

Seul sur Mars, deux en scène !



Roland Lehoucq
CEA-Saclay Service d'Astrophysique

Pierre Thomas
Laboratoire de géologie, ENS de Lyon

Tout commence par une tempête



Extrait du DVD *Seul sur Mars*, 20th Century Fox, 2016 ; film de Ridley Scott, 2015.



Photographie : Jacques Guarinos

Gaz et cendres volcaniques à haute température dévalant la pente du volcan.

Nuées ardentes de l'éruption du Lascar (Chili), 19 avril 1993.

Ce que l'on a appris

Le vent exerce une force de 8 600 Newtons.

La limite de sécurité est fixée à 7 500 Newtons.

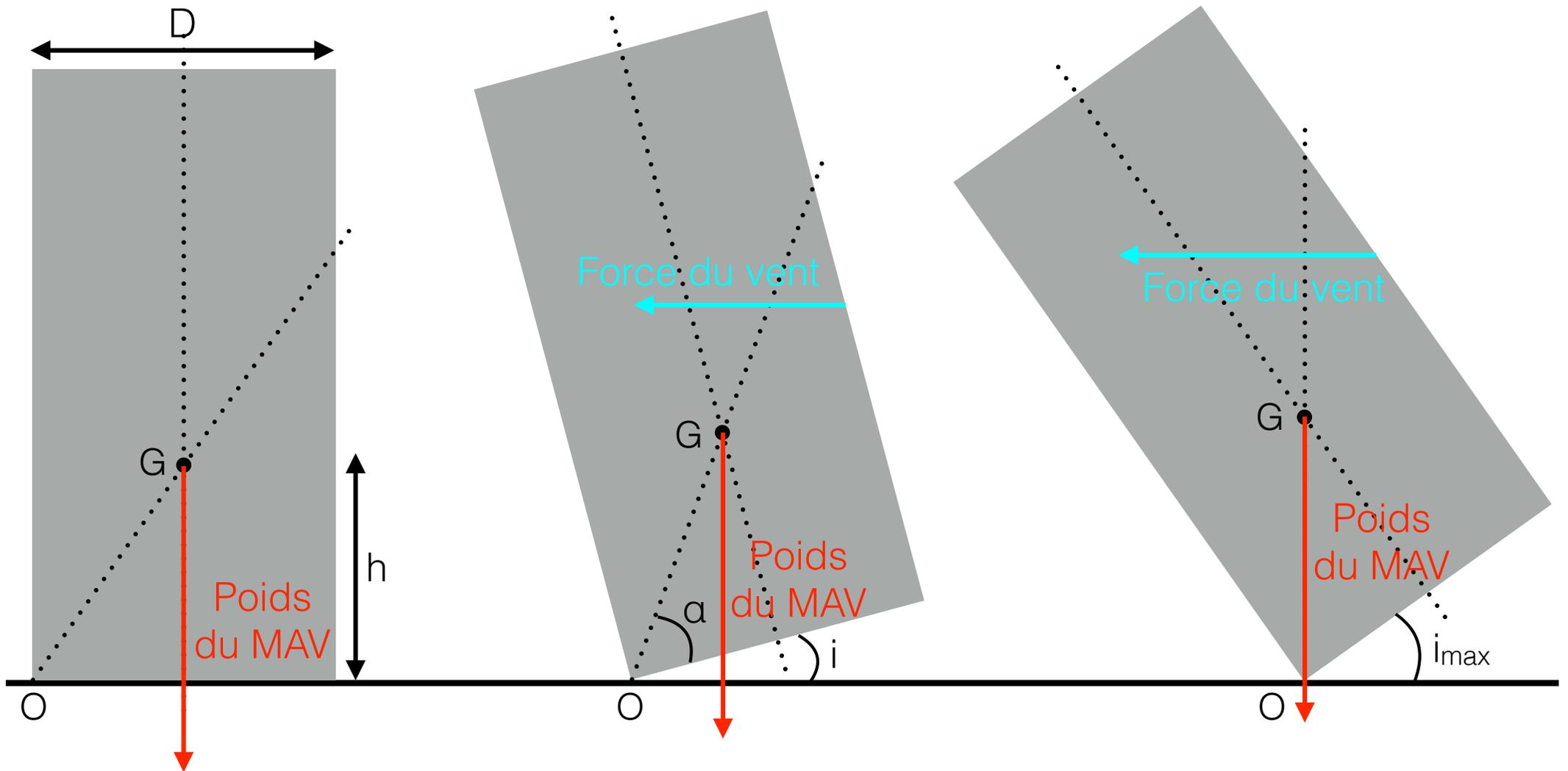
Le *Mars Ascent Vehicle* (MAV) bascule à 12,3° d'inclinaison.

	Sas	Mars	Scaphandre
Pression	11,71 psi	0,11 psi	4,75 psi
Oxygène	20,7 %	0,14 %	21,01 %
Température	16,19 °C	- 62 °C	18,46 °C

1 psi = 1 pound per square inch = 6 894,76 Pa

1 atmosphère = 1,013 10⁵ Pa = 14,7 psi.

