



Doc. A. Souchier



Mars, pour quand le voyage ?

Palais de la
Découverte
le 11 juin 2016

Doc. NASA

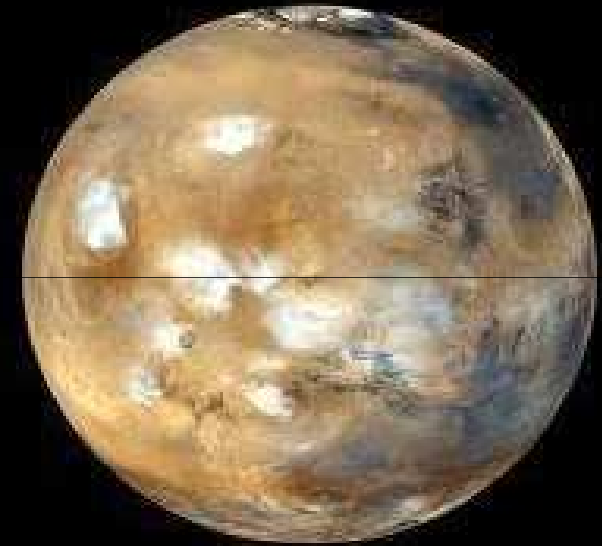


www.planete-mars.com

DEUX PLANÈTES SŒURS

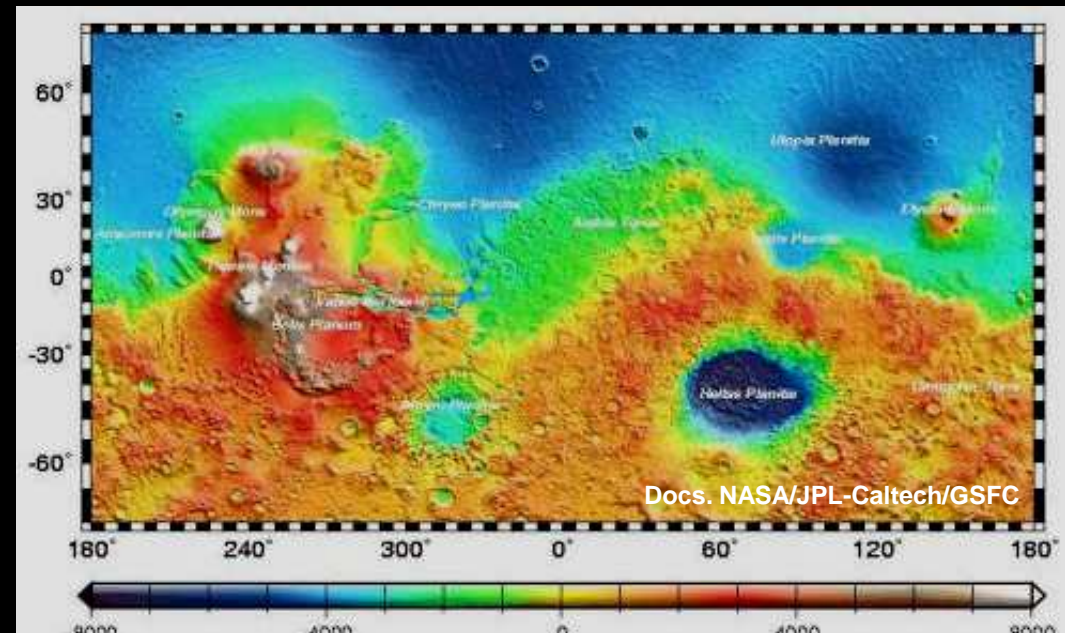


La planète
océan



La planète désert
Une journée de 24h40mn

Mais un
ancien
océan ?



Docs. NASA

www.planete-mars.com


ATMOSPHERE ET NUAGES

Mais une pression de seulement 7 mb (150 fois plus faible que sur Terre) et une atmosphère de gaz carbonique



Au sol: des mini tornades de poussière

Docs. NASA/JPL-Caltech

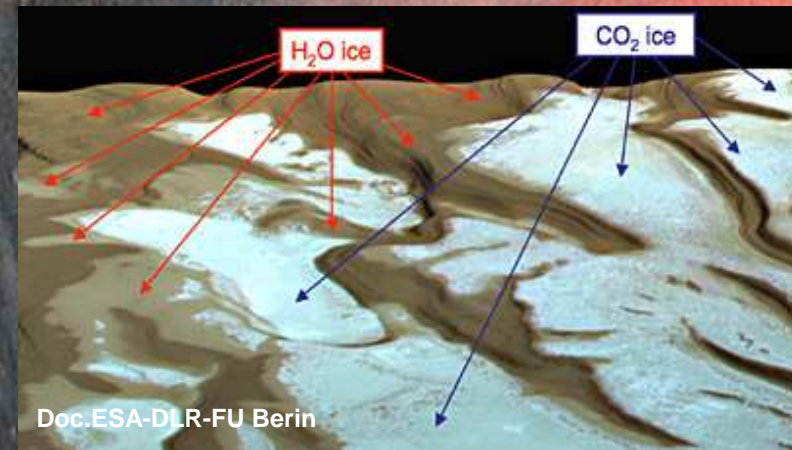


Et des grandes tempêtes de poussière

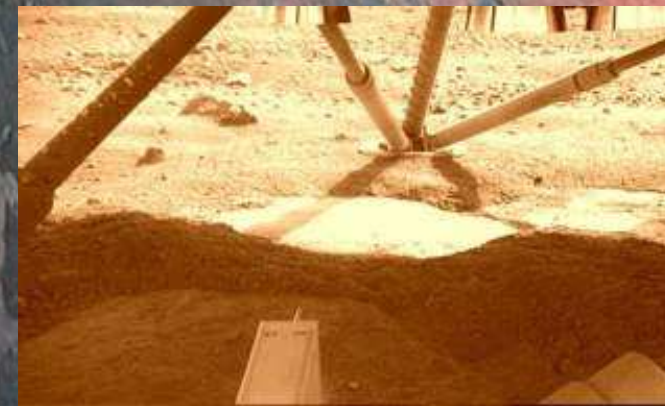
Vitesse à diviser par 9 pour équivalent terrestre

PÔLES

CALOTTE AUSTRALE



Jusqu'à 3,5 km d'épaisseur de glace



2008: Phoenix posé sur de la glace

Docs. NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona/Texas A&M University/APM



UNE PLANÈTE VOLCANIQUE

OLYMPUS MONS : 22 KM DE HAUT

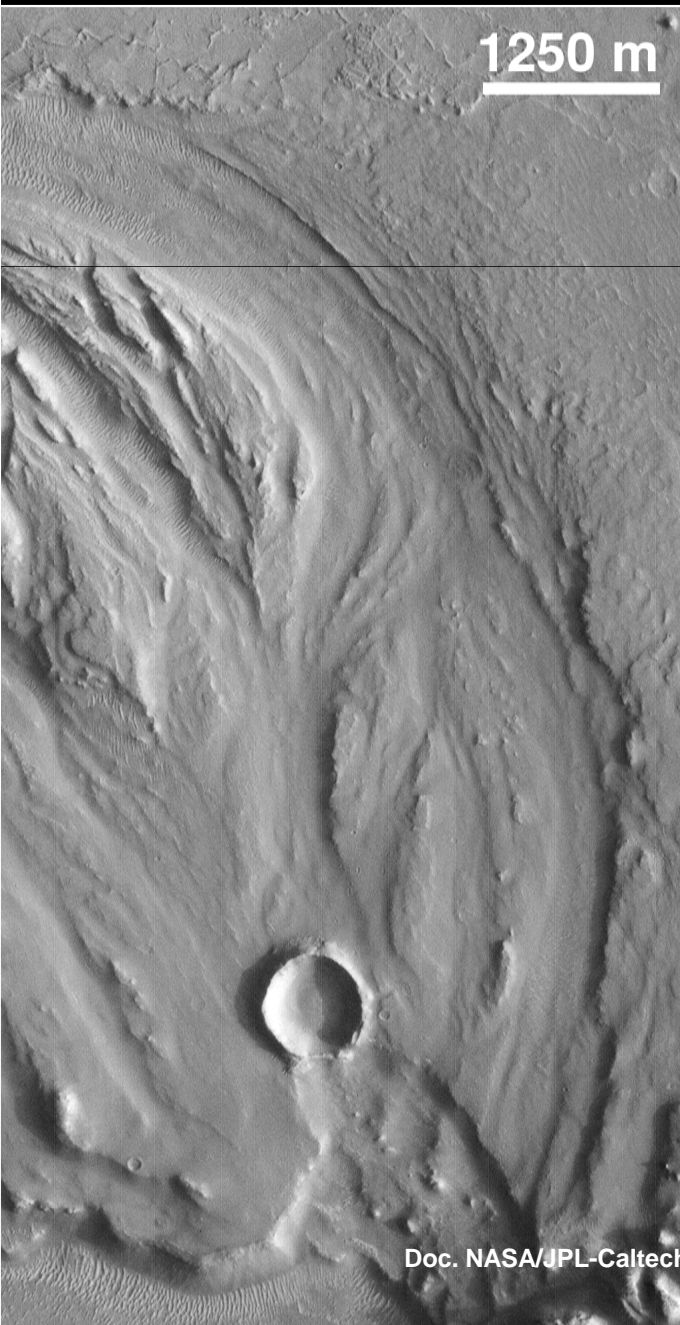
Doc. NASA/JPL-Caltech

Doc. ESA-DLR-FU Berin



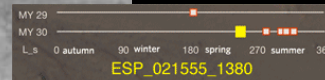
GRANDES VALLEES DE DEBACLE

Fonte de glace souterraine

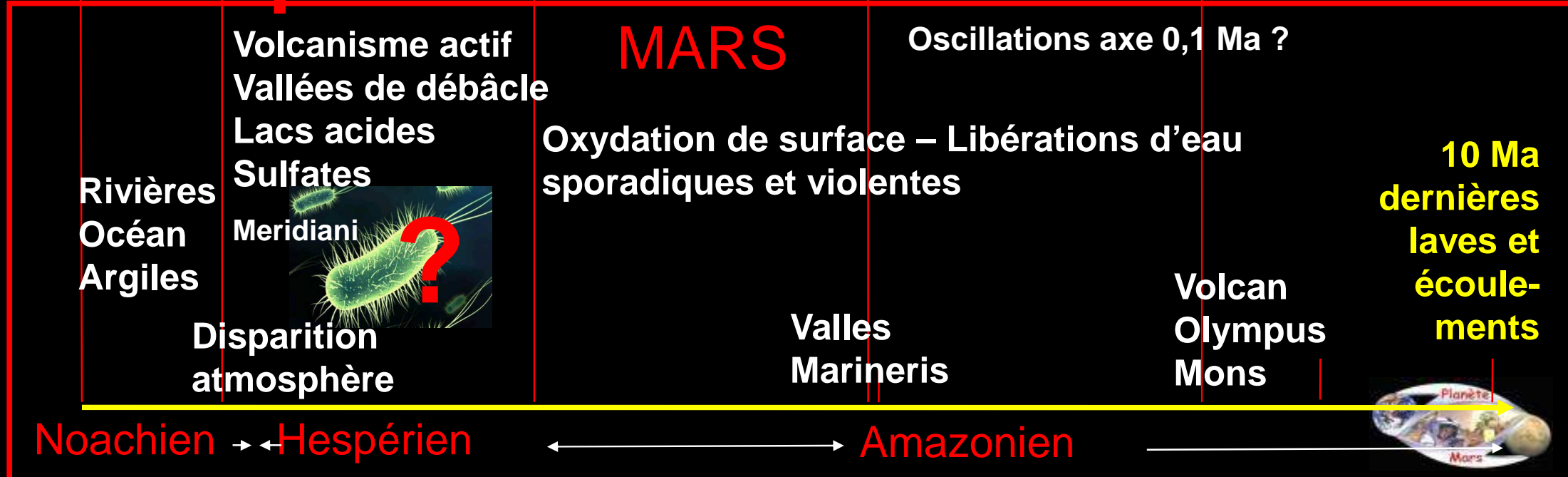
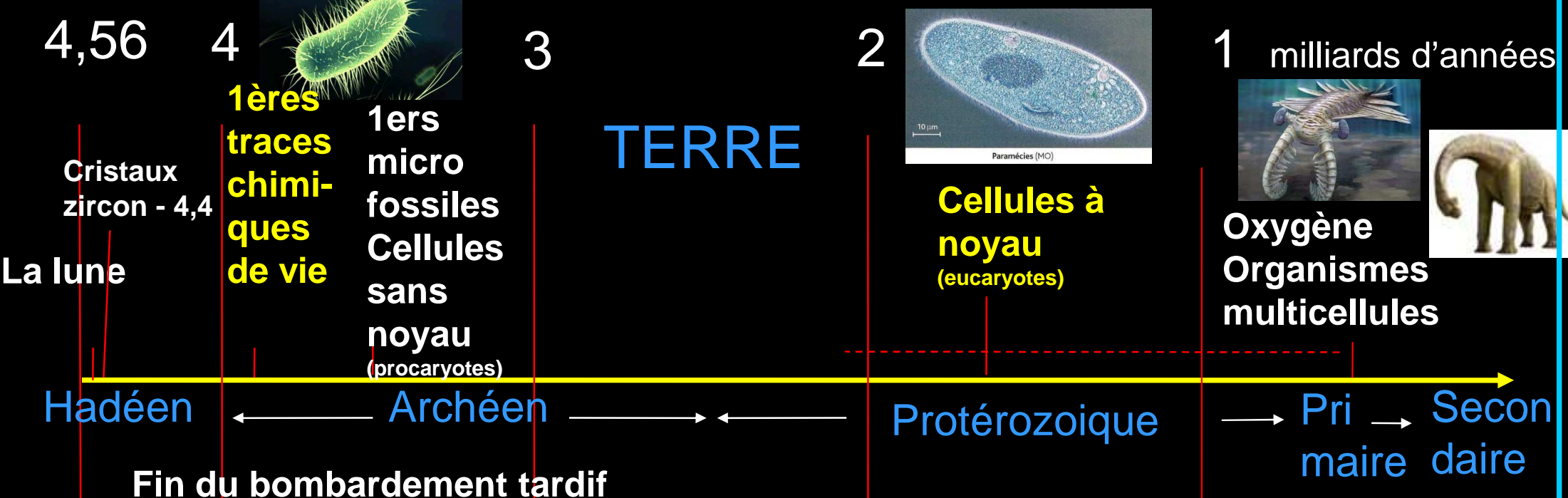


GRANDES VALLÉES FLUVIALES ANCIENNES

ET PETITS ÉCOULEMENTS RECENTS



UNE BREVE HISTOIRE DU TEMPS...COMPAREE ENTRE DEUX PLANETES



Le voyage vers Mars: le budget Delta V

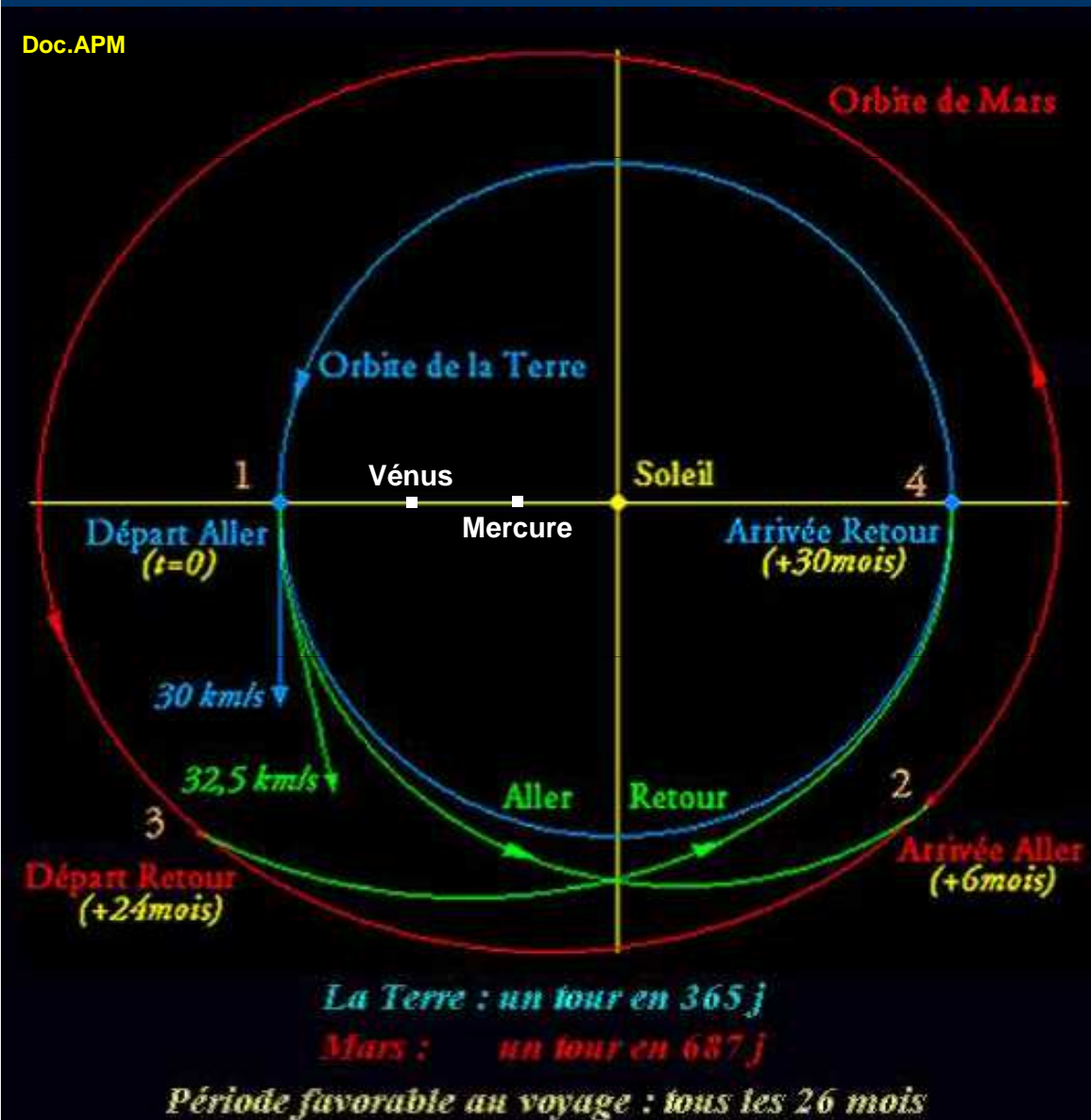
Delta V total pour différentes missions

Orbite géostationnaire	11,7 Km/s
Atterrissage Mars *	11,5 Km/s
Atterrissage 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 *	14,7 Km/s

- Entrée directe ou aérofreinage
- 1 à 4 km/s à ajouter si capture retropropulsée

Au départ d'une orbite terrestre:

3,5 km/s pour atteindre Mars mais 10 km/s pour un aller retour



Comment les masses LEO des missions martiennes humaines ont décréu en 50 ans



50 ans de projets:

Des solutions de plus en plus légères

1950: 37000 t en LEO !

