



1

Histoire de la cosmologie

EPFL

Prof. Pascale Jablonka
Laboratoire d'astrophysique
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Site web du laboratoire et du cours :
<http://lastro.epfl.ch>

2



Histoire de la cosmologie

Un cours offert aux étudiants
de la Faculté des Lettres,
de la Faculté de Biologie et de médecine,
de la Faculté des Hautes études commerciales,
de la Faculté de Géosciences et environnement,
de la Faculté des Sciences sociales et politiques et
de la Faculté de Théologie et de sciences des religions
de l'Université de Lausanne

dans le cadre de « Sciences au carré »

3



Histoire de la cosmologie

Discussions
liées aux travaux de séminaire
qui sont des travaux écrits personnels sur un sujet choisi
par l'étudiant, le professeur et l'assistant

délais de remise des choix de sujet : vendredi 20 mars 2020

Jamil Alioui - faculté des lettres – email : jamil.alioui@unil.ch
Pascale Jablonka – EPFL – email : pascale.jablonka@epfl.ch

4




Histoire de la cosmologie

examen écrit portant sur la matière du cours
vendredi 5 juin 2020
de 14h15 à 16h00

dans la salle ANT 2106

Site web du cours : <http://lastro.epfl.ch>

5

Histoire de la cosmologie

02 – Le système solaire - A

- 02.A.1 Les paramètres physiques du Soleil et des planètes
- 02.A.2 Le Soleil
- 02.A.3 Les planètes telluriques : Mercure, Vénus, La Terre, Mars
- 02.A.4 La ceinture des astéroïdes
- 02.A.5 Les planètes joviennes : Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune
- 02.A.6 La structure interne des planètes telluriques et joviennes
- 02.A.7 Pluton, les autres planètes naines et les TNOs

Voir le fichier **02-Systèmesolaire-A.pdf** sur le site web du laboratoire et du cours:
<https://www.epfl.ch/labs/lastro/teaching/histoire-cosmologie/>

6

Histoire de la cosmologie

02 – Le système solaire – A

Bibliographie succincte

- BENSON, Donald. *The Ballet of the Planets*. Oxford : OUP, 2012.
- BRAHIC, André. *Systèmes solaires et planètes*. Paris : Ellipses, 2008.
- MAYOR, Michel et FREI, Pierre-Yves. *New Worlds in the Cosmos : The Discovery of Exoplanets*. Cambridge : CUP, 2003.
- LEQUEUX, James. *François Arago, un savant généreux*. Paris : EDP 2008.
- LEQUEUX, James. *Le Verrier, savant magnifique et détesté*. Paris : EDP 2009.
- MINNAERT, Marcel. *Light and Color in the Outdoors*. New York, Berlin, London : Springer-Verlag, 1993 [trad. Len Seymour].
- ROTHERY, David A. *Planets : A Very Short Introduction*. Oxford : OUP, 2010.
- WEGENER, Alfred. *The Origin of Continents and Oceans*. New York : Dover Publications, 1966 [trad. Biram, John].

7

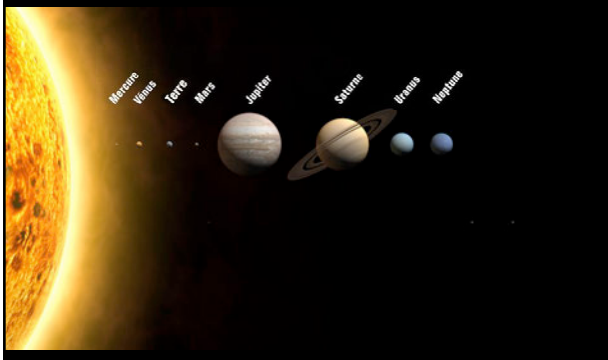
02.A.1

Les paramètres physiques

du Soleil et des planètes

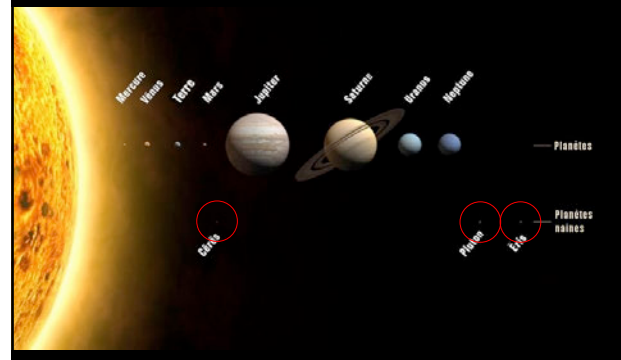
8

Le système solaire



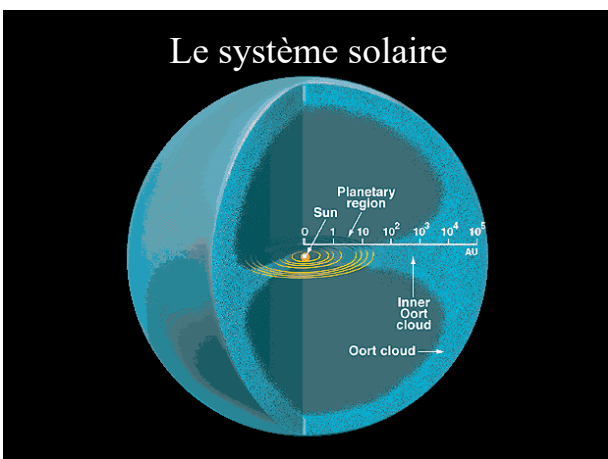
11

Le système solaire



12

Le système solaire



13

Paramètres physiques du Soleil et des planètes (valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	80
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

14

Paramètres physiques des planètes

	Orbital Eccentricity	Orbital Inclination (degrees)	Axial Tilt (degrees)	Mean Surface Temperature (° Celsius)	Mean Cloud Temperature (° Celsius)	Atmospheric Pressure (bars)
Mercury	0.206	7.0	0.0	167	...	...
Venus	0.007	3.4	177.4	464	...	92
Earth	0.017	0.0	23.4	15	...	1.01
Mars	0.093	1.8	25.2	-63	...	0.01
(Ceres)	0.079	10.6	?	-34	...	...
Jupiter	0.004	1.3	3.1	-108	-121	0.7
Saturn	0.056	2.5	25.3	-139	-125	1.4
Uranus	0.047	0.8	97.9	-215	-193	1.2
Neptune	0.009	1.8	28.3	-201	-193 to -253	1.3
(Pluto)	0.248	17.1	122.5	-223	...	...
(Eris)	0.442	44.2	?	-243	...	...

15

02.A.2

Le Soleil

16

Paramètres physiques du Soleil et des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

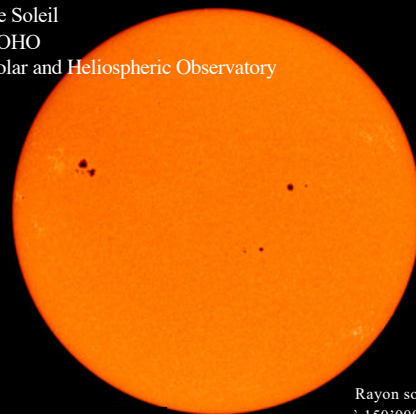
	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	80
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

17

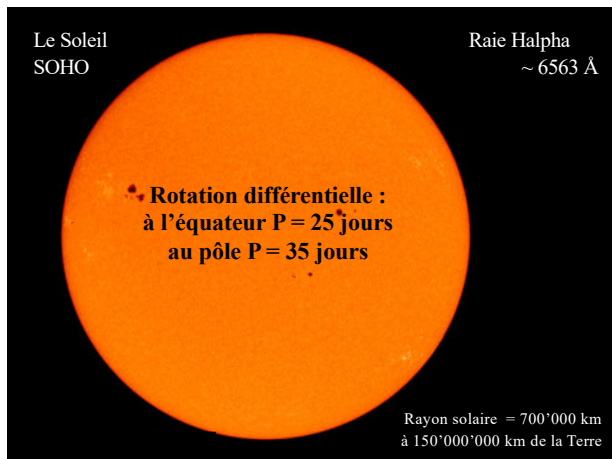
Le Soleil
SOHO
Solar and Heliospheric Observatory