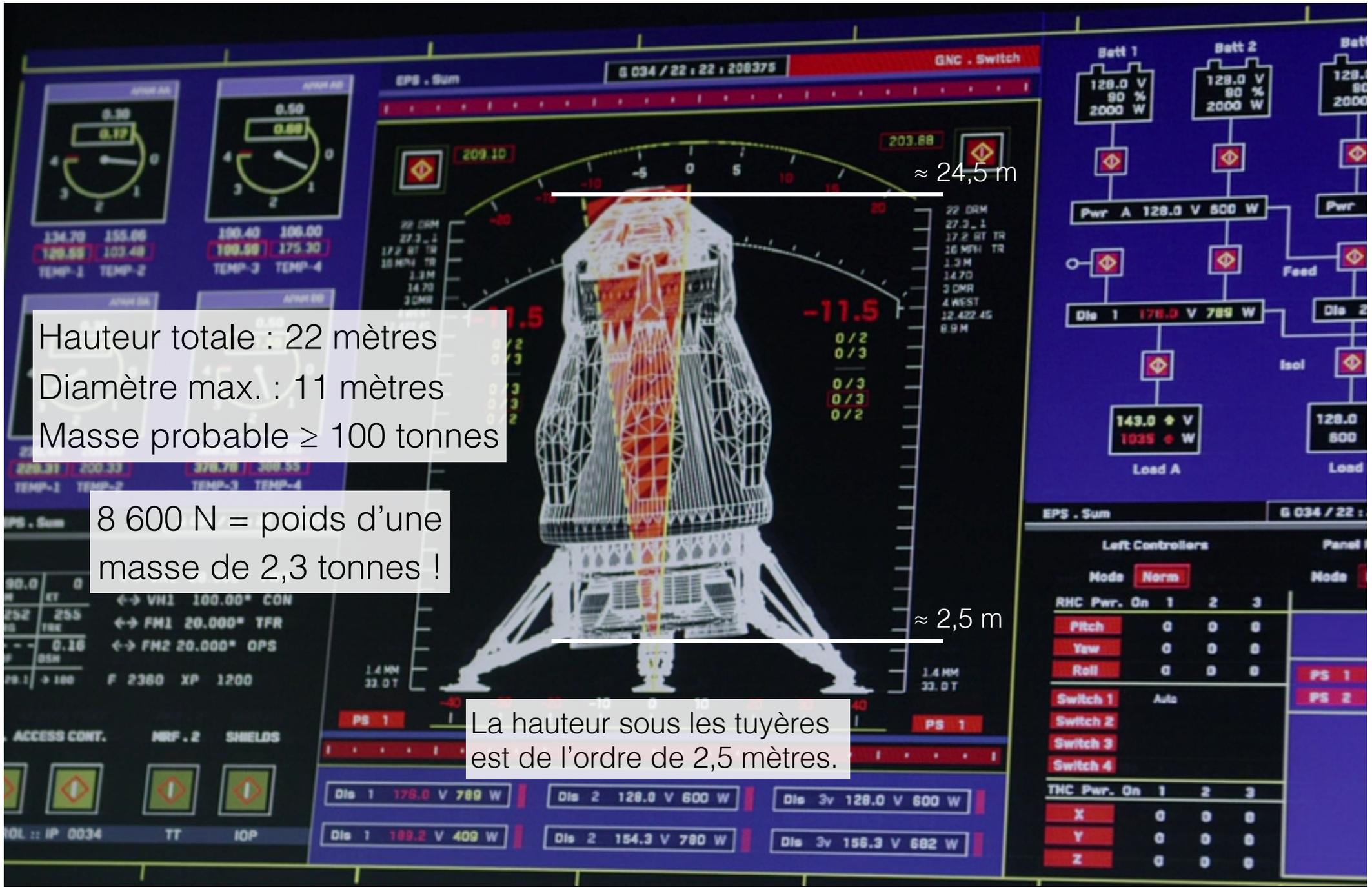
Le MAV peut-il basculer ? - 1



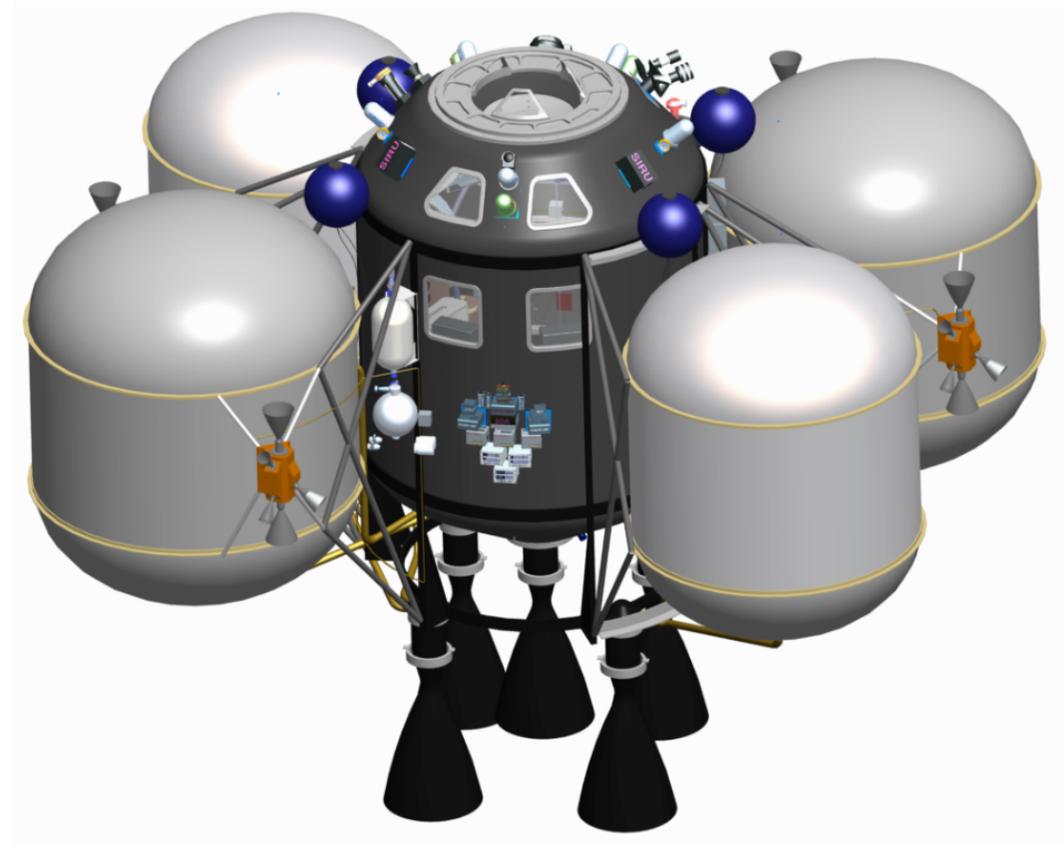
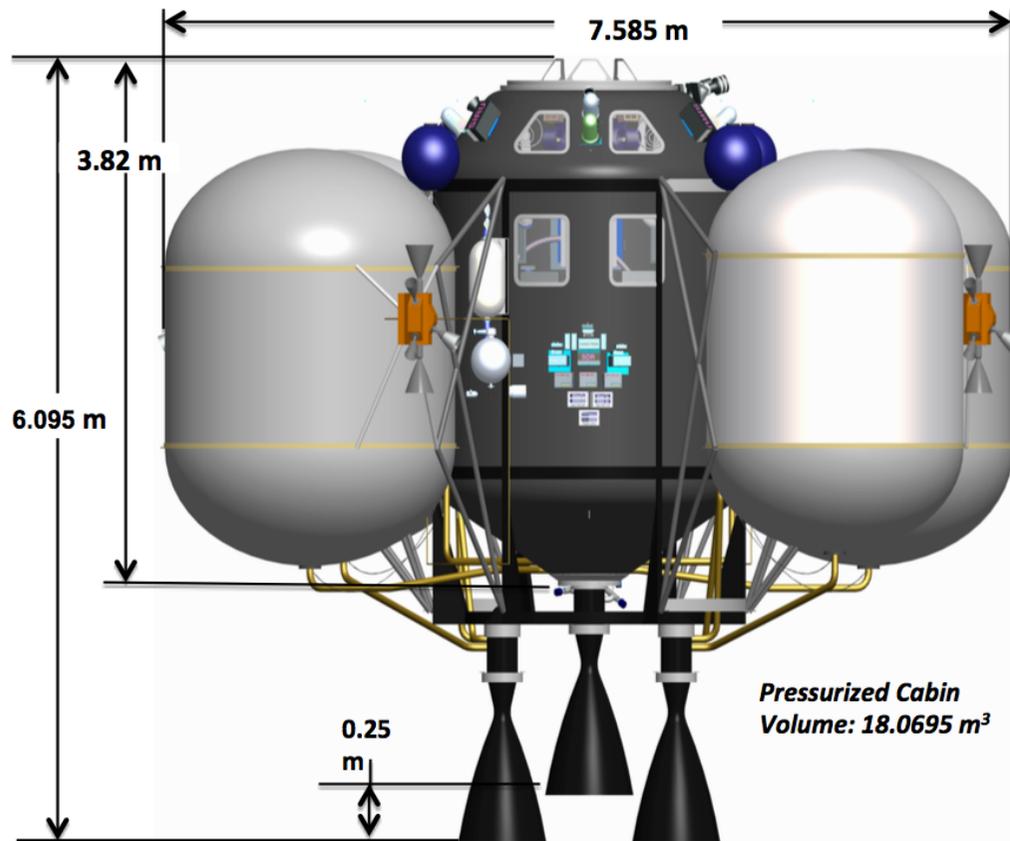
L'équilibre est possible tant que $i \leq 90^\circ - \alpha$

Il faut que le h/D soit aussi petit que possible !

Le MAV peut-il basculer ? - 2



Le MAV « réel »



Pour un équipage de 6 astronautes
Masse à vide \approx 13 tonnes
Masse de carburant \approx 30 tonnes

Quelle est la vitesse du vent ?

$$F = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_x$$

Force exercée par le vent = 8 600 N

Densité atmosphérique martienne $\rho = 0,016 \text{ kg/m}^3$

Aire frontale du MAV $A = 22 \times 11 \text{ m}^2$

Coefficient aérodynamique d'un cylindre $C_x \approx 1$

Le calcul donne $V \approx 67 \text{ m/s} \approx 240 \text{ km/h}$

Cette vitesse de vent est-elle observée à la surface de Mars ?

Le vent martien est-il assez puissant pour soulever des graviers ?

NB : La densité atmosphérique martienne est 75 fois inférieure à celle de la Terre.

Pour qu'un vent martien exerce une force identique à celle d'un vent terrestre il doit donc être $\sqrt{75} \approx 8,7$ fois plus rapide.

Un vent martien à 67 m/s est comme un brise terrestre à 7,7 m/s.

Faisons un peu de météorologie martienne !

Opportunity



Curiosity

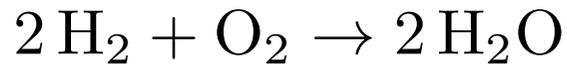


Tempête de poussières du 18 novembre 2012, vue par Mars Reconnaissance Orbiter.

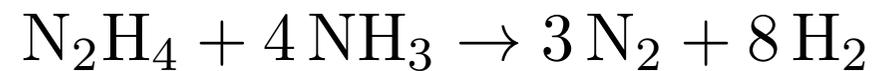
Comment faire de l'eau ?

J'ai réussi à créer 126 mètres carrés de terre utilisable, mais chaque mètre cube de terre nécessite 40 litres d'eau pour être cultivable.

Pour produire de l'eau Watney utilise



Il produit H_2 à partir d'hydrazine (N_2H_4) et d'un catalyseur (dépôt d'iridium sur alumine)



Catastrophe du Hindenburg, Lakehurst, 6 mai 1937.