Mais 70 astronautes !



1960: 2000 t



1990: 400 t

- Ergols plus efficaces : hydrogène and oxygène

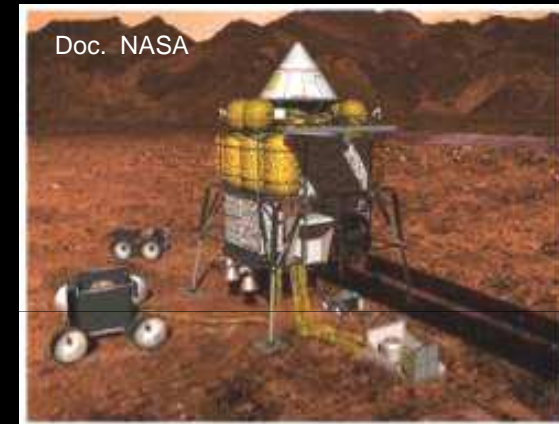
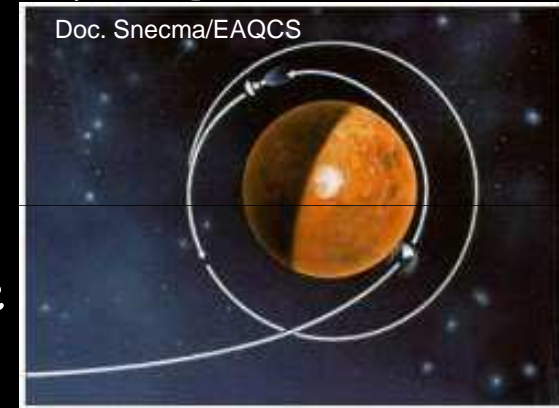
- Utilisation de l'atmosphère martienne aérofreinage

⇒ masse ÷ 2

- Production sur Mars ergols de retour

⇒ masse ÷ 2

- Autres: propulsion nucléothermique ou nucléoélectrique



pour comparaison

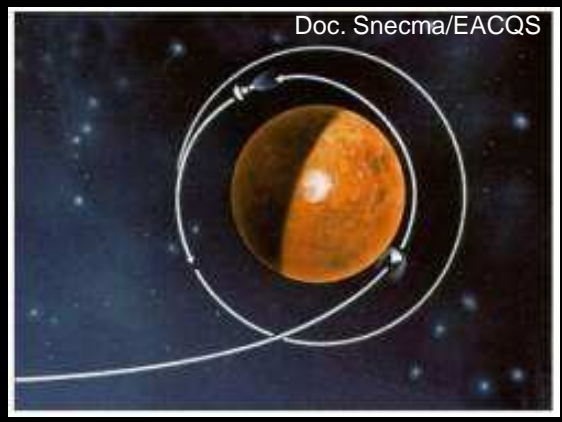
Ariane 5 = 20 t



Exploration : les USA montrent la voie ...



Un vaisseau interplanétaire Orion



Doc. Snecma/EACQS

Et autour de Mars vers 2030

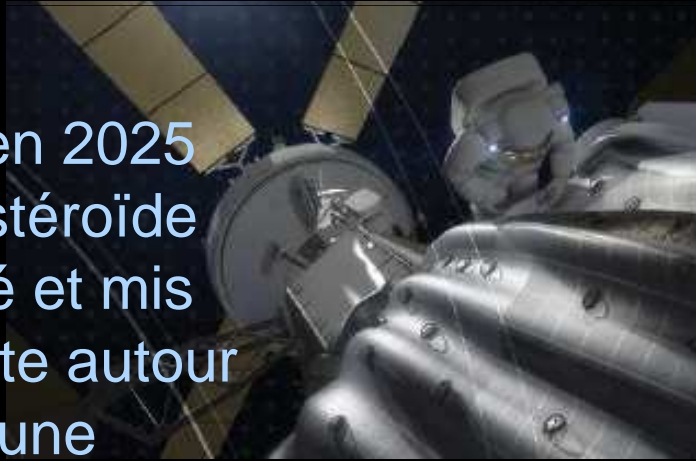
(2033 Phobos; 2037 court séjour; 2041 long séjour)



1^{er} vol 5 décembre 2014



Un lanceur lourd (80-130t) 2018



Visite en 2025 d'un astéroïde capturé et mis en orbite autour de la Lune



Pasadena le 31 août

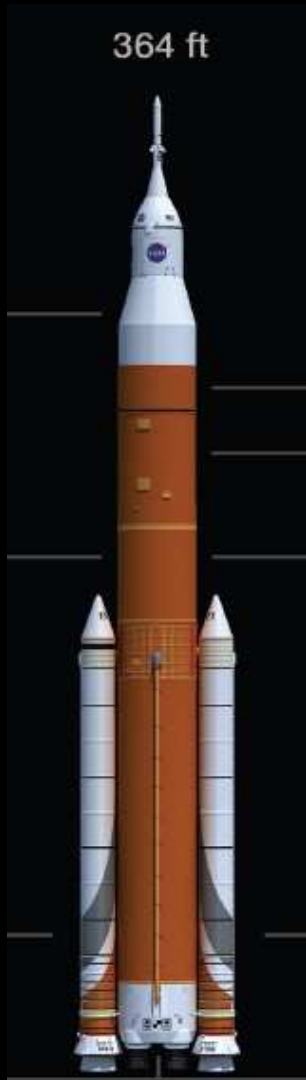
Module de service européen



Docs. NASA

Les lanceurs lourds du futur

Dates – charge utile en orbite basse



USA SLS
2018
70-130 t

Doc. NASA



USA Falcon Heavy
2016-17
53 t

Doc. SpaceX



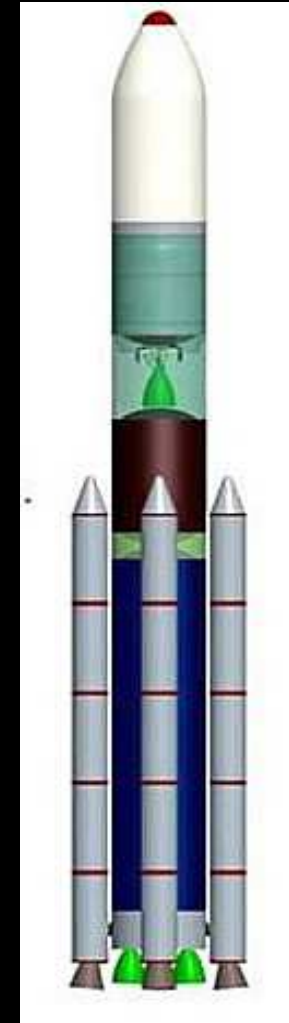
USA MCT
2025 ?
390 t

Doc. APM/R. Heidmann



Russie Angara A7
?
35 t

Doc. DR



Chine
?
100 t

Doc. DR



Et l'Europe ??
??
60 t

Doc. DR/AS

POURQUOI NOUS IRONS SUR MARS et pourquoi l'exploration du système solaire

Docs. NASA JPL/Caltech/P. Rawlings/DR



La dynamisation des sociétés, l'aventure, le rêve

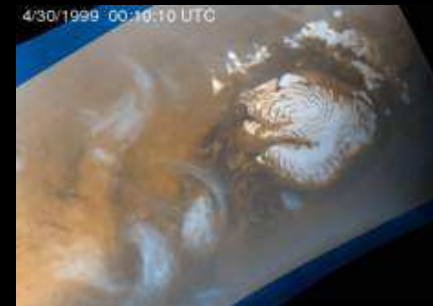
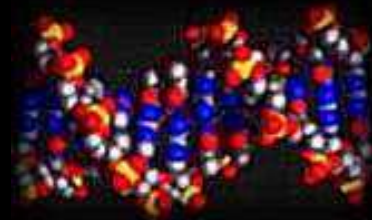
La politique (coopération mondiale, création de réseaux)

La technologie (énergie, recyclage, robotique)

La science (le « fonctionnement » des planètes, la naissance de la vie)



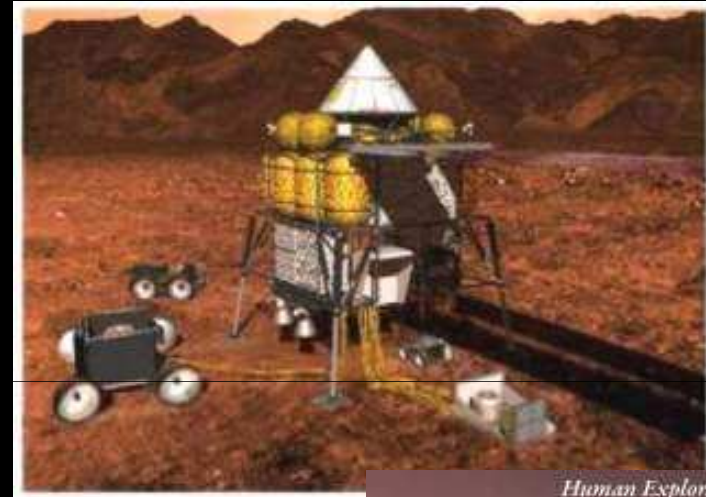
L'homme, une espèce
multi planétaire ?



Différents scénarios de mission martienne

▶ Mars Direct par R. Zubrin

Mission 100% en **propulsion chimique** avec tout le carburant de retour produit sur Mars



Docs. NASA

▶ DRA 5 NASA par S. Borowski

Propulsion **nucléothermique** et une partie (remontée en orbite martienne) des ergols de retour produits sur Mars/



Doc. DR

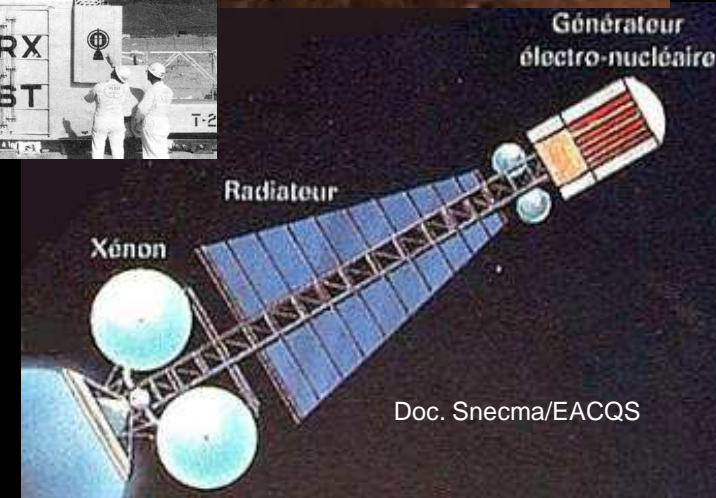
Human Exploration of Mars
Design Reference Architecture 5.0



▶ Missions **nucléoélectriques**

▶ Les cas particuliers de Mars One et Inspiration Mars

▶ Les projets d'Elon Musk



Doc. Snecma/EACQS

A chaque étape du voyage son ou ses modes de propulsion (ou freinage)

Mise en orbite terrestre

Chim. (et combien de rendez vous ?)

Injection vers Mars

Chim. – Nucl. Th. – Nucl.electr.

Insertion en orbite martienne*

Chim. – Nucl. TH. – Nucl. electr. – Aerobr.

* Combinaisons possible

Atterrissage sur Mars

Aerobr. – Parachutes – Chim. - (airbags)

Décollage de Mars

Chim.

Orbite martienne à la Terre*

Chim. – Nucl. Th. – Nucl.electr.

* Combinaisons possible

Arrivée sur Terre

Aerobr. – Parachutes

Entrée directe possible (ex: Curiosity)

Mais aussi prévoir les scénarios de repli si pannes !

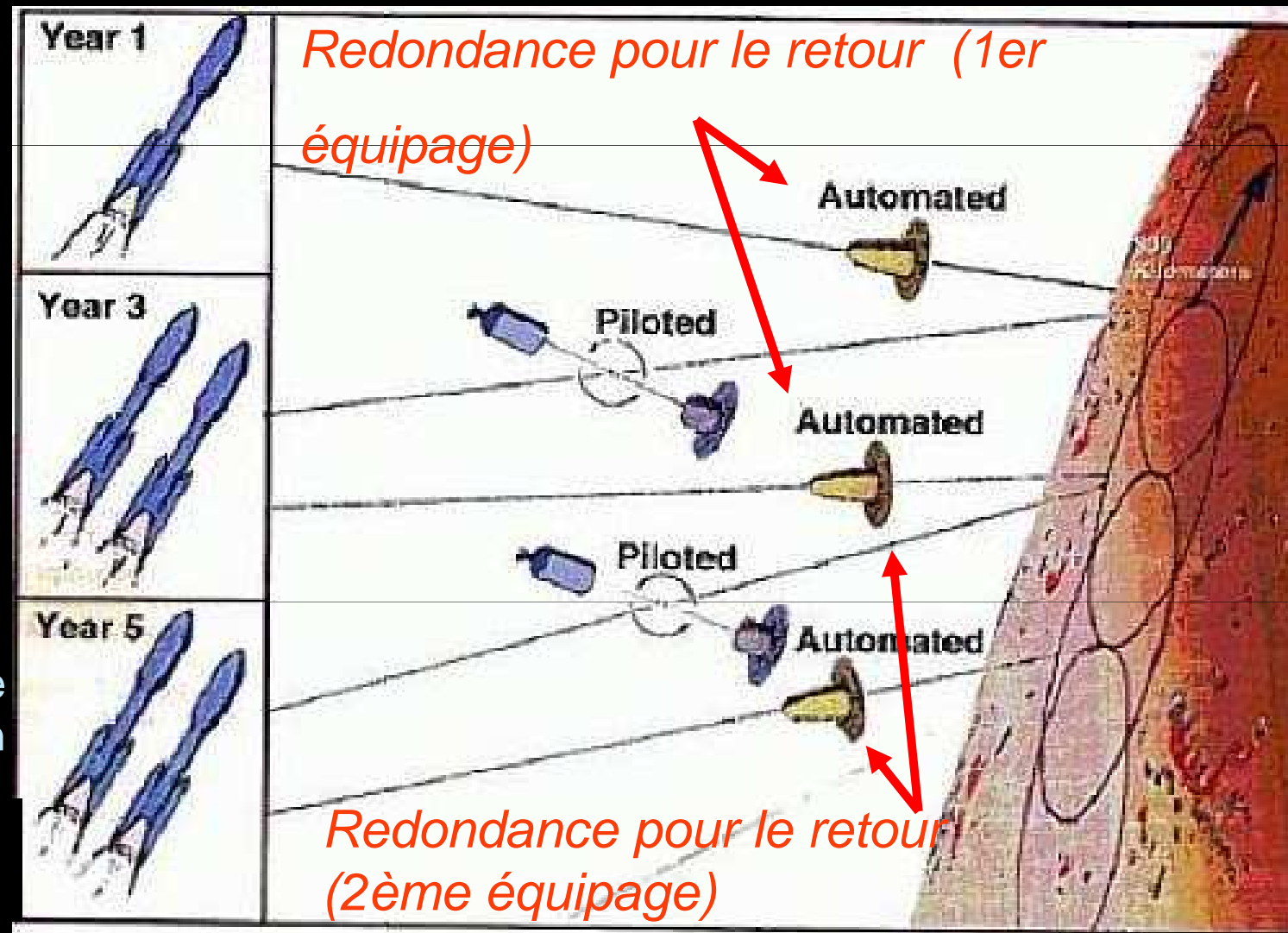
Et différents scénarios concernant ce que l'on laisse en orbite martienne

Mars Direct, mission 100% propulsion chimique

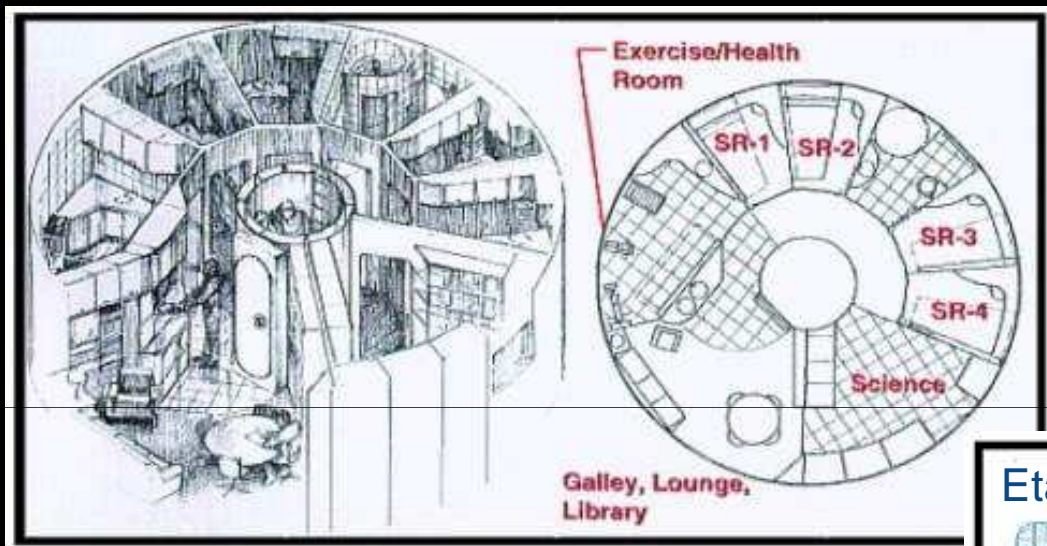
Caractéristiques

6 t de H₂ transportées depuis la Terre et produisant 116 t d'oxygène et de méthane par réaction avec le CO₂ de l'atmosphère martienne

- Lancement vers Mars d'un véhicule de retour avec les 6 t de H₂ et l'unité de production d'ergols
- Lancement d'un 2^{ème} véhicule de retour avec 6 t de H₂ et une unité de production d'ergols en redondance
- Lancement de l'équipage avec l'habitat martien
- 3^{ème} lancement d'un véhicule de retour avec 6 t de H₂ et une unité de production d'ergols
- Lancement d'un nouvel équipage, etc