Raie Halpha
~ 6563 Å

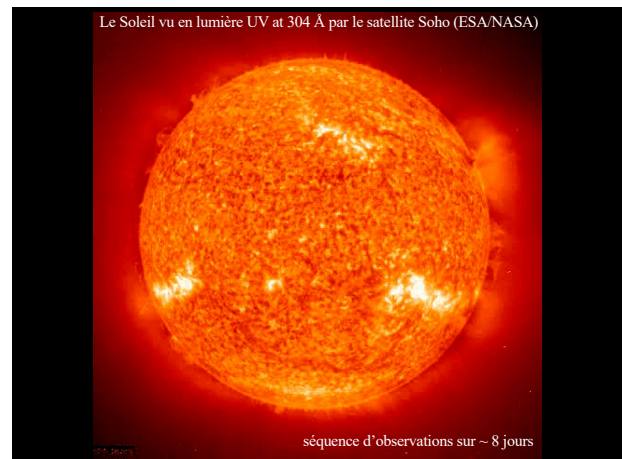


Rayon solaire = 700'000 km
à 150'000'000 km de la Terre

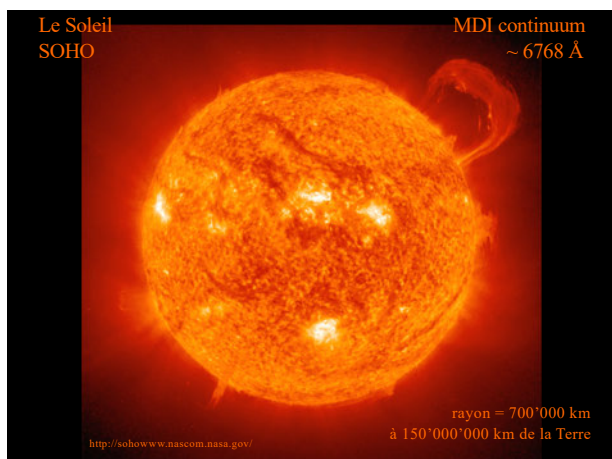
18



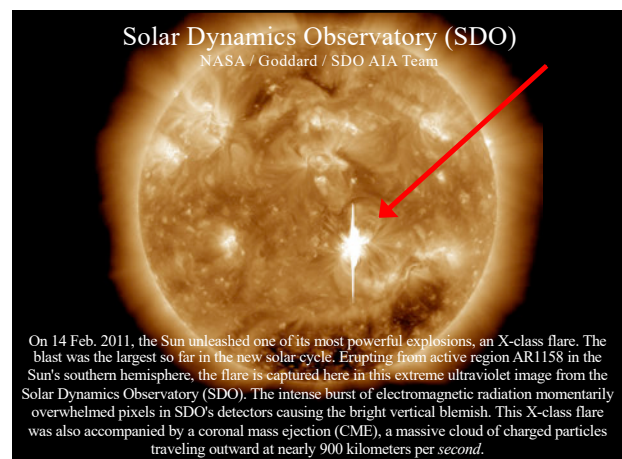
19



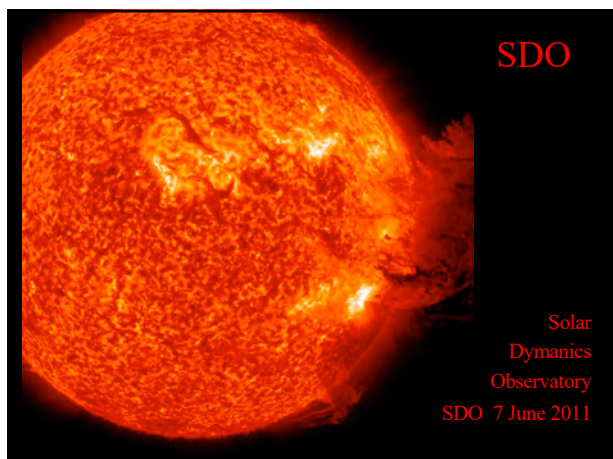
20



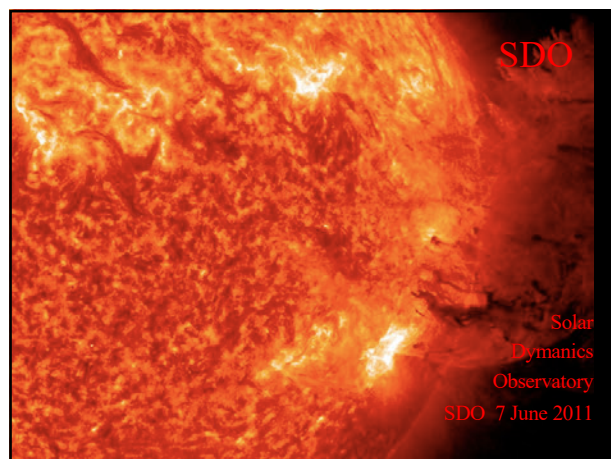
21



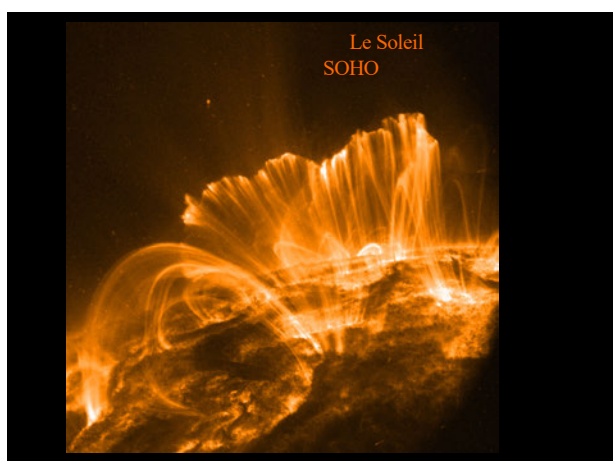
22



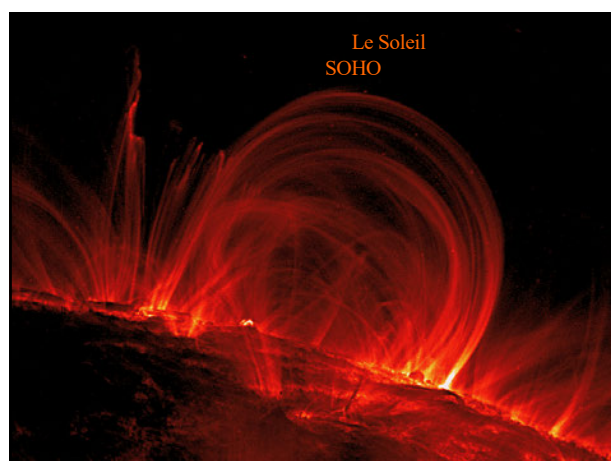
23



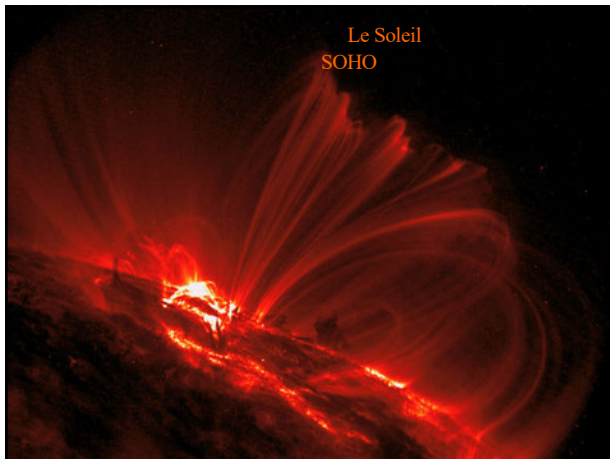
24



27



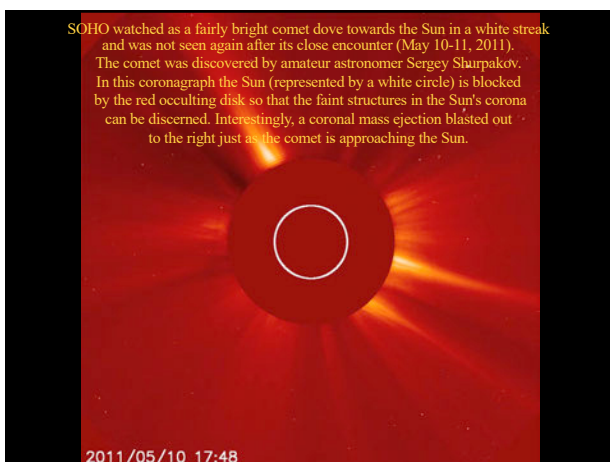
28



29



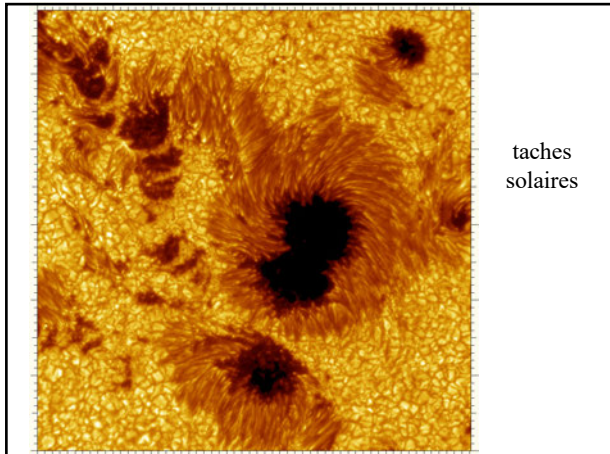
30



31

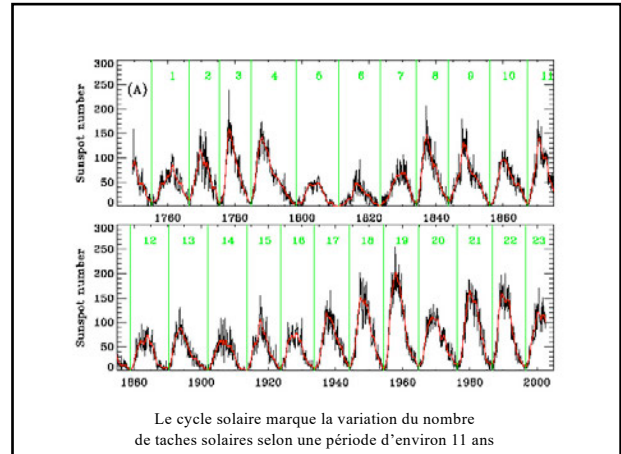


32

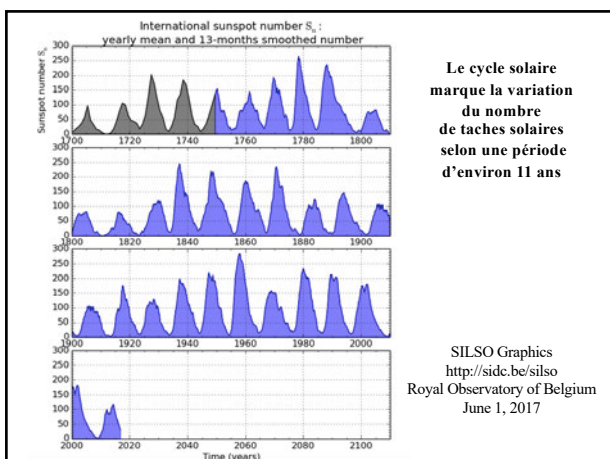


taches
solaires

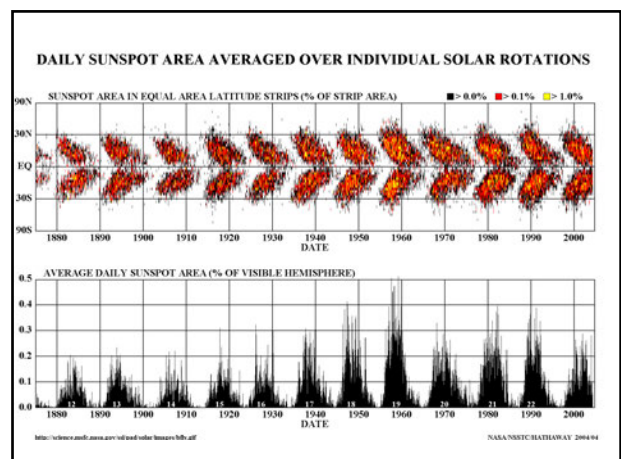
33



34



35



36

Le nombre de Wolf ou Sunspot Number

L'existence des taches solaires est connue depuis le temps des observations de Galilée, en 1609-1610. En 1848, **Johann Rudolph Wolf** établit une méthode d'estimation quotidienne de l'activité solaire en comptant le nombre de taches solaires. La formule suivante permet d'estimer l'activité solaire notée R en fonction du nombre t de taches, du nombre g de groupes de taches et d'un coefficient k corrigeant le résultat en fonction des moyens d'observation (observateur, instrument...) :

$$R = k(t + 10g)$$



Johann R. Wolf
(1816 - 1893)
astronome suisse,
Zürich

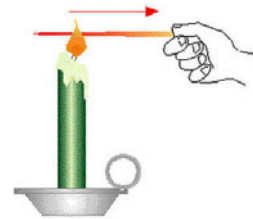
Wolf confirma, en utilisant d'anciennes données archivées, l'existence d'un cycle d'activité solaire, d'une durée d'en moyenne de **11.2 années**. Le nombre de Wolf maximum du cycle #19 a atteint 190 tandis que le cycle #14 n'a pas dépassé 70.

Malgré son imprécision le nombre de Wolf a l'intérêt d'exister depuis 250 ans tandis que l'observation scientifique avec des moyens modernes ne couvre que quelques cycles. De nos jours, le calcul de ce nombre solaire continue, car aucune autre indication n'existe depuis cette période de façon aussi fiable. Wolf, qui devint directeur de l'observatoire de Zurich, découvrit également la corrélation entre le cycle solaire et les perturbations du champ magnétique terrestre.

37

Conduction, convection, radiation

transfert de chaleur via le mvmt des particules constituant la matière



40

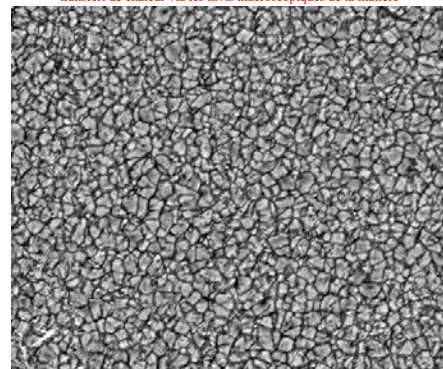
Conduction, convection, radiation

- **Conduction** is the transfer of energy through matter from particle to particle. It is the transfer and distribution of heat energy from atom to atom within a substance. For example, a spoon in a cup of hot soup becomes warmer because the heat from the soup is conducted along the spoon. Conduction is most effective in solids, but it can happen in fluids. Fun fact: Have you ever noticed that metals tend to feel cold? Believe it or not, they are not colder! They only feel colder because they conduct heat away from your hand. You perceive the heat that is leaving your hand as cold.
- **Convection** is the transfer of heat by the actual movement of the warmed matter. Heat leaves the coffee cup as the currents of steam and air rise. Convection is the transfer of heat energy in a gas or liquid by movement of currents. (It can also happen in some solids, like sand.) The heat moves with the fluid. Consider this: convection is responsible for making macaroni rise and fall in a pot of heated water. The warmer portions of the water are less dense and therefore, they rise. Meanwhile, the cooler portions of the water fall because they are denser.
- **Radiation** is the transfer of energy via electromagnetic waves through space. Sunlight is a form of radiation that is radiated through space to our planet without the aid of fluids or solids. The sun transfers heat through 150 million kilometers of space.

41

Conduction, convection, radiation

