



Les planètes du système solaire

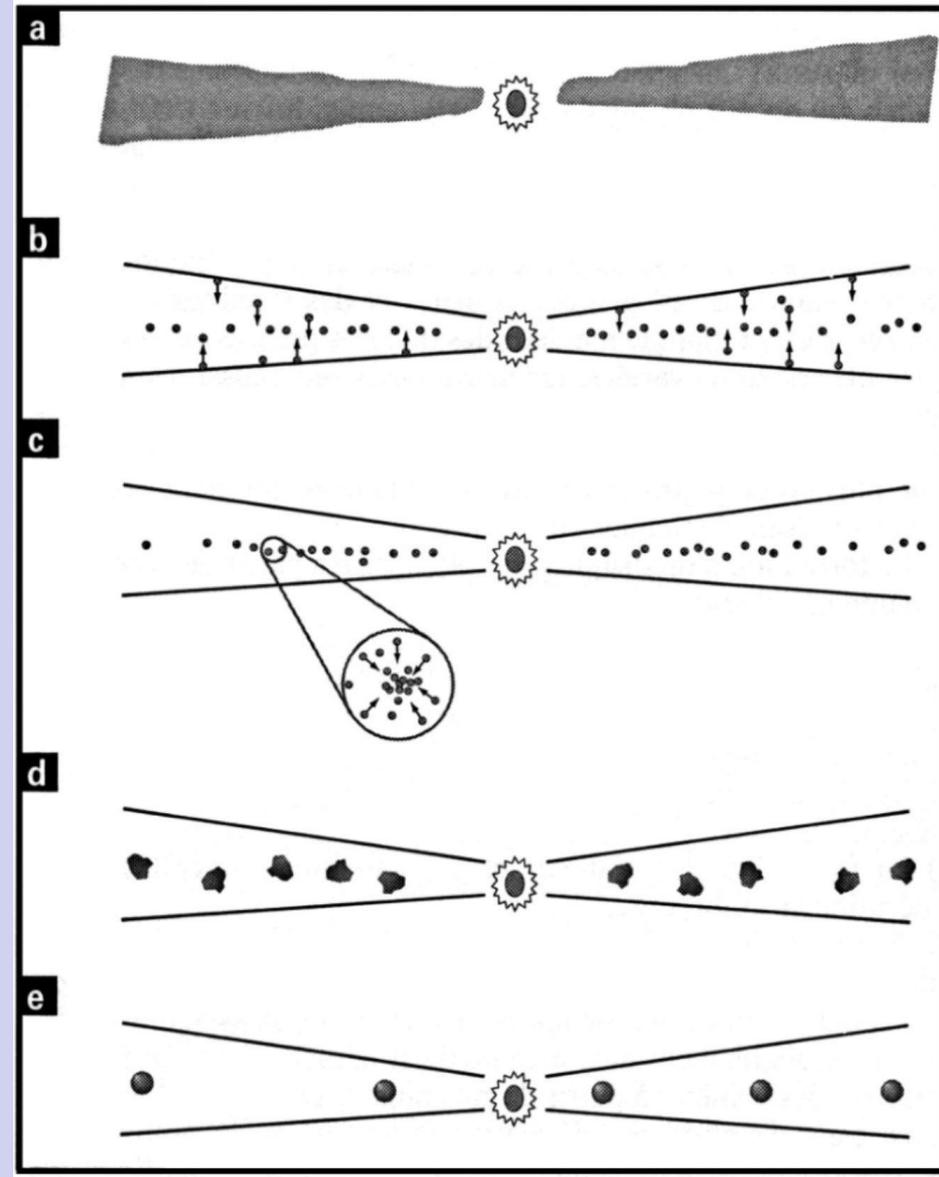
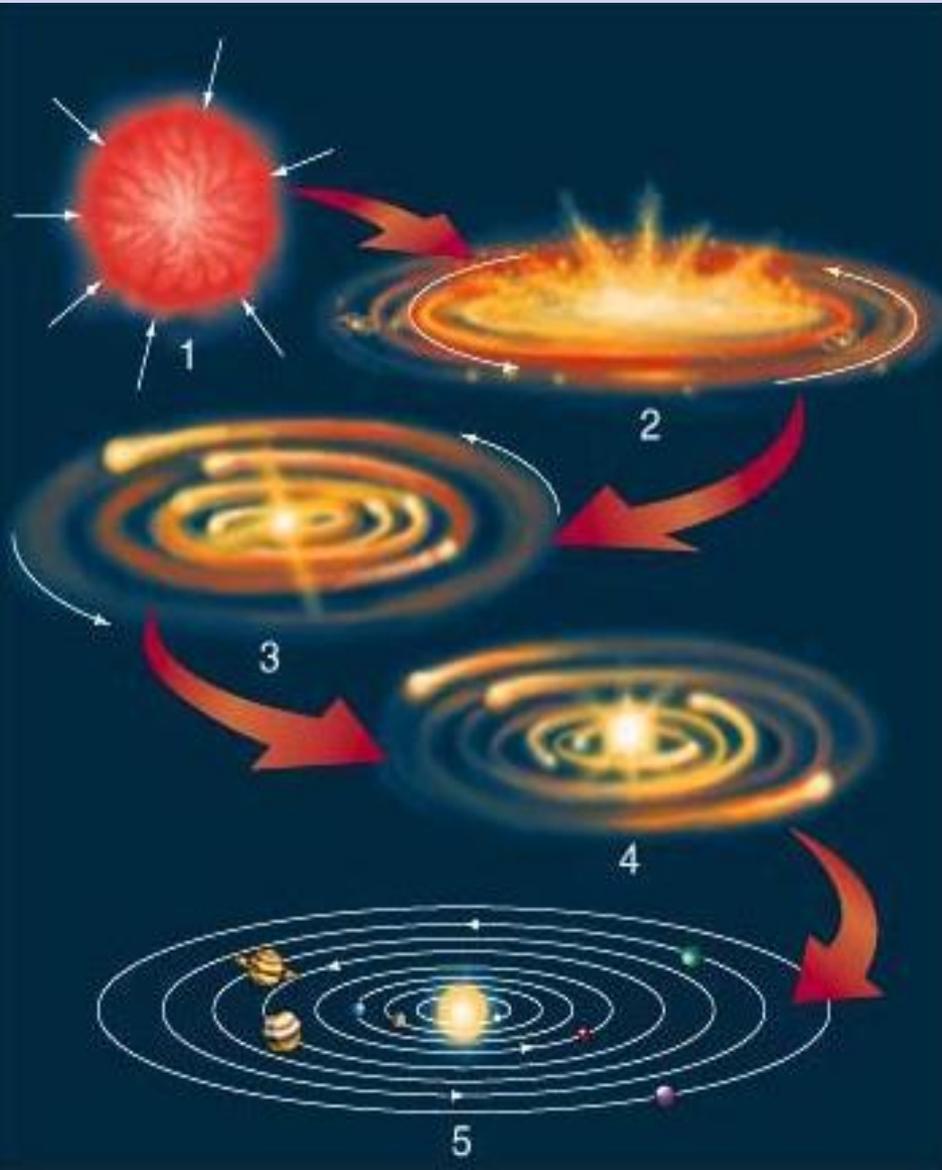
École d'été « l'univers à la portée de tous »

23-26 août 2017

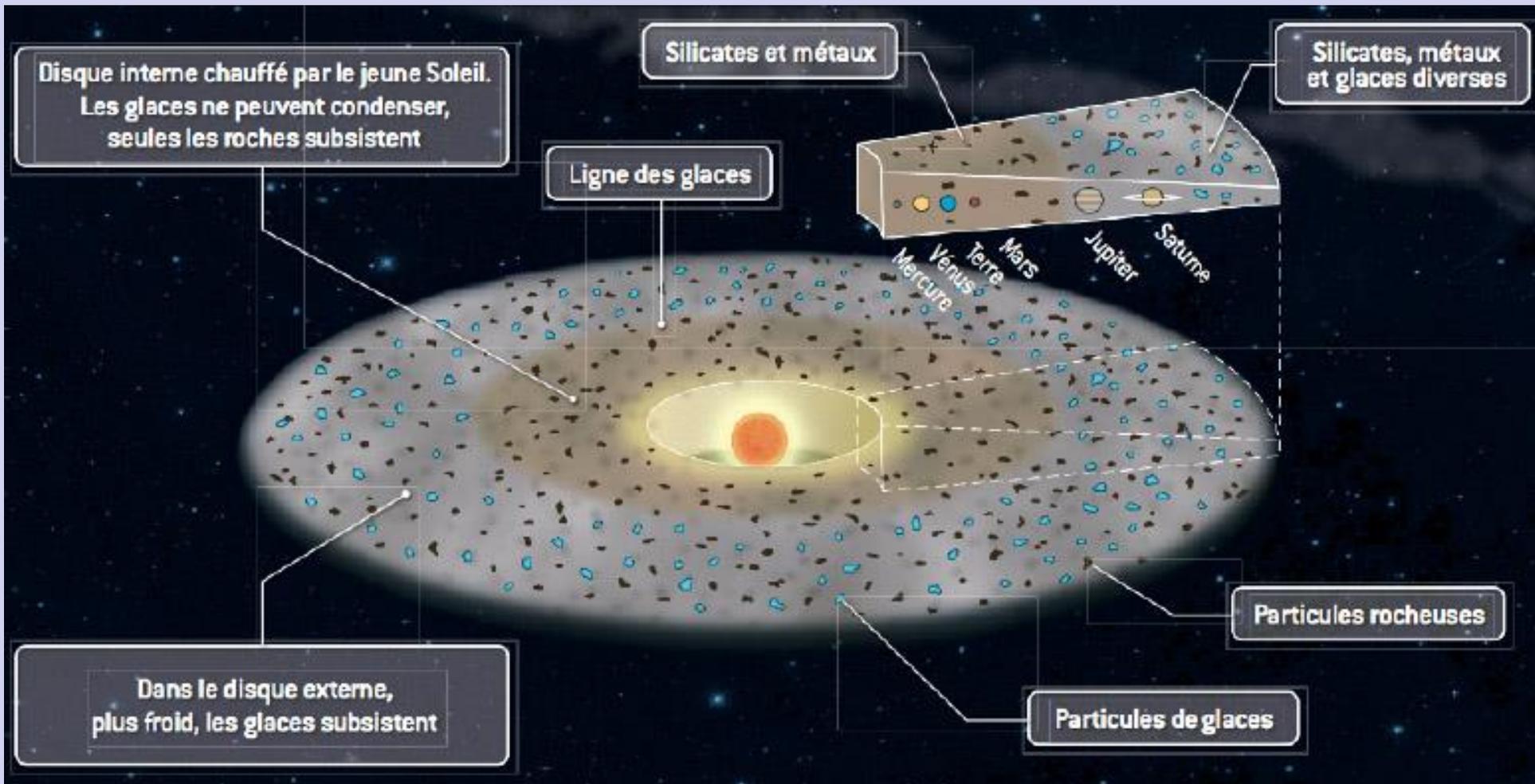
La formation des planètes

- Emmanuel Kant en 1755 et Pierre-Simon de Laplace au XVIIIÈME siècle ont les premiers formulé l'hypothèse de la nébuleuse solaire. Cette hypothèse est l'embryon de la théorie standard actuellement associée à la formation du Système solaire.
- La critique la plus importante de cette hypothèse fut son apparente incapacité à expliquer le manque relatif de moment cinétique du Soleil par rapport aux planètes. Mais l'observation actuelle d'étoiles jeunes confirme cette hypothèse.

Formation et évolution du système solaire



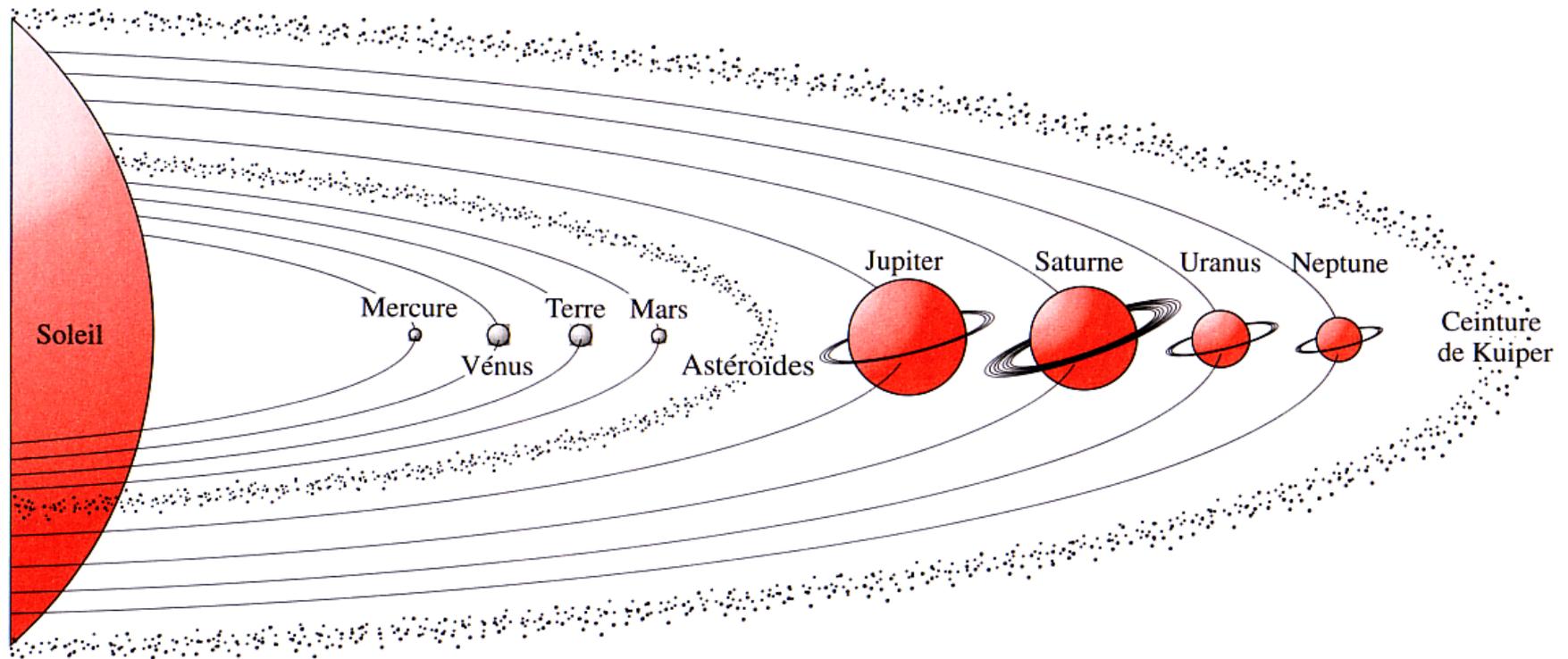
Le disque protoplanétaire

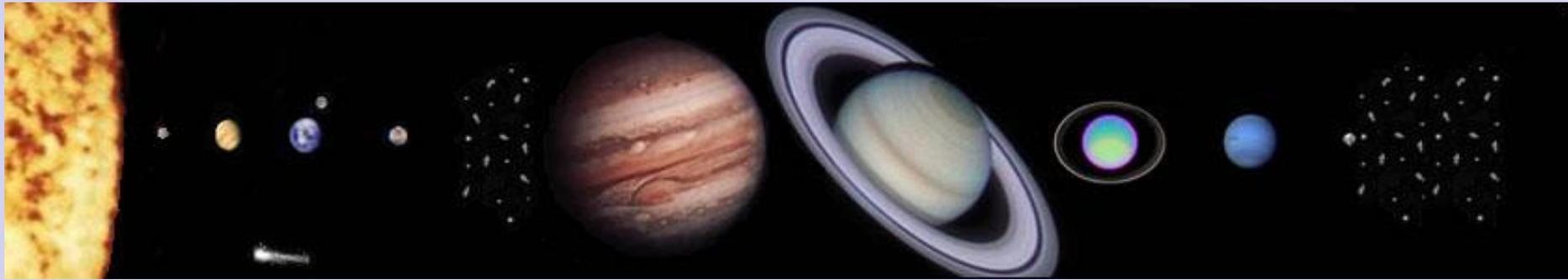


La formation des planètes

- En utilisant la datation radioactive, les scientifiques évaluent l'âge du Système solaire à environ 4,6 milliards d'années.
- La condensation du Système solaire à partir de la nébuleuse primitive serait survenue en 10 millions d'années au plus.

