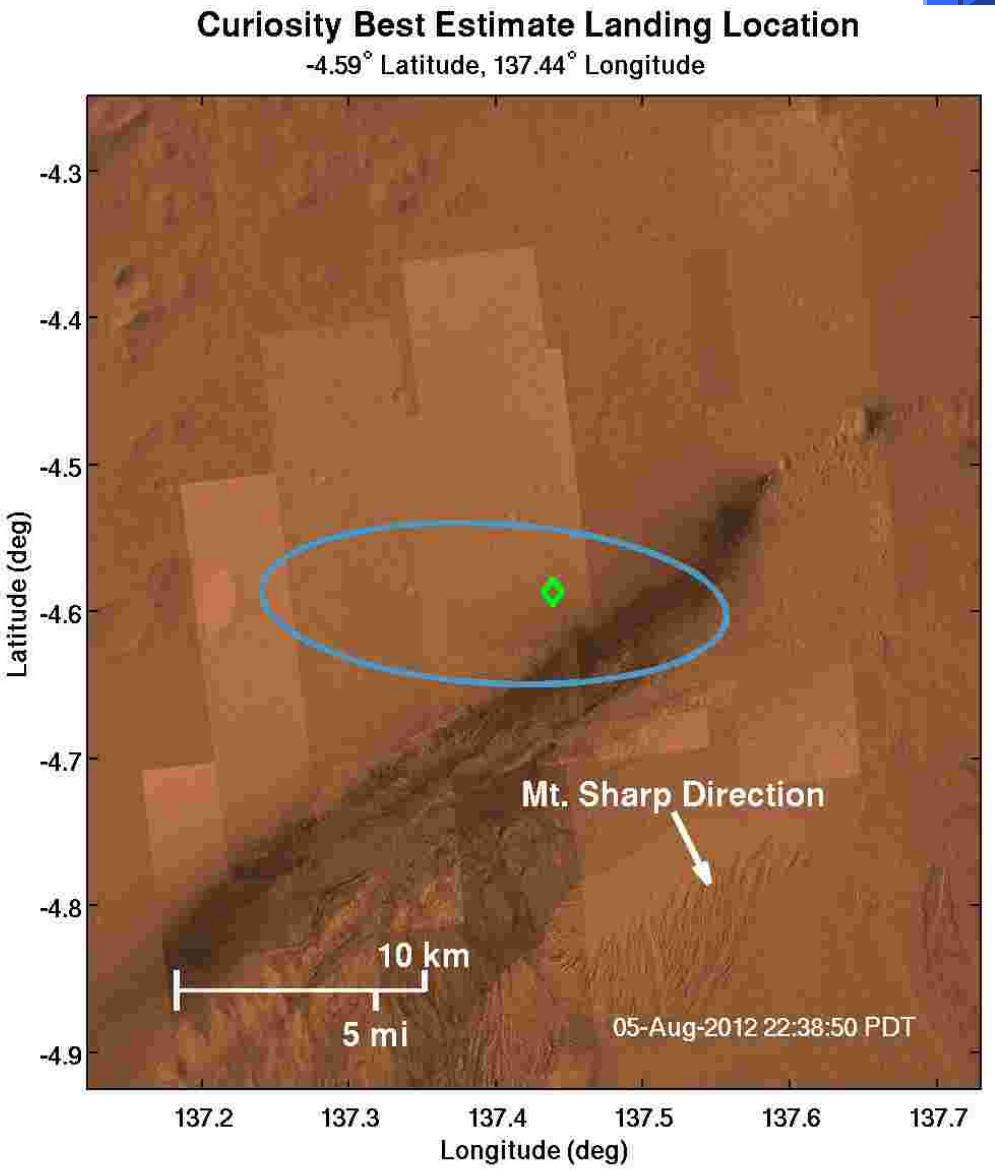
ODY
MSL
Gale Crater
MRO



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

OÙ A ATTERRI CURIOSITY?