transfert de chaleur via les mvmts macroscopiques de la matière

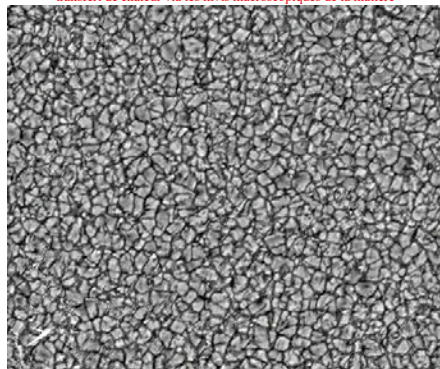


?

42

Conduction, **convection**, radiation

transfert de chaleur via les mvts macroscopiques de la matière



Granulation
à la surface
du soleil
induite par
la convection

43

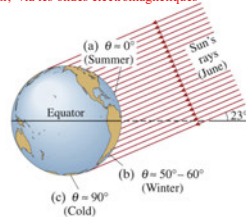
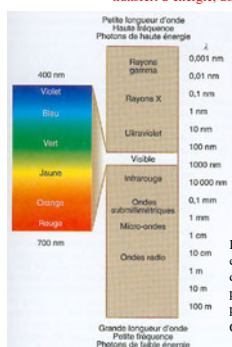
Conduction, **convection**, radiation

- **Conduction** is the transfer of energy through matter from particle to particle. It is the transfer and distribution of heat energy from atom to atom within a substance. For example, a spoon in a cup of hot soup becomes warmer because the heat from the soup is conducted along the spoon. Conduction is most effective in solids, but it can happen in fluids. **Fun fact:** Have you ever noticed that metals tend to feel cold? Believe it or not, they are not colder! They only feel colder because they conduct heat away from your hand. You perceive the heat that is leaving your hand as cold.
- **Convection** is the transfer of heat by the actual movement of the warmed matter. Heat leaves the coffee cup as the currents of steam and air rise. Convection is **the transfer of heat energy in a gas or liquid by movement of currents.** (It can also happen in some solids, like sand.) The heat moves with the fluid. Consider this: convection is responsible for making macaroni rise and fall in a pot of heated water. The warmer portions of the water are less dense and therefore, they rise. Meanwhile, the cooler portions of the water fall because they are denser.
- **Radiation** is the transfer of energy via electromagnetic waves through space. Sunlight is a form of radiation that is radiated through space to our planet without the aid of fluids or solids. The sun transfers heat through 150 million kilometers of space.

44

Conduction, convection, **radiation**

transfert d'énergie, donc de chaleur, via les ondes électromagnétiques



L'échauffement de la Terre par le Soleil est calculé en sachant qu'une énergie d'environ **1350 J** atteint l'atmosphère de la Terre par seconde et par mètre carré perpendiculairement à la direction Soleil-Terre : Ce nombre égal à **1350 W/m²** est appelé **constante solaire**.

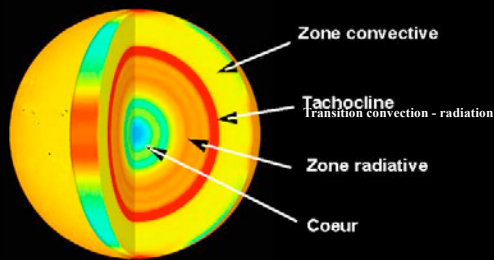
46

Conduction, convection, **radiation**

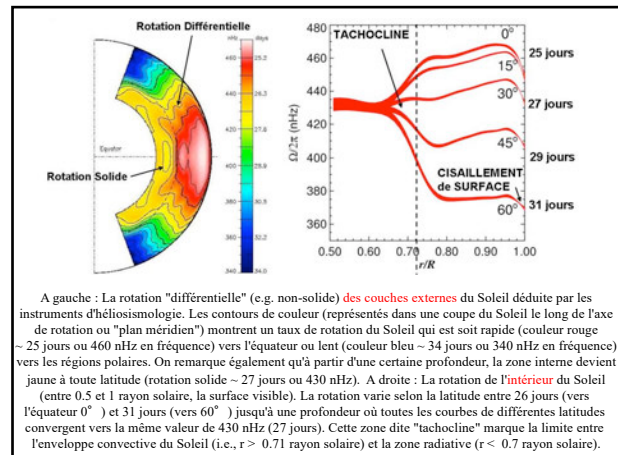
- **Conduction** is the transfer of energy through matter from particle to particle. It is the transfer and distribution of heat energy from atom to atom within a substance. For example, a spoon in a cup of hot soup becomes warmer because the heat from the soup is conducted along the spoon. Conduction is most effective in solids, but it can happen in fluids. **Fun fact:** Have you ever noticed that metals tend to feel cold? Believe it or not, they are not colder! They only feel colder because they conduct heat away from your hand. You perceive the heat that is leaving your hand as cold.
- **Convection** is the transfer of heat by the actual movement of the warmed matter. Heat leaves the coffee cup as the currents of steam and air rise. Convection is the transfer of heat energy in a gas or liquid by movement of currents. (It can also happen in some solids, like sand.) The heat moves with the fluid. Consider this: convection is responsible for making macaroni rise and fall in a pot of heated water. The warmer portions of the water are less dense and therefore, they rise. Meanwhile, the cooler portions of the water fall because they are denser.
- **Radiation** is the transfer of energy via electromagnetic waves through space. Sunlight is a form of radiation that is radiated through space to our planet without the aid of fluids or solids. The sun transfers heat through 150 million kilometers of space.