Le système solaire aujourd'hui





0

1

5

10

20

40

100?

Les distances des planètes au Soleil

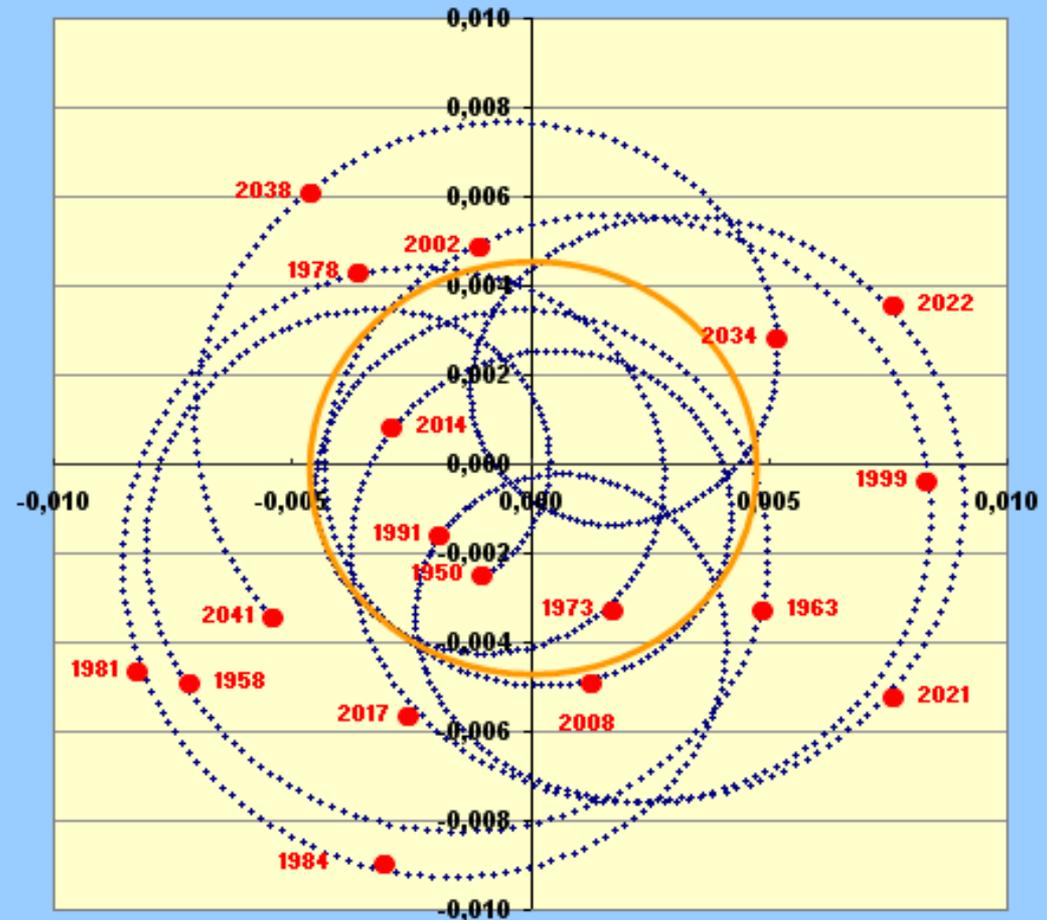
En « unités astronomiques » (UA)

1 UA = 149 597 870 km 690 m

La masse du système solaire

Unité→	Soleil=1	Jupiter=1	Terre=1
Soleil	1	1047	333000
Jupiter	1/1047	1	318
Terre	1/333 000	1/318	1

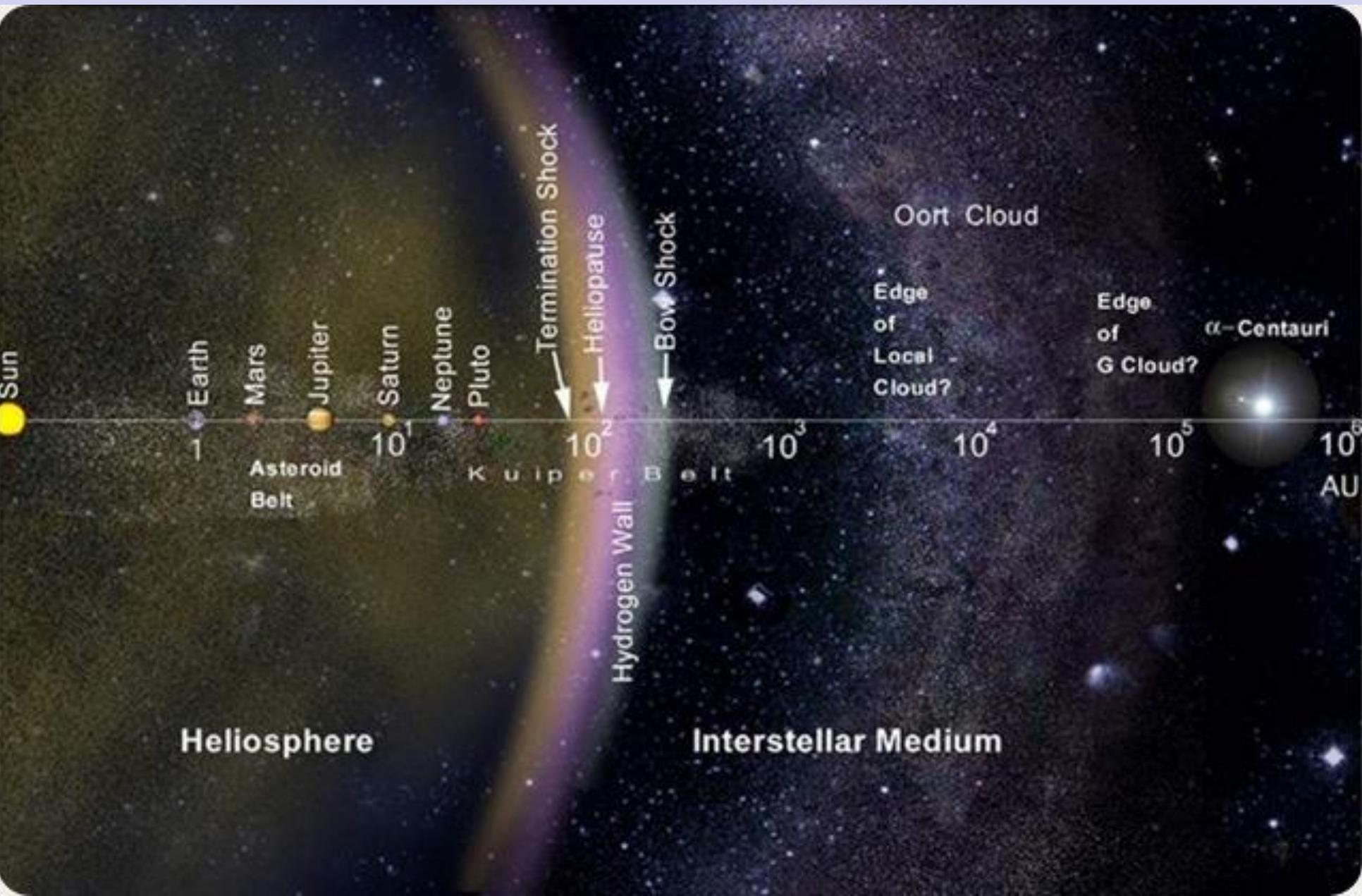
POSITION DU BARYCENTRE EN U.A. PAR RAPPORT AU CENTRE DU SOLEIL DE 1950 A 2041



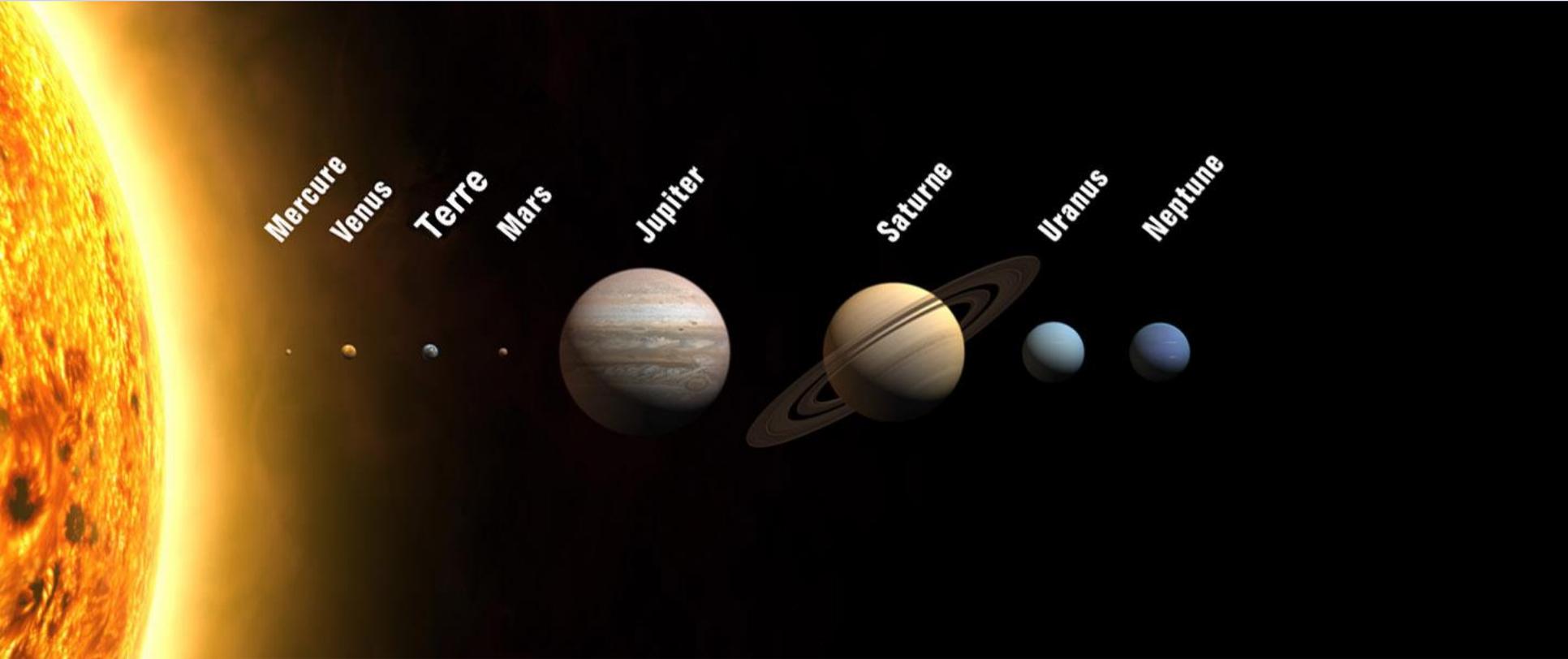
• POSITION DU BARYCENTRE EN U.A. PAR RAPPORT AU CENTRE DU SOLEIL DE 1950 A 2041

WILLIAMS F.
<http://la.climatologie.free.fr/>

La frontière du système solaire



Les planètes



- Elles sont huit: quatre petites et quatre grosses

Les quatre petites planètes telluriques, petites mais denses



Formation des planètes telluriques

- La **composition** globale des planètes telluriques est **rocheuse** : silicates, et fer et nickel (densité ≈ 5).
- Les planètes telluriques se sont formées par **accrétion** de «planétésimaux»
 - Chaudes, homogènes, liquides
- **Chute** des matériaux les plus lourds (fer, nickel) vers le centre:
 - **Différenciation** et formation d' un noyau.
- Refroidissement de la surface : formation de la **croûte**

Atmosphères des planètes telluriques

Initialement : **4 atmosphères semblables** produites par :
« **dégazage** » : **rejet des gaz piégés** dans les roches par
l'activité volcanique
impacts de **météorites et comètes** contenant des volatiles :
 H_2O , N_2 , CO , CO_2 ,.....

Composition des atmosphères initiales : CO_2 , N_2 , H_2O ,.....

Pression : quelques fois la pression terrestre actuelle

Température **compatible** avec la présence d'eau liquide

Atmosphères des planètes telluriques

Ceci explique les **différences** entre les planètes telluriques :

Terre : atmosphère; Lune : pas d' atmosphère

Différence de gravité

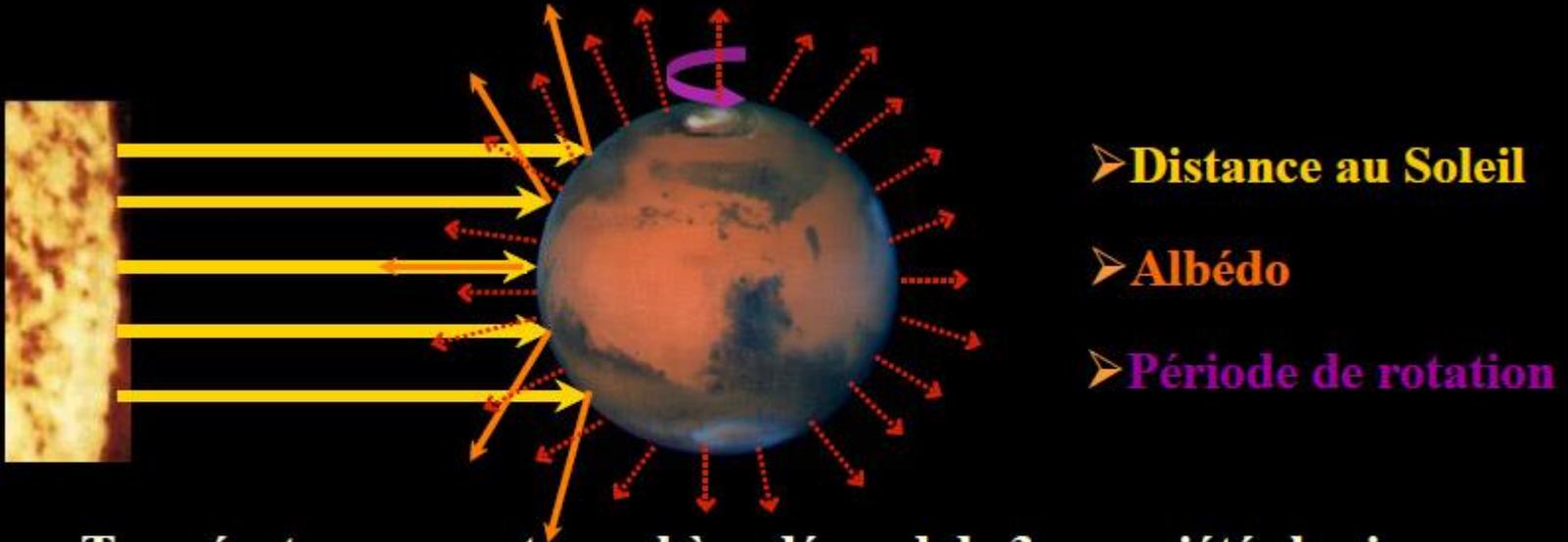
Mars : atmosphère; Mercure : pas d' atmosphère

Différence de température

Présence d' azote, d' oxygène et de carbone mais pas d' hydrogène ou d' hélium

Différence de masse moléculaire

Température des planètes telluriques



Température sans atmosphère dépend de 3 propriétés basiques :

Une planète émet en retour ce qu'elle absorbe

=> équilibre

=> on en déduit la température.