Le voyage de 6 mois (et même durée pour le retour)



Docs. TMS

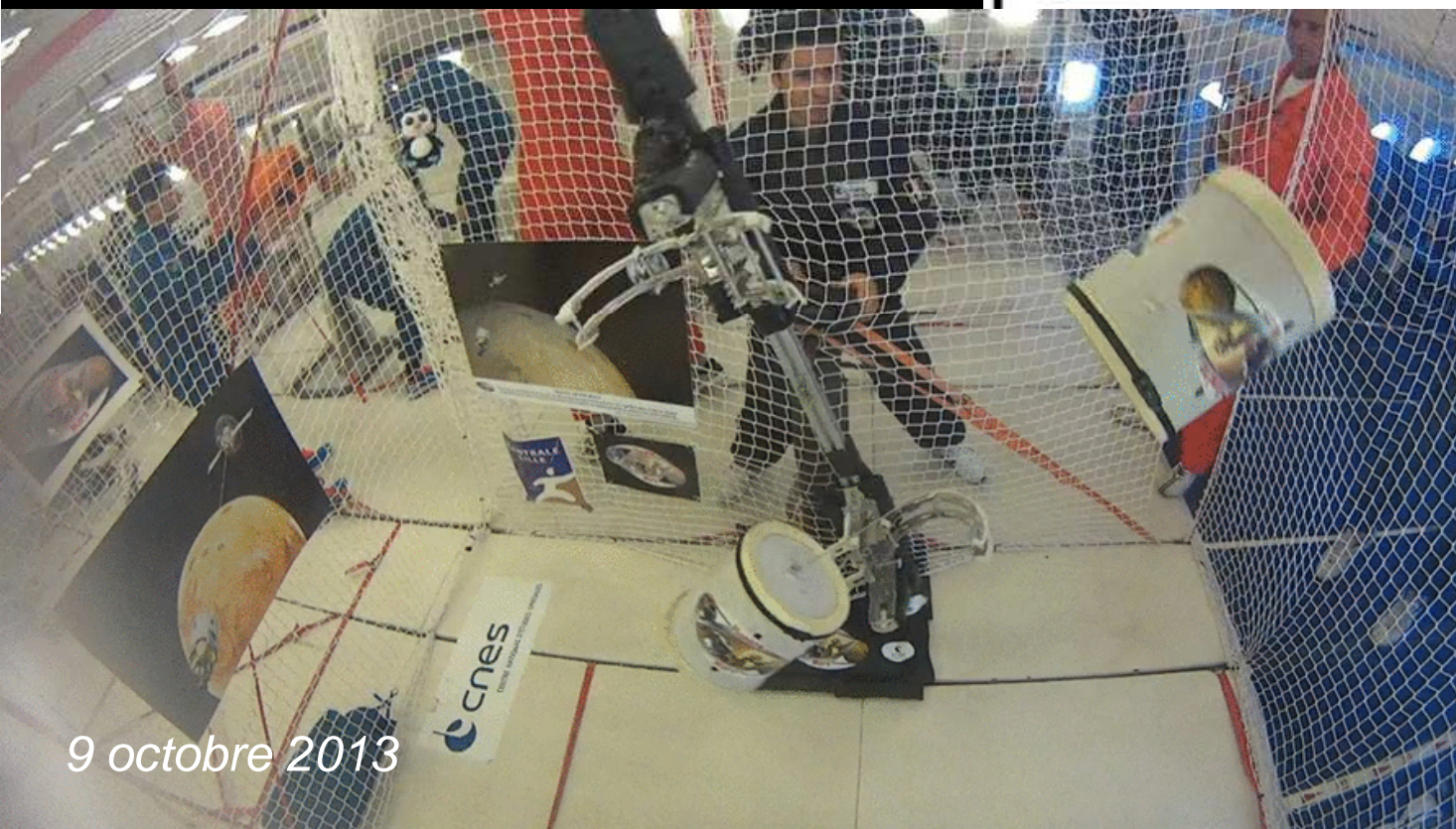
Les radiations et en particulier les éruptions solaires => refuge central abrité derrière 15 cm d'eau – dose totale de radiations sur 2,5 ans = 70 rems contre 100 à 400 rems autorisés sur une vie

Microgravité=> gravité artificielle par rotation

Etage supérieur lanceur



Habitat



9 octobre 2013

Comportement psychologique de l'équipage => processus de sélection à conduire sur des équipages et pas des individus

Et la fiabilité/redondance et maintenabilité des systèmes sur une mission de 2.5 ans!

Doc. APM

Quelques points clé

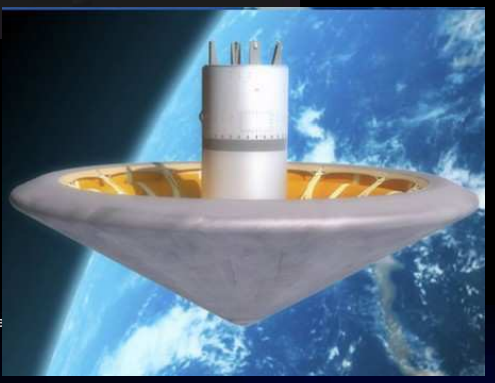


Entrée atmosphérique

Bouclier thermique de grande taille (deployable, gonflable)



Docs. NASA



Rocket Test He

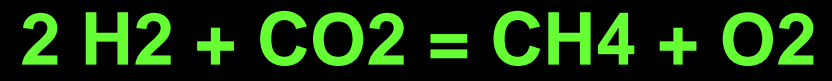
First stage begins reentry burn at approximately 70km altitude

Powered flight through Mars-relevant retropropulsion regime



Transportés de la Terre

Production automatique des ergols de retour

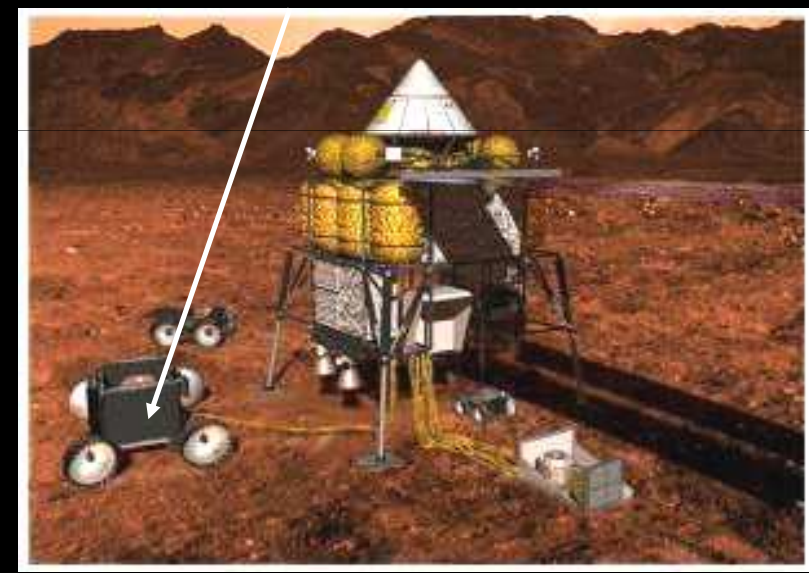


Atmosphère martienne

Pureté?

*Conservation du LH2 sur 12 mois *; production automatique in situ; source nucléaire 100 kW ; * isolation de type satellite: 1 t évaporée en 6 mois sur 7 t initiales*

Parachutes toujours possibles pour charges lourdes ? Ou freinage final tout propulsif?



Deux ans plus tard: l'arrivée des hommes



Mise en orbite par aérocapture



Atterrissage à proximité du module de retour



Puis 500 jours d'exploration

Véhicule pressurisé pour exploration longue distance; tenue des matériels à la poussière (joints, des scaphandres en particulier); effet de la poussière sur les hommes; contamination planétaire (dans les 2 sens)

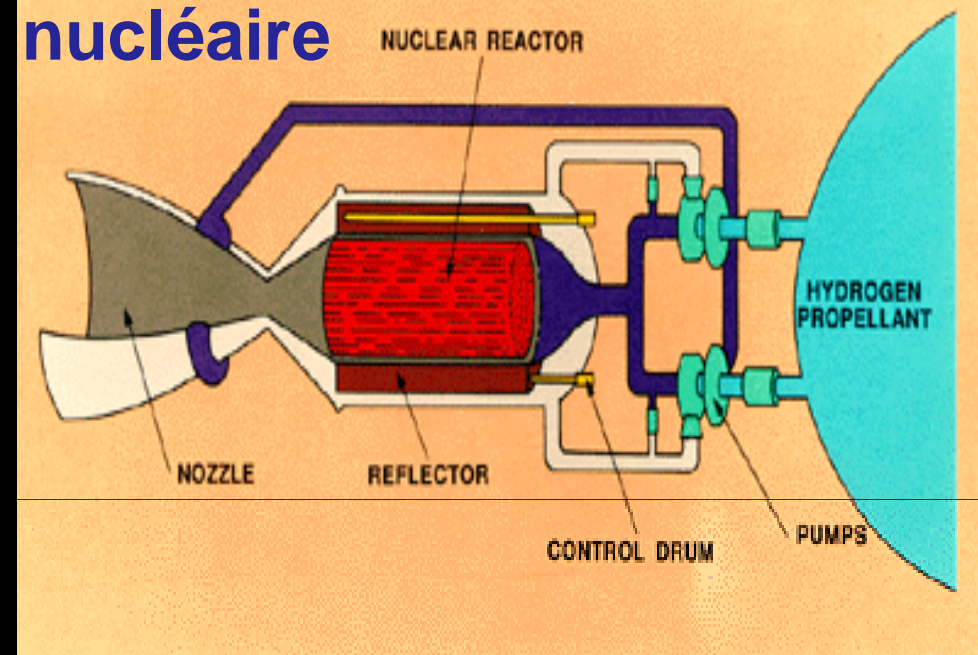
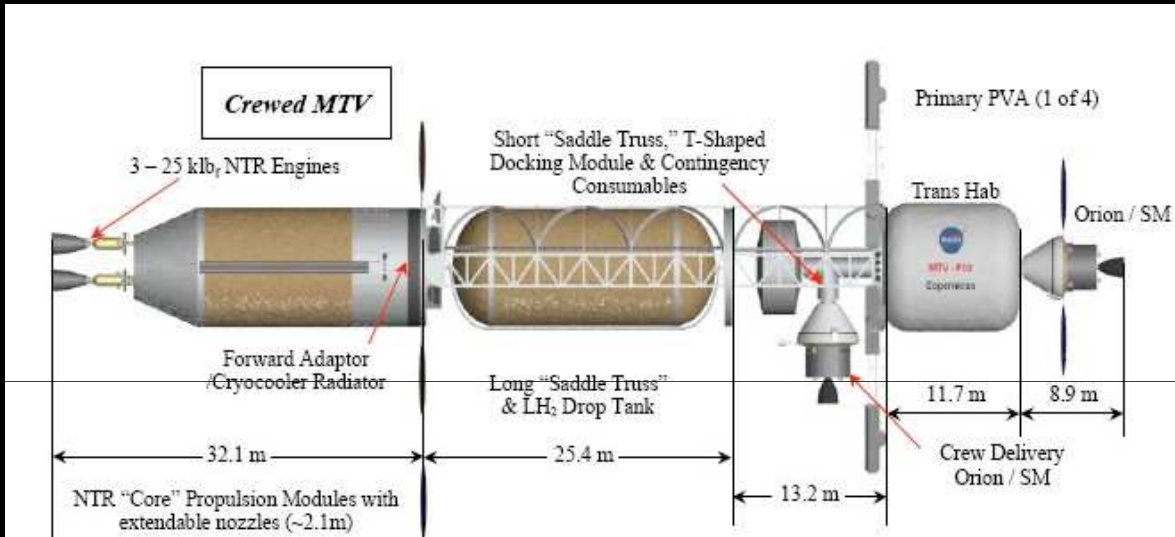


Et retour en chimique (2 étages) avec les ergols produits sur place

Les télécommunications sur Mars, la navigation (GPS)



La mission NASA en propulsion nucléaire



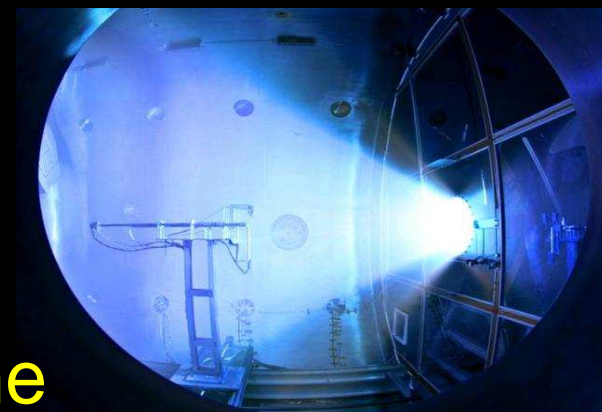
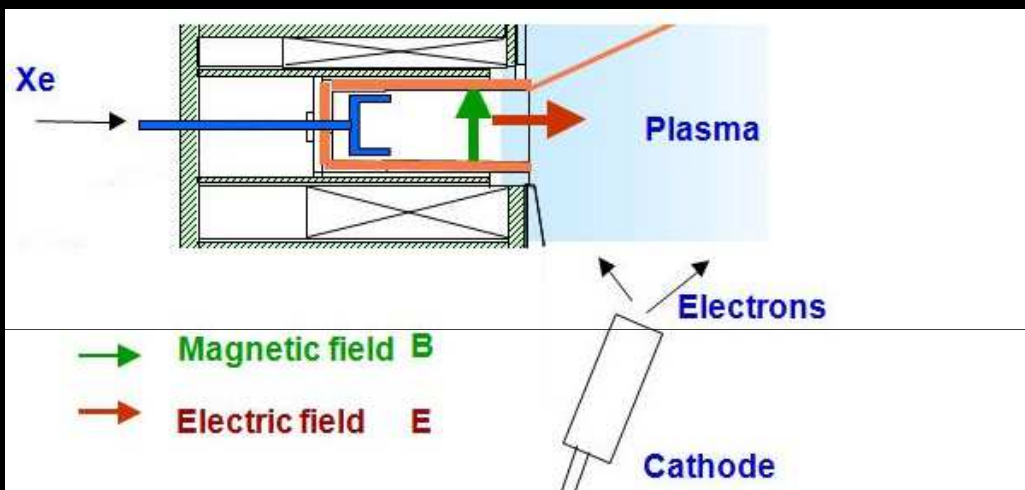
6 mois de voyage en micro-gravité aller (et 6 mois retour), l'orientation des panneaux solaire empêchant une mise en rotation pour gravité artificielle)

Structures gonflables (intéressant sur Mars aussi)



La propulsion électrique

- Un développement progressif en cours dans le monde -



Recherche

Chang Diaz VASIMR essais à 200 kW

Démonstrations et développement

Essais de 5 kW et 20 kW (1N) en Europe (Snecma)

Doc. Snecma

Operations

Beaucoup de satellites géostationnaires avec de la propulsion électrique pour le maintien à poste; quelques missions interplanétaires avec de la propulsion électrique (Smart 1 Europe; Deep Space 1, Dawn USA); 1 to 4.5 kW (AEHF)

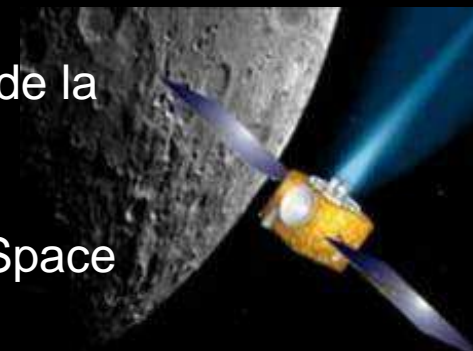
Nasa HET
essais à 75 kW
= 3 N



Docs. NASA

Au-delà de 300 kW la question c'est la **source de puissance**. Il faut passer du solaire au **nucléaire**. La **masse spécifique (kg/kW)** est le **facteur fondamental**.