47

Rotation différentielle du Soleil

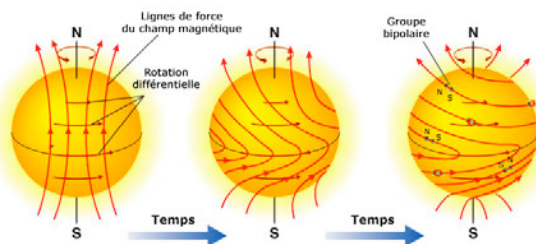


48



49

Effet de la rotation différentielle sur le champ magnétique solaire



50

21 SEPTEMBER 2018 • VOL 361 ISSUE 6408 1231

ASTEROSEISMOLOGY

Asteroseismic detection of latitudinal differential rotation in 13 Sun-like stars

O. Benomar^{1,2}, M. Bazot¹, M. B. Nielsen¹, L. Gizon^{1,2,3}, T. Sekii⁴, M. Takata⁵, H. Hotta⁶, S. Hanasoge^{1,7}, K. R. Sreenivasan^{1,8}, J. Christensen-Dalsgaard⁹

The differentially rotating outer layers of stars are thought to play a role in driving their magnetic activity, but the underlying mechanisms that generate and sustain differential rotation are poorly understood. We report the measurement using asteroseismology of latitudinal differential rotation in the convection zones of 40 Sun-like stars. For the most significant detections, the stars' equators rotate approximately twice as fast as their midlatitudes. The latitudinal shear inferred from asteroseismology is much larger than predictions from numerical simulations.

51

21 SEPTEMBER 2018 • VOL 361 ISSUE 6408 **1231****D'autres étoiles se comportent comme le Soleil !**

ASTEROSEISMOLOGY

Asteroseismic detection of latitudinal differential rotation in 13 Sun-like starsO. Benomar^{1,*}, M. Bazot¹, M. B. Nielsen¹, L. Gizon^{1,2,3}, T. Sekii⁴, M. Takata⁵, H. Hotta⁶, S. Hanasoge^{1,7}, K. R. Sreenivasan^{1,8}, J. Christensen-Dalsgaard⁹

The differentially rotating outer layers of stars are thought to play a role in driving their magnetic activity, but the underlying mechanisms that generate and sustain differential rotation are poorly understood. We report the measurement using asteroseismology of latitudinal differential rotation in the convection zones of 40 Sun-like stars. For the most significant detections, the stars' equators rotate approximately twice as fast as their midlatitudes. The latitudinal shear inferred from asteroseismology is much larger than predictions from numerical simulations.

52

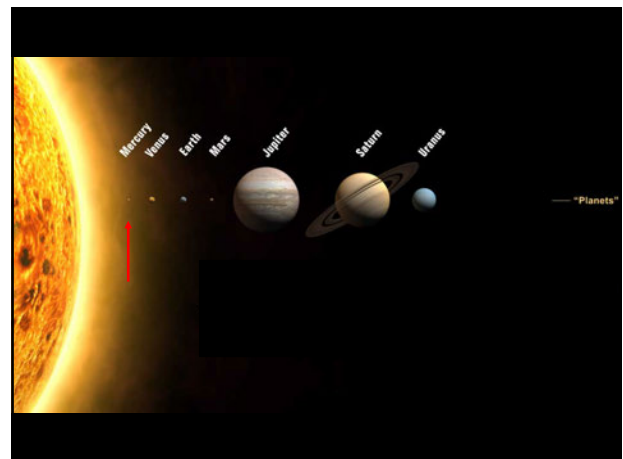
Le Soleil, une étoile, rayonne
la lumière qu'il produit

Les planètes réfléchissent
la lumière qu'elles reçoivent

53

02.A.3**Les planètes telluriques****Mercure, Vénus, la Terre, Mars**

54



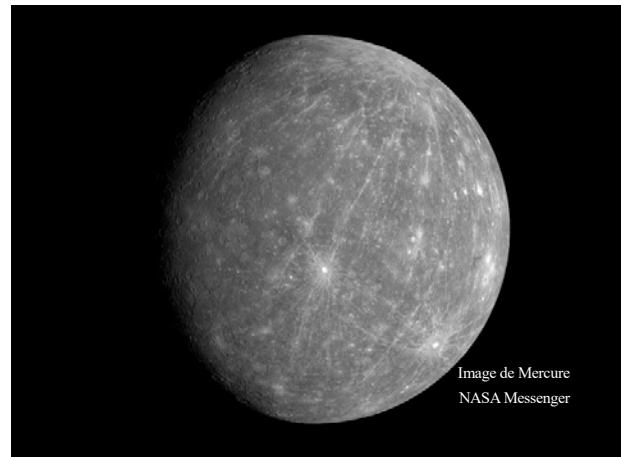
55

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

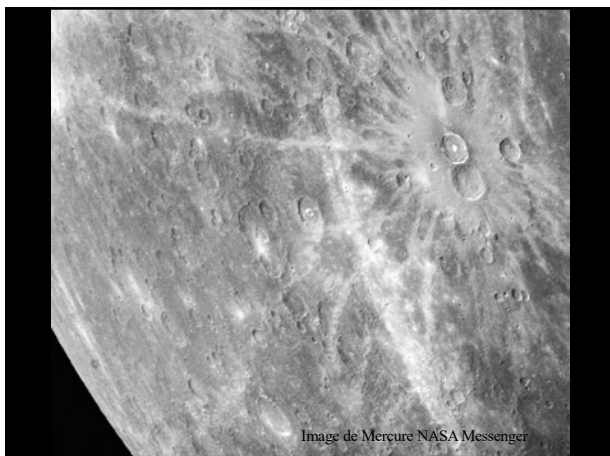
	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Plute*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

56



57



58



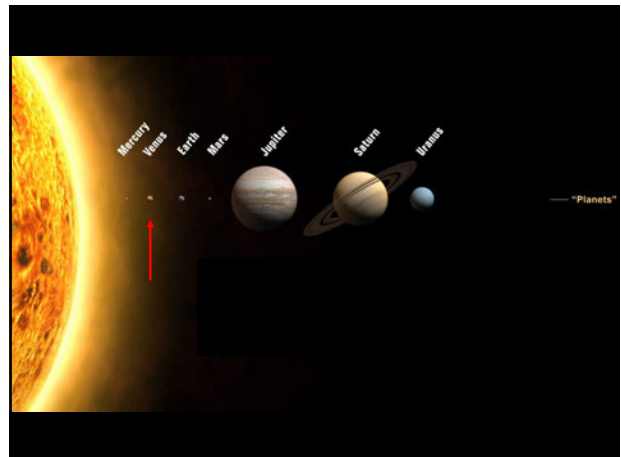
59

02.A.3

Les planètes telluriques

Mercure, **Vénus**, la Terre, Mars

60



61

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	80
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

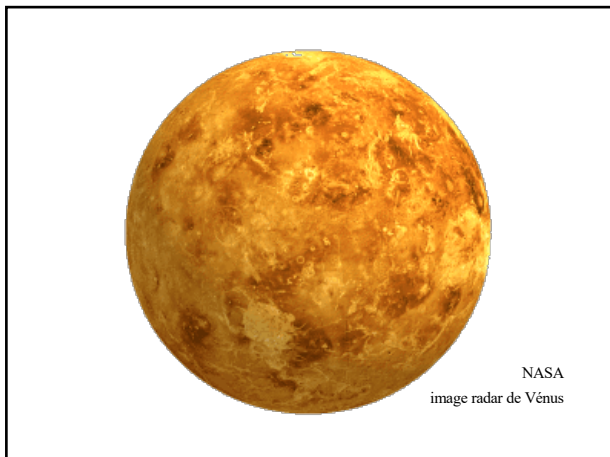
(*Now defined as a "[dwarf planet](#).")

