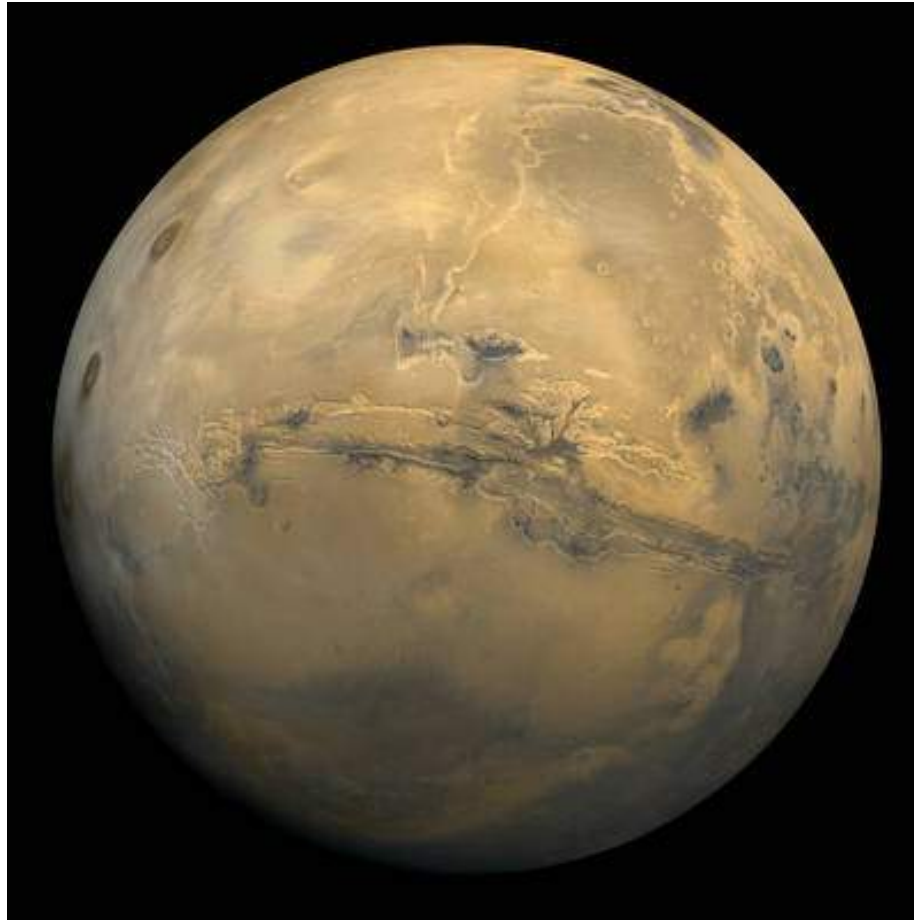


# La planète Mars, d'hier à demain



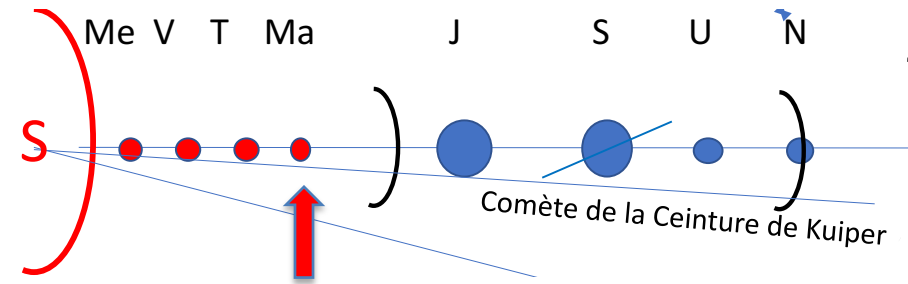
Thérèse Encrenaz, Observatoire de Paris  
Fête de la Science, Lycée Vaucanson, 3 octobre 2019

# Plan de l'exposé

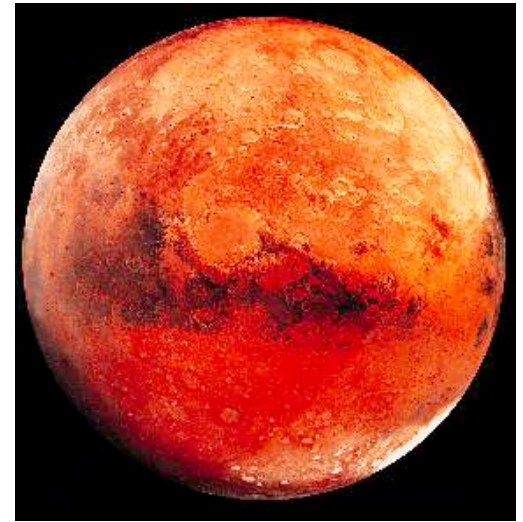
1. La planète Mars dans l'histoire
2. L'exploration de Mars depuis la Terre et l'espace
3. La recherche de la vie sur Mars
4. La planète Mars et ses voisines: analogies et différences
5. Le futur de l'exploration de Mars

# La planète Mars

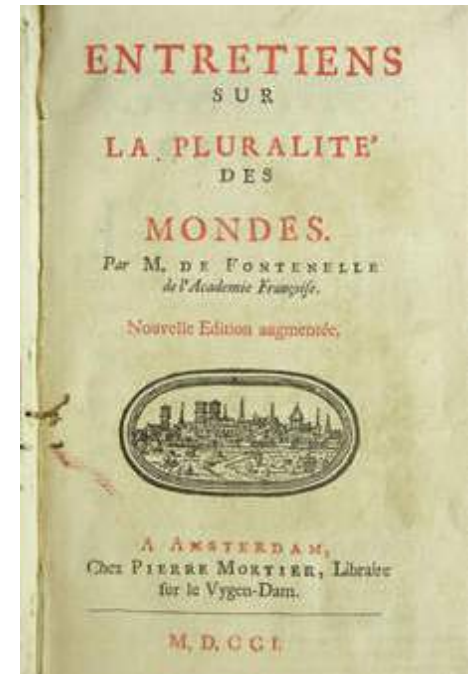
- Une planète proche de la Terre:
  - $R_h = 1.5 \text{ UA}$ ,  $R = 0.6 R_T$ ,
- Une planète moins dense et peu massive:
  - $d = 3,9 \text{ g/cm}^3$ ,  $M = 0,1 M_T$
- Une forte obliquité ( $25^\circ$ )
  - des effets saisonniers comparables à ceux de la Terre
- Une atmosphère froide et ténue de  $\text{CO}_2$ 
  - $95\% \text{ CO}_2 + 3\% \text{ N}_2 + \text{traces de H}_2\text{O et CO}$
- $P_s = 0,006 \text{ bars}$ ,  $T_s \text{ (moyen)} = -40^\circ\text{C}$  avec de fortes variations saisonnières
- Calottes polaires pérennes et saisonnières
  - $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$
- Des volcans éteints, les plus hauts du Système solaire



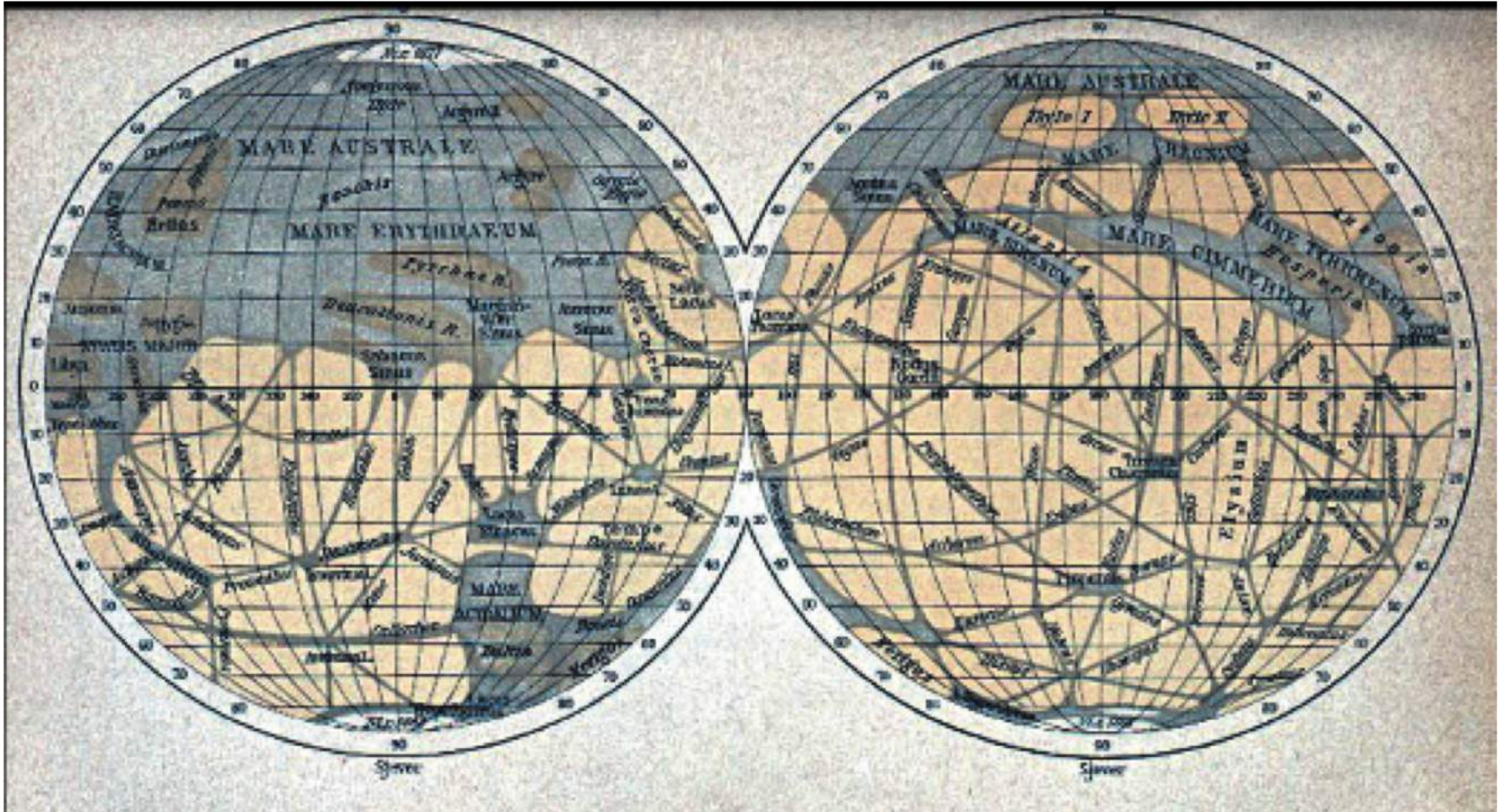
# 1. La planète Mars dans l'histoire



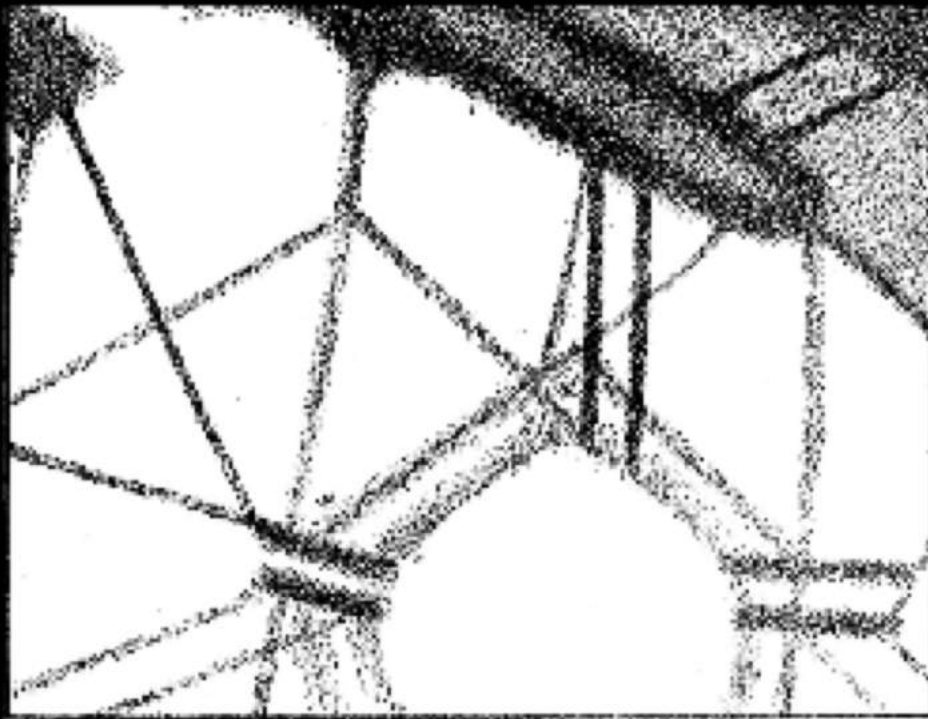
- **Une planète rouge qui fascine**
  - Mars: dieu de la guerre
- **Une planète qui pourrait abriter la vie...**
  - Cyrano de Bergerac
  - Fontenelle
  - Flammarion...
- **Une longue controverse au sujet des « canaux »**
  - Observations par Schiaparelli (1879)
  - Possibilité d'une vie martienne? Idée reprise par Perceval Lowell
  - En fait, une illusion d'optique! Preuve apportée par les sondes spatiales (années 1960)