Température des planètes telluriques

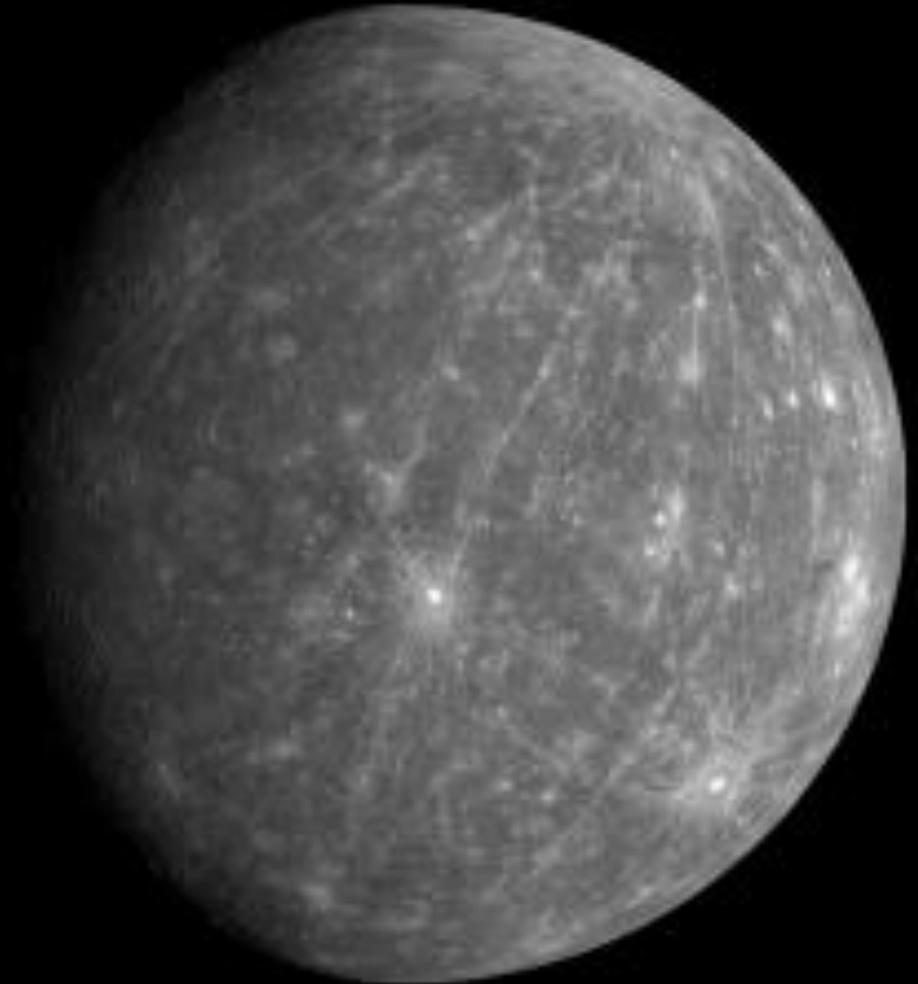
0 = noir
1 = blanc

Rotation : 58 jours
Période orbitale : 88 jours

planète	Distance au Soleil (UA)	Albédo	Durée du jour	Temp. Sans atmosphère	Température moyenne observée
Mercury	0,38	0,11	176 jours	168 °C	430 °C (jour), -170 °C (nuit)
Vénus	0,72	0,72	117 jours	-33 °C	460 °C
Terre	1,00	0,36	1 jour	-23 °C	15 °C
Lune	1,00	0,07	28 jours	2 °C	130 °C (jour), -170 °C (nuit)
Mars	1,52	0,25	~1 jour	-62 °C	-50 °C

Mercure

- Une planète rapide dans le ciel car proche du Soleil (1/3 distance Terre-Soleil)
- La température varie entre -173 et +427 degrés
- Pas d'atmosphère car:
 - Gravité trop faible
 - Température trop élevée

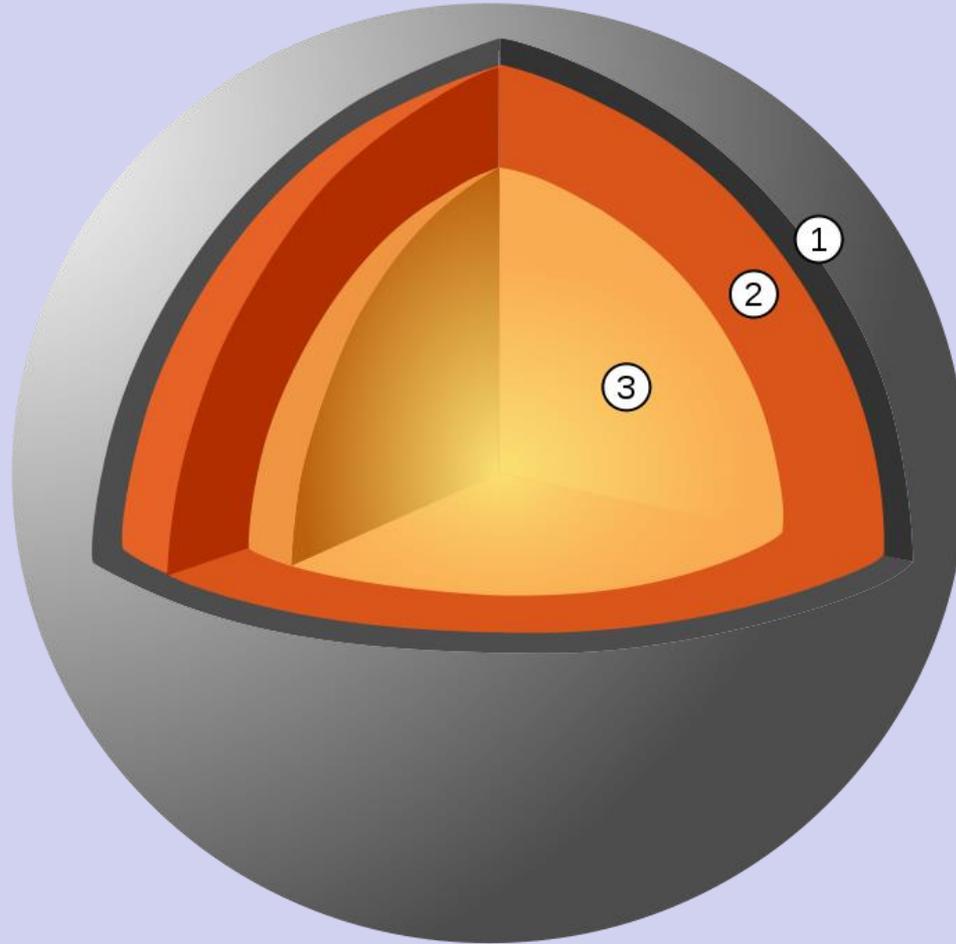


Mercure: la surface



- Messenger photographie une zone de 200km x 200km

Mercure: la structure interne



(1): croûte

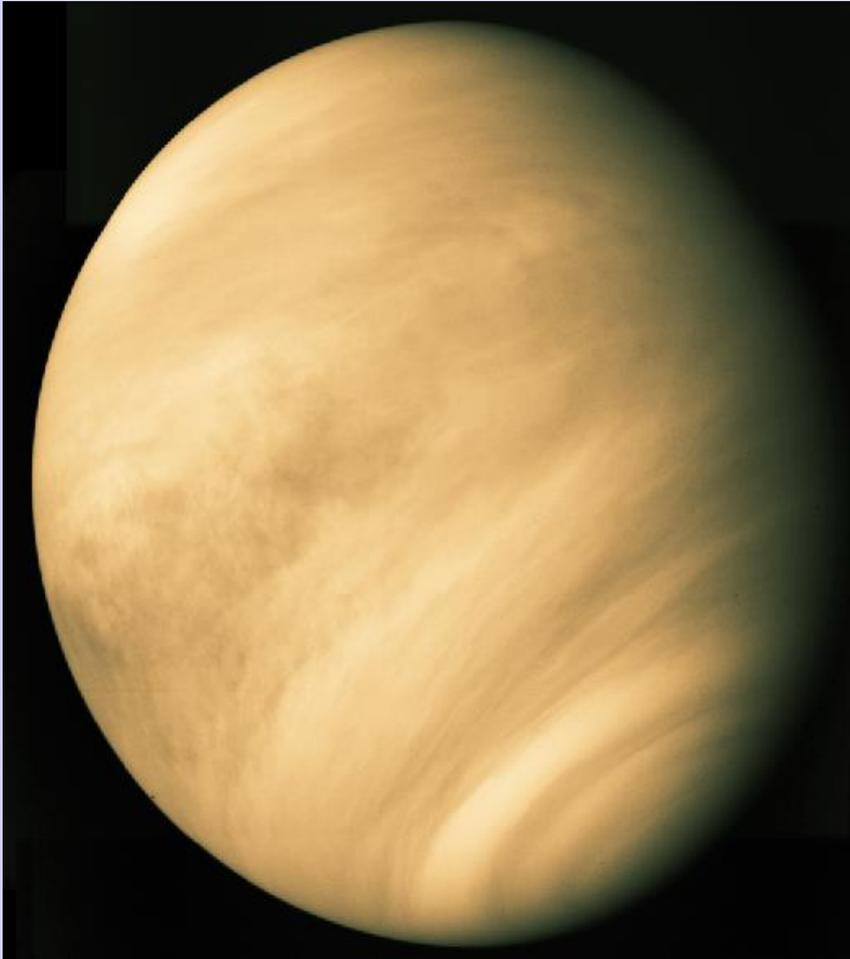
(2): manteau

(3): noyau

Mercure: lave dans les cratères, similarité avec la Lune



Vénus, une belle planète brillante et chaude



Elle est plus proche du Soleil que la Terre ($\frac{2}{3}$ de la distance Terre-Soleil)
Elle s'approche à moins de 50 millions de km de la Terre



Vénus: un enfer!



Une température de 450 degrés!

L'atmosphère de Vénus

Vénus

Augmentation de la luminosité solaire (~30%)

Température **augmente**

H₂O se vaporise, passe dans l'atmosphère où le rayonnement UV la **détruit**

Les pluies diminuent

CO₂ s'accumule dans l'atmosphère

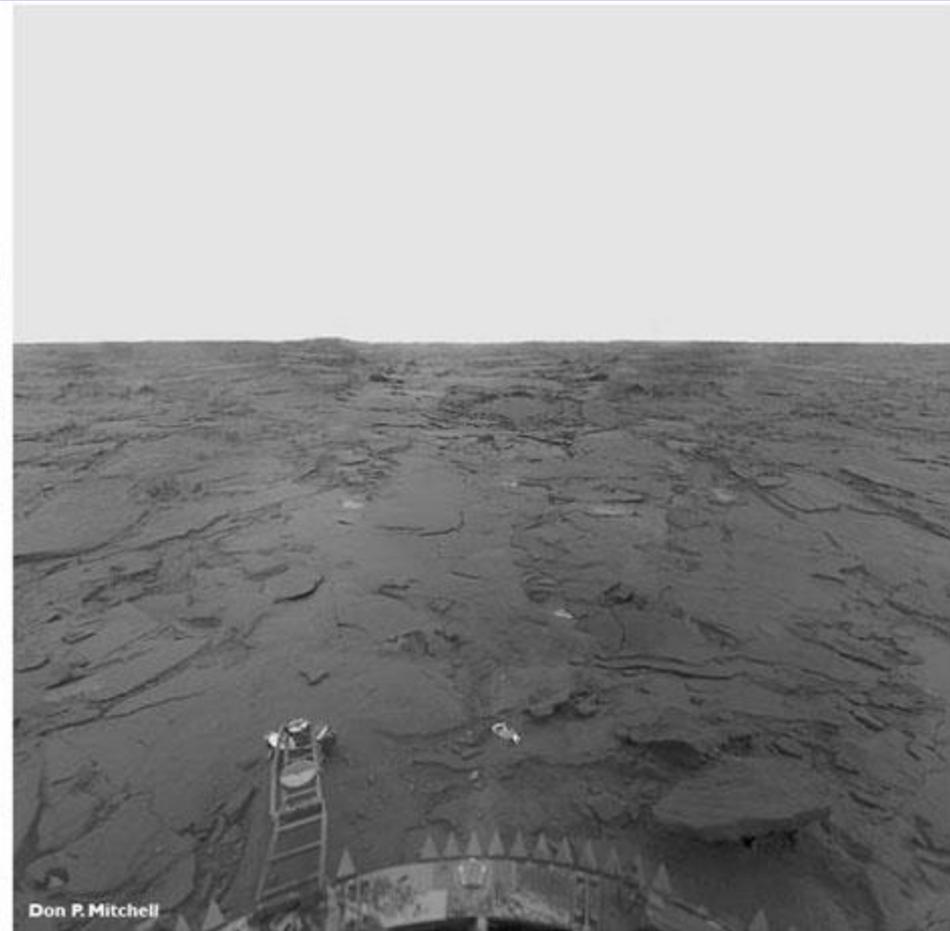
Effet de serre : température augmente

Plus d'eau liquide, pas de cycle de CO₂

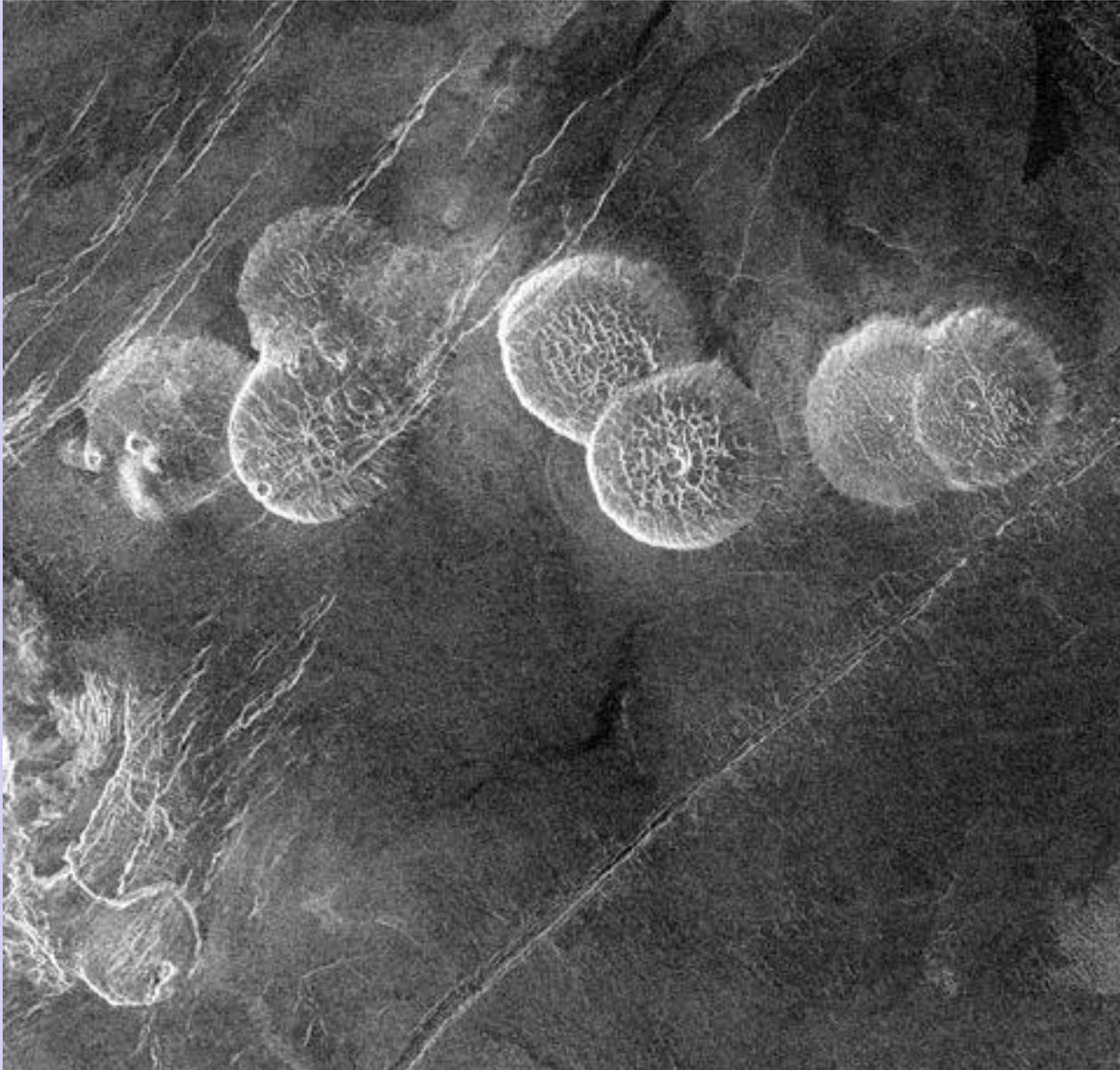
$$T_{\text{actuelle}} = 460^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{actuelle}} = 90 \text{ bars}$$

La surface de Vénus vue par la sonde russe Venera



Volcans sur Vénus



Vénus: la structure interne

- Similaire à la Terre mais:
pas de tectonique des plaques!