62

la surface de Vénus est cachée par son atmosphère dense



63



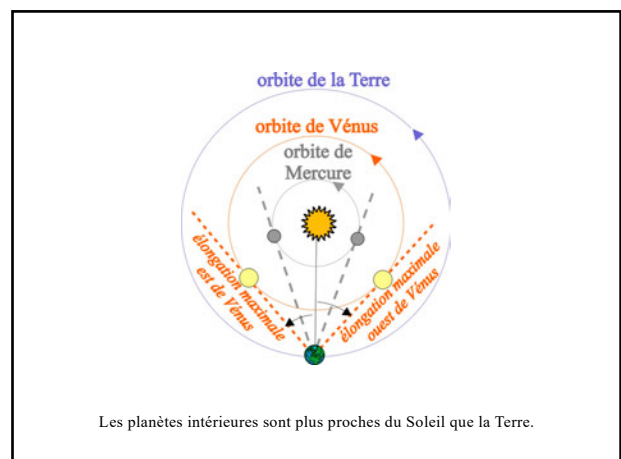
64



65



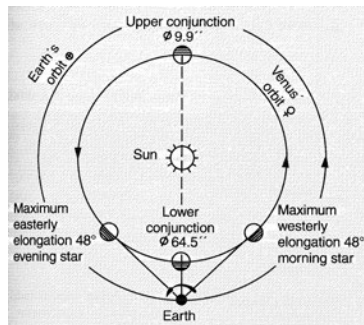
66



67

Les orbites des planètes intérieures : Mercure et Vénus

élongations maximales est-ouest ; conjonctions inférieures et supérieures



Les planètes intérieures sont plus proches du Soleil que la Terre.

68

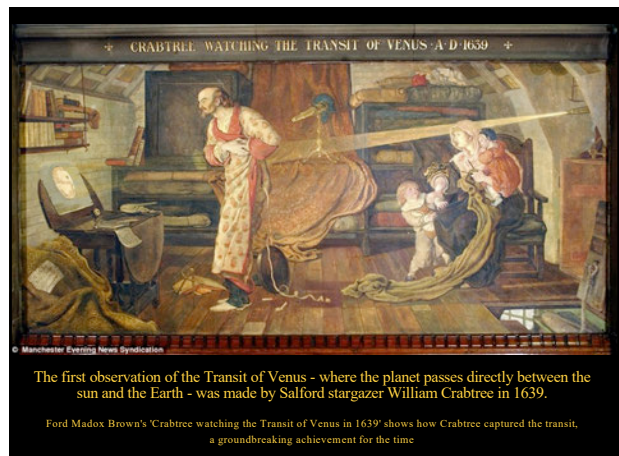
Transit de Vénus devant le Soleil 8 juin 2004 TU 7h49

Prédit par les lois de la mécanique céleste,
les transits se produisent suivant une séquence qui se répète tous les 243 ans,
avec des paires de transits espacés de 8 ans séparées par 121,5 puis 105,5 ans.

69

Transit de Vénus devant le Soleil 5 juin 2012 TU 22h26

70



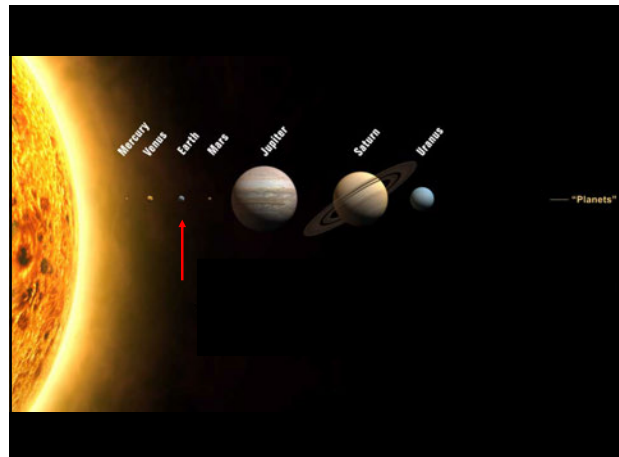
71

02.A.3

Les planètes telluriques

Mercure, Vénus, **la Terre**, Mars

72



73

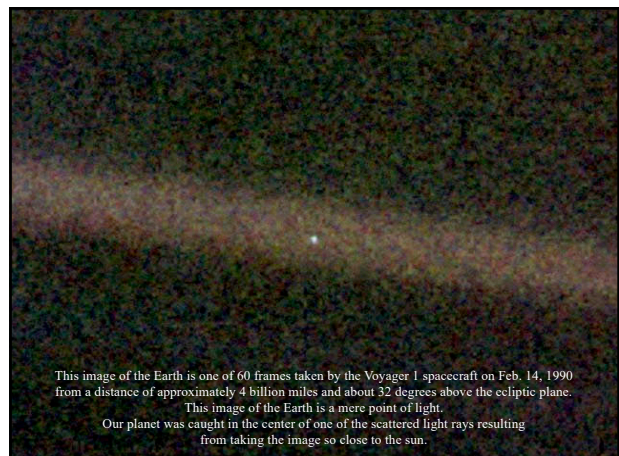
Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earth)	Diameter (earth)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earth)	Surface Gravity (earth)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

Terre : rayon_e = 6378 km masse = 6×10^{24} kg
rayon_p = 6356 km

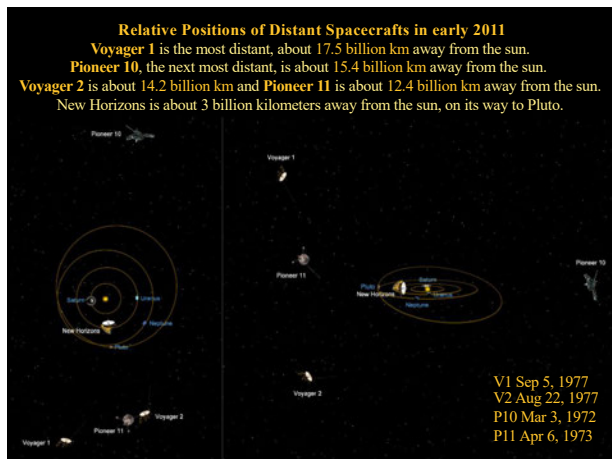
74



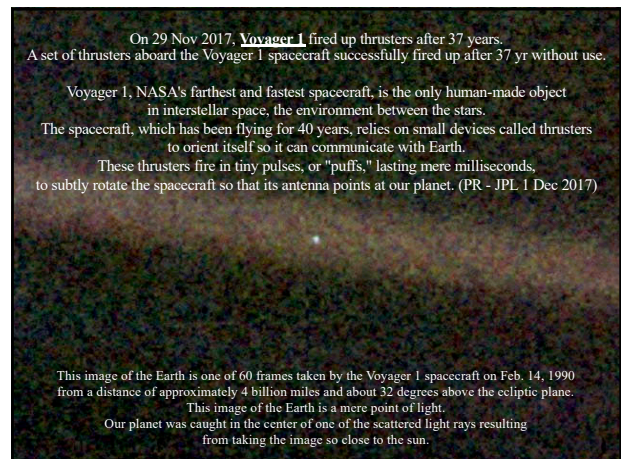
This image of the Earth is one of 60 frames taken by the Voyager 1 spacecraft on Feb. 14, 1990 from a distance of approximately 4 billion miles and about 32 degrees above the ecliptic plane.

This image of the Earth is a mere point of light.
Our planet was caught in the center of one of the scattered light rays resulting from taking the image so close to the sun.

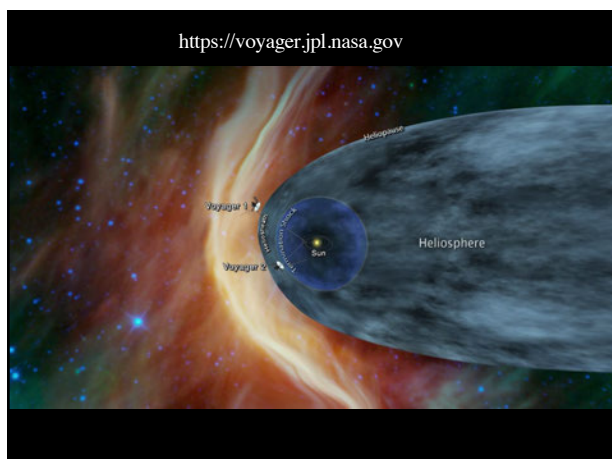
75



76



78



79

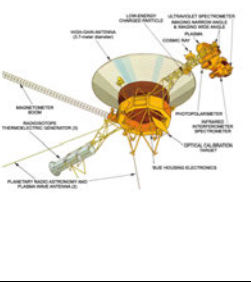
<https://voyager.jpl.nasa.gov>

	Voyager 1	Voyager 2
Launch Date	Mon, 05 Sept 1977 12:56:00 UTC	Sat, 20 Aug 1977 14:29:00 UTC
Mission Elapsed Time	42:06:00:21:16:39 YRS MOS DAYS HRS MINS SECS	42:06:14:19:43:39 YRS MOS DAYS HRS MINS SECS
Distance from Earth	13,812,197,355 mi 148,588,905.14 AU	11,499,365,956 mi 123,707,919.40 AU
Distance from Sun	13,810,923,480 mi 148,575,201.03 AU	11,456,910,392 mi 123,251,907.8 AU
Velocity with respect to the Sun (estimated)	38,026.77 mph	34,390.98 mph
One-Way Light Time	20:35:46 (hh:mm:ss)	17:08:50 (hh:mm:ss)
Cosmic Ray Data		

80

<https://voyager.jpl.nasa.gov>

Instrument	Voyager 1	Voyager 2
Cosmic Ray Subsystem (CRS)	ON	ON
Low-Energy Charged Particles (LECP)	ON	ON
Magnetometer (MAG)	ON	ON
Plasma Wave Subsystem (PWS)	ON	ON
Plasma Science (PLS)	OFF	ON
Imaging Science Subsystem (ISS)	OFF	OFF
Infrared Interferometer Spectrometer and Radiometer (IRIS)	OFF	OFF
Photopolarimeter Subsystem (PPS)	OFF	OFF
Planetary Radio Astronomy (PRA)	OFF	OFF
Ultraviolet Spectrometer (UVS)	OFF	OFF