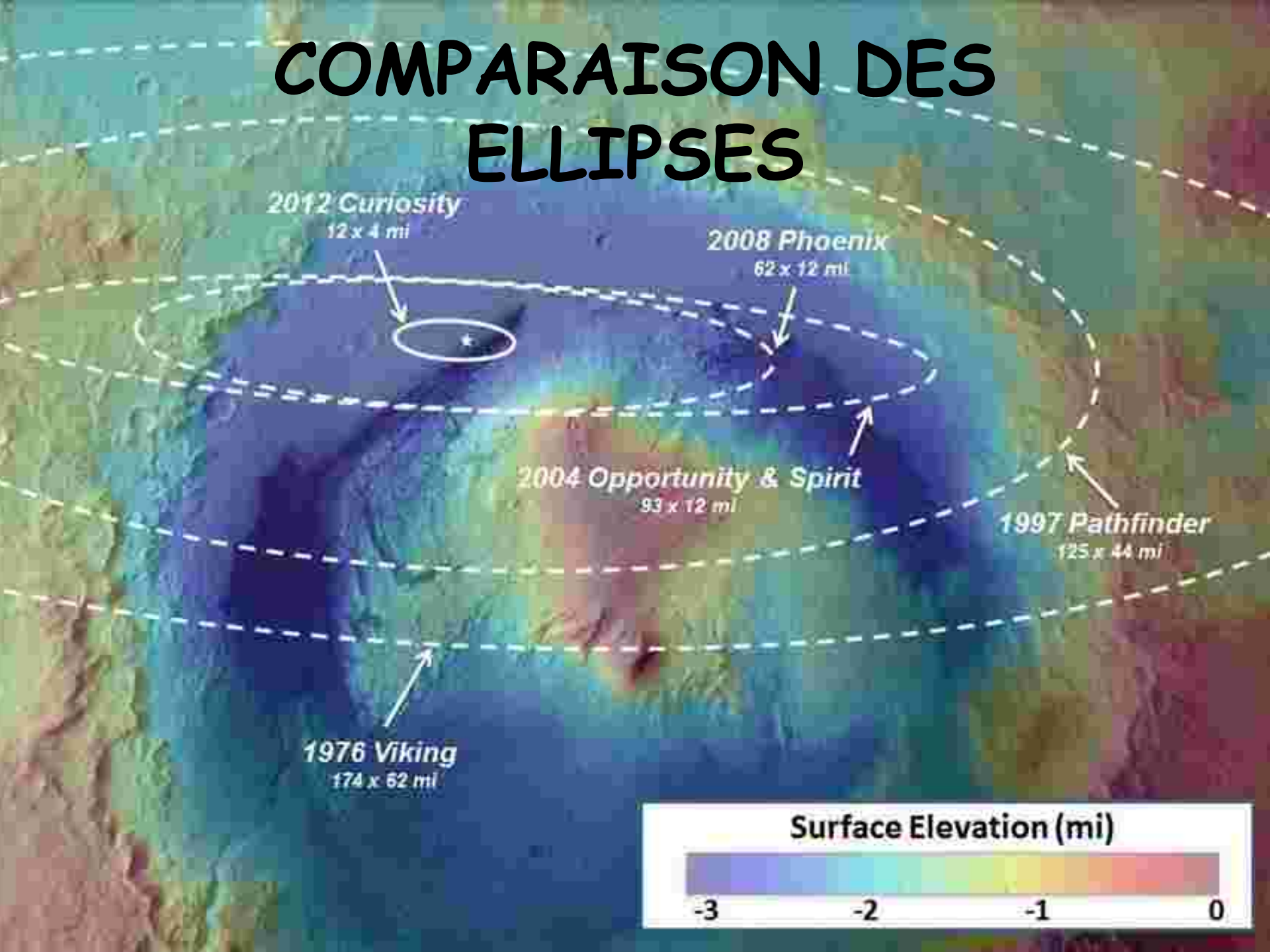




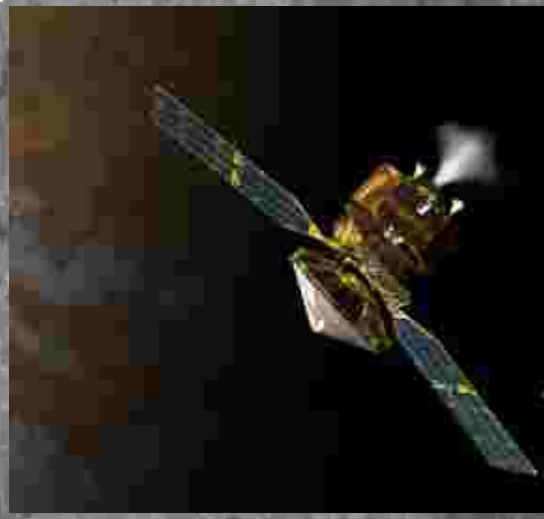
05-Aug-2012

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

COMPARAISON DES ELLIPSES



✸ Vu par MRO



Sky crane

Curiosity

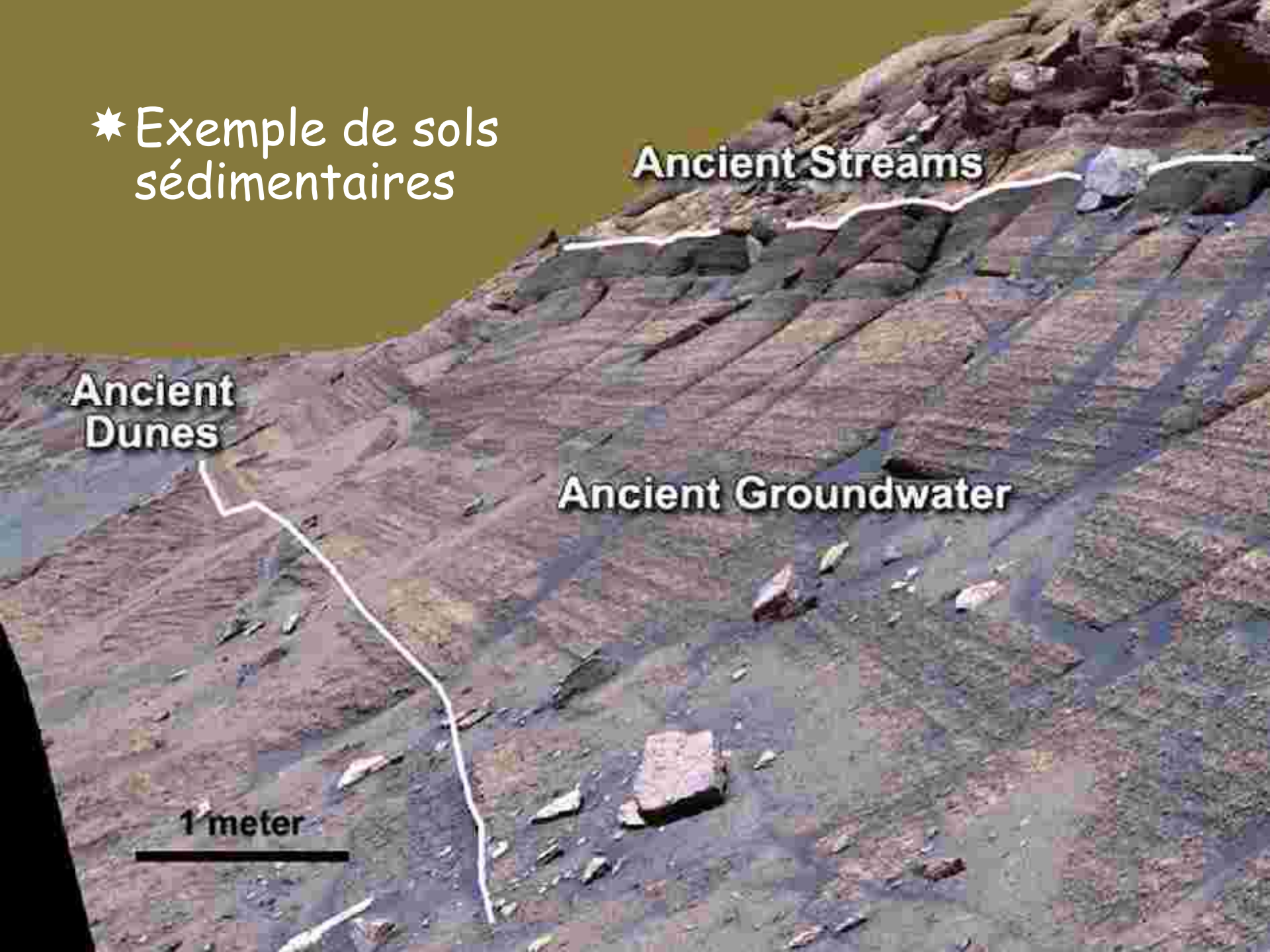
1500 m

Back shell

Heat Shield

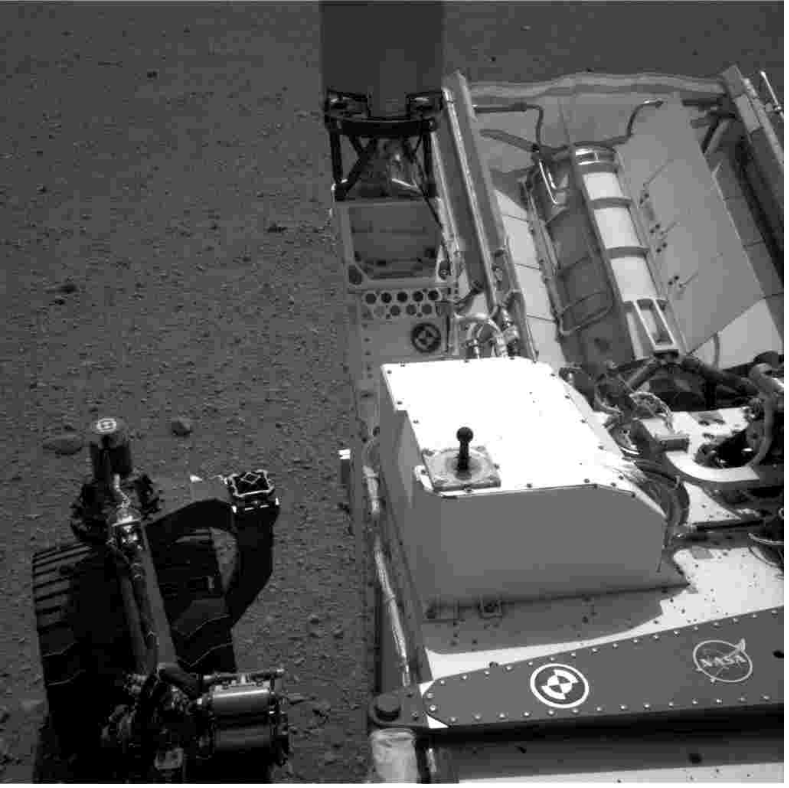
Parachute

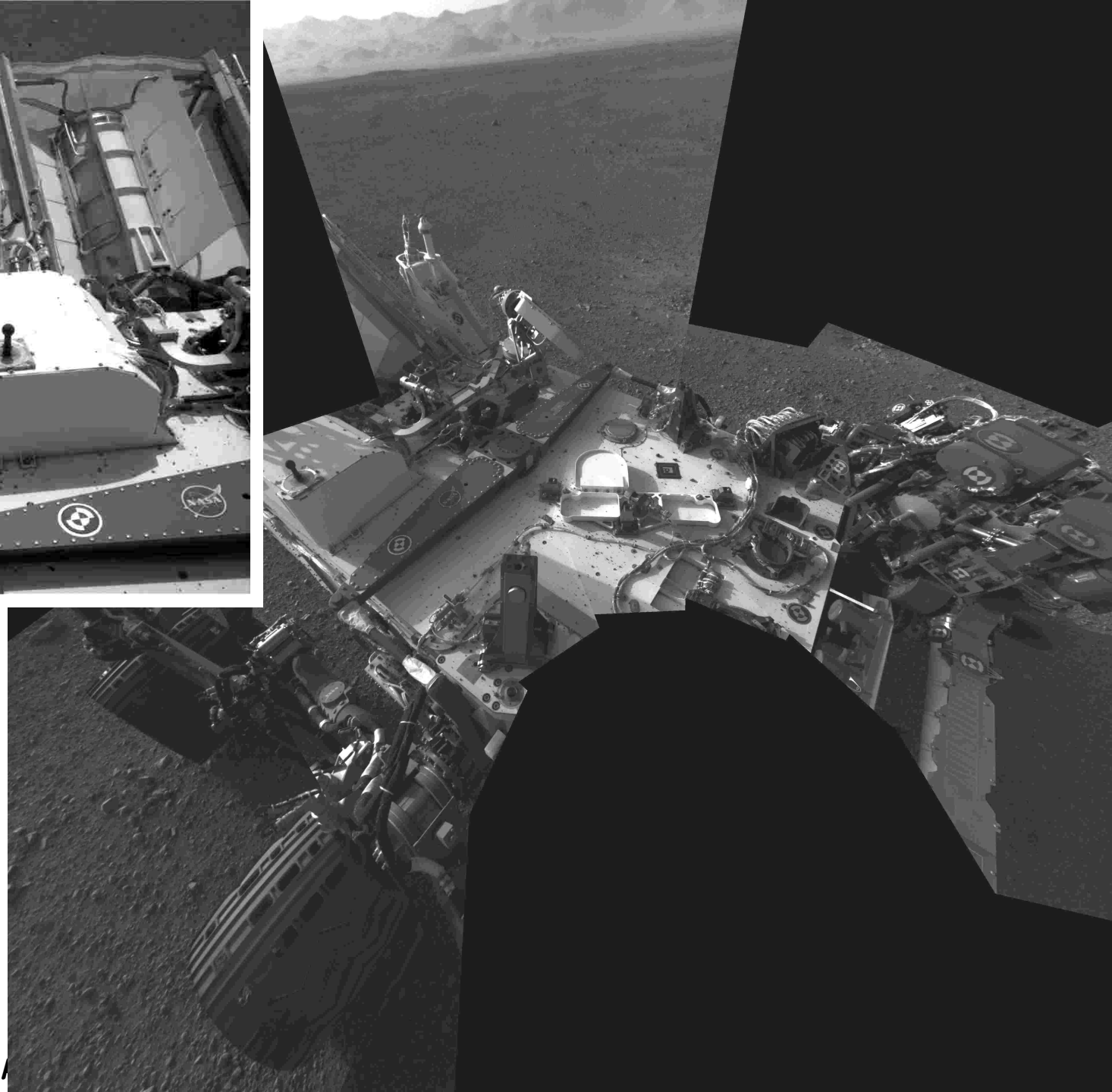
- Exemple de sols sédimentaires



- Première image de la Navcam, une fois le mât redressé.

- Prise par la MARDI après l'atterrissage



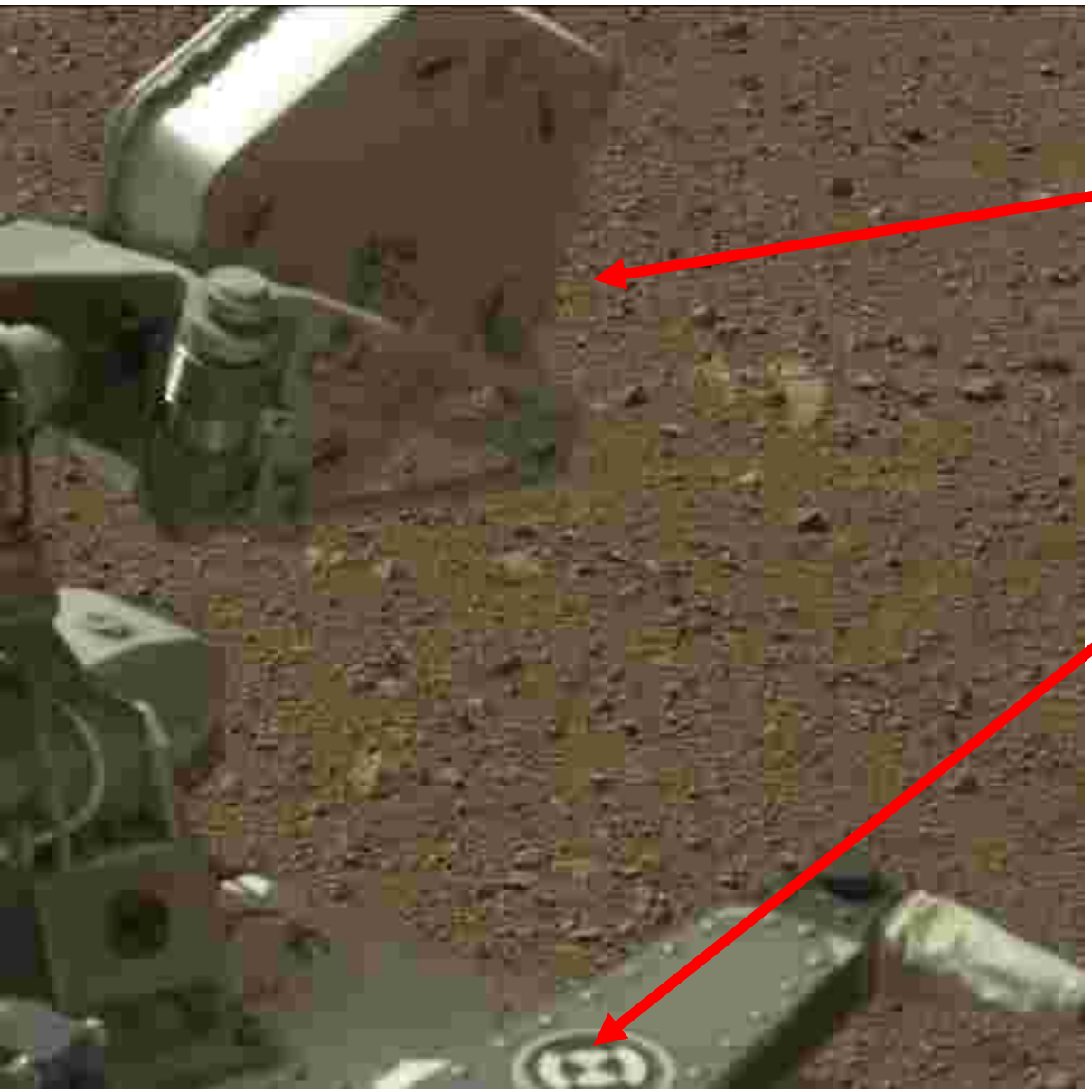


- Tout va bien à bord!

© Jean-Pierre MA

© Jean-Pierre MAR

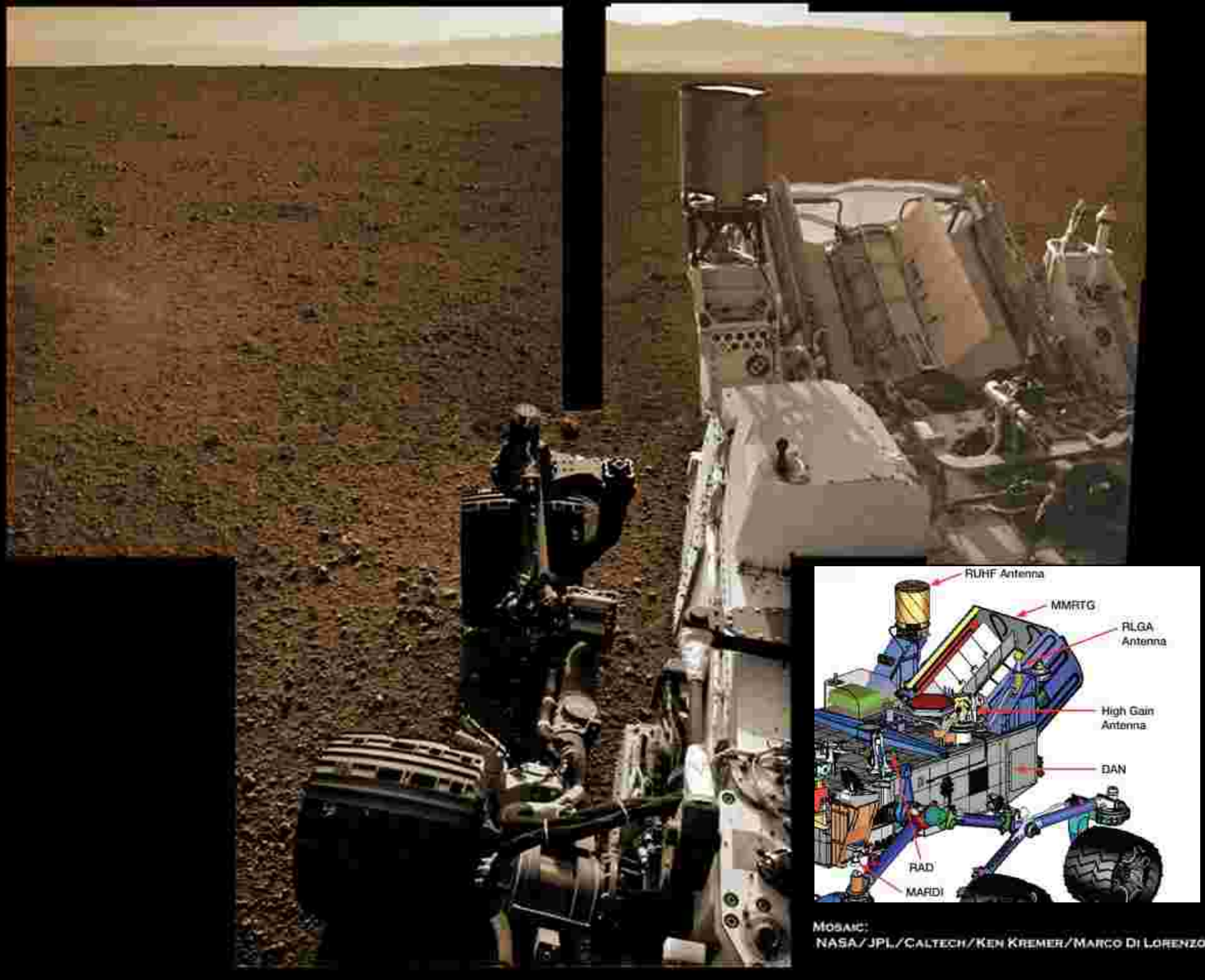
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



Antenne de communication grand gain

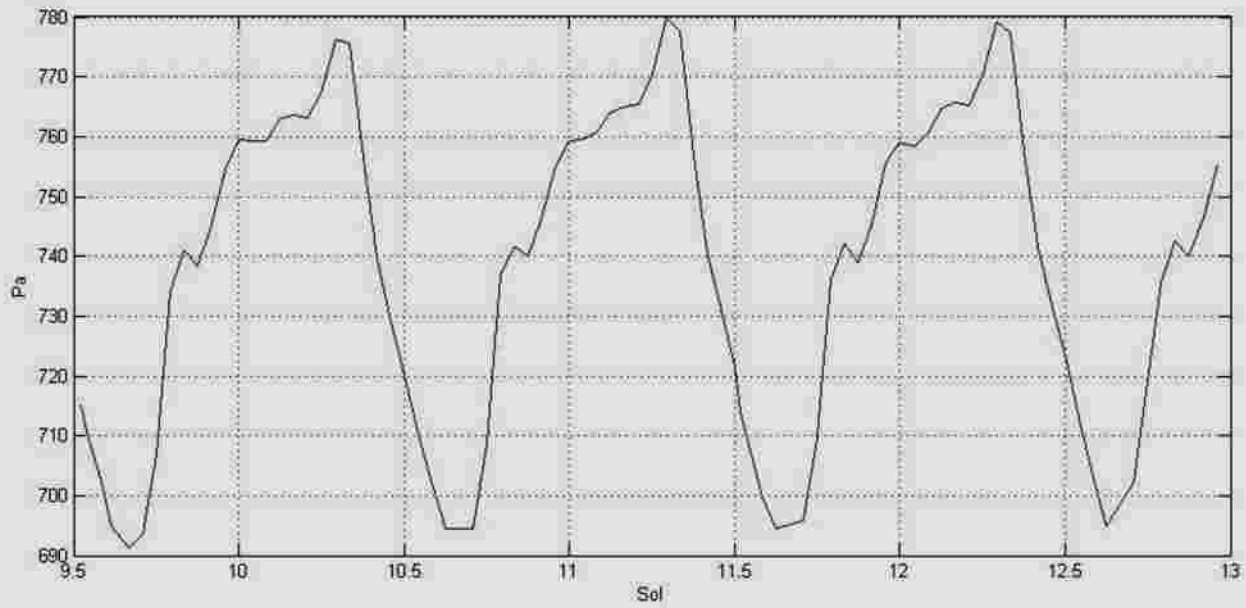
Marqueur indiquant le mouvement d'un moteur ou d'une articulation