La propulsion du MAV

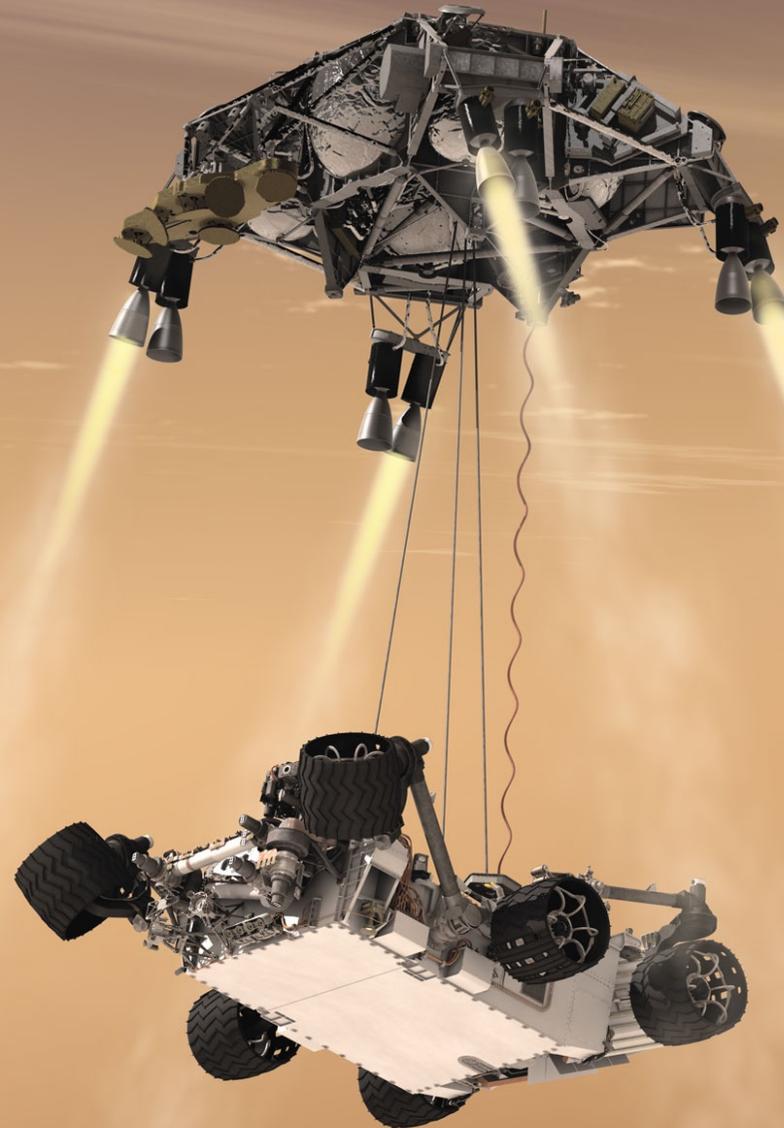


Martinez prépare le MAV pour le départ précipité.

Hydrazine et propulsion - 1



Hydrazine et propulsion - 2



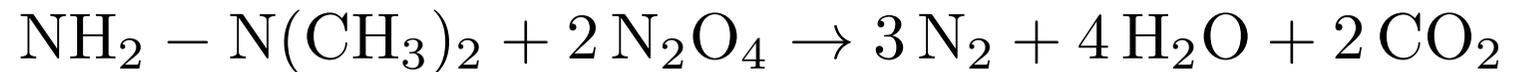
Hydrazine monoergol utilisée
par le *skycrane* qui a
déposé Curiosity sur Mars.

Vue d'artiste de l'arrivée de Curiosity sur Mars, le 6 août 2012.

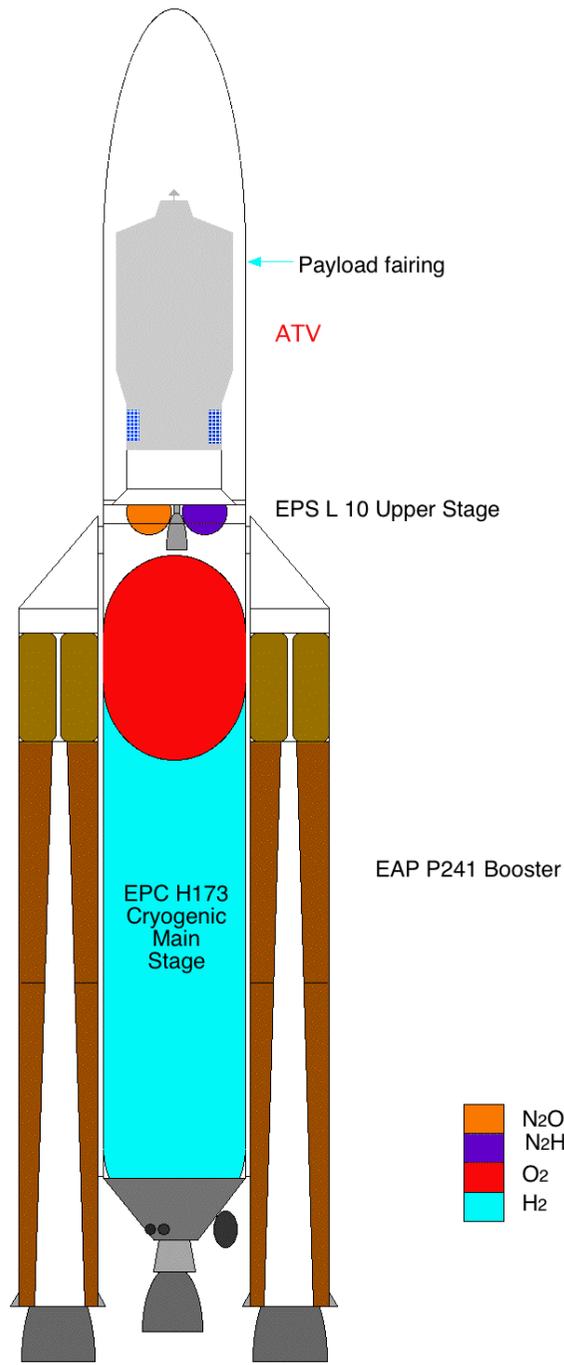
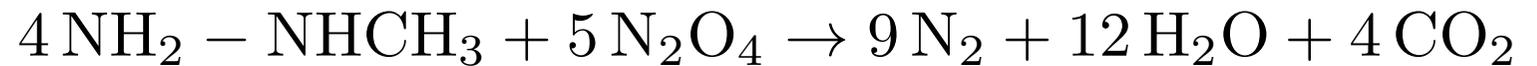
Hydrazine et propulsion - 3

Mélanges hypergoliques

Diméthylhydrazine + peroxyde d'azote



Monométhyldiazine + peroxyde d'azote



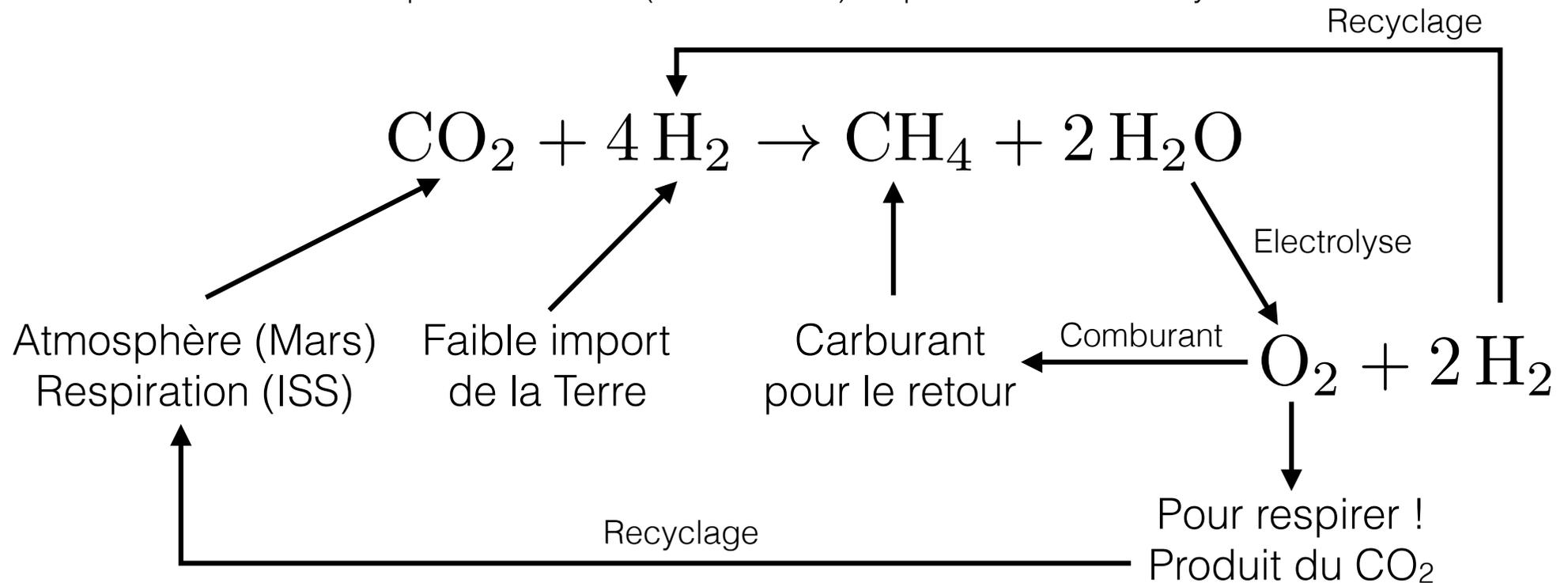
Réactions utilisées par

- Le Lunar Module Ascent Engine.
- Ariane 5 (étage EPS, à propergols stockables).
- la sonde Juno pour se mettre en orbite jovienne.

Comment faire de l'oxygène ?

Réaction de (Paul) Sabatier
(1854 - 1941, prix Nobel de chimie 1912)

Température élevée (300 - 400 °C) en présence d'un catalyseur.



Dans l'ISS cette réaction est utilisée pour produire de l'eau à partir du CO_2 issu de la respiration des astronautes.

Le parc énergétique de Morbach (Allemagne) stocke l'électricité inutilisée sous forme de méthane CH_4 (CO_2 issu de biogaz, H_2 issu de l'électrolyse de l'eau).



Peut-on encore trouver de l'eau sur Mars ?