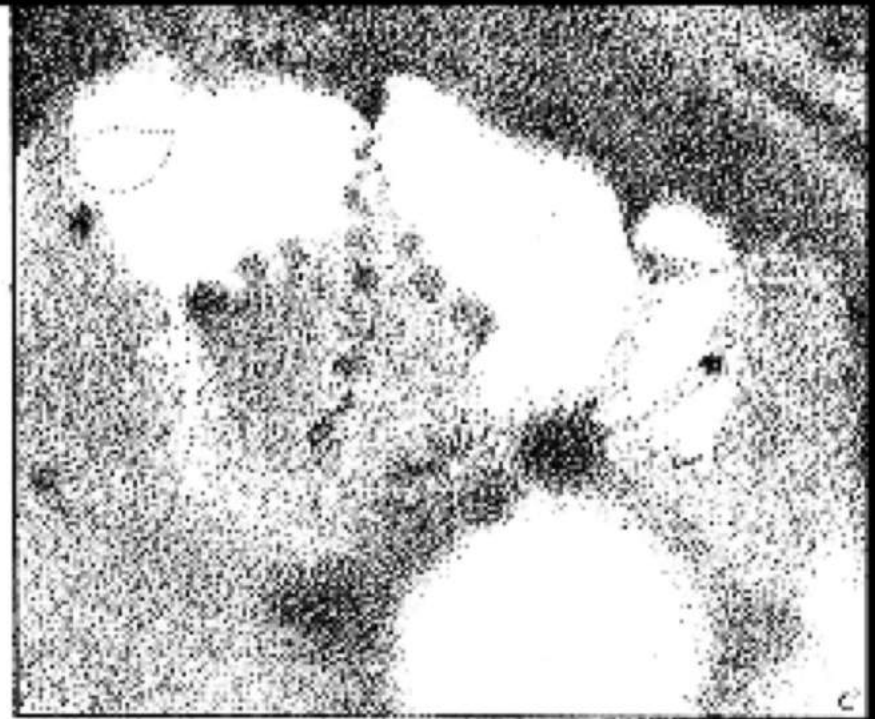
# Les canaux de Mars observés par Schiaparelli (1879)



Un démenti apporté par Antoniadi  
(Observatoire de Meudon), 1930



0 km 1000 2000 3000



Schiaparelli, 1879

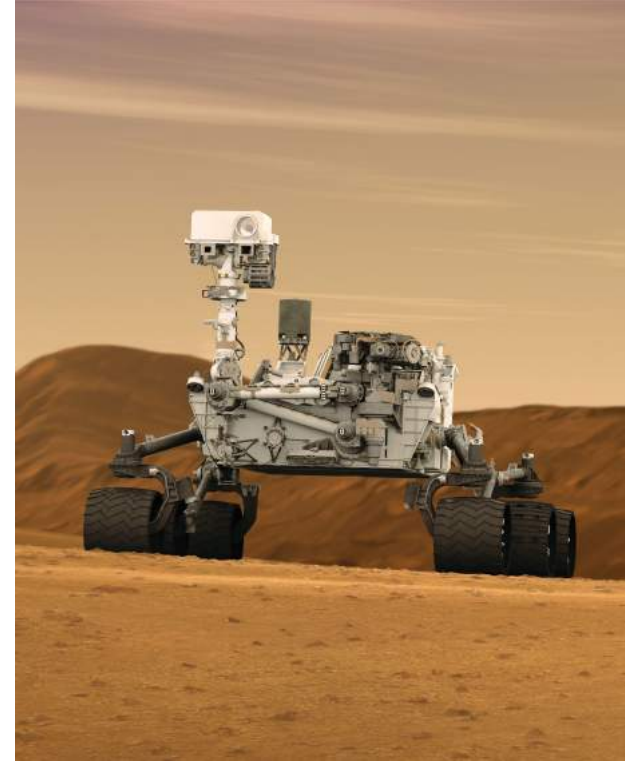
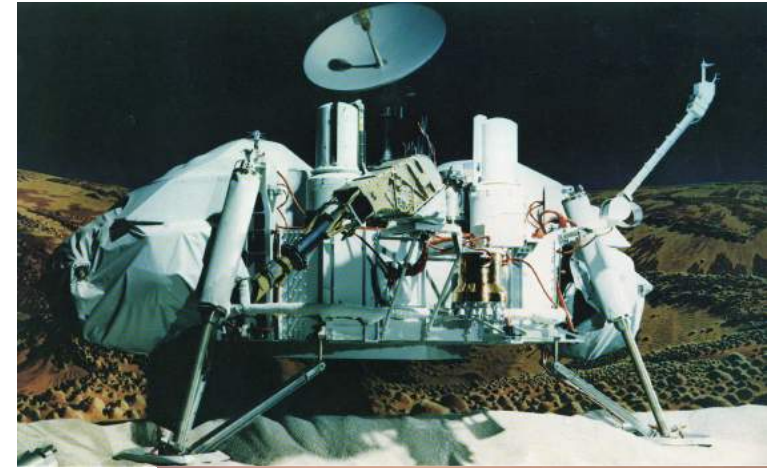
Antoniadi, 1930

# 2. L'exploration spatiale de Mars

## Survols, orbiters, landers, rovers

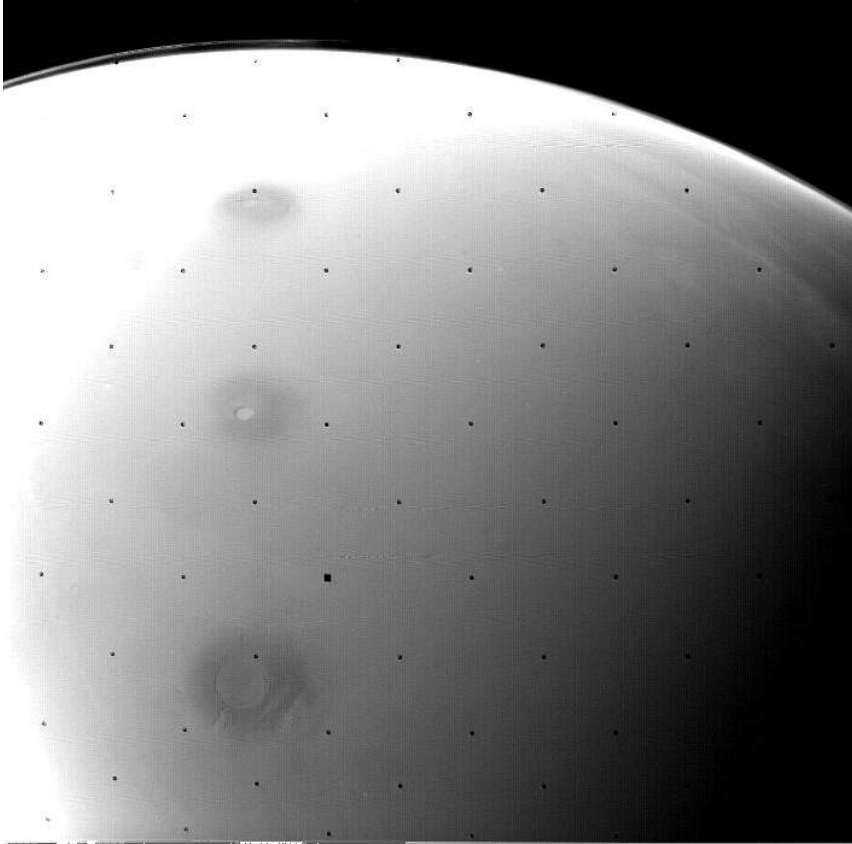
- Une histoire semée d'échecs (> 50%!)
  - 1962: Mars 1 (1er survol, pas de données)
  - 1964: Mariner 4 (1ères images du sol de Mars)
  - 1969: Mariner 6-7: survols avec données
  - 1969: Mariner 9: mise en orbite, grand succès
  - 1975: Viking 1-2 (orbiters et landers): grand succès
  - 1988: Phobos 1 (orbiter): succès partiel
  - 1996: Mars Pathfinder (lander), Mars Global Surveyor (orbiter)
  - 2001: Mars Odyssey (orbiter)
  - 2003: Mars Express (orbiter), Spirit & Opportunity (rovers)
  - 2005: Mars Reconnaissance Orbiter
  - 2007: Phoenix
  - 2011: Mars Science Laboratory/Curiosity
  - 2013: MAVEN
  - 2016: Trace Gas Orbiter
  - 2018: InSight

(en opération aujourd'hui)

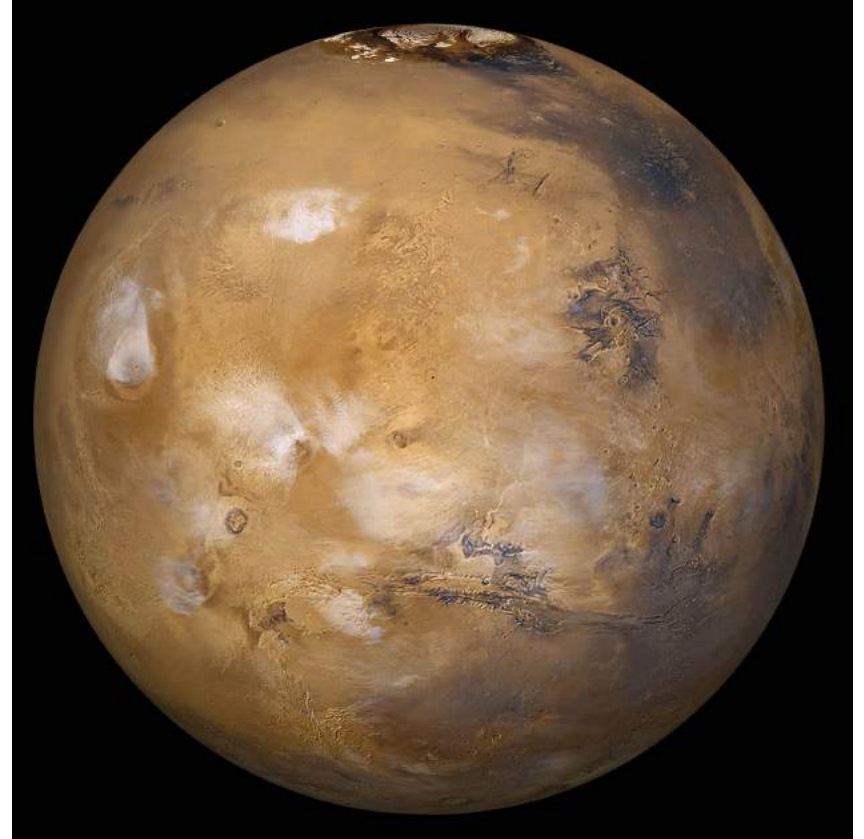


# Mars vue par les sondes spatiales: les premières images

Mariner 9 (1972)