81



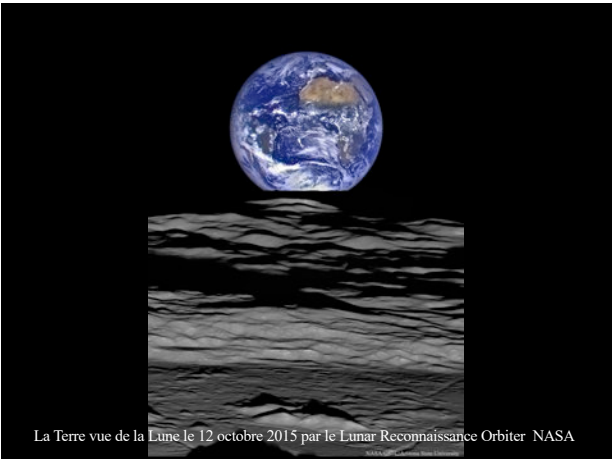
ESO's observatories in Chile are located at such dark sites that normally the only thing illuminating them on a moonless night is the faint light from the billions of stars in the Milky Way. But even the darkest sky is not completely dark. This ESO picture describes the magnificent natural light phenomenon known as **zodiacal light**, that sometimes casts a ghostly glow in the skies above ESO telescopes. It is the glow of sunlight as it is reflected towards us by dust in the plane of the Solar System, dust that is created by collisions between asteroids and the evaporation of comets.

82



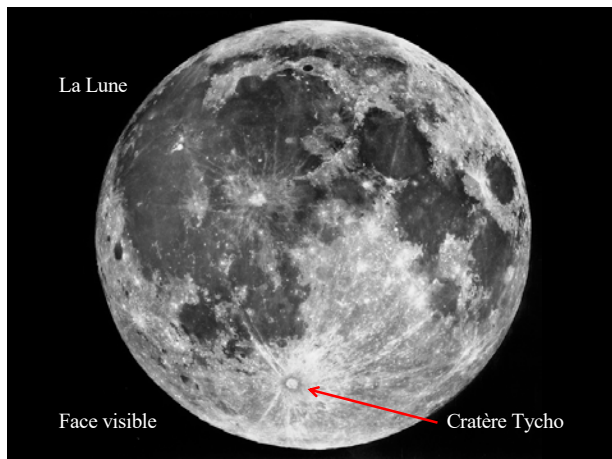
La Terre vue de la Lune durant un des vols Apollo NASA

83

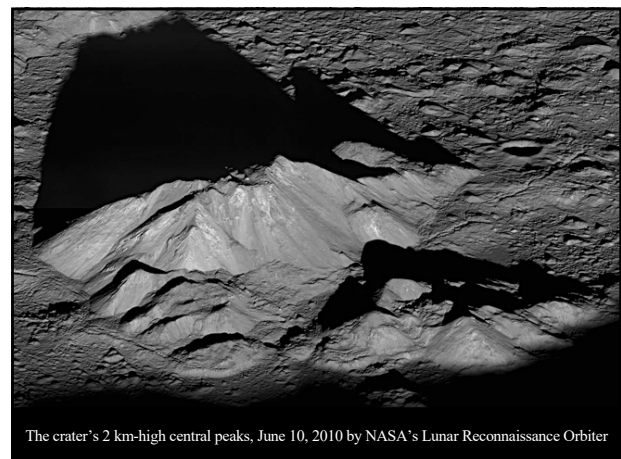


La Terre vue de la Lune le 12 octobre 2015 par le Lunar Reconnaissance Orbiter NASA

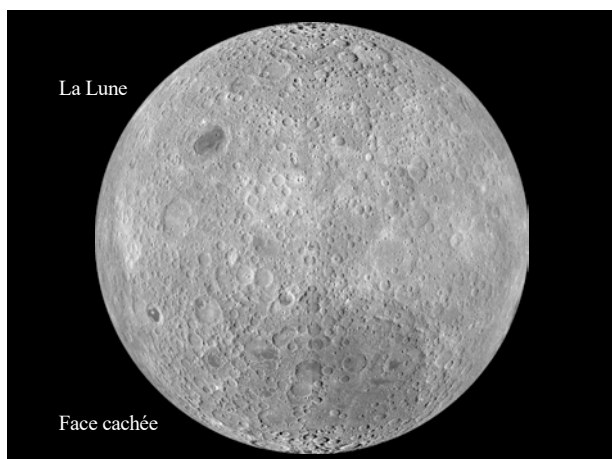
84



85



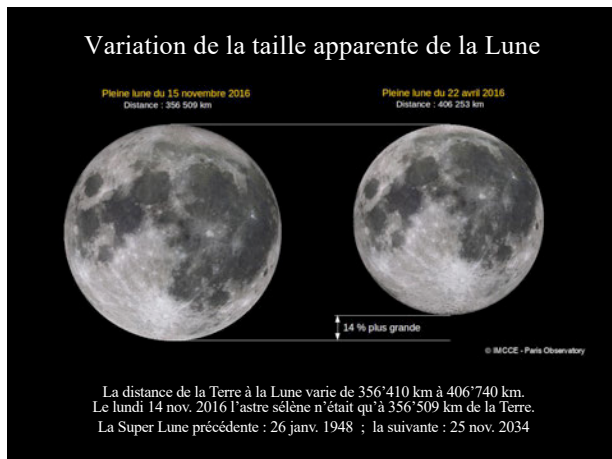
86



87



88



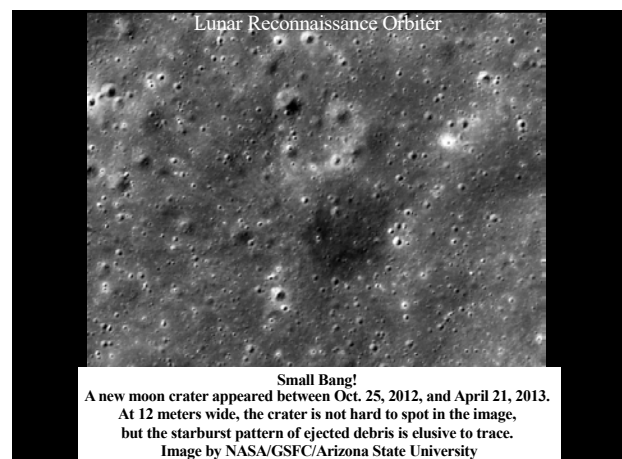
89



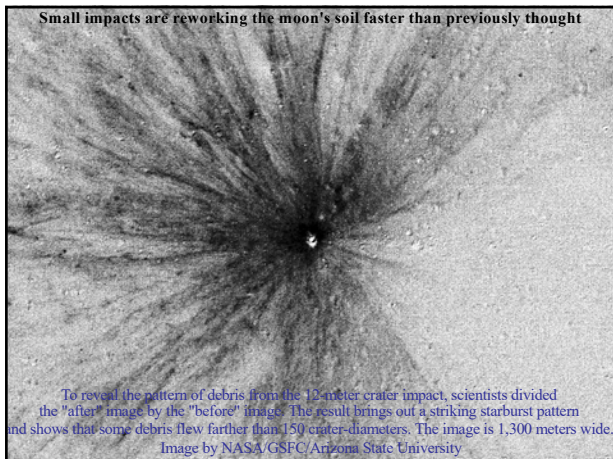
90



91



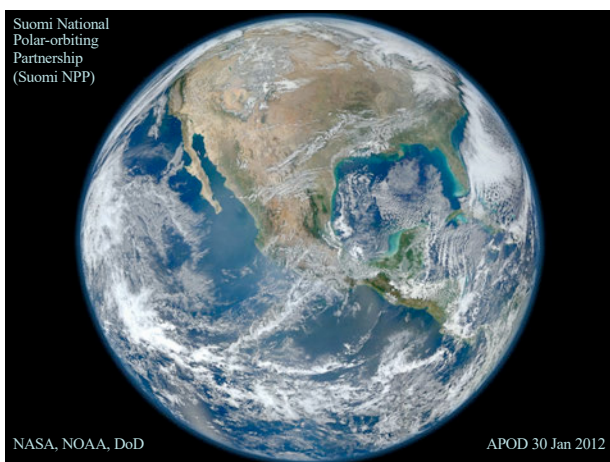
92



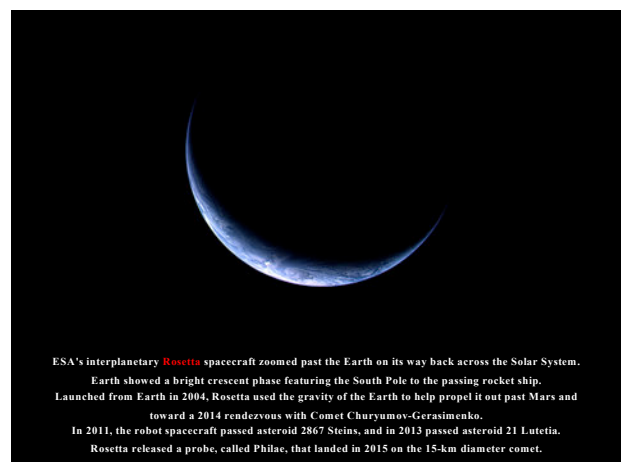
93



94



95



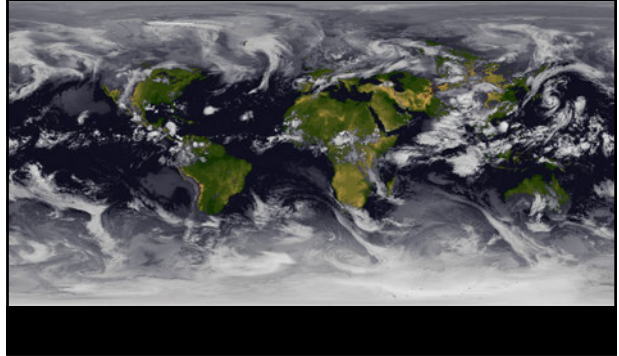
96

La Terre vue de l'espace (?)