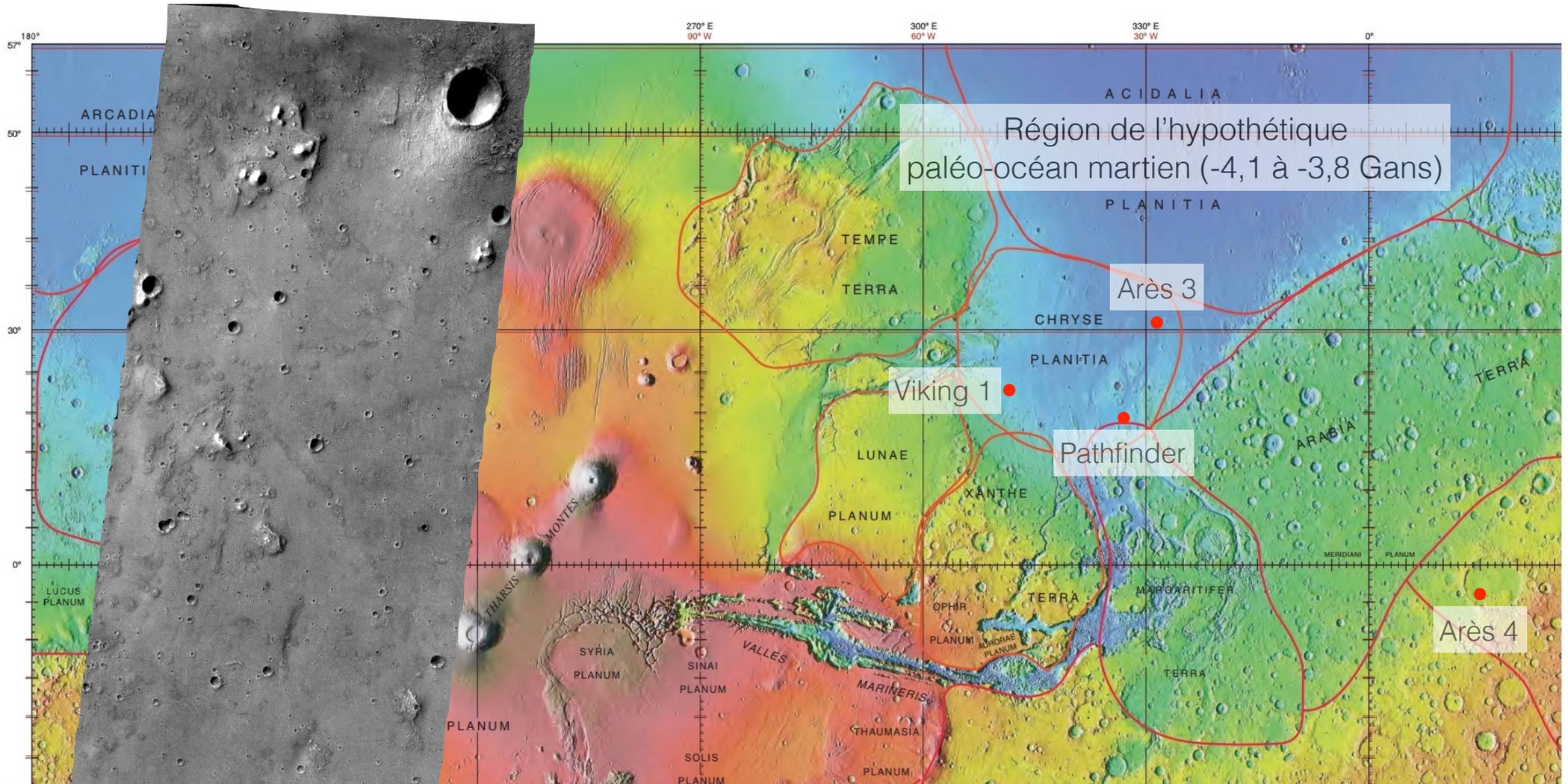
La calotte polaire nord durant l'été, vue par Mars Global Surveyor.

Cultivons sur Mars - 1



Mark Watney et son carré de pommes de terre.

Cultivons sur Mars - 2



Carte altimétrique partielle de Mars

Le site d'Arès 3 vué par Mars Odyssey en 2001.

Acidalia Planitia/Arès 3 : - 4 000 m

Arabia Terra : - 2 000 à -1 000 m

Région de Schiaparelli : -1 000 à 0 m

Cultivons sur Mars - 3

Régo-lite : couche superficielle formée par la dégradation de la roche sous l'effet de divers facteurs (impacts de micrométéorites, influence du vent solaire, érosion éolienne, etc.).
Ce n'est pas vraiment un « sol » car il lui manque matière organique et vie microscopique.

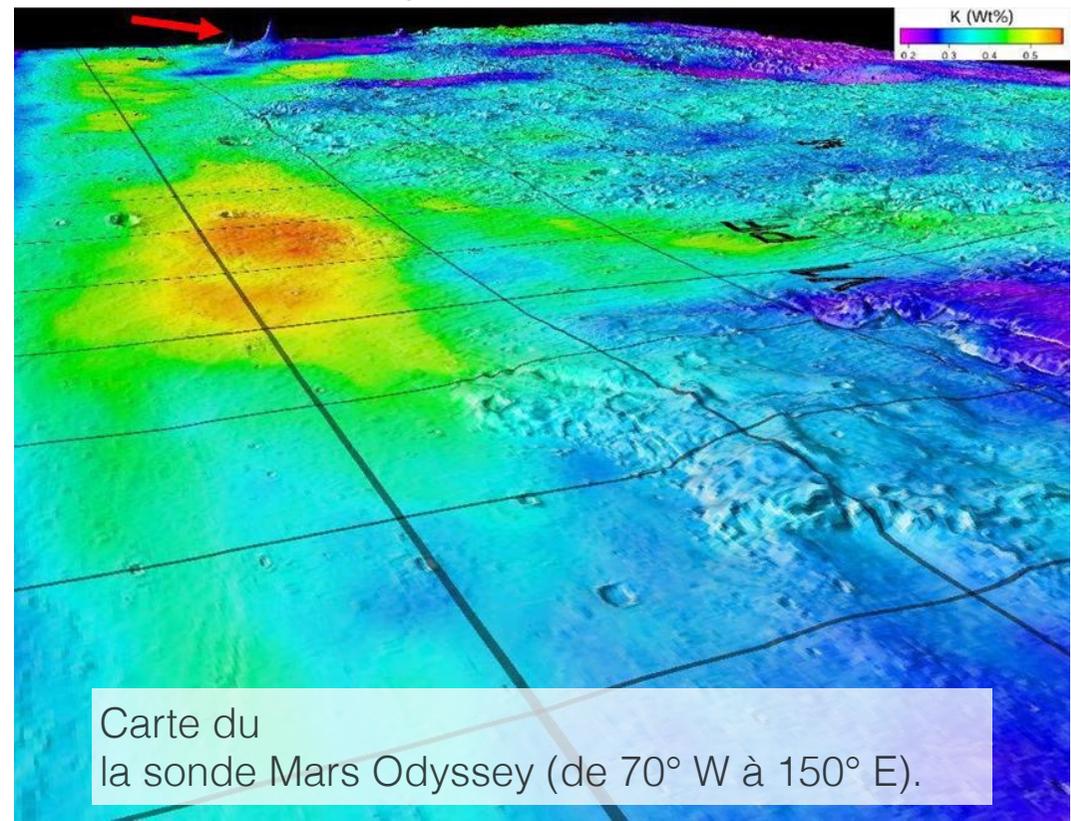
Région d'Arès 3 : fond d'un ancien océan contenant 0,5 % de potassium (K) en masse.

Sur Mars, très bonne corrélation entre teneur en K et faible altitude.

Sur Terre, quand on évapore de l'eau de mer les sédiments qui en résultent sont 20 fois plus concentrés en Na qu'en K.

Si c'est la même valeur sur Mars alors les sols de la région d'Acidalia Planitia sont riches en Na (10% en masse), ce qui n'est pas bon pour cultiver !

Volcans de la chaîne Elysium.



L'habitat martien - 1



Mark Watney répare le sas détruit avec une bâche et du scotch.