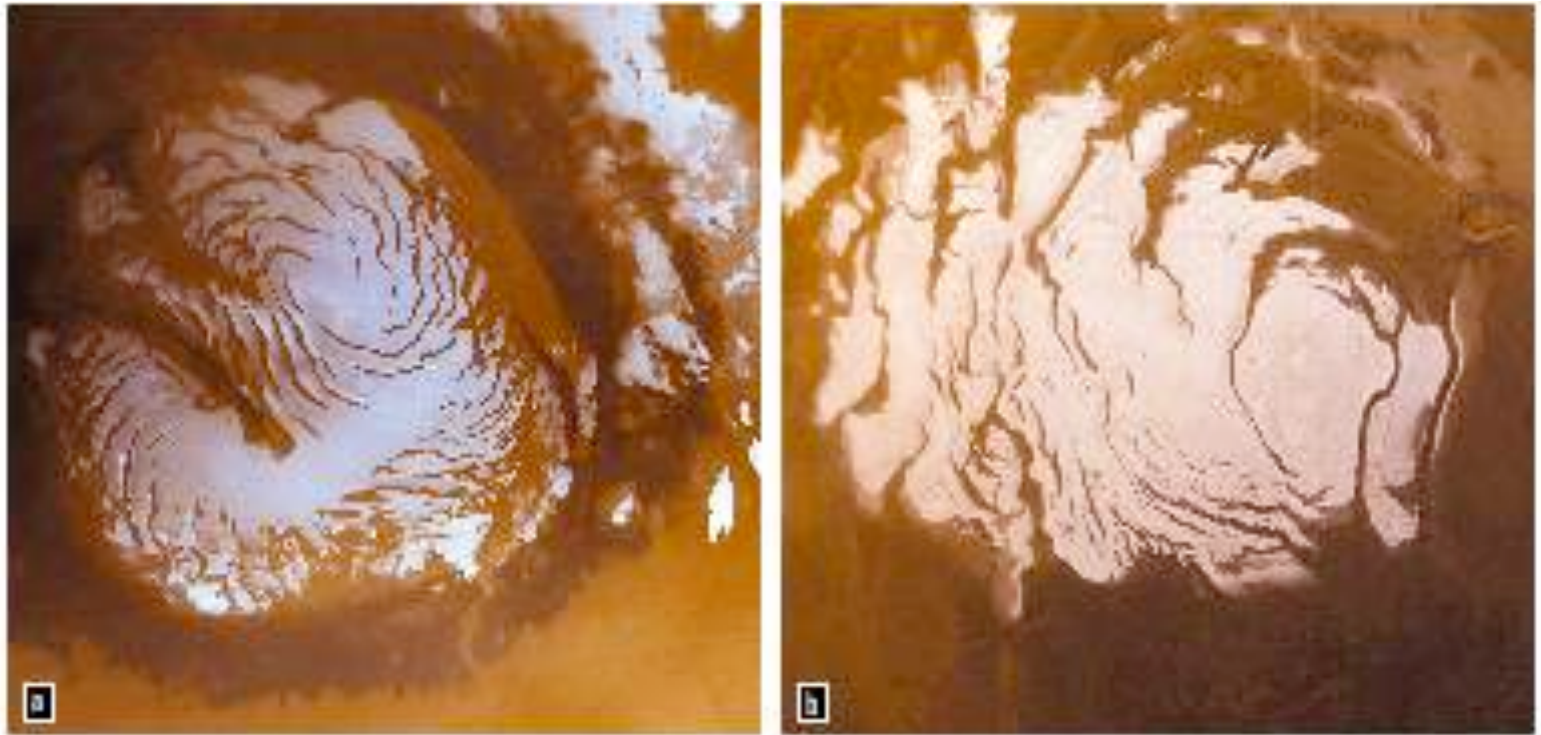


Viking (1976)



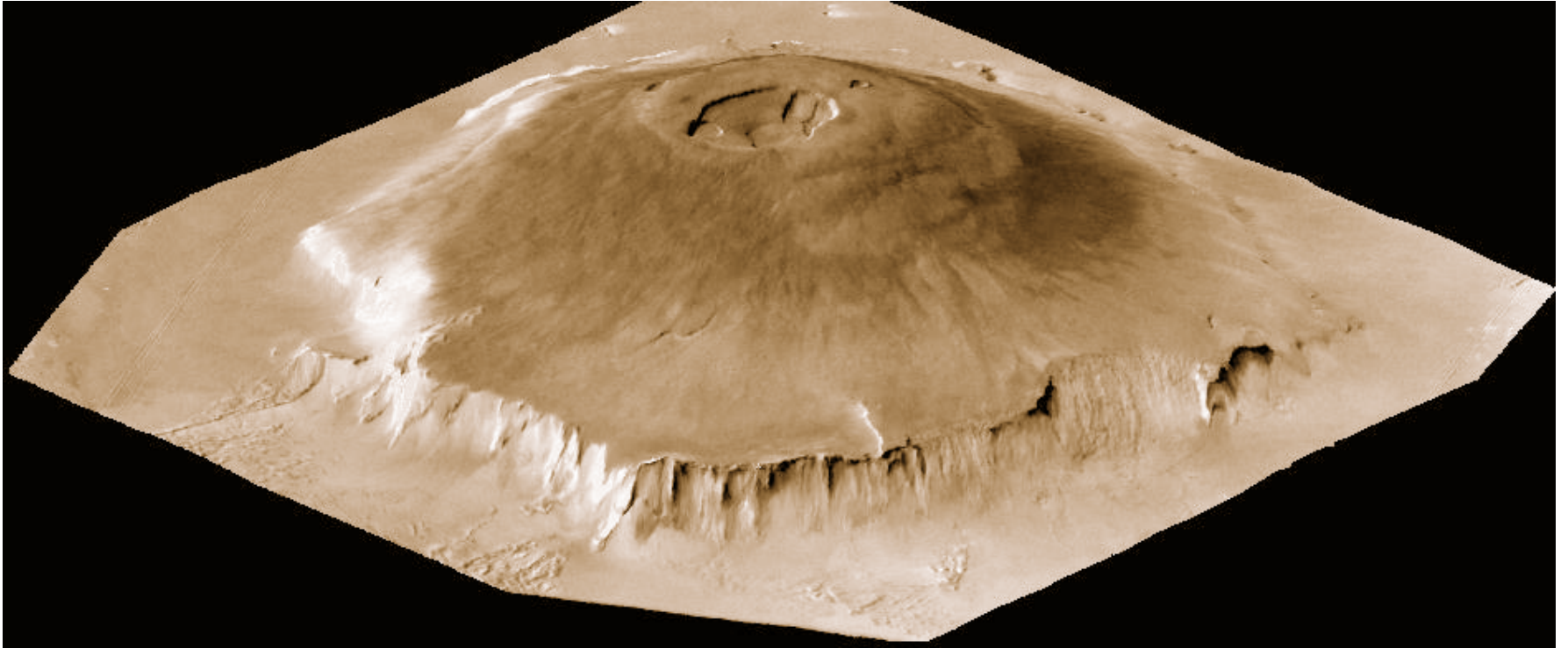


# Les calottes polaires martiennes



Nord: glace  $H_2O$   
Sud: glace  $CO_2$  + glace  $H_2O$   
(Mars Odyssey, Mars Express)

# Olympus Mons (Viking)



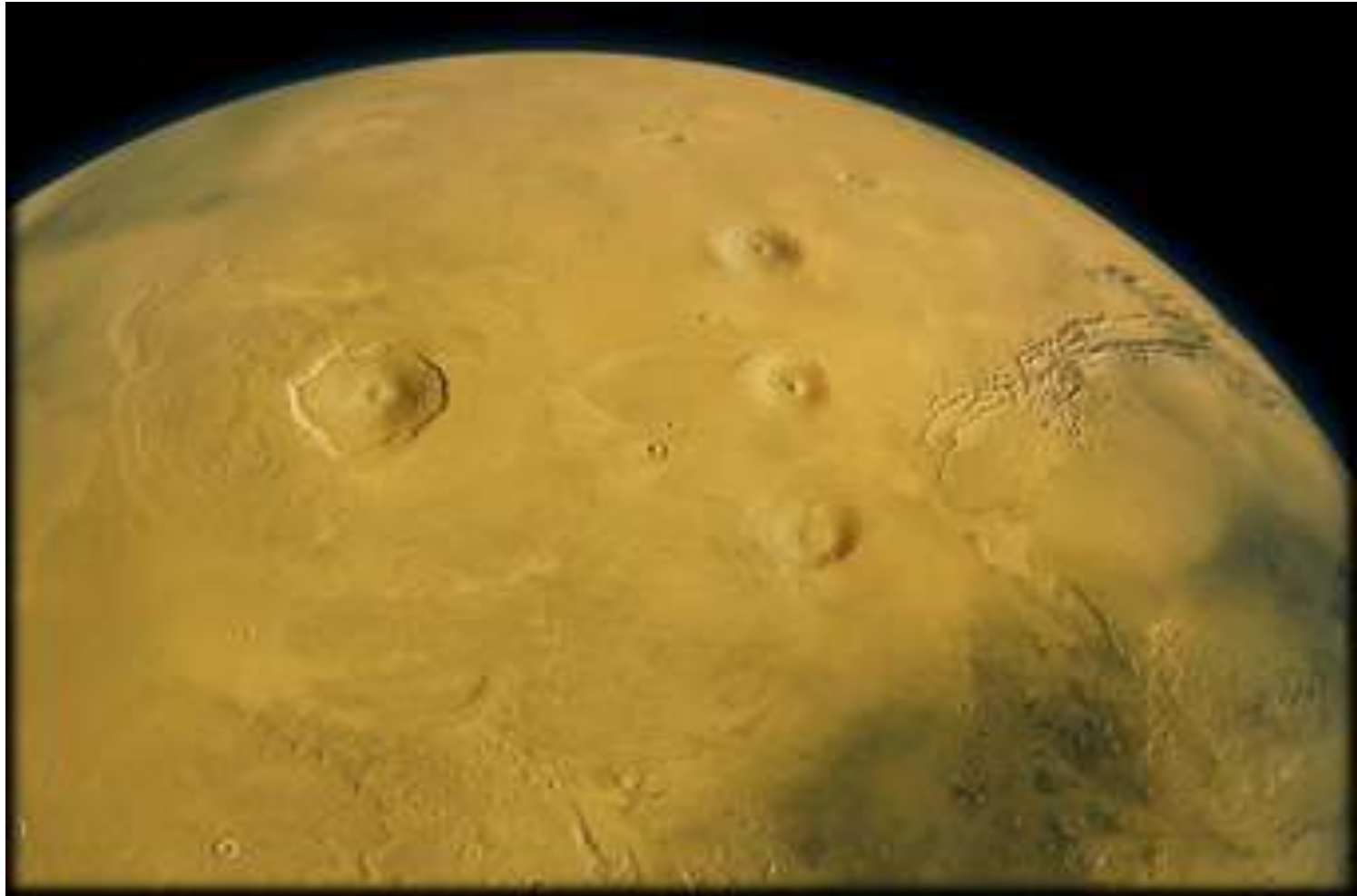
# Olympus Mons (Mars Express)