Doc. ESA



Missions à propulsion électrique



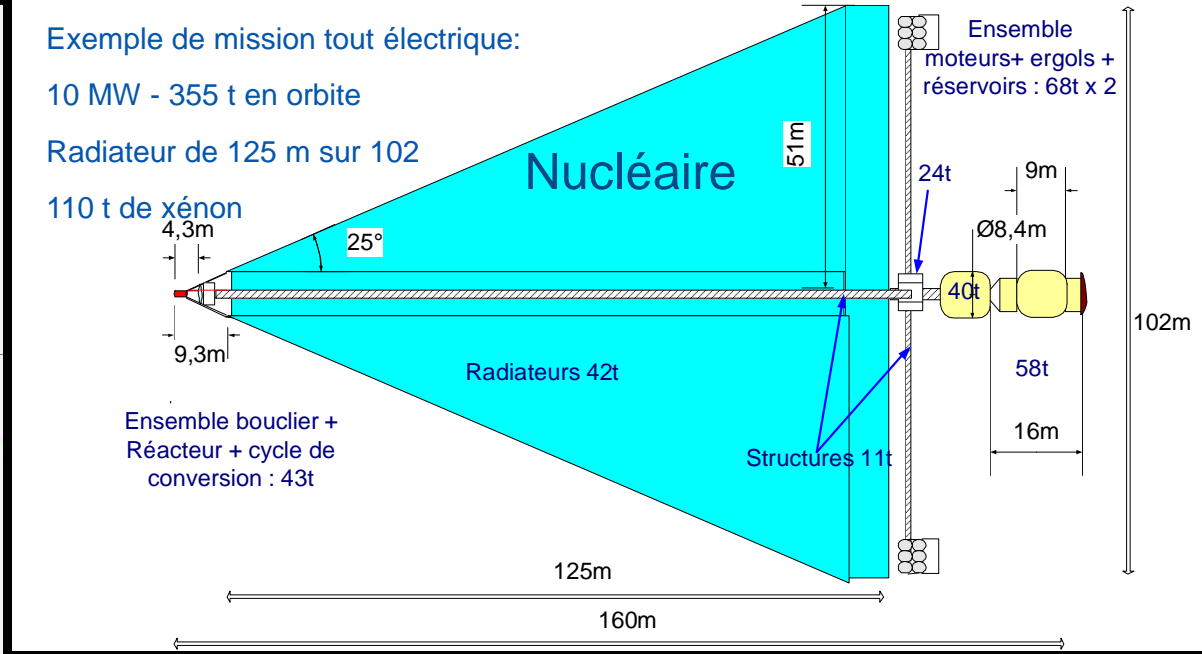
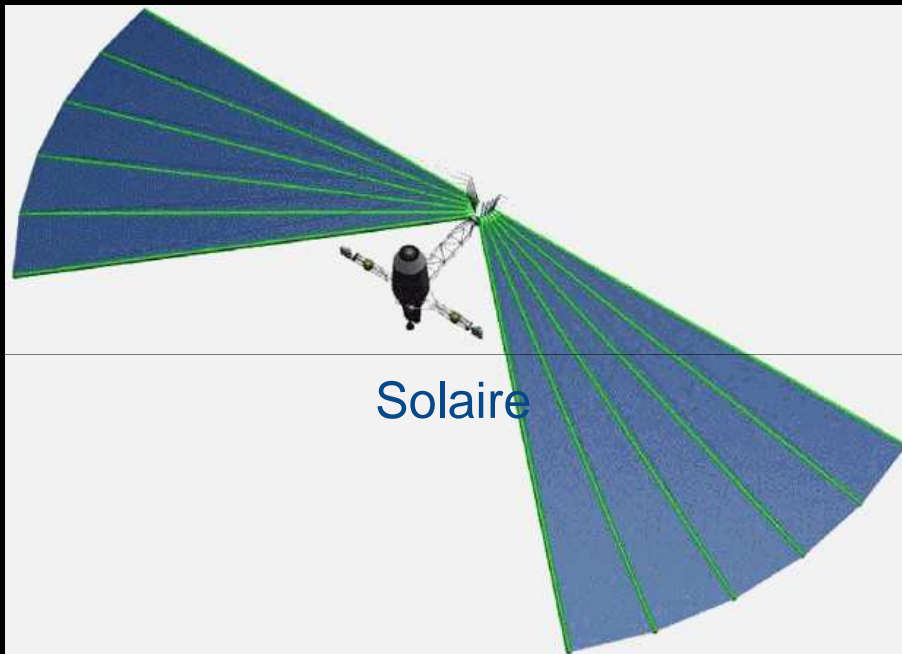
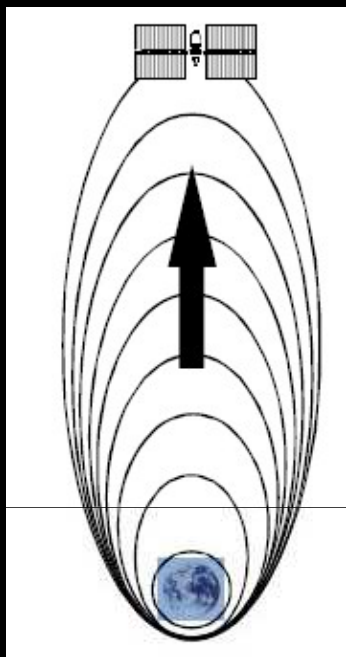
Caractéristique: **une poussée très faible**

1 MW \longrightarrow 60 N 10 MW \longrightarrow 600 N

300 j pour monter d'une 400/400 km à une 400/250 000 km (propulsion 1 MW pour charge utile 50 t)

- Adapté aux missions cargo

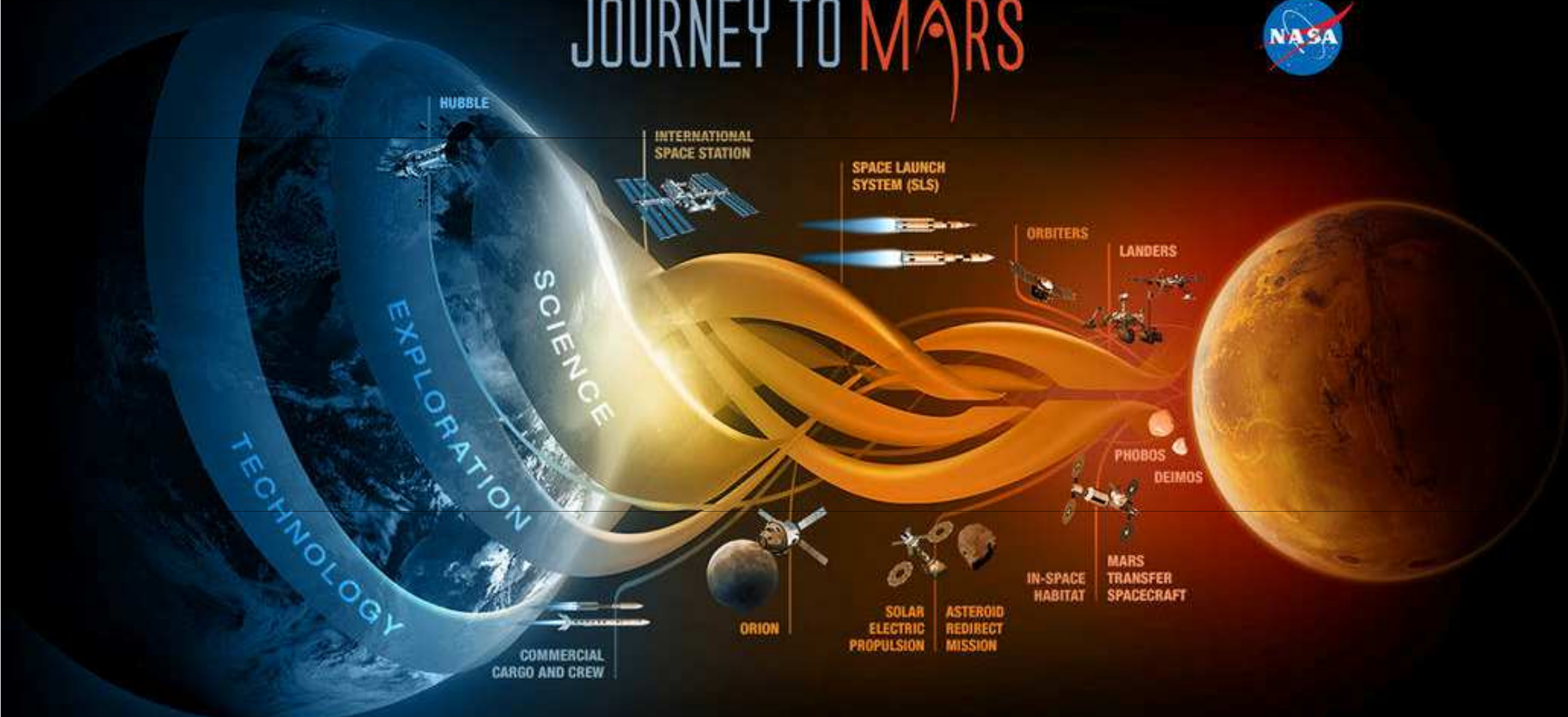
- Pour les missions humaines, il faut que les astronautes rejoignent le vaisseau à propulsion électrique après élévation de l'orbite



Panneaux solaires ou réacteur nucléaire; la puissance spécifique kg/kW (15 kg/kW atteignable en nucléaire ?) ; gestion des déformations d'orbite avant l'élancement final; déploiement des panneaux ou du radiateur.

Les nouvelles orientations NASA

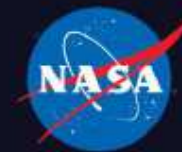
JOURNEY TO MARS



Les nouvelles orientations NASA

EVOLVABLE MARS CAMPAIGN

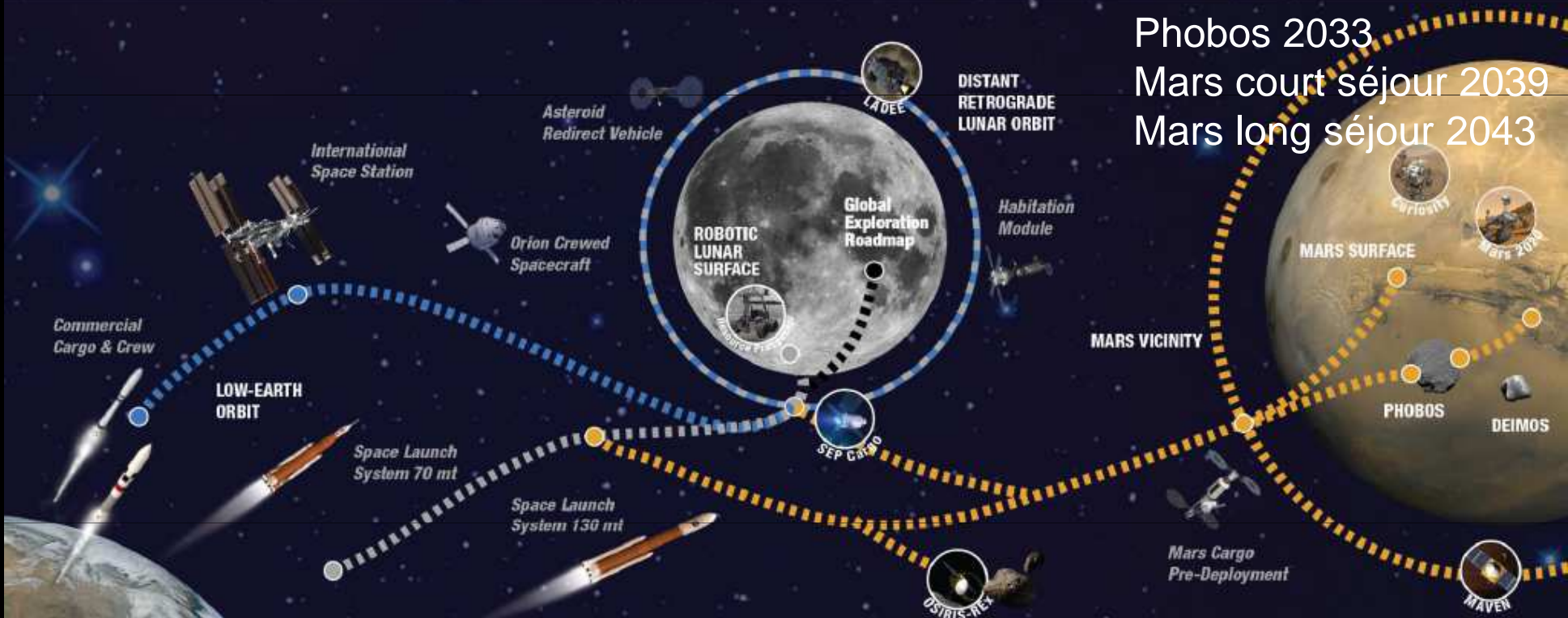
A Pioneering Approach to Exploration



EARTH RELIANT

PROVING GROUND

EARTH INDEPENDENT

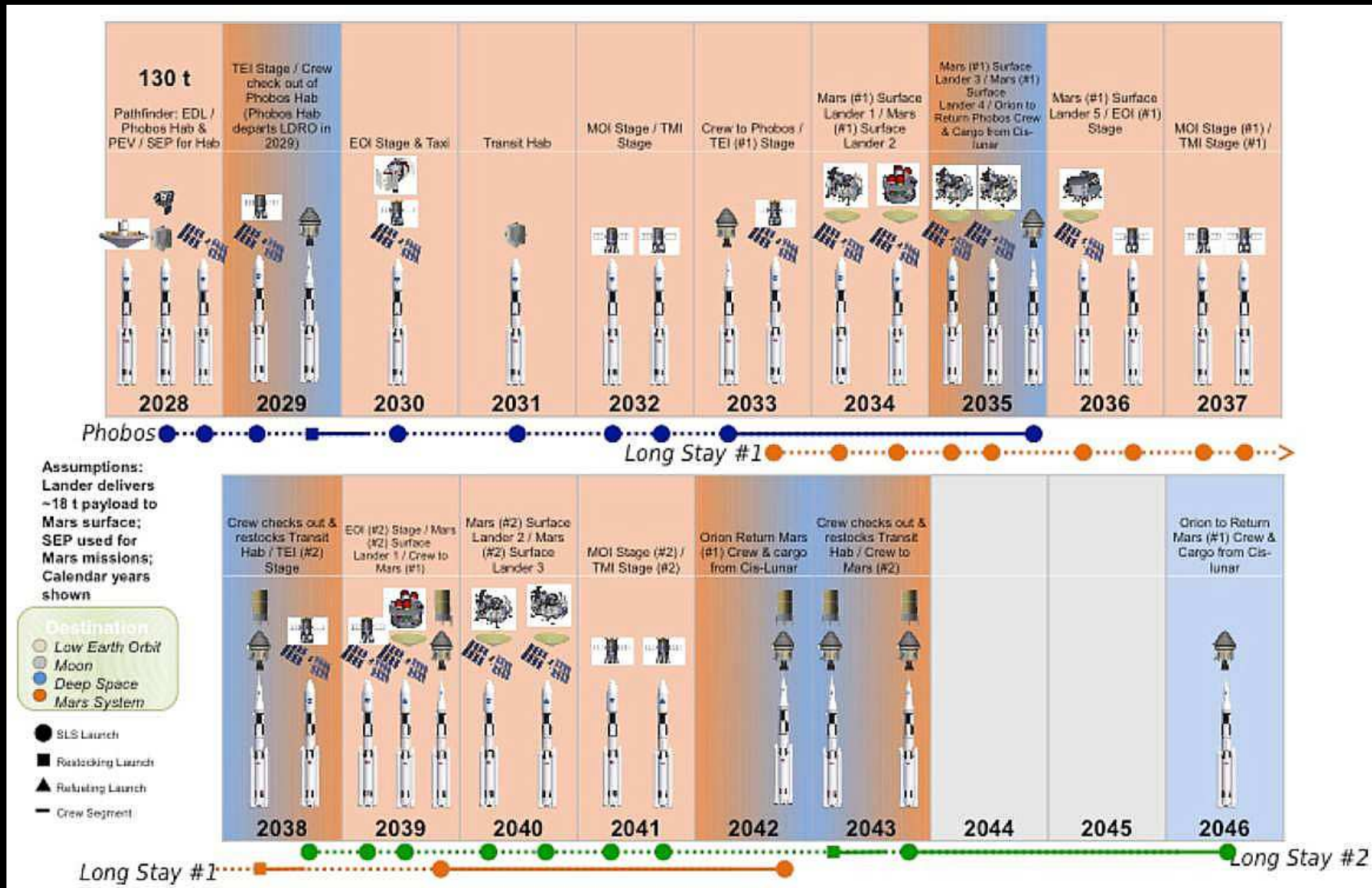


Phobos 2033
 Mars court séjour 2039
 Mars long séjour 2043

THE TRADE SPACE

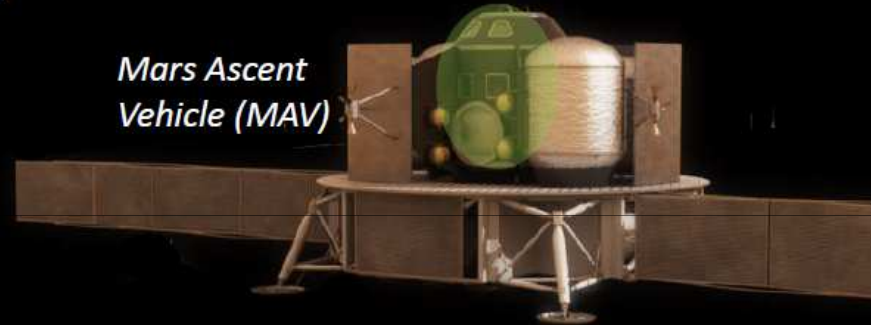
- | | |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Across the Board | <ul style="list-style-type: none"> Solar Electric Propulsion In-Situ Resource Utilization (ISRU) Robotic Precursors Human/Robotic Interactions Partnership Coordination Exploration and Science Activities |
| Cis-lunar Trades | <ul style="list-style-type: none"> Deep-space testing and autonomous operations Extensibility to Mars Mars system staging/refurbishment point and trajectory analyses |
| Mars Vicinity Trades | <ul style="list-style-type: none"> Split versus monolithic habitat Cargo pre-deployment Mars Phobos/Deimos activities Entry descent and landing concepts Transportation technologies/trajectory analyses |

Scénario de lancements annuels



Les nouvelles orientations NASA

EMC Small Habitat Commonality Scope



Docs. NASA



Mars One

Doc. Mars One

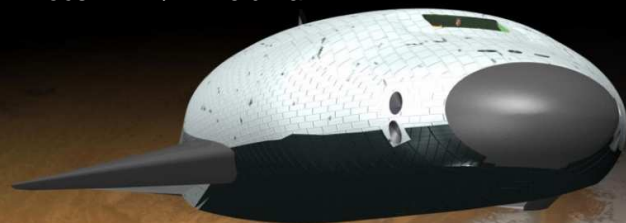


- 2011: Création par Bas Lansdorp et Arno Wielders au Pays Bas; projet d'envoyer des hommes sur Mars **pour un voyage sans retour**; financement privé
- 2013: Appel à candidatures; 202586 candidats
- Mai 2014: Réduction à 705
- 2015: Début de simulation sur Terre
- 2018: Première mission robotique
- 2024: Lancement d'un cargo lourd
- 2025: 1er équipage sur Mars pour 6 Mds \$

400 t
LEO

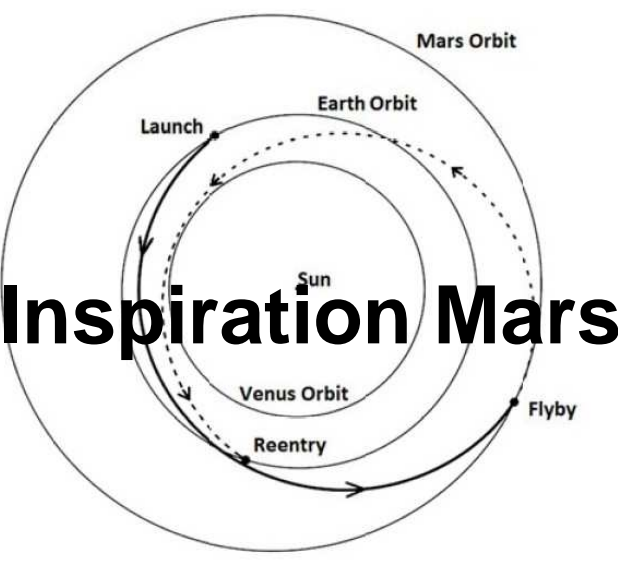
Les projets d'Elon Musk

Docs. APM/R. Heidmann



Le Mars Colonial Transport

Inspiration Mars



90 t CU sur Mars

(C)APMR, Heidmann



7750 t

Et bientôt (2018-20) Red Dragon sur Mars

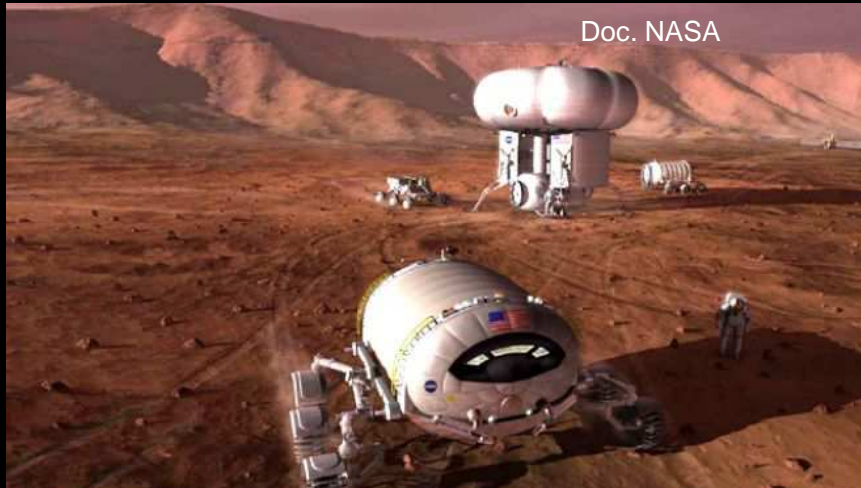


Docs. SpaceX



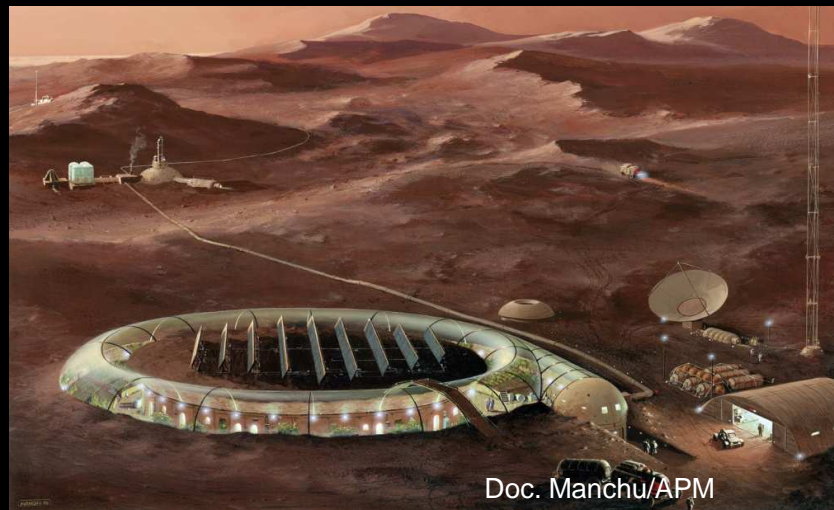
Et l'homme sur Mars en 2024 ?