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

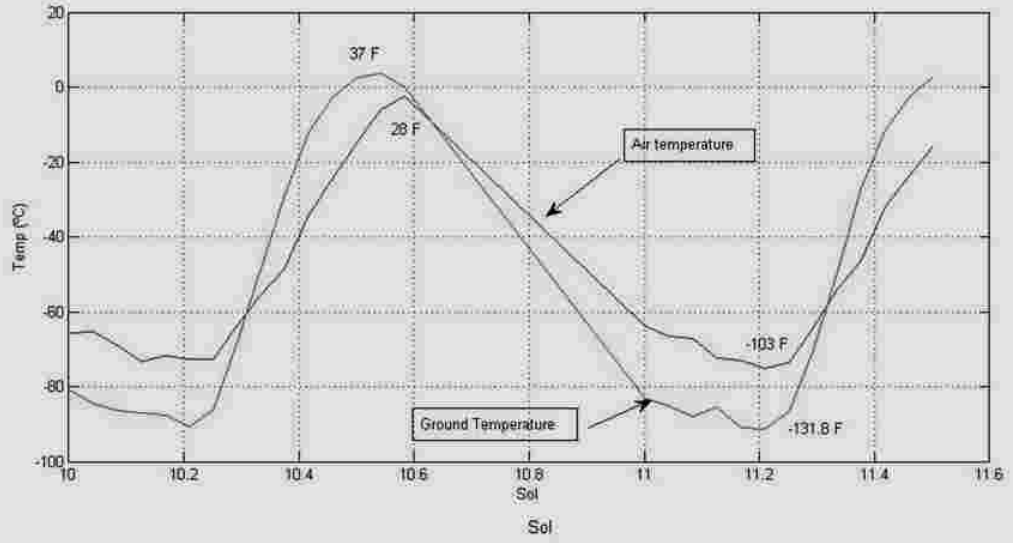


Mosaic:
NASA/JPL/Caltech/Ken Kremer/Marco Di Lorenzo

PRESSURE SENSOR



GROUND AND AIR TEMPERATURE SENSOR



- Les premières mesures météo

© Jean-Pierre MARTIN www.p

© Andrew Bodrov

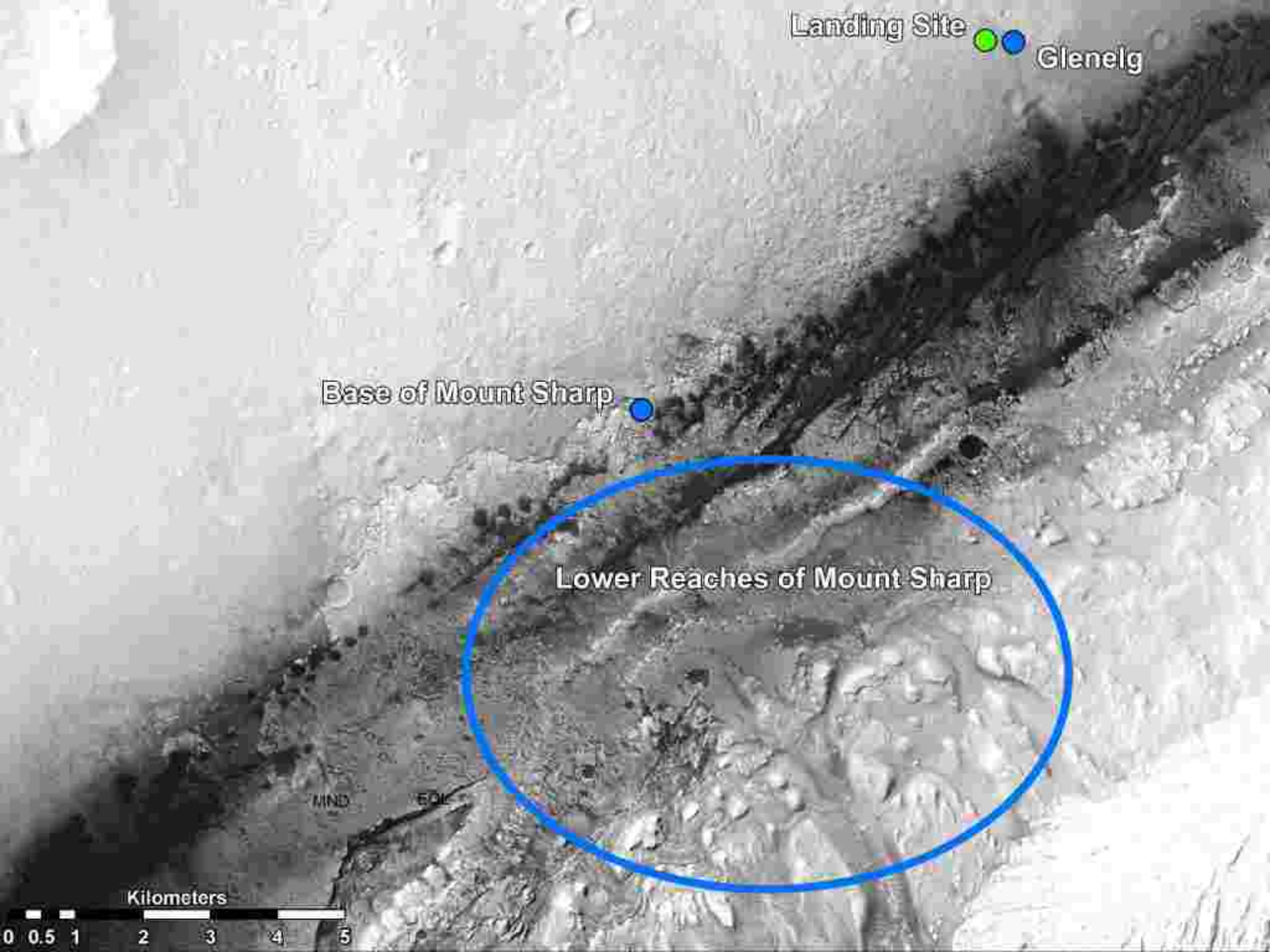
- Premier panorama en couleur

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Photo : MRO/HiRise

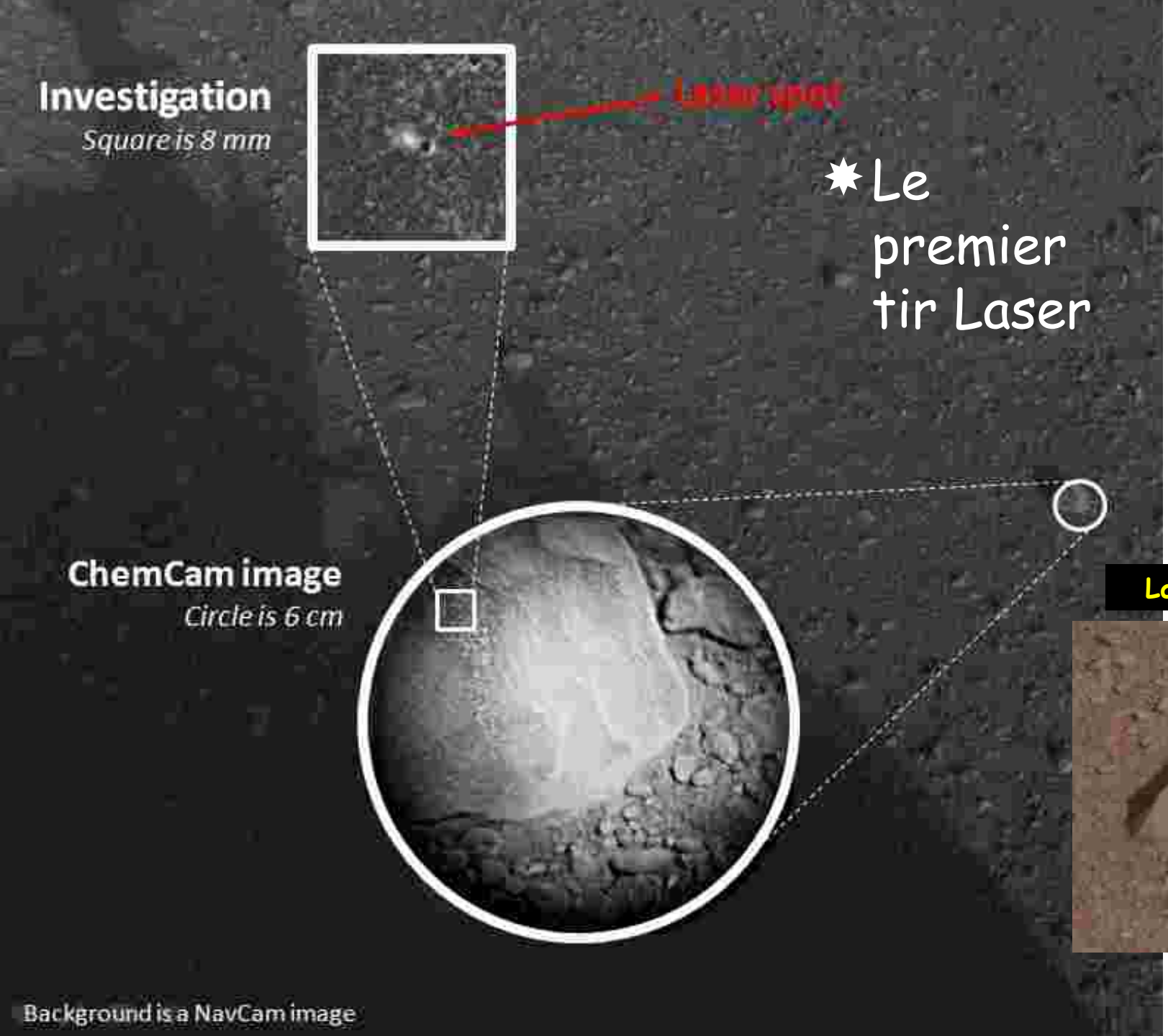

Landing Site
Glenelg
Base of Mount Sharp
Lower Reaches of Mount Sharp
MND
EOL
Kilometers
0 0.5 1 2 3 4 5

- *À l'assaut!*

- Première vue complète du Mont Sharp.

Merci à Emily Lakdawalla de la Planetary Society

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



✸ Le premier tir Laser

La cible

LA FRANCE SUIT EN DIRECT L'ATTERRISSAGE

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

© Jean-Pierre MARTIN

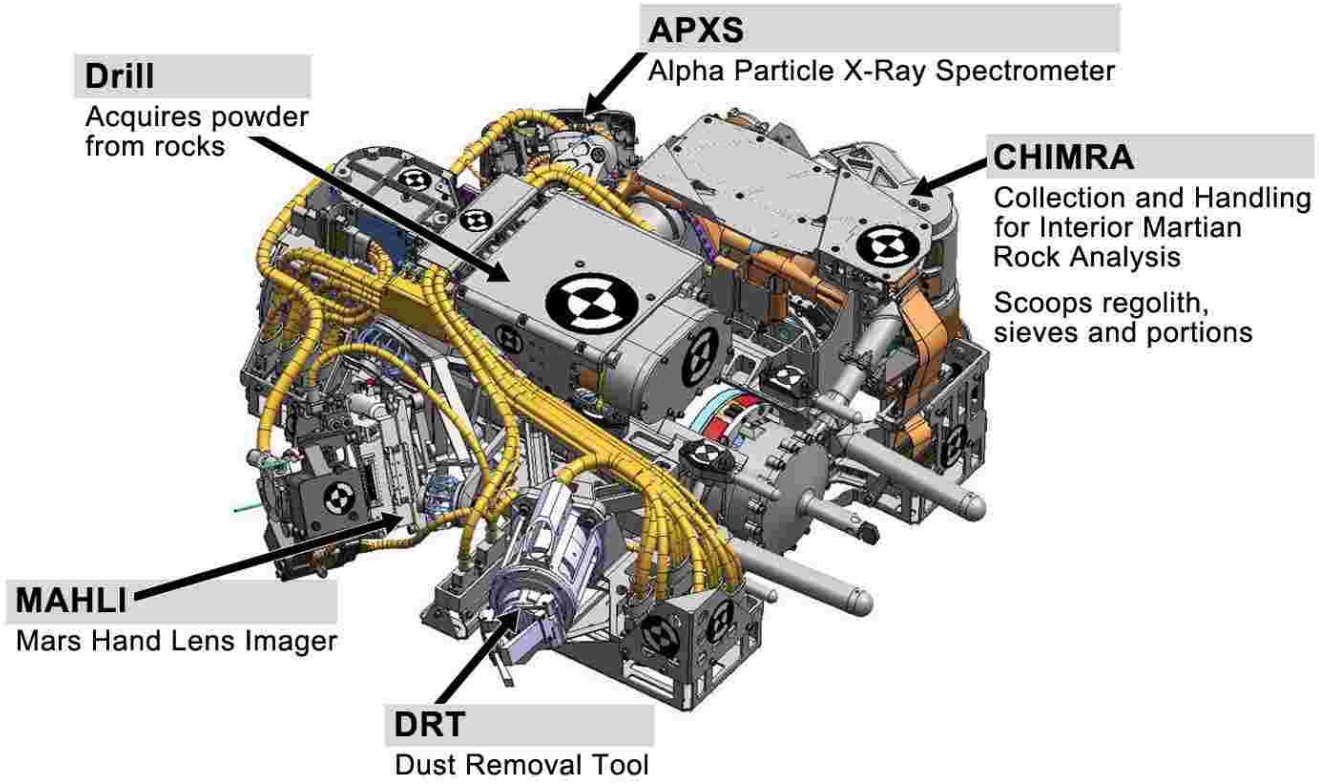
Applaudissements :
Curiosity has landed!!

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

Louge pour vous!
NASA
JPL
Jet Propulsion Lab
California Institute
Mars
PARC AUX ÉTOILES
L'ASTRONOMIE
universcience

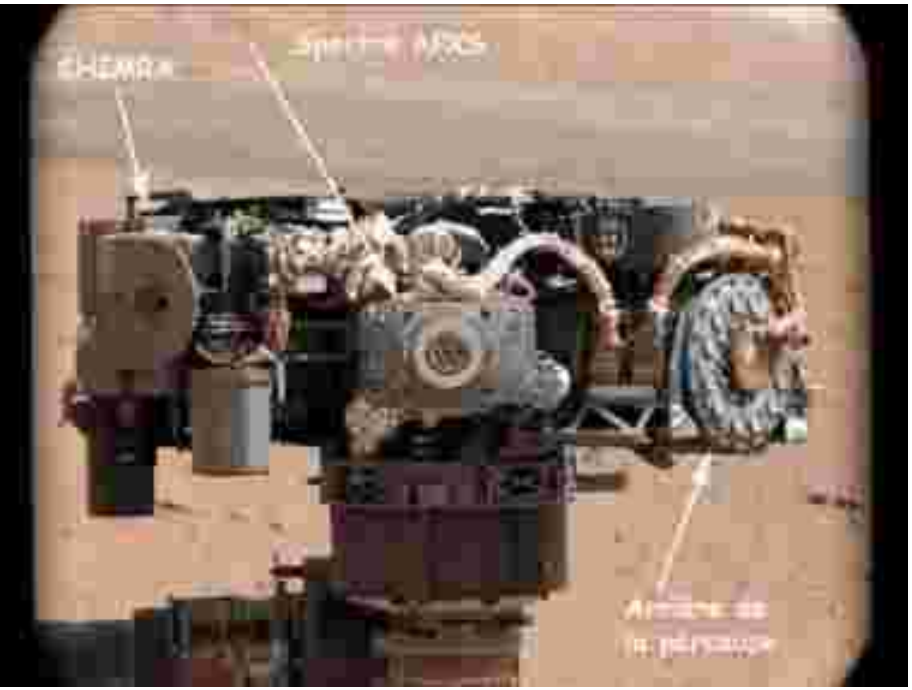
À LA CITÉ DES SCIENCES AUSSI

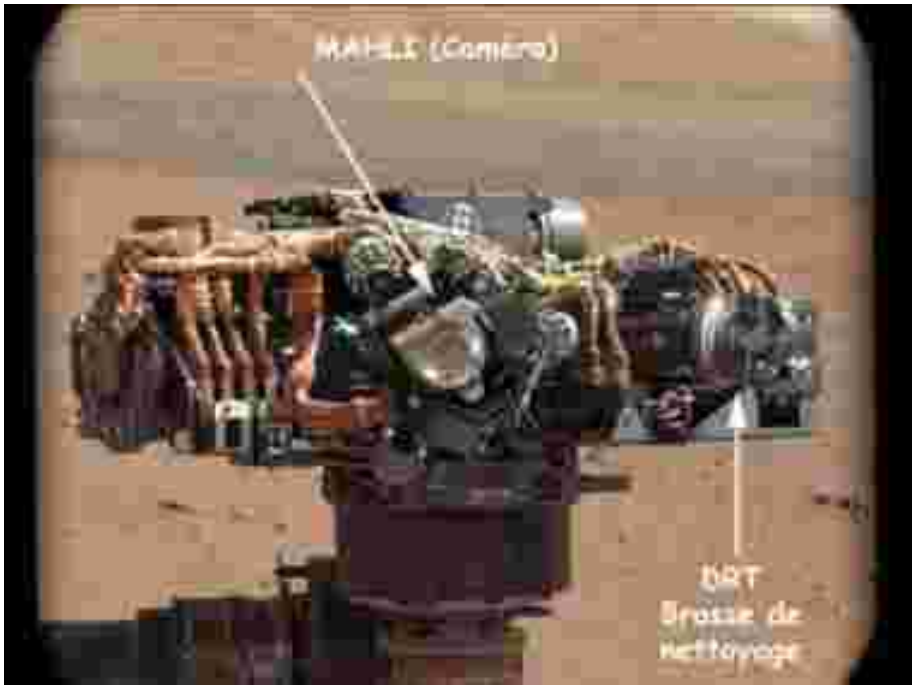
LE DÉBUT DE LA MISSION



- Le bras armé de la Curiosité!
- Go Go gadget-au-bras!