# La caldera d'Olympus Mons (Mars Express)



# Le plateau de Tharsis (Mars Express)

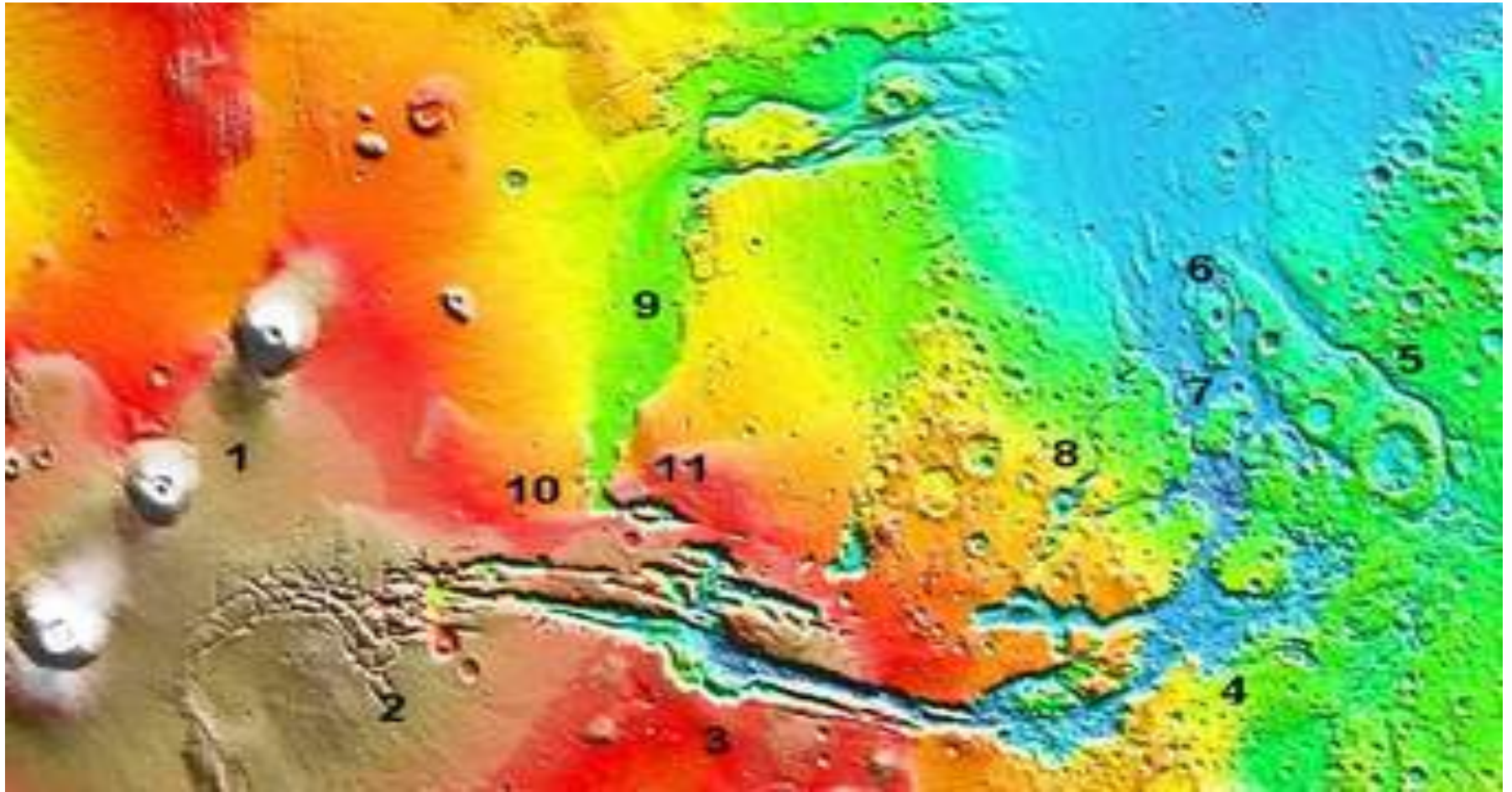


|  
Olympus  
Mons

|  
Volcans de  
Tharsis

|  
Valles  
Marineris

# Valles Marineris



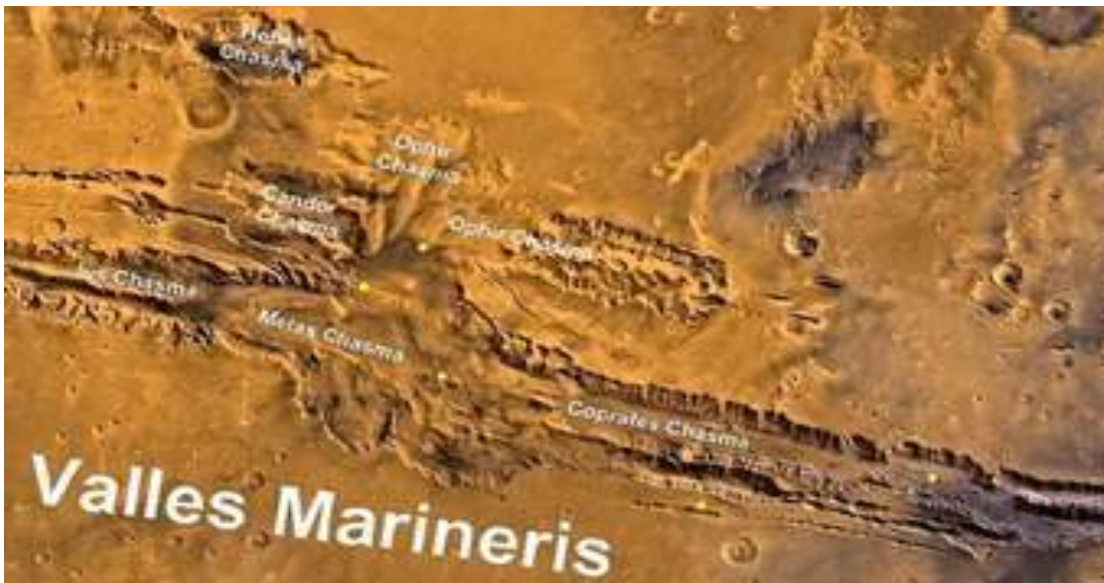
# Valles Marineris: un canyon gigantesque.....

## Grand Canyon du Colorado (Terre) :

Longueur: 450 km

Largeur: 5 -30 km

Profondeur: 1,3 km



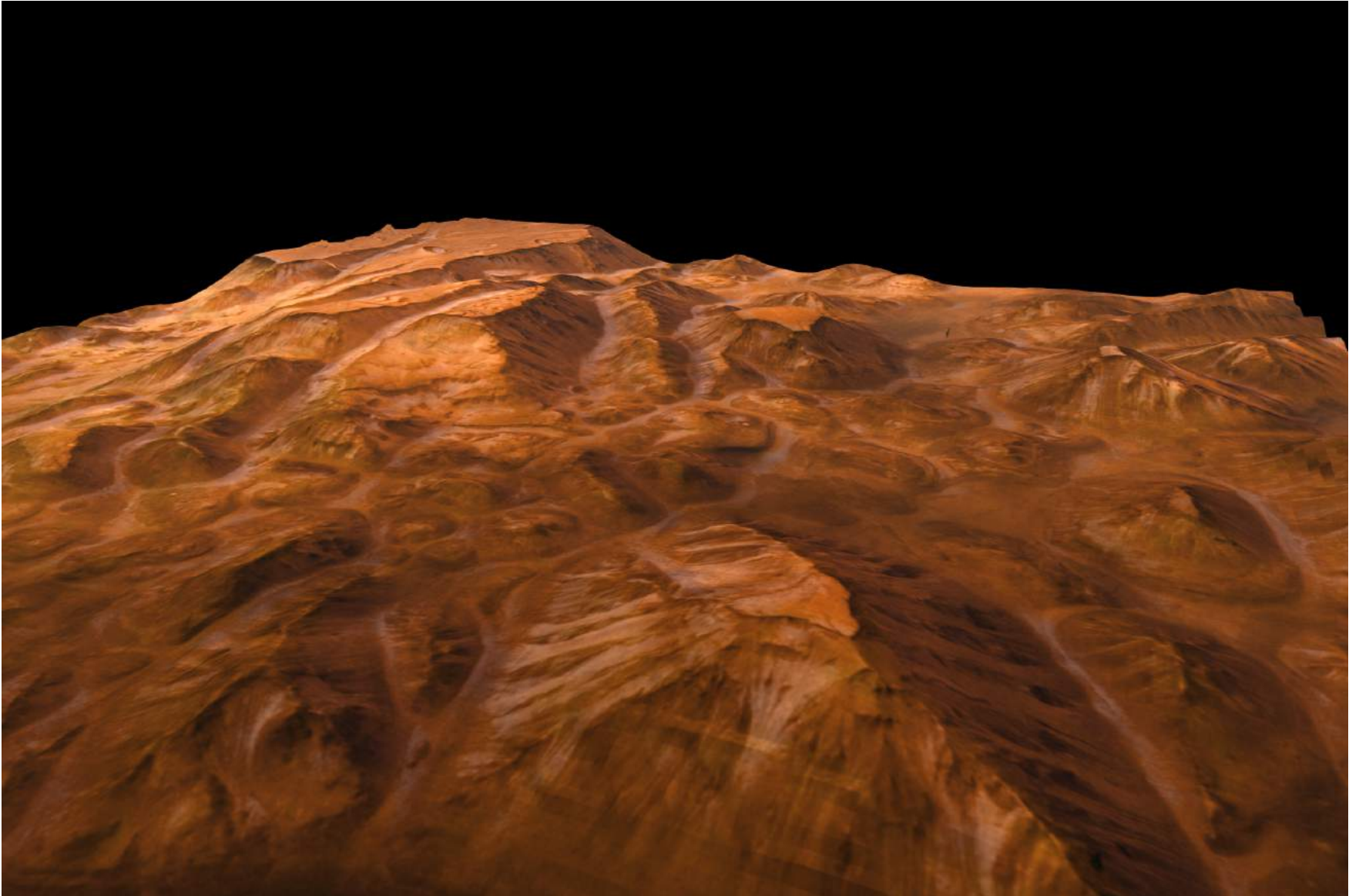
## Valles Marineris (Mars) :