Quelles étapes futures ?



Exploration initiale

Bases Scientifiques
Comme dans l'Antarctique



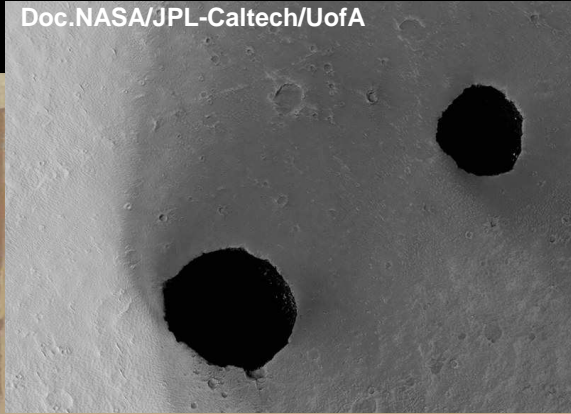
Colonie expérimentale

Implantation de masse
...si une économie peut se développer

Bases martiennes

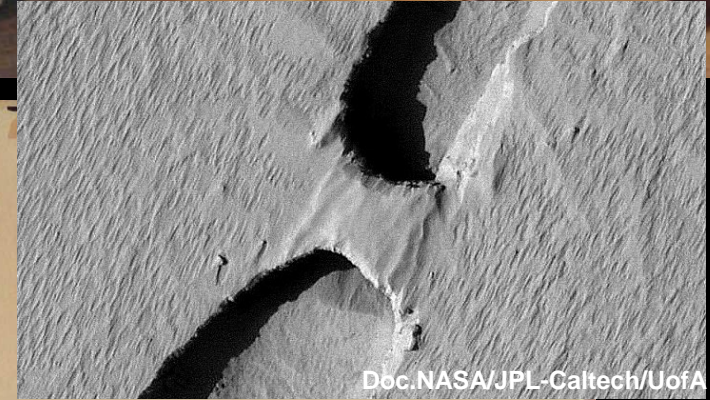


Doc.NASA/JPL-Caltech/UofA



Docs. Manchu/APM

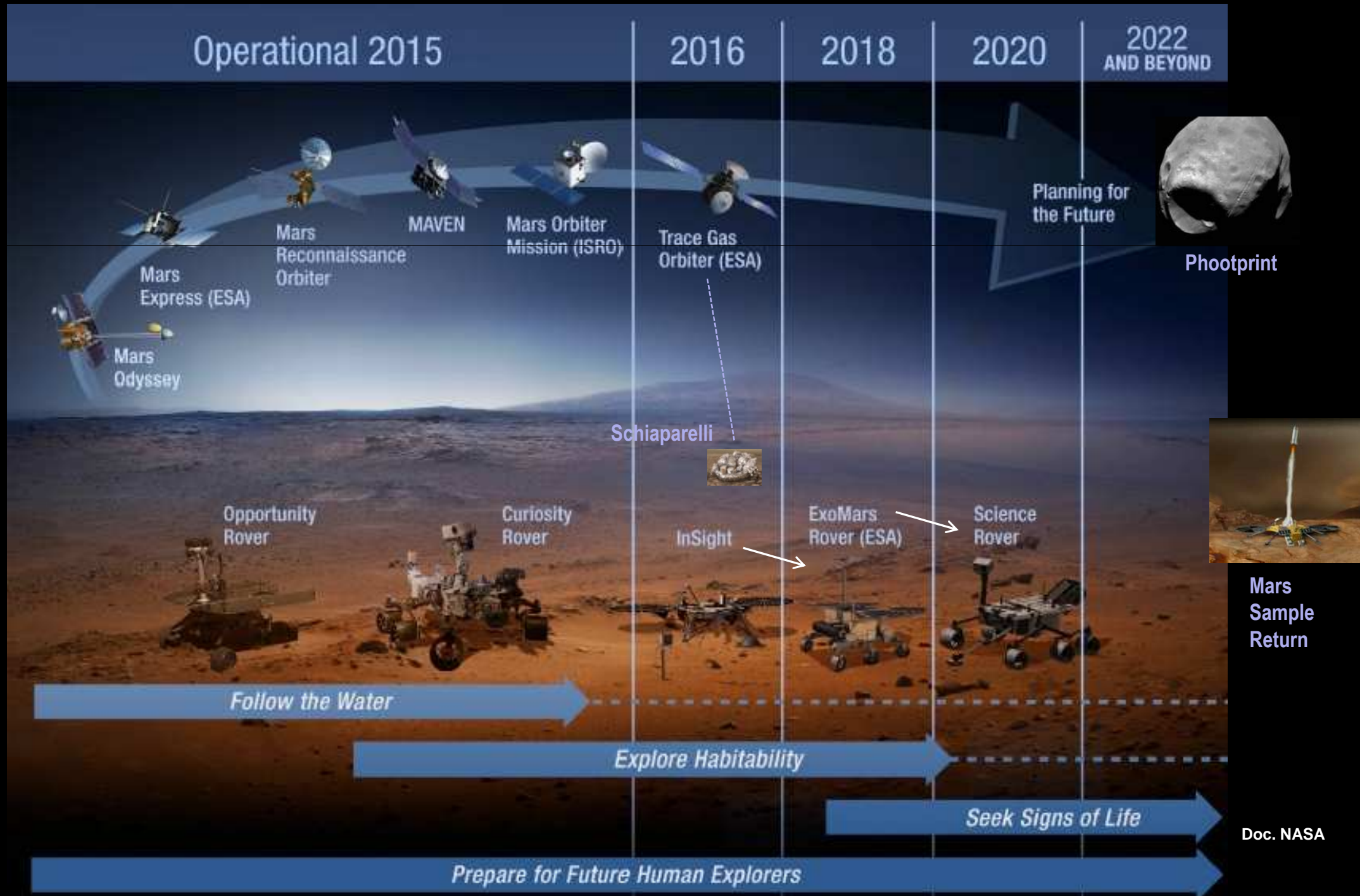
Copyright Association Planète Mars / Manchu
www.planete-mars.com



Doc.NASA/JPL-Caltech/UofA



En attendant l'homme, l'exploration robotique continue





Cruise Stage Separation

Time: Entry - 10 min

7h14

Cruise Balance Devices Separation

Time: Entry - 8 min

7h16

Entry Interface

Altitude: -78 miles (~125 km)

Velocity: -13,200 mph (-5,900 meters/sec)

Time: Entry + 0 sec

7h24

Peak Heating

Peak Deceleration

Hypersonic Aero-maneuvering

Heat Shield Separation

Altitude: -5 miles (-8 km)

Velocity: -280 mph

(-125 meters/sec)

Time: Entry + -278 sec

Parachute Deploy

Altitude: -7 miles (-11 km)

Velocity: ~900 mph

(~405 meters/sec)

Time: Entry + -254 sec

7h28

Touchdown

Altitude: 0

Velocity: -1.7 mph

(-0.75 meter/sec)

Time: Entry + -416 sec

Rover Separation

Altitude: -66 feet (~20 meters)

Velocity: -1.7 mph (-0.75 meter/sec)

Time: Entry + -400 sec

Mobility Deploy

Flyaway

Back Shell Separation

Altitude: -1 mile (-1.6 km)

Velocity: -180 mph

(-80 meters/sec)

Time: Entry + -364 sec

7h30

Radar Data Collection

Powered Descent

Sky Crane

Flyaway

7h31

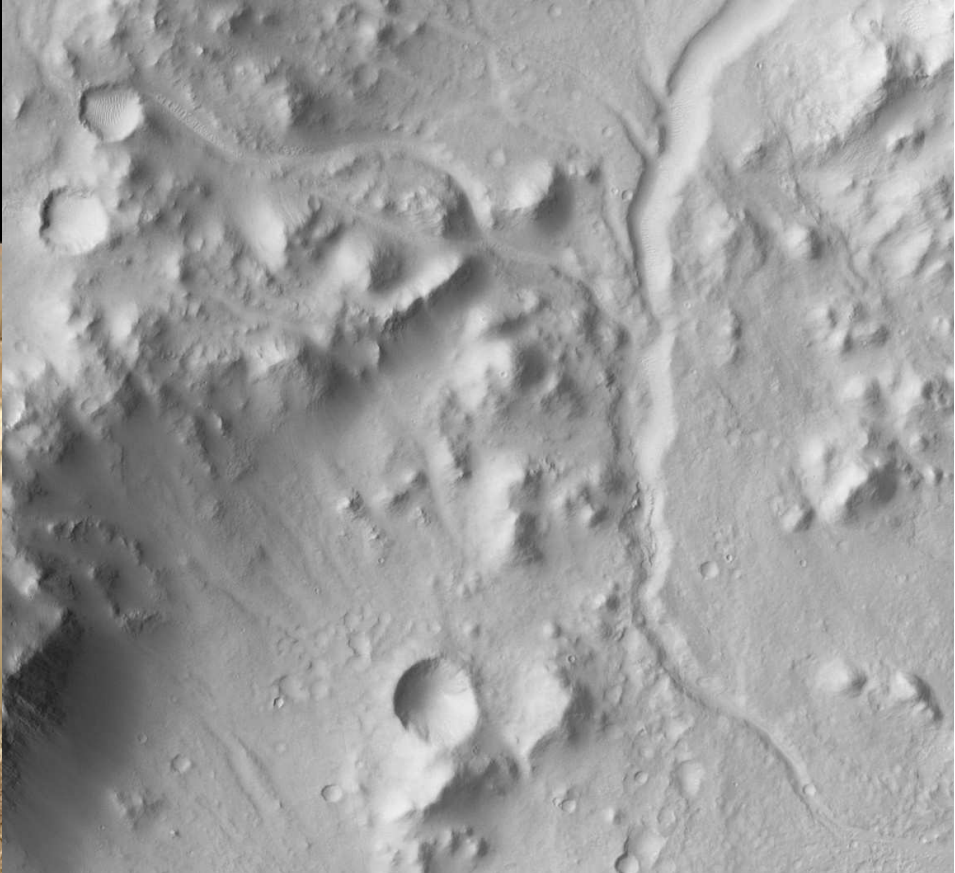
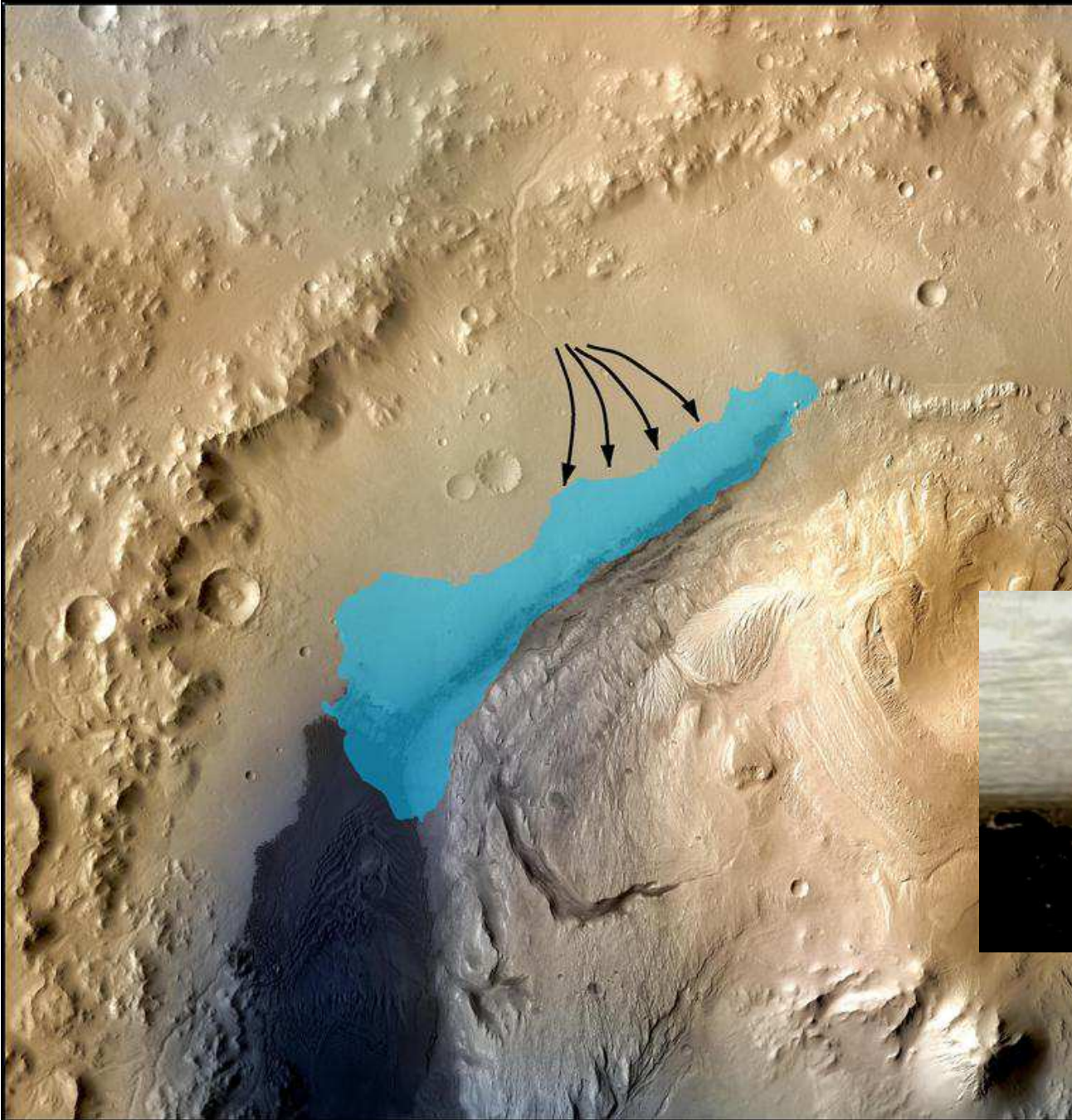
Doc. NASA/JPL-Caltech



MSL Curiosity: une arrivée complexe et réussie...