L'habitat martien - 2

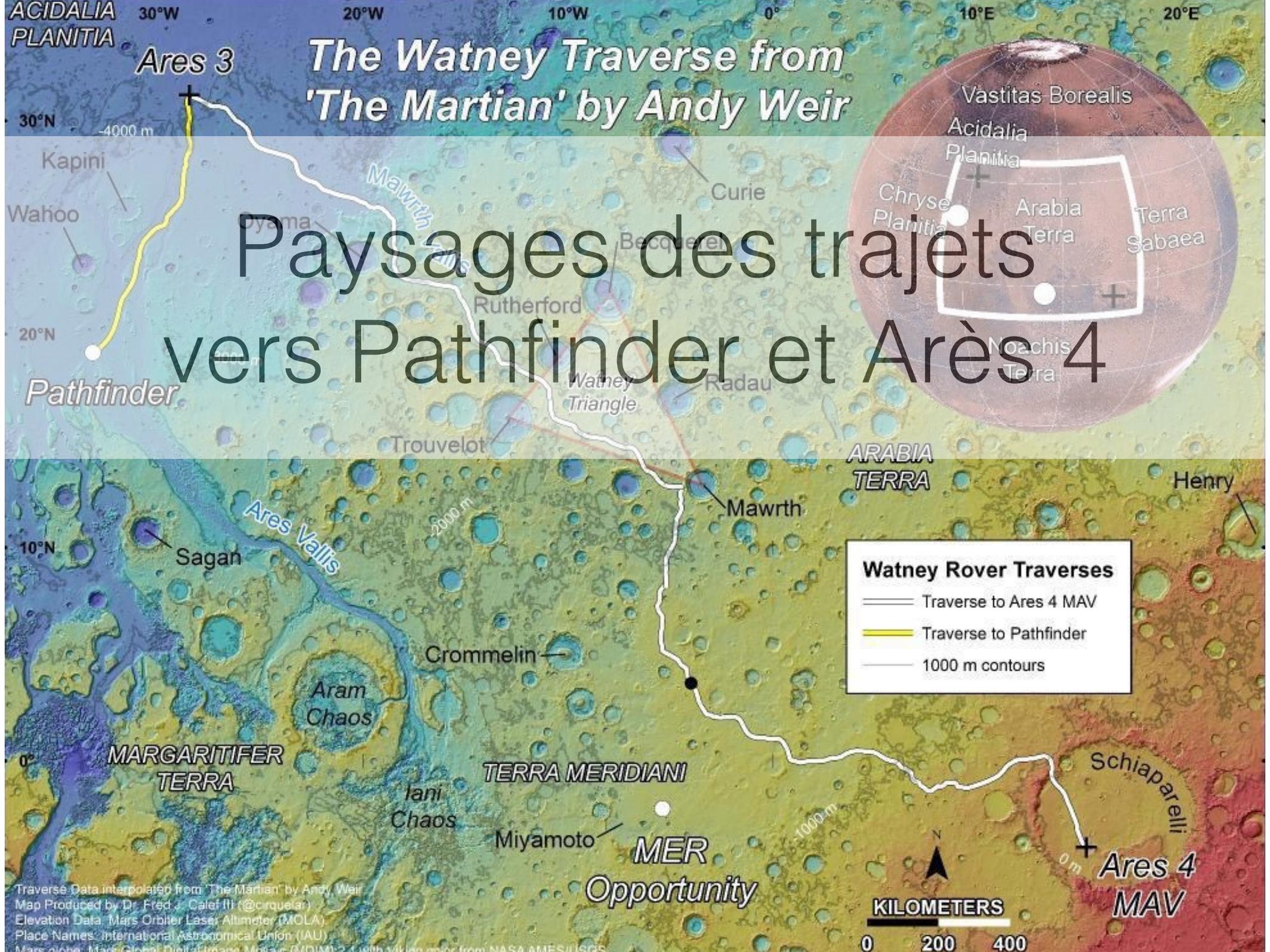


La réparation est terminée ! Vraiment ?

Réparation d'un casque



Mark Watney bouche la fuite de son casque avec du scotch !



The Watney Traverse from 'The Martian' by Andy Weir

Paysages des trajets vers Pathfinder et Arès 4

Watney Rover Traverses

- Traverse to Ares 4 MAV
- Traverse to Pathfinder
- 1000 m contours

Traverse Data interpolated from 'The Martian' by Andy Weir
 Map Produced by Dr. Fred J. Calef III (@circular)
 Elevation Data: Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA)
 Place Names: International Astronomical Union (IAU)
 Mars globe: Mars Global Digital Shape Model (MGS) 2.1 with Viking color from NASA AMES/JSGS

Le ciel martien - 1

Le Soleil paraît un peu brillant :
 586 W/m^2 , contre $1\,360 \text{ W/m}^2$ sur Terre.

Mark Watney approche du cratère Schiaparelli.

Le ciel martien - 2



Mark Watney stationné près du MAV de la mission Arès 4 (cratère Schiaparelli).

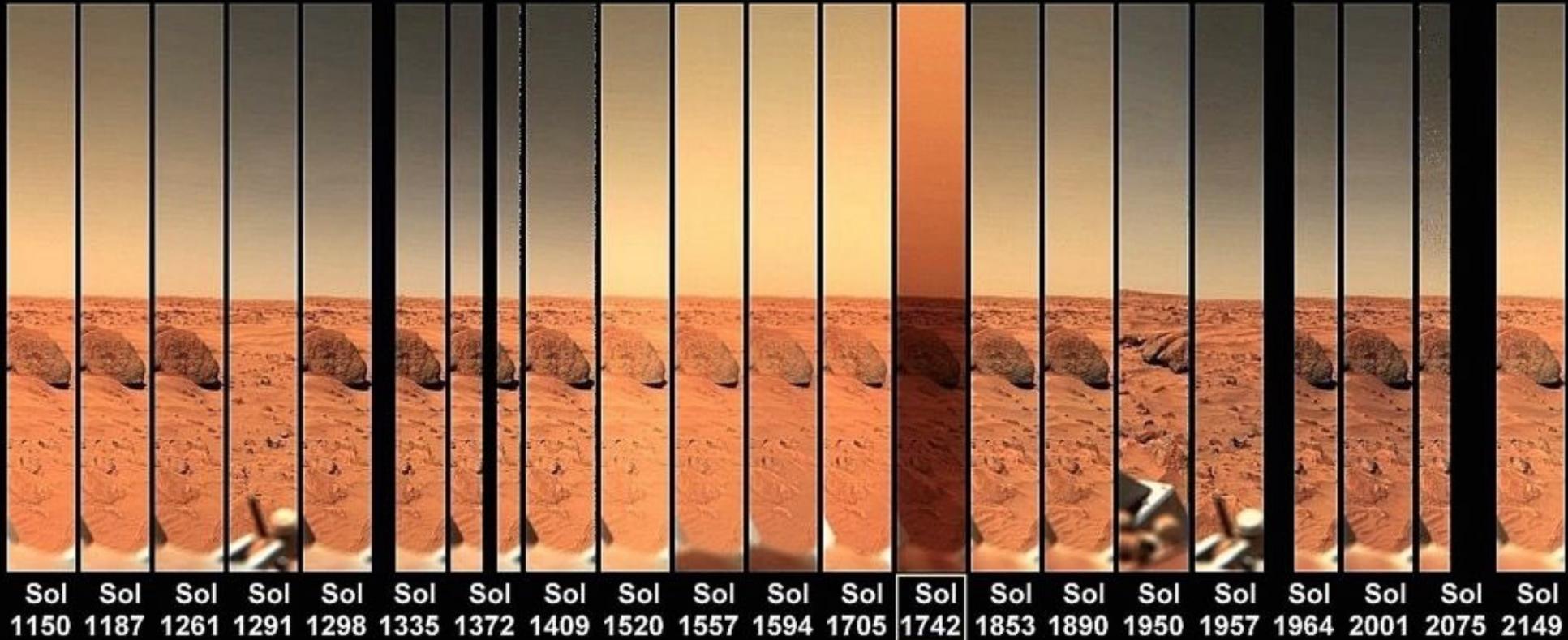
Le ciel martien - 3



L'intérieur du cratère Spirit of St. Louis vu par Opportunity le 29/3/2015.

Le ciel martien - 4

Séquence de 1 000 sols (1,5 an martien, 3 ans terrestres)



Images NASA/JPL. Mosaics & processing : (C) Olivier de Goursac, 2016

↑
Pression atmosphérique
et vent faibles

↑
Tempête de poussières

Le ciel martien vu depuis le site de Viking 1 (posé sur Mars depuis le 20 juillet 1976).

Coucher de Soleil martien - 1



Coucher de Soleil (*Seul sur Mars*).