La Terre: une planète bleue
à 150 millions de km du Soleil

Atmosphère de la Terre

Terre

Équilibre harmonieux entre l'augmentation de la lumière solaire (donc de l'évaporation et des pluies) et de la décroissance du CO₂ atmosphérique par les précipitations

Climat stable, lié aux océans

Apparition de la vie

algues bleues dans la mer (2 milliards d'années)

plantes : photosynthèse et libération d'oxygène (400 millions d'années)

formation de la couche d'ozone

Explosion de la vie au carbonifère : décroissance de CO₂, donc de la température

$$T_{\text{actuelle}} = 15^{\circ}\text{C}$$

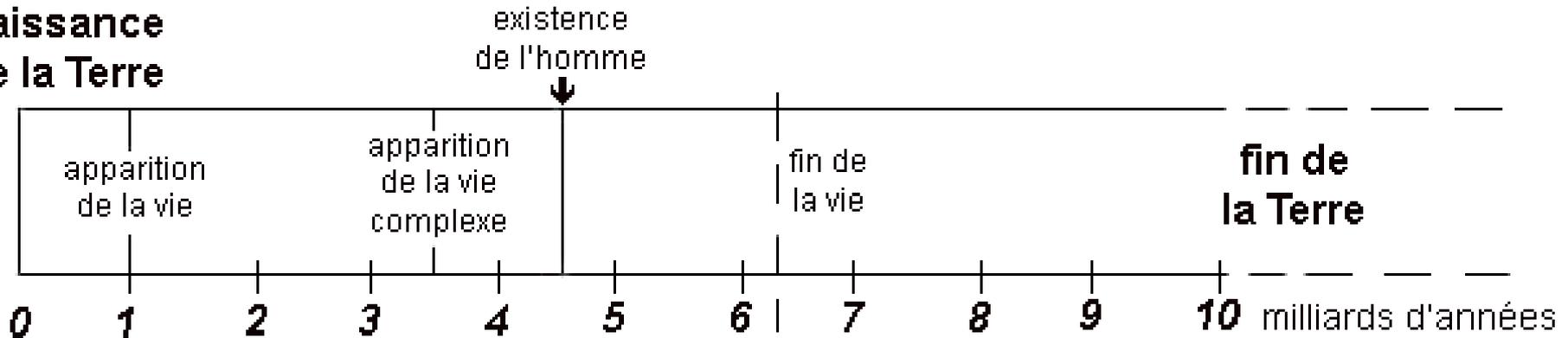
$$P_{\text{actuelle}} = 1 \text{ bar}$$

La Terre abrite la vie: sa température moyenne est de 15 degrés



- À plus long terme, nous allons vers une période glaciaire mais le Soleil chauffe de plus en plus! L'eau disparaîtra de la surface de la Terre dans ... plusieurs centaines de millions d'années.

**naissance
de la Terre**



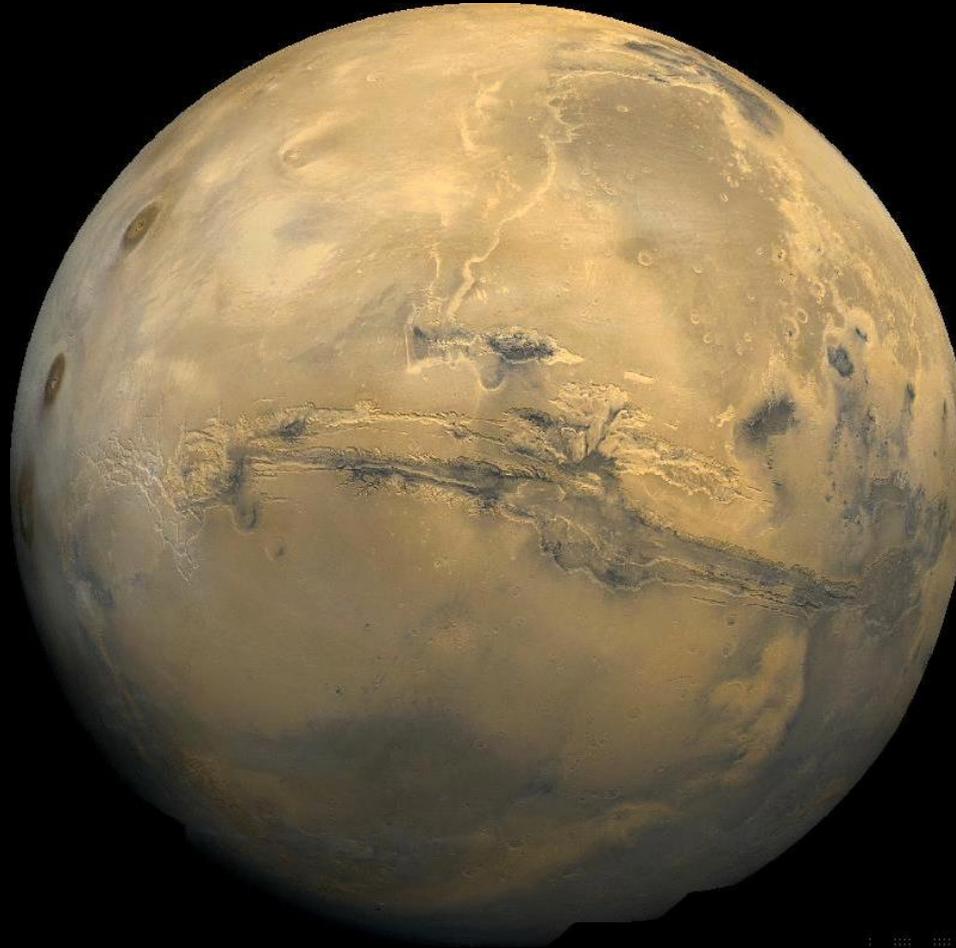
← Atmosphère
trop chaude
(gaz carbonique) →

← Soleil trop chaud →

- Le Soleil a encore du carburant pour
4 à 5 milliards d'années...

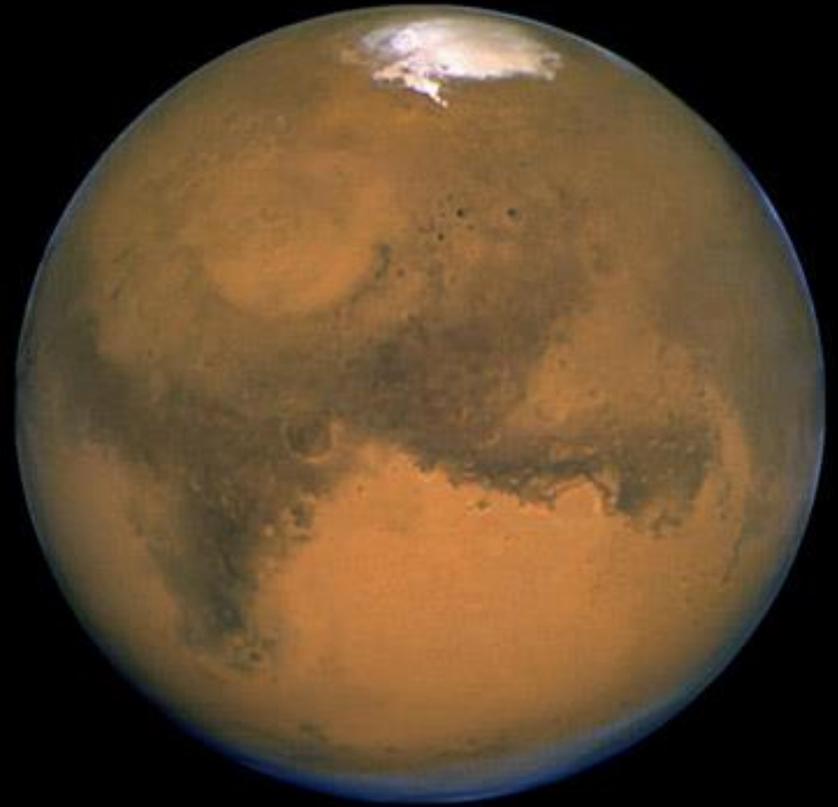
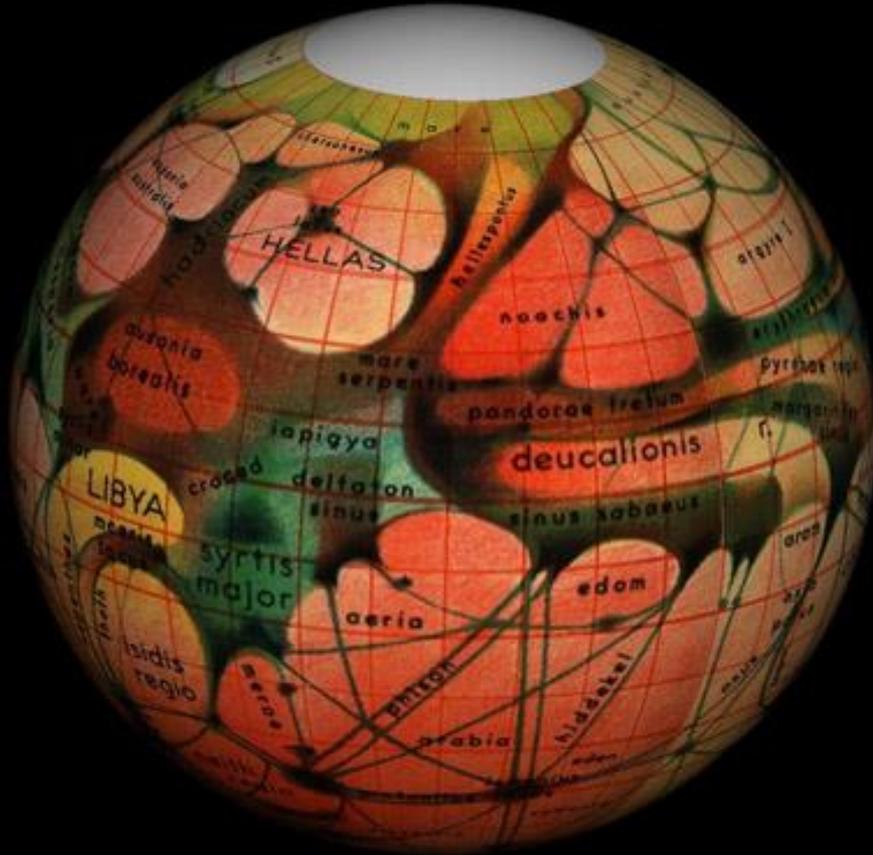


Mars la rouge



Une planète située à 200 millions de km du Soleil
Une température qui varie entre -123 et +37 degrés

Mars, avant et après...





Atmosphère de Mars

Mars

Au début, climat chaud et humide grâce à l'effet de serre; puis fin du volcanisme après 1-2 milliards d'années (sauf localement)

fin du cycle de CO_2 qui reste piégé dans les carbonates à la surface malgré l'augmentation de la luminosité solaire,

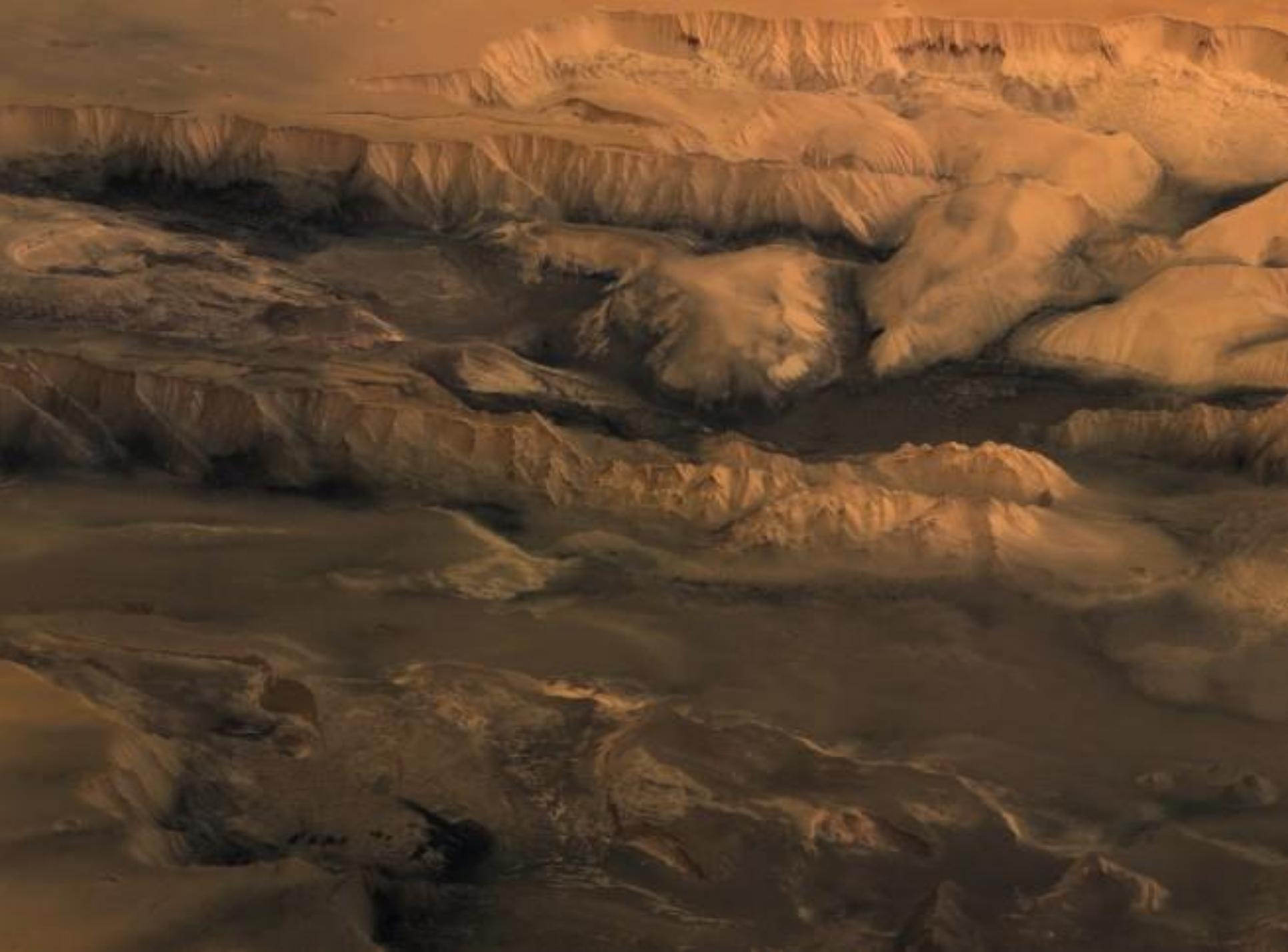
fin de l'effet de serre et la température décroît

l'eau gèle et passe dans le sous-sol (pergélisol)