97

La Terre vue de l'espace avec nuages



98

Aurore boréale observée depuis l'Alaska le 7 avril 2007



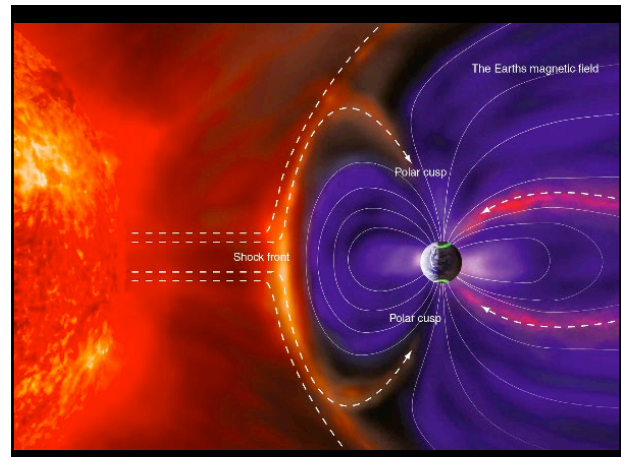
100



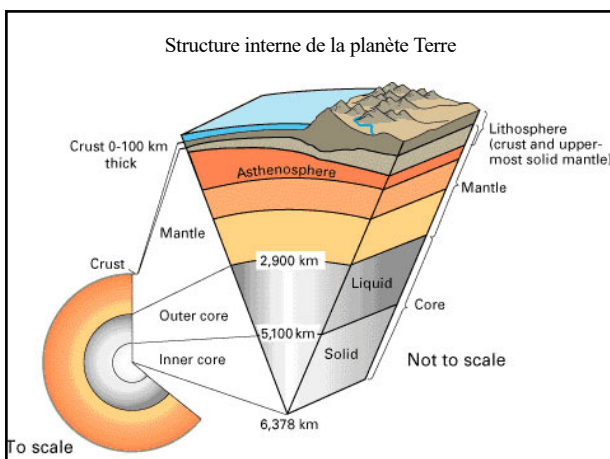
102



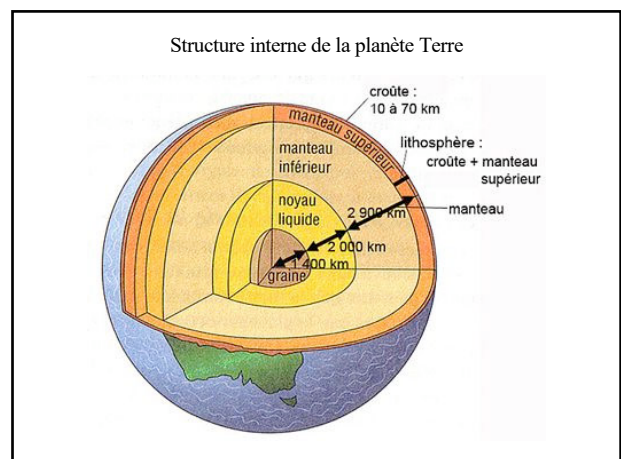
103



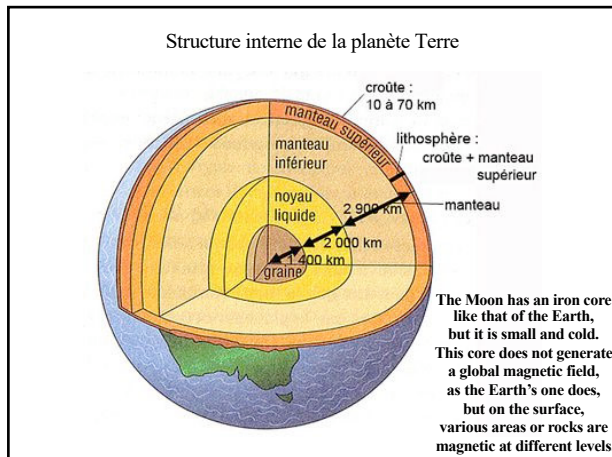
104



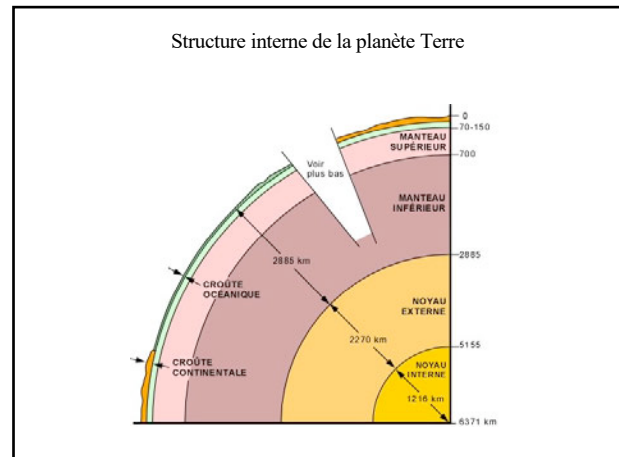
105



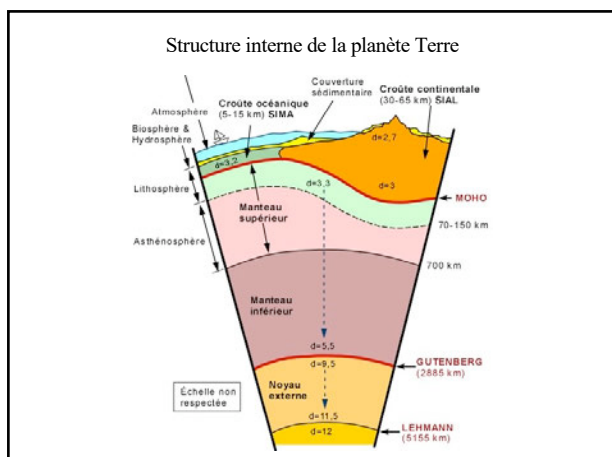
106



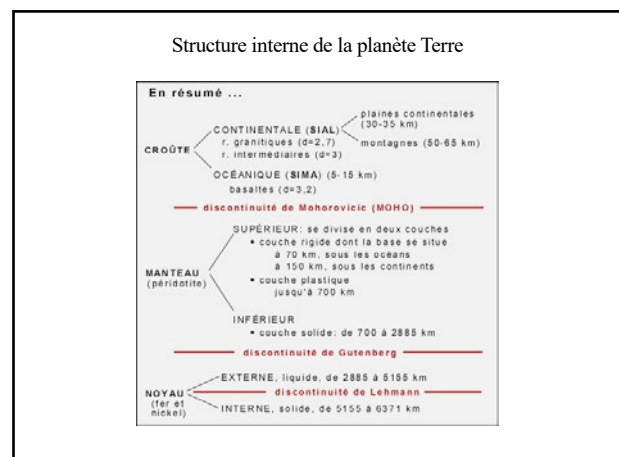
107



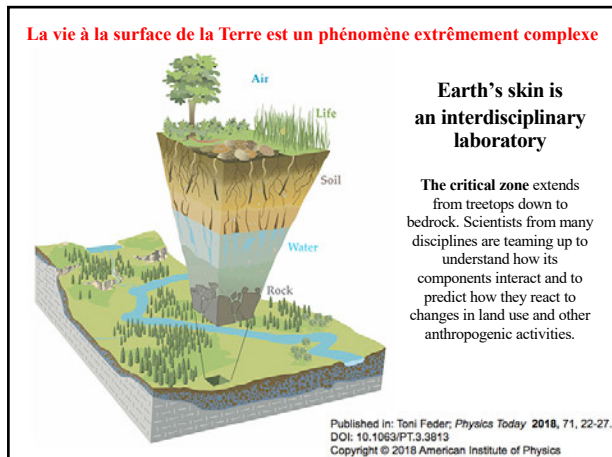
108



109



110



111

La dérive des continents

Alfred Wegener présente son idée de la **dérive des continents** en janvier **1912**, la publie en **1915**, puis la développe progressivement jusqu'à sa mort, en 1930.

Il n'est pas le premier à supposer une translation continentale : **Owen (1857)**, **Snider-Pellegrini (1858)**, **Fisher (1882)**, **Pickering (1907)**, **Baker (1912)** et surtout **Taylor (1910)** ont émis avant lui des idées mobilistes mais le titre de « père de la dérive » lui revient indiscutablement car **il est le premier à étayer son hypothèse par un nombre considérable de « preuves »** émanant de sources très diverses pour en faire une théorie scientifique cohérente.

Alfred Wegener
(1880, Berlin - 1930, Groenland)
Astronome et météorologue allemand, principalement connu pour sa théorie de la dérive des continents publiée en 1915.

Dans la préface de son ouvrage, **Wegener** insiste sur la nécessité de développer une vision globale de la planète, incluant l'ensemble des sciences de la Terre.