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



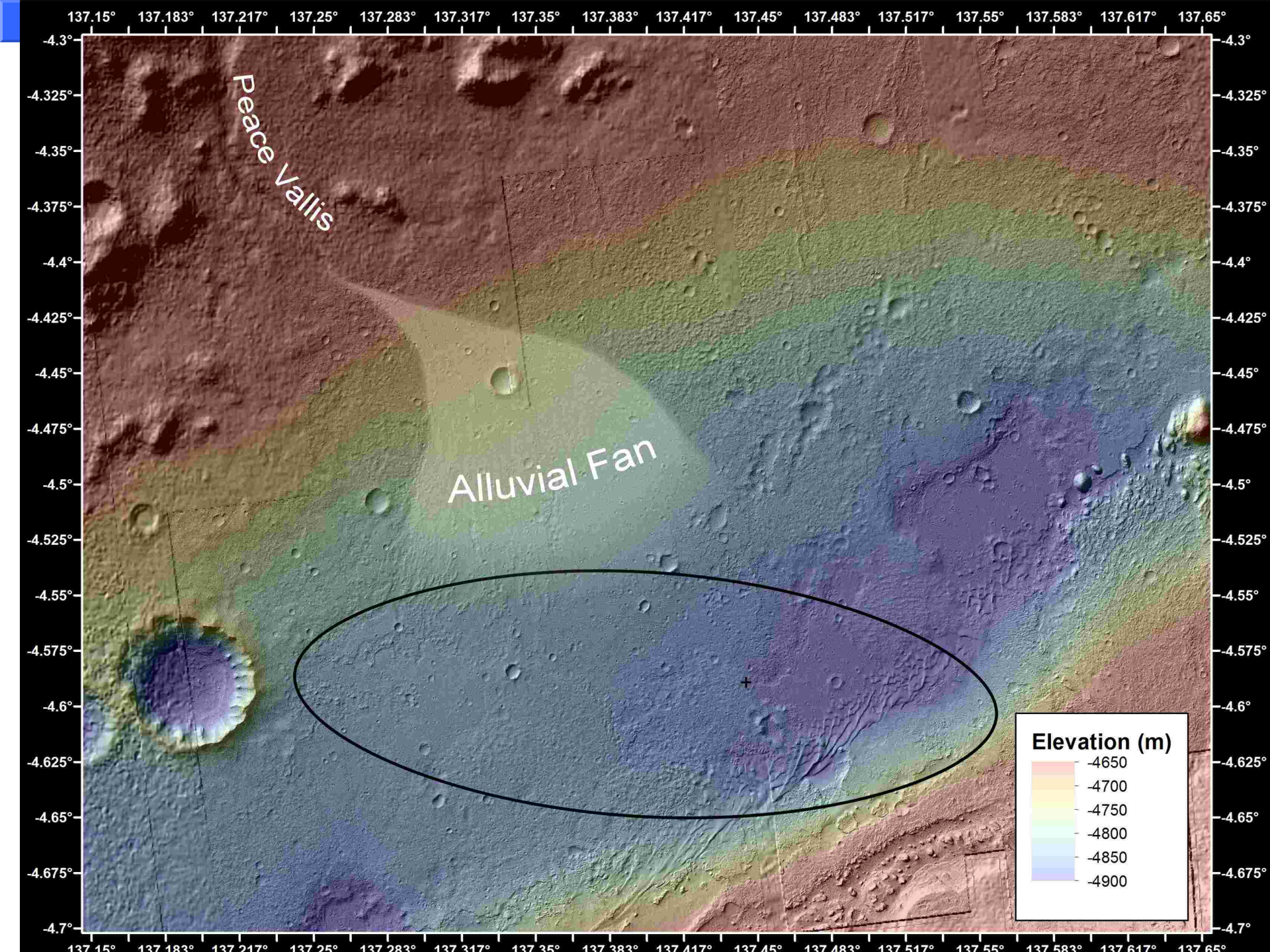


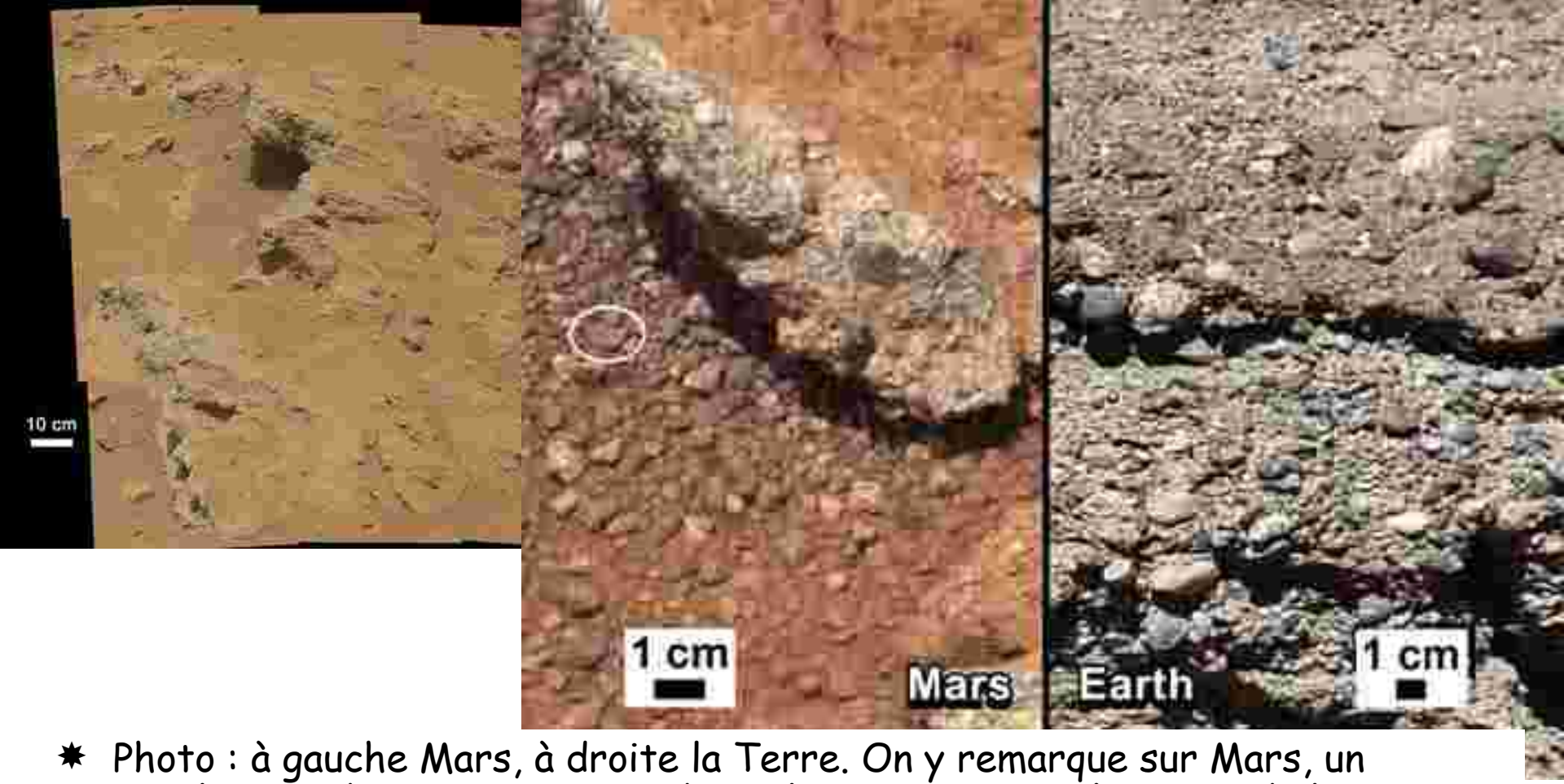
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

DE NOUVEAUX INDICES DE LA PRÉSENCE PASSÉE D'EAU.

- Curiosity continue son chemin vers le Mont Sharp.
- Il étudie son environnement et découvre des paysages familiers aux Terriens, c'est normal, il se trouve dans le lit d'un ancien fleuve.
- Cette zone est située au pied du Mont Sharp dans le cratère Gale, on peut voir une photo prise d'orbite de la région, où cette plaine alluviale est représentée, l'eau provenant de Peace Vallis.

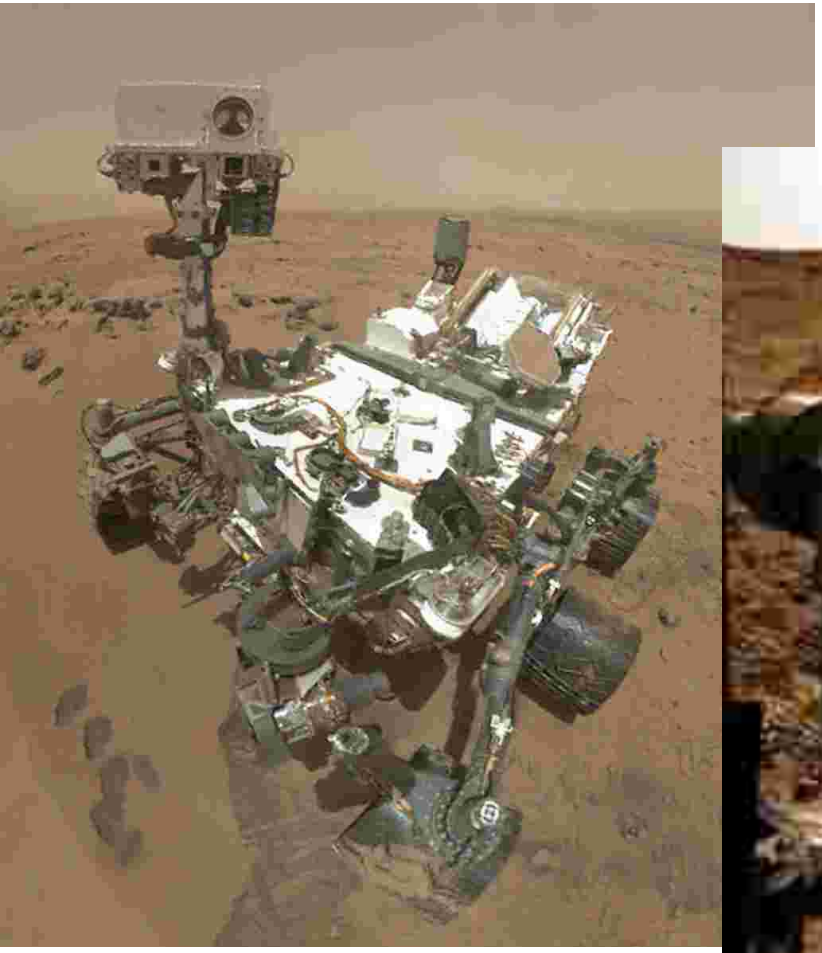
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

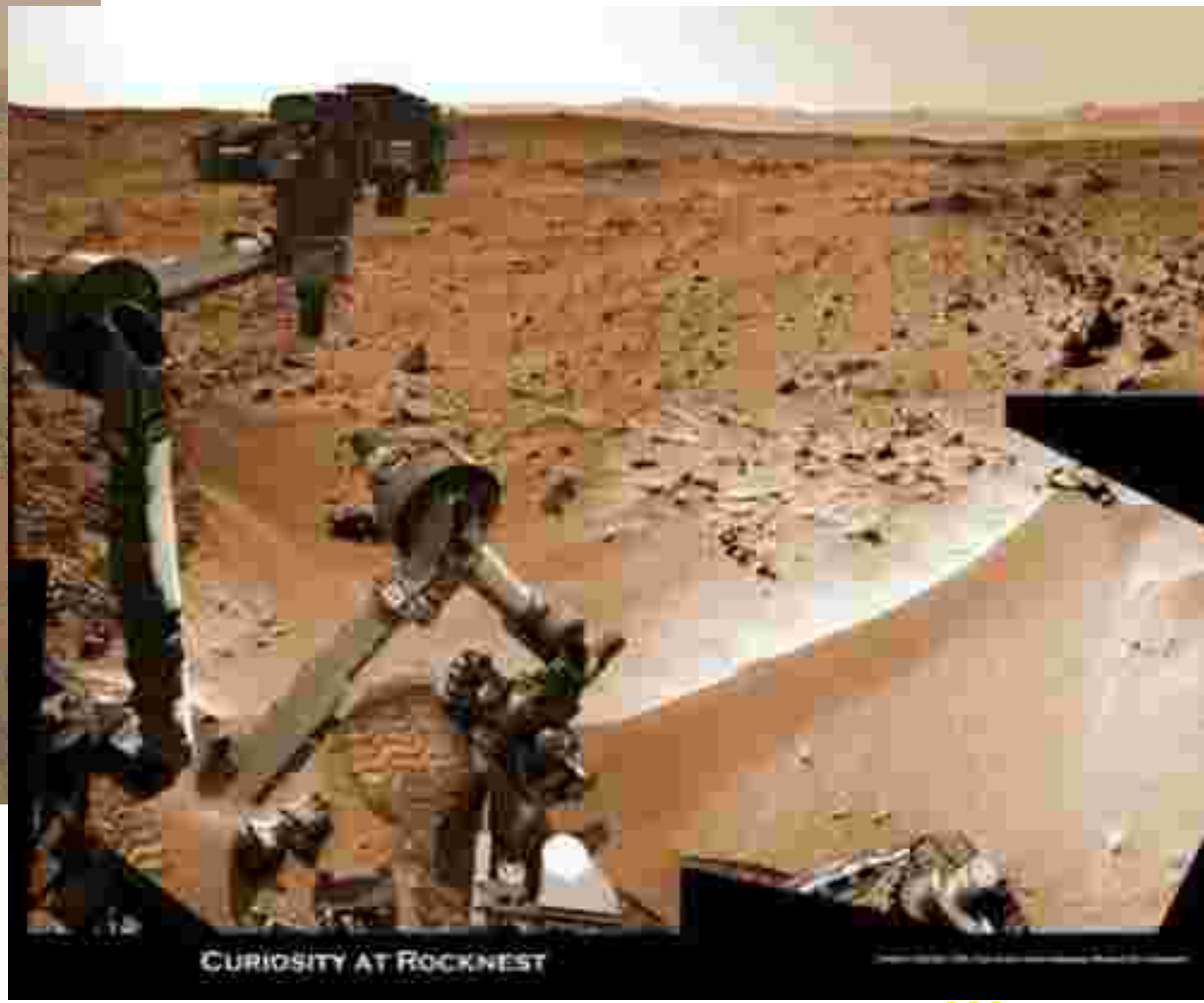

137.15°
137.183°
137.217°
137.25°
137.283°
137.317°
137.35°
137.383°
137.417°
137.45°
137.483°
137.517°
137.55°
137.583°
137.617°
137.65°
-4.3°
-4.325°
-4.35°
-4.375°
-4.4°
-4.425°
-4.45°
-4.475°
-4.5°
-4.525°
-4.55°
-4.575°
-4.6°
-4.625°
-4.65°
-4.675°
-4.7°
Peace Vallis
Alluvial Fan
Elevation (m)
-4650
-4700
-4750
-4800
-4850
-4900