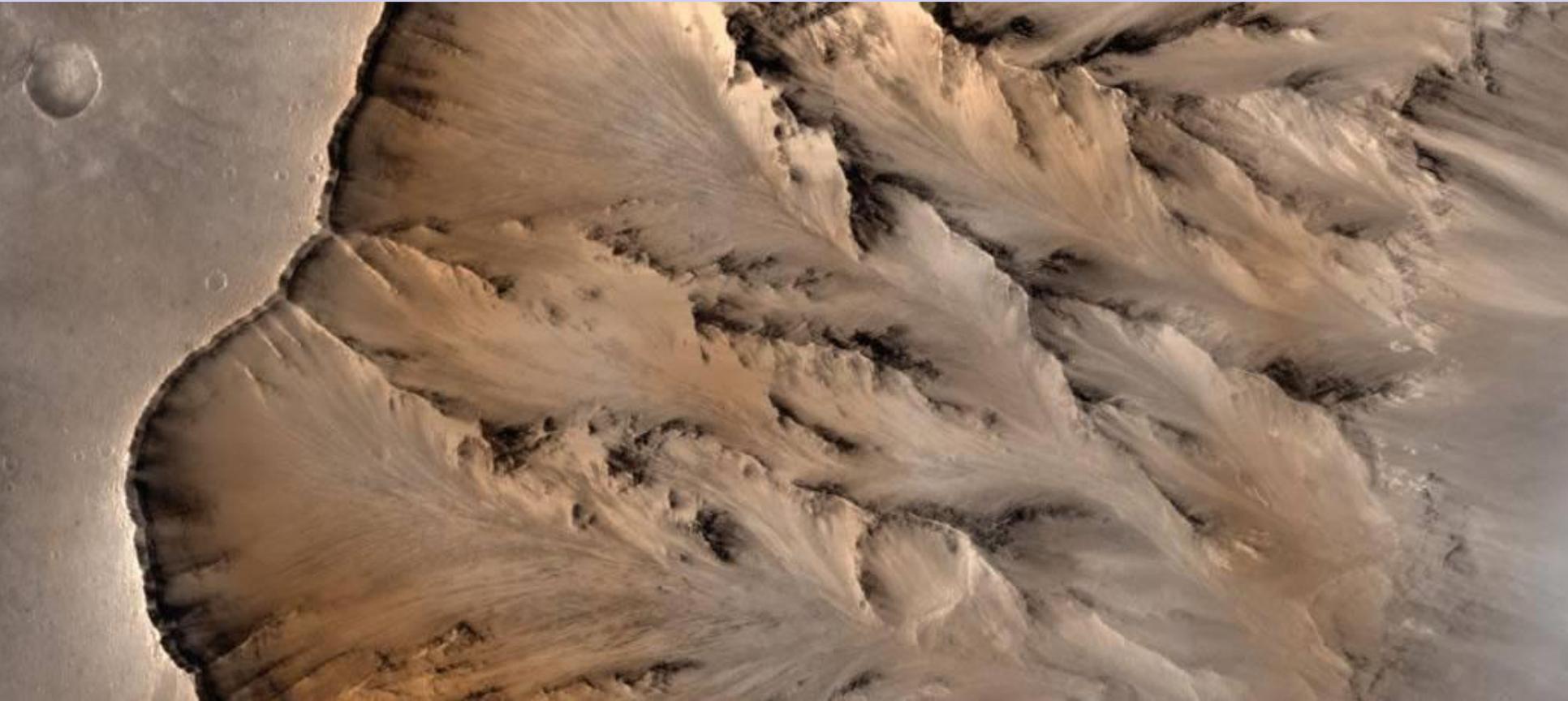
l'azote s'échappe

$$T_{\text{actuelle}} = -50^{\circ}\text{C}$$

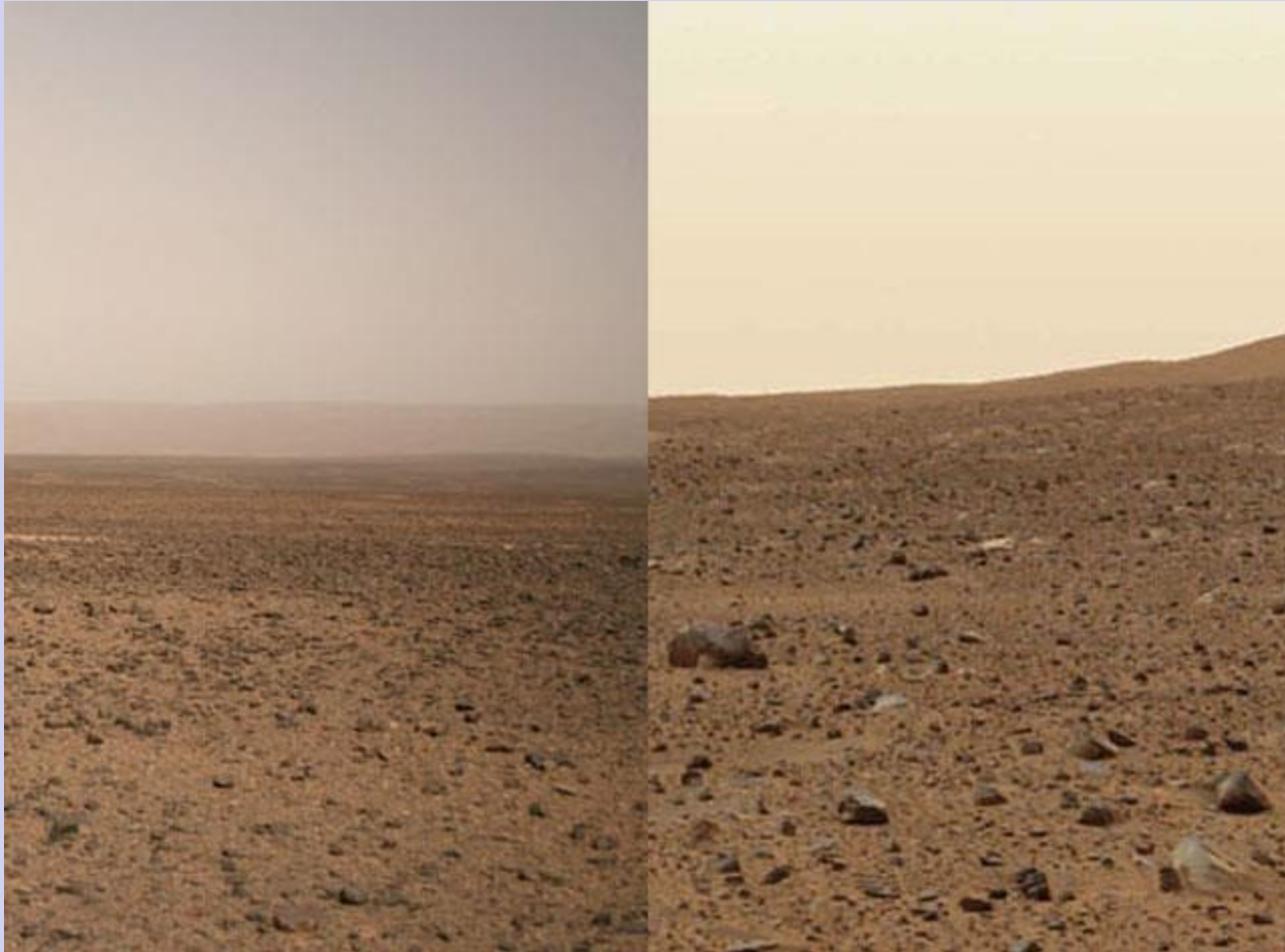
$$P_{\text{actuelle}} = 0.007 \text{ bar}$$



Un ravinement qui rappelle la Terre

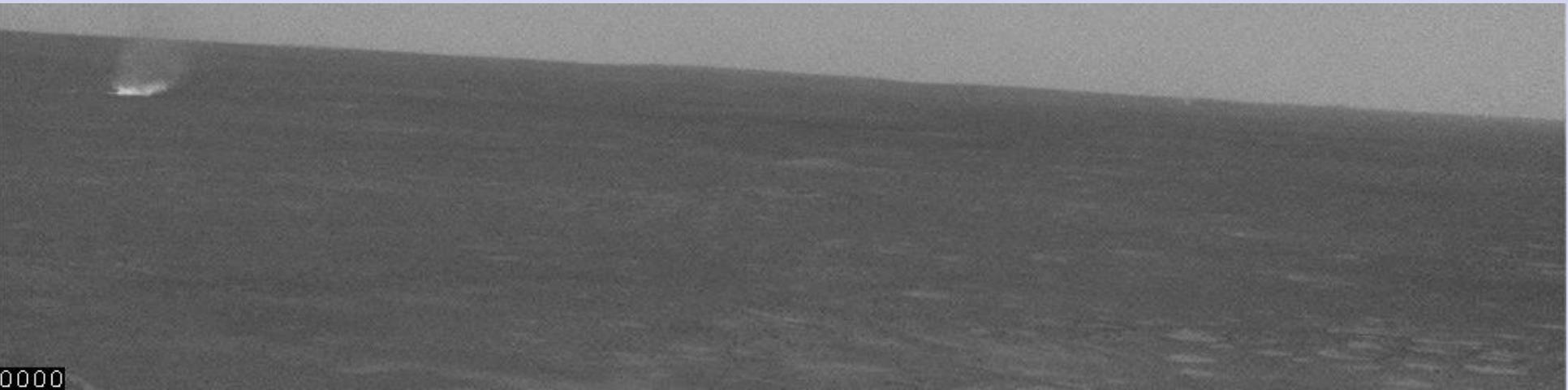
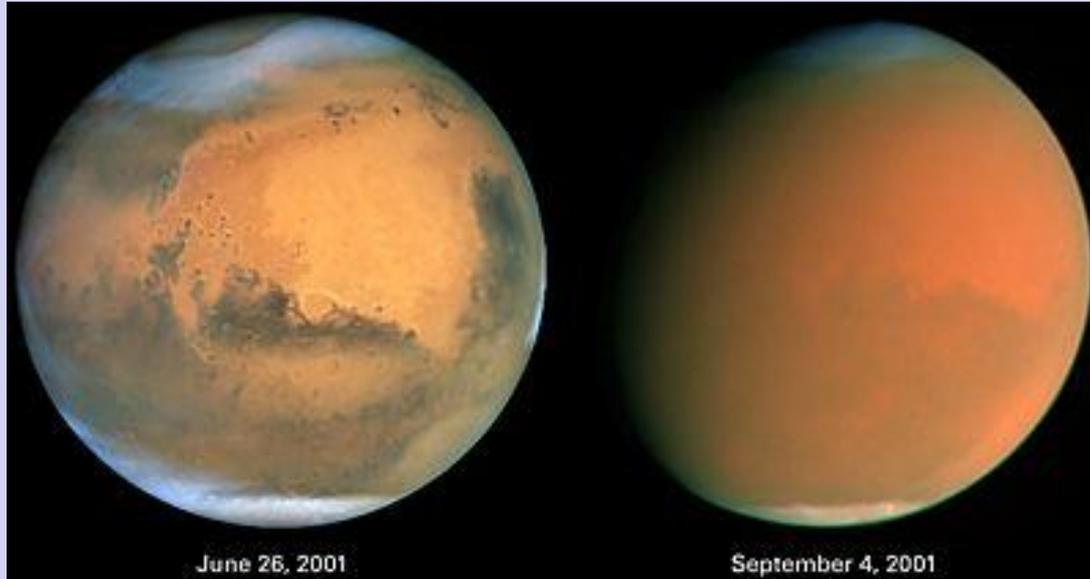


Mars: un monde désertique



La Terre et Mars!

Mars: un désert venteux... avec des tempêtes de poussière globale



Dunes martiennes



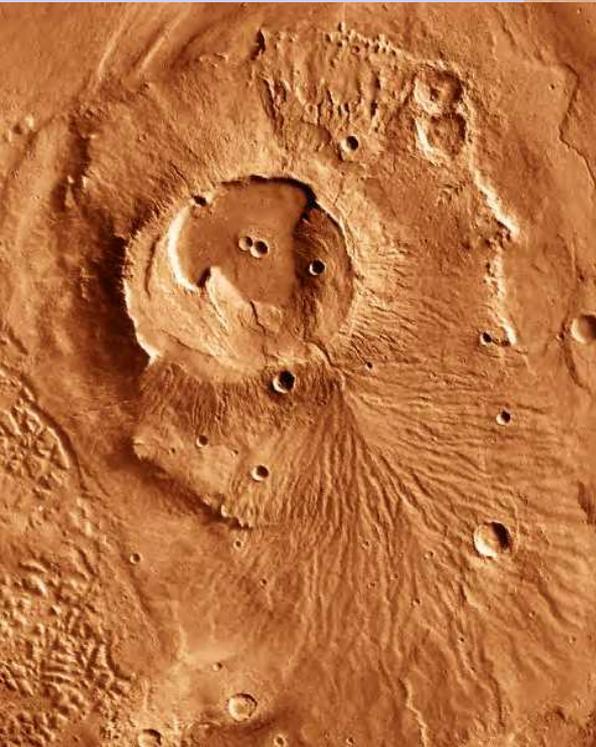
Détail des dunes martiennes



Des volcans gigantesques

Olympus →

Appolinaire



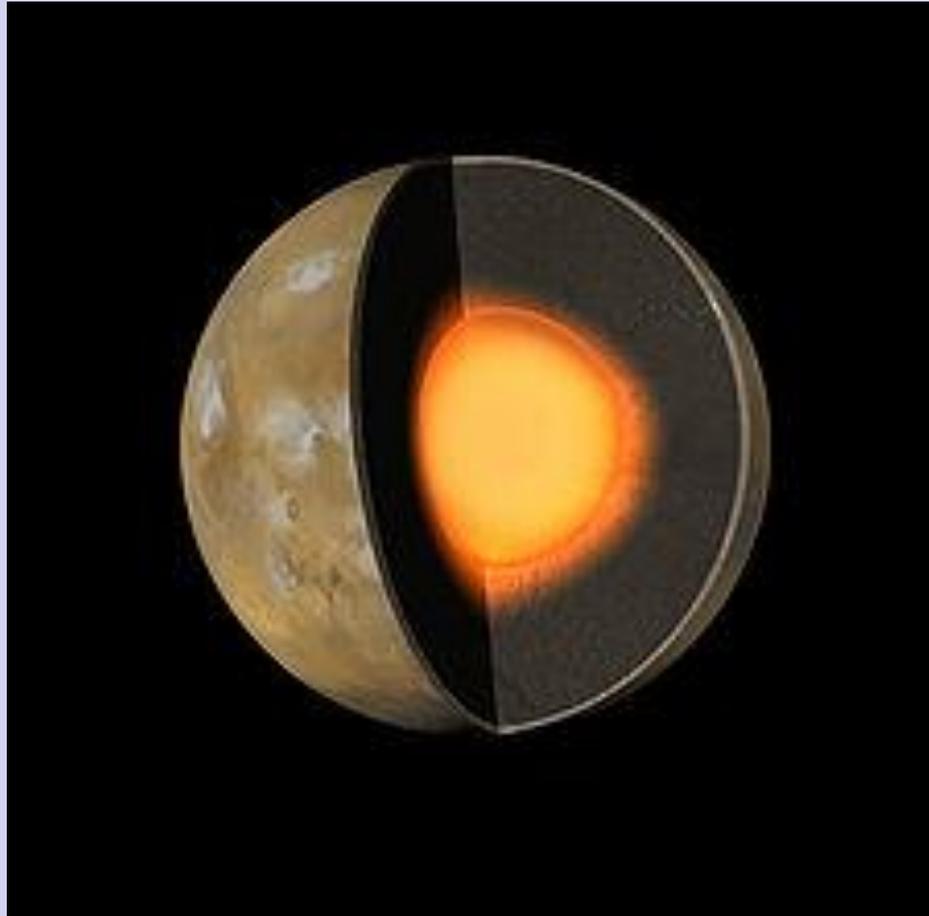
Bord du cratère de Cap Saint-Vincent



Mars: la structure interne



- écorce d'environ 50 km d'épaisseur,
- manteau d'environ 1 860 km d'épaisseur,
- noyau d'environ 1 480 km de rayon, essentiellement, voire entièrement, liquide.