Longueur: 3770 km

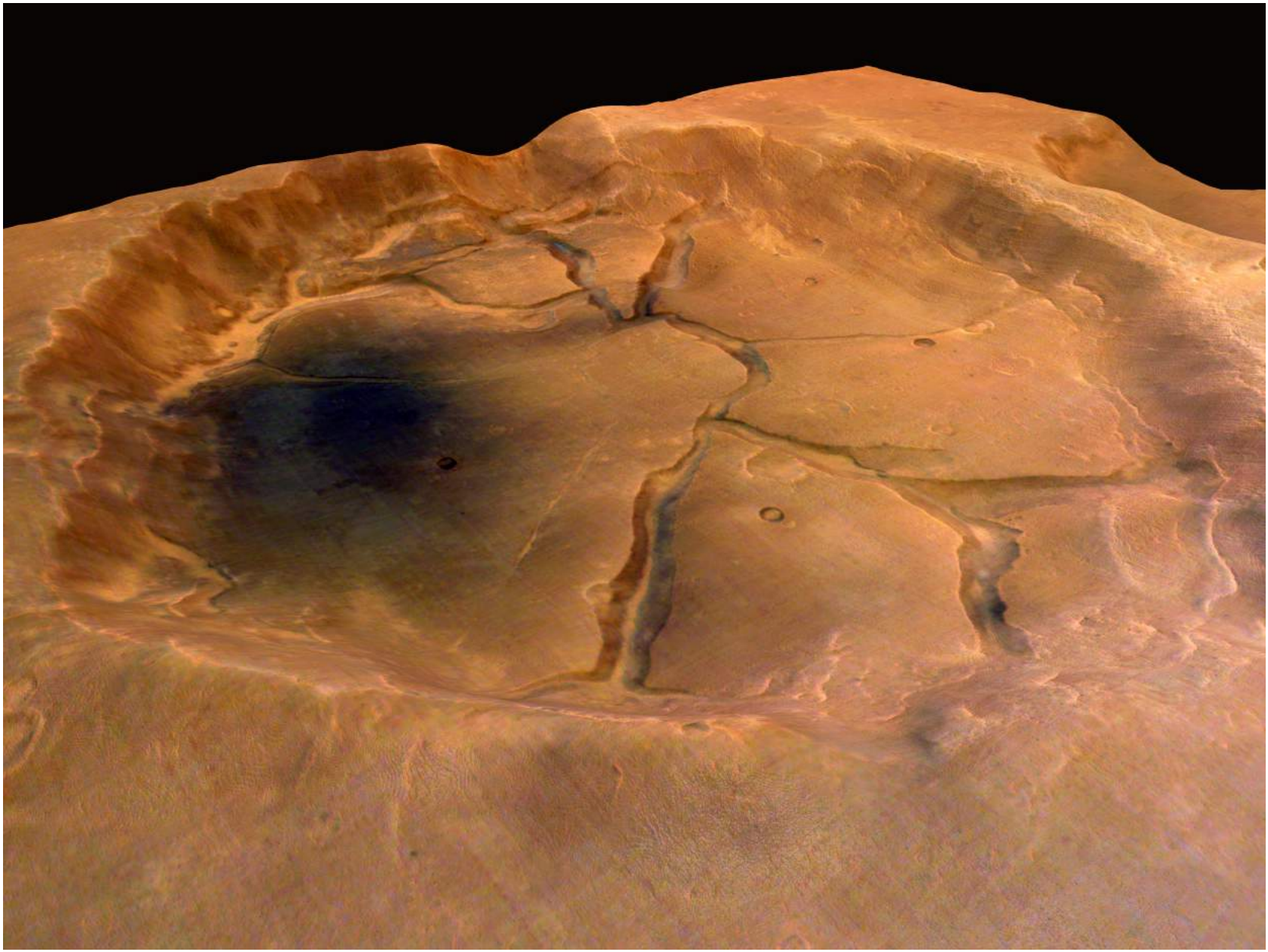
Largeur: -> 600 km

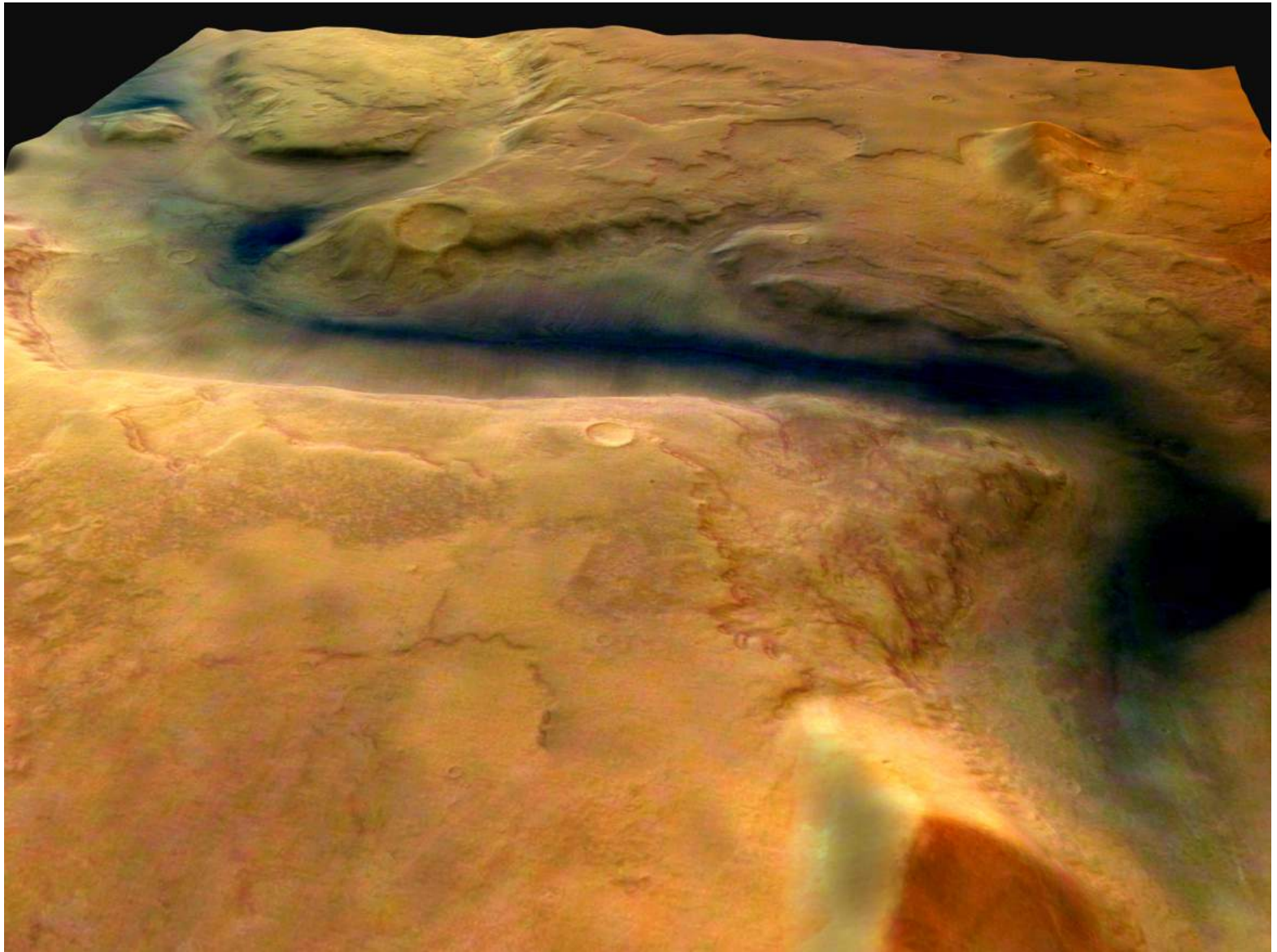
Profondeur: -> 10 km

# Valles Marineris (Mars Express)

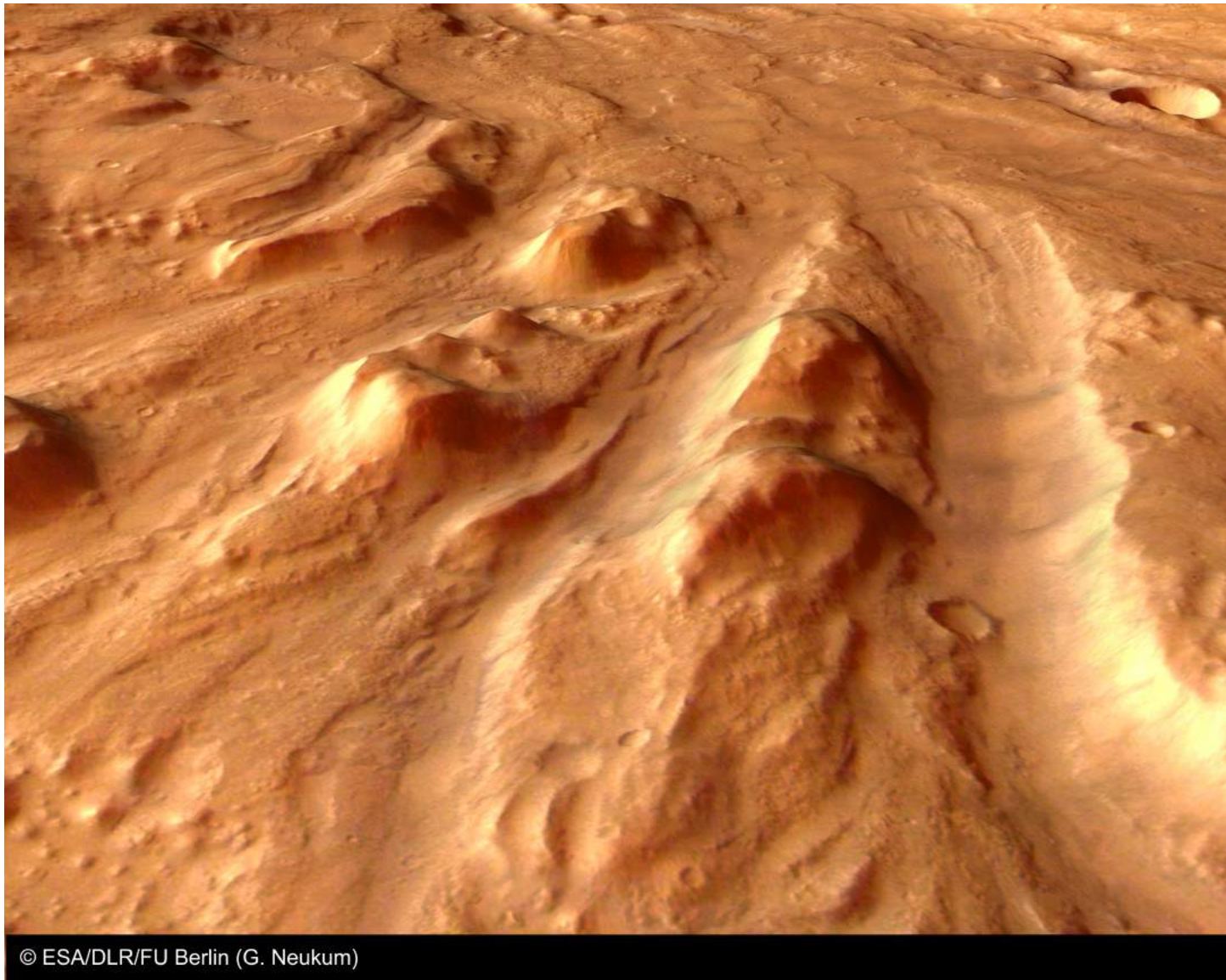








# Ares Vallis

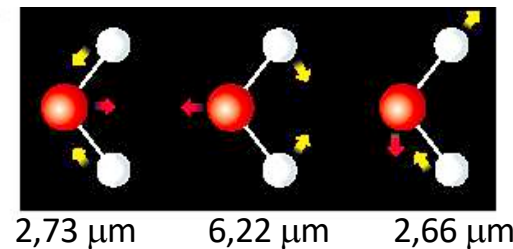
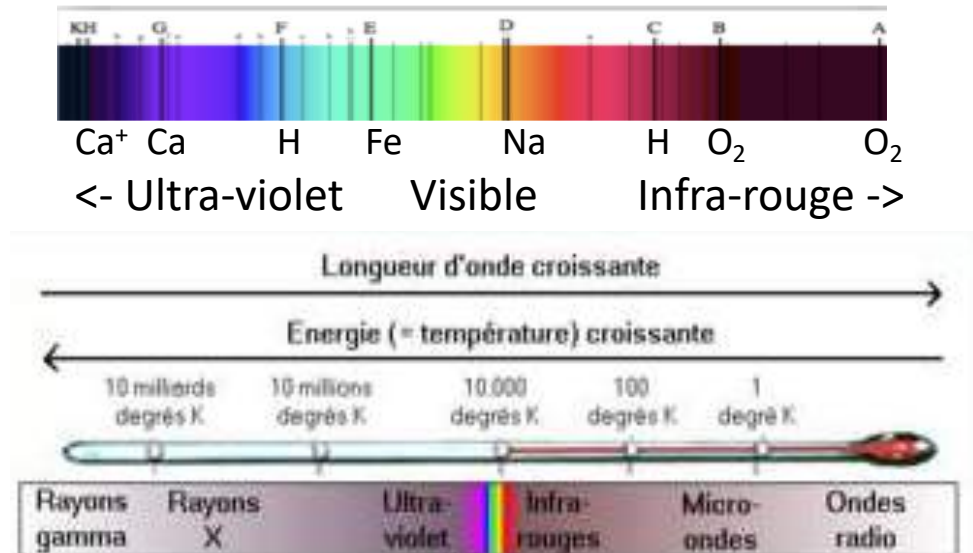


# Comment étudier la nature de l'atmosphère martienne ?

## L'analyse du rayonnement des astres

- Le rayonnement visible du Soleil montre la présence des éléments chimiques qu'il contient
- La même méthode s'applique à tout le spectre du rayonnement, depuis l'ultraviolet jusqu'aux ondes radio
- Le rayonnement infrarouge des planètes permet de déterminer la nature des molécules qui y sont présentes
- Exemple: modes de vibration de la molécule d'eau  $H_2O$  →

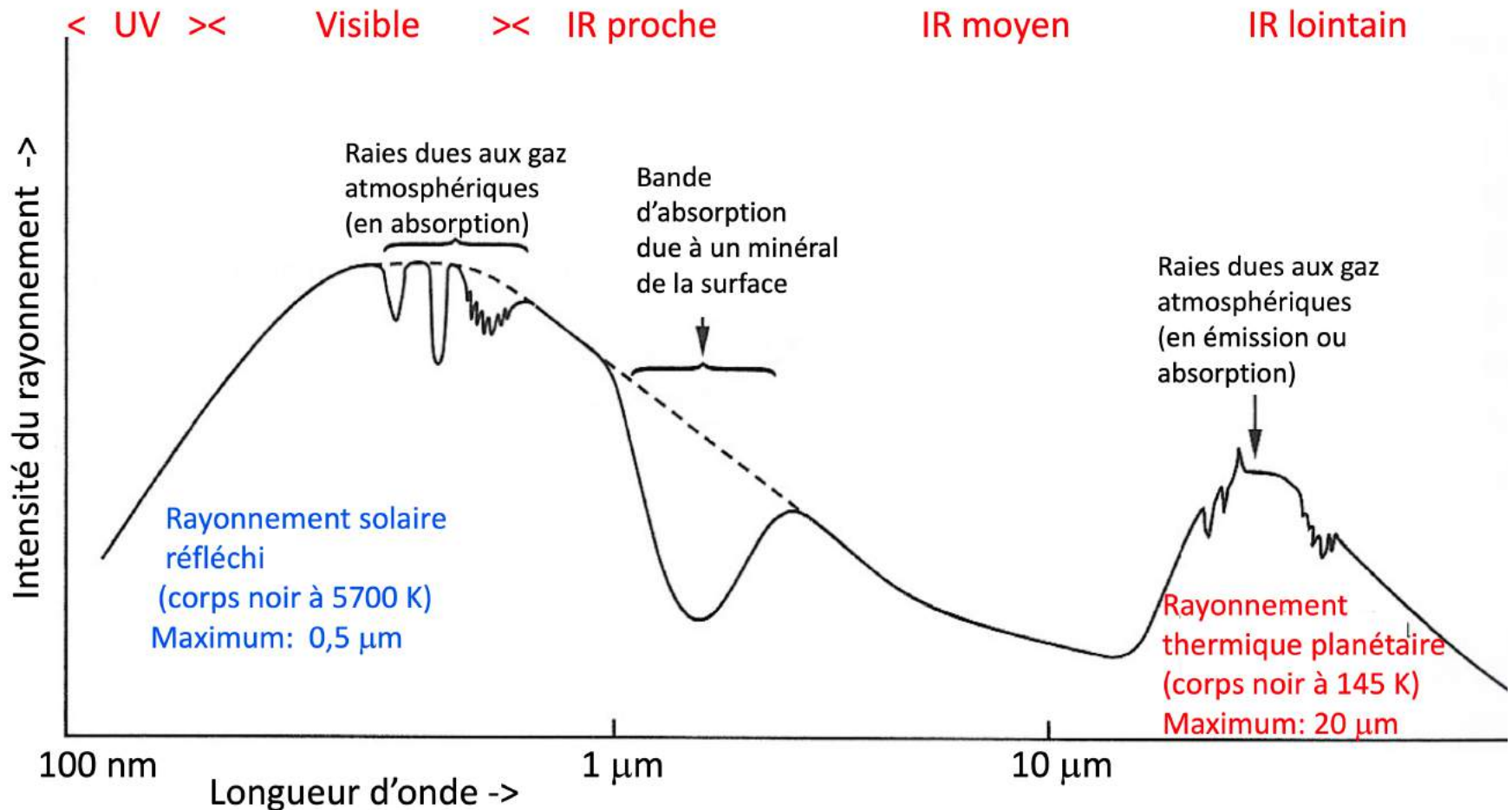
Le spectre solaire (arc en ciel)