Qui préfigure probablement les missions humaines

Curiosity est dans le delta alluvionnaire de la vallée Peace



Doc. NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona



Docs. NASA/JPL-Caltech/MSSS



Curiosity est à l'extrémité du delta alluvionnaire de la vallée Peace

Doc. NASA/JPL-
Caltech/Univ. of
Arizona



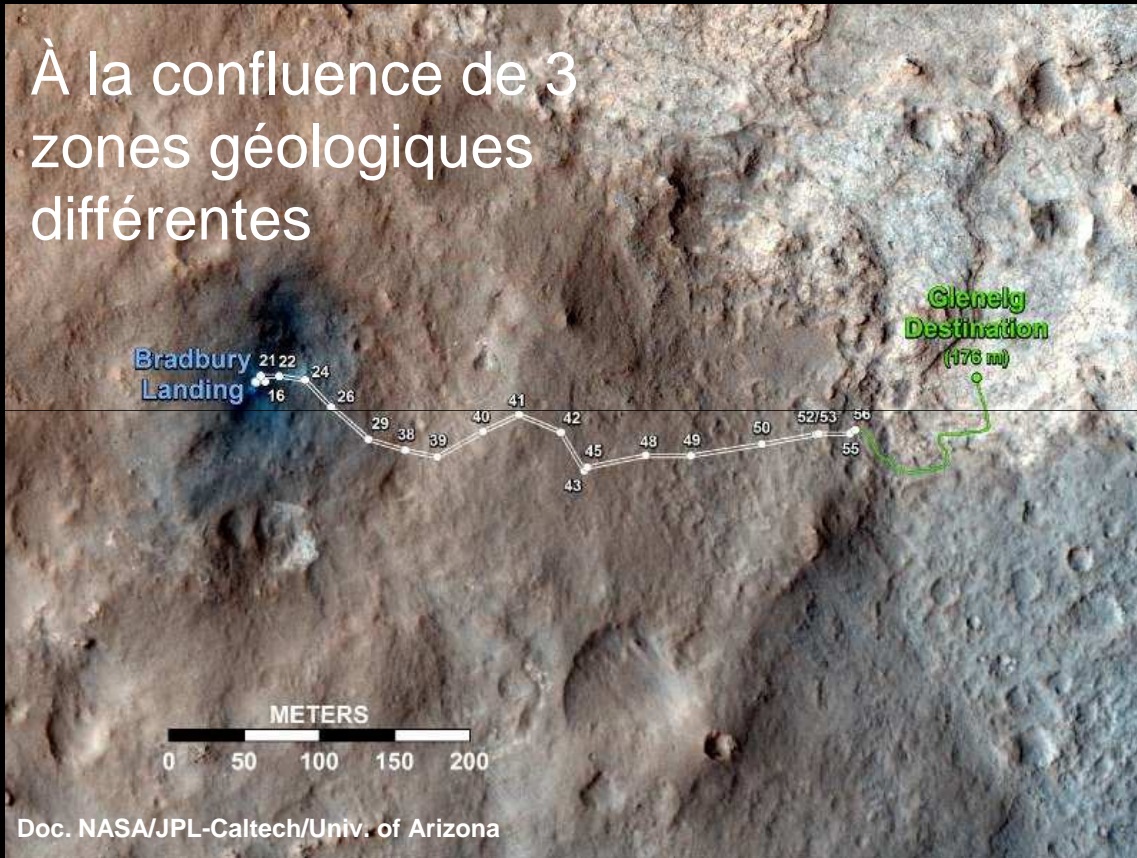
Curiosity est à l'extrémité du delta alluvionnaire de la vallée Peace

Doc. NASA/JPL-
Caltech/Univ. of
Arizona

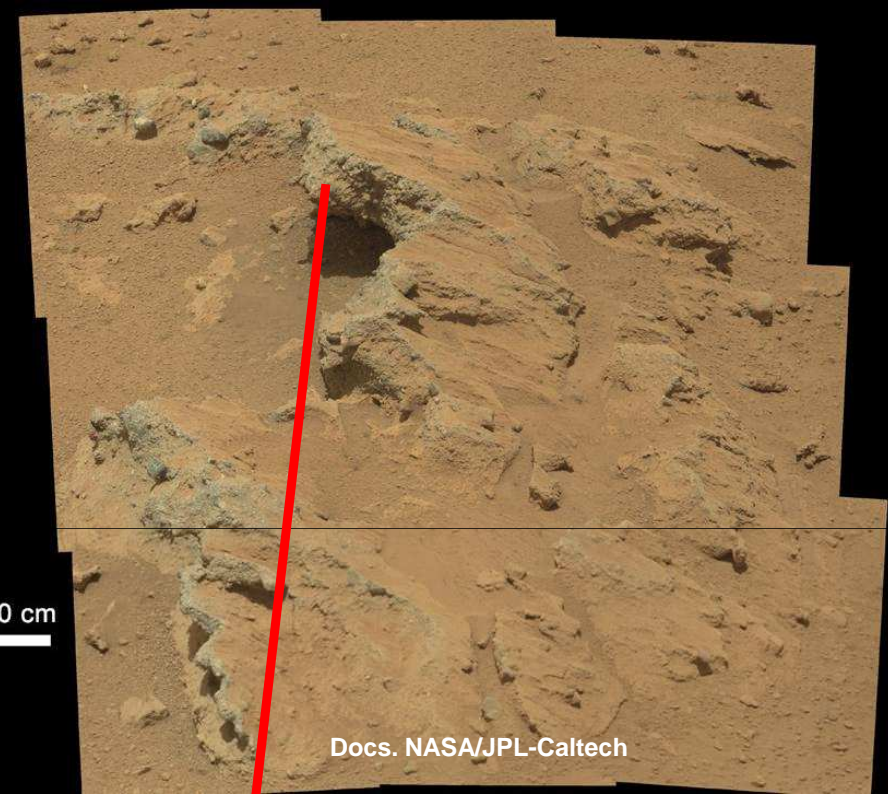


Curiosity est d'abord allé à Glenelg

À la confluence de 3 zones géologiques différentes

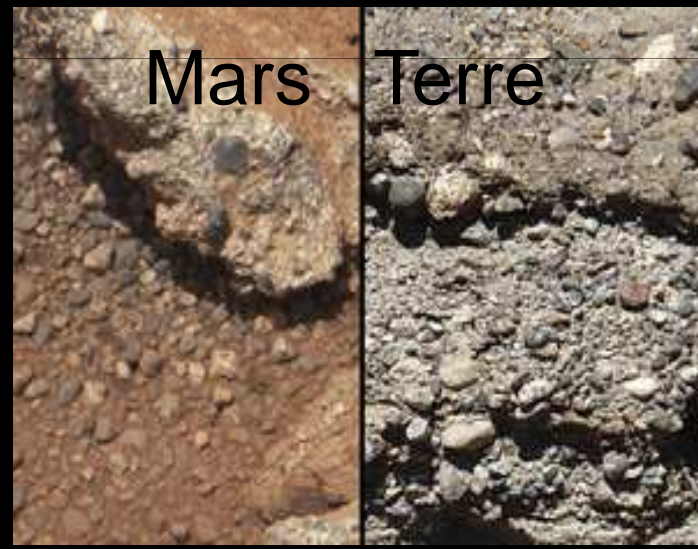


Doc. NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona



Docs. NASA/JPL-Caltech

Curiosity a vite trouvé des traces d'alluvions



Petits galets noyés dans un ciment naturel: une roche désignée poudingue

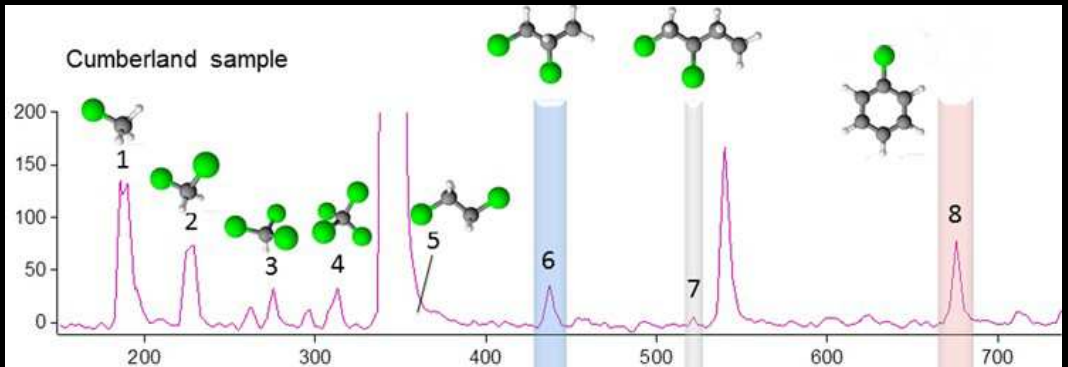
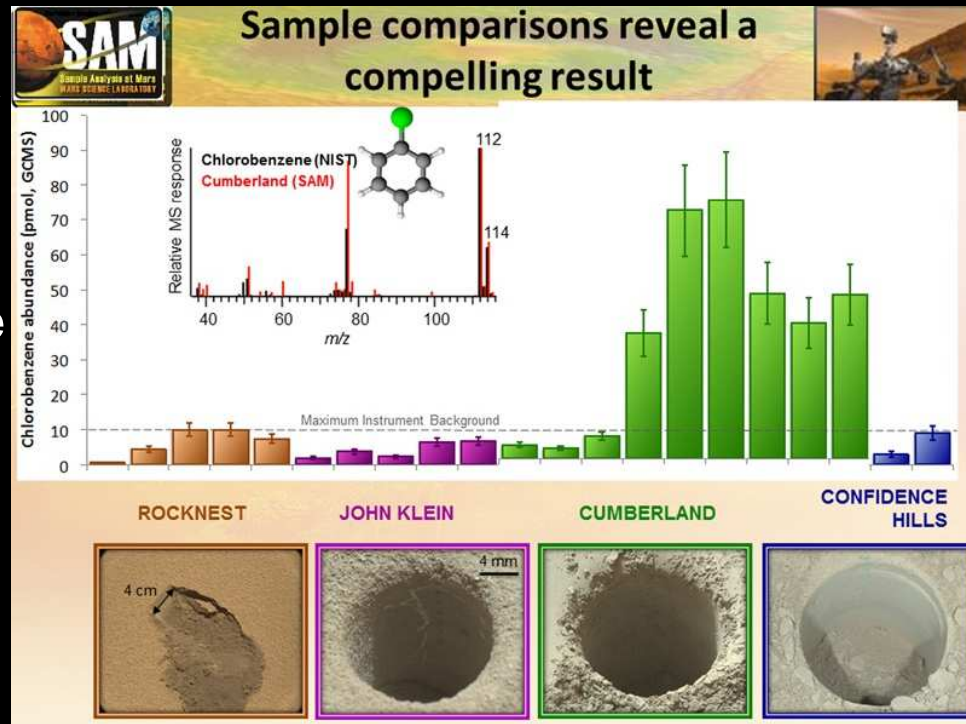




1er forage le 8/2/2013: John Klein
 2ème forage le 19/5/2013: Cumberland



L'eau qui s'écoulait ici il y a 3,7 Mds d'année n'était **ni salée ni acide** donc propice à la vie. Argiles confirmés à John Klein (smectite) et Rocknest (phyllosilicates)
 En décembre 2014 (!) annonce de **la découverte de molécules organiques** dans le forage Cumberland et de La détection de **bouffées de méthane** dans l'atmosphère



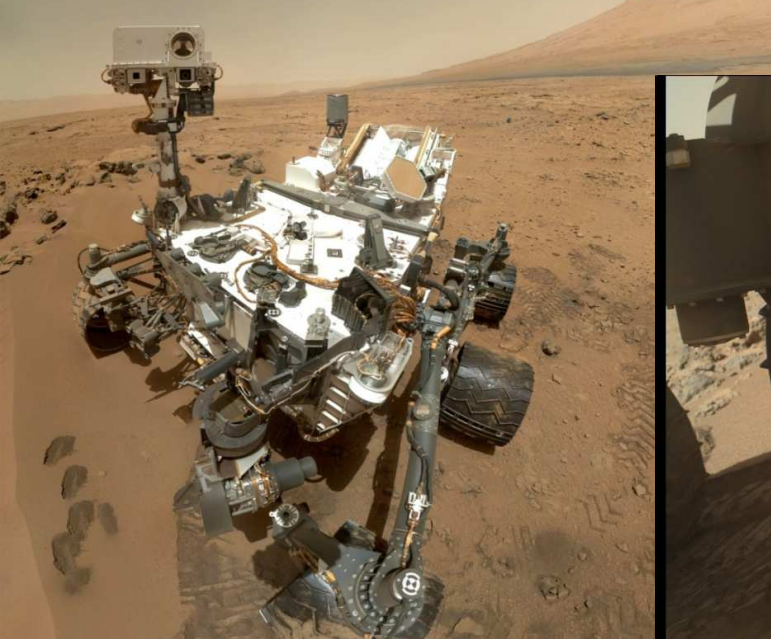
Après un an de séjour dans la zone Glenelg – Yellow Knife Bay, Curiosity s'est mis en route vers la base de la montagne Sharp



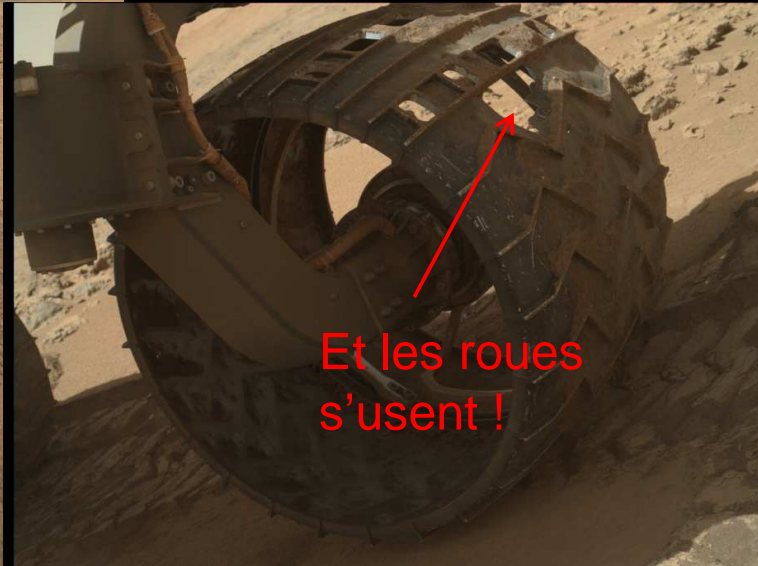
Son objectif: une vallée à la base du Mont Sharp



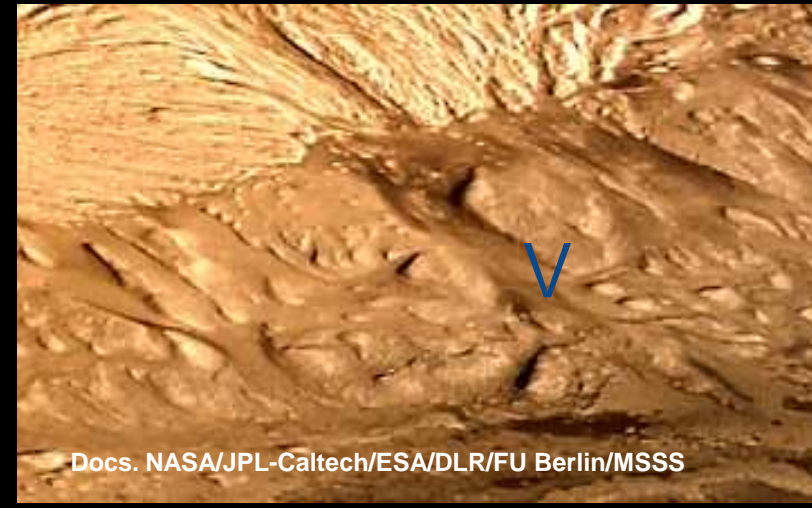
Mais il lui faudra de nombreux mois



Docs. NASA/JPL-Caltech/MSSS



Et les roues s'usent !