Quel est le flux reçu du Soleil (constante solaire) ?

Vénus: **2620** W/m² Terre: **1382** W/m² Mars: **594** W/m²

C'est directement lié à la *distance* au Soleil

Quel est le flux qui arrive vraiment à la surface?

Vénus: **367** W/m² Terre: **842** W/m² Mars: **499** W/m²

Cela vient des *nuages* qui bloquent le rayonnement

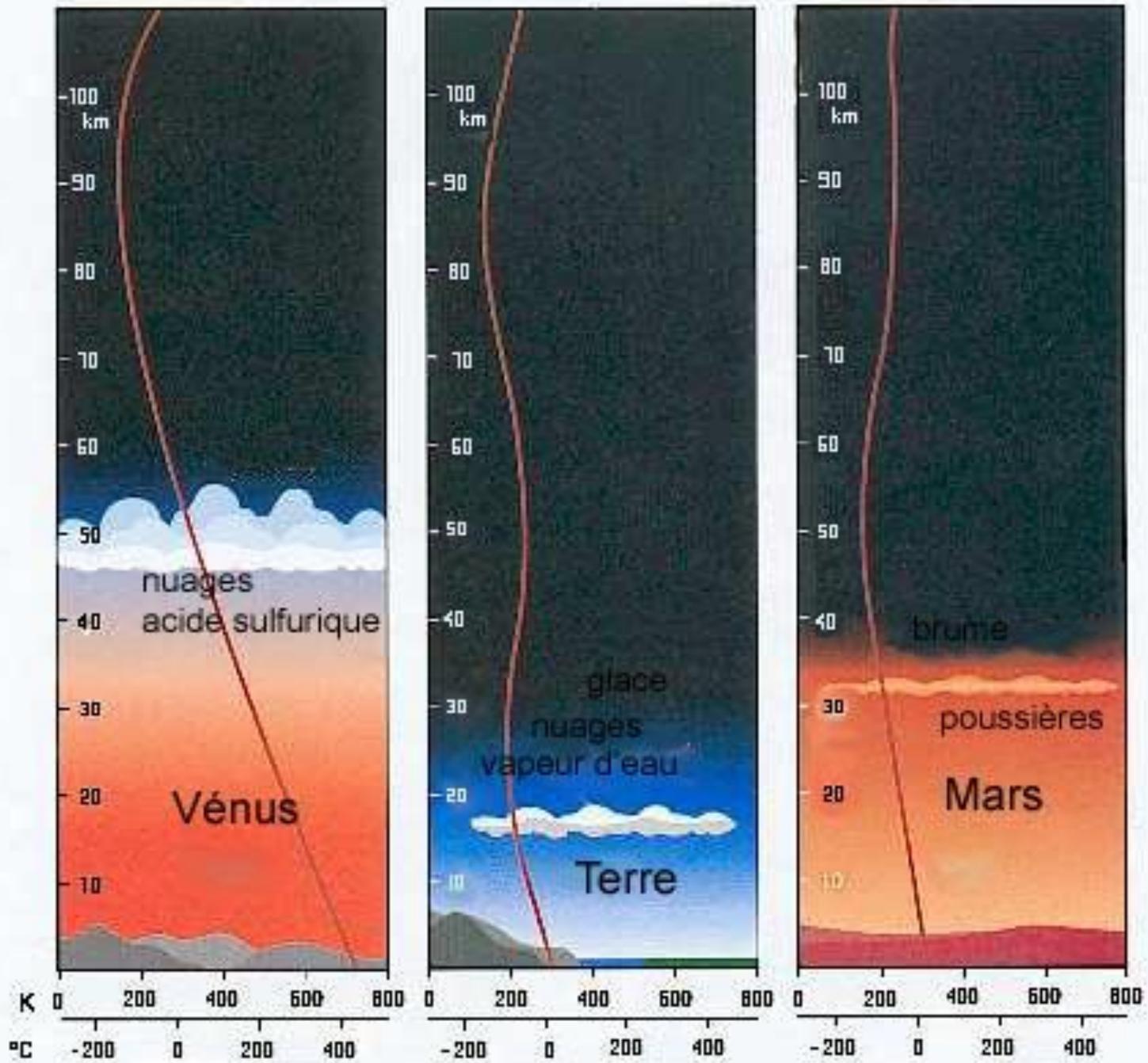
Quelle température (effective) devrait en résulter au sol?

Vénus: **-43°C** Terre: **-20°C** Mars: **-61°C**

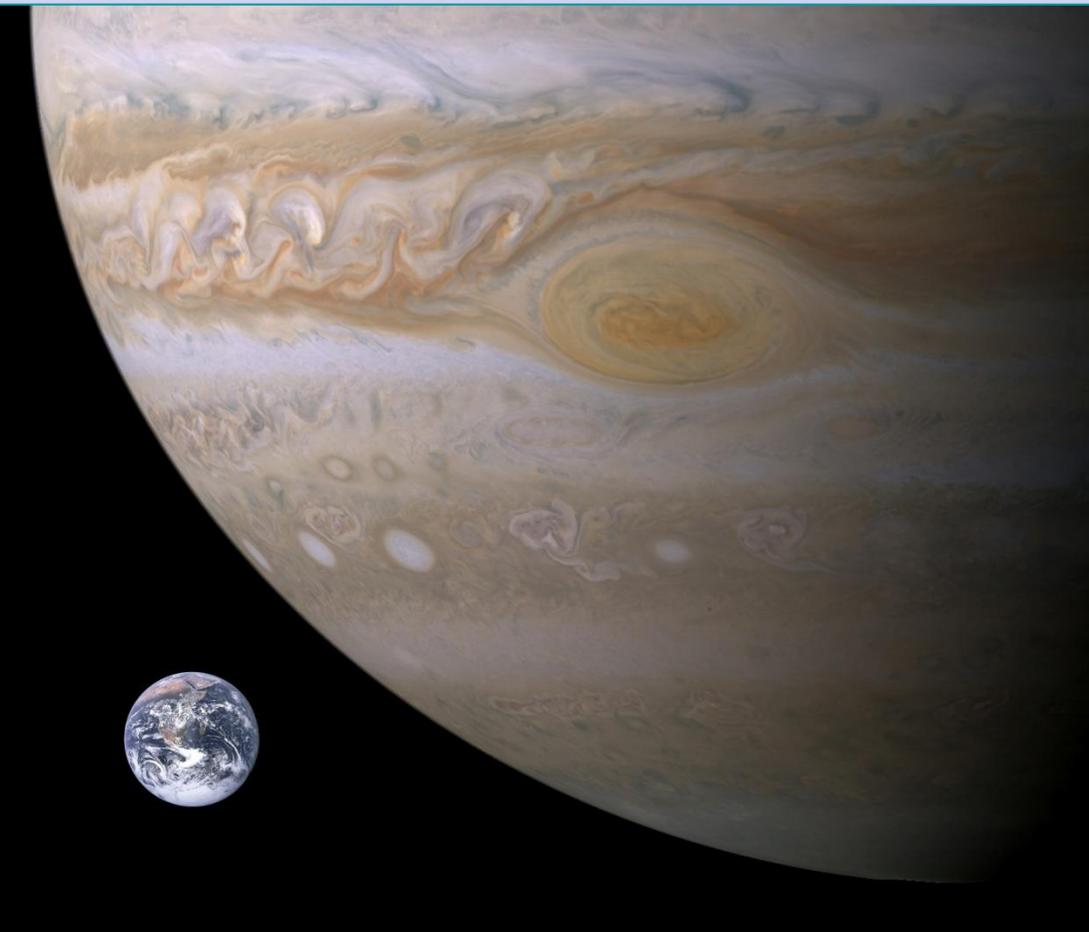
Quelle température (d'équilibre) constate-t-on en réalité?

Vénus: **+462°C** Terre: **+15°C** Mars: **-55°C**

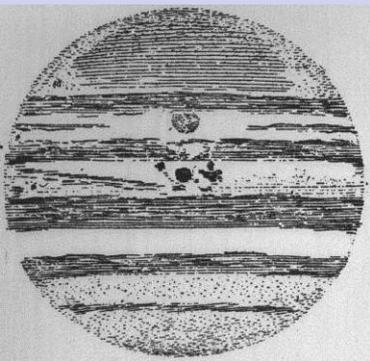
Cette augmentation par rapport à la température effective est due à ***l'effet de serre***



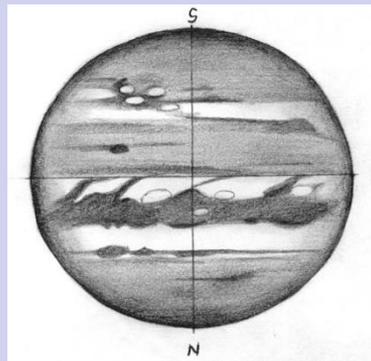
Les planètes géantes, gazeuses de faible densité



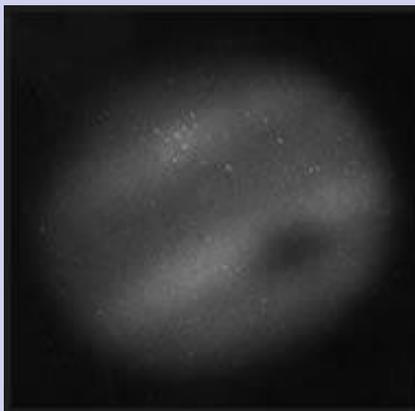
Observer Jupiter



1691



1900



1930



1970



1973

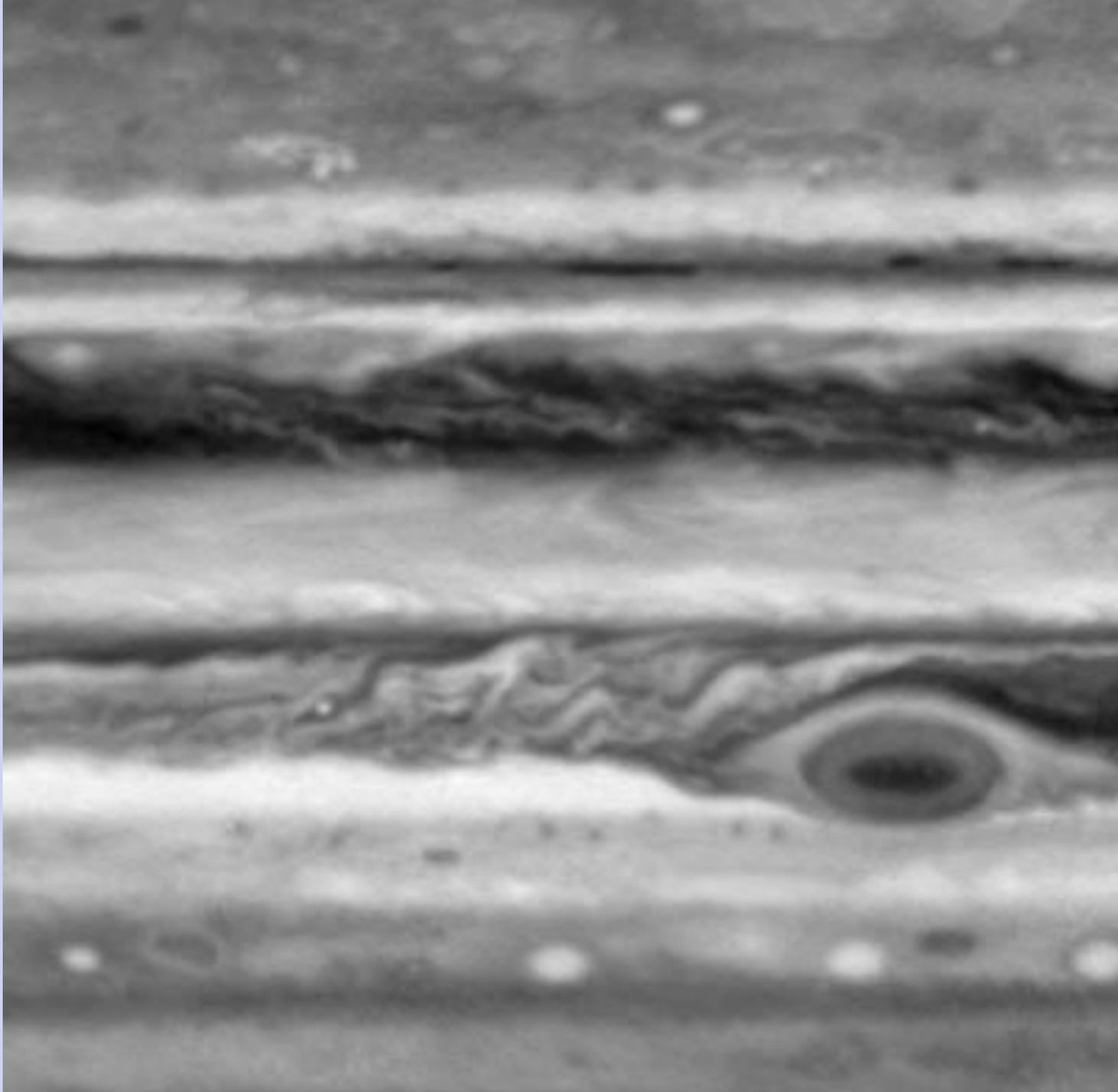


1979

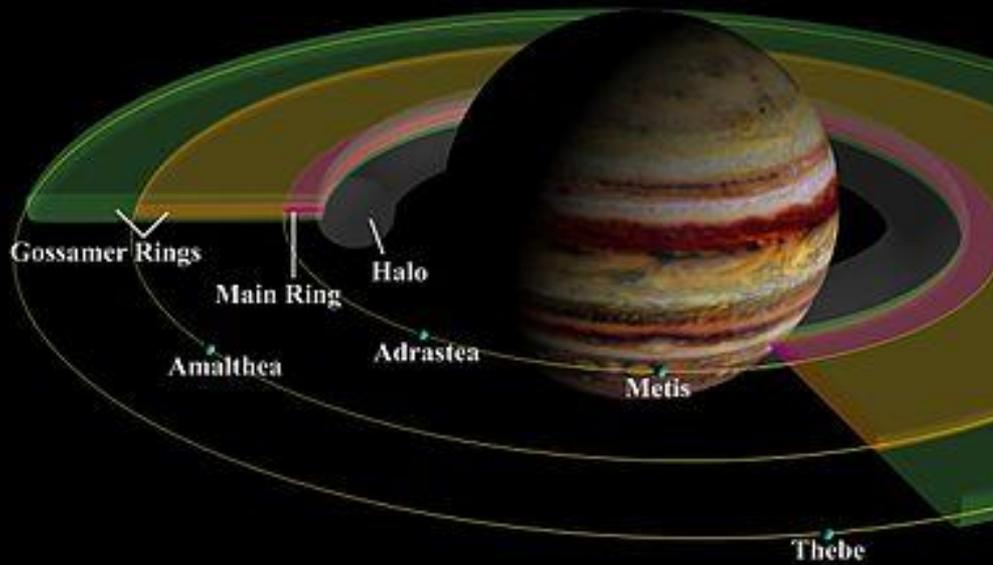
Une planète située à 800 millions de km de la Terre et du Soleil