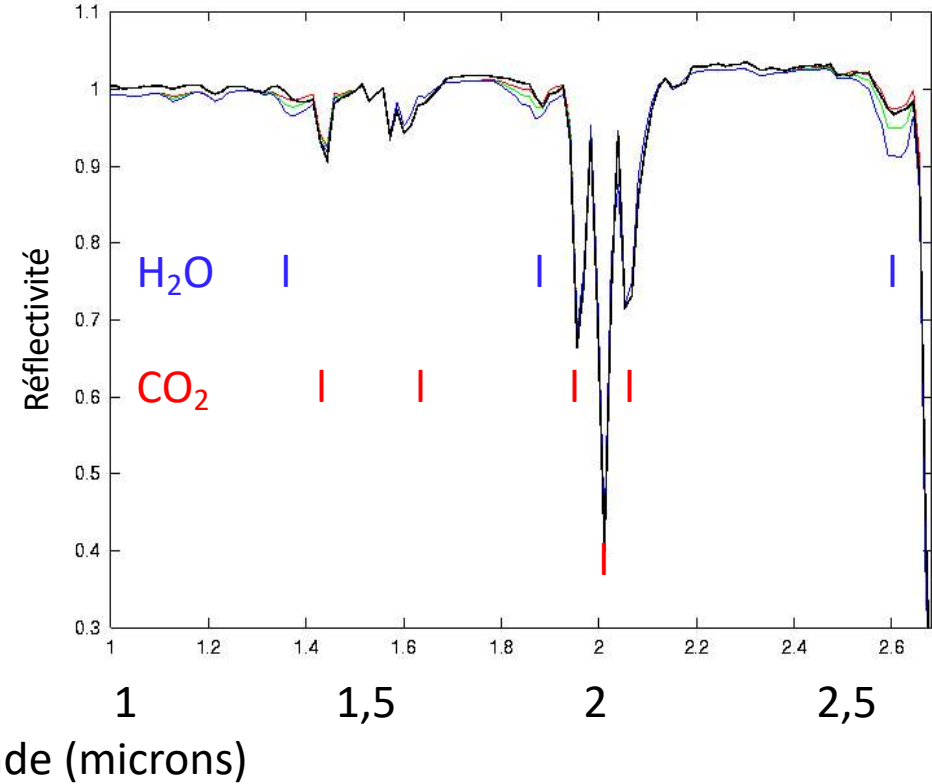
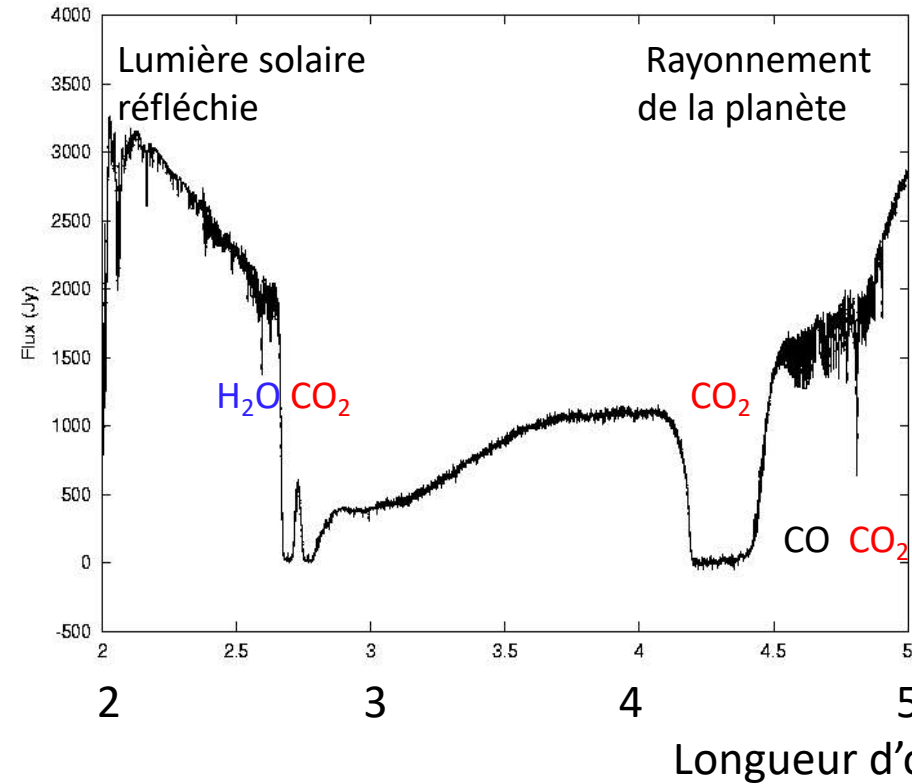
# Un spectre planétaire typique

## 2 composantes:

- une composante solaire réfléchi par la planète (maximum à  $0,5 \mu\text{m}$ )
- une composante infrarouge thermique correspondant au rayonnement solaire absorbé et réémis dans l'infrarouge moyen (maximum pour Mars :  $20 \mu\text{m}$ )



# Le spectre infrarouge de Mars



Bande H<sub>2</sub>O à 2.6  $\mu\text{m}$   
H<sub>2</sub>O = 1.5 10<sup>-4</sup>, 3 10<sup>-4</sup>, 6 10<sup>-4</sup>

# 3. La recherche de la vie sur Mars

## La mission Viking: Espoirs et désillusions...

- Une grande question: la vie peut-elle exister sur Mars?
- -> Trois expériences de biologie à bord des landers Viking
- -> Beaucoup d'hésitations, et enfin une réponse négative (absence de molécules organiques à la surface)



- Résultat: Suspension du programme Mars de la NASA pendant 20 ans!

## Mais d'autres nouvelles positives:

- Mise en évidence de réseaux de vallées ramifiées, preuves de la présence d'eau liquide dans le passé...



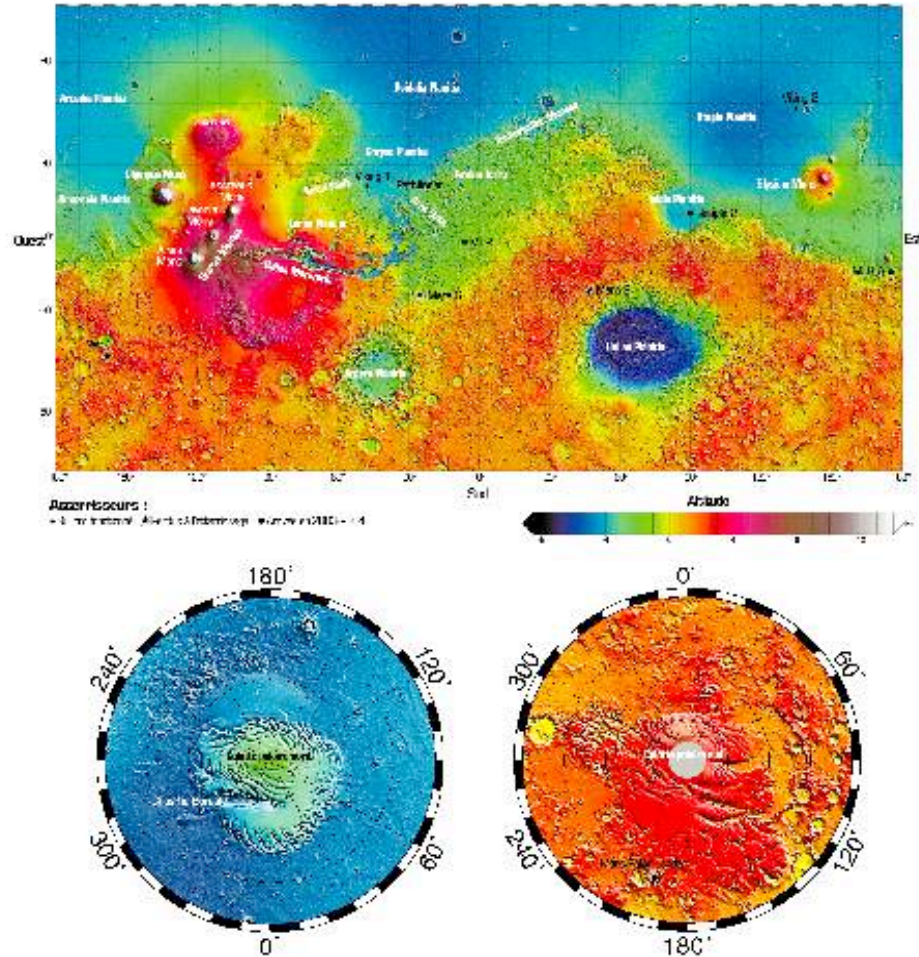
- -> Reprise du programme vers 1996
- Objectif: « Follow the water! »





# Mars Global Surveyor (1997)

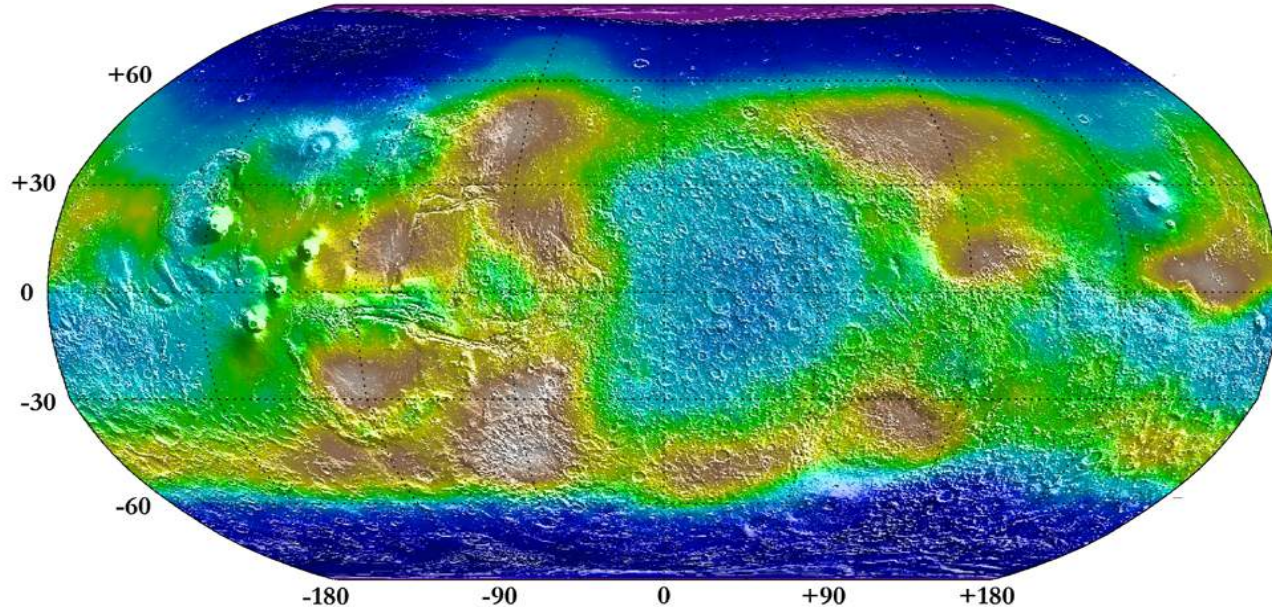
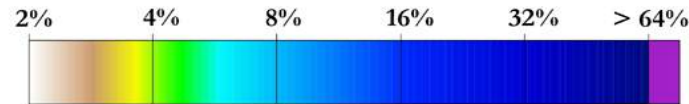
## Une ancienne ligne de rivage?



-> Existence possible d'un océan boréal il y a 3 milliards d'années  
(Hypothèse confirmée en 2012 par le radar de Mars Express)

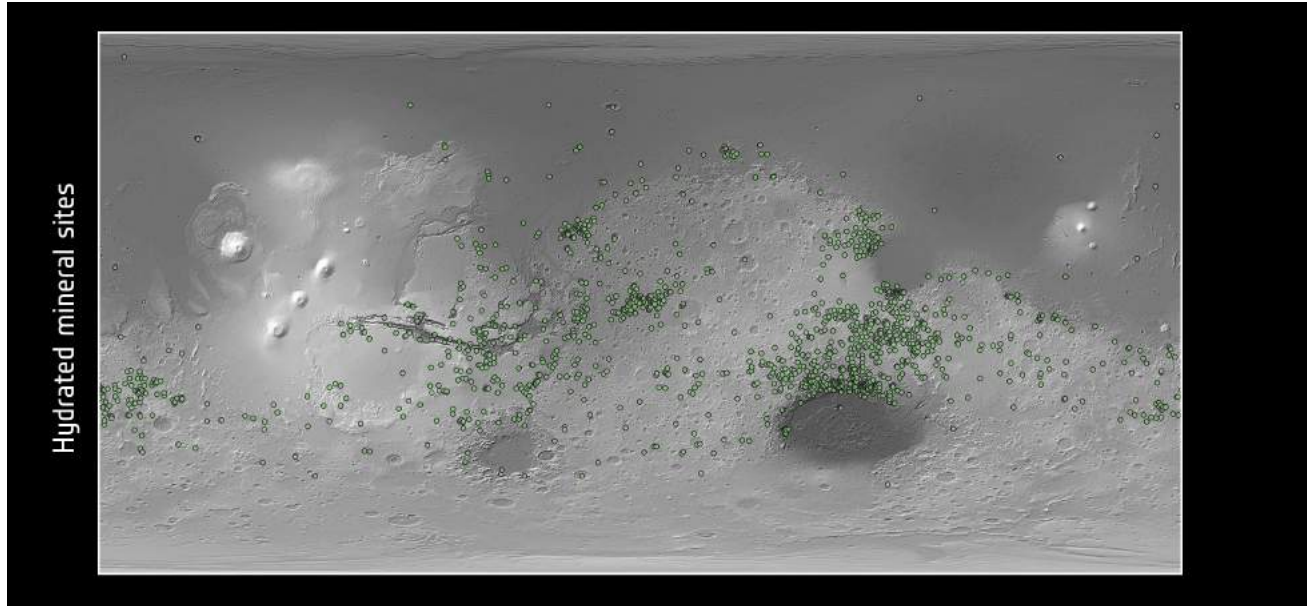
# Mars Odyssey (2000): De l'eau sous les pôles martiens