Coucher de Soleil martien - 2



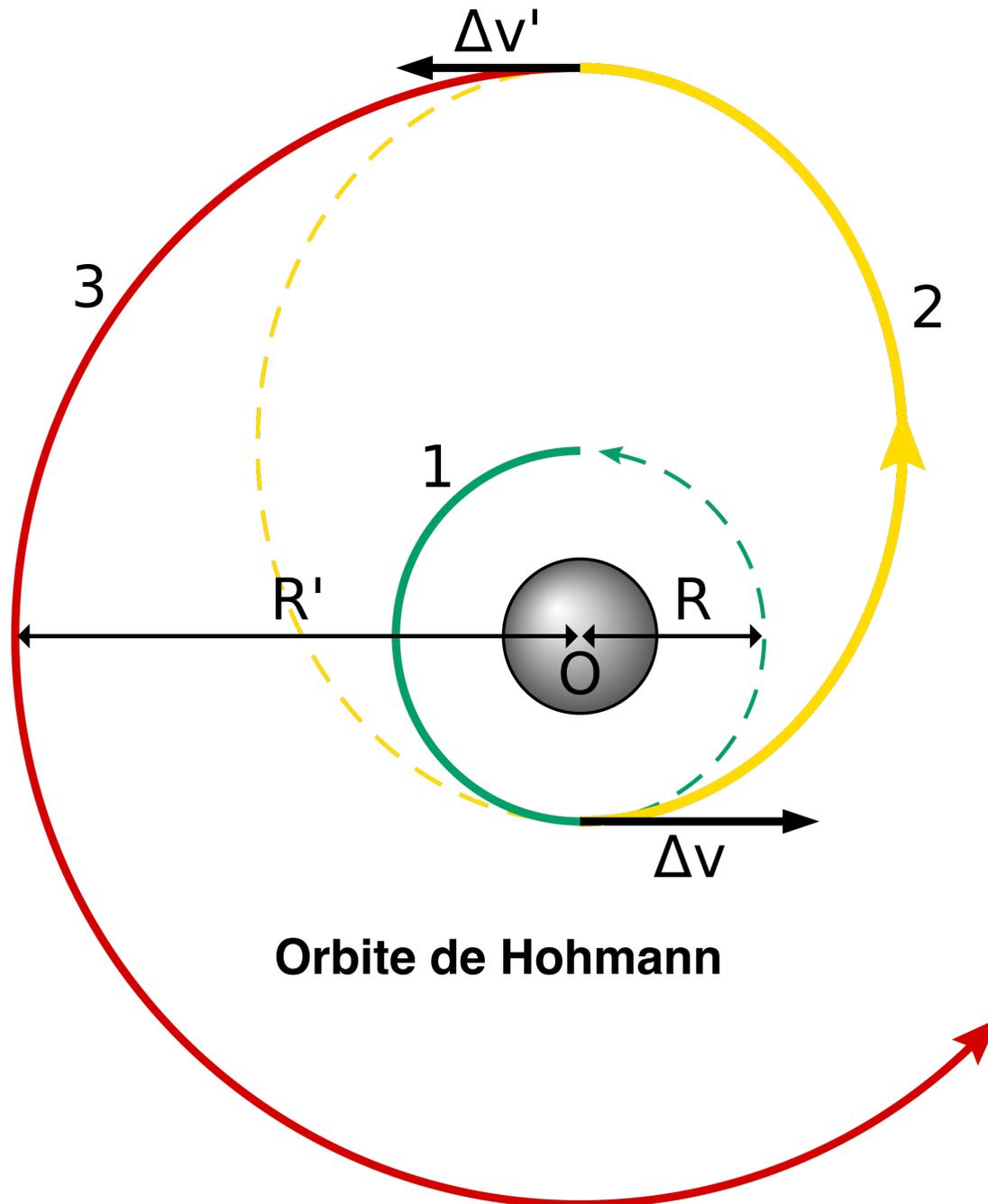
Coucher de Soleil vu par Curiosity le 15 avril 2015 dans le cratère Gale.

Les paysages martiens

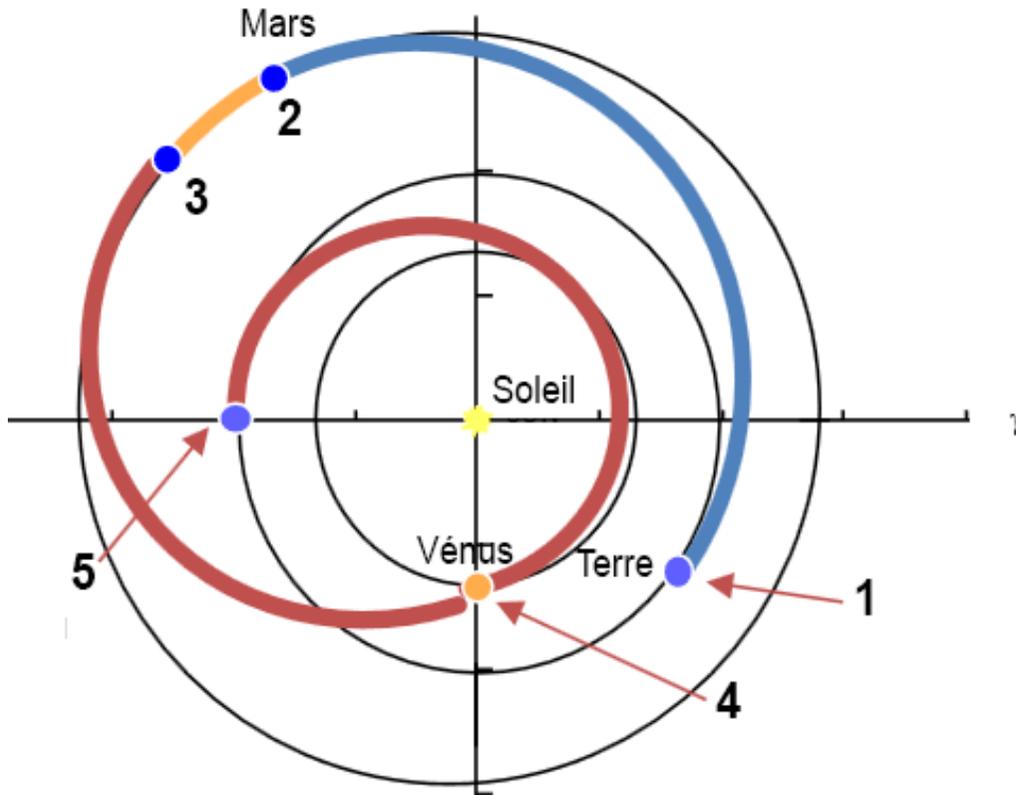


Curiosity au pied du mont Sharp, septembre 2015.

Le voyage vers Mars - 1

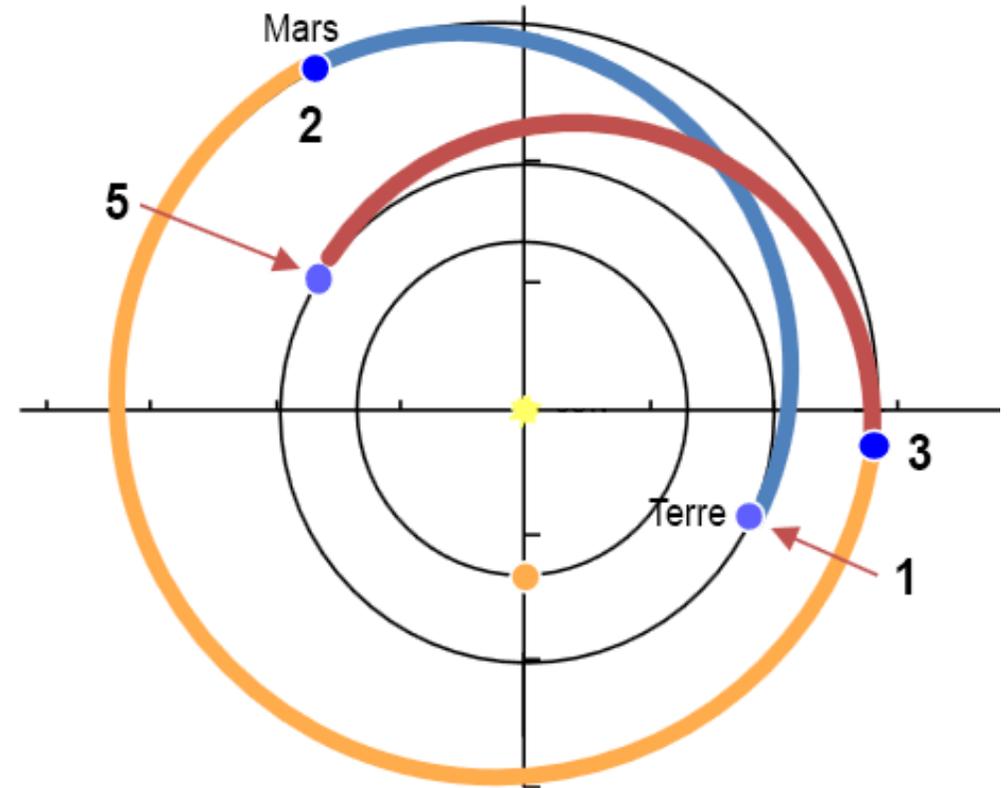


Le voyage vers Mars - 2



Scénario d'opposition
durée 640 jours dont 30 sur Mars

L'aller dure 180 jours et le **retour** 430 jours.
Minimise la durée de la **mission** et
l'exposition aux rayonnements.



Scénario de conjonction
durée 910 jours dont 550 sur Mars

Aller et **retour** durent 180 jours.
Longue **mission**.
Minimise la consommation en carburant.