La grande tache rouge: un ouragan





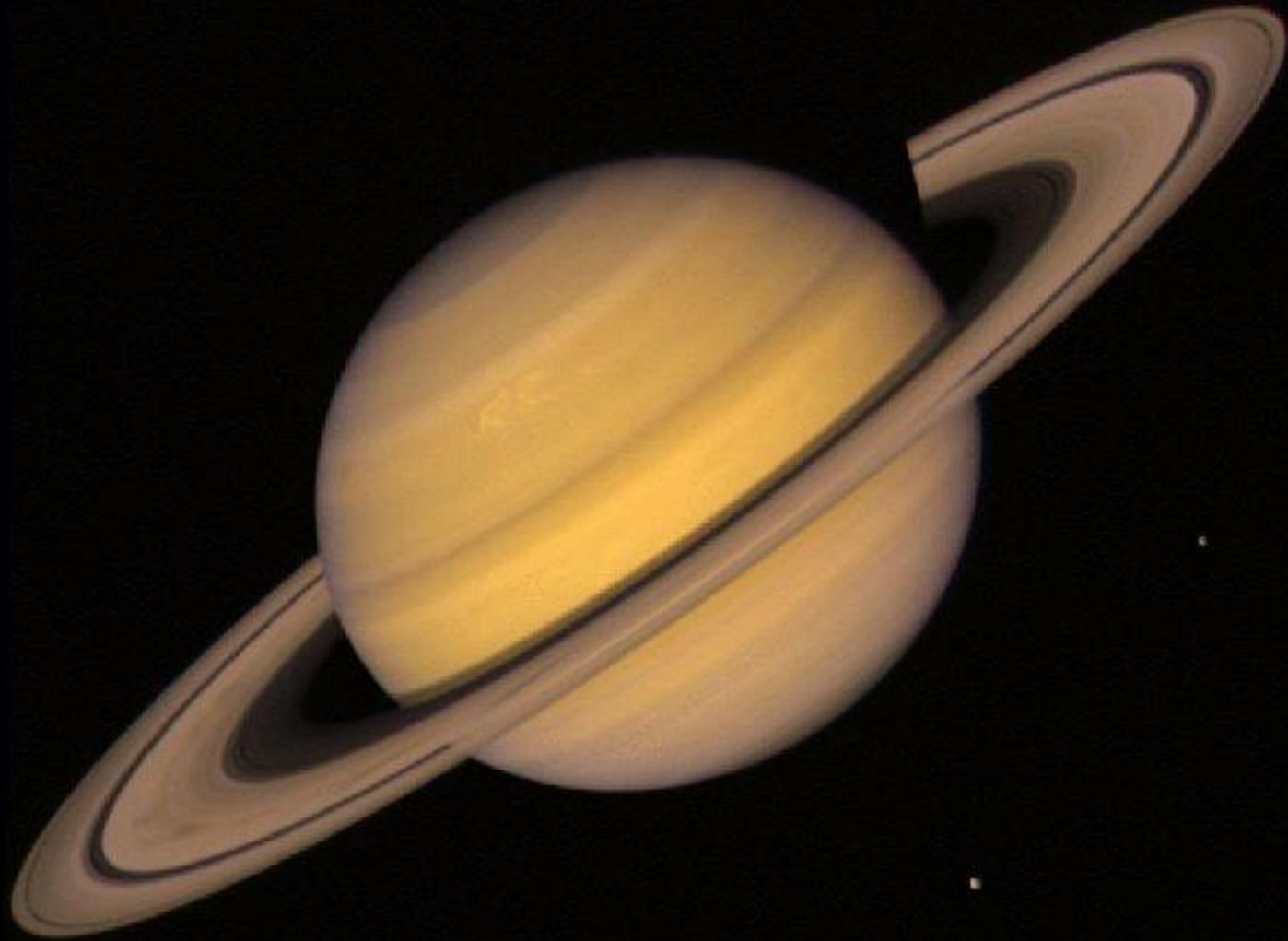
Jupiter: des anneaux très ténus



Jupiter et l'un de ses satellites vus par le télescope spatial



Saturne: la planète aux anneaux

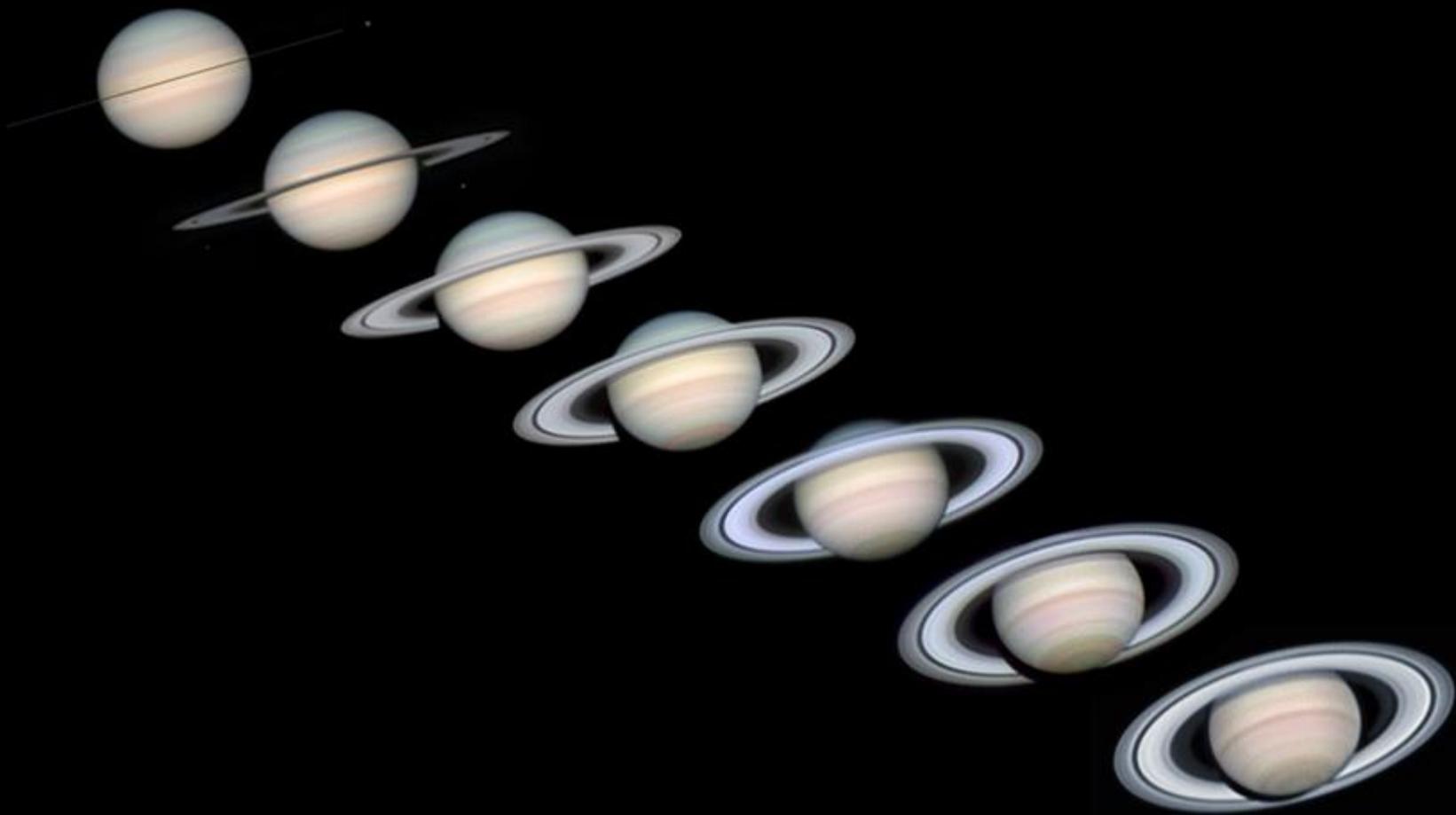


Une planète située à 1 milliard et demi de km de la Terre et du Soleil

L'aspect de Saturne change



2004

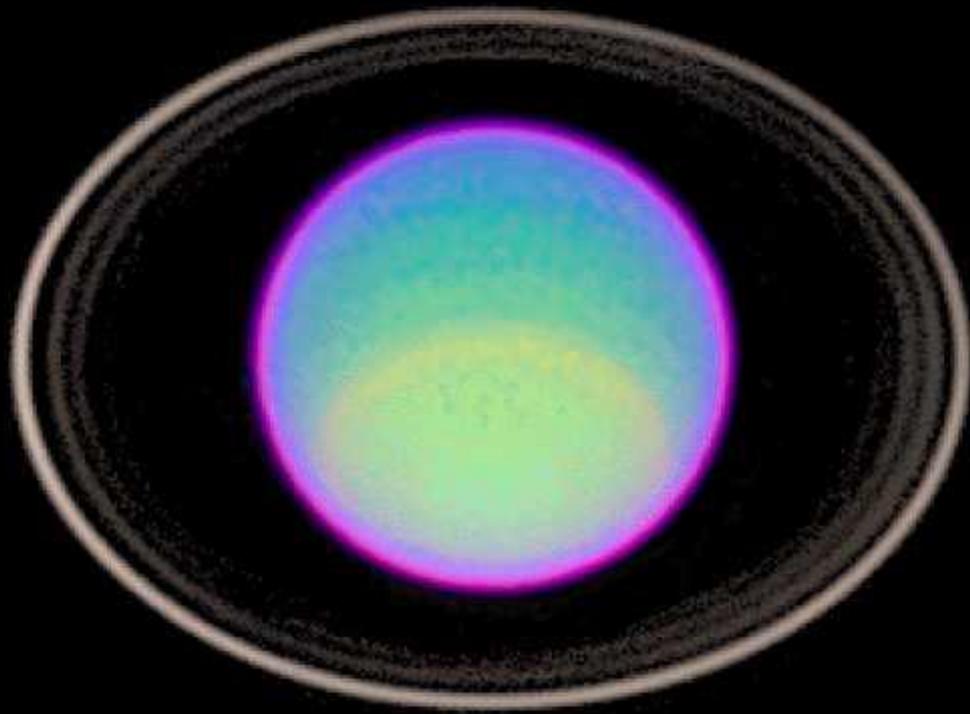


Uranus et ses satellites



Très loin de la Terre (3 milliards de km), ces corps sont difficiles à observer:
À gauche avec un télescope de 2 mètres en lumière visible