112

Preuves de la tectonique des plaques, anciennement appelée dérive des continents

- Le parallélisme des côtes de l'Atlantique.** On observe en effet un certain parallélisme des **lignes côtières** entre d'une part les Amériques et d'autre part l'Europe - Afrique.
- La répartition de certains fossiles.** On retrouve, de part et d'autre de l'Atlantique, sur les continents actuels, les **fossiles de plantes et d'animaux** terrestres datant de 240 à 260 Ma.
- Les traces d'anciennes glaciations.** On observe, sur certaines portions des continents actuels, des marques de glaciation datant d'il y a 250 millions d'années, indiquant que ces portions de continents ont été recouvertes par une calotte glaciaire. Il est plus qu'**improbable qu'il ait pu y avoir glaciation sur des continents se trouvant dans la zone tropicale** (sud de l'Afrique, Inde).
- La correspondance des structures géologiques.** Il existe une concordance entre les côtes, mais aussi une concordance entre les structures géologiques à l'intérieur des continents. Ceci constitue un argument très fort en faveur de l'existence du mégacontinent Pangée.

Par exemple, la **correspondance des structures géologiques entre l'Amérique du Nord et l'Europe** confirme l'idée de Wegener. Les trois chaînes de montagnes, **Appalaches** (Est de l'Amérique du Nord), **Mauritanides** (nord-ouest de l'Afrique) et **Calédonides** (Iles Britanniques, Scandinavie), aujourd'hui séparées par l'Océan Atlantique, ne forment qu'une seule chaîne continue si on rapproche les continents à la manière de Wegener. Les géologues savent depuis longtemps qu'effectivement ces trois chaînes ont des structures géologiques identiques et qu'elles se sont formées en même temps entre 470 et 350 Ma.

113



114

- 305 Ma



115

- 260 Ma



116

- 245 Ma



117

- 220 Ma



118

- 200 Ma



119

- 180 Ma



120

- 160 Ma



121

- 153 Ma



122

- 138 Ma



123

- 120 Ma



124

- 95 Ma

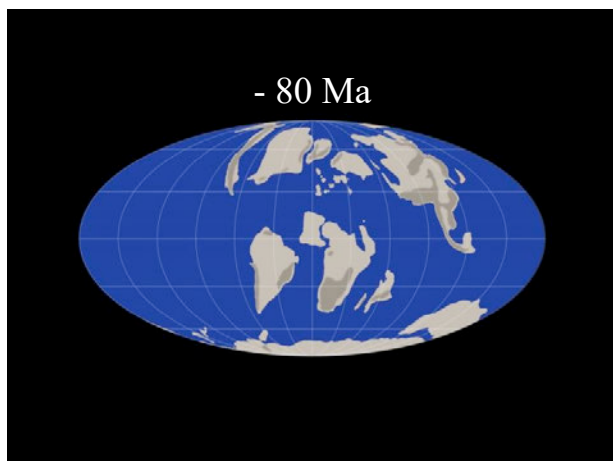


125

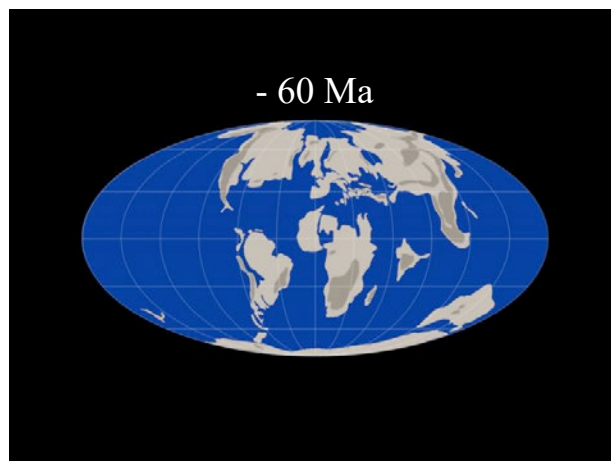
- 88 Ma



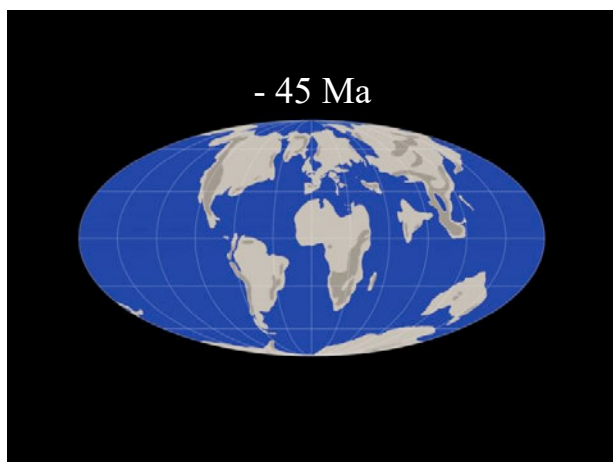
126



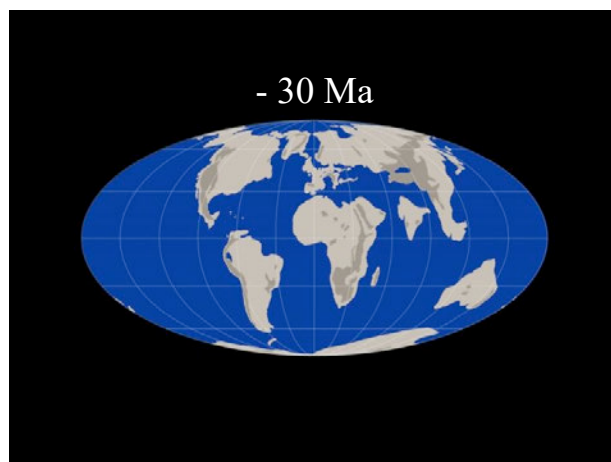
127



128



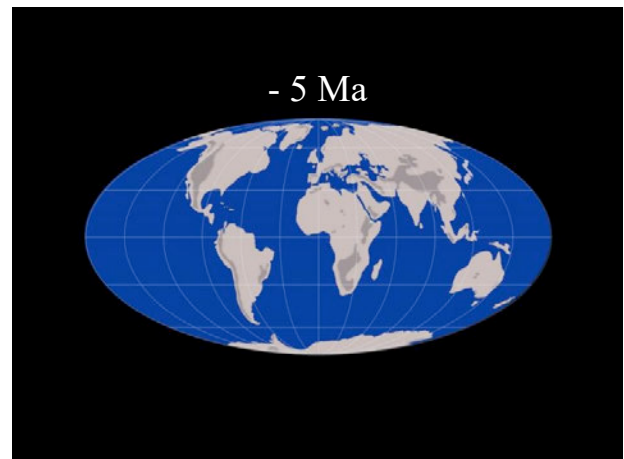
129



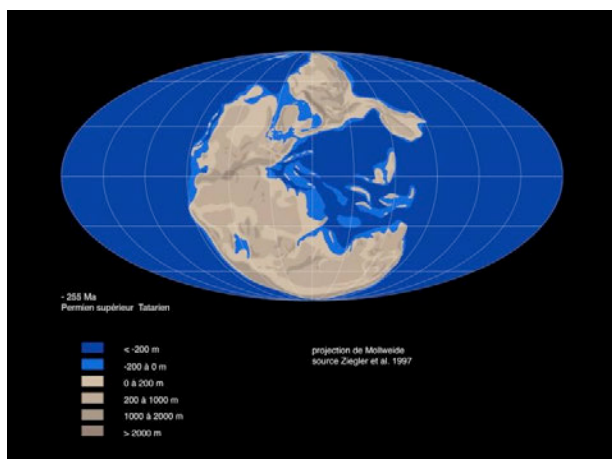
130



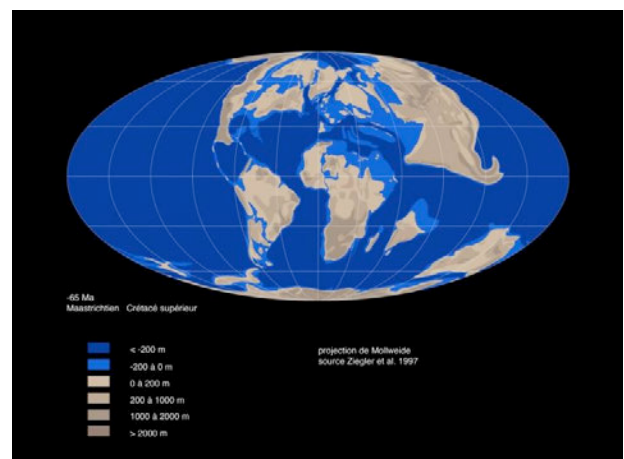
131



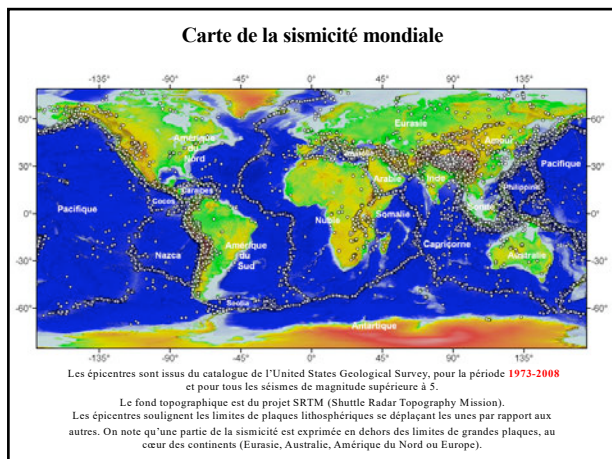
132