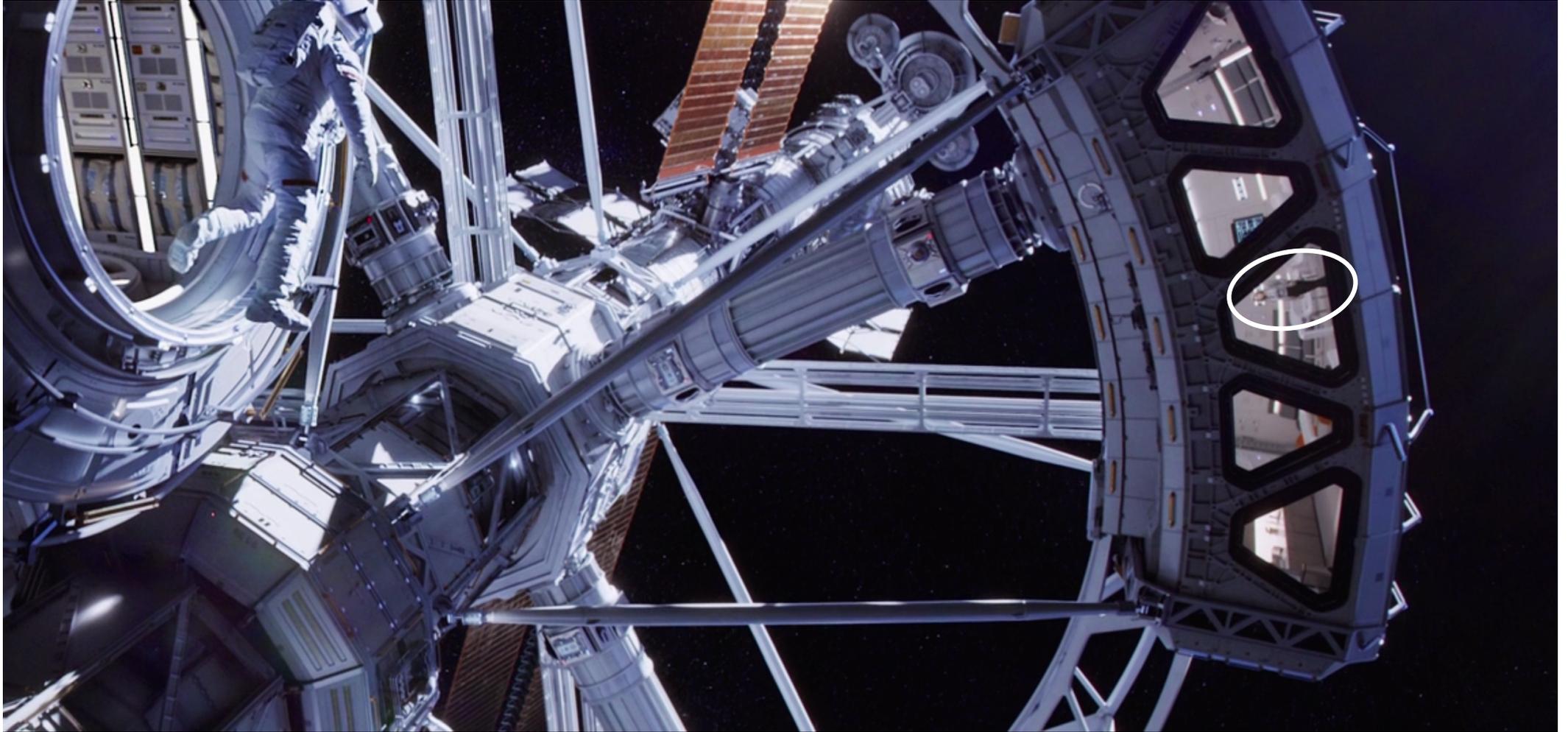
Le vaisseau Hermès - 1



La roue fait 1 tour en environ 40 secondes.

Pour avoir une gravité martienne (0,38 g) il faudrait qu'elle ait un rayon de 150 m !

Le vaisseau Hermès - 2



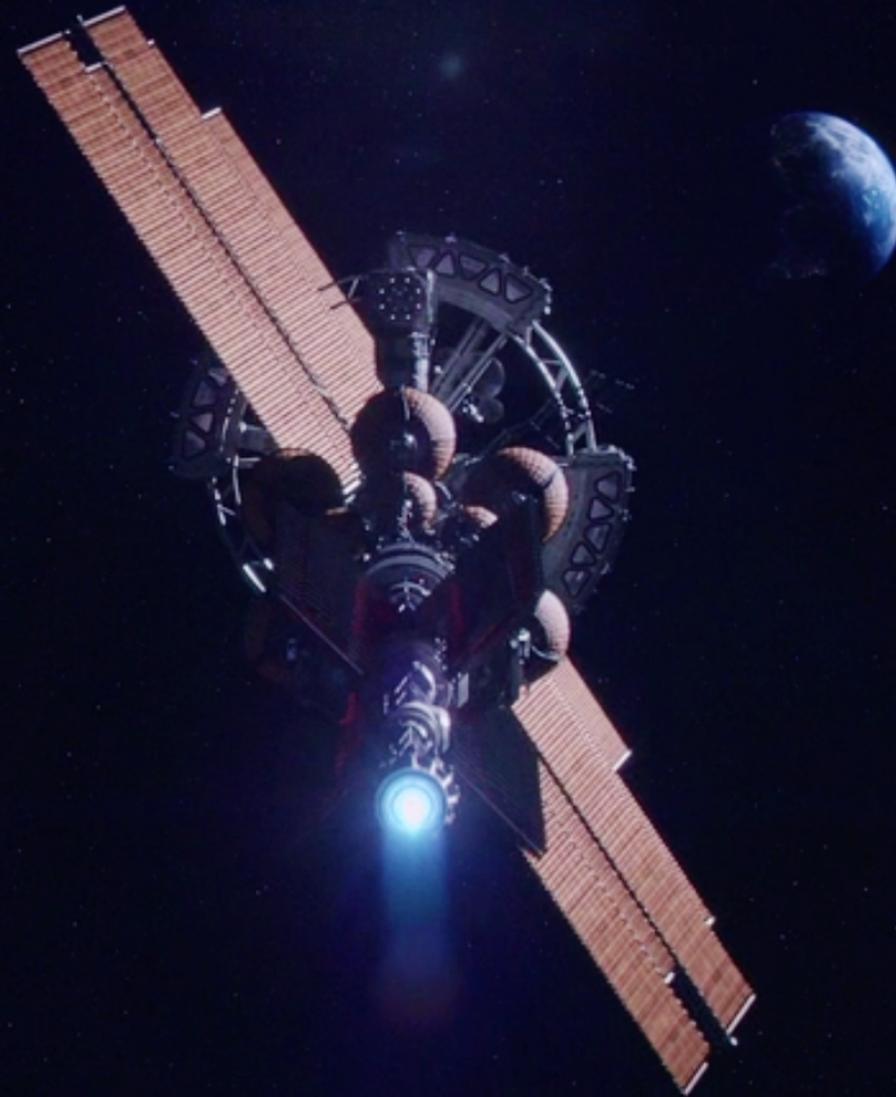
L'échelle donnée par le personnage indique que la roue a un rayon voisin de 20 m...
Pour créer une gravité martienne (0,38 g) il faudrait qu'elle ait une période de 14,6 s !

Le vaisseau Hermès - 3

Propulsion du Hermès : argon et réacteur nucléaire

Accélération = 2 mm/s^2 .

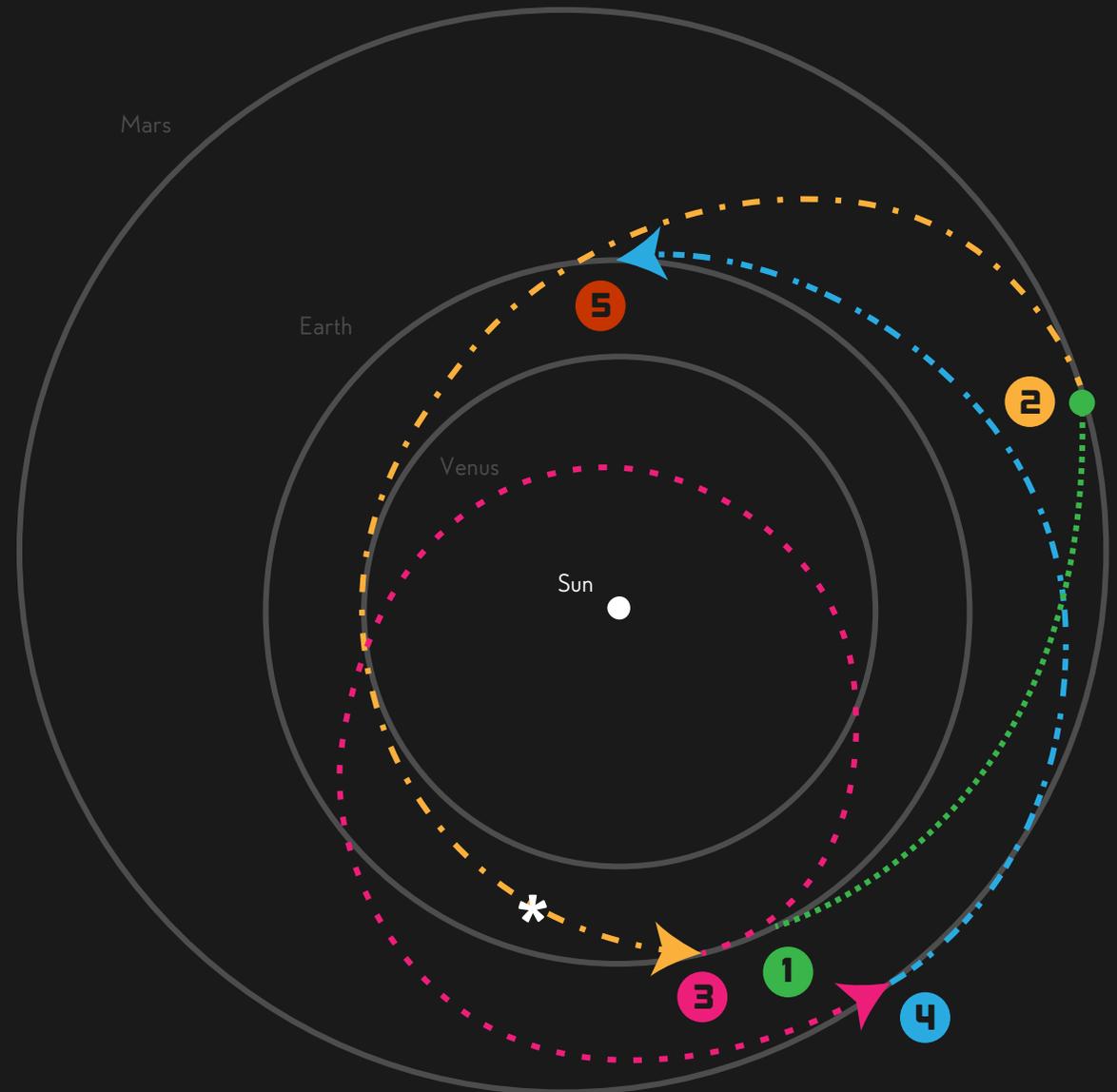
Accroissement de vitesse : 1 km/s en 6 jours.