À droite avec le VLT de 8 mètres en infra rouge

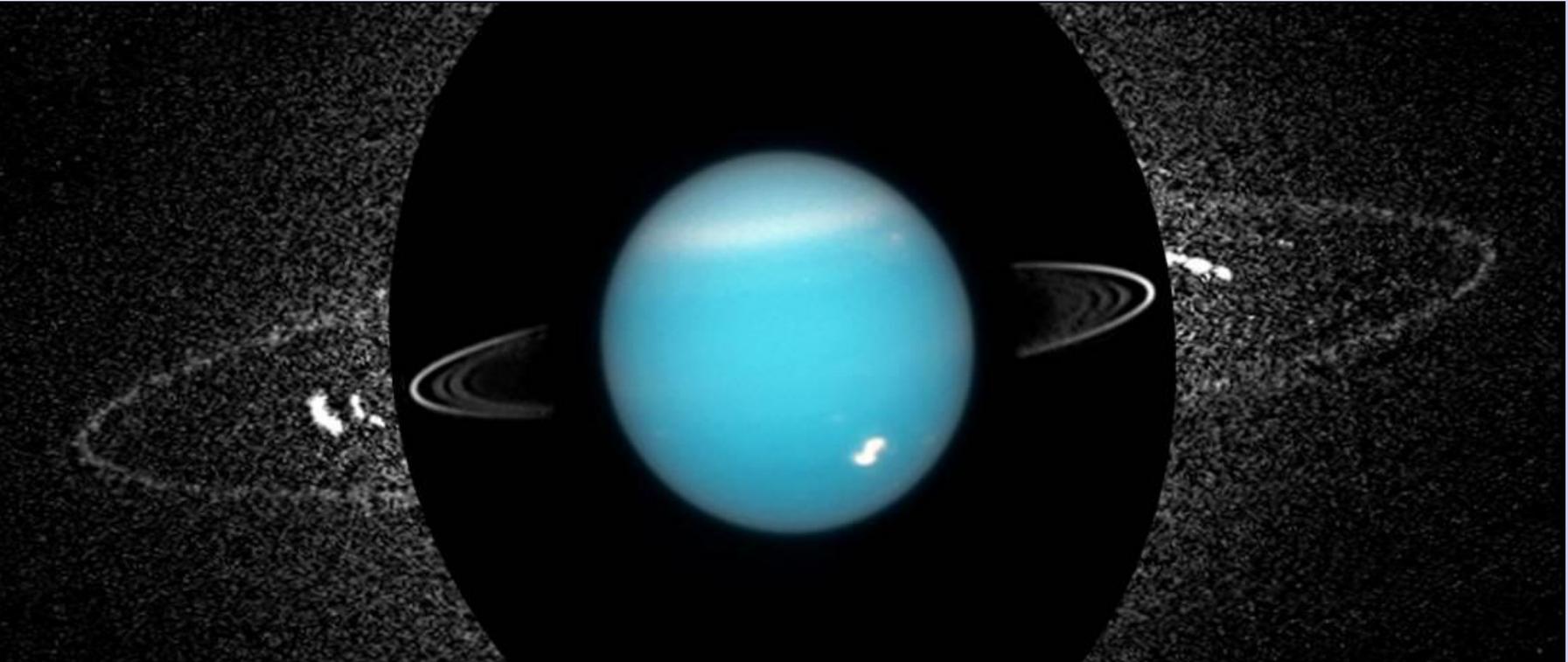


Uranus

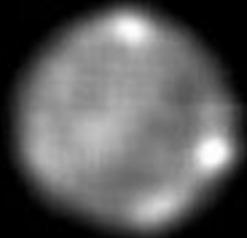
PRC96-15 · ST ScI OPO · April 24, 1996

Erich Karkoschka (University of Arizona Lunar & Planetary Lab) and NASA

HST · WFPC2



La planète Neptune



Closed Loop
Js, 10sec

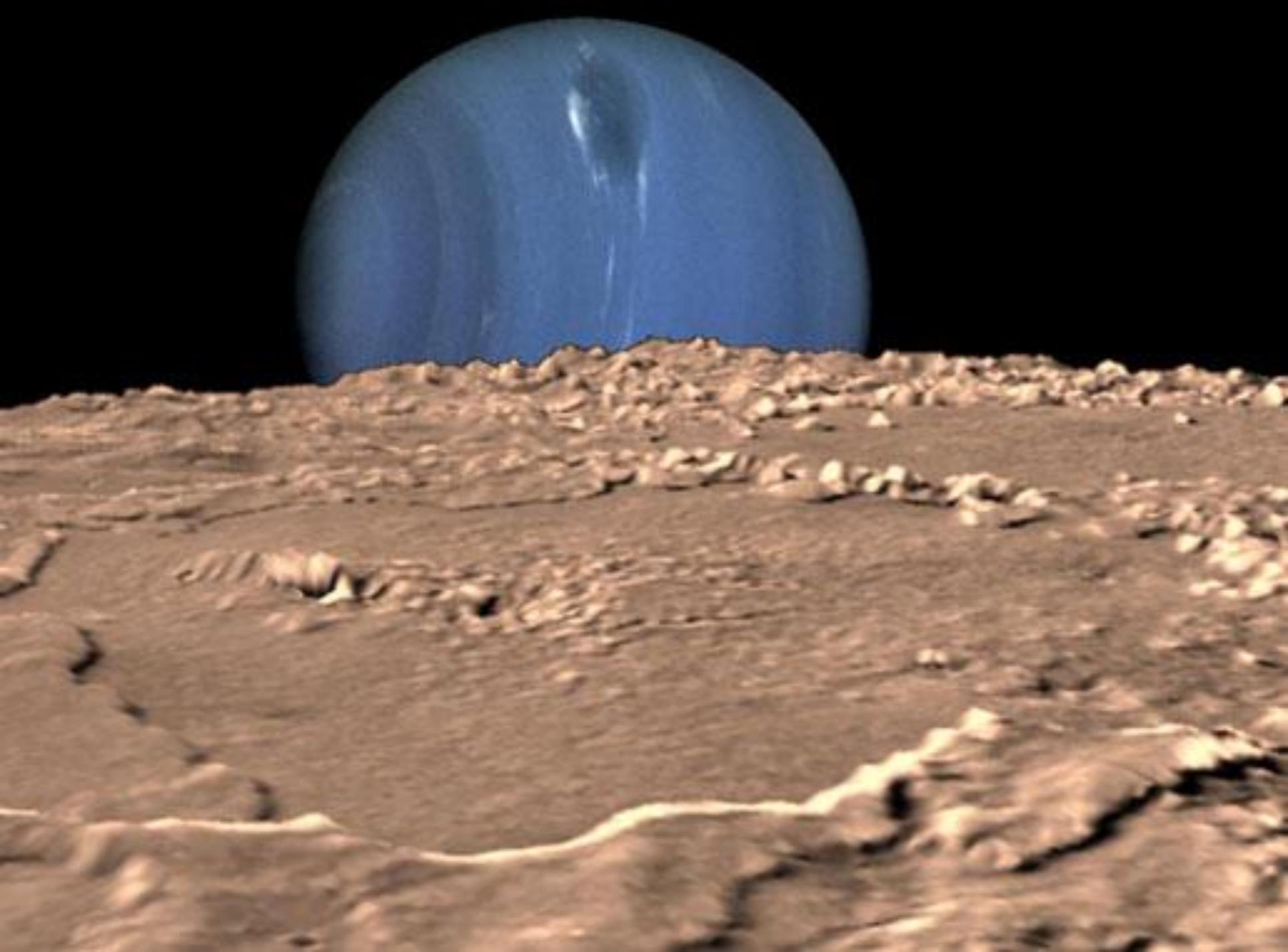
Le satellite Triton

vus dans un grand télescope ↑

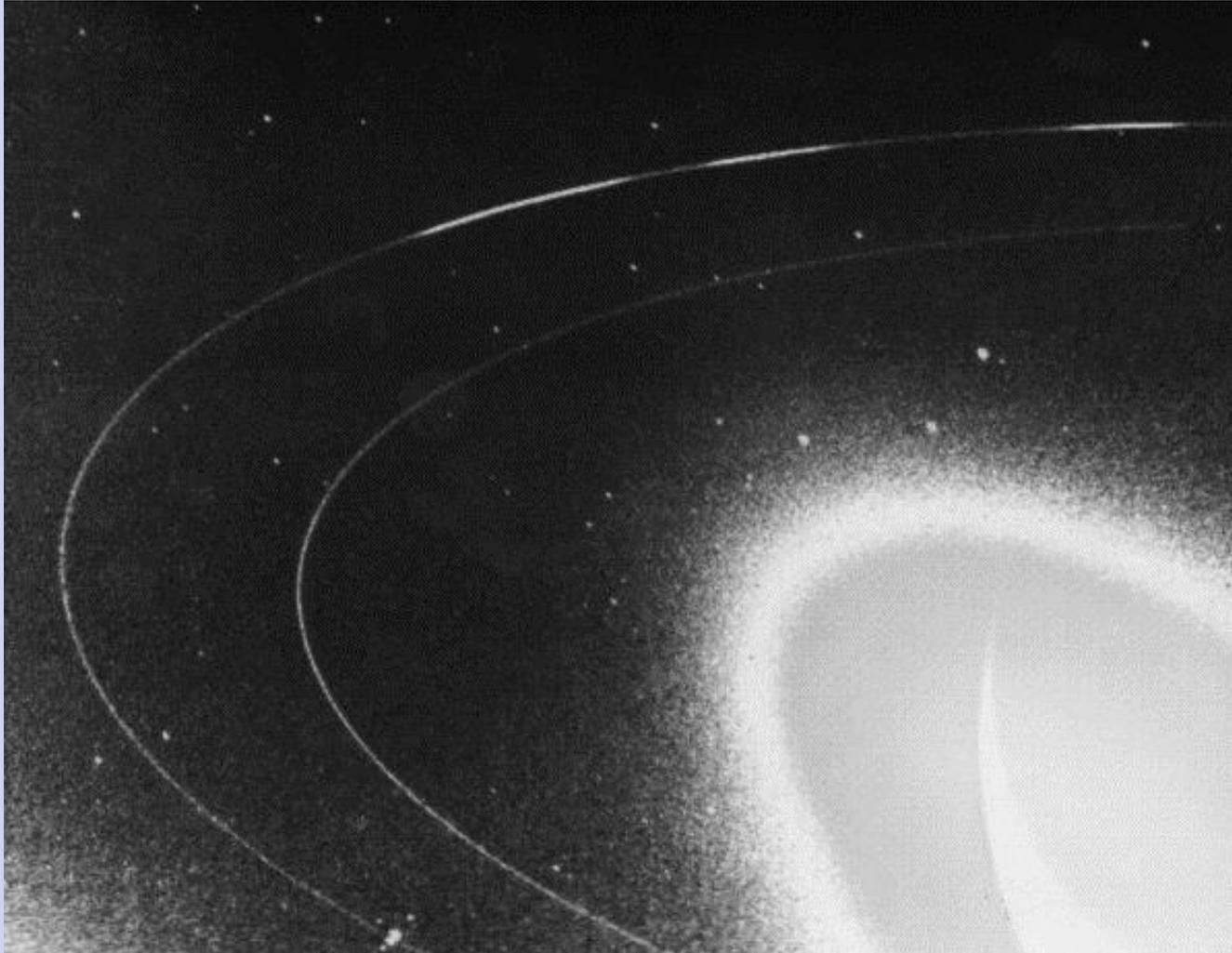
Située à 4,5 milliards de km de la Terre

vus dans un petit télescope →

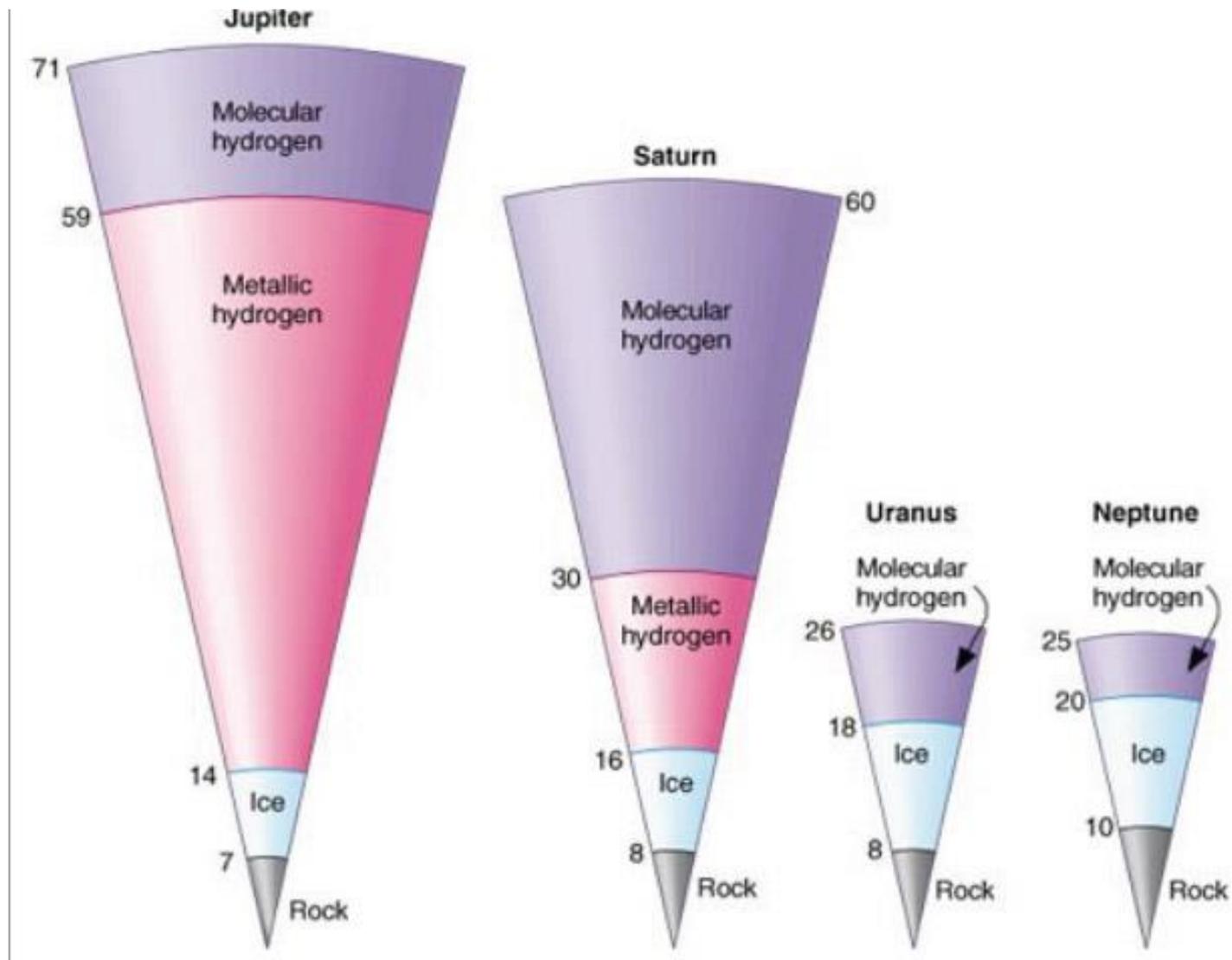




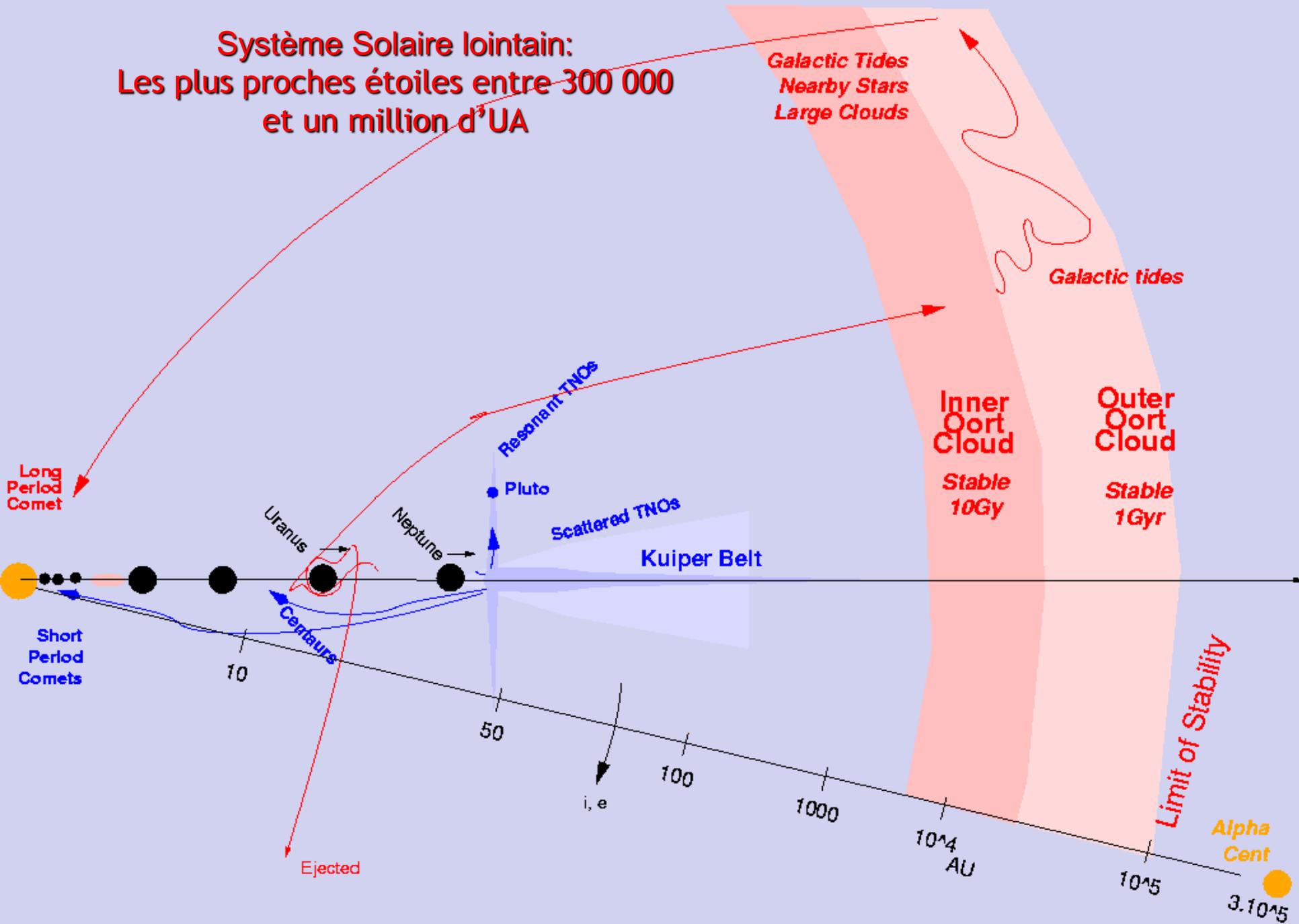
Les anneaux de Neptune



Structure interne des planètes géantes



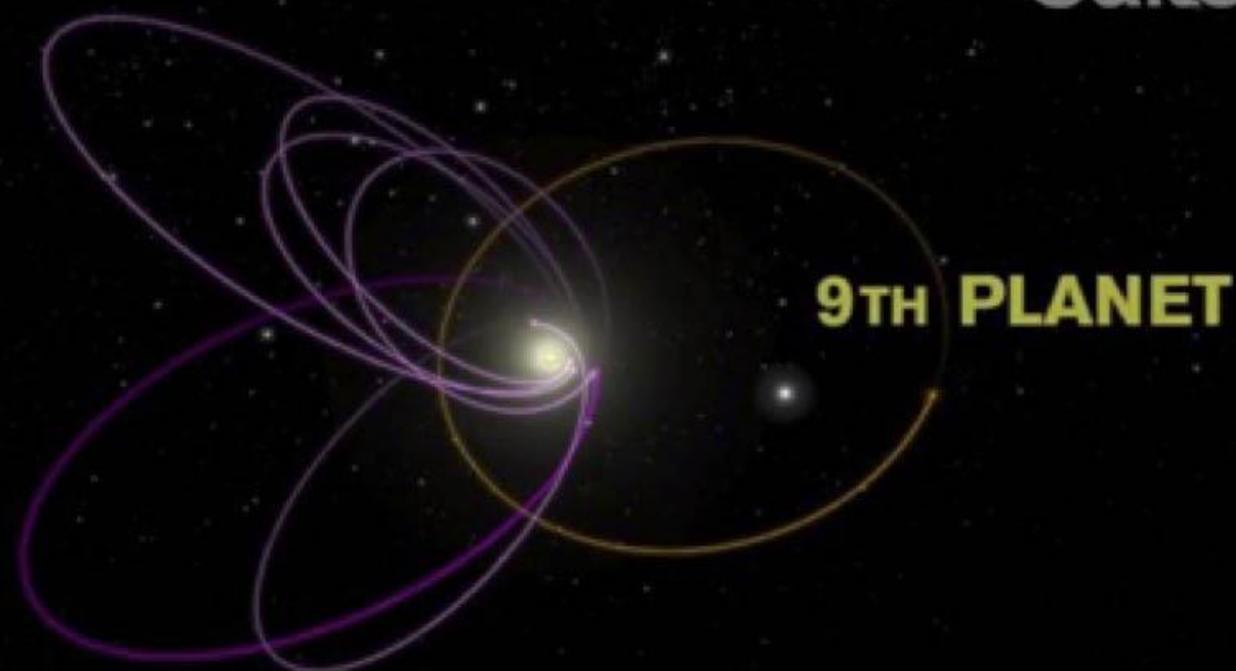
Système Solaire lointain: Les plus proches étoiles entre 300 000 et un million d'UA



L'éternelle quête de la 9^{ème} planète

- Début 2016, paraît un article sur une éventuelle 9^{ème} planète
- Elle est suspectée de par son effet sur les TNO
- Elle est très difficile à observer
- Elle aurait un demi-grand axe de 700 UA et une période de 19000 ans!

Caltech



Conclusion

L'étude des planètes comprend l'observation:

- de leur mouvement
- de leurs surfaces.

L'exploration in situ par les sondes spatiales reste la meilleure source d'information.