Limite inférieure de la fraction en masse de l'eau



Détection d'atomes d'hydrogène sous la surface  
par mesure en spectroscopie  $\gamma$  -> présence de H<sub>2</sub>O en sous-sol

# Une nouvelle histoire de l'eau sur Mars (OMEGA/Mars Express)



- Découverte d'argiles dans les terrains anciens :
- -> Indices de présence d'eau liquide en abondance dans le passé (avant environ 4.0 Ga)
- Conclusion: si la vie a existé sur Mars, il faut la chercher dans le premier milliard d'années

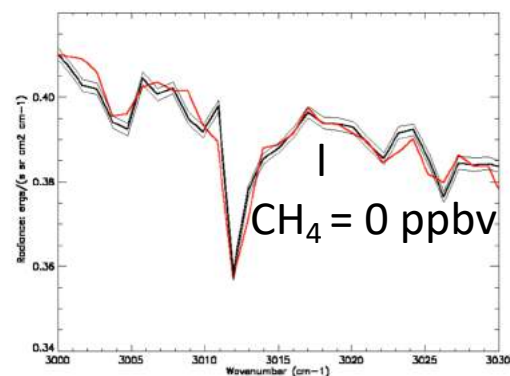
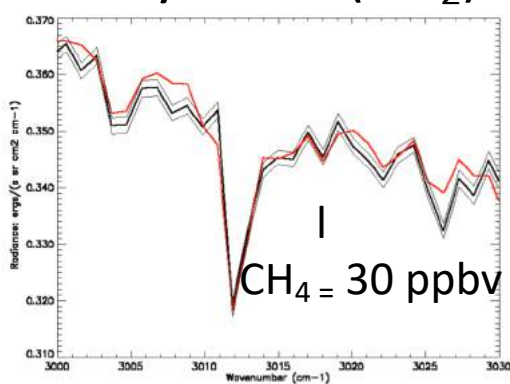
# MSL: Découverte de terrain stratifié auprès du Mont Sharp



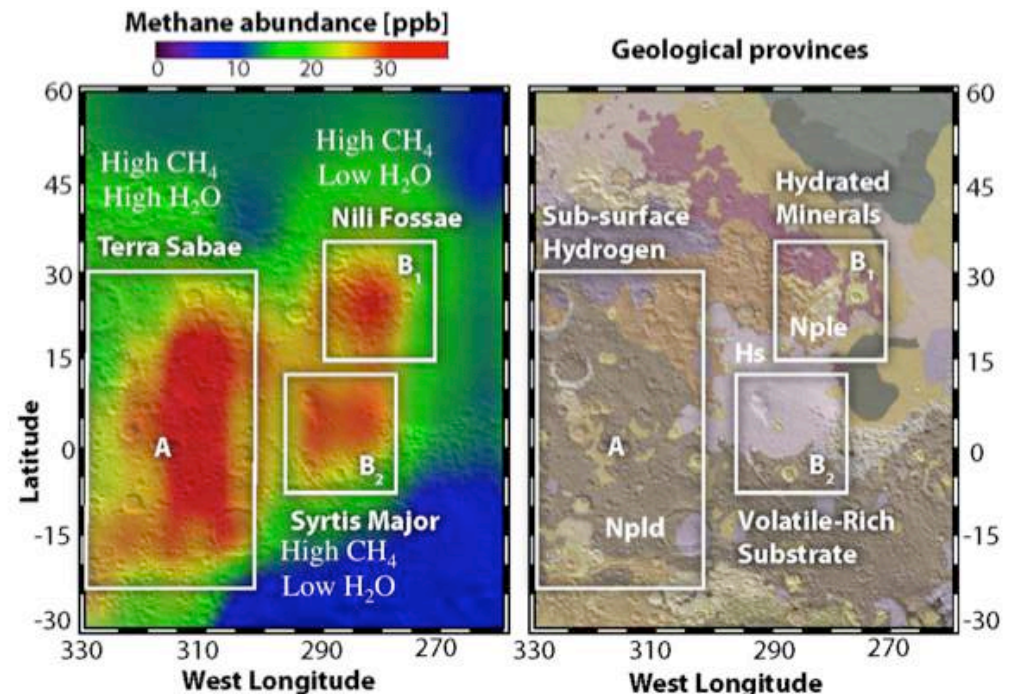
- > preuve de la présence d'un lac dans le passé
- > Mars a été « habitable » il y a 4 milliards d'années :
  - pH neutre, faible salinité
  - C, H, O, N, P, S
  - Fe, S dans différents états d'oxydation
- ... mais toujours pas de trace de vie!

# Recherche du méthane sur Mars (1)

- 2003 : **3 annonces indépendantes de détection** ( 2 depuis le sol + 1 depuis l'espace)
- $\text{CH}_4 = 0 \rightarrow 30$  ppb, fortes variations sur le disque et dans le temps, avec sources ponctuelles très intenses (Mumma)
- Résultat très surprenant car l'atmosphère de Mars est oxydante ( $\text{CO}_2$ ) -> **Indice possible d'une forme de vie????**



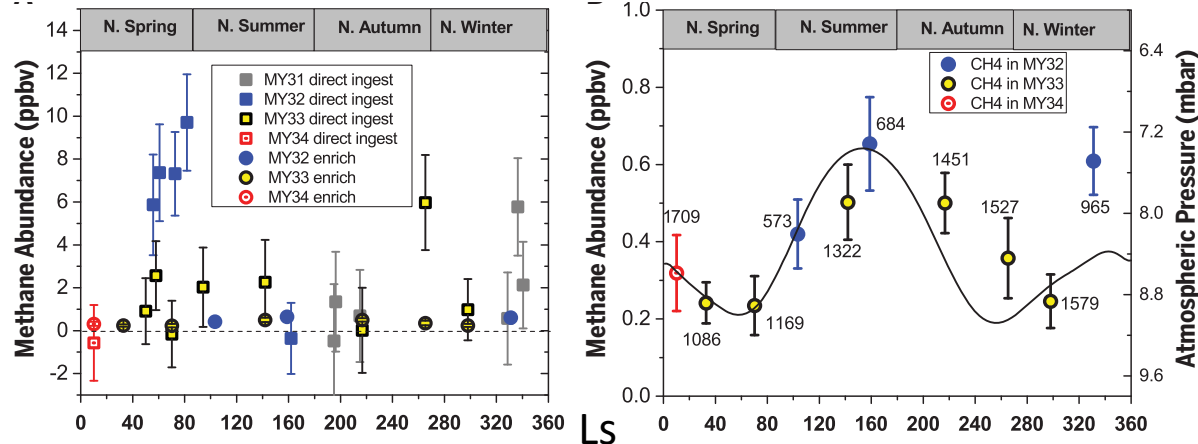
Espace: PFS – Mars Express (2004)



Sol: Max( $\text{CH}_4$ ) = 30 ppbv (Mumma et al. 2004)

# Recherche du méthane sur Mars (2)

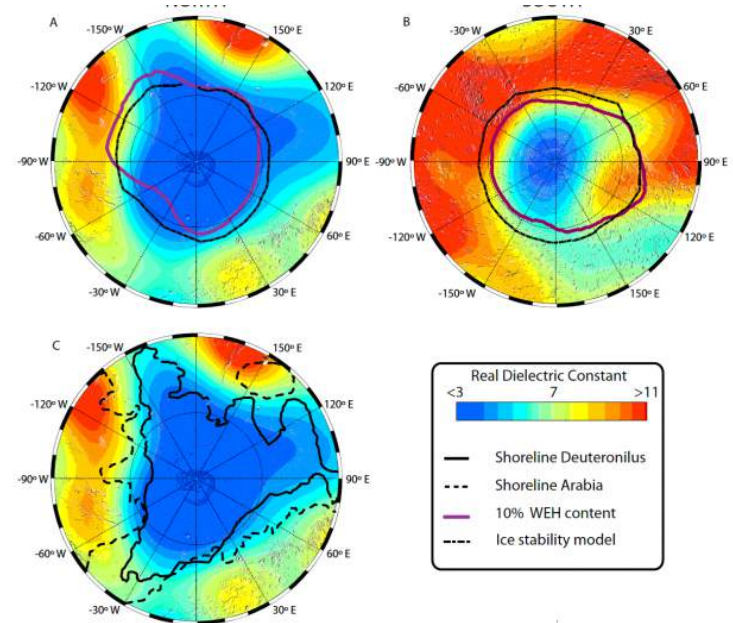
- Les résultats du robot Curiosity (mesures in-situ, 2012-2017)
  - Observation de « plumes » temporaires (-> 20 ppbv)
  - Mesure d'un flux continue à 0,7 ppbv, avec variations saisonnières



- Certaines « plumes » sont confirmées par Mars Express (2019)
  - Mais: L'orbiter TGO ne détecte pas de méthane dans la haute atmosphère (< 0,1 ppbv)!
  - Comment réconcilier ces résultats???
    - Le méthane pourrait être dégazé périodiquement du sous-sol et être immédiatement détruit par un oxydant puissant...?
- **Le problème reste entier!**

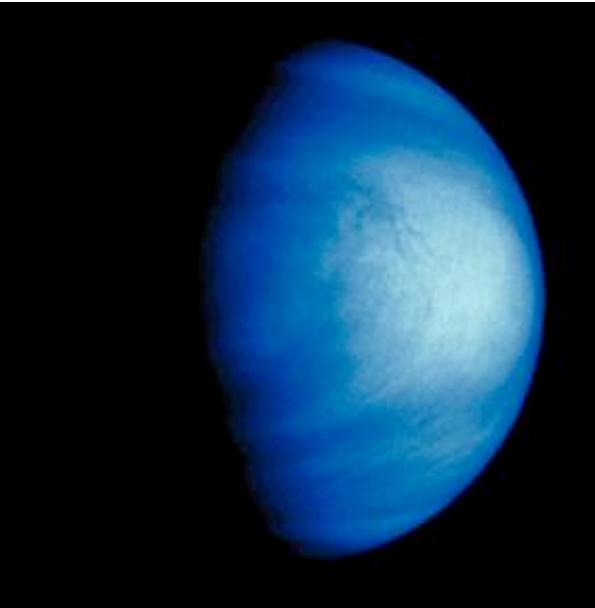
# Mars: les questions ouvertes

- **Où est passée l'eau de Mars?** (sous la surface, sous les calottes? Quel volume?)
- Mars a-t-elle connu **un climat plus chaud et humide** dans le passé?
- Si oui, **l'eau liquide** a t-elle pu y séjourner? Y a t-il eu un océan dans l'hémisphère nord?
- Si oui, **la vie** a t-elle pu apparaître?
- Si oui, pouvons-nous y trouver des traces de **vie fossile**?
- **Le méthane** (s'il est confirmé) est-il d'origine biogénique?



Confirmation de l'océan polaire martien par le radar de Mars Express (Mouginot et al. 2012)

## 4. La planète Mars et ses voisines



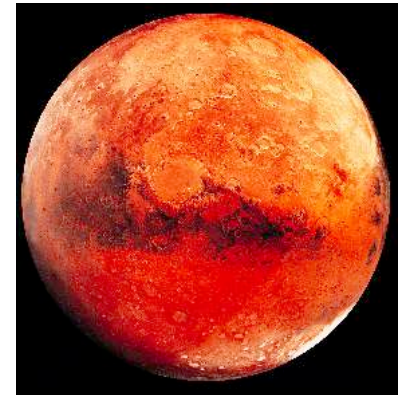
Vénus

$P_s = 93 \text{ bar (CO}_2\text{)}$   
 $T_s = 730\text{K (}457^\circ \text{ C)}$



Terre

$P_s = 1 \text{ bar (N}_2\text{,O}_2\text{)}$   
 $T_s = 288\text{K (}15^\circ \text{ C)}$



Mars

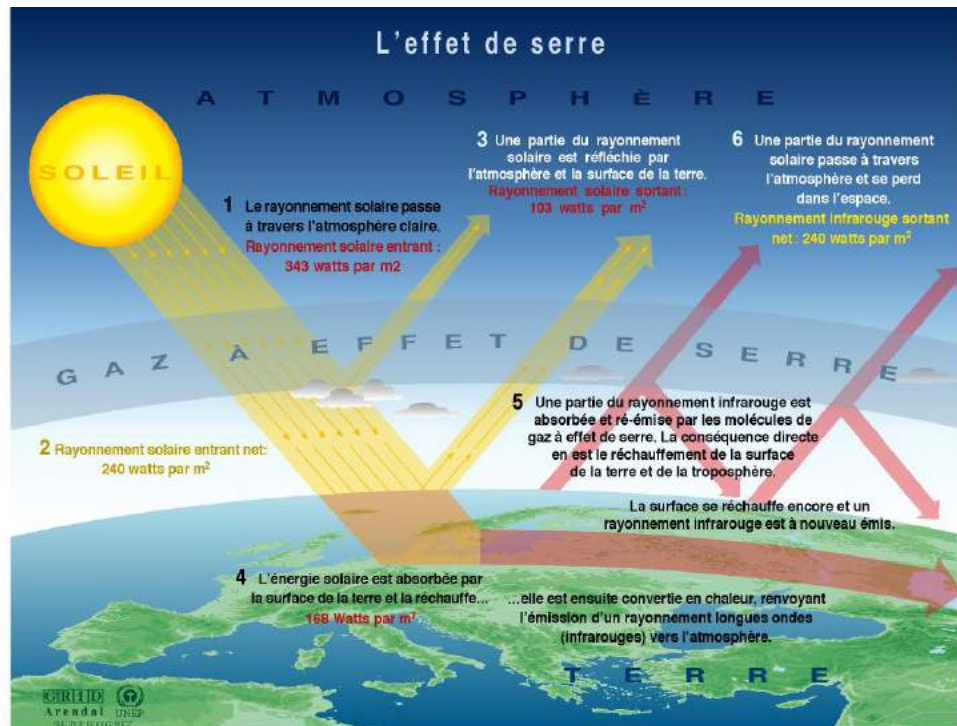
$P_s = 6 \text{ mbar(CO}_2\text{)}$   
 $T_s = 230\text{K (-}43^\circ \text{ C)}$

Des atmosphères primitives comparables,  
mais des destins très différents...!