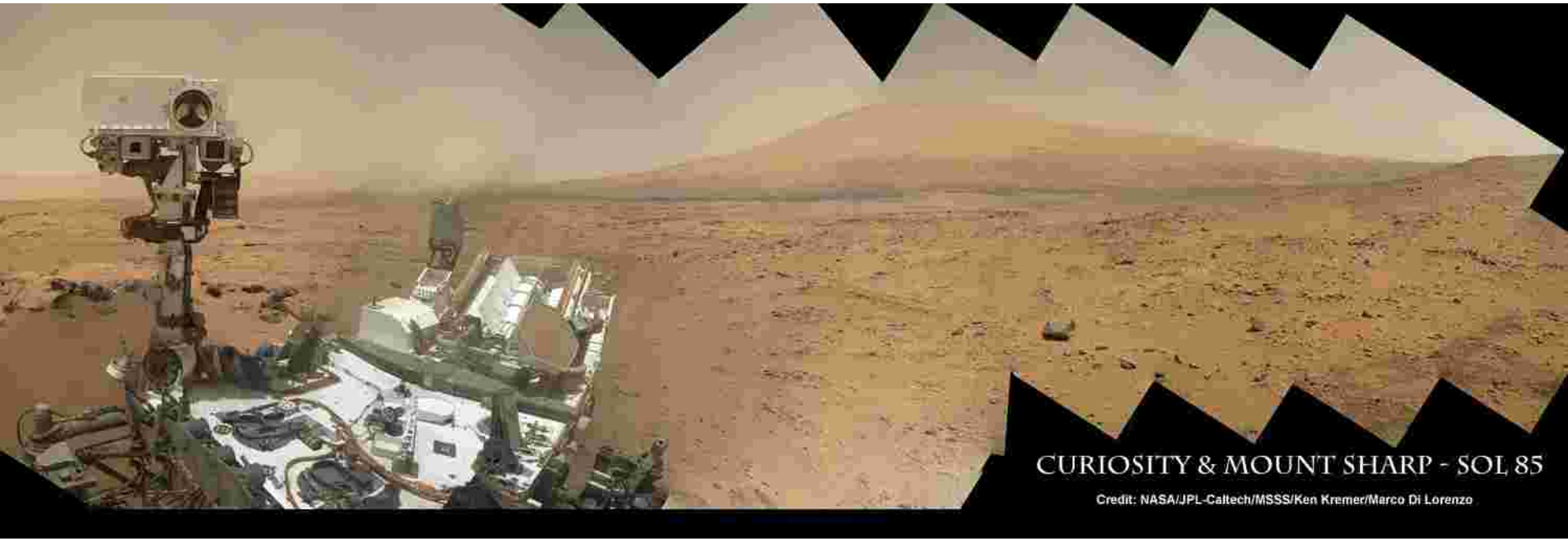
- Photo : à gauche Mars, à droite la Terre. On y remarque sur Mars, un empilement de petits graviers de quelques cm, caractéristique de la sédimentation formée par la déposition d'eau sur le sol.
- Ces graviers ont une forme adoucie due à l'abrasion provoquée par le flux d'eau qui s'écoule lorsque ces galets s'entrechoquent entre eux.
- Ces graviers sont trop grands pour être transportés par le vent, c'est bien une action fluviale qui en est la cause.
- C'est la première fois que l'on identifie in situ des graviers transportés par l'eau sur Mars.

AUTOPORTRAIT





© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



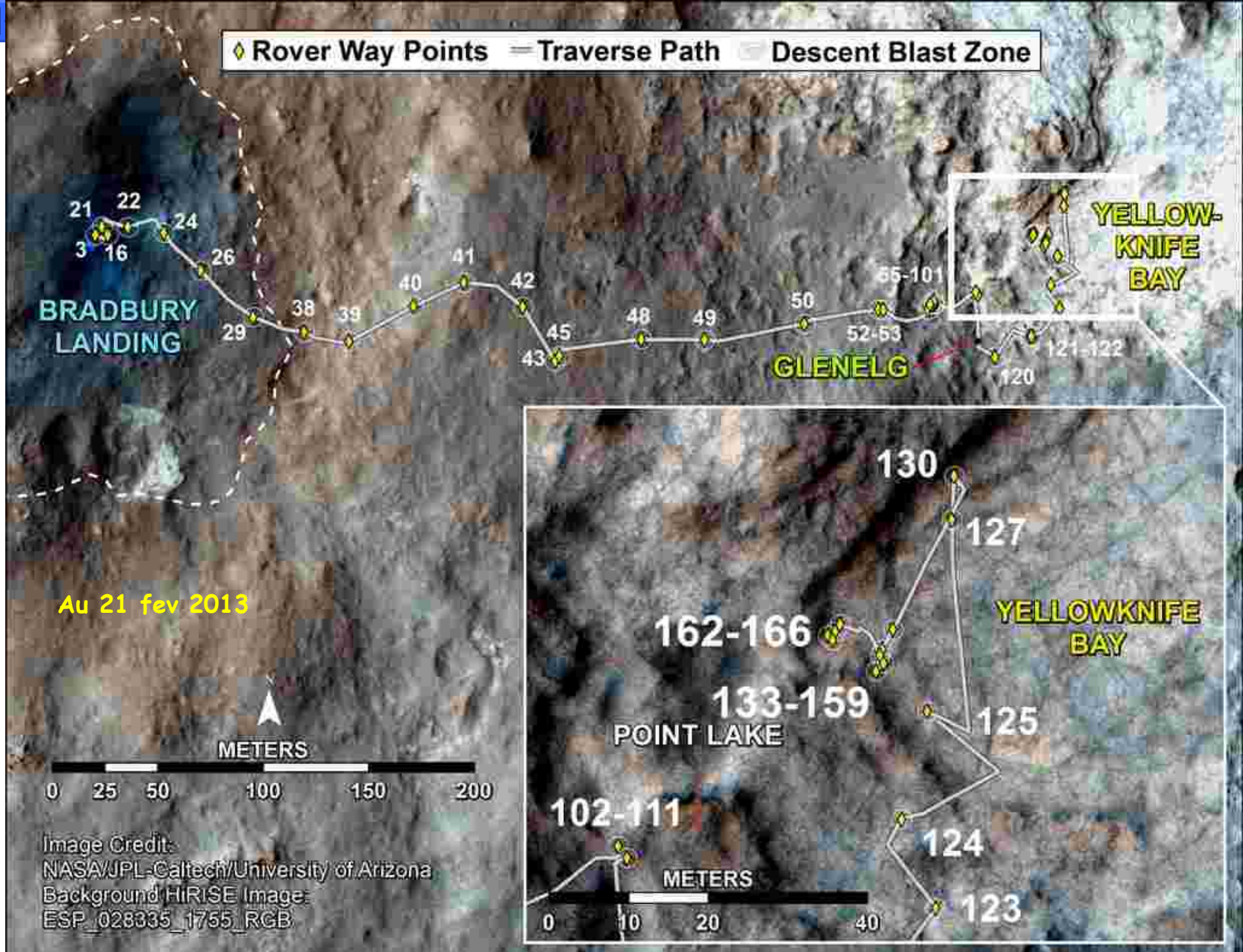
- Autoportrait de Curiosity sur le site Rocknest avec vue complète du Mont Sharp à l'horizon.
- Image assemblée à partir des « brutes » du 1er Nov 2012

Crédit : *NASA/JPL-Caltech/MSSS/Ken Kremer/Marco Di Lorenzo*

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

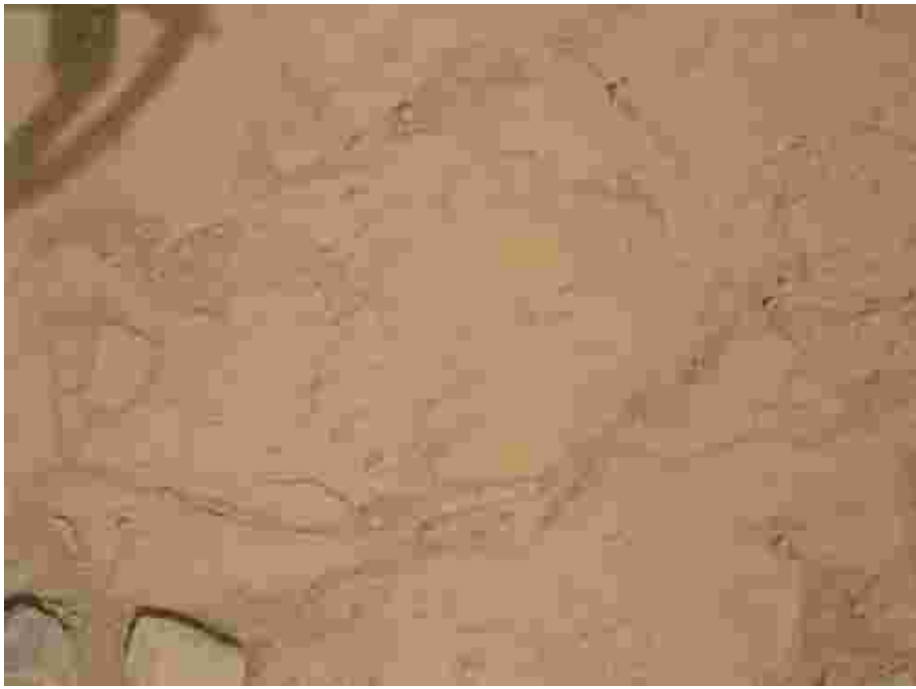
- On voit les différentes couches bien découpées un peu comme des plaques de gypse ou d'ardoise qui se détachent.
- La zone couverte par cette image : 90 cm.
- La Chemcam a été utilisée à cet endroit ainsi que l'analyseur SAM.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

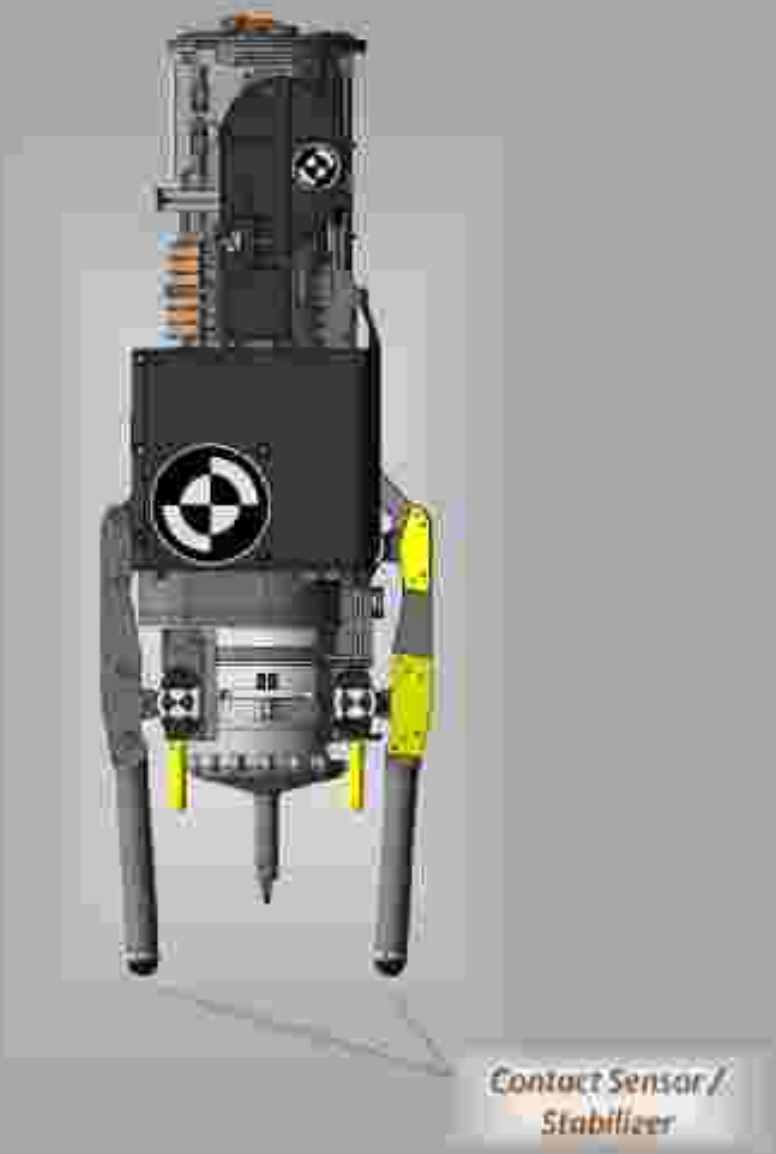

Rover Way Points
Traverse Path
Descent Blast Zone
BRADBURY LANDING
21
22
24
3
16
26
29
38
39
40
41
42
43
45
48
49
50
52-53
55-101
120
121-122
GLENELG
YELLOW-KNIFE BAY
Au 21 fev 2013
METERS
0
25
50
100
150
200
Image Credit:
NASA/JPL-Caltech/University of Arizona
Background HiRISE Image:
ESP_028335_1755_RGB
130
127
162-166
133-159
POINT LAKE
125
YELLOWKNIFE BAY
102-111
124
123
METERS
0
10
20
40

PRÉPAREZ LA FOREUSE

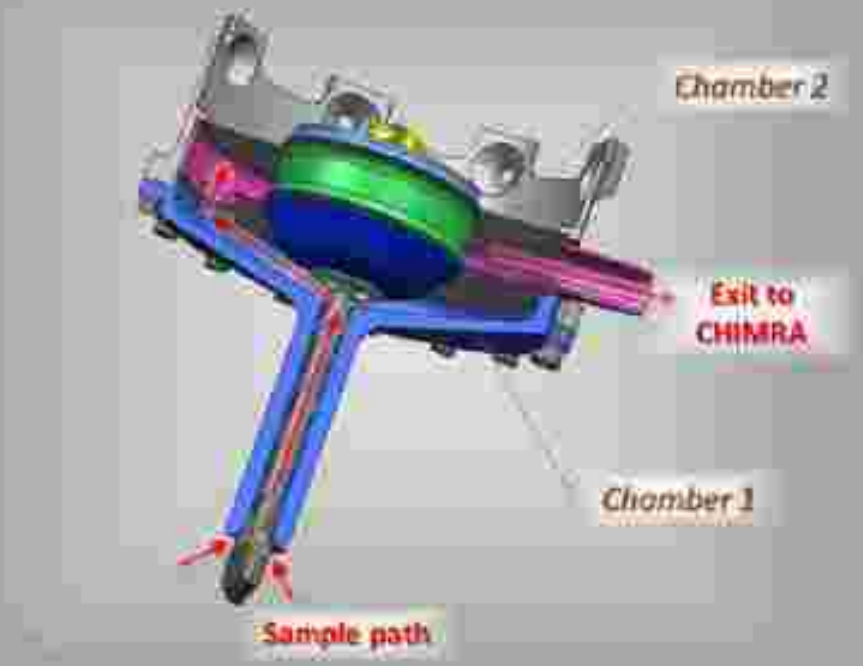
- Après avoir essayé pour la première fois la balayette (en fait cela s'appelle le DRT : Dust Removable Tool) sur une partie plate du sol martien dans la zone appelée « Yellowknife Bay », les techniciens étaient satisfaits du bon fonctionnement.
- Le rover analysera d'abord le sol de surface avant de procéder au forage et à l'analyse de la carotte qui en résultera.