THE TRAJECTORIES OF THE MARTIAN

by LAURA BURKE | graphic by MICHAEL GRESHKO

- 1 JULY 7, 2035**
The Ares 3 mission to Mars leaves low Earth orbit aboard the Hermes.
- 2 NOVEMBER 7, 2035* (SOL 0)**
After nearly 124 days and over 150 million miles, the Hermes arrives at Mars.
- 2 NOVEMBER 13, 2035 (SOL 6)**
A freakishly strong dust storm forces the Ares 3 crew to abort, inadvertently leaving behind Mark Watney. The Hermes begins its return to Earth.
- * MAY 23, 2036 (SOL 192)**
The Hermes begins the Rich Purnell maneuver, which adds over 600 million miles to the mission—but gives the crew a chance to rescue Watney.
- 3 JULY 6, 2036 (SOL 229.7)**
The Hermes flies by Earth, using our planet's gravitational field to adjust its trajectory.
- 4 MAY 24, 2037 (SOL 549)**
The Hermes flies by Mars at 12,000 mph (5.36 km/s), successfully and harrowingly rescuing Watney.
- 5 DECEMBER 21, 2037**
The Hermes returns to orbit around Earth.



Burke, Laura. "An Examination of 'The Martian' Trajectory." NASA Glenn Research Center. 29 September 2015.

Flight paths reflect the optimized trajectory of the Hermes using the dates and spacecraft performance in "The Martian." The spacecraft has an inert mass of 110 metric tons and is capable of constant acceleration at 2 mm/s².

To see Andy Weir's original trajectories, visit galactanet.com/martian/hermes.mp4.

*The optimized initial leg takes 123.8 days. Date listings assume that the Hermes leaves Earth at 12:00 AM on July 7, 2035.

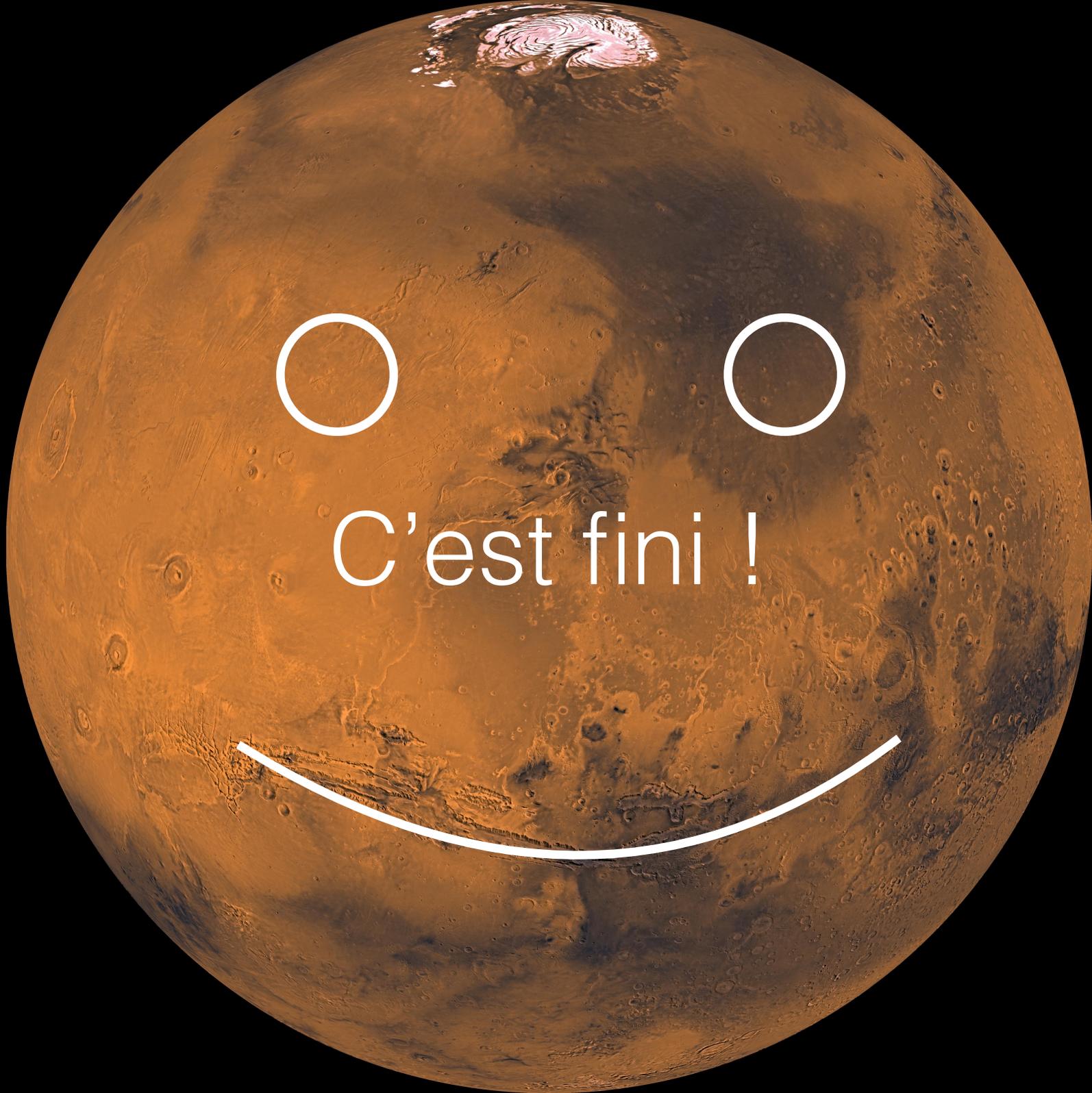
Handwritten notes on a chalkboard, including:

- Equations: $= 48.94 \times 10^4 \text{ m}$, $= -8114 \times 10^6 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$, $\frac{dx}{dt} = \cos t$, $\frac{dy}{dt} = \sin t$, $S = \int_0^t \sqrt{2 \sin^2 t} dt$, $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, $\phi = \cos^{-1} \left(\frac{v_x}{v} \right)$, $\Delta v_{\text{hor}} = v_{\text{iz}} + v_{\text{it}} - 2v_{\text{int}} \cos \phi = 3142 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\Delta v = 2817 + 3142 = 5959 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Diagram: A circular path with velocity vectors v_x , v_y , v and a central point labeled "not finished".
- Diagram: A schematic of a rocket engine or nozzle with various labels and arrows.
- Table:

VDR	Alt	CS
11-27 75	↗	53 136
11-32 60	↘	62 122
11-55 70	→	81 97
1-36 83	↗	74 24
1-31 71	↗	66 95
- Equations: $F_{\text{net}} = -W + D = 0$, $q = 0$, $U = U_c$, $M = \frac{A P_c}{U_c} \sqrt{\frac{r}{R} \left(\frac{2\gamma-1}{2} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}$, $\frac{A_c}{A} = \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_c^2 \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$, $\frac{T_c}{T} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_c^2 \right)^{-1}$, $\frac{P_c}{P} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_c^2 \right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}}$, $v_c = M_c \sqrt{\gamma R T_c}$, $r_f = B^T f_r = B^T (P^T)^{-1} f_p$, $r = B^T (P^T)^{-1} f_p$, $r_p = A^T f_p$, $f_p = (A^T)^{-1} r_p$, $f_r = (C^T)^{-1} f_r = C^T r_p$, $r_r = B^T (P^T)^{-1} f_p = B^T P^T r_p$, $r_r = T r_p$, $r_{\text{hor}} = \frac{v_x}{2\gamma} \ln \left(\frac{v_x + v_t}{v_c} \right)$, $f = 1 - \frac{r_2}{r_1} \frac{(1 - \cos \Delta \theta)}{P} = 1 - \frac{r_2}{r_1} (\cos \Delta \theta)$, $\frac{dc}{c} + \frac{dv}{v} + \frac{dA}{A} = 0$, $(1-M^2) \frac{dv}{v} = -\frac{dA}{A}$.
- Diagram: A graph showing a curve with axes labeled h and n .
- Text: "SCIENCE!"



Rich Purnell en train de chercher une solution pour retourner vers Mars...



C'est fini !