# La cause: l'effet de serre

- Le rayonnement solaire visible chauffe la surface qui émet dans l'infrarouge
- Les gaz atmosphériques absorbent ce rayonnement et chauffent à leur tour -> la température de surface augmente et l'effet s'amplifie
- Les gaz à effet de serre les plus efficaces:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{CH}_4$



# Vénus-Terre-Mars: des destins divergents

## Le rôle de l'eau et de l'effet de serre

**Au départ:** des atmosphères de composition comparable ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ )

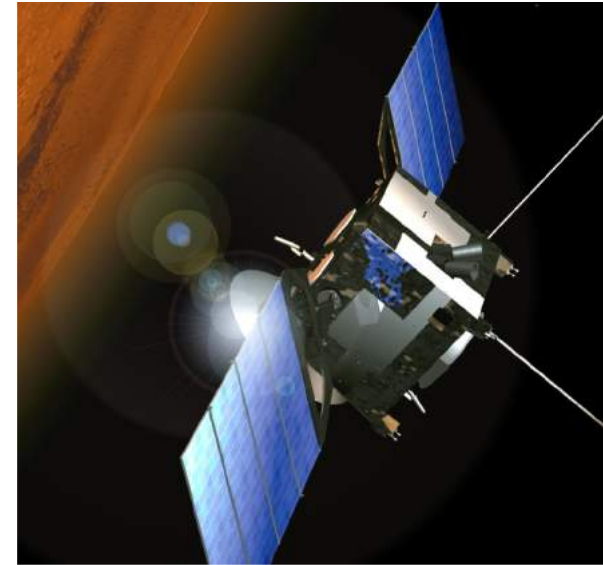
**Sur Vénus:**  $\text{H}_2\text{O}$  gazeux  $\rightarrow$  effet de serre qui s'amplifie  $\rightarrow T_s = 460^\circ \text{C}$ !

**Sur la Terre:**  $\text{H}_2\text{O}$  liquide  $\rightarrow \text{CO}_2$  piégé dans les océans  $\rightarrow$  effet de serre modéré,  $T_s = \text{Cst.} = 20^\circ \text{C}$

**Sur Mars:** planète peu massive  $\rightarrow$  atmosphère ténue + faible activité interne  $\rightarrow$  l'effet de serre disparaît,  $T_s = -40^\circ \text{C}$

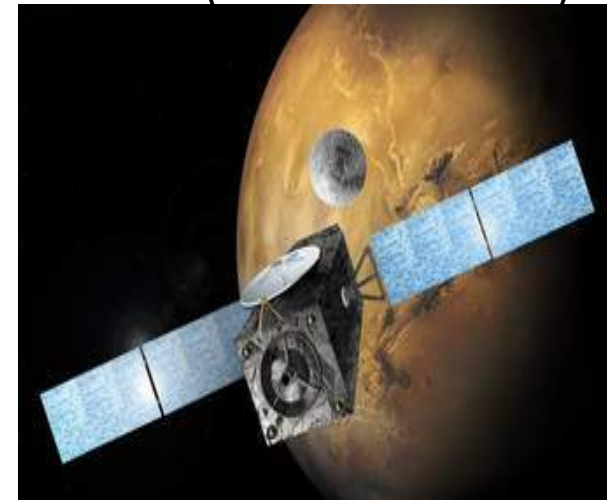
# 5. Le futur de l'exploration de Mars

- **Aujourd'hui:** Plusieurs orbiters et landers en service, en particulier:
  - *Mars Express* (orbiter ESA)
  - Mars Reconnaissance Orbiter (orbiter NASA)
  - Mars Science Laboratory/Curiosity (rover NASA)
  - MAVEN (orbiter NASA)
  - *ExoMars 2016/TGO* (orbiter ESA/Russie)
  - InSight (lander + sismomètre, NASA/CNES)
- **Prochaines étapes:**
  - *ExoMars 2020* (rover ESA/Russie + forage profond)
  - Mars 2020 (rover NASA, collecte d'échantillons)
- **Le grand projet du futur:**
- Mars Sample Return (retour d'échantillons) (NASA, ESA, JAXA...?)
  - Collecte d'échantillons par Mars 2020
  - Récupération et mise en orbite martienne (à définir)
  - Récupération et retour sur la Terre (à définir)



Mars Express

TGO (Trace Gas Orbiter)



# La mission InSight

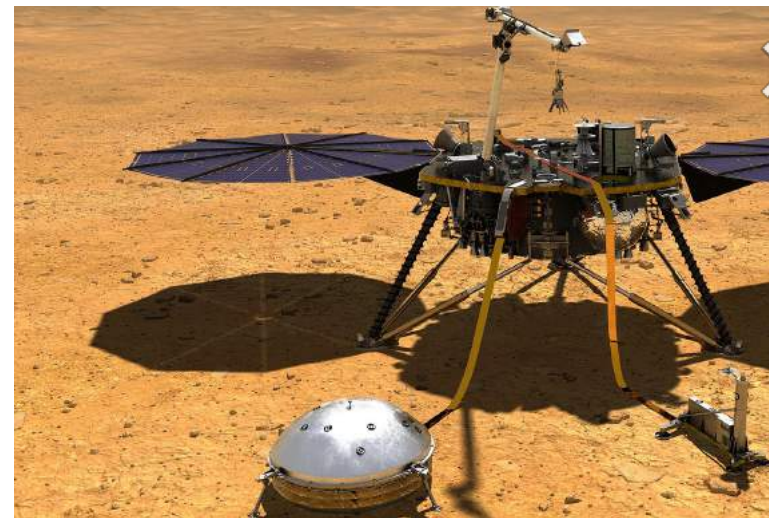
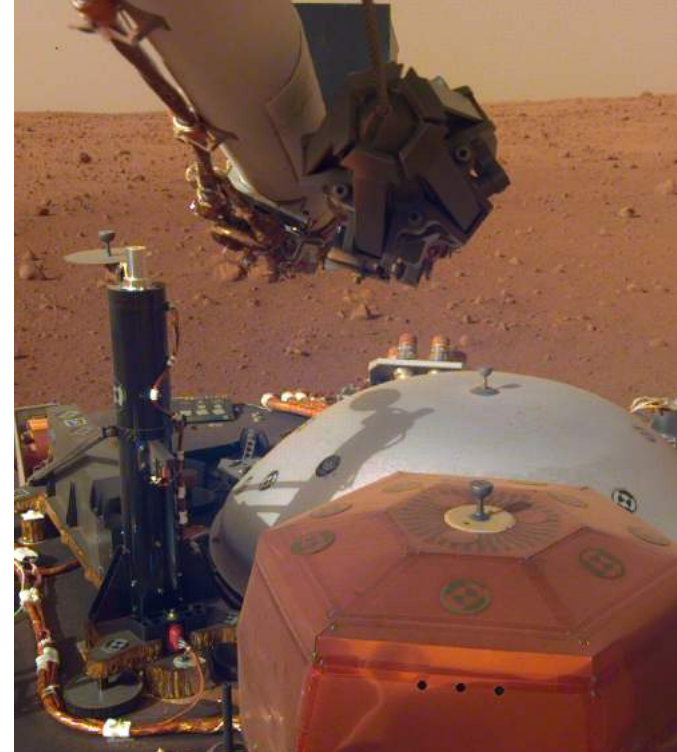
## Lander martien (NASA + CNES)

- **Lancement** mars 2018, arrivée sur Mars novembre 2018
- **Objectif:** Etude de la structure interne de Mars
- Instrument: sismomètre (France)

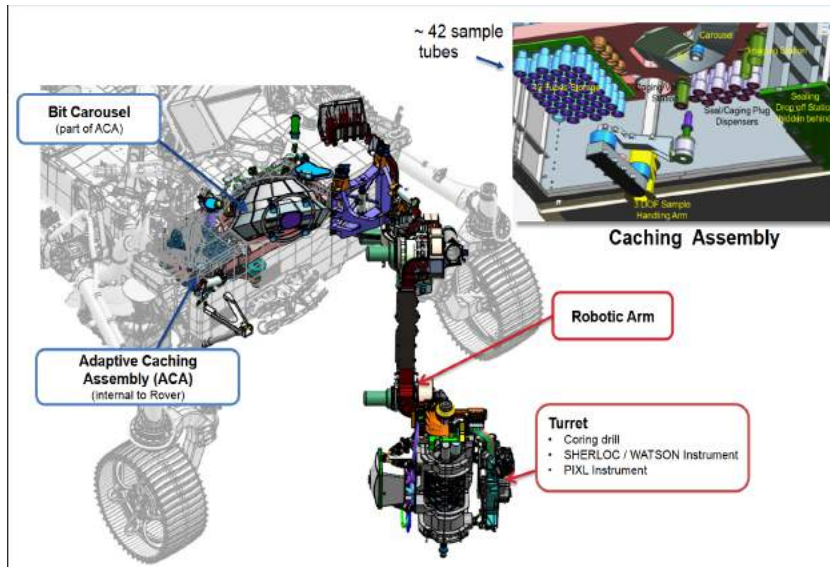
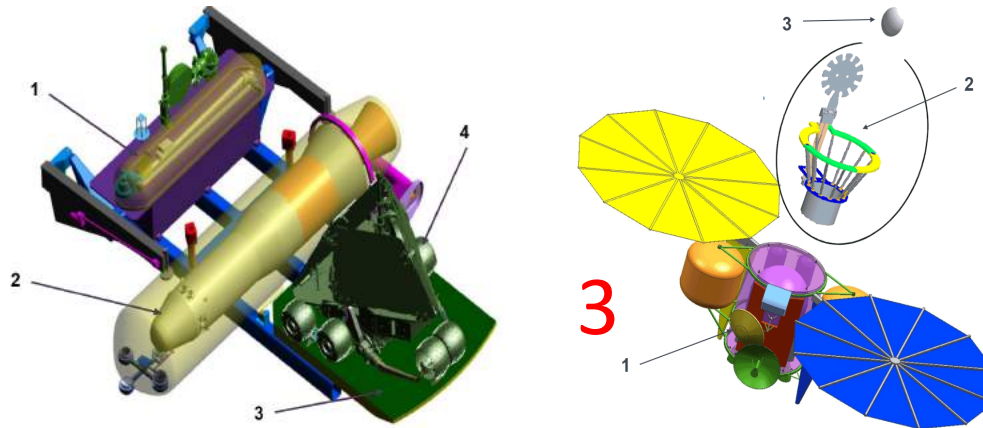
## Premiers résultats:

- Première secousse détectée en avril 2019, plus faible que prévu

**Données ouvertes au public** et aux scolaires dans le cadre du programme « Sciences à l'Ecole »



# Schéma de la mission Mars Sample Return (horizon: décennie 2030?)



1

2

1. Collecte des échantillons (500g): Mars 2020
2. Récupération des échantillons au sol (Bras articulé + fusée + plate-forme)
3. Récupération en orbite martienne

# L'homme sur Mars ???

- **Quelle justification?**
  - Sûrement pas scientifique (les sondes robotiques ont fait leur preuve)
  - Essentiellement politique (retour aux années 1960 lors de la compétition USA/URSS, avec apparition des pays émergents (Japon, Chine, Inde, Brésil, Israël...))
  - La part du rêve...
  - Une coopération internationale pacifique (ex: Station Spatiale Internationale)
- **Quel coût: exorbitant!**
  - Pour assurer la sécurité: de 10 à 100 fois le coût d'une mission robotique!
- **Quels effets sur l'organisme humain: très mauvais!**
  - Expérience de l'ISS: Perte musculaire, problèmes liés aux os, au cœur....
  - Voyage interplanétaire: problème des radiations dues au rayonnement cosmique
- **Ne devrait-on pas concentrer la coopération spatiale internationale sur la lutte contre le réchauffement climatique??**