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



Top View of Curiosity's Drill



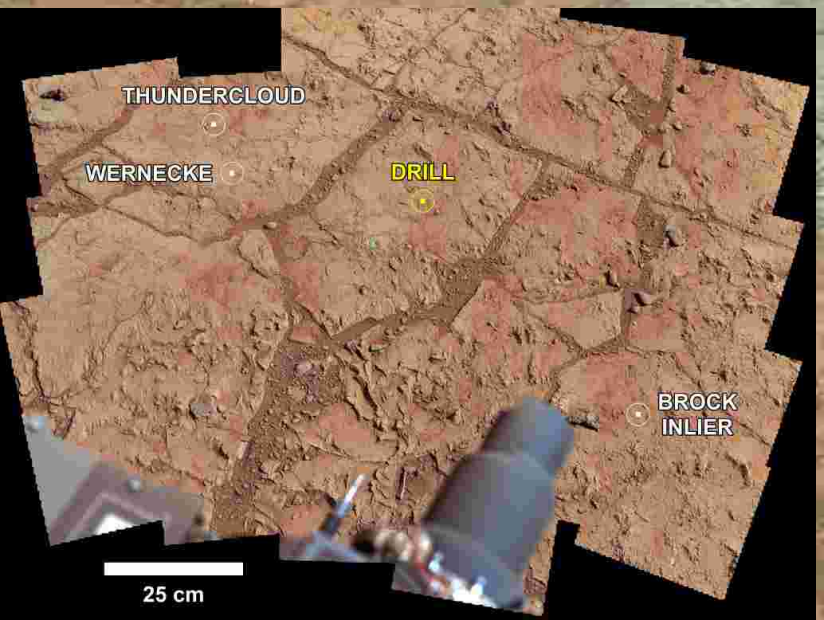
Section View of Curiosity's Drill Bit

La zone est pleine de craquelures et de sillons en forme de veines ; elle comporte aussi beaucoup de petites sphérules minérales. On pense que l'eau devait couler à cet endroit autrefois.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

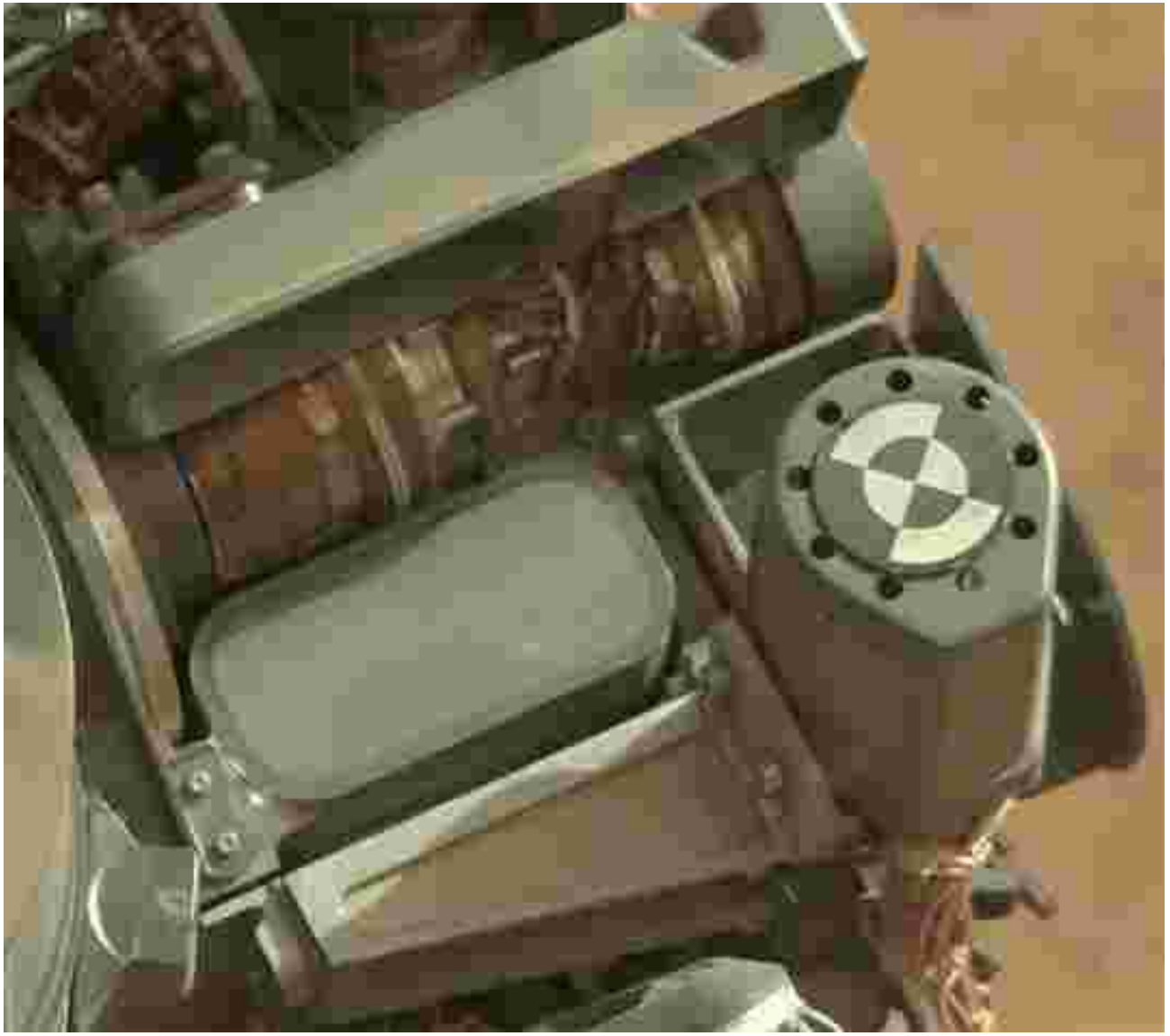
- Le spectro est en position de mesure avant de mettre la foreuse en action

- Le 8 Février 2013, premier forage
- Un trou de 16mm de diamètre et de 64mm de profondeur
- La poudre va être analysée par Chemin et SAM



- Le premier prélèvement va est dirigé vers Chemin et SAM après passage dans le tamis de Chimra.

© Jean-Pierre



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

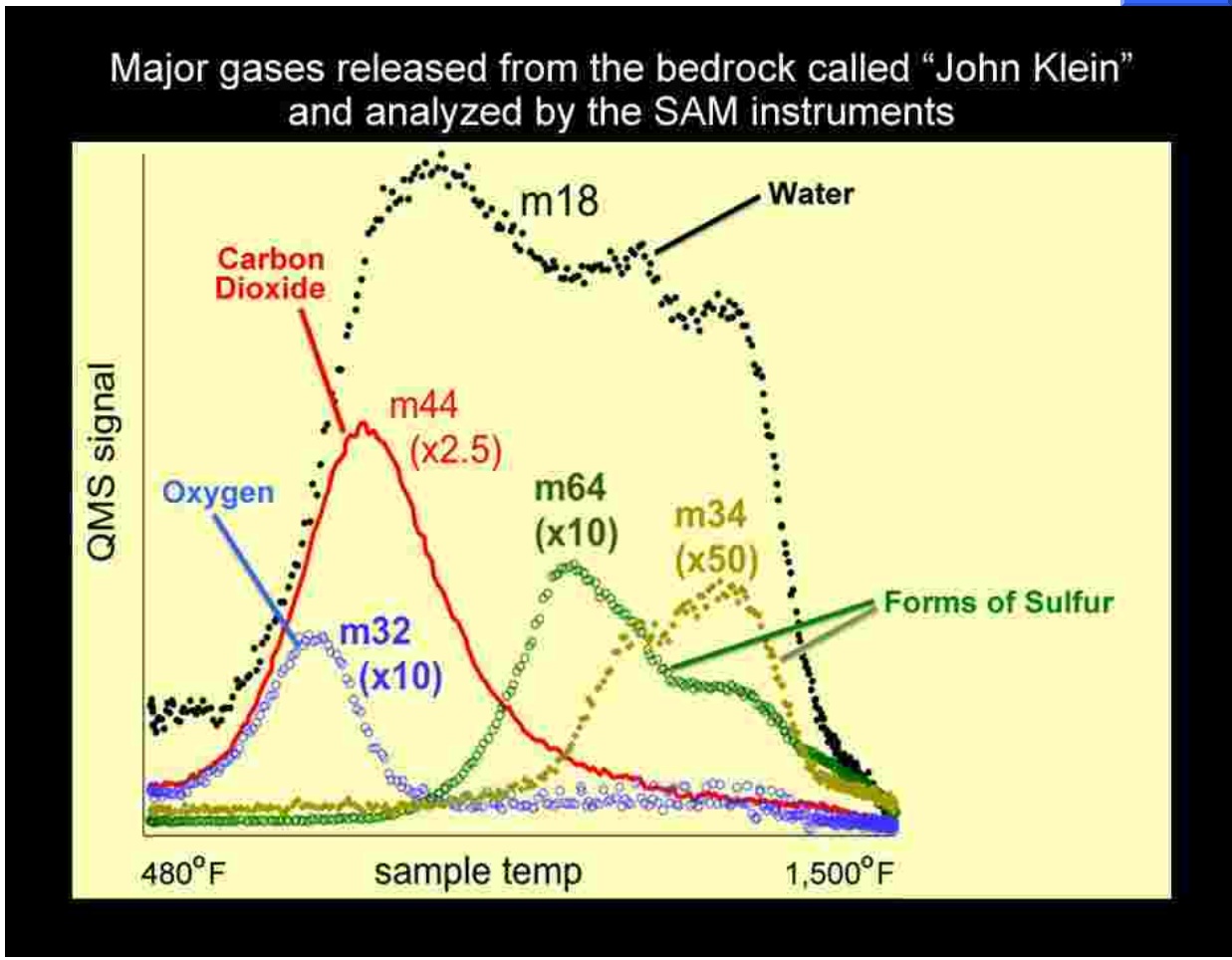
- Après le passage au tamis de 150 micron, Chimra fractionne la poudre en deux parties et le bras articulé les dépose dans les orifices des laboratoires CheMin et Sam.
- CheMin, est spécialisé dans la chimie et la minéralogie
- Il contient 74 récipients, permettant chacun une analyse: l'une en diffraction X, qui renseigne sur sa structure cristalline, et l'autre en fluorescence X, pour déterminer ses éléments chimiques.
- Sam (Sample Analysis at Mars), contient plusieurs instruments : chromatographe en phase gazeuse et spectromètre de masse.

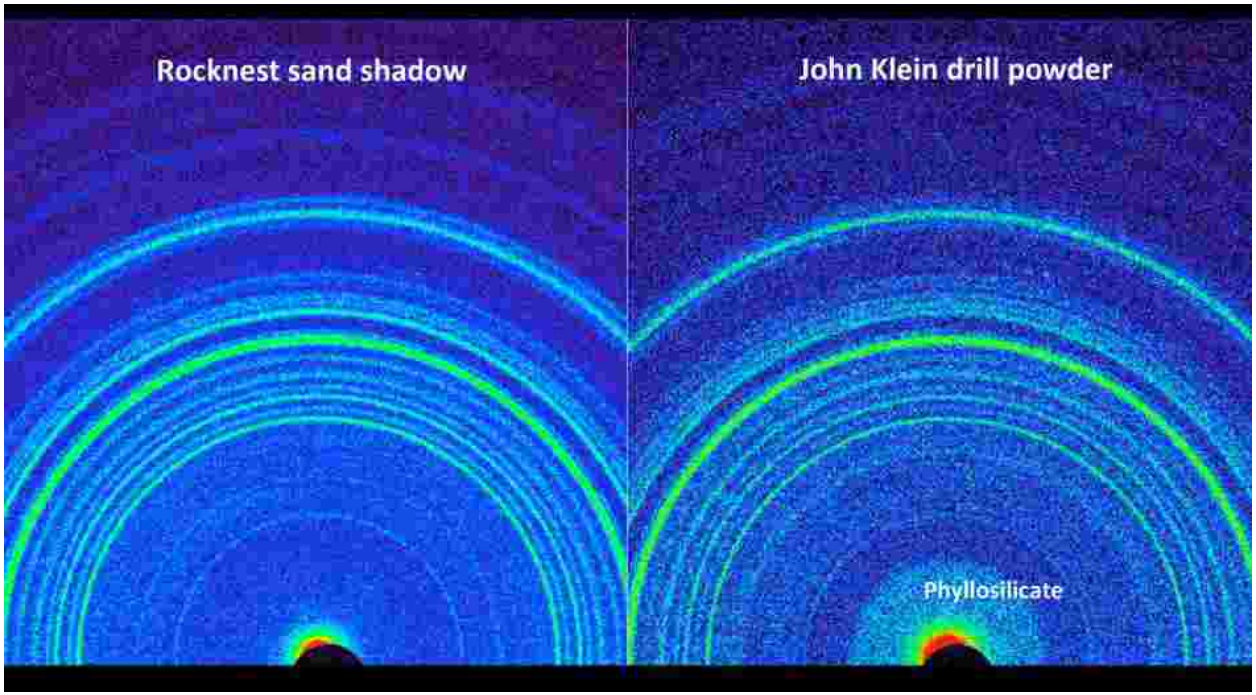
© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- La sonde Curiosity a analysé l'échantillon provenant du premier carottage dans ce sol sédimentaire du cratère Gale, qui correspond très vraisemblablement à un ancien lit de rivière.
- Il est passé dans CheMin (Chemistry and Mineralogy) et dans SAM (Sample Analysis at Mars).
- On a identifié les éléments suivants : C, H, N, O, P et S. ce sont les composants principaux de la vie.
- Les CHNOPS, acronyme des différents éléments chimiques qu'ils représentent, sont ceux nécessaires à la vie. Ils ont tous été découverts !
- Cet échantillon est composé d'argile (à 20%) et de sulfates (de Calcium), correspondant à un environnement humide peu oxydé (la carotte était grise et non pas rouge) et pas trop salé ni acide, et probablement légèrement alcalin.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- Résultats de l'analyse (chauffage haute température 835°C et passage au spectro de masse) par SAM de l'échantillon, montrant la présence d'eau de CO2, d'Oxygène, de SO2 et de H2S.
- Ensuite les gaz émis sont envoyés vers le spectromètre Laser (le TLS) pour mesurer les isotopes de C, O et H. on s'attache particulièrement au rapport D/H qui est un marqueur de la quantité d'eau dans le passé.
- La troisième étape est d'envoyer ces gaz dans un chromatographe en phase gazeuse (QMS) qui recherche principalement les matériaux organiques.





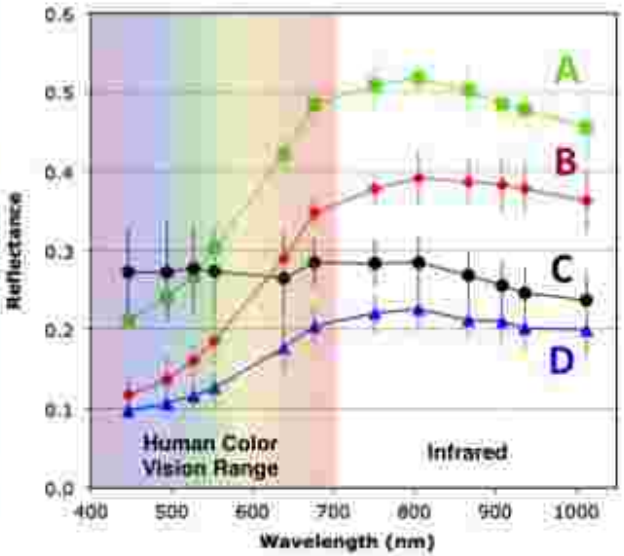
- Comparaison de la diffraction X de deux échantillons martiens analyses par l'instrument CheMin.
- À gauche : poussière de surface de l'endroit baptisé Rocknest.
- À droite : poussière provenant de la carotte prise à John Klein.
- On remarque sur l'image de droite la signature de philosilicates (argiles) qui indique un environnement liquide.
- De plus la présence de sulfate de Calcium, plutôt que de sulfate de Mg ou de Fe, indique un environnement neutre ou légèrement basique. Tout ceci étant compatible avec un lit d'ancienne rivière.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

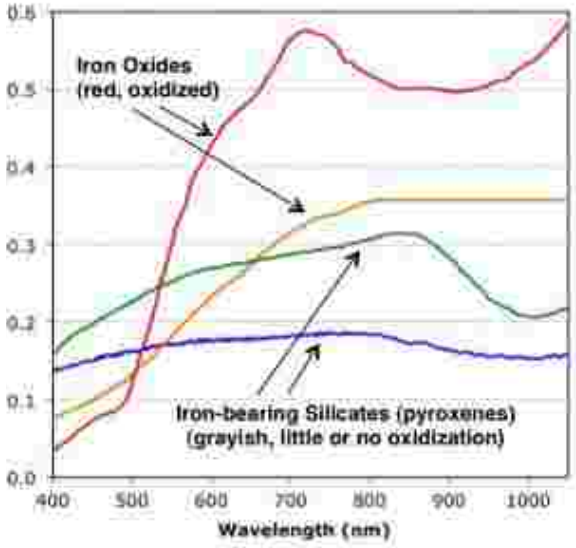
- COMME LE DIT UN SCIENTIFIQUE DE LA MISSION :
- ON AURAIT PU BOIRE CETTE EAU!