Docs. NASA/JPL-Caltech/ESA/DLR/FU Berlin/MSSS

Situation de Curiosity en août 2015

Docs. NASA/JPL-Caltech/MSSS



Confirmation de milieux passés plus acides

Mont Sharp



Nouveau forage du 31 juillet

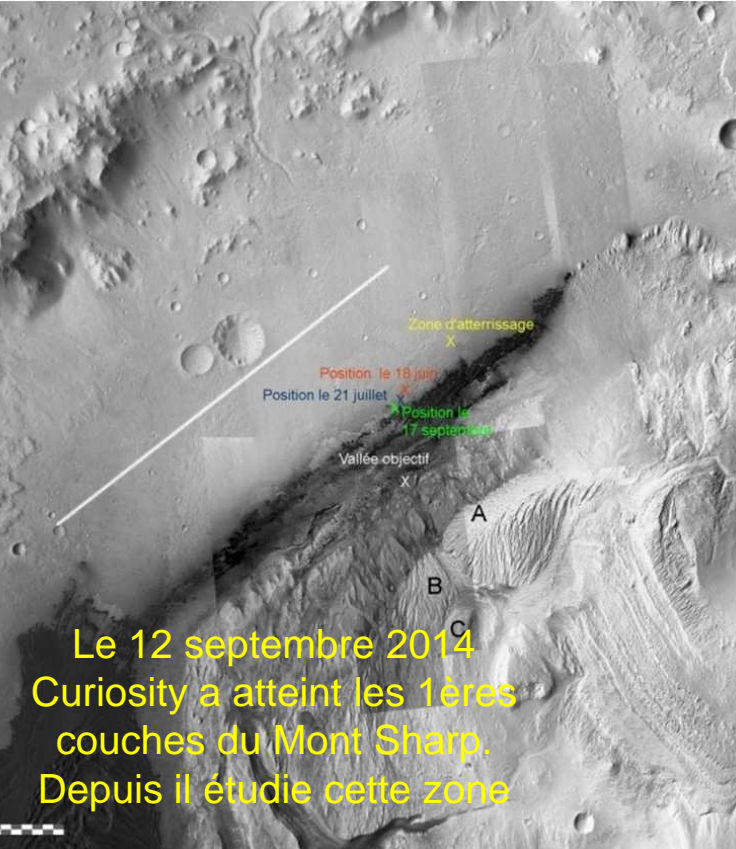


La cuillère du 30 août

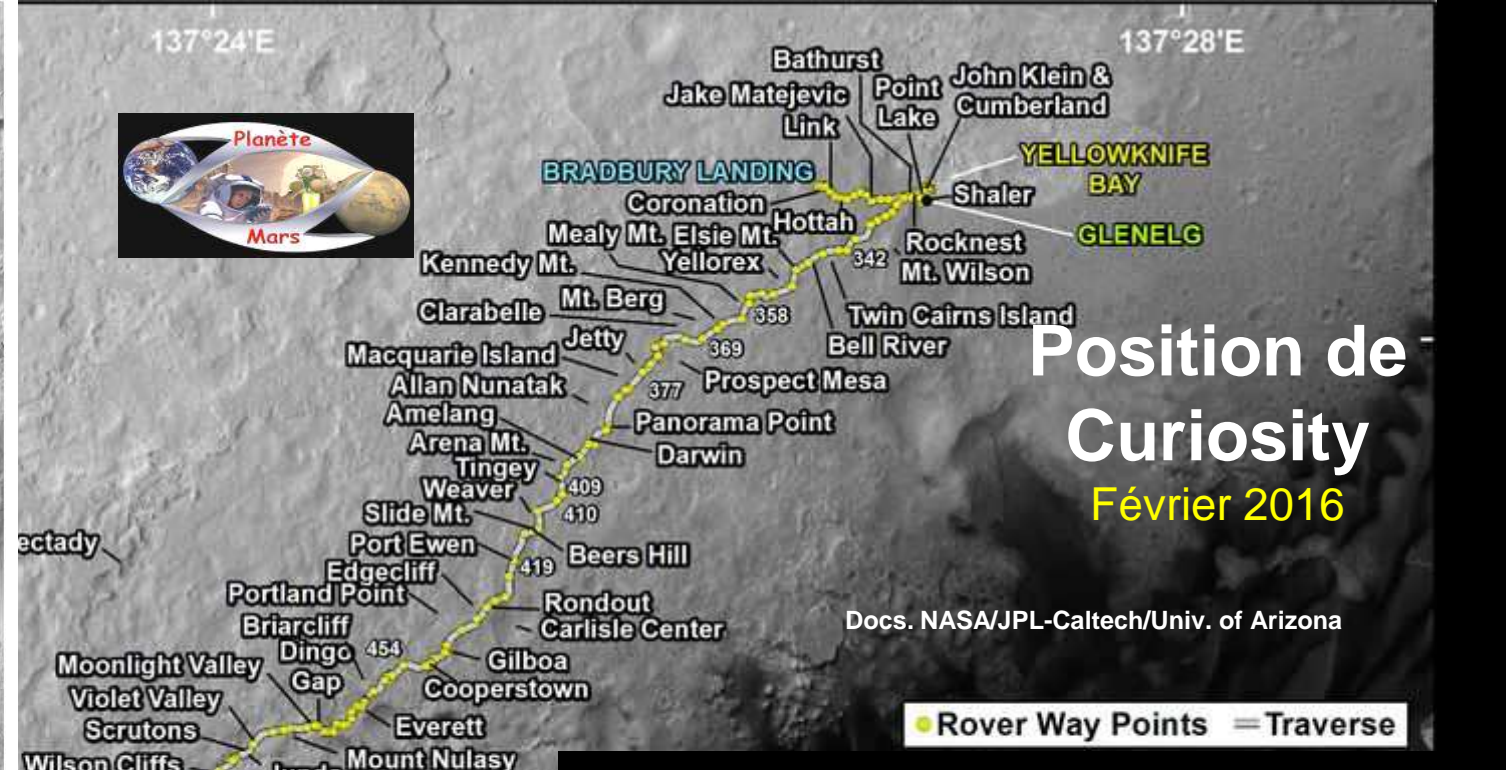


Des alluvions de fond de lac



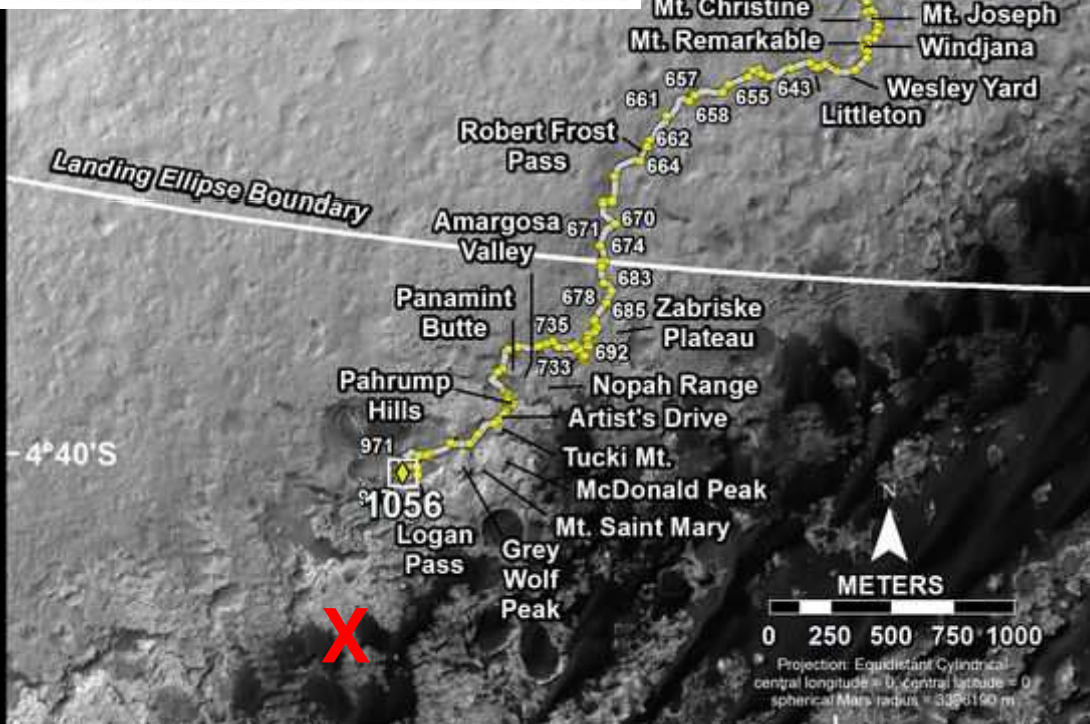


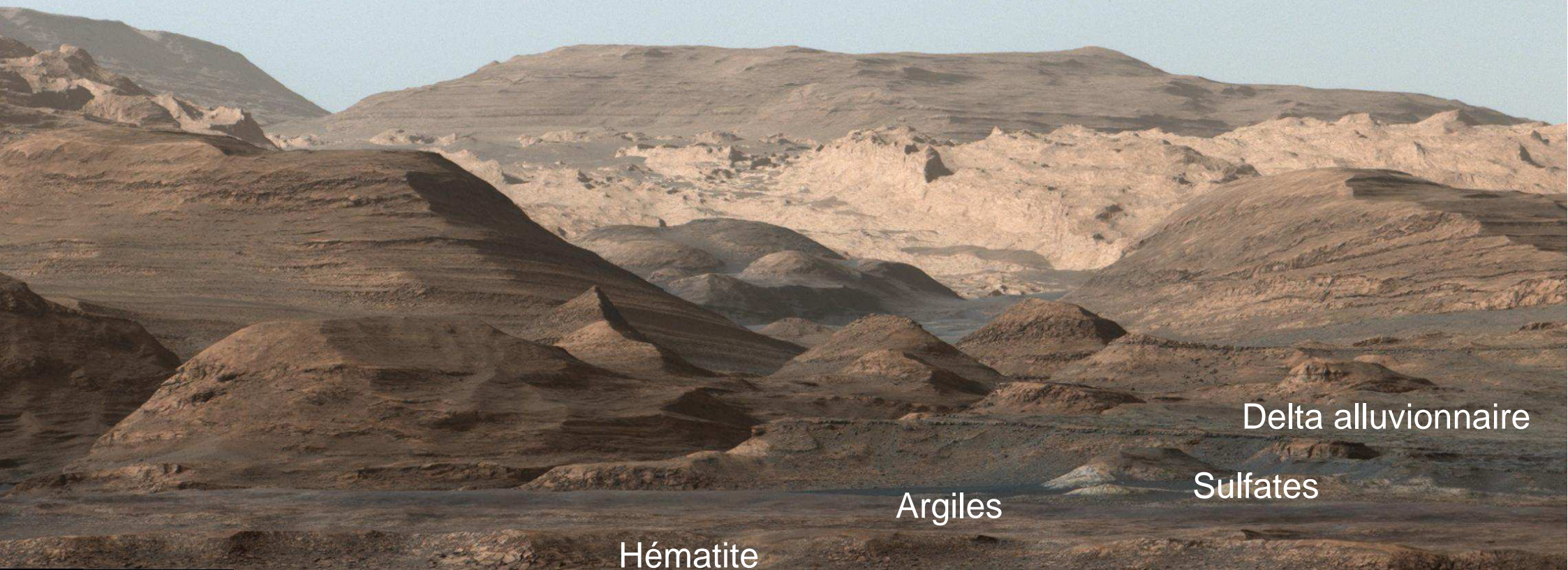
Le 12 septembre 2014
Curiosity a atteint les 1ères
couches du Mont Sharp.
Depuis il étudie cette zone



Position de Curiosity

Février 2016





Hématite

Argiles

Sulfates

Delta alluvionnaire

Docs. NASA/JPL-Caltech/MSSS

Image Mastcam du 9 septembre

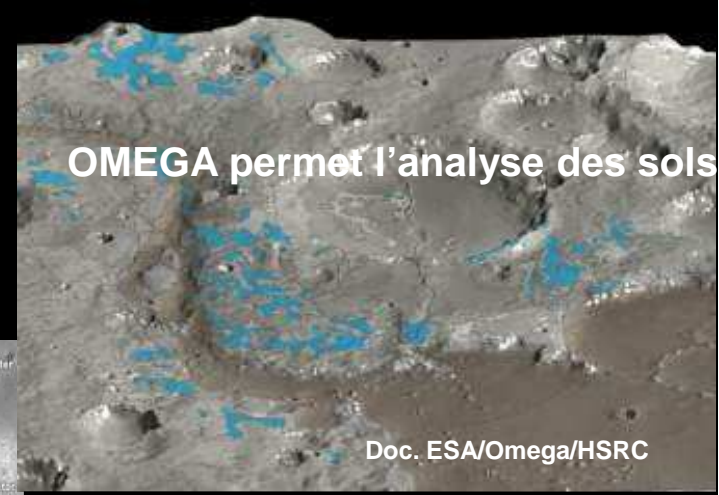
On trouve les images
brutes de Curiosity sur:
<http://mars.nasa.gov/msl/multimedia/raw/>



Mars Express (Europe) depuis 12 ans en orbite



Docs. ESA/DLR/FU Berlin



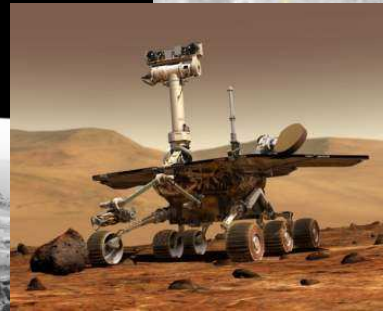
OMEGA permet l'analyse des sols

Doc. ESA/Omega/HSRC

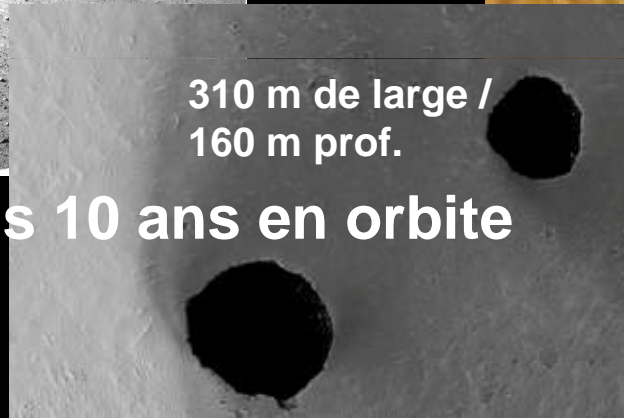


Opportunity (USA) depuis 12 ans au sol

Docs. NASA/JPL-Caltech



Docs. NASA/JPL-Caltech/MSSS



310 m de large / 160 m prof.

Opportunity au sol

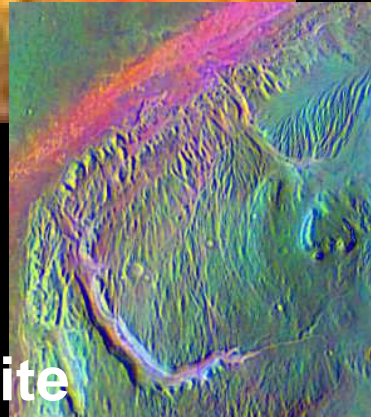


Pont résiduel sur un tube de lave.



MRO (USA) depuis 10 ans en orbite

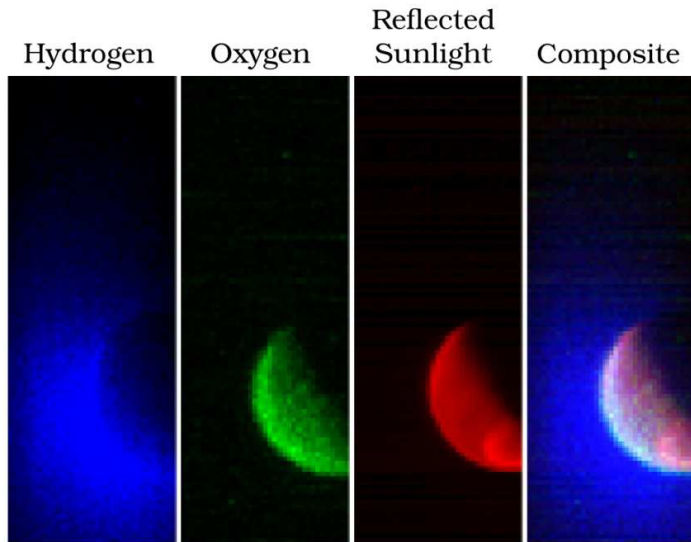
Mars Odyssey (USA) depuis 15 ans en orbite



Themis: minéralogie

Docs. NASA/JPL-Caltech/JHUAPL/Univ. of Arizona

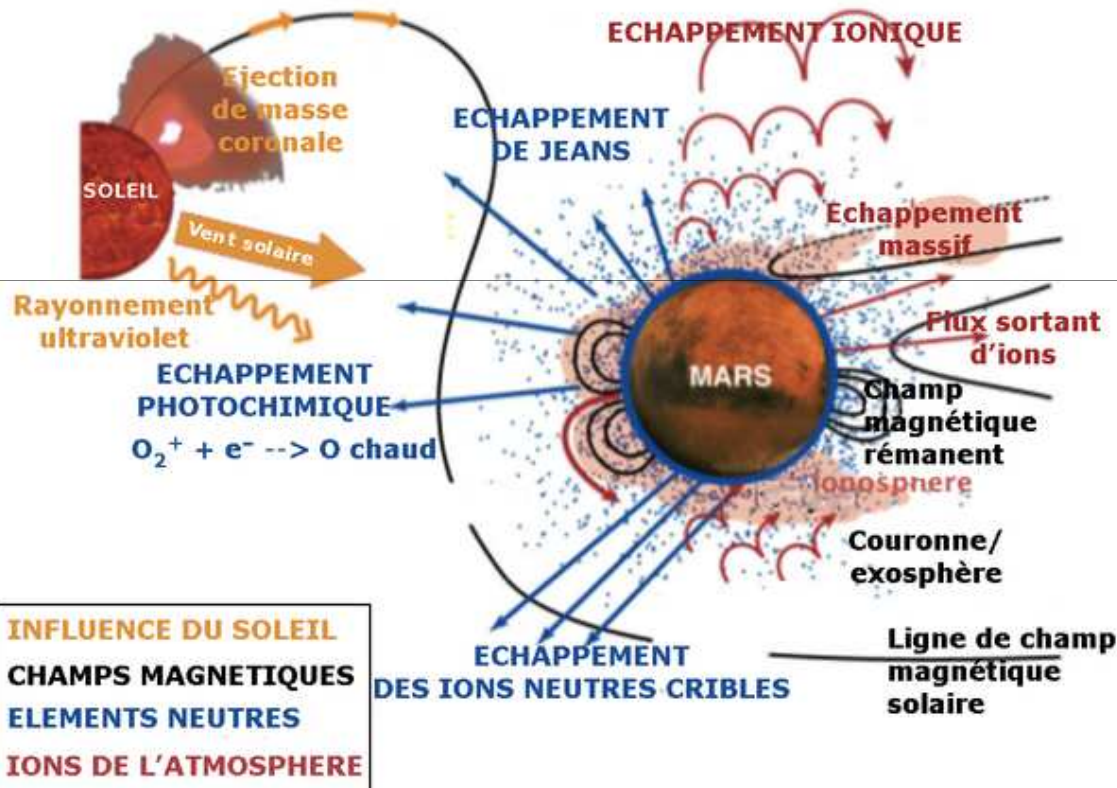
Maven (USA)



Doc. NASA/Goddard Spaceflight Center



Mangalyaan (Inde)



INFLUENCE DU SOLEIL
CHAMPS MAGNETIQUES
ELEMENTS NEUTRES
IONS DE L'ATMOSPHERE

Docs. ISRO



Les Mars Society

Associations à but non lucratif visant à promouvoir l'exploration de Mars en particulier par l'homme



Mars Society US

créée en 1998 par R. Zubrin

Association Planète Mars

Créée en 1999 par R. Heidmann

Environ 140 membres

Site: planete-mars.com

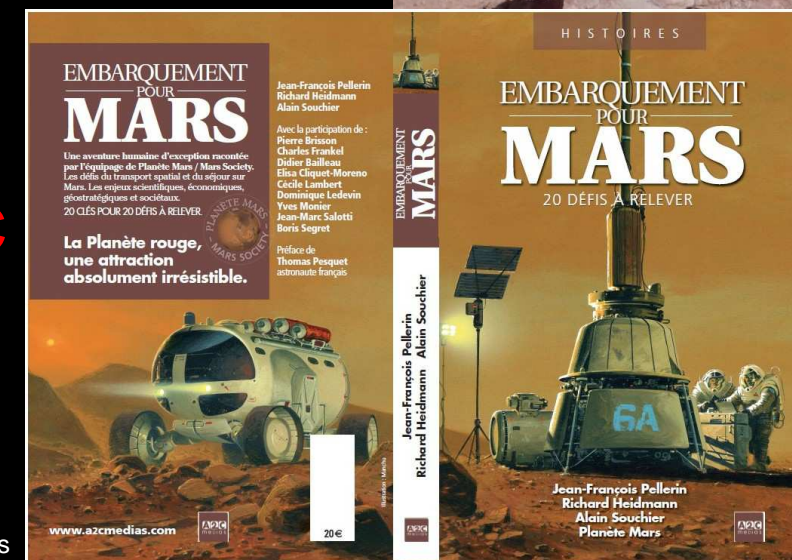


Docs. APM

Autres associations européennes

Allemagne, Pays Bas, Suisse, UK, Italie, Pologne, Belgique, Autriche

Les modes d'action sont de type promotion (conférences, articles, livres – sortie de « Embarquement pour Mars » en 2013 chez A2C Médias, nvelle éd 2015 -, TV) mais si opportunité des actions plus concrètes sont entreprises en particulier dans le domaine de la simulation



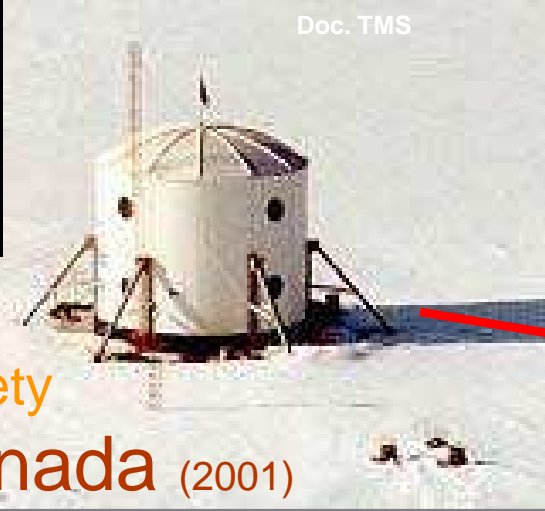
Doc. APM/Manchu/A2C medias



Doc. MDRS 43



Mars Society
Canada (2001)



