

LA PLANETE MARS, POURQUOI? COMMENT?


Mars • 2001 Opposition



Pierre Brisson
Président de la Mars Society Switzerland
Membre du c. d. de Ass. Planète Mars
pierre_brisson@yahoo.com

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-24

Hubble
Heritage

 Mars Society
Switzerland
[www.
planete-
mars-suisse.com](http://www.planete-mars-suisse.com)

Quelle planète est donc Mars?

Proximité

Orbite excentrique

Gravité moyenne

Énergie reçue suffisante

Atmosphère ténue

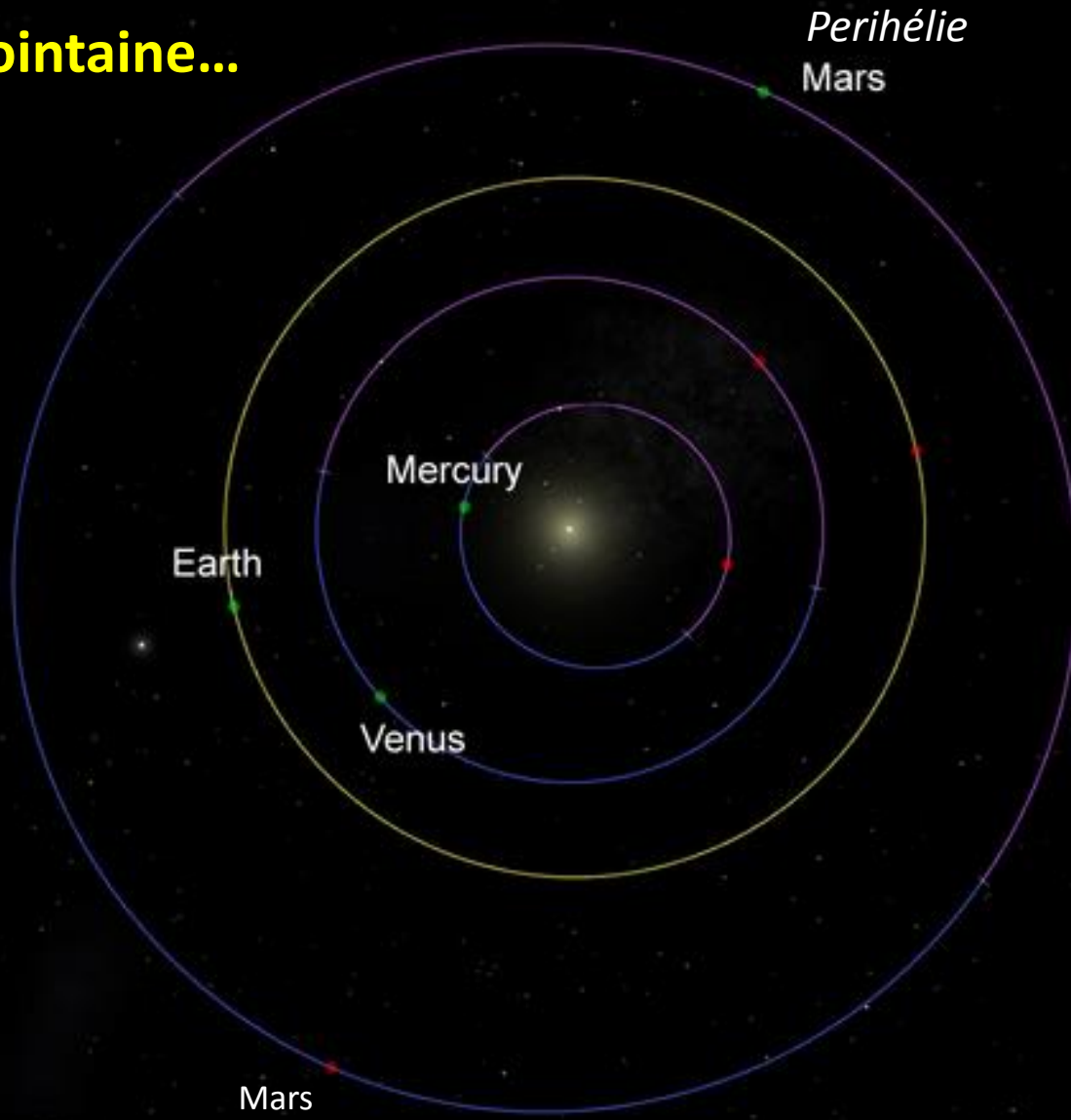
Absence de Magnétosphère

Fortes radiations reçues

Températures variables

eau

Mars est lointaine...

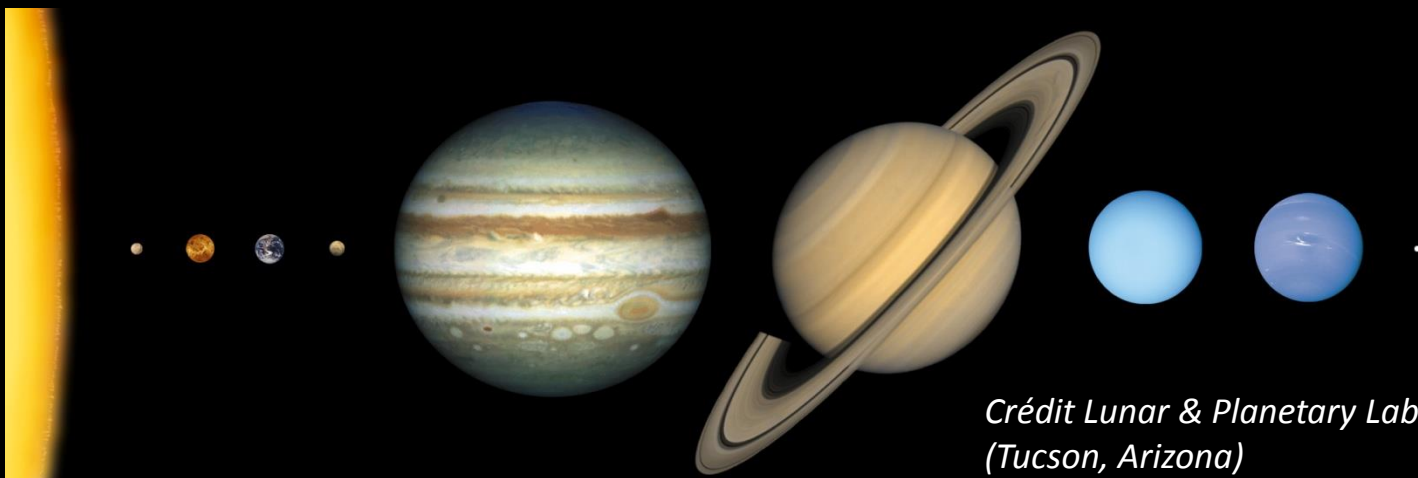
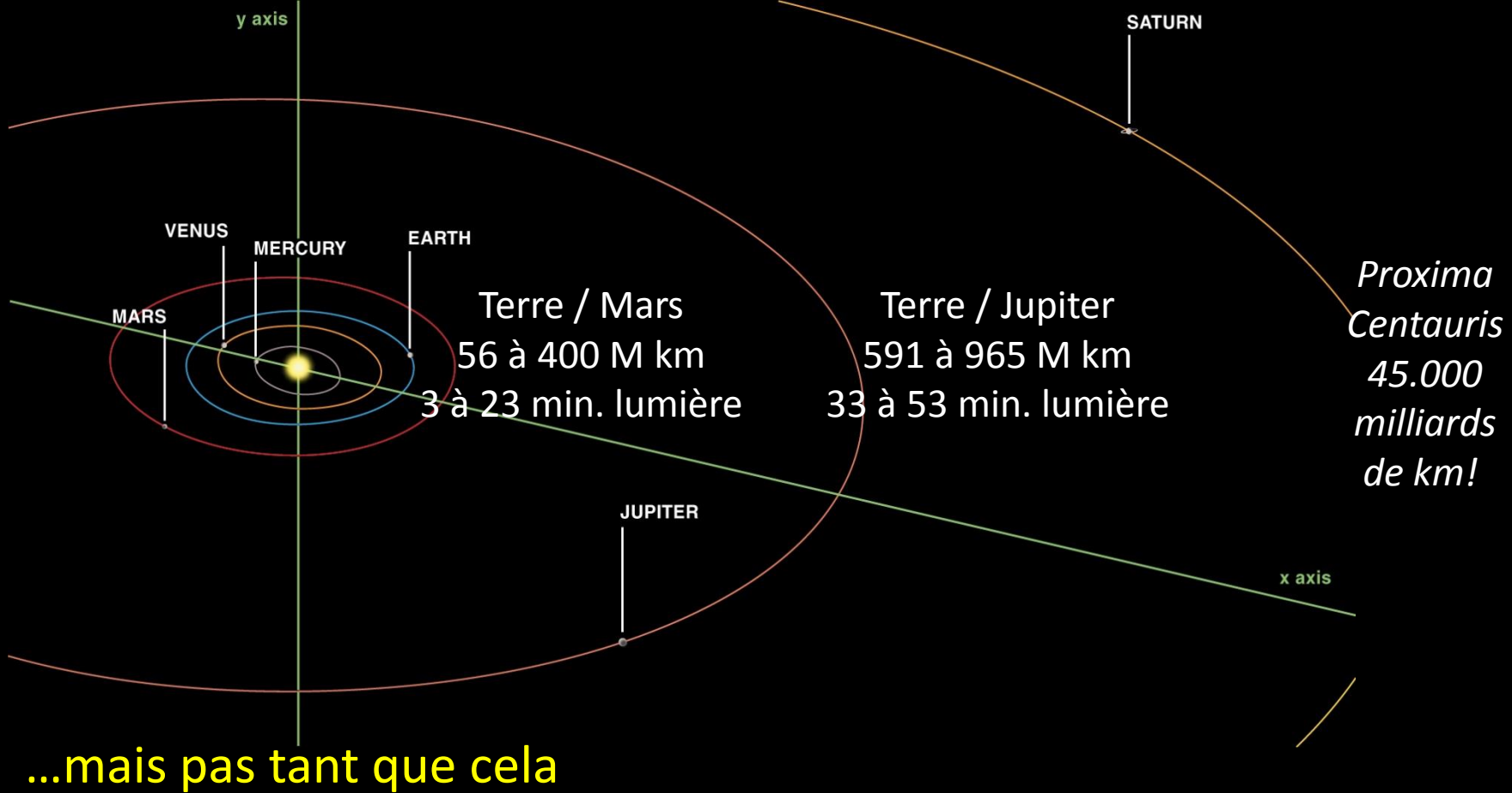


Perihélie
Mars

Entre 3 et 22
Minutes lumière

Mars
Aphélie

56 à 400 million Km
de la Terre



Crédit Lunar & Planetary Laboratory
(Tucson, Arizona)

Une orbite excentrique

Mars: 0.093 315

Earth: 0.016 710

Aphélie:

249.209.300 km / 1,665 UA (*Terre: 152.097.700 km*)

Perihélie:

206.669.000 km / 1,381 AU (*Terre: 147.098.070 km*)

Conséquences sur un an martien (687 jours):
(ou 668 sols)

Changement d'irradiance;

Saisons de durée inégale selon l'hémisphère;

Hiver plus froid dans l'hémisphère Sud;

Changement de densité atmosphérique (+/- 12 à 16%);

Tempêtes de poussière printanières (hémisphère Sud).



Endeavour crater, western rim.

Credit: NASA/JPL-Caltech/Cornell/ASU

Deux alternatives à écarter



D = 3.470 km



D = 12.100 km



D = 6.780 km



D = 12.750 km

Evolution géologique très courte;
Pratiquement pas d'eau;
Pas d'atmosphère;
14 jours pour 1 jour lunaire;
Haut niveau de radiations;
Voyage coûteux (énergie).

Disparition précoce de l'eau causé par
effet de serre.
Pression de 92 bar en surface;
Température moyenne en surface
460°C;
Nuages d'acide sulfurique;
Re-surfacement permanent (volcanisme).

M

T

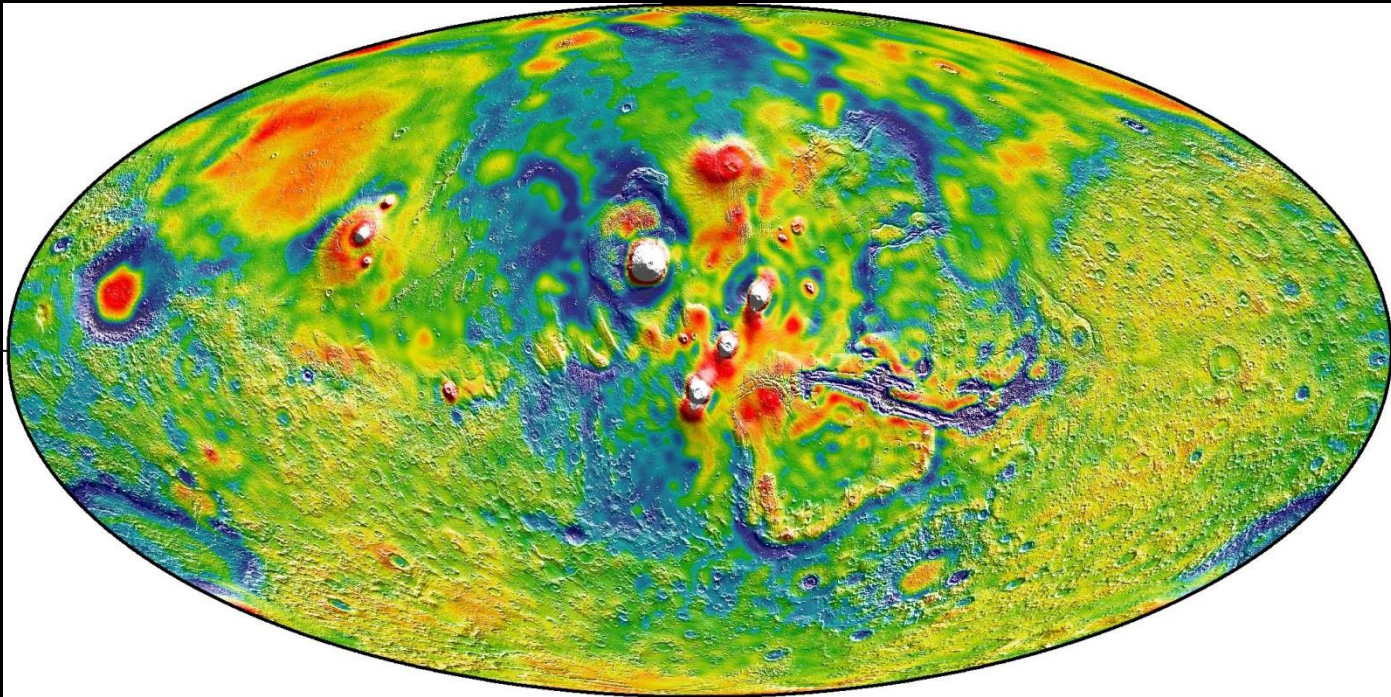
Mais la masse de Mars
N'est que
1/10^{ème} celle de la Terre

Une gravité faible mais suffisante

Force de gravité en surface de Mars: 0,38 g

Suffisamment de gravité pour une verticalité (plantes et écoulement)

masse d'un scaphandre: 80 kg;
poids en EVA d'un homme de 75 kg = environ 60 kg



Carte des variations de gravité à la surface de Mars (Mars 2016)

Données Mars Global Surveyor, Mars Odyssey, and the Mars Reconnaissance Orbiter

Crédit image: MIT/UMBC-CRESST/GSFC

Energie reçue du soleil faible mais encore acceptable

Mars: 492 à 715 W/m²
(Jupiter 50 W/m²; Saturne 15W/m²)

Terre: 1,321 à 1,413 W/m²
(Vénus 2.600 W/m²)

Jours (« sols ») de 24h39 (Vénus 243 jours)

Inclinaison de l'axe de rotation: 25°19 (Terre: 23°26)

Atmosphère irrespirable mais oxygène (via CO2) et azote

	Mars	Earth
Carbon Dioxide	95.90%*	(00.039%)
Argon	2.00%*	(00,93%)
Nitrogen	1.90%*	(78.90%)
Oxygen	0.14%*	(20.95%)
Carbon Monoxide	0.06%	(0.039%)
Water vapor	210 ppm	(1 à 4%)
Nitric monoxide	100 ppm	

* 02/11/12, SAM laboratory (Curiosity)

Traces:

Molecular Hydrogen (15ppm);

Neon (2.5ppm);

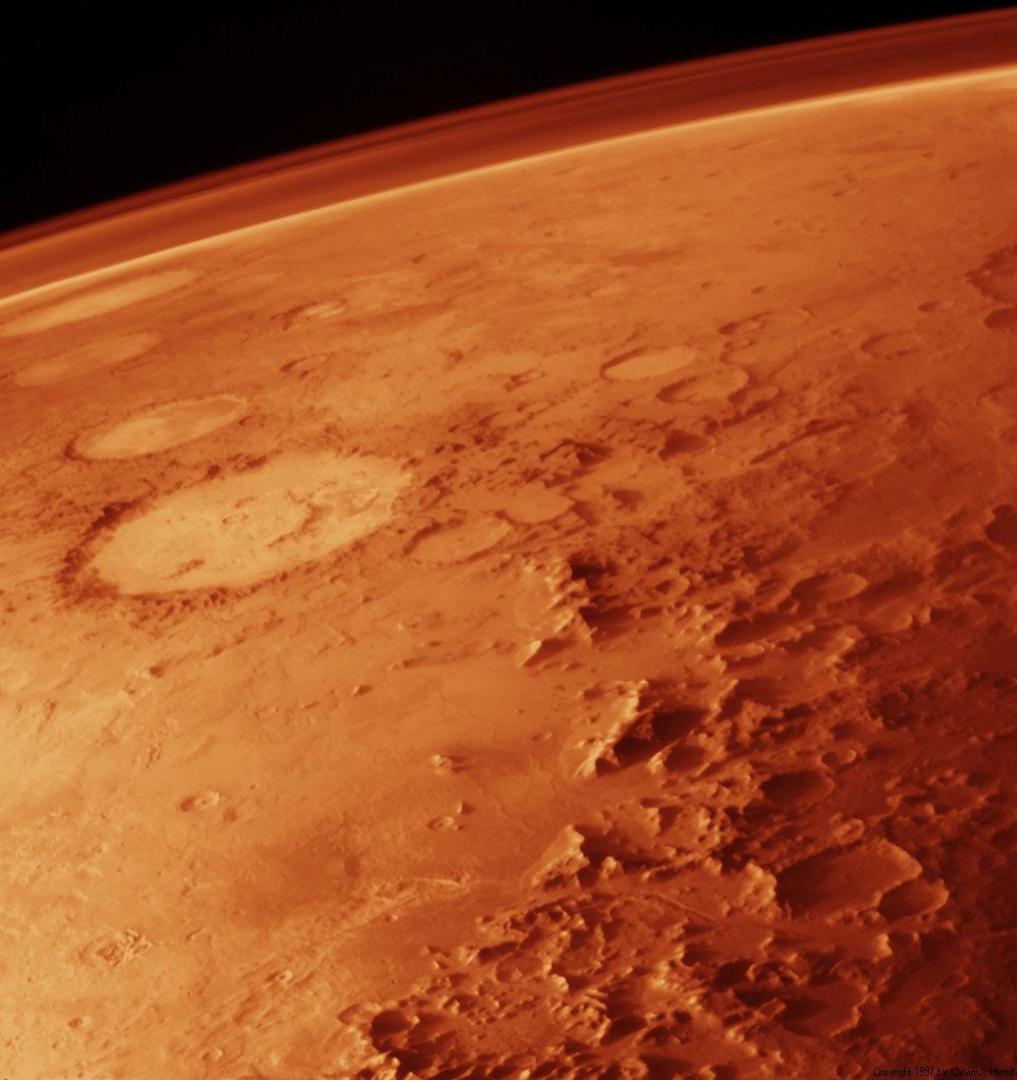
Krypton (300ppb);

Formaldehyde 130ppb;

Xenon (80ppb);

Ozone (30ppb);

hydrogen Peroxide (18ppb); **and Methane!**



Pression atmosphérique basse et variable mais non nulle

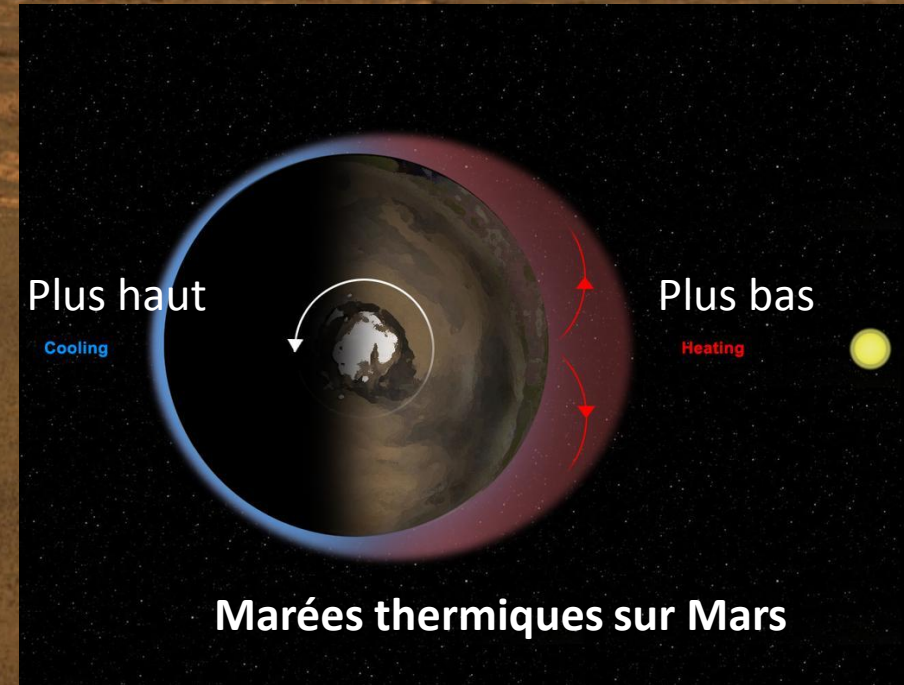
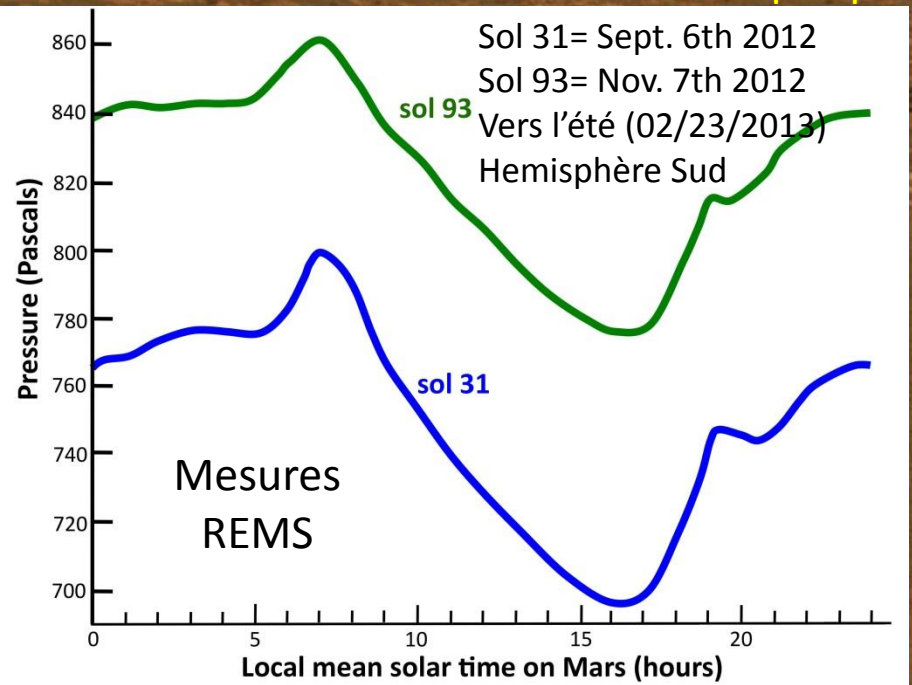
Moyenne sur Mars	0.610 kPa	<i>point triple de l'eau</i>
<i>NB: variation de 30% variation entre l'été et l'hiver dans l'hémisphère Sud</i>		
Olympus Mons (altitude +21,2 km):	0.070 kPa	<i>Vitesse du vent jusqu'à 360 km/h</i>
Hellas Planitia (altitude -8,5 km)	1.155 kPa	<i>(mais ressenti 36 km/h);</i>

la charge de poussière dans l'atmosphère est fonction de la température.

sur Terre
 Sommet du Mont Everest: 33.7 kPa
 à +5km = 54 kPa; à +1,5km = 84.5 kPa
 Niveau de la mer: 101.3 kPa

Image: Endeavour crater, western rim. Credit: NASA/JPL-Caltech/Cornell/ASU

les marées thermiques provoquent de fortes variations sur 24h00:



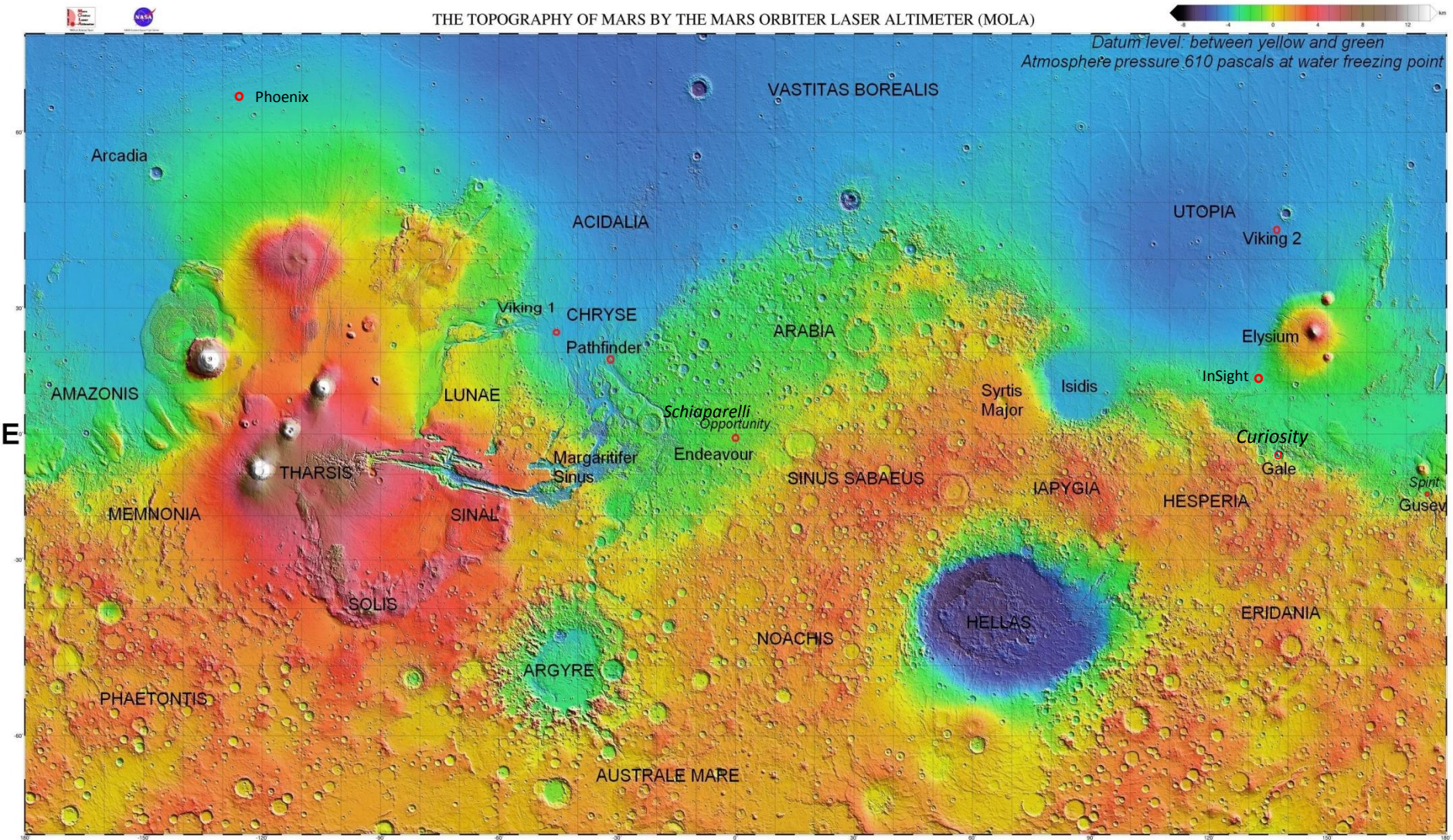
Dichotomie crustale

Credit MOLA Science Team (NASA)

datae collected by « Mars Orbiter Laser Altimeter » (« MOLA ») onboard Mars Global Surveyor (« MGS ») between 1997 and 2001.

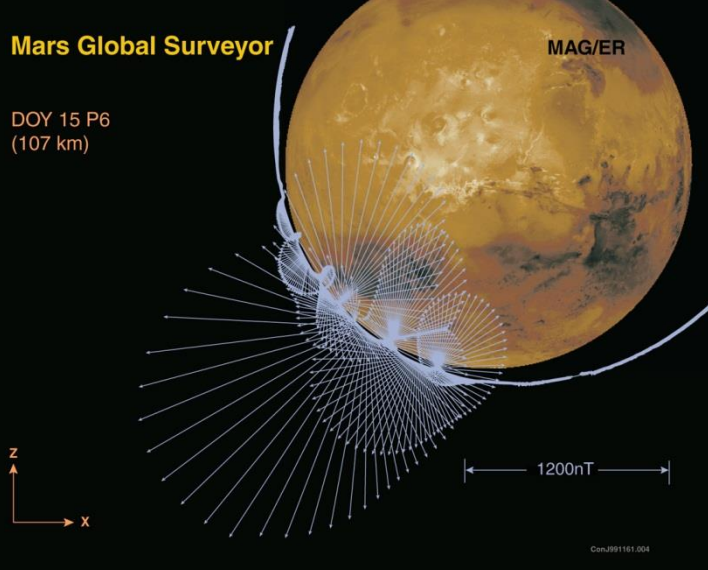
Le Nord et le Sud: deux environnements très différents

NB: Hellas est la région la plus basse (- 8km)

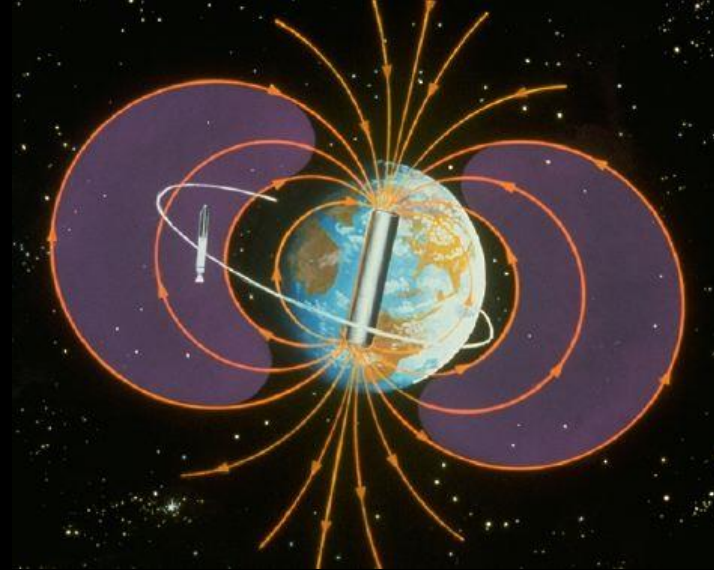


Mars Global Surveyor

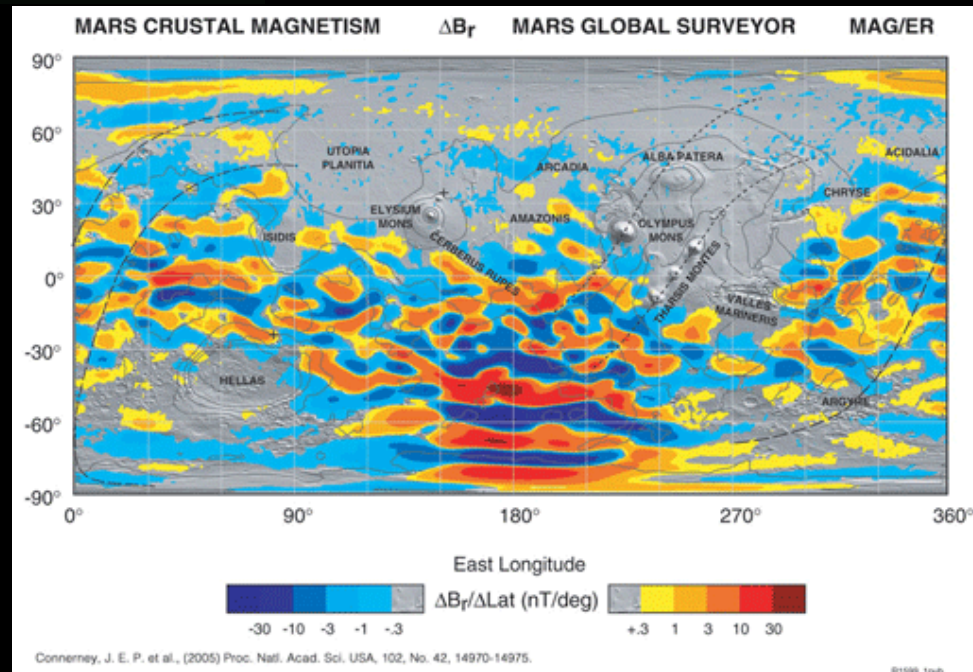
DOY 15 P6
(107 km)



Champs Magnétiques



Mars:
Magnétisme
Surfaciel
& résiduel:
Pas de
Magnétosphère
planétaire.



La Terre:
Magnétisme
Profond
& puissant:
Magnétosphère
planétaire

Images & map:
Credit NASA

Un environnement radiatif gênant mais gérable



Un fond radiatif permanent et quelques « événements »: SPE & GCR

Deux environnements très différents:

L'espace interplanétaire (voyage).

C'est là que l'exposition aux « GCR » est la plus forte:

~ 2,2 x exposition dans l'ISS

- protection difficile contre les particules à haute énergie.

- doses inversement proportionnelles à l'activité solaire.

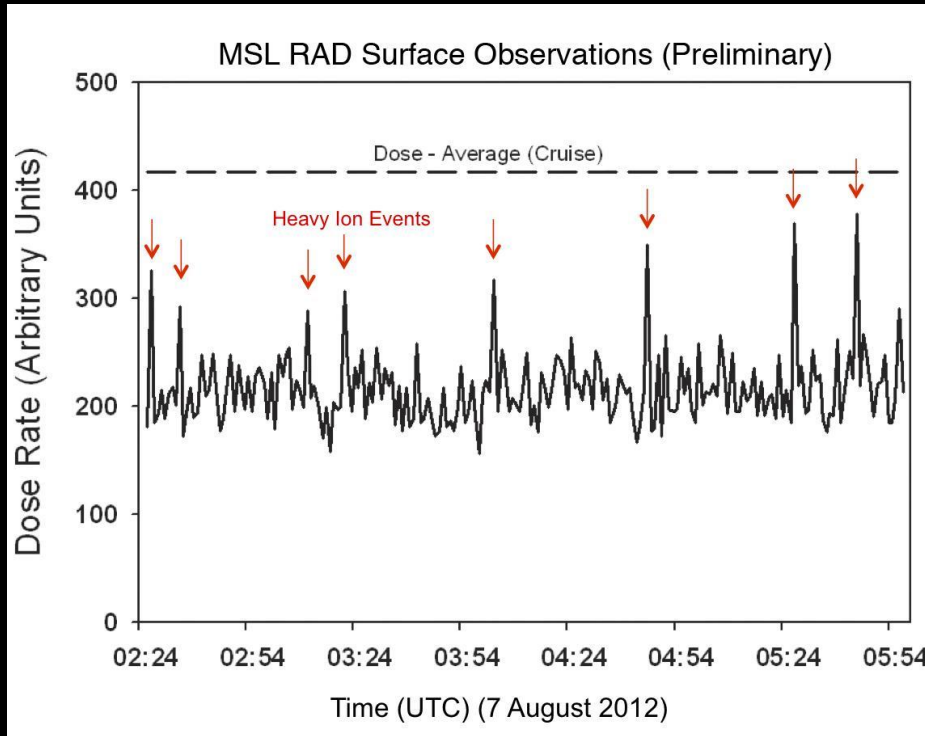
Sur Mars,

Protection:

- par la planète elle-même

- par la couverture atmosphérique (cependant des particules secondaires

sont créées incluant neutrons & γ)



Observations (sur 3h30, le 7 août 2012)

Faites par l'instrument **RAD** (Curiosity).

Crédit image : NASA/JPL-Caltech/SWRI

< ISS

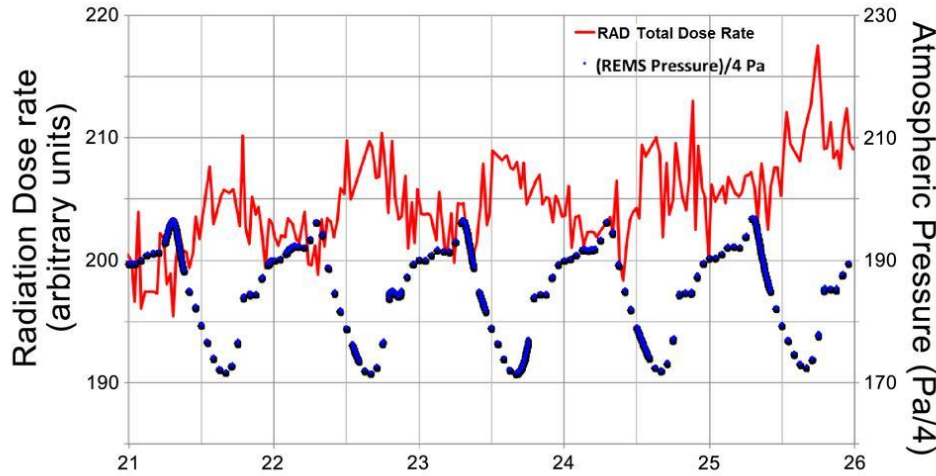
NB:

« Cruise » fait référence au voyage interplanétaire.

Les « Heavy ion Events » résultent de « GCR ».

Doses sur Mars = ~ 1 / 2 les doses interplanétaires, tout compris (= ~ ISS).

Daily Variation of Radiation Dose on the Mars Surface



Mars Sol (Martian day since MSL landing)

Bleu, pression en pascal divisée par 4
Rouge, radiations en Rem

Plus la pression atmosphérique est haute, plus faibles sont les radiations.

Mesures prises par **RAD** (à bord de Curiosity)
Image Credit: NASA/JPL-Caltech/SwRI

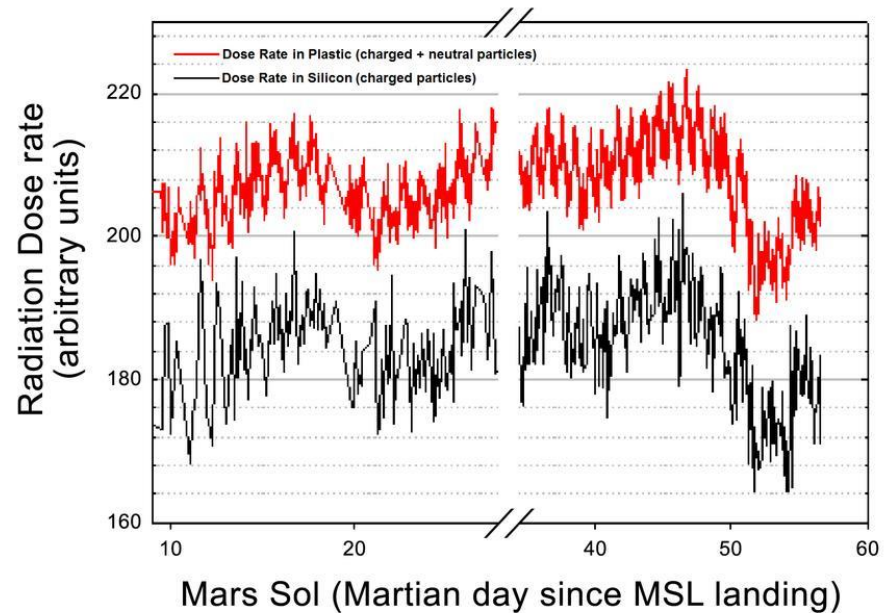


Bleu, Radiations solaires
Rouge, total radiations.

Plus l'activité solaire est forte, moins les GCR atteignent la surface.

Mesures prises par **RAD**
Image Credit: NASA/JPL-Caltech/SwRI

Longer Term Variations Due to Solar & Heliospheric Rotation



Protection contre les RADIATIONS

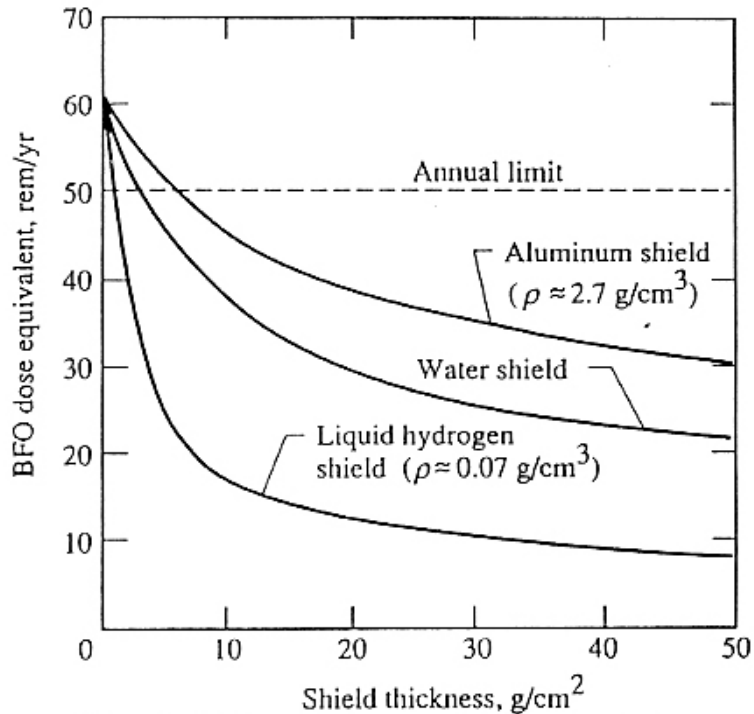


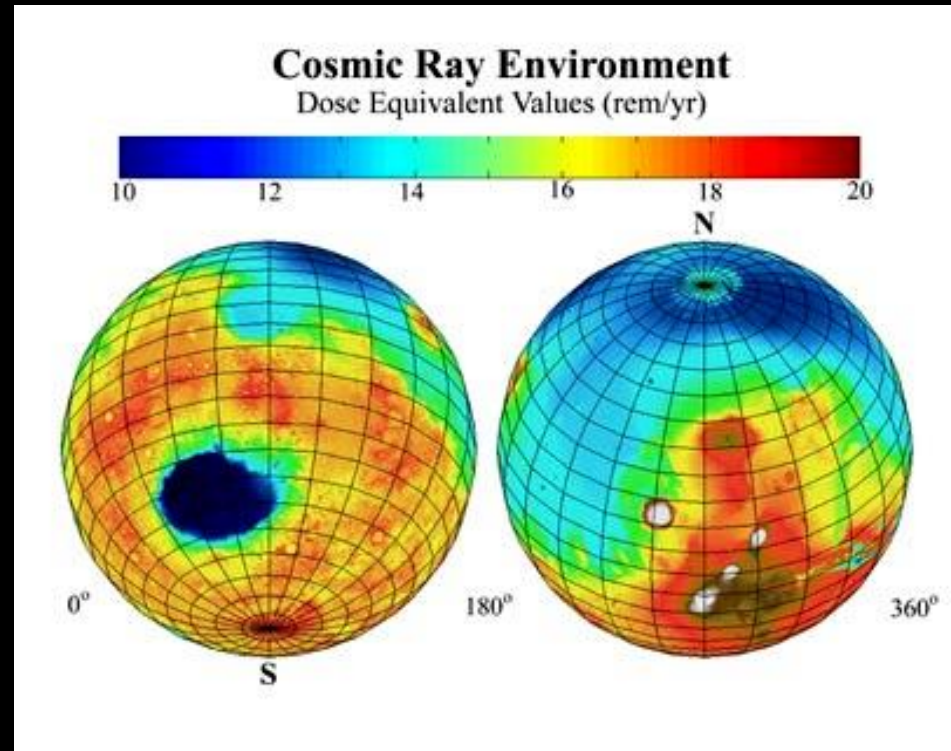
Figure 6. Shielding effectiveness of GCR at solar minimum.

Durant le voyage interplanétaire:
Réservoirs d'eau et stock de nourriture

Une fois sur Mars :

La planète elle-même et l'atmosphère

Vêtement:
type
"Astrorad"



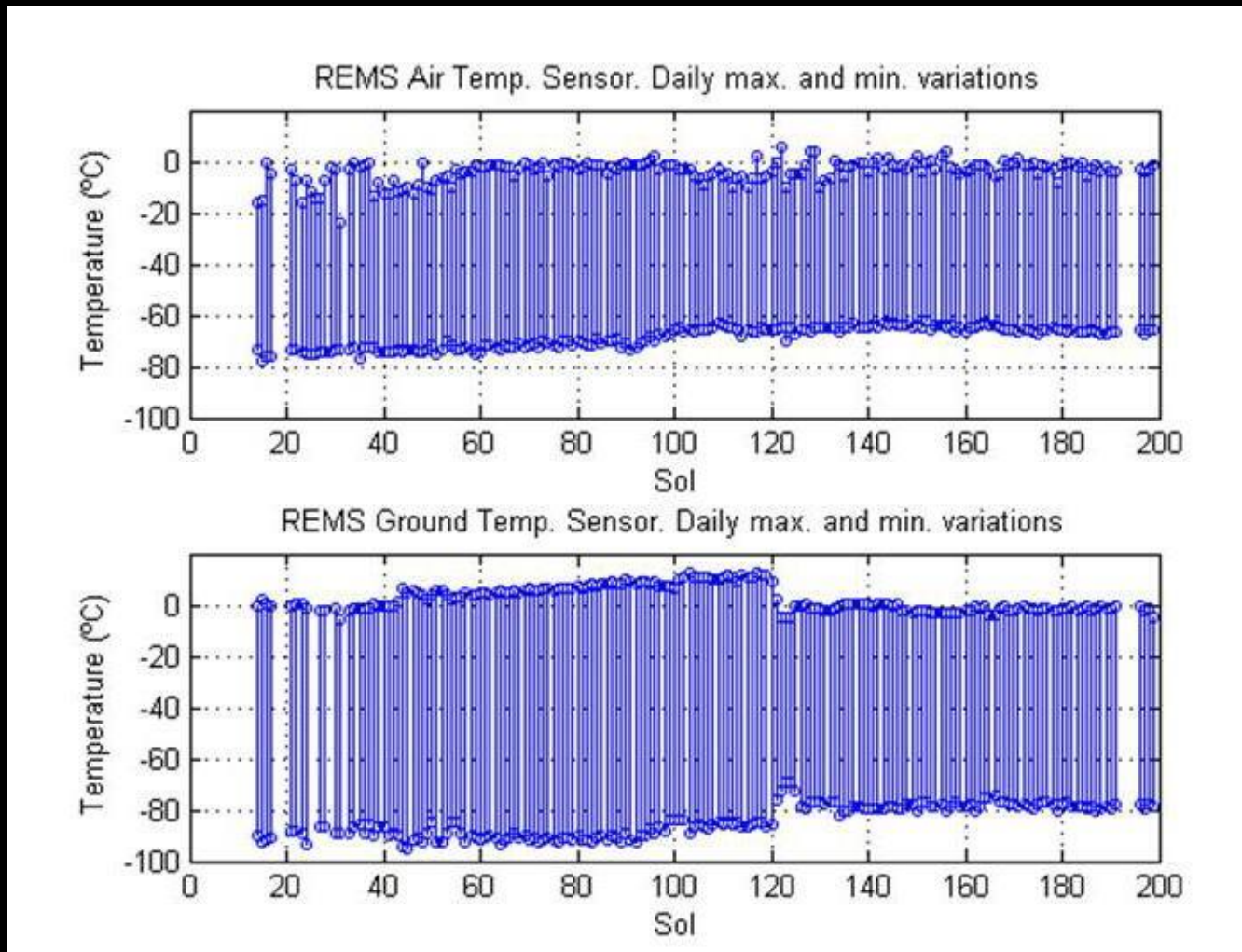
Températures froides, au datum (altitude « 0 »)

Mars

Terre

- Moyenne: -63°C $+14^{\circ}\text{C}$
(Titan - 180°C)
- Plus haut: $+20^{\circ}\text{C}$ (Sud) -3 (Nord) $+53^{\circ}\text{C}$
- Plus bas: -143°C -89°C

Amplitude forte des variations quotidiennes



air

sol

Crédit image: NASA/JPL-Caltech/CAB(CSIC-INTA)/FMI/Ashima Research

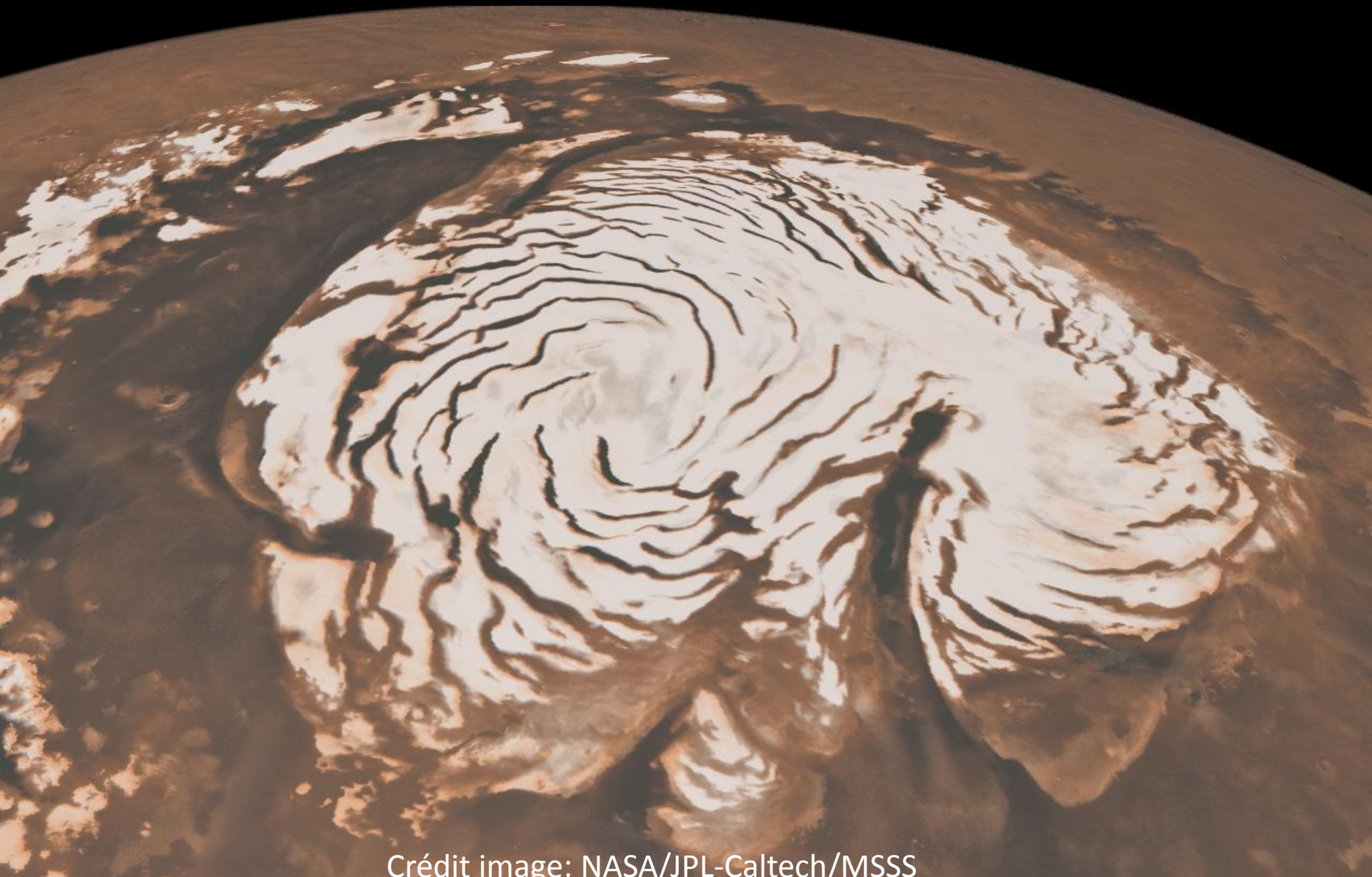
A l'équateur, à partir du Printemps austral, les températures au datum peuvent dépasser 0°C

Mesures prises par Curiosity (REMS) du sol 16 au sol 200 (de mi août à fin septembre 2013)

Le printemps austral va du 29 sept. Au 23 février 2013

NB: la latitude du cratère Gale est 5° Sud / REMS = Rover Environmental Monitoring Station

De l'eau!

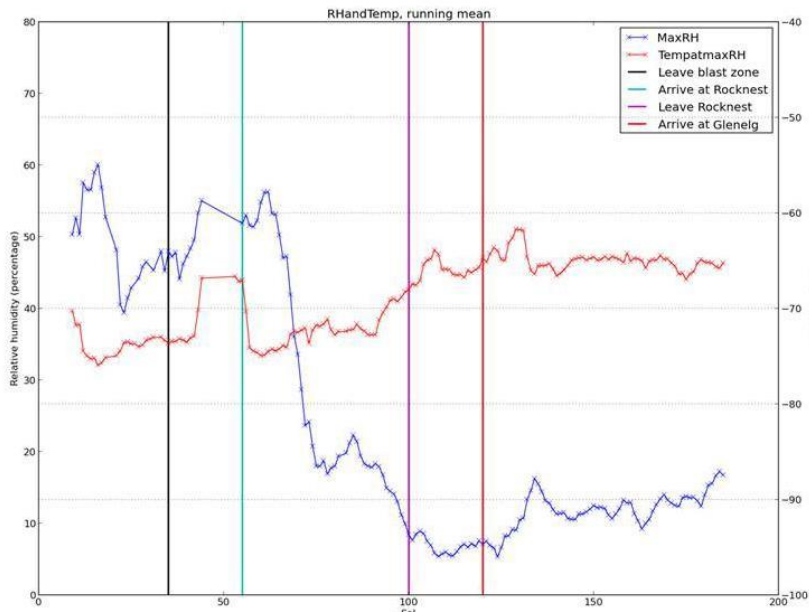


Crédit image: NASA/JPL-Caltech/MSSS

Une surface pas si sèche

La quantité d'eau est faible en valeur absolue mais l'atmosphère peut en être saturée (« RH »)

ATMOSPHERE RELATIVE HUMIDITY



Mesures de REMS

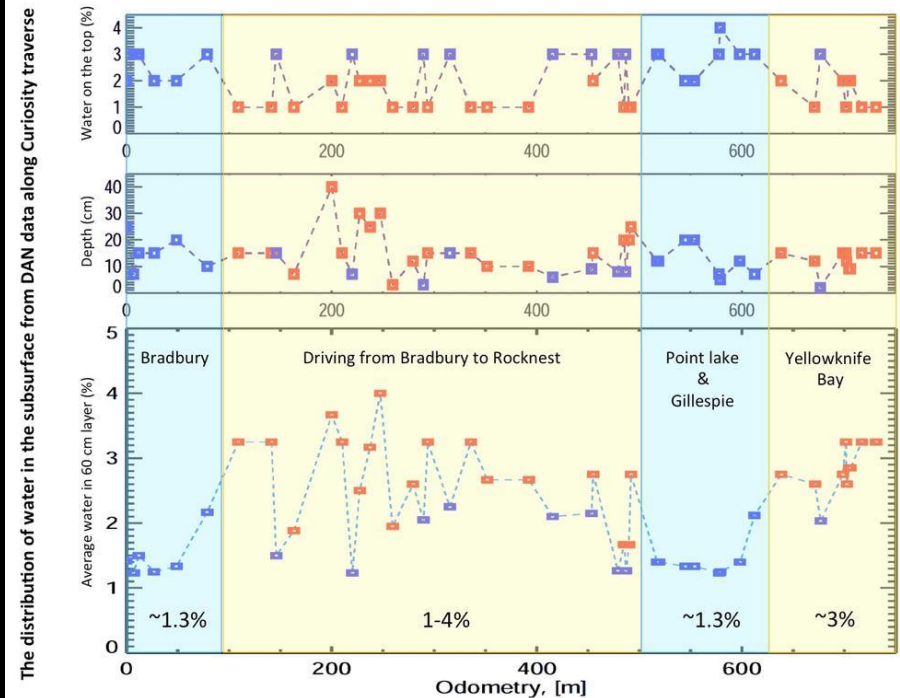
(Remote Environmental Monitoring Station)

Image PIA16915 (2013-04-08)

Crédit:

NASA/JPL-Caltech/CAB(CSIC-INTA)/FMI/Ashima Research

La quantité d'eau dans le sol varie de 1.3 à 4%



Mesures de DAN (Dynamic Albedo of Neutrons)
dans les 60 premiers cm de la surface de Gale

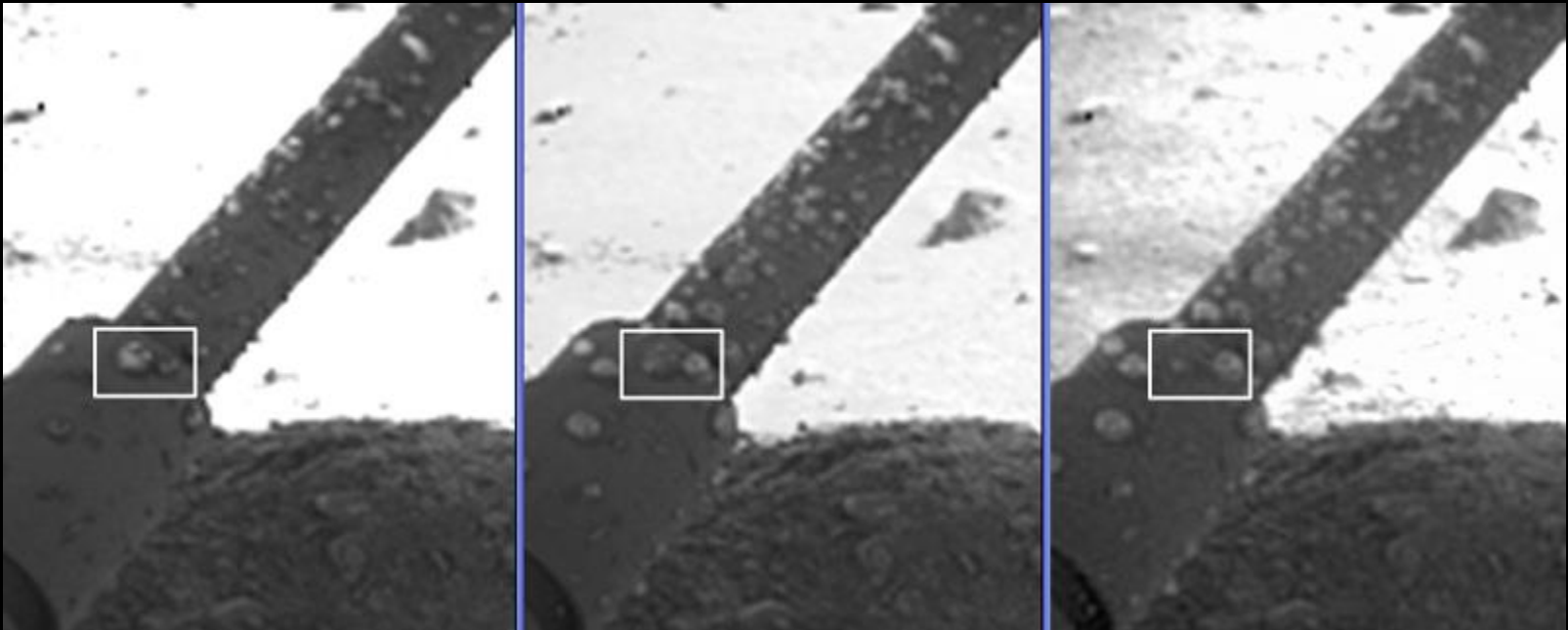
Image PIA16809 (March 18th 2013-03-18)

Crédit:

NASA/JPL-Caltech/Russian Space Research Institute

Exemple de saturation!

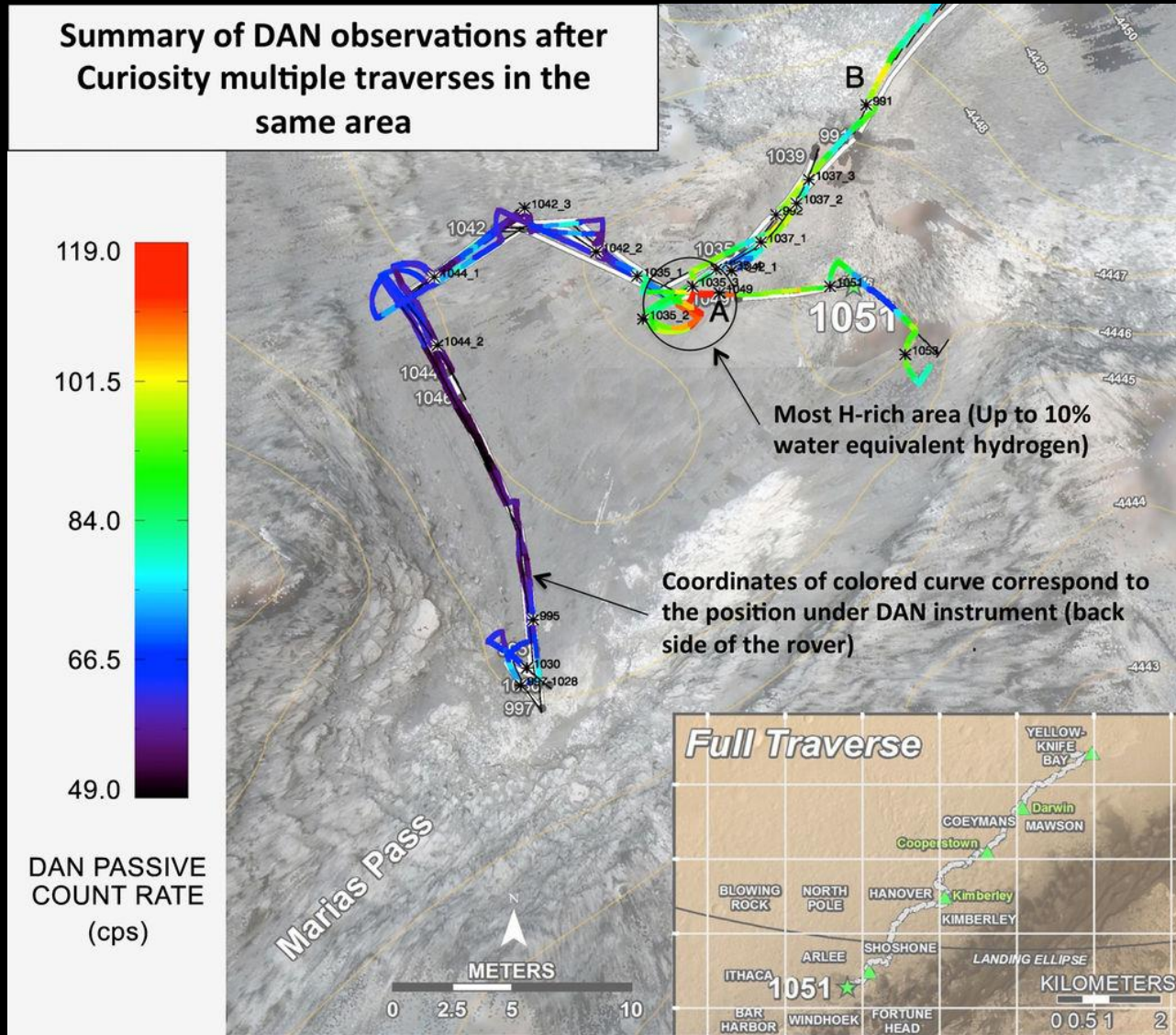
L'eau saumâtre peut être liquide dans des conditions favorables



Photos credit NASA/JPL-Caltech/Un of Arizona/Max Planck Institute

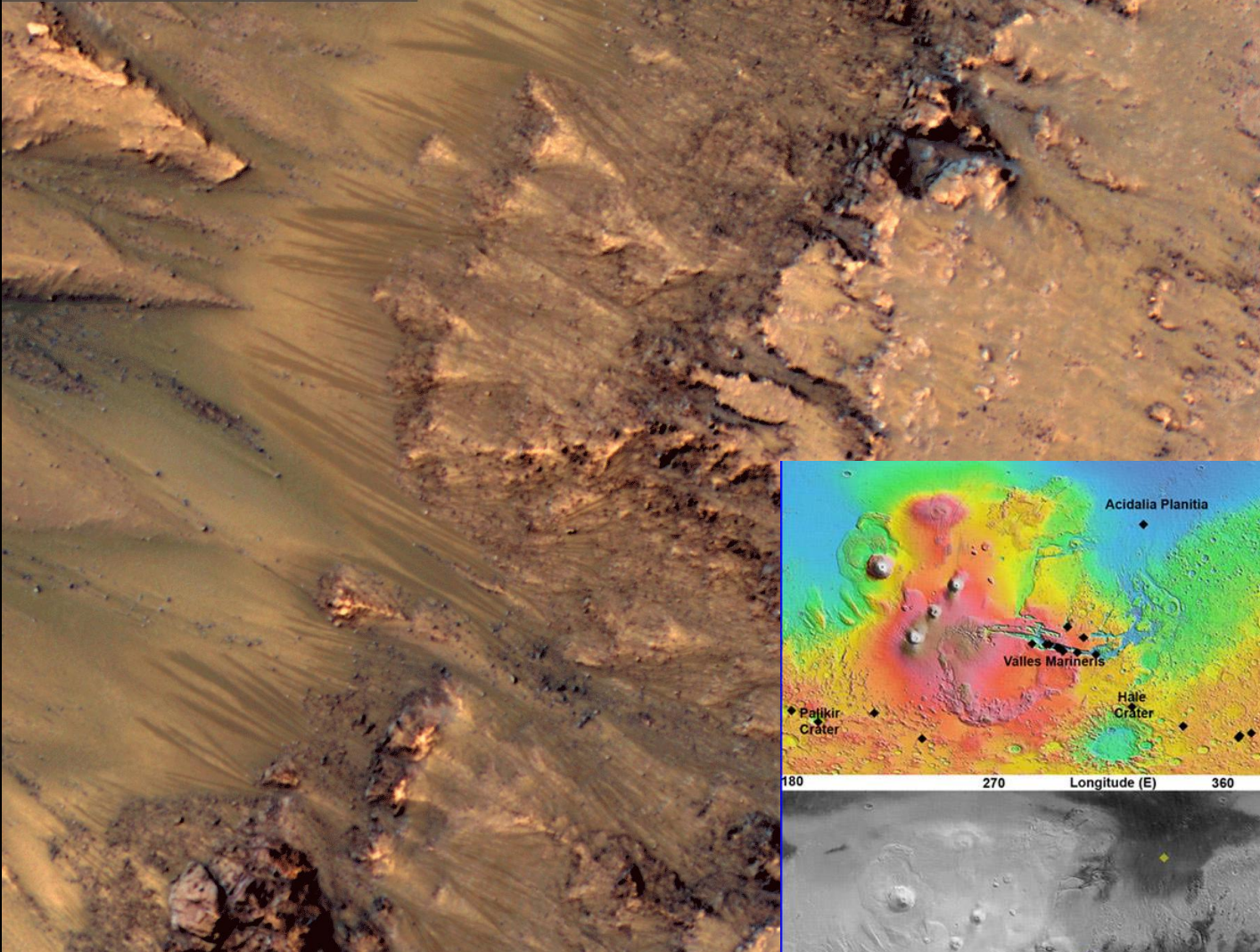
Goutellettes d'eau sursaturées en Perchlorates sur les pieds de Phoenix
(Mai 2008)

Un "spot" humide dans le Cratère Gale



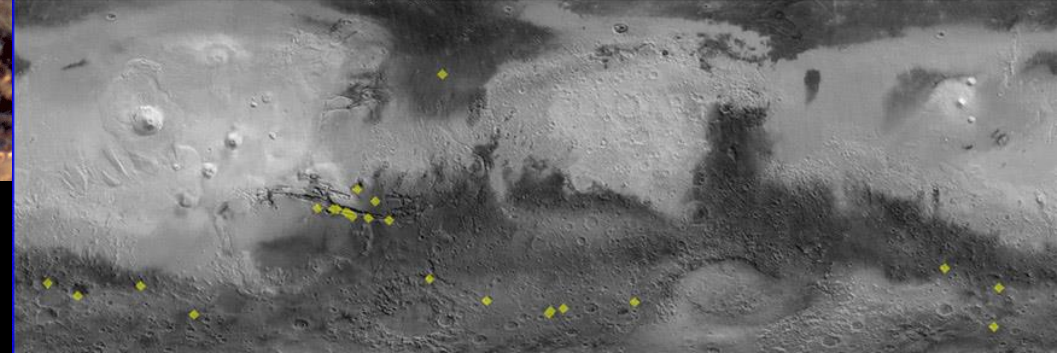
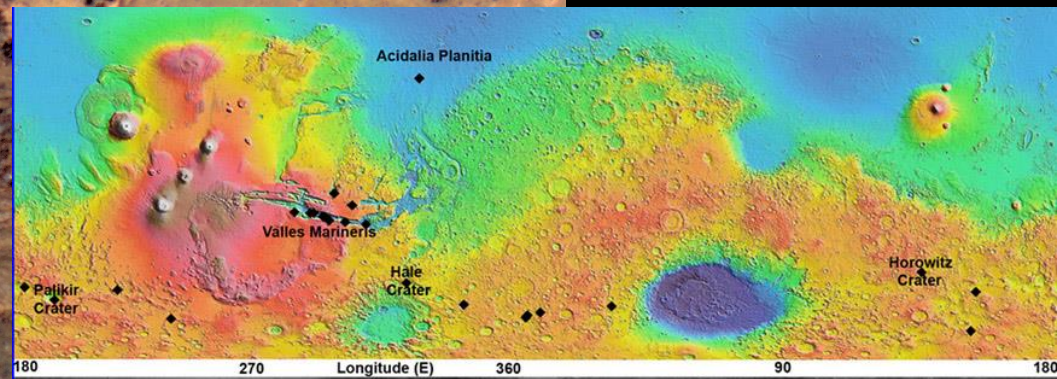
Curiosity (DAN) , Maria Pass, 18 Sept. 2015; mesures jusqu'à 1 mètre.
Crdéit image: NASA/JPL-Caltech/Russian Space Research Institute

Recurring Slope Lineae (« RSL »)



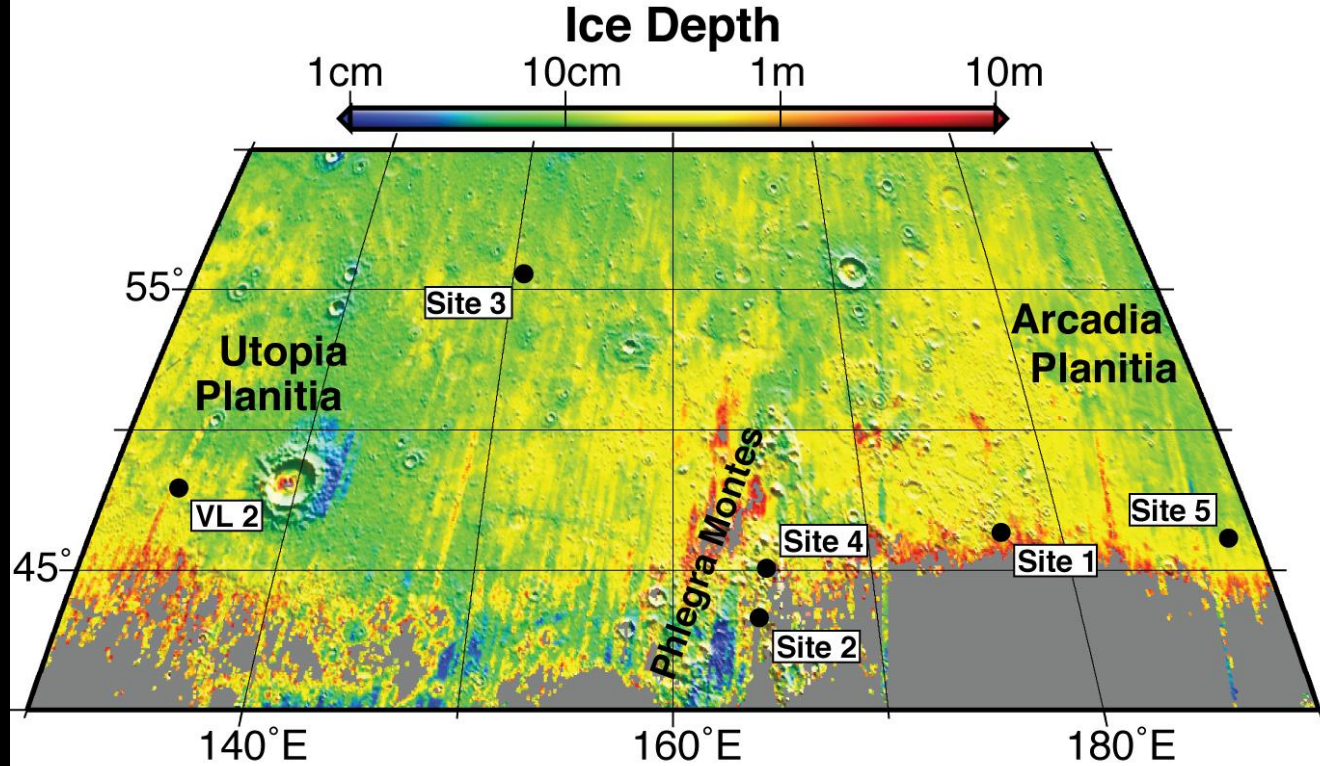
Flux diurnes en saison
chaude sur les pentes
du cratère Palikir
(Newton).

Phot prise par
la caméra HiRISE (MRO)
crédit:
NASA/JPL-Caltech/
Univ. of Arizona



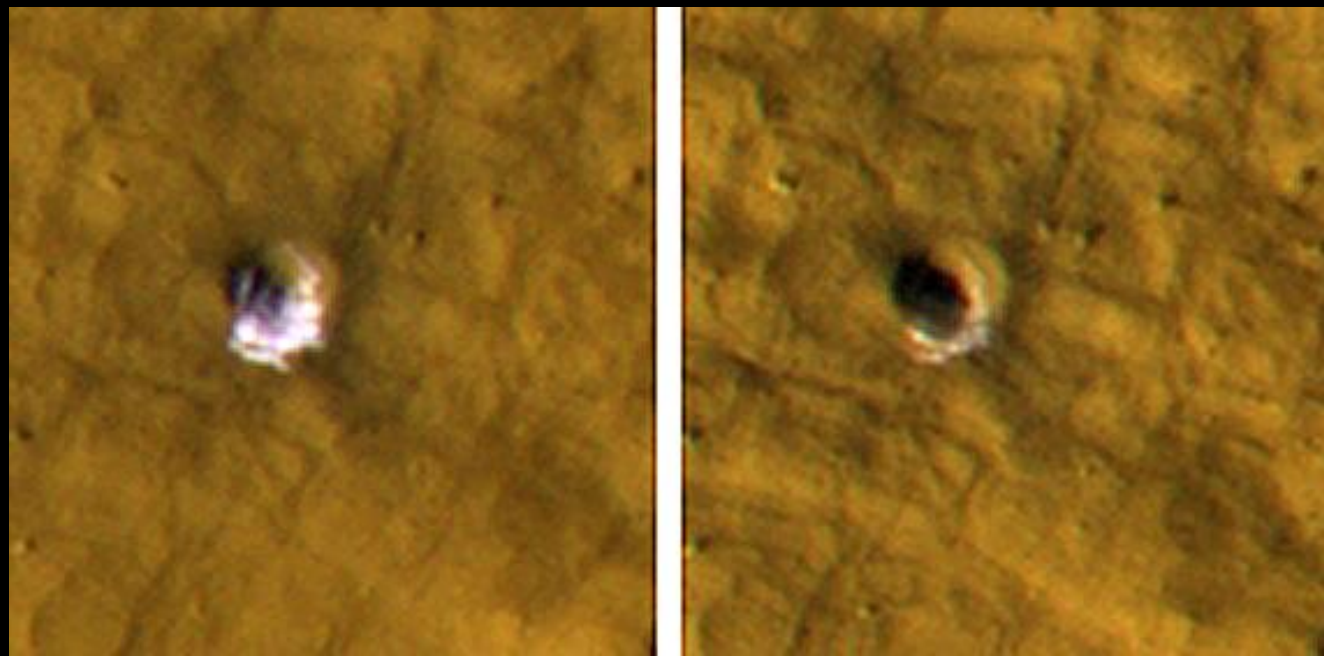
Confirmed RSL sites.
in « Recurring slope lineae in equatorial regions of Mars »
Alfred McEwen et al. in Nature Geoscience Vol 7 Jan 2014
DOI:10.1038/NGEO2014

Glace d'eau
dans le sous-
sol immédiat
aux latitudes
moyennes



Photos prises par la
caméra HiRISE à
bord de MRO
Intervalle 3 mois;
« Site 2 »
(ci-dessus)

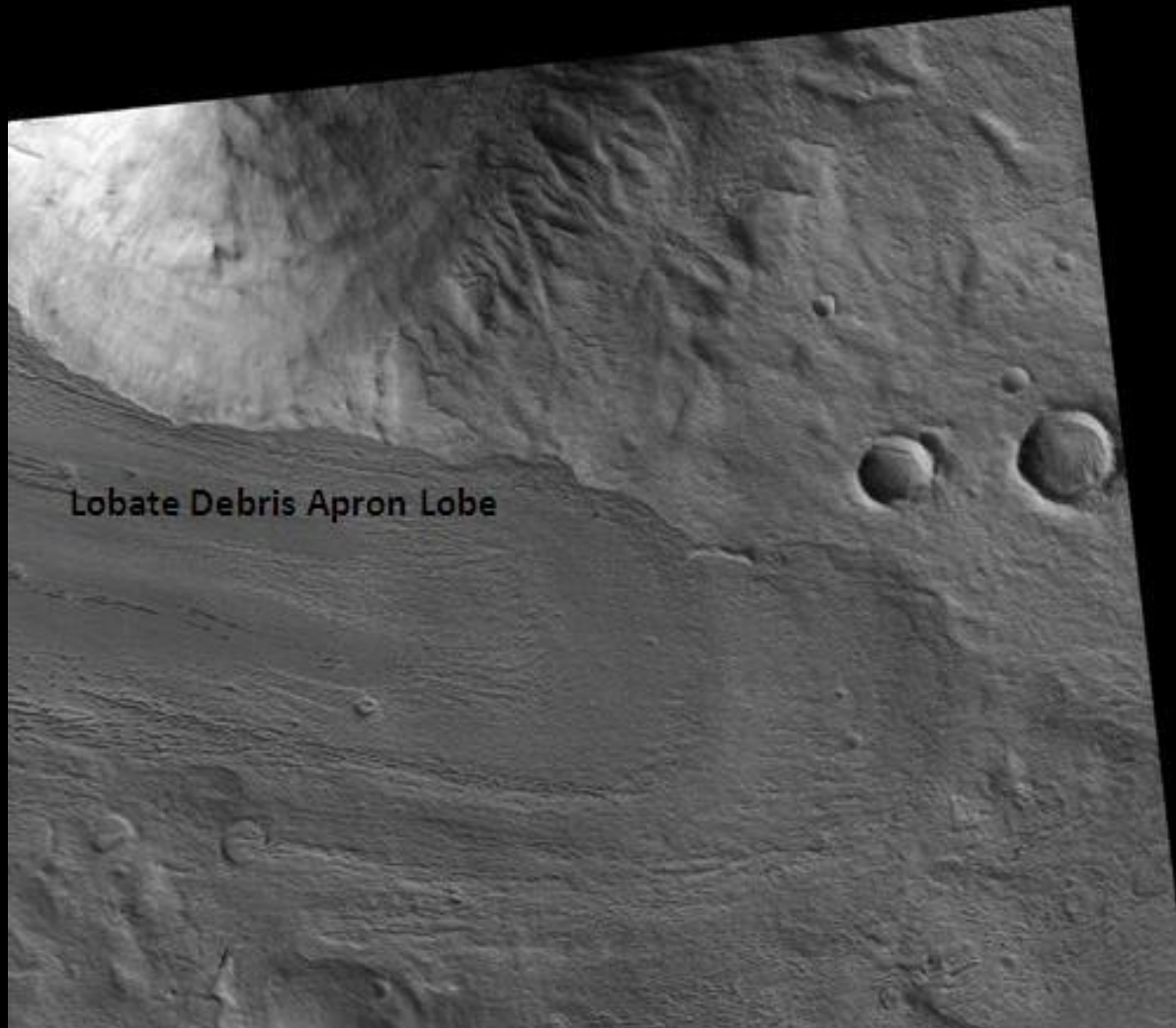
Crédit NASA / JPL-
CalTech/
University of Arizona



Des flux de glace anciens aux latitudes moyennes

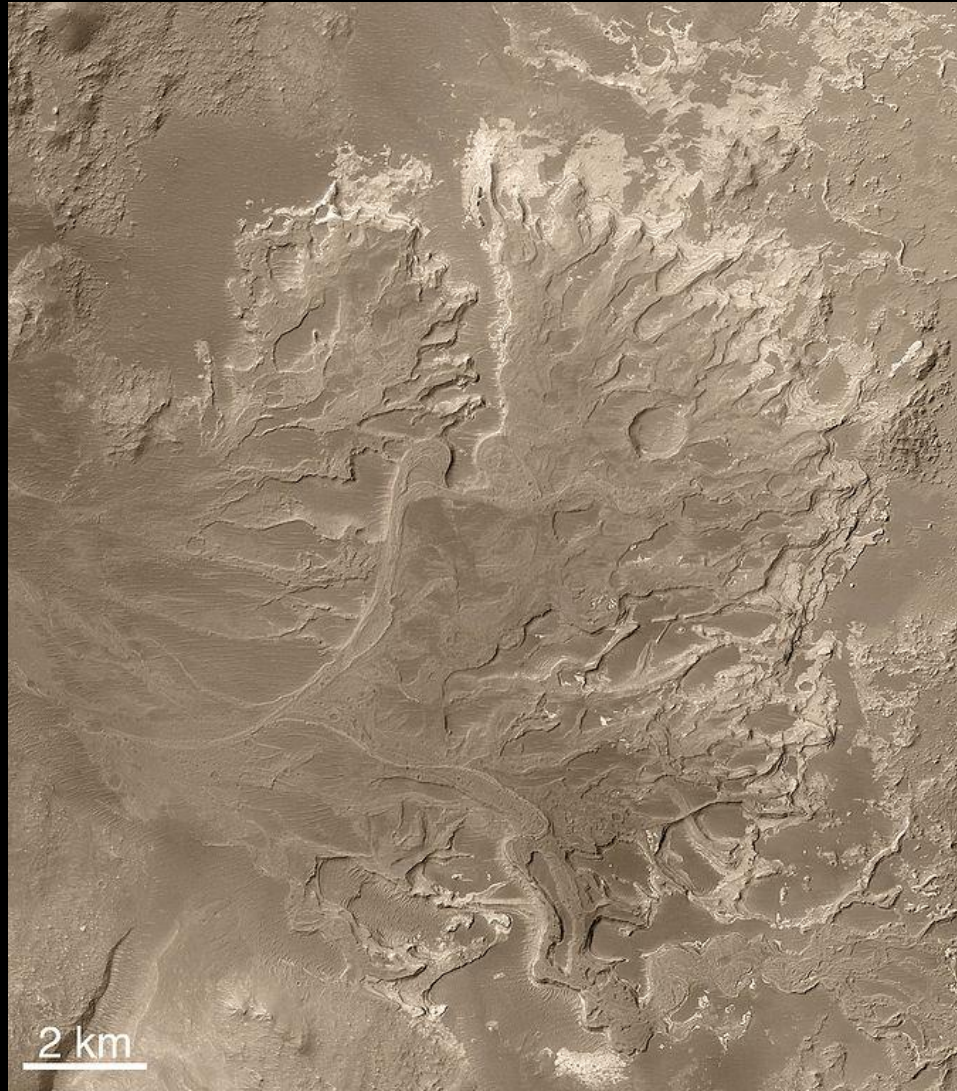
003676_2180_RED

500 meters



“Lobate Debris Apron” in “Volume of Martian mid-latitude glaciers from radar observations and Ice-flow modelling” American Geophysical Union, 2015, by N.B. Karlsson et al. Center for Ice Climate, Niels Bohr Institute, Uni Coenhagen

Magnifique delta de rivière dans les Hautes Terres du Sud, Eberswald Crater (24°S)



Des alluvions ont été transportées par des fleuves.

Crédit image: NASA/JPL/Malin Space Science Systems
Photo prise par la caméra « Mars Orbiter Camera » embarquée sur « Mars Global Surveyor »

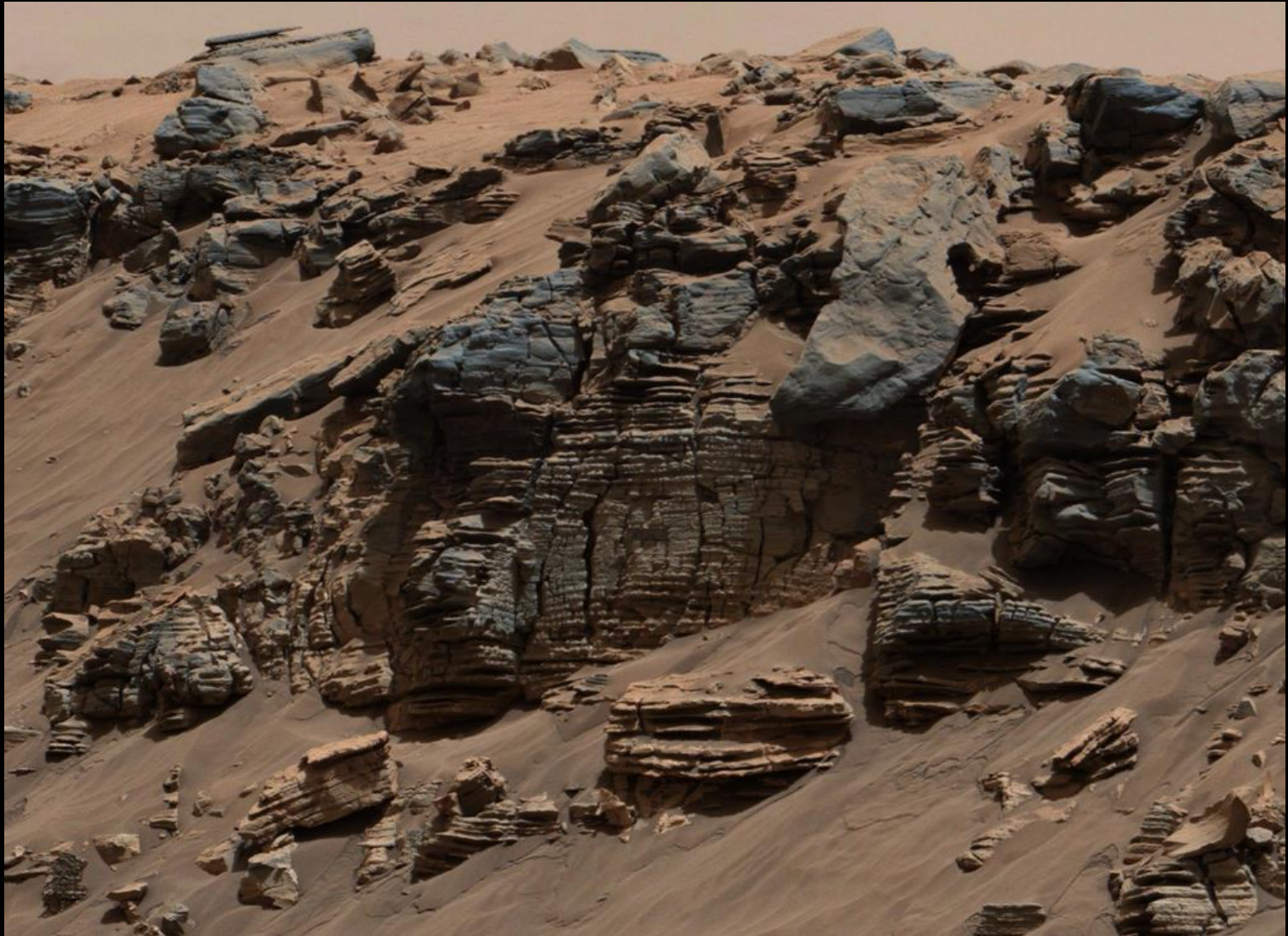
Vers un ancien lac

Des strates inclinées
plongent vers le Sud en direction du Mont Sharp.
Elles résultent de dépôts dans l'estuaire d'un ancien lac.



pia19839 taken by Curiosity mastcam on sol 580 (March 25th 2014) ;
Crédit image: NASA/Caltech/JPL/MSSS

Témoins sédimentaires croisés, lac et rivière



Roche épaisse constituée de fines lames régulières de dépôts lacustres sous des plaques de grès déposées dans le lit de rivières ultérieures

Crédit Image: NASA/JPL-Caltech/MSSS (Cratère Gale; 7 août 2014)

Mars • Global Dust Storm

La Poussière



June 26, 2001

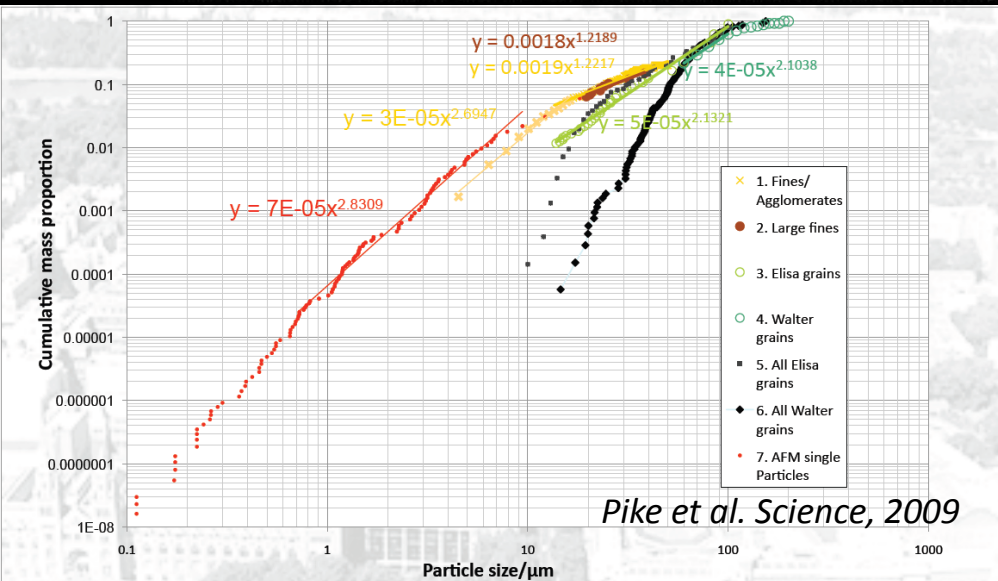


September 4, 2001

Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA, J. Bell (Cornell), M. Wolff (SSI), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • STScI-PRC01-31

Abondance
des particules
de petite taille:
< 7 μm



Opportunity on Dec 24th 2011, after 5 years on Mars;
Credit Image: NASA/JPL-Caltech/Cornell/Arizona St Univ.

La question de la Vie

Une brève histoire de Mars

Mars s'est endormie quand la Vie s'est éveillée sur Terre

4.5

PHYLLOSIEN

Atmosphère épaisse
Eau liquide en surface

Phyllosilicates
(incl. argiles)
Carbonates

4.0

LHB

THEIKIEN

Volcanisme
Gaz riches en soufre
Sulfates
Renouvellements
atmosphériques
Flux cataclismiques

pH déclinant



Acidité

3.6

milliards
années

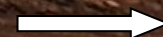
3.4

V

premiers
indices
de Vie
sur Terre

3.00

SIDERIKIEN



Processus lents d'altération de
l'atmosphère (oxydation du fer)
Disparition de l'action de l'eau

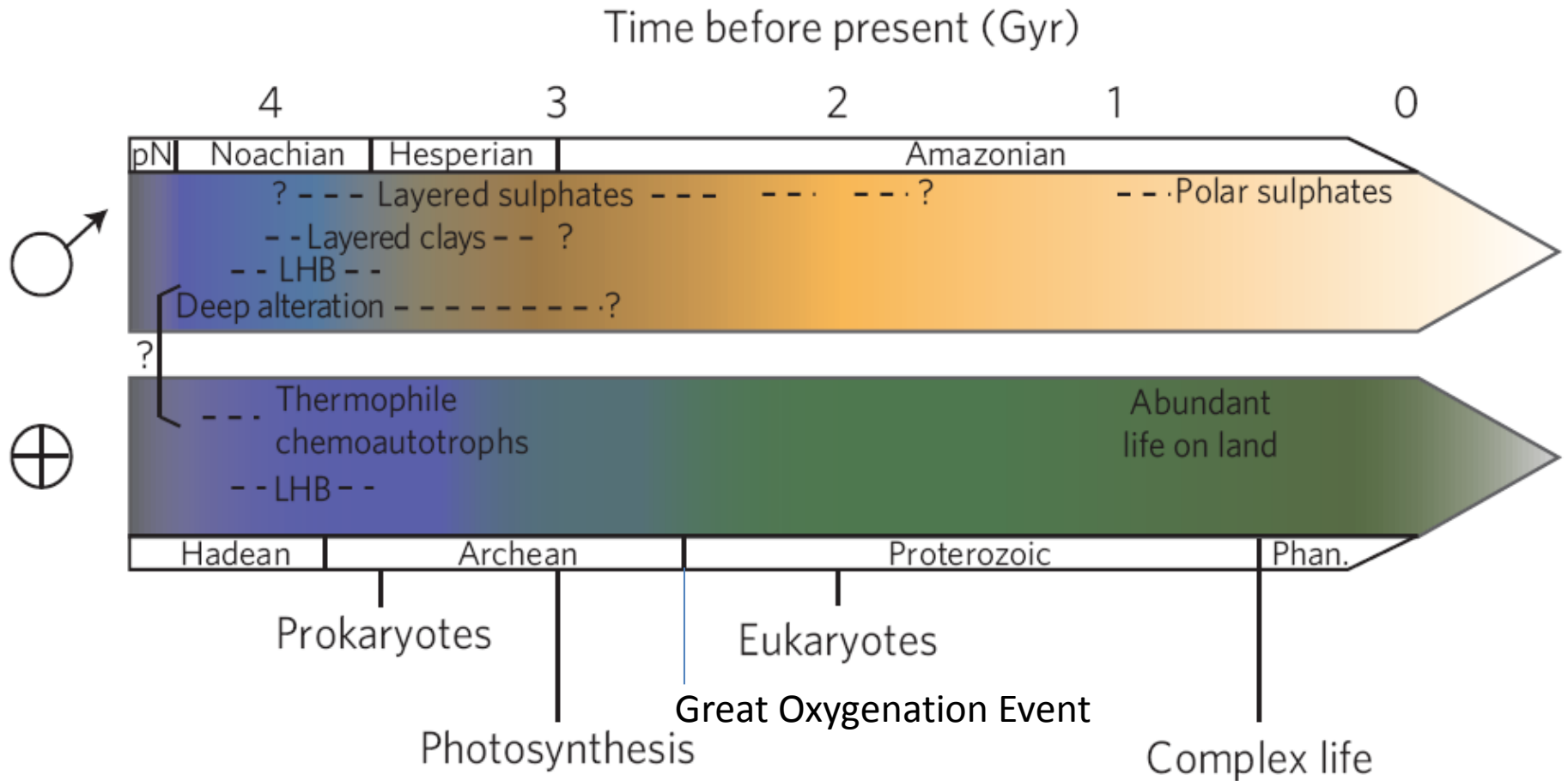
Plus d'eau liquide stable en surface

Noachien

Hespérien

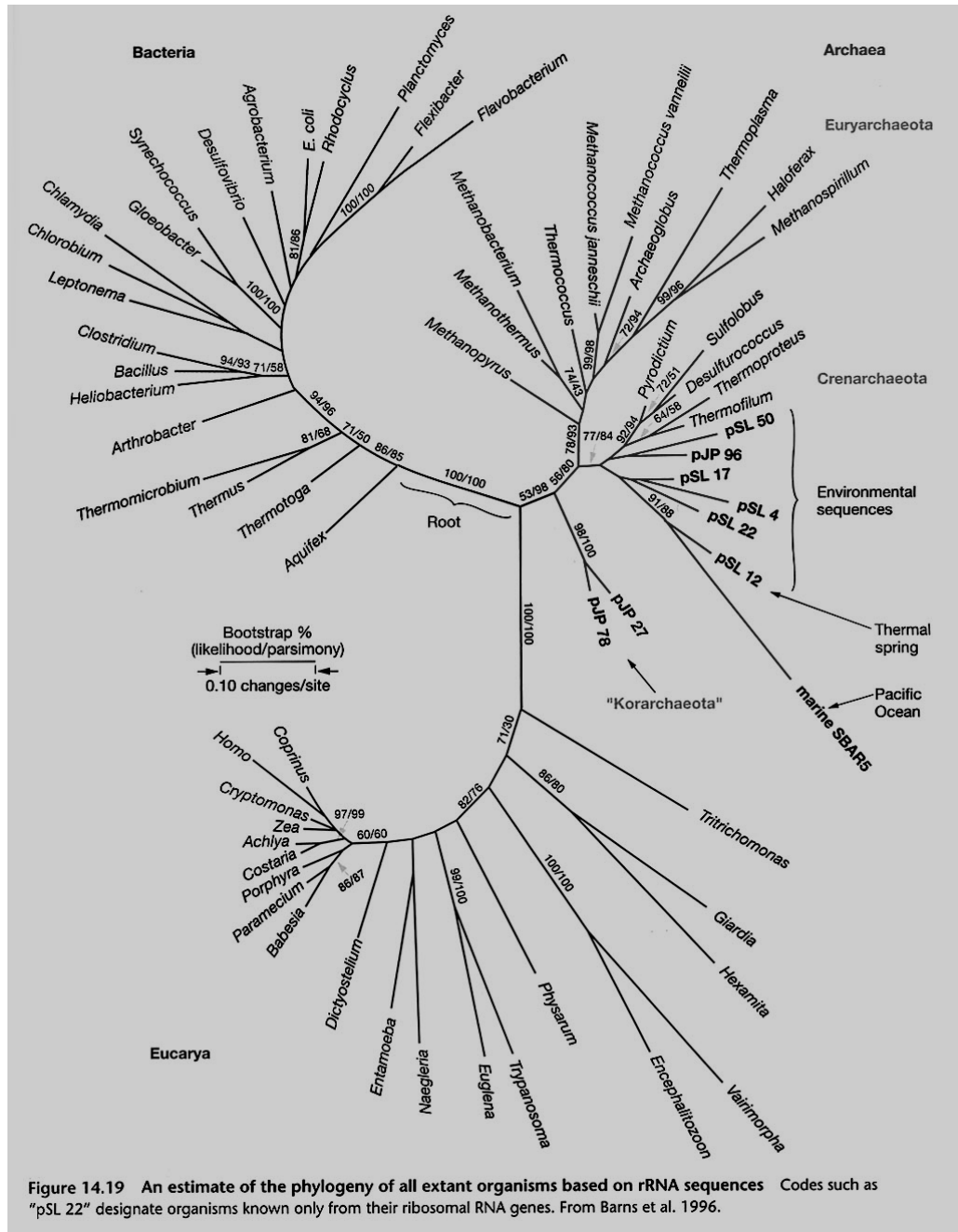
Amazonien

La vie a-t-elle disposé d'assez de temps?



« Major evolutionary events on Earth compared with geologic evolution on Mars »
 Fig. 2 in « Groundwater activity on Mars and implications for a deep biosphere »
 by Joseph R. Michalski et al. in Nature Geoscience, published 20th Jan 2013/
 DOI:10.1038/NGEO1706

Arbre Phylogénétique*.



Mars a-t-elle
eu le sien?

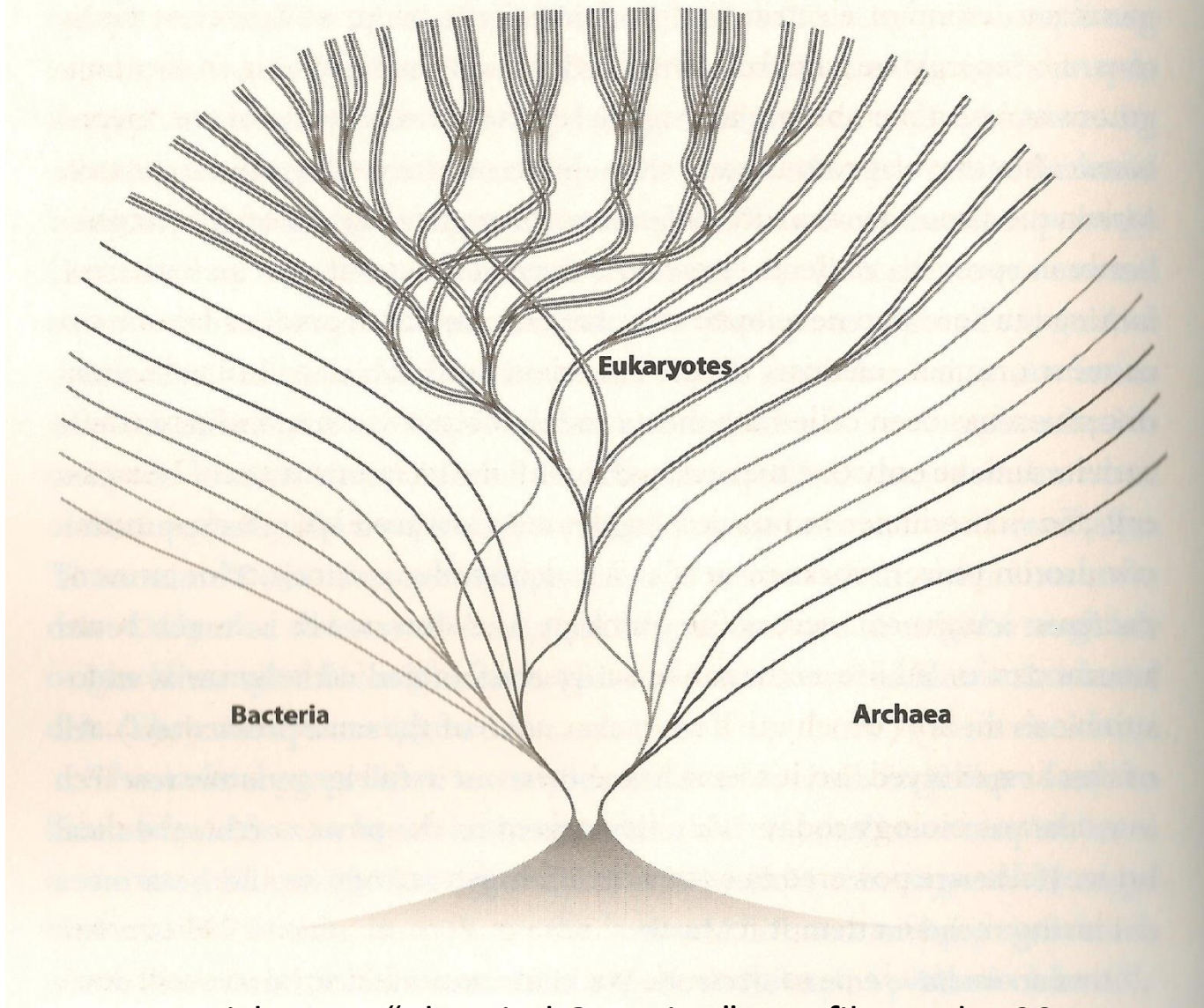
Jusqu'à quel
niveau?

"Uninhabited habitats on Mars"
Cockel et al.
in Icarus 217:184-193 (2012)

Figure 14.19 An estimate of the phylogeny of all extant organisms based on rRNA sequences Codes such as "pSL 22" designate organisms known only from their ribosomal RNA genes. From Barns et al. 1996.

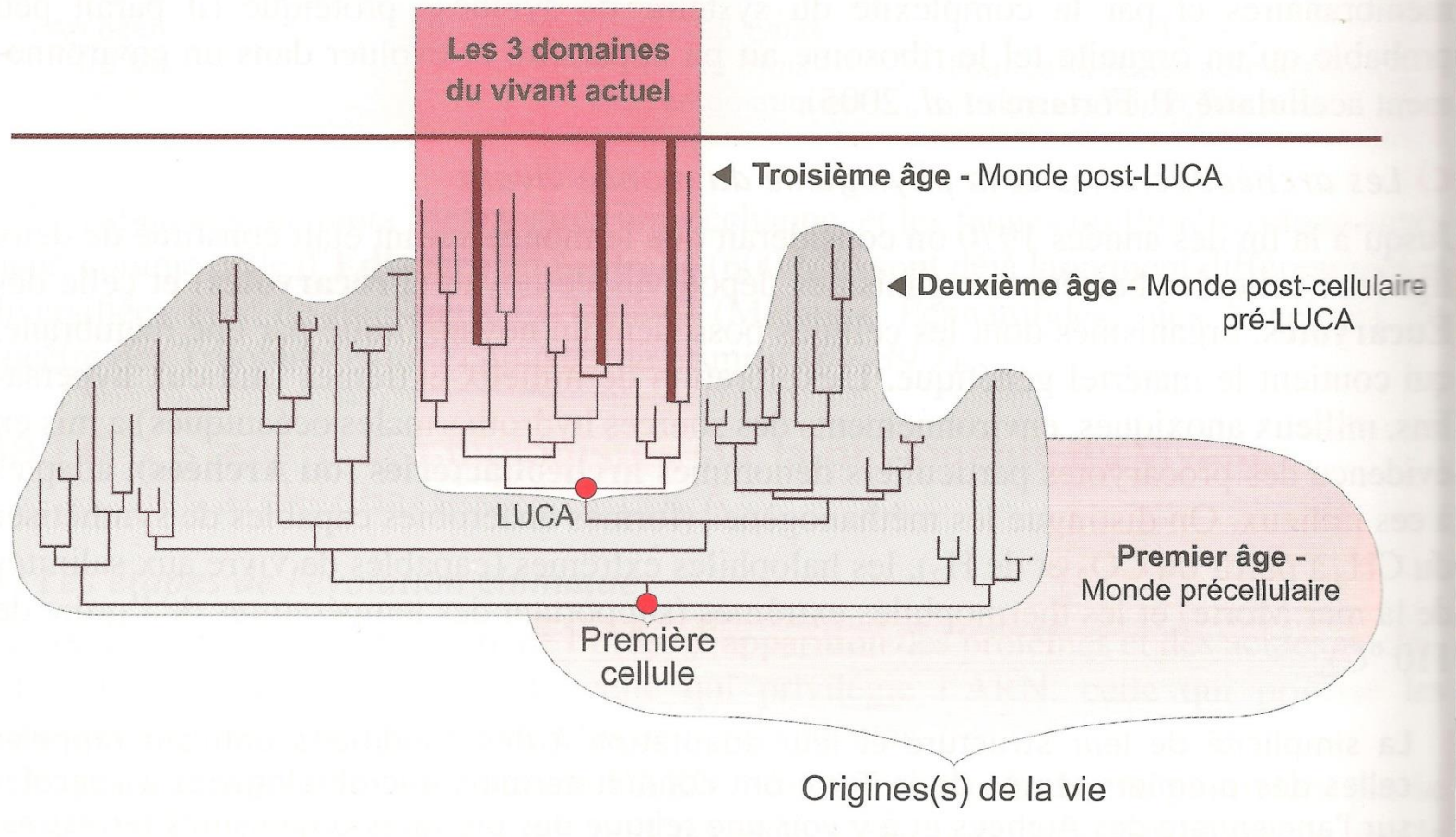
* molecular phylogeny
based on molecule 16SrRNA

Présentation plus exacte de l'arbre de vie



In Nick Lane, "The Vital Question" , Profile Books, 2015

Mars a-t-elle eu son LUCA ou l'évolution s'est-elle arrêtée à un stade prébiotique?



in Patrick Forterre et al.: « LUCA, à la recherche du plus proche ancêtre commun universel »
Medicine/Science 2005: 21: 860-5

Le but de l'exploration est de savoir,
avec un exemple autre que la Terre,

quel environnement incubateur et quelle source d'énergie?...

soupe primordiale et énergie solaire?

profondeur océanique et énergie planétaire?

percolation dans un environnement chaud proche de la surface?

Tous les trois ensemble?

...ont éventuellement conduit à l'éclosion du processus de Vie?

Le but est de savoir

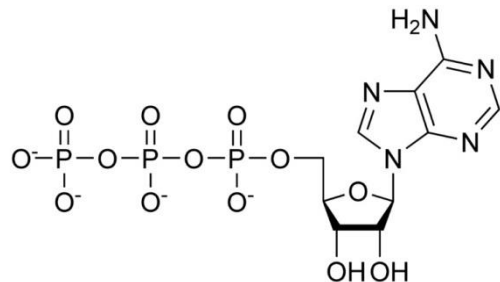
**jusqu'à l'environnement martien a permis
la complexification des molécules organiques**

des polymères de molécules organiques : polynucléotides, polypeptides, polysaccharides?

des molécules porteuses d'énergie, comme l'ATP? ou porteuses d'information, comme l'ARN?

Des protéines?

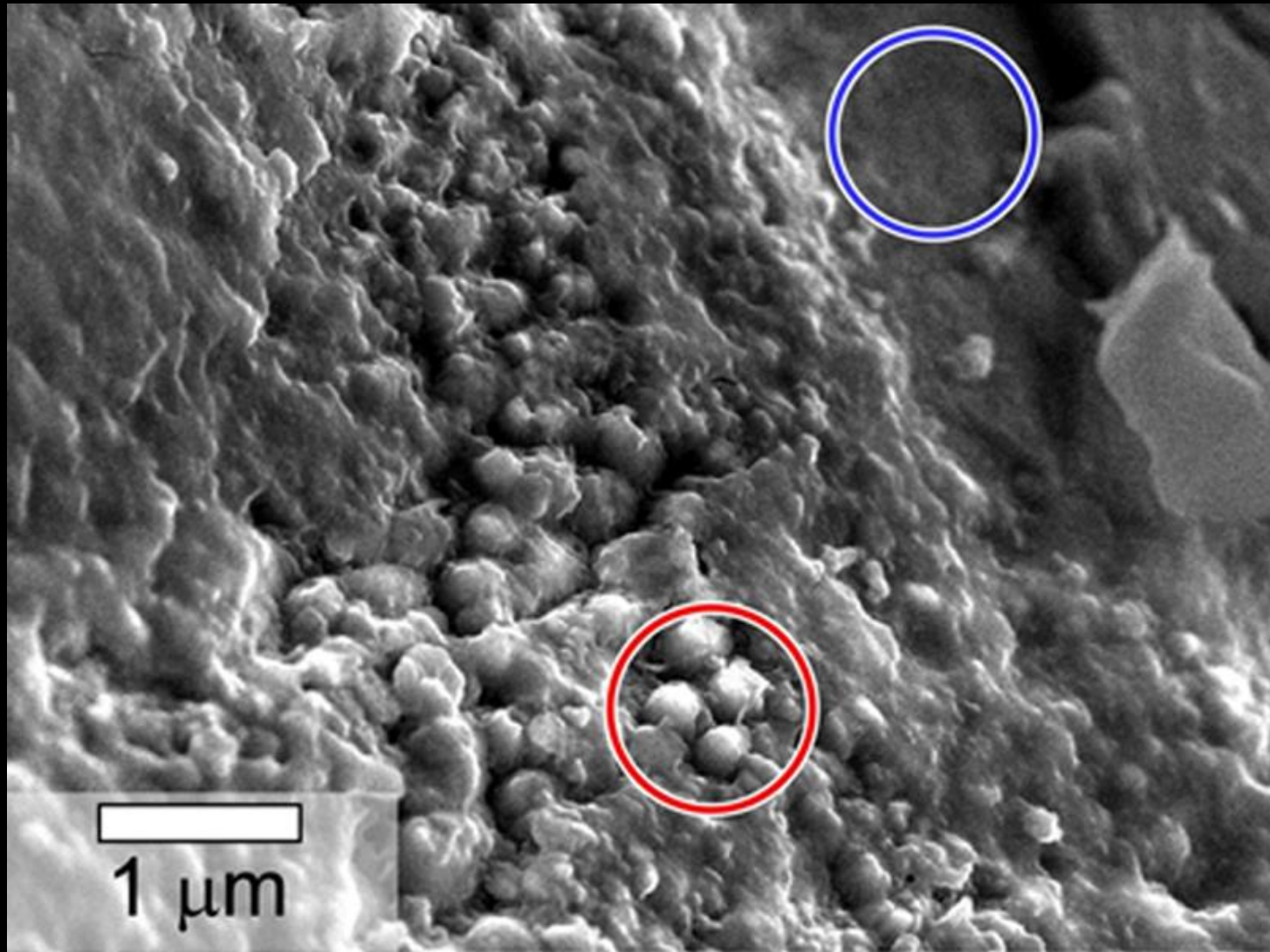
Des phospholipides permettant la formation de membranes?



**...et éventuellement,
l'organisation de ces polymères en
"automates reproductibles".**



Des indices, trompeurs ou véritables ?



Inside meteorite Y000593; Image NASA

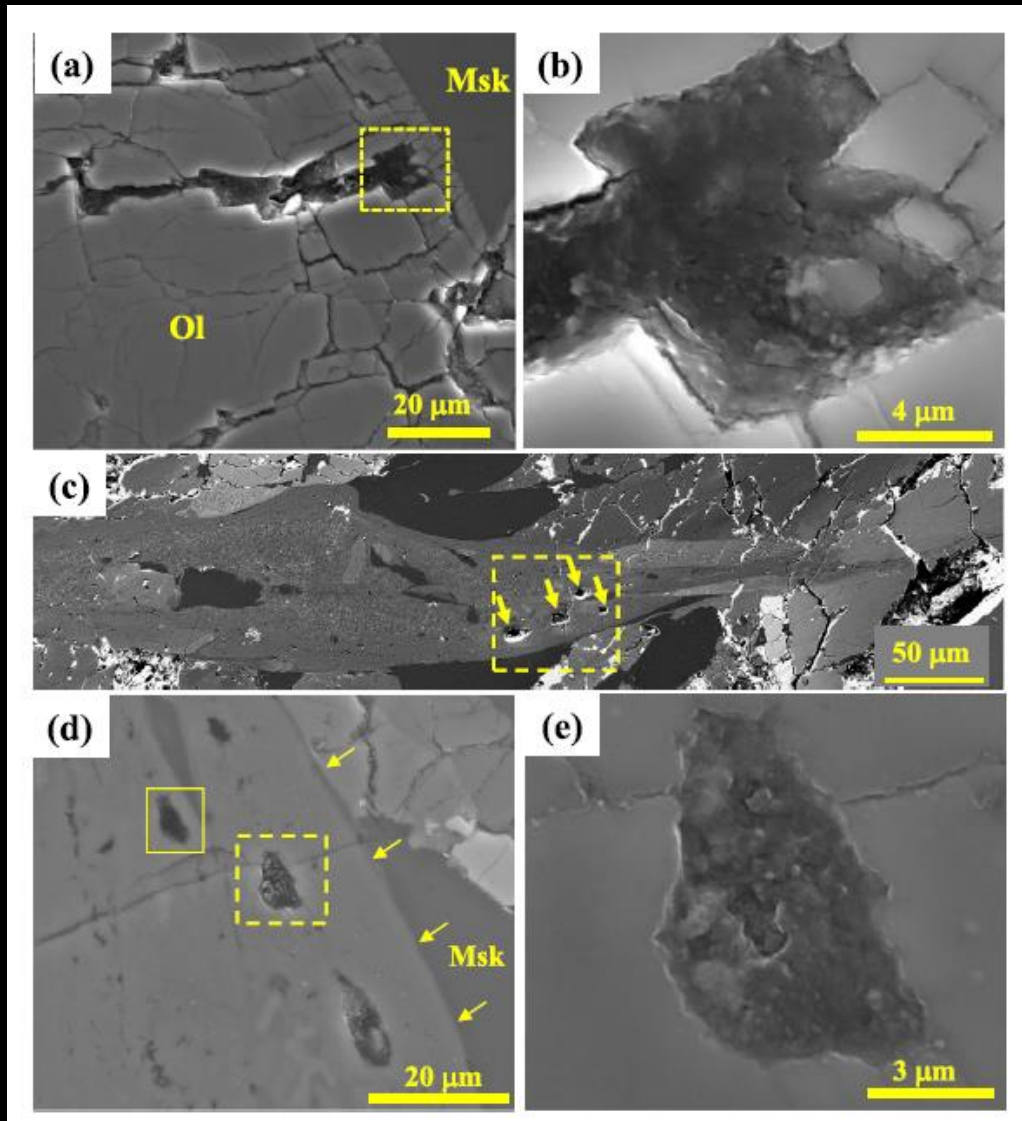
« Putative indigenous carbon-bearing alteration features in Martian Meteorite Yamato 000593 »

By Lauren M. White et al. in *Astrobiology*, Vol 14, N.2 2014 Copyright Mary AnnLiebert Inc; DOI:10.1089/ast.2011.0733

Des indices de vie ?

Matière carbonacée de type kérogène incluse dans la météorite de Tissint

Presence
d'inclusions de
matière organique
Dans des veines
fondues par choc



abondance de
H,O,P,N,Cl,S,P,F
(plus semblable
au charbon
qu'au graphite)

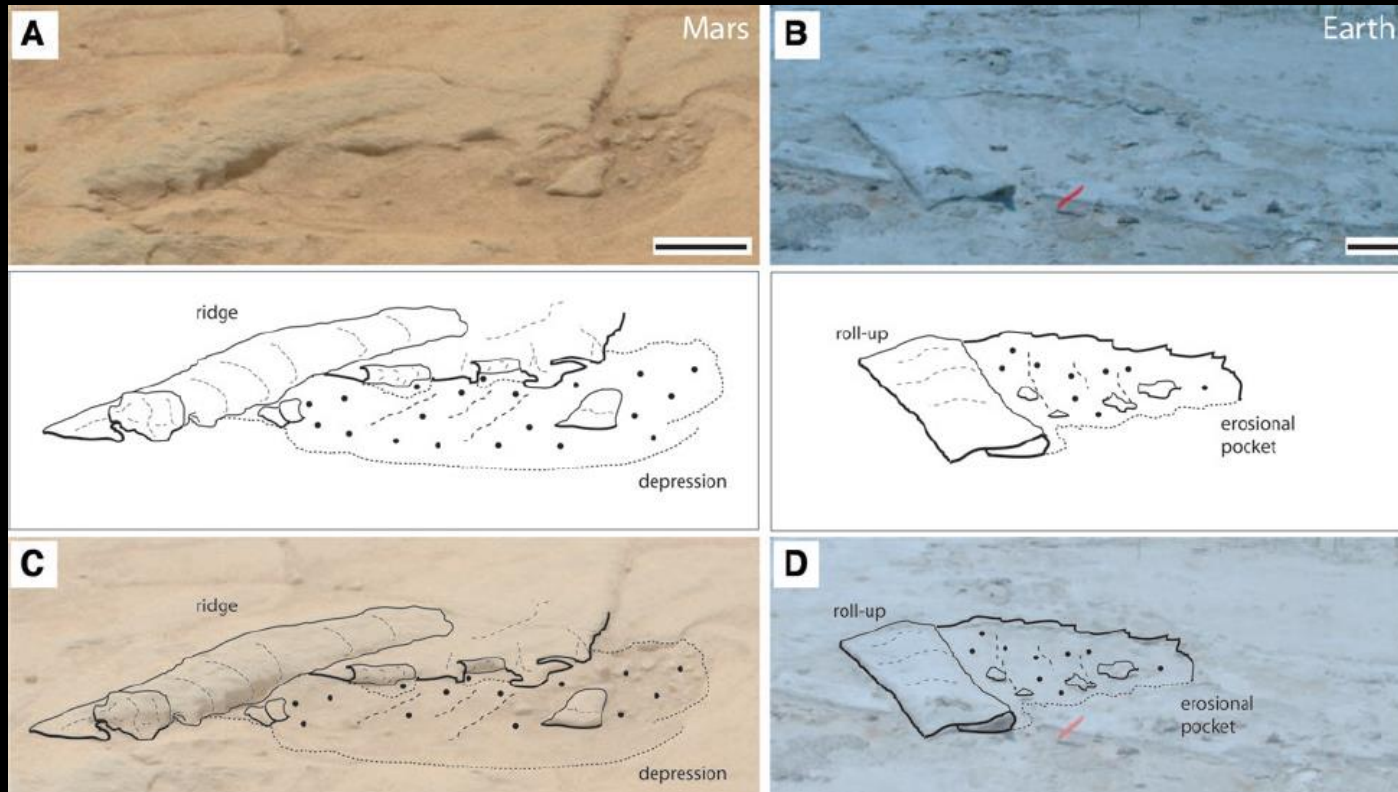
Les valeurs basses
de l'isotope 13
du carbone
pointe vers une
origine biogénique

“NanoSIMS analysis of organic carbon from the Tissint Martian meteorite: Evidence for the past existence of subsurface Organic-bearing fluids on Mars”; by Yangtin Lin et al. incl. Philippe Gillet; in “Meteoritics & Planetary Science” 49, nr 12, 2201-2218 (2014); Fig. 3

Des vestiges sur Mars ?

Des microbialites sur Mars ?

Interprétation de reliefs sur une plaque de grès de « Gillespie Lake » (Yellowknife Bay)



in “Ancient sedimentary structures in the <3.7 Ga Gillespie Lake member, Mars, that resembles macroscopic morphology, spatial associations and temporal succession in Terrestrial Microbialites”

By Nora Noffke in *Astrobiology*, vol. 15 n°2 2015

© Mary Ann Liebert Inc DOI:10.1089/ast 2014.1218

Endroit où Nora Noffke a cru discerner des microbialites



Gillespie Lake Sandstone in the Yellowknife Bay outcrop (Glenelg area, Gale crater)
Image Credit (Feb 14th 2013): NASA/JPL-Caltech/MSSS

Au minimum, on sait que Mars a été habitable !

Le forage « John Klein » (« Yellowknife Bay ») de Curiosity's
a permis de confirmer que:

tous les éléments chimiques utilisés par la vie étaient présents sur Mars :

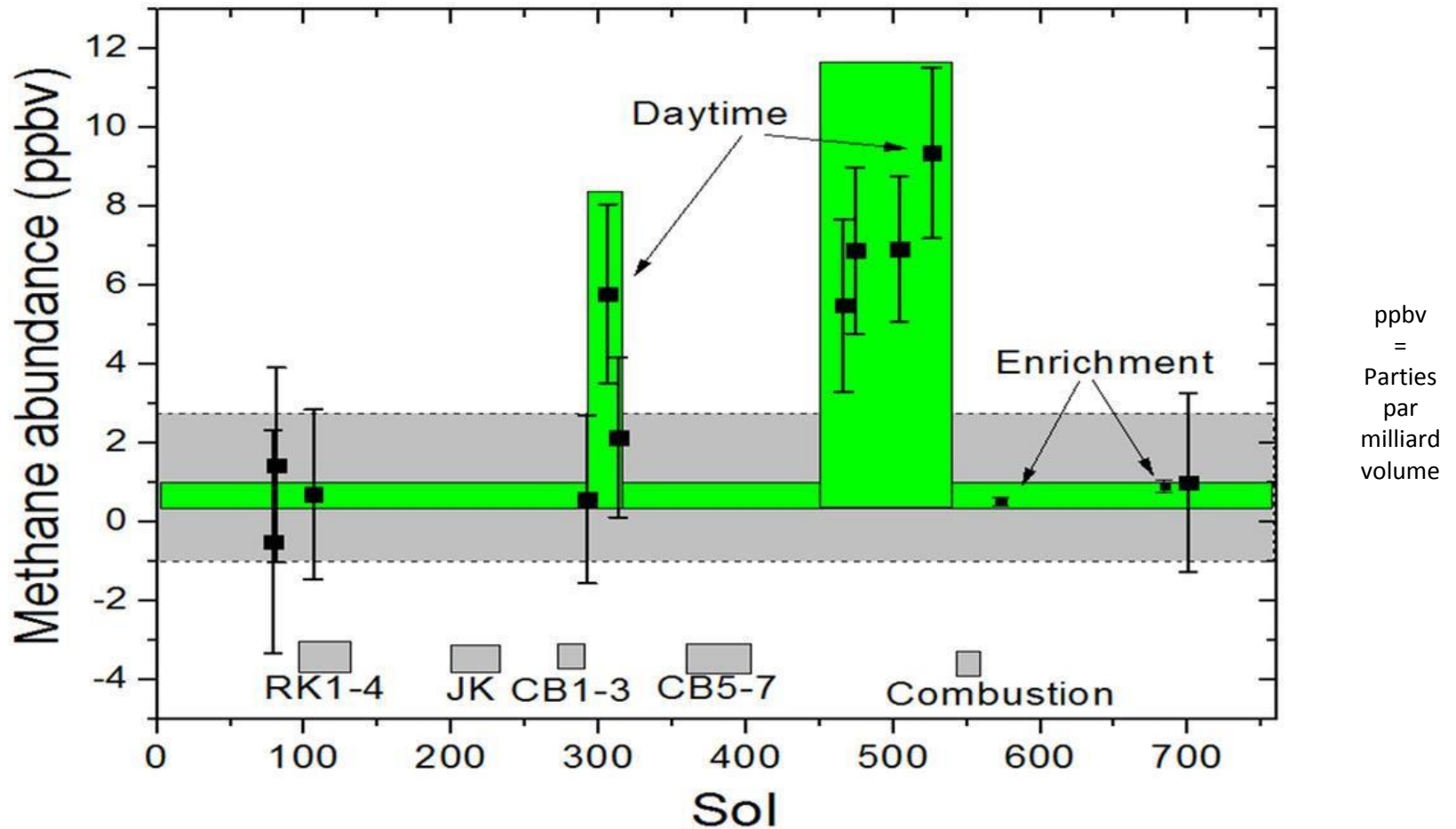
Carbone, Hydrogène, Oxygène, Azote + Phosphore, Calcium
+ Soufre, Sodium, Potassium, Manganese, fer & Chlore;

dans le passé, l'eau était active et propice à la vie:
liquide ($T > 0^{\circ}\text{C}$ / $P > n \times 1,000 \text{ Pa}$), pH neutre;

des minéraux hydratés / roches hospitalières à la vie sont présents:
Argiles, carbonates, sulfates.

**(à partir de données collectées par le laboratoire SAM
de Curiosity, instruments TLS & GC)**

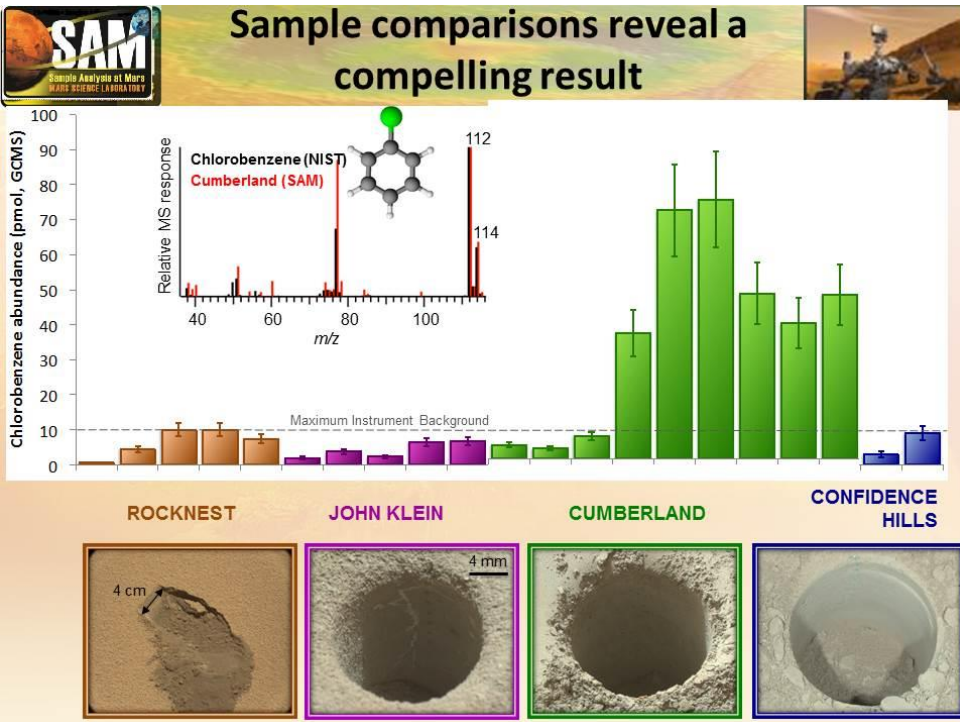
Emissions de méthane observées par Curiosity, vie ou géologie?



Measures taken within Gale crater by TLS of SAM, from Aug. 2012 till Sept. 2014 / Image Credit: NASA/JPL-Caltech

Ref : « Mars methane detection and variability at Gale Crater » in Science Express
dd 16 Dec. 2014 page 1 Doi: 10.126/Science.1261713, par Christopher R. Webster et al.

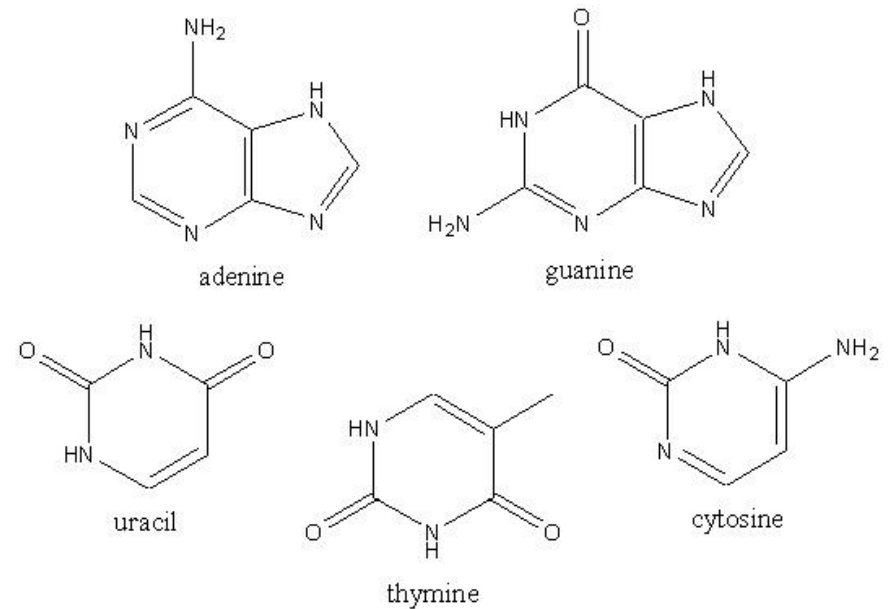
Indices chimiques de matière organique associée à la vie



Le chlorobenzène est construit autour d'un noyau aromatique de 6 atomes de carbone. Ces noyaux ("cycles") sont le coeur de la vie.

Image Credit: NASA/JPL-Caltech
12.16.2014

SAM a détecté du monoxyde d'azote (NO).
Il pourrait provenir de nitrates (NO_3^-)



On n'a pas trouvé de base azotée mais les nitrates qui sont de l'azote "fixé" sont utilisés par de nombreux processus biochimiques

Le voyage

Trajectoires et balistique

Masse

ISRU

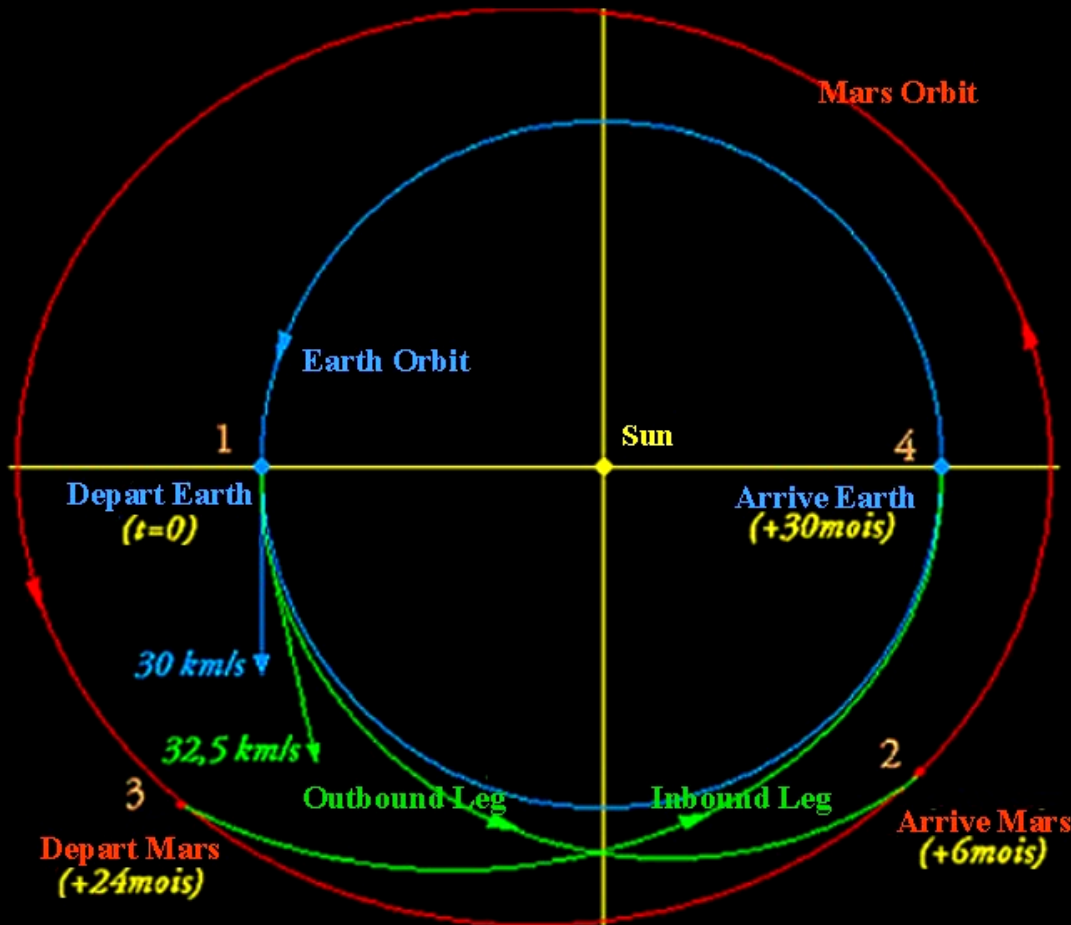
ECLSS

Gravité artificielle

Lanceurs

EDL

budget Δv pour le voyage



One Earth revolution : 365 days
 One Mars revolution : 687 days
 Launch window : every 26 months

Somme variations vitesse (Δv)
 pour différents types de mission

Orbite Géostationnaire 11,7 Km/s

Atterrissage sur Mars * 11,5 Km/s

Atterrissage sur la Lune 13,5 Km/s

Aller retour Terre / Lune 16,1 Km/s

Aller retour Terre/Mars * 18,0 Km/s

Aller retour Terre /Phobos ou Deimos*
 14,7 Km/s

• avec entrée directe ou aérofreinage.
 Ajouter 1 à 4 km/s en cas de capture
 par rétropropulsion

En partant de l'orbite basse
 terrestre :

3,5 km/s pour atteindre Mars

mais 10 km/s pour un aller retour

5 En fin de compte, le vaisseau s'éloigne de la Terre à une vitesse de 2.5 km/s ce qui lui donne une vitesse de 32,5 km/s relativement au Soleil



4 L'attraction terrestre réduit la vitesse mais diminue rapidement avec la distance

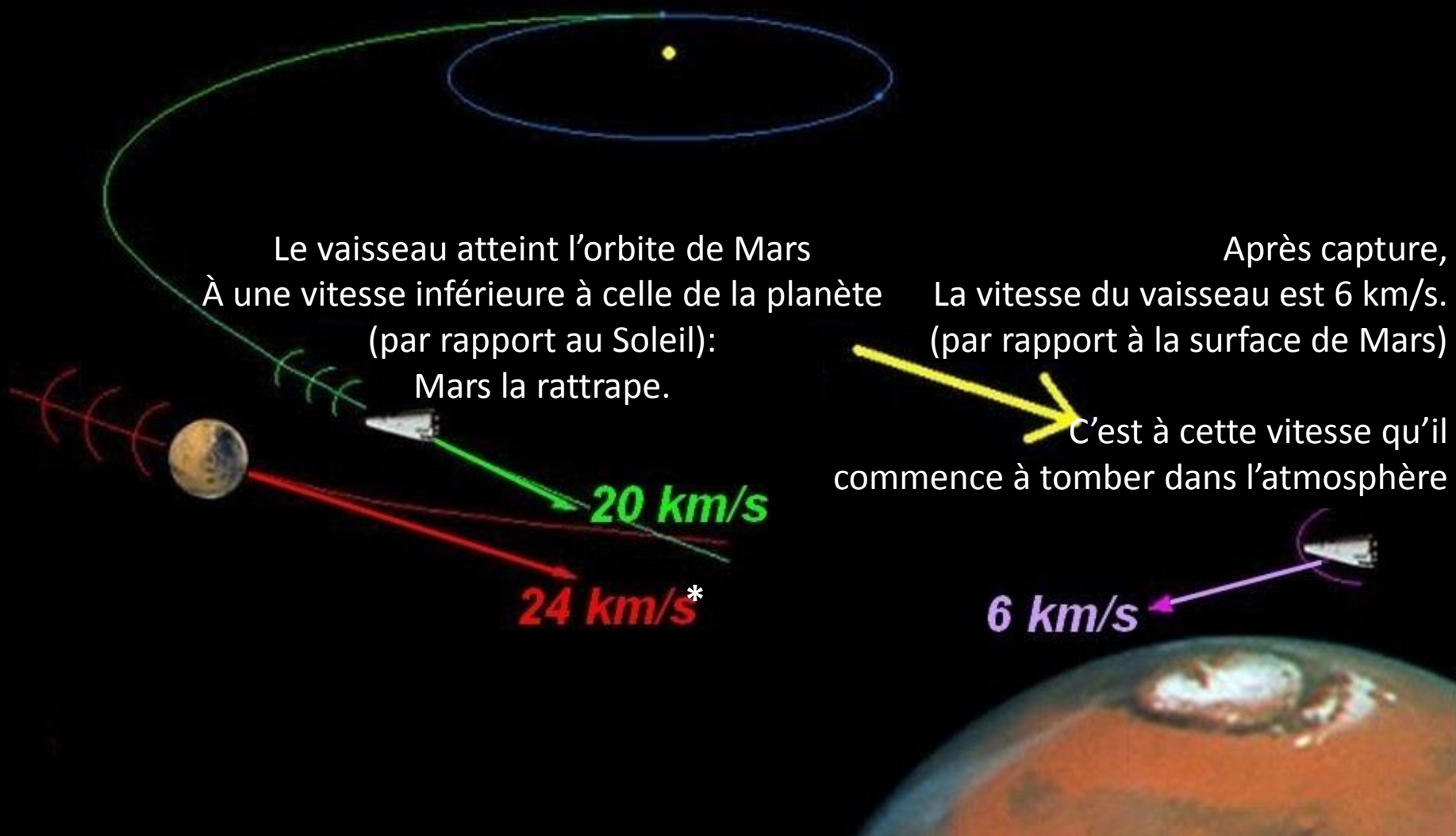
3 En augmentant la vitesse EPO de 3.5 km/s, le vaisseau est injecté dans une orbite qui nous éloigne de la Terre, vers Mars.

1 La Terre tourne autour du Soleil à une vitesse de 30* km/s

2 Sur une orbite de parking ("EPO") le poids du vaisseau, qui tourne à une vitesse de 7.9 km/s, est contrebalancé par la force centrifuge

*29,29 à 30,29

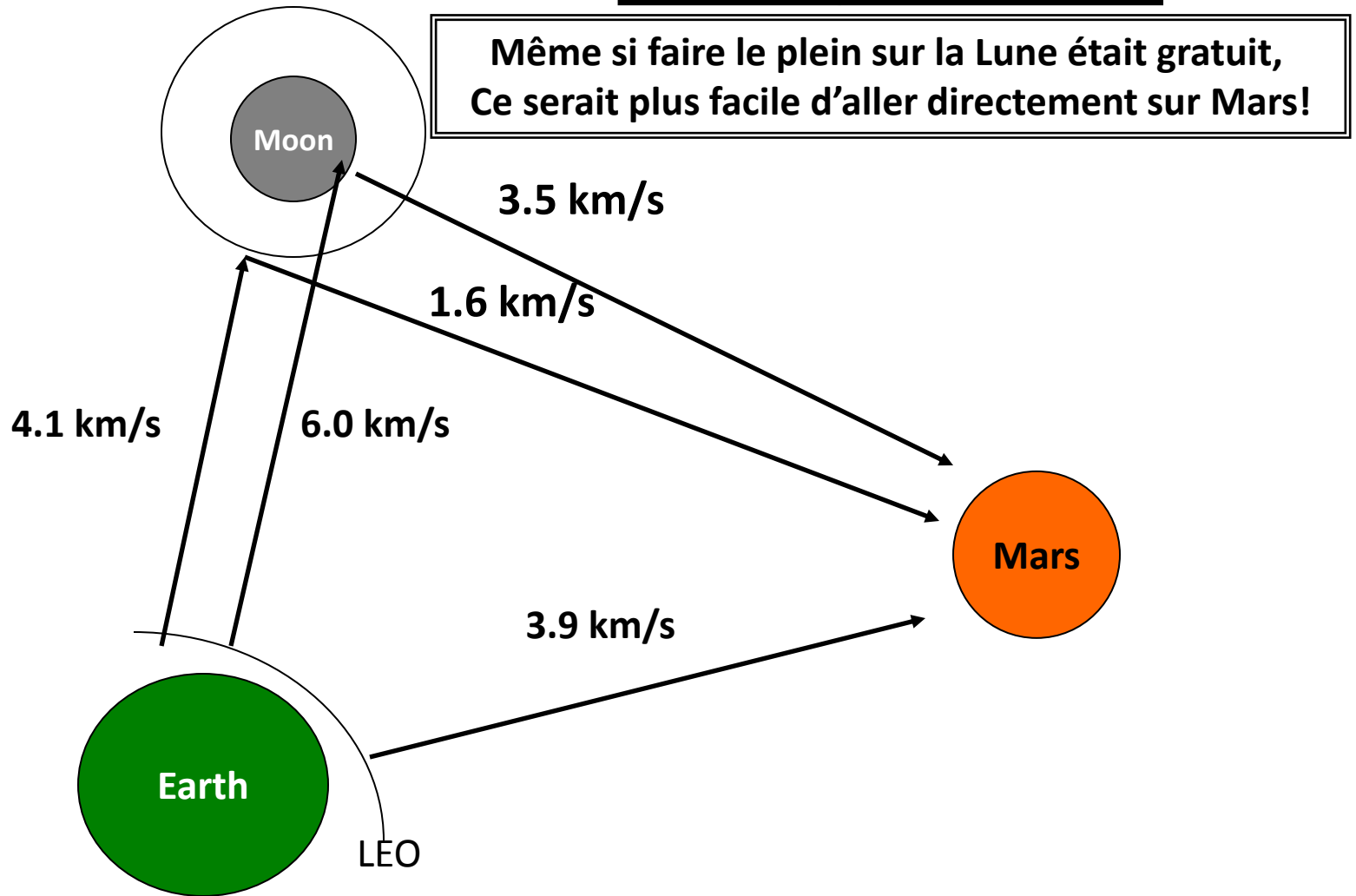
Quitter la Terre



Arriver près de Mars & se faire capturer

*21,97 to 26,50

Le piège lunaire



- (1) Un arrêt sur la Lune implique de descendre dans son puit de gravité et d'en ressortir;
- (2) L'absence d'atmosphère lunaire, signifie que l'aérocapture est impossible;
- (3) Une fois hors de la sphère d'attractivité de la Terre, la vitesse acquise se maintient.

Comment les masses (en LEO) des missions martiennes ont diminué



65 ans
d'études:
**Des solutions
toujours
plus légères**

1950: 37000 t
en LEO !

Mais 70 astronautes !

1960: 2000 t

1990: 400 t

Mars Society:
280t

Comparaison:

Saturn V 130 t



- Des ergols plus efficaces :
méthane et oxygène

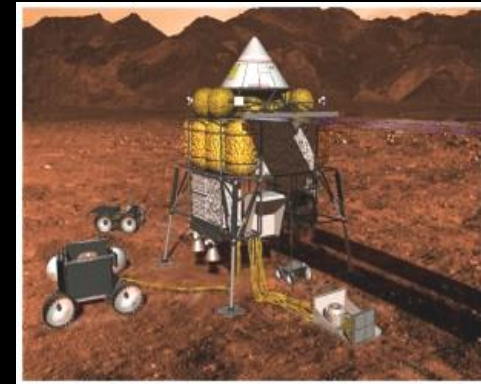
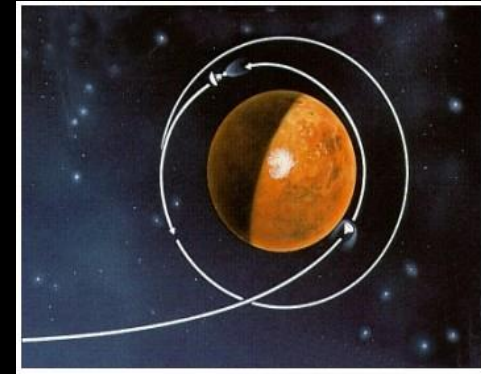
- Utilisation de
l'atmosphère pour
aérofreinage

⇒ masse ÷ 2

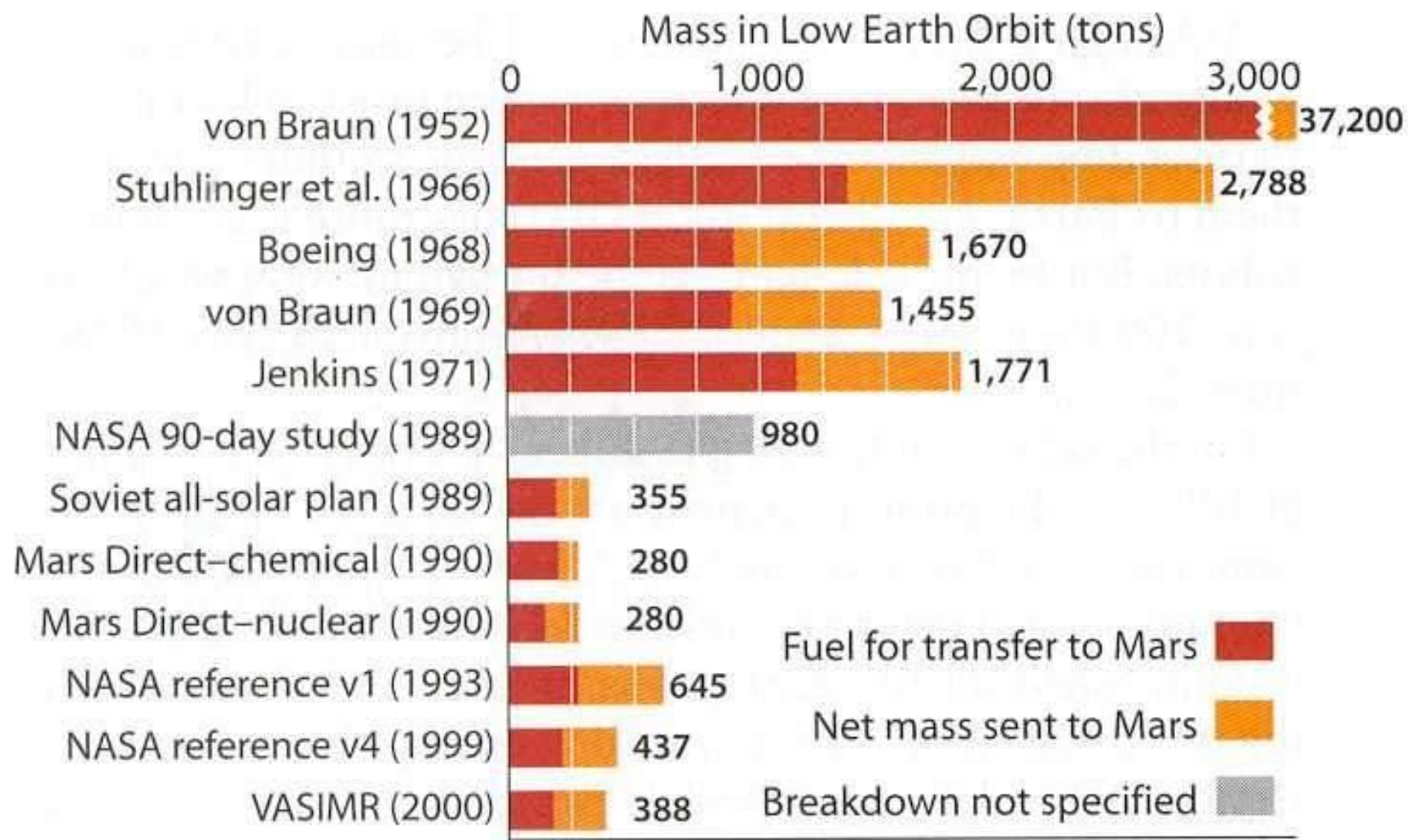
- Production d'ergols
sur Mars pour le
voyage de retour

⇒ masse ÷ 2

- *Autres...en cours d'étude:
propulsion nucléo-thermique ou
nucléo-électrique*

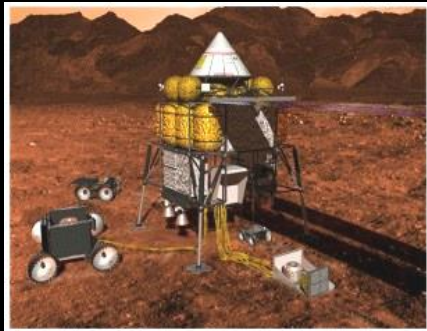
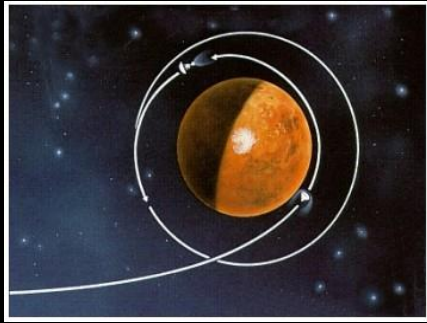


Evolution des masses en LEO pour les missions martiennes sur les décennies passées



Le coût de la mission est en relation directe avec la masse à envoyer en LEO

MARS DIRECT : UNE REVOLUTION ASTRONAUTIQUE



(1) vols directs i.e. ni assemblage en orbite terrestre, ni parking en orbite martienne;

(2) aérocapture;

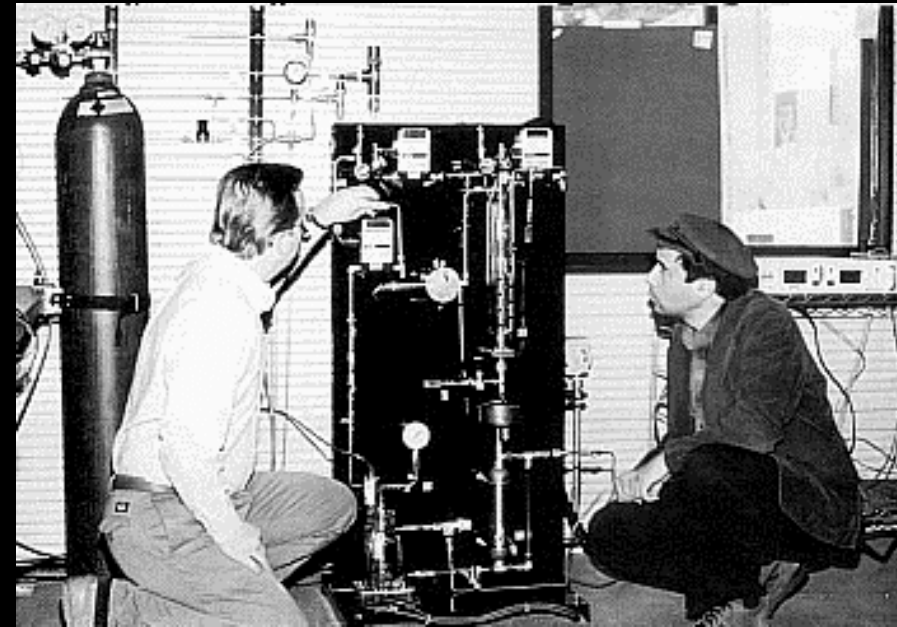
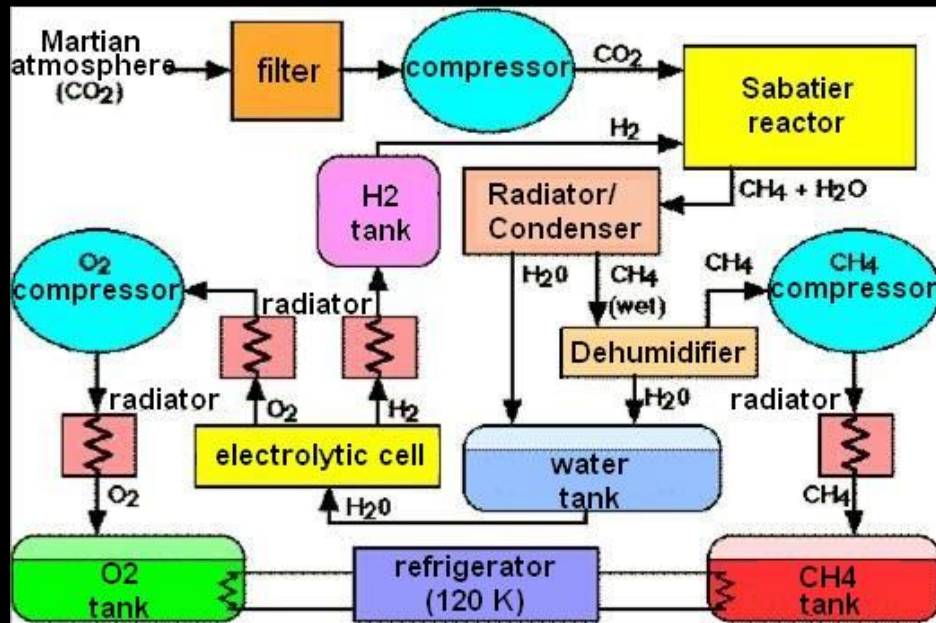
(3) ISRU / ISPP i.e. production sur Mars des ergols nécessaires au voyage de retour.



Produire sur Mars, les ergols nécessaires au retour

6 tonnes d'hydrogène importées de la Terre
+
du gaz carbonique de l'atmosphère martienne

peut donner, en 6 mois,
avec un générateur électrique de seulement 50 kW,
107 tonnes de méthane & d'oxygène !



NASA/JPL



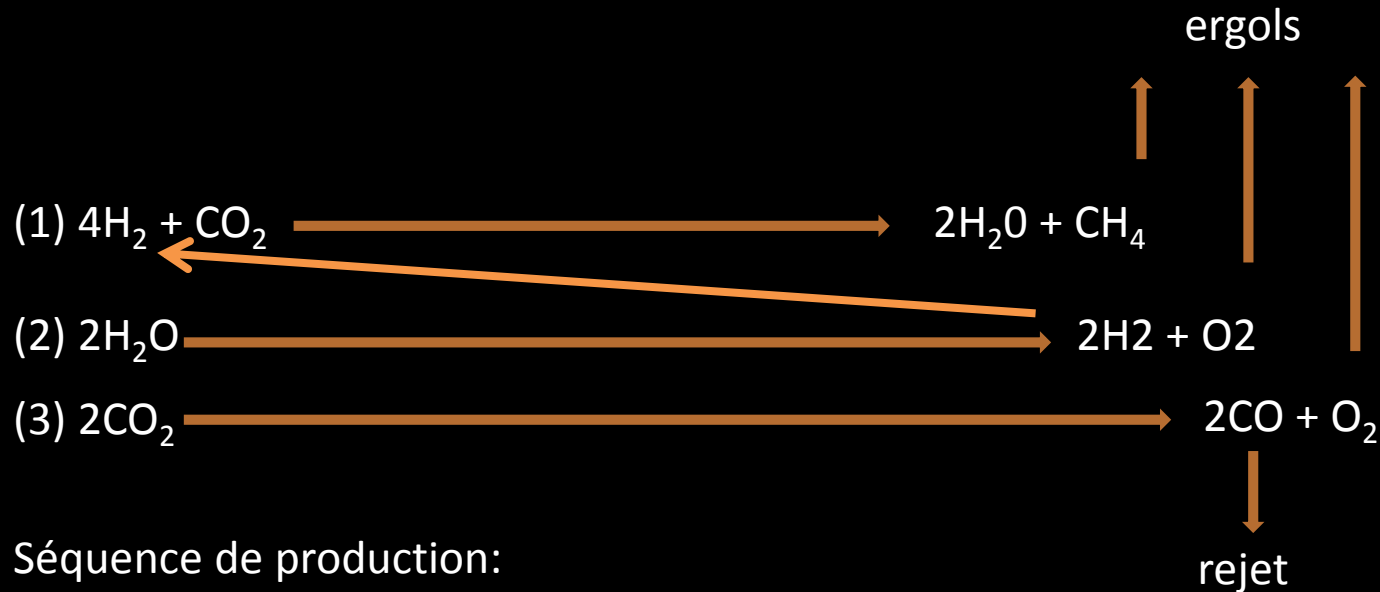
Processus de production Méthane / Oxygène

Mars • 2001 Opposition



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STSA/URA)
Hubble Space Telescope WPC2-STS16-PRC01-24



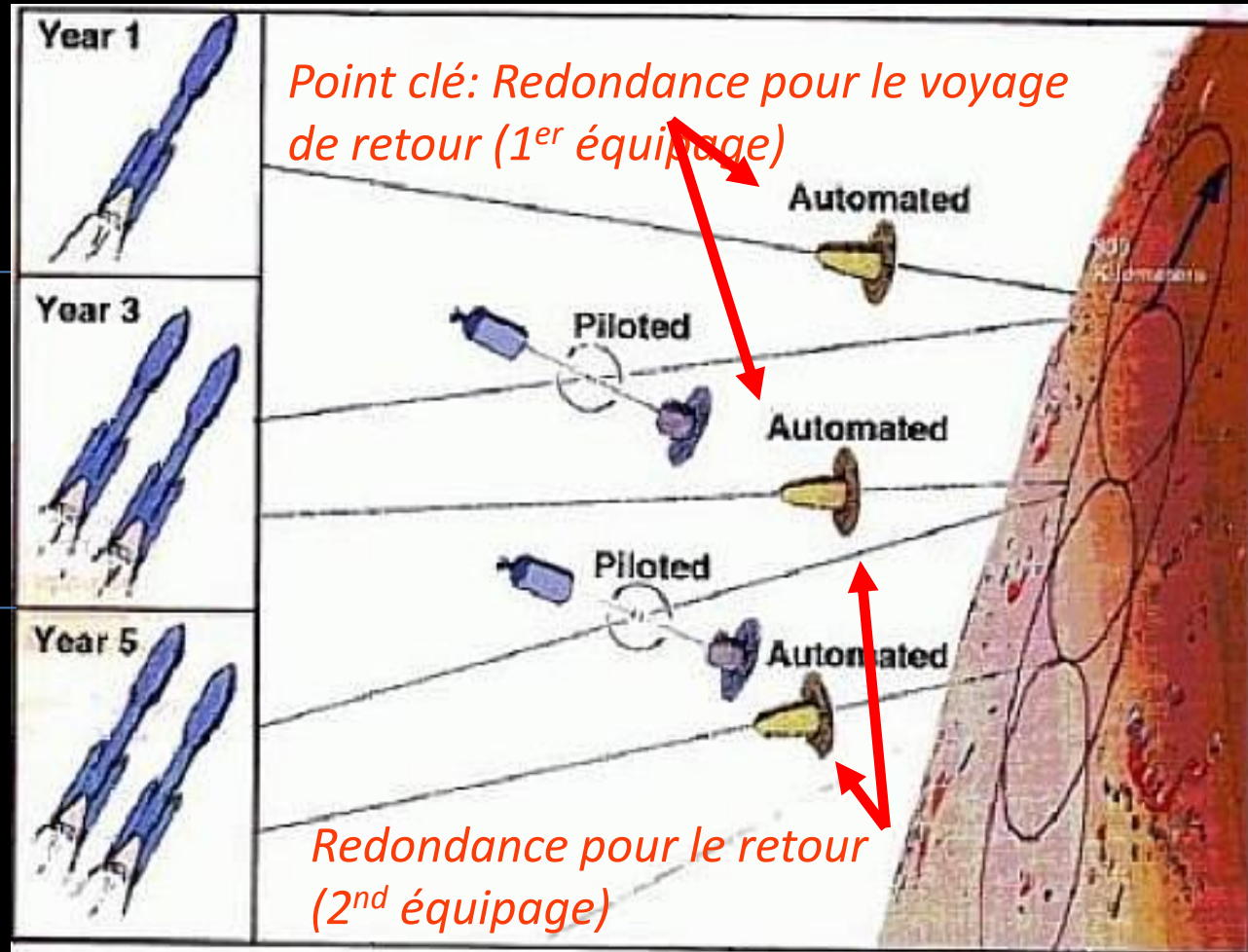
Séquence de production:

- * Le réacteur nucléaire est installé à 200 mètres de l'ERV par un tracteur robotisé;
- * On fait réagir 5.8 T de H_2 importés de la Terre avec du CO_2 (1) pour produire 37.7 T de CH_4 et de H_2O ;
- * La réaction (2) est utilisée itérativement avec (1) pour transformer cette eau en 23.2 T of CH_4 et 46.4 T de O_2 ;
- * La réaction (3) est utilisée pour produire 37.1 T additionnelles de O_2 ;
- * Un total d'ergols de 106.7 T ($\text{CH}_4 + \text{O}_2$) est ainsi produit. Brûlés dans un ratio de 3,6:1 (Isp = 373 s), ils permettront de revenir sur Terre.

Mars Direct, une mission 100 % à propulsion chimique

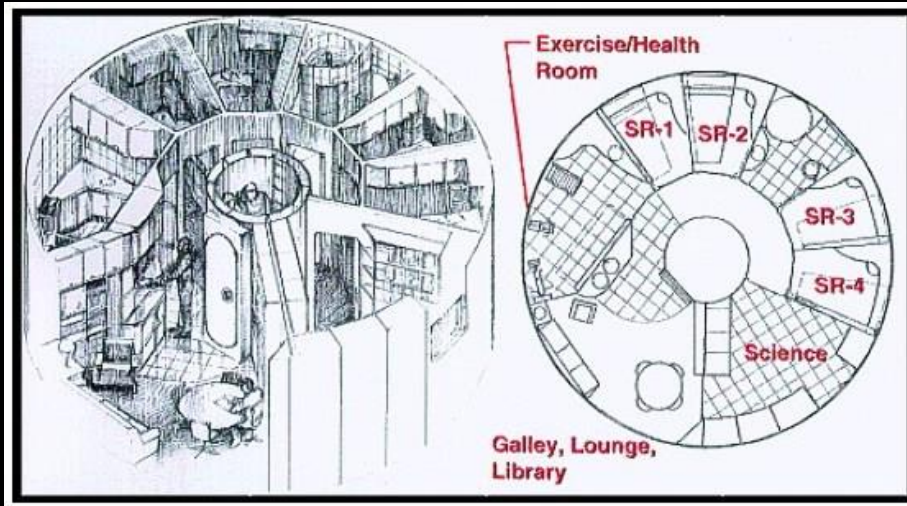
Schéma de Mission

- Lancement vers Mars d'un véhicule de retour inhabité (« ERV ») avec une unité de production d'ergols (Sabatier)
- Lancement de l'équipage vers Mars avec son habitat martien
- lancement d'un second ERV avec unité de production d'ergols (pour redondance).
- Lancement d'une troisième ERV avec troisième unité de production d'ergols.
- Lancement d'un second vol habité



Problèmes posés par le Voyage

(6 mois dans chaque sens)



Problem clé n° 1 (« PC1 »): radiations et surtout SPE (éruptions solaires) =>

Abri central avec protection 15 cm eau

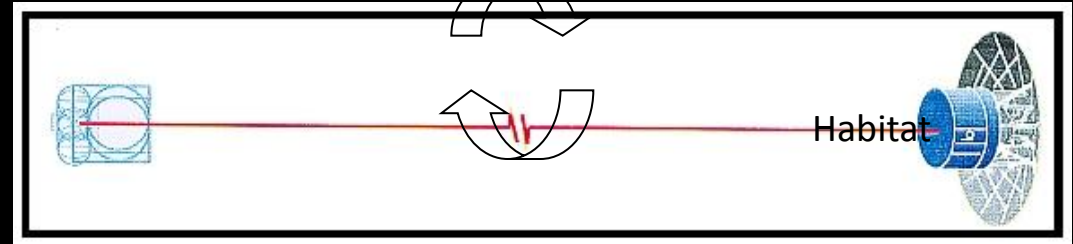
Dose totale radiation pour une mission de 2,5 ans = 70 rem

à comparer à 100 à 400 rem autorisés sur la durée d'une vie.

PC2: microgravité =>

gravité artificielle par rotation: avec un filin de 1500 m et 1 tpm => gravité martienne (filin kevlar =600kg).

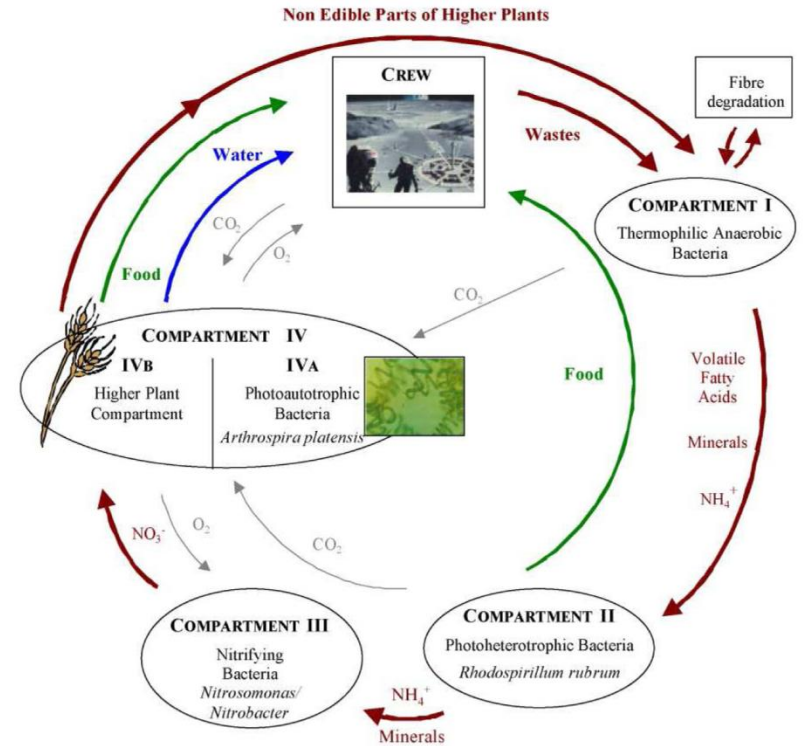
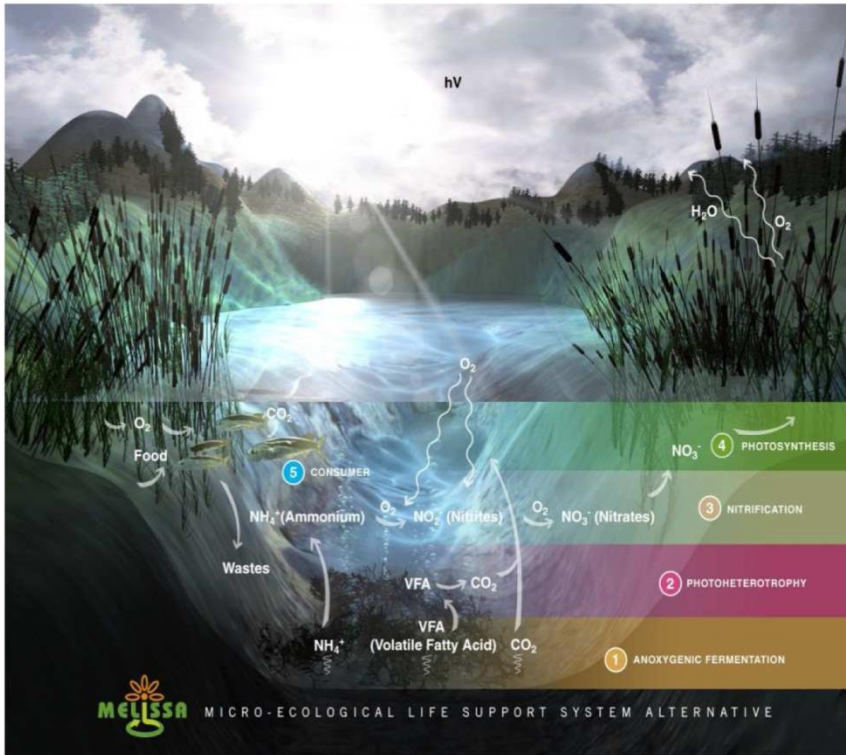
PC3: fiabilité des systèmes, redondance et réparabilité pour un voyage de 2ans 1/2 !



PC4: ...et comportement psychologique de l'équipage => processus de sélection d'un groupe et non seulement d'individus.

MELISSA

(partie de PC3)



ECLSS = recyclage => MELiSSA...

...& contrôle sanitaire

=> MiDASS

(« Microbial Detection in Air System for Space »)

EC-ESA WORKSHOP ON INNOVATION AND TECHNOLOGY WITHIN SPACE EXPLORATION

Midass

ESA and bioMérieux have co-developed the world first fully automated system for the monitoring of air and surfaces for microbial contamination based on molecular detection



Organized by  European Commission
Enterprise and Industry  

Un sujet aussi important que la nutrition et la régénération de l'oxygène

Masses Nécessaires pour Mars Direct

*Puisque les ergols nécessaires au retour sur Terre
seront produits sur Mars,*

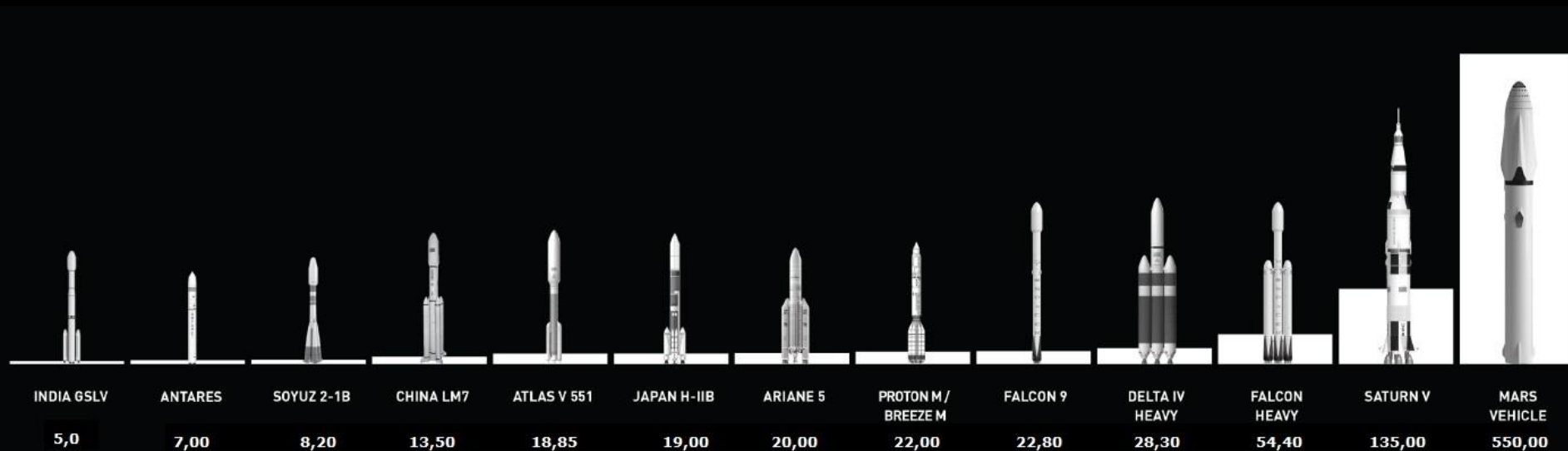
Pas plus de:

2 x 130 tonnes en orbite basse terrestre (comme Saturn V)

en deux lancements successifs (le second avec un équipage)

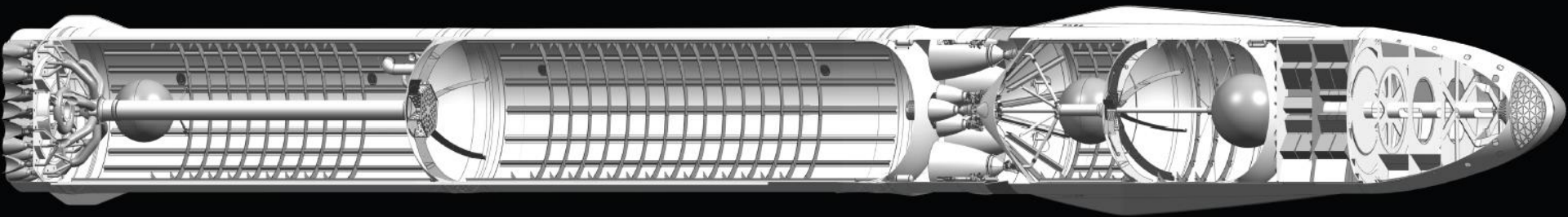
~ 35 tonnes sur Mars
(15 to 20 tonnes pour chaque lancement,
selon la vitesse choisie)

Capacités comparés des lanceurs lourds & Super lourds (masses en tonnes en LEO)



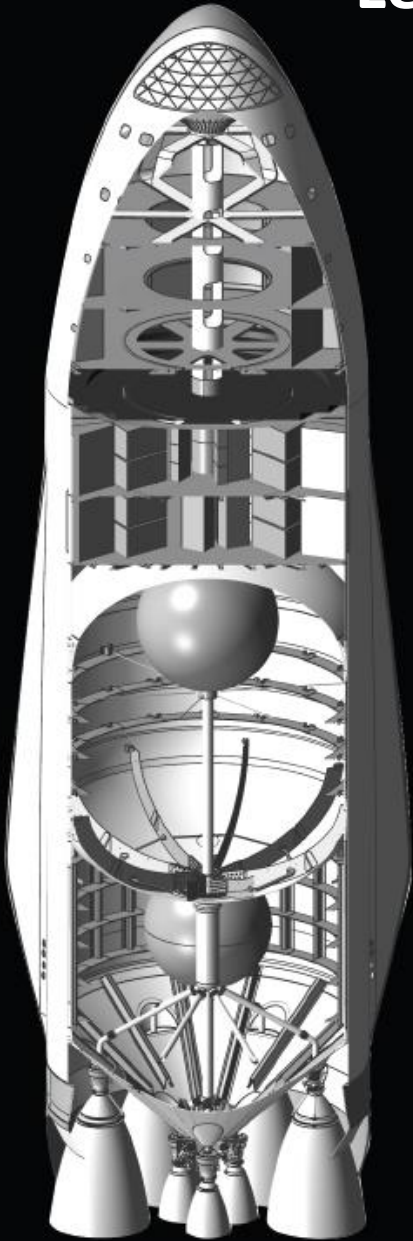
*Comparaison fournie par Elon Musk
Charges en LEO en seconde ligne*

L'ITS (nterplanetary Transport System) d'Elon Musk (111 mètres de hauteur!)



Carbon-fiber primary structure
Densified CH₄/O₂ propellant
Autogenous pressurization

Le Vaisseau interplanétaire d'Elon Musk (ITS)



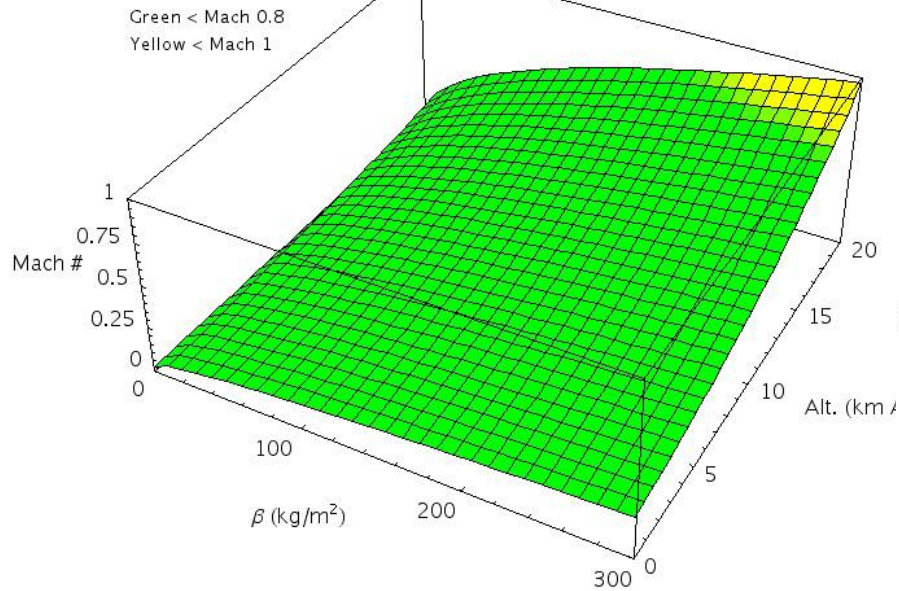
Length	49.5 m
Max Diameter	17 m
Raptor Engines	3 Sea-Level - 361s Isp 6 Vacuum - 382s Isp
Vacuum Thrust	31 MN
Propellant Mass	Ship: 1,950 t Tanker: 2,500 t
Dry Mass	Ship: 150 t Tanker: 90 t
Cargo/Prop to LEO	Ship: 300 t Tanker: 380 t
Cargo to Mars	450 t (with transfer on orbit)

Long term goal of 100+ passengers/ship

Contrainte de vitesse pour l'EDL

Comparison des vitesses terminales de descente
Terre vs Mars
en fonction du coefficient ballistic, β .

Earth Terminal Velocity Mach No. vs β and Altitude



Mars Terminal Velocity Mach No. vs β and Altitude

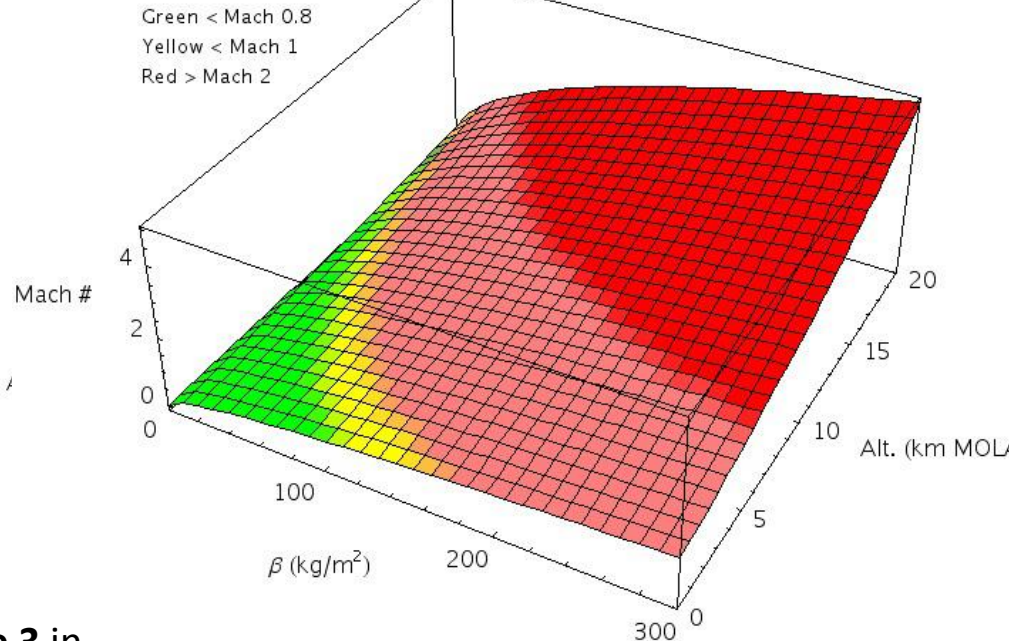


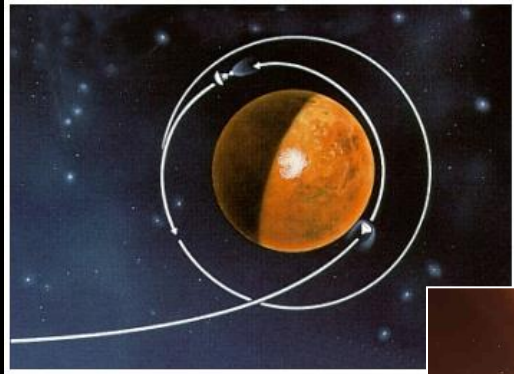
Figure 3 in

Mars Exploration Entry, Descent and Landing Challenges 1,2

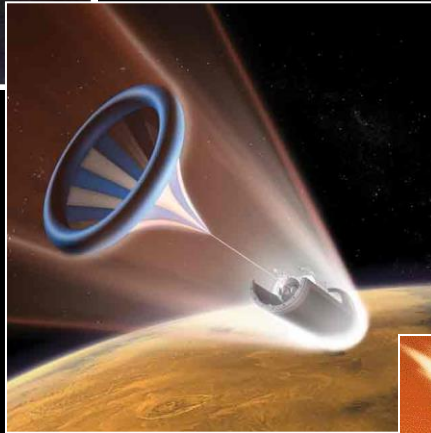
By Robert D. Braun (Georgia Tech) and Robert M. Manning (JPL)

ENTREE, DESCENTE & ATERRISSAGE (« EDL »)

Insertion en orbite par aérocapture



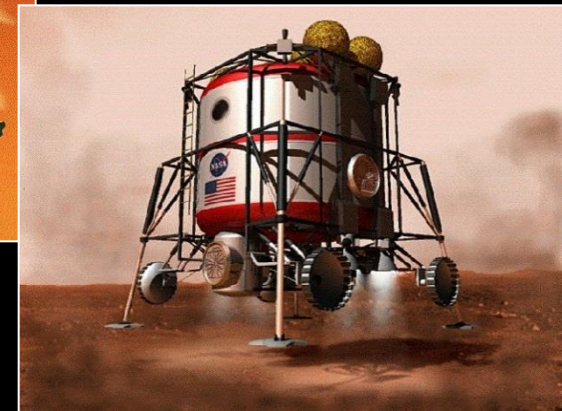
Entrée atmosphérique



Descente sous parachutes



Freinage final & atterrissage



L'EDL est la partie la plus difficile du voyage

La ténuité de l'atmosphère martienne induit deux conséquences négatives:

- (1) un plafond aux charges individuelles qui peuvent être déposées en surface (= ~ 20 tonnes);
- (2) le choix d'un site d'atterrissage à l'équateur & aux altitudes les plus basses de la planète.

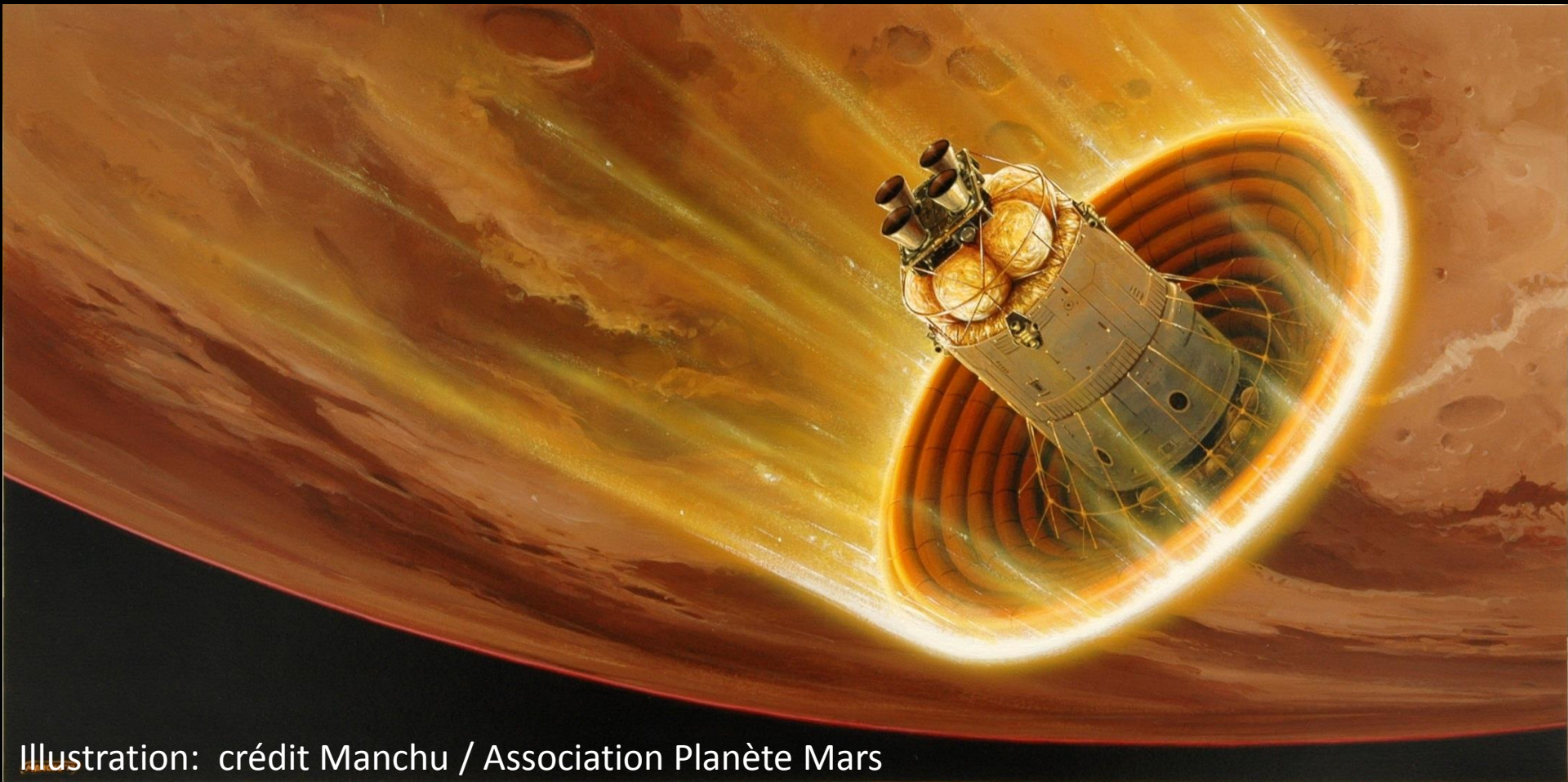
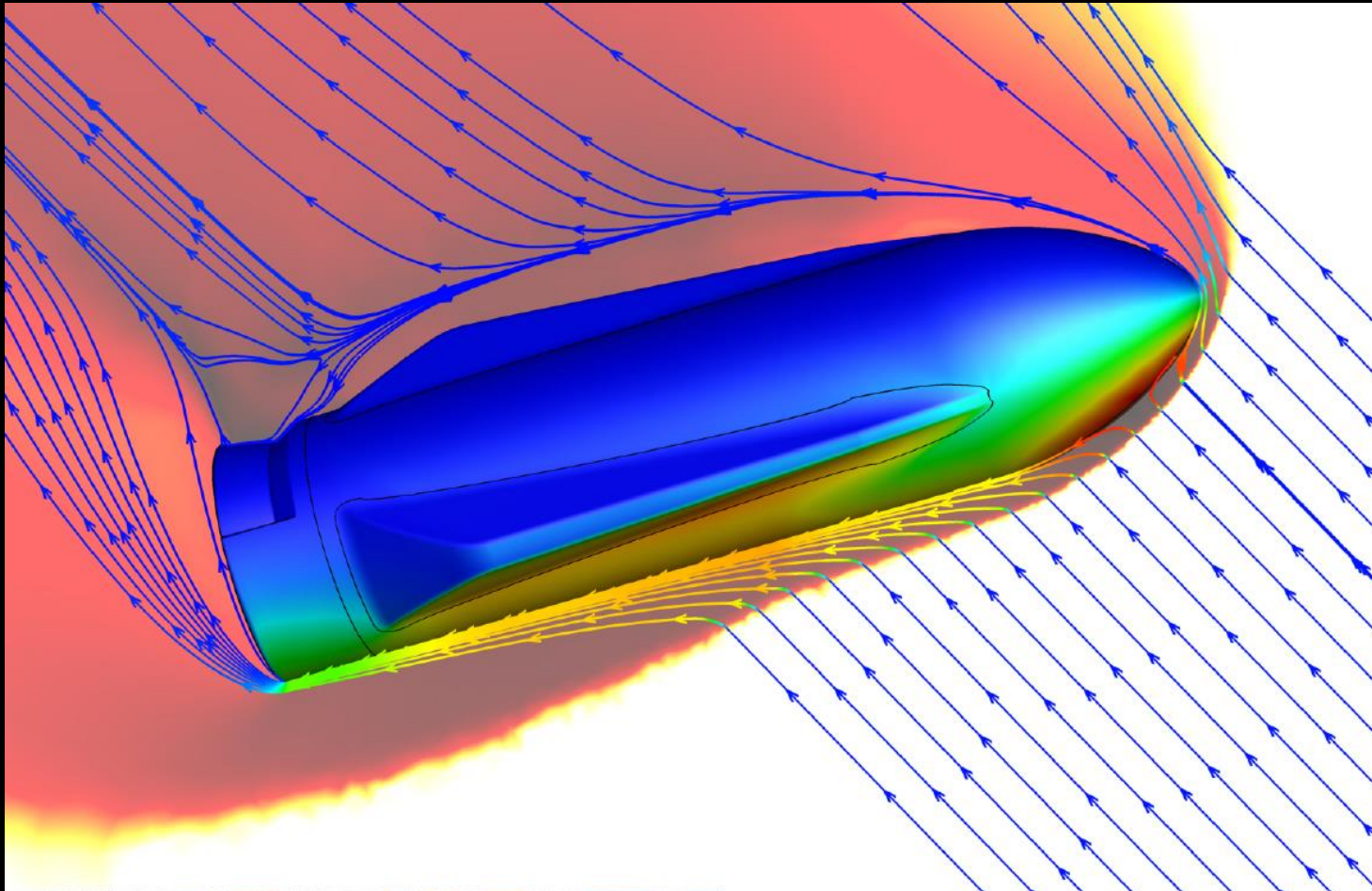


Illustration: crédit Manchu / Association Planète Mars

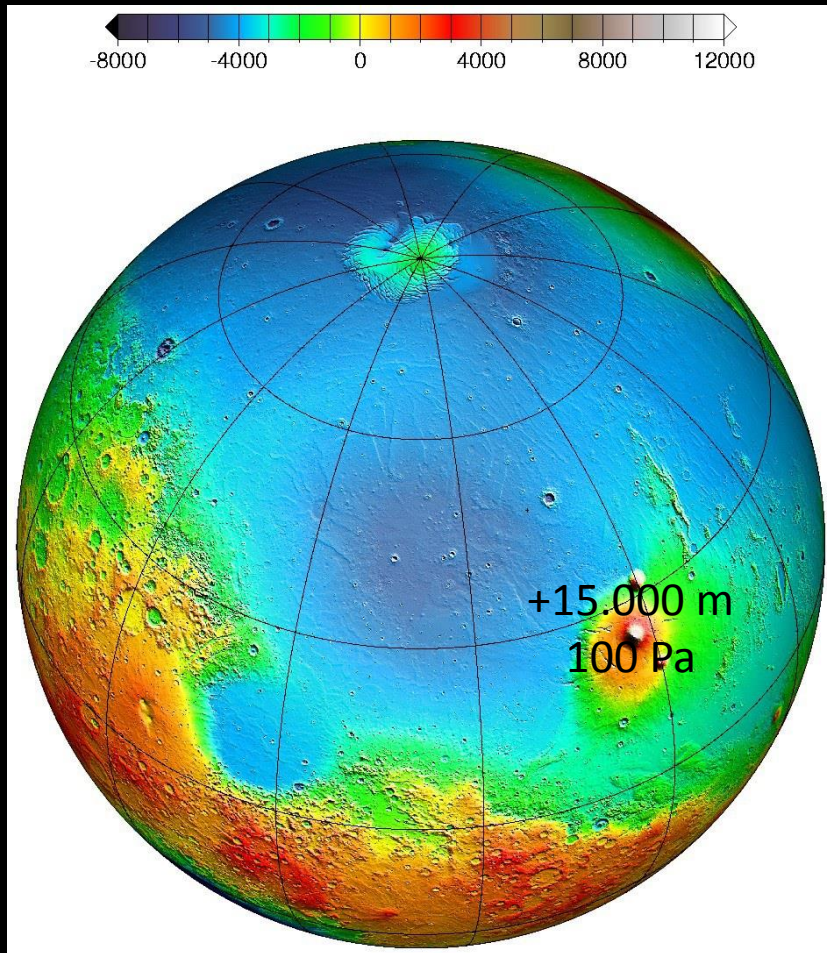
Entrée dans l'atmosphère de l'ITS d'Elon Musk avant le retournement et la rétropropulsion



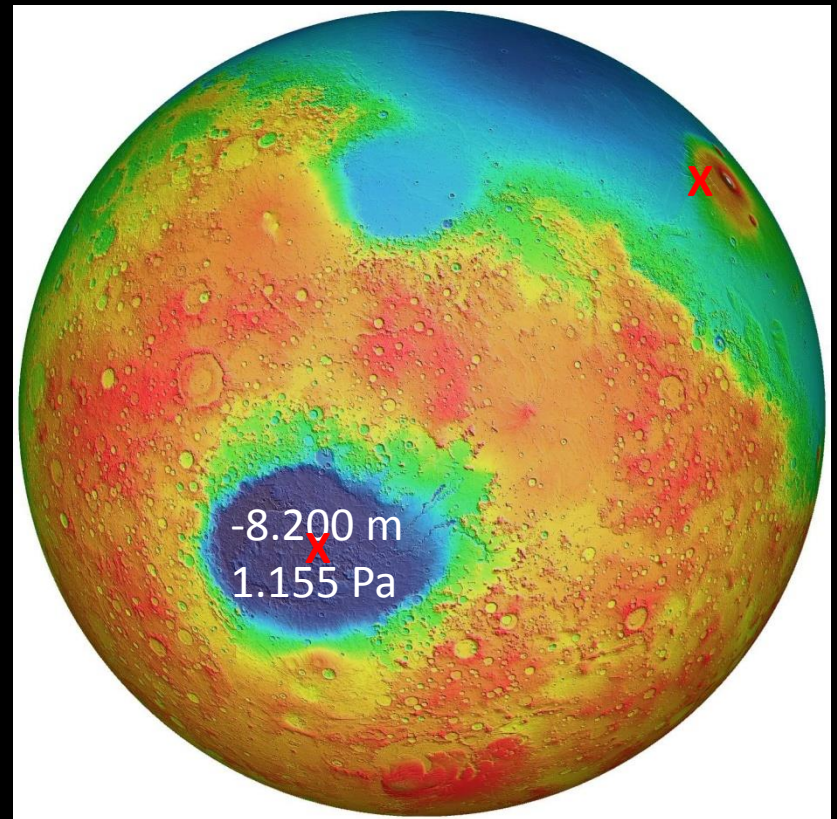
Un défi que l'on peut relever avec une quantité importante d'ergols à bord

Extrait de la présentation d'Elon Musk à la 67ème IAC, Guadalajara 27 Sept. 2016

Où atterrir?



Hémisphère Sud



Credit MOLA Science Team (NASA).

Datae from « Mars Orbiter Laser Altimeter » (« MOLA »)
on board Mars Global Surveyor (« MGS »), between 1997 and 2001.



Le premier habitat sur Mars

Updated and revised to include the latest information about Mars exploration

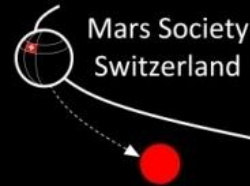
THE CASE FOR MARS

THE PLAN TO SETTLE THE RED PLANET AND WHY WE MUST

ROBERT ZUBRIN
WITH RICHARD WAGNER

FOREWORD BY ARTHUR C. CLARKE

<http://blogs.letemps.ch/pierre-brisson/>



PROF. ANDRÉ MAEDER
L'UNIQUE TERRE HABITÉE ?



Les conditions pour la vie sur les planètes

FAVRE

WINNER OF THE 2010 ROYAL SOCIETY BOOK PRIZE
and THE 2015 BIOCHEMICAL SOCIETY AWARD

NICK LANE THE VITAL QUESTION



WHY IS LIFE THE WAY IT IS?

"One of the most exciting science writers of our time" *Independent*

EMBARQUEMENT POUR **MARS**

Une aventure humaine d'exception racontée par l'équipage de Planète Mars / Mars Society. Les défis du transport spatial et du séjour sur Mars. Les enjeux scientifiques, économiques, géostratégiques et sociétaux.

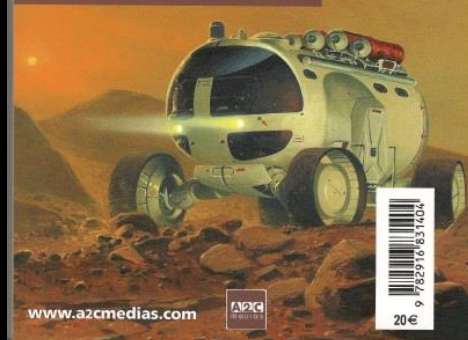
20 CLÉS POUR 20 DÉFIS À RELEVER.

La Planète rouge, une attraction absolument irrésistible.

Jean-François Pellerin
Richard Heidmann
Alain Souchier

Avec la participation de :
Pierre Brisson
Charles Frankel
Didier Bailleau
Elisa Cliquet-Moreno
Cécile Lambert
Dominique Ledevin
Yves Monier
Jean-Marc Salotti
Boris Segret

Préface de
Thomas Pesquet
astronaute français



www.a2cmedias.com



Human Missions to Mars

Enabling Technologies for Exploring the Red Planet

Donald Rapp

Springer

PRAXIS