- L'environnement autour du forage vu par la Mastcam avec différents filtres (12).
- La réflectivité des différents points en fonction des longueurs d'onde
- Extrême droite : les données en labo sur Terre

Curiosity sol 183
Mastcam RGB Natural Color
Two drill holes and their gray tailings



Combining Mastcam left and right science filter data to study details of the visible to infrared spectrum

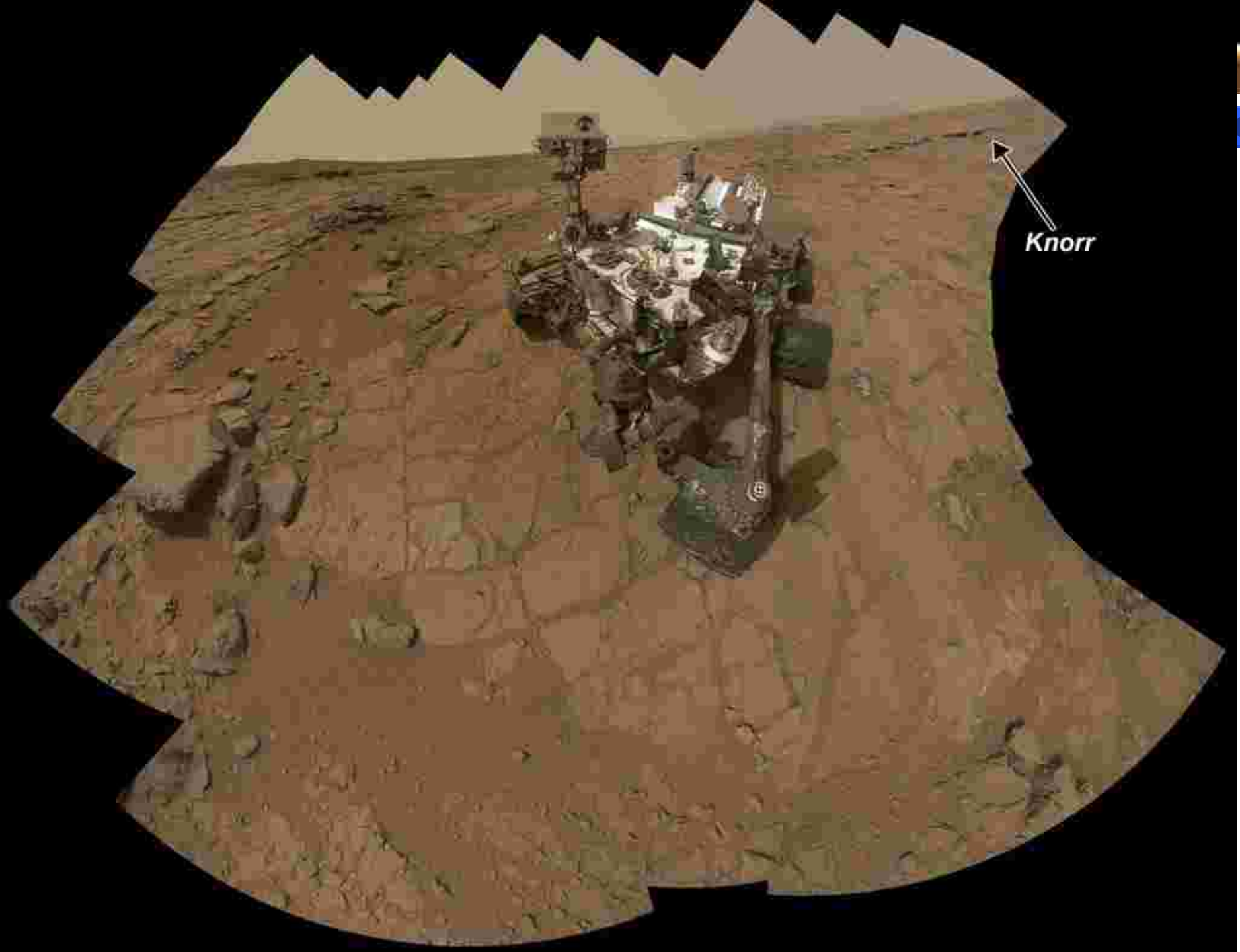


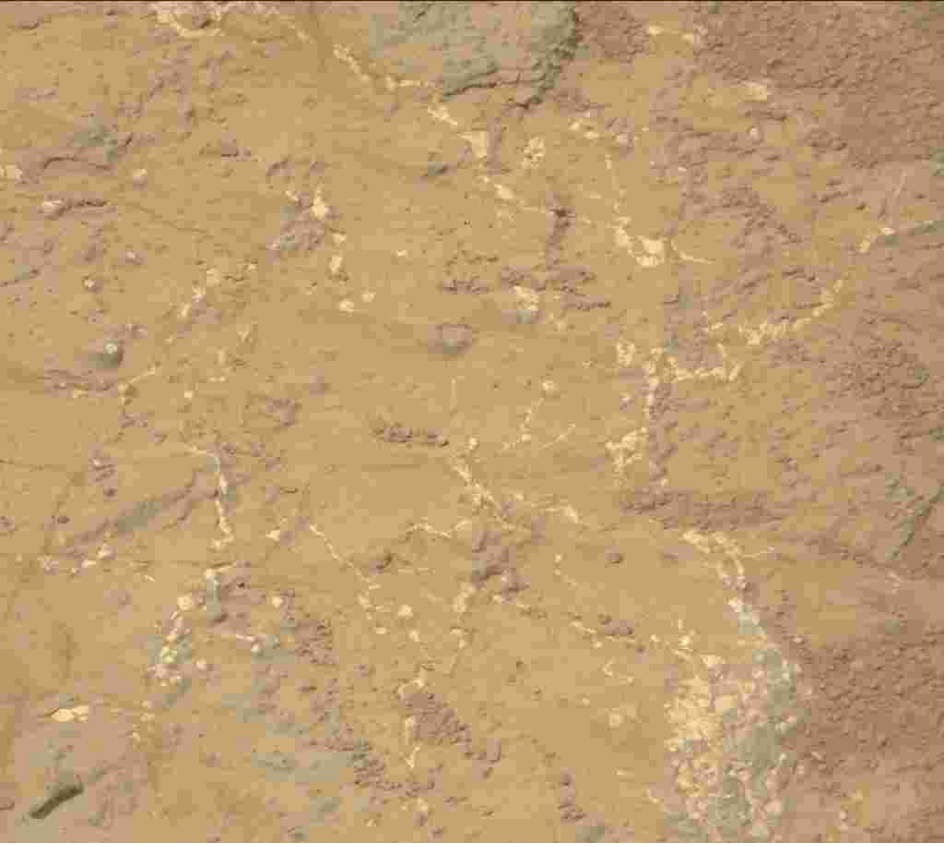
Laboratory spectra of example iron-bearing minerals

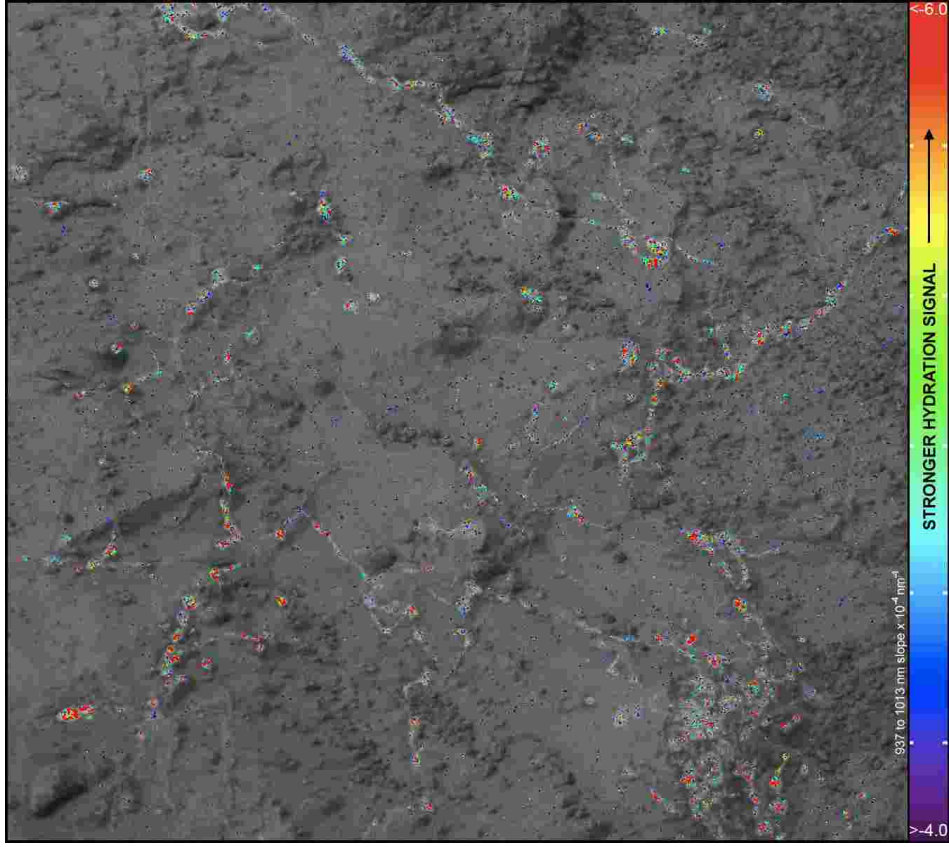
Lab spectra from USGS (R. Clark) ASU (J. Bell)

JB-7

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

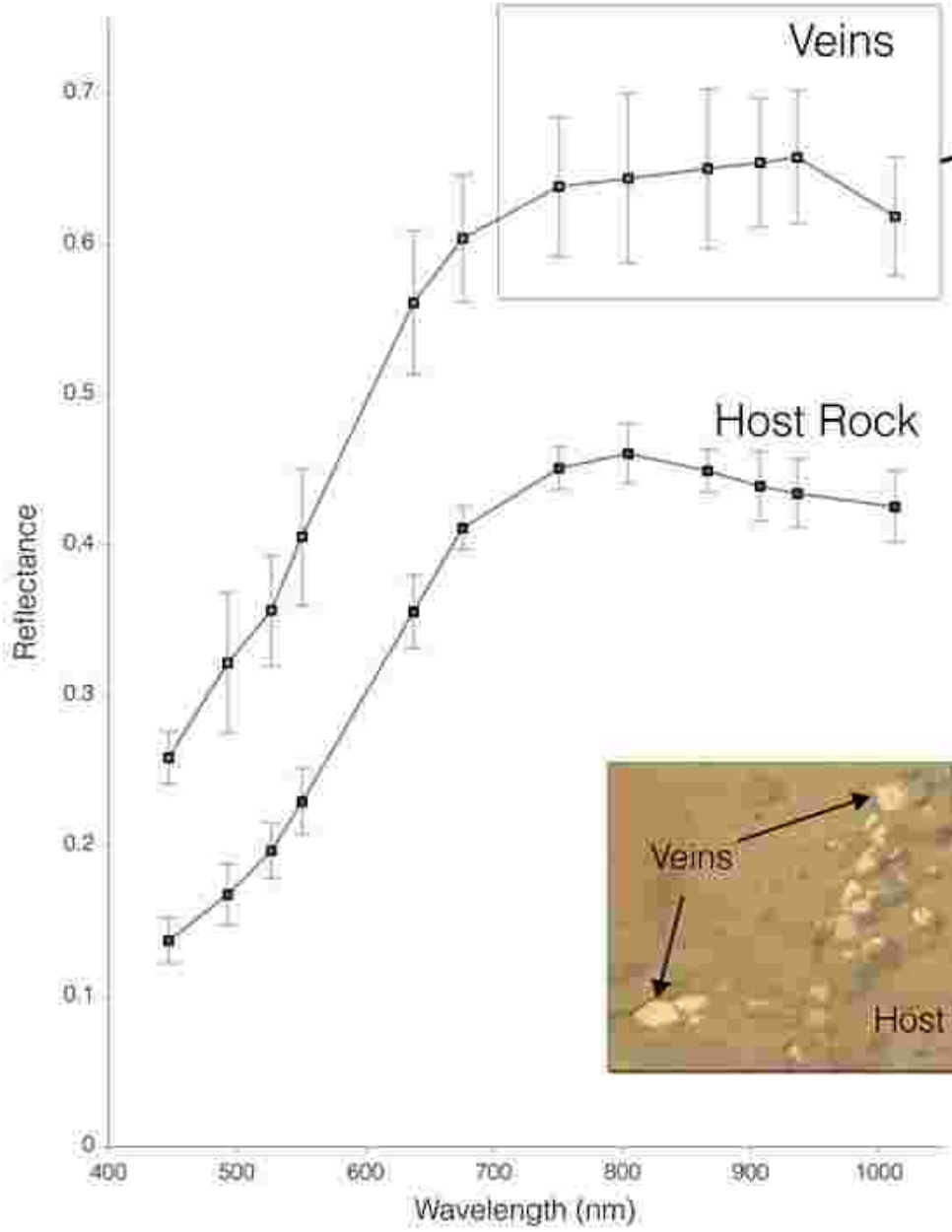

Knorr

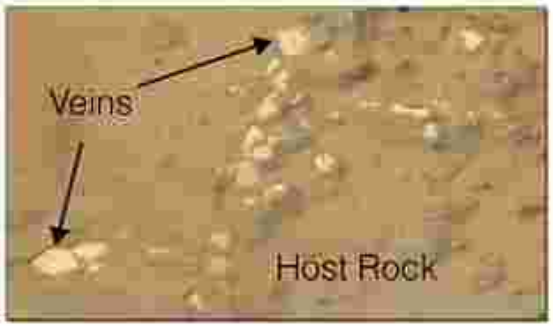


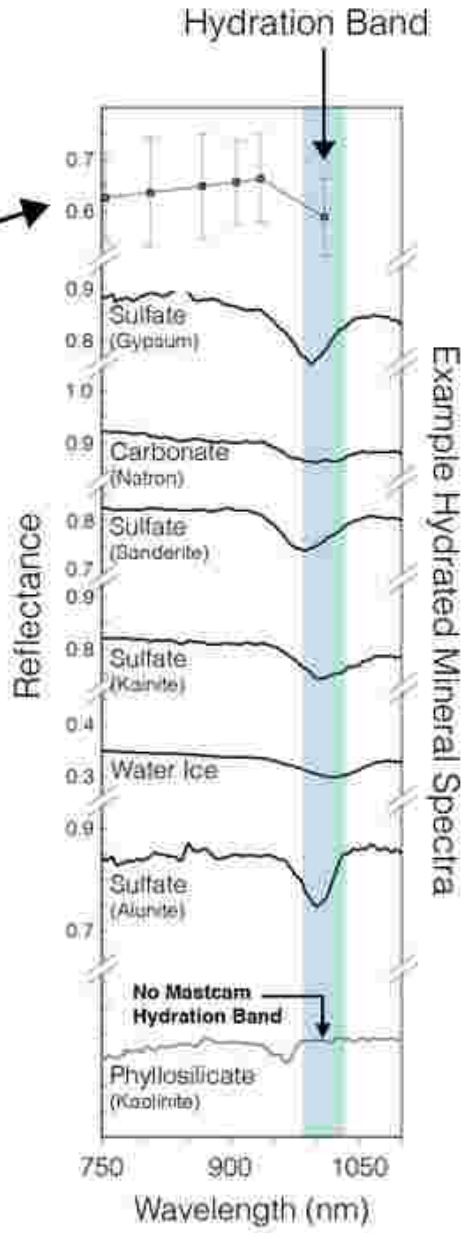


- Une autre image intéressante d'une roche (baptisée Knorr) prise par la Mastcam mais dans le proche IR et qui indique en fonction des couleurs le degré d'hydratation des minéraux.
- Plus c'est rouge plus c'est hydraté.
- On remarque que les signaux les plus forts correspondent aux veines de couleur pale et à certains petits nodules incrustés dans la pierre.
- Cette image date du 20 Dec 2012.
- La largeur de la photo sur le terrain : 25cm.