Doc. TMS



Objectif Mars

Simulations sur Terre



Comex (2012)

Doc. Comex



NASA Arizona (2010)



NASA Floride -20m

Docs. NASA



Mars
500

Russie (2007-2011)



Hawaï HI-SEAS (2013)

Un an 2015-16

Doc. HI-SEAS



ÖWF (2011-12-13)

Doc. APM



Doc. IPEV

Concordia

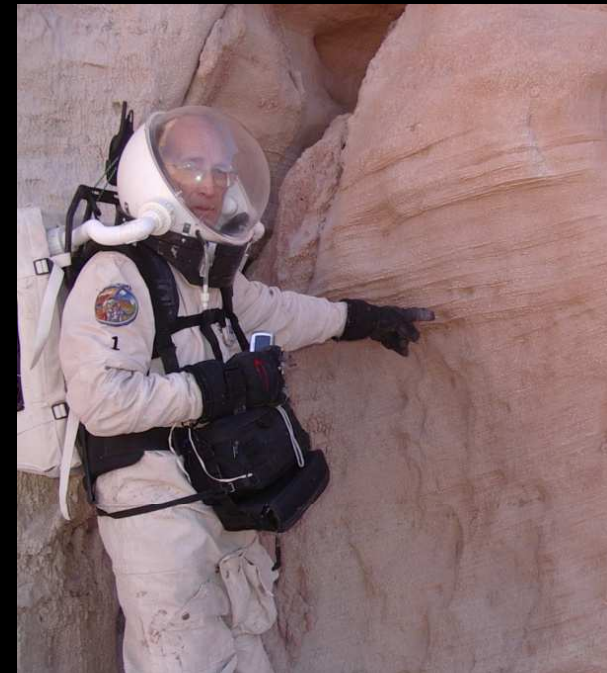
Antarctique

Préparation, entraînement et simulation

Les installations de simulation permettent à des équipages d'opérer dans des conditions proches de celles d'une installation sur une autre planète

... mais la simulation n'est jamais à 100%

Trois domaines: activité sur le terrain / l'habitat et la vie à bord / le support de mission à « Terre » et ses relations avec l'équipage



Ce qui peut être expérimenté plus précisément:

- Adaptation des expériences scientifiques, des outils, des technologies, des méthodes aux conditions de l'exploration planétaire
- Optimisation des stratégies d'exploration (avec soft et hardwares correspondants)
- Facteurs humains, dynamique de groupe
- Organisation (comment combiner efficacement la vie de l'équipage et les activités dans des domaines multidisciplinaires)
- Et un jour....l'entraînement des équipages



MDRS 43

2006

La Mars Society prépare des simulations longues (2 fois 80 jours) avec un participant APM Alexandre Mangeot comme commandant de bord

Doc. APM/MDRS 43

L'université d'Hawaï avec la NASA a démarré une simulation de 1 an en août 2015: HI-SEAS 4

avec un participant
APM Cyprien
Verseux



Lucie Poulet CA APM a participé à 4 mois de simulation HI-SEAS 2 en 2014





MDRS 164

Equipe Supaéro soutenue par APM

Février mars 2016

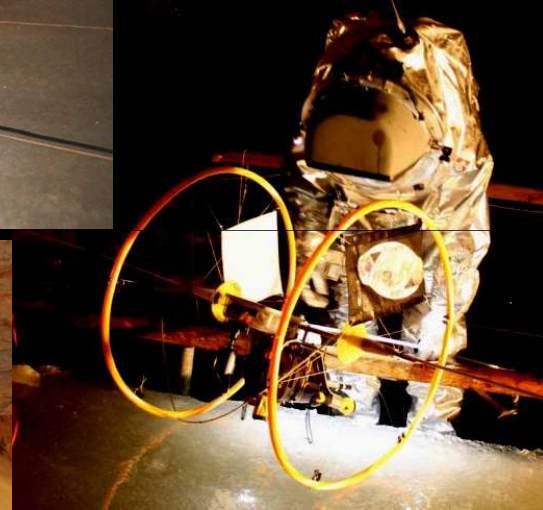


Simulation d'exploration de grottes martienne

(ÖWF-Dachstein -2012)



Docs. APM



Le Véhicule de Reconnaissance de
Paroi de l'association



Un mois de simulation d'exploration martienne en février 2013 (ÖWF)



La zone des Kess Kess – volcans fossiles sous marins de boue datant du Devonien (-416 à - 359 millions d'années)



Volcans de boue (?) sur Mars
Doc. NASA/JPL-Caltech

17 partenaires scientifiques
23 pays



Rovers Magma (Hongrie) et Puli (Pologne)



Doc. NASA/JPL-Caltech



Docs. APM



Dust devil ...

Doc. ÖWF



Abri déployable (Autriche)



Doc. ÖWF

Delta (Autriche)



Hunveyor (Hongrie)



MicroEVA contamination (USA JPL)

Le scaphandre Aouda (ÖWF)

Docs. APM



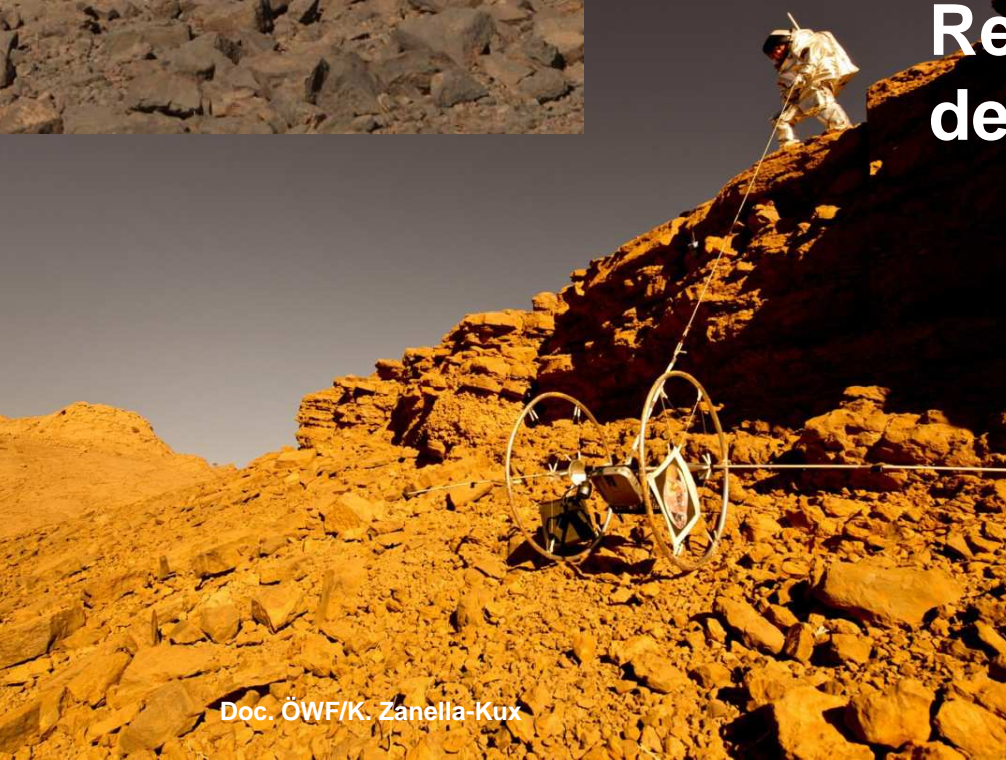
Transmission de nombreuses informations (rythme cardiaque, pressions partielles O2 et CO2, températures, voltages,...)

Restitution des efforts de pression



Le véhicule de Reconnaissance de Paroi (APM)

Camera de casque



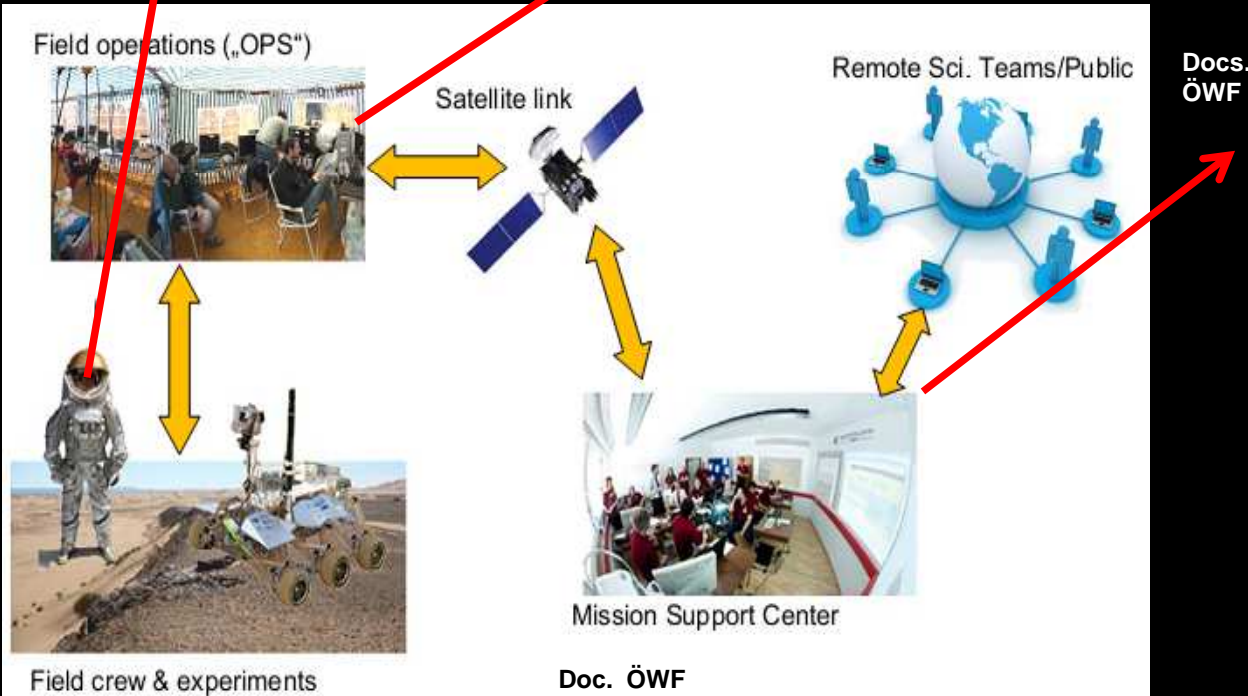
Doc. ÖWF/K. Zanella-Kux



Essais 92 à 109 réalisés au Maroc

Une des principales expériences: l'organisation et la conduite d'une mission d'exploration

Docs. APM



Et la dernière simulation ÖWF: AMADEE-15 sur glacier rocheux (3 au 14 août 2015)



Doc. NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona



Docs. APM/A. Souchier



Doc. ÖWF /Claudia Stix



La Comex

Le scaphandre Gandolfi 1

L'habitat SHEE

Programme PCRD



Docs. ESA/Comex



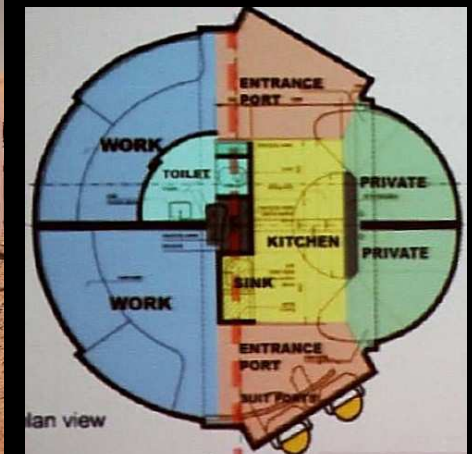
Doc. APM



Docs. APM



Docs. SHEE/Comex



plan view

Le scaphandre Gandolfi 2 Comex



Scaphandres
à
exosquelette
pour
restitution
d'efforts de
pression

Gandolfi 2

Gandolfi 1

Aouda ÖWF



Projet Moonwalk:
Simulations martiennes au
Rio Tinto (avril 2016)
Simulations lunaires sous
l'eau à Marseille (juin 2016)



Merci

Les simulations APM

Simulation en France aux
Vaches Noires le 14 mars
2013

Et....Adhérez à

L'Association Planète Mars

www.planete-mars.com



Simulation de
marche
martienne à
l'Euro Space
Center le 10
mars 2016

Les simulations APM



Doc. J. P. Viard



Docs. L. Poulet/A. Souchier



Simulation dans la grotte des Petites Dales le 28 mai 2016



Doc. J. P. Viard



Au 20ème siècle nous sommes devenus des terriens

...

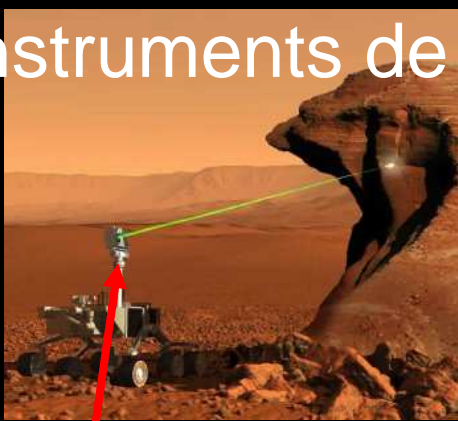
Au 21ème siècle nous deviendrons des solariens



Les instruments de Curiosity

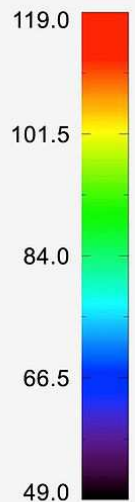


Docs. NASA/JPL-Caltech

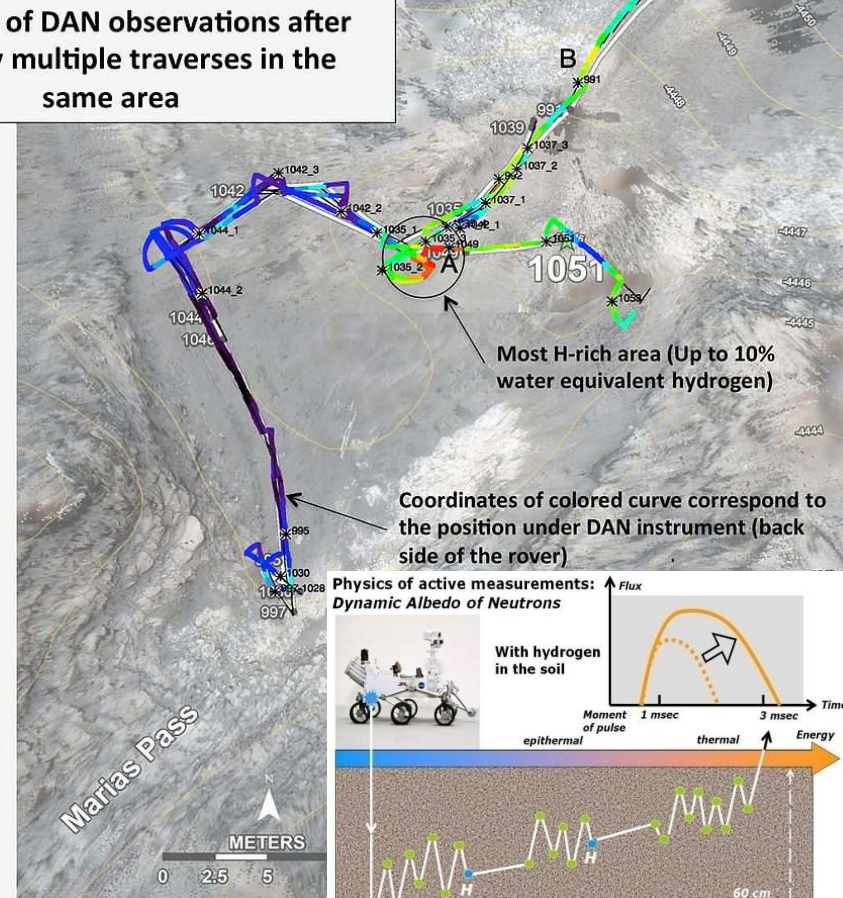


Chemcam: laboratoires français IRAP et CEA pour le laser, télescope, caméra et électronique de commande

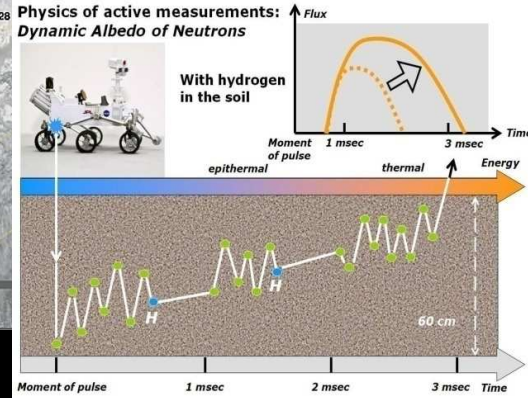
Summary of DAN observations after Curiosity multiple traverses in the same area



DAN PASSIVE COUNT RATE (cps)



Coordinates of colored curve correspond to the position under DAN instrument (back side of the rover)



DAN Dynamic Albedo of Neutrons (Russie):

- Mode passif ou actif
- Détection d'eau (hydrogène) jusqu'à 2 m de profondeur
- A trouvé en général 2 à 4% d'eau; maximum 10%

Robotic arm
Used to examine and manipulate soil and rocks; it also has two scientific instruments, one uses X-rays to determine materials' composition and the other is a magnifying camera

Chemcam
Burns small holes in rocks and soil up to 23 feet away and identifies chemical

Color cameras
Stereo mastcams on either side of the rover's mast take color pictures and movies in 3-D

UHF antenna
Primary transmission antenna

Plutonium power source
A nuclear battery that converts heat into electricity

Neutron detector
Detects water in rocks and soil

Weather station
Records wind speed/direction, air pressure, humidity, temperature and UV radiation

Radiation detector
Measures radiation from the sun, supernovae and other sources

Chemistry lab
Analyzes rock and soil samples for organics

Mineral detector
Shines an X-ray beam at a rock or soil sample to identify types of minerals

Photo courtesy of NASA



SAM Sample Analysis at Mars (détection C-H-O-N):

- SAM GC (Chromatographe en phase Gazeuse) des laboratoires français LATMOS et LISA,
- SAM QMS (Spectromètre de Masse Quadripolaire) du Goddard SFC NASA
- SAM TLS (spectroscopie laser accordable) du JPL
- SAM comporte 77 fours dans lesquels les échantillons peuvent être chauffés jusqu'à 1100 °C.