Mastcam Filter Data from Knorr







- Bonne exploration Curiosity et à bientôt pour de nouvelles découvertes.

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

- Encore un mystère
- En roulant dessus le rover a cassé cette roche (de 12cm de large)
- L'intérieur est de couleur bleue
- Pourquoi?

© Jean-Pierre M

MARS VOUS OFFRE SON CŒUR ET VOUS REMERCIE

DÉPRESSION PRÈS DU POLE SUD
Promethei Rupes region near 79.6°S, 298.3°W

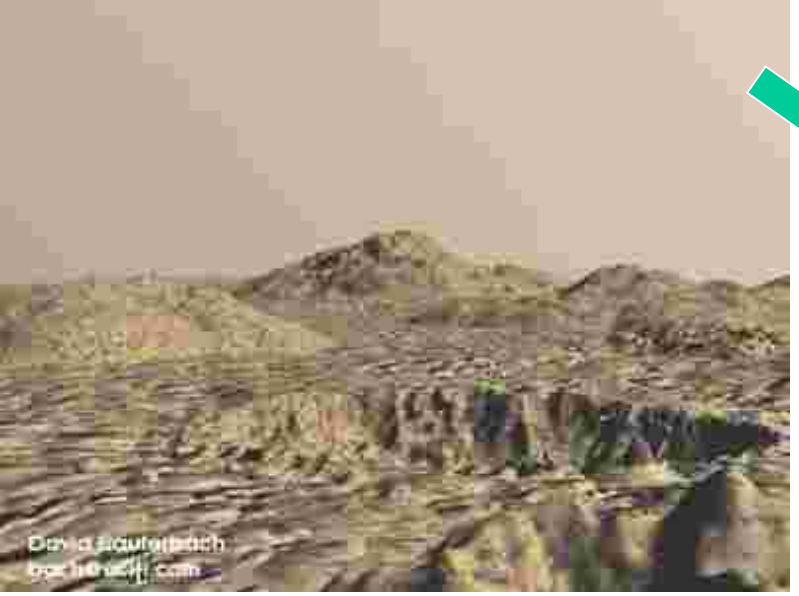
252

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

UN PROJET FOU : LE TERRAFORMING

- Le but : changer l'atmosphère de Mars afin de la rendre propice à une certaine forme de vie
- Cela pose quand même un problème d'éthique en a-t'on le droit?
- Mars pourrait dans le futur devenir une colonie de la Terre en cas de surpopulation
- Est-ce utopique?
- Que faudrait-il théoriquement pour y arriver?

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com



Que faut-il pour en arriver là?

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

a) FAIRE FONDRE LES PÔLES

- Afin que cela produise de l'eau liquide
- Comment : soit à l'aide de miroirs géants placés en orbite, soit en changeant l'orbite d'une comète ou astéroïdes afin qu'il s 'écrase sur les pôles
- Une fois l'eau coulant sur la planète, cela aura un effet sur l'atmosphère en jouant sur le cycle de l'eau
- L'atmosphère va devenir plus dense

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

b) DENSIFIER L'ATMOSPHÈRE

- L'eau va s'évaporer et avoir tendance à favoriser un effet de serre
- La température de surface devrait s'élever

© Jean-Pierre MARTIN www.planeta

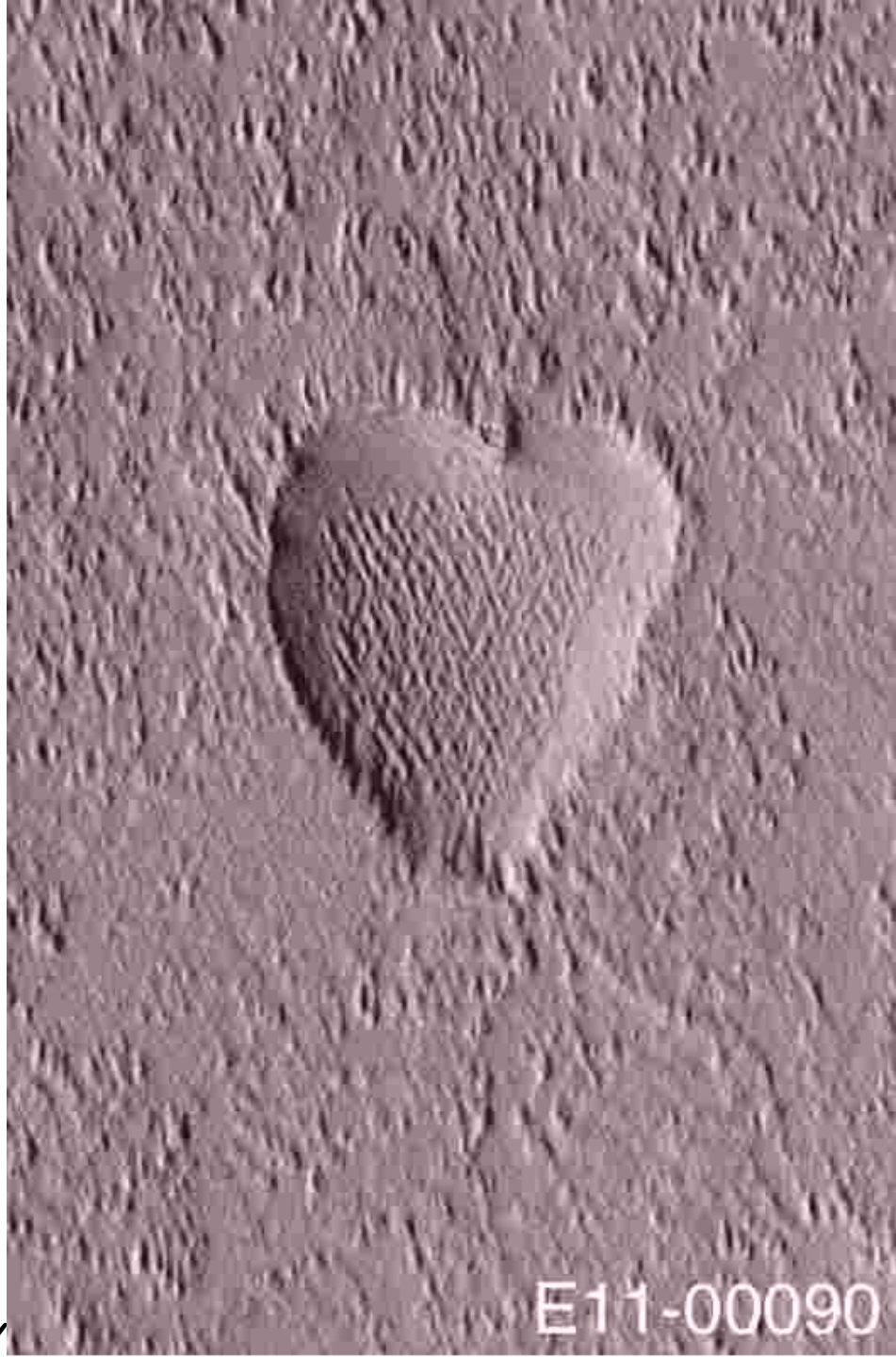
c) CRÉER DE L'OXYGÈNE

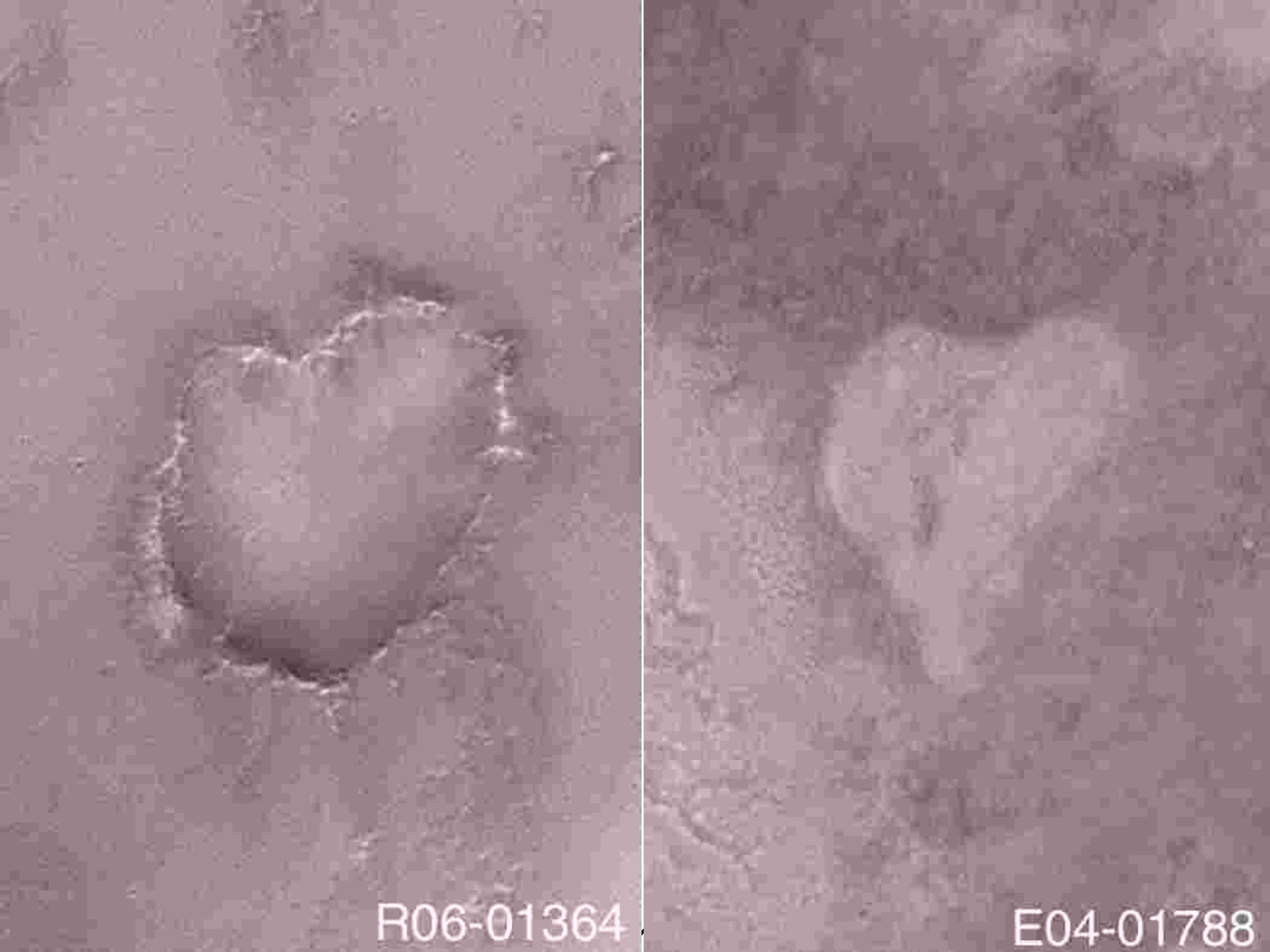
- Introduire des plantes qui vont initier la photosynthèse , source de toute vie
- Une équation MAGIQUE :
  $CO_2 + H_2O \rightarrow O_2 +$ Sucre
- On pourrait aussi ajouter quelques bactéries pour aider au processus
- L'oxygène va créer comme sur Terre une couche protectrice des UV : l'Ozone

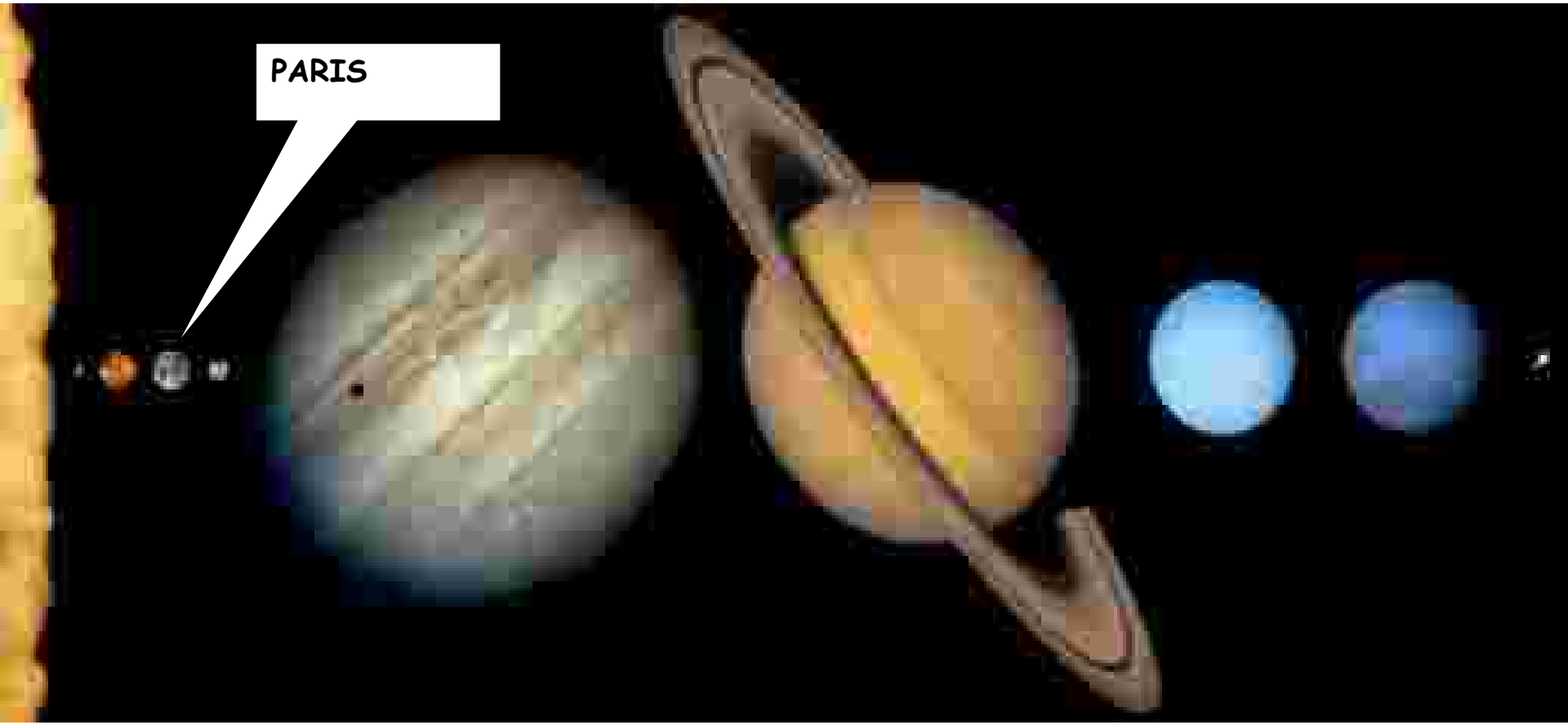
EST-CE UN RÊVE?

© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com

R04-00395


E11-00090


R06-01364
E04-01788



© Jean-Pierre MARTIN www.planetastronomy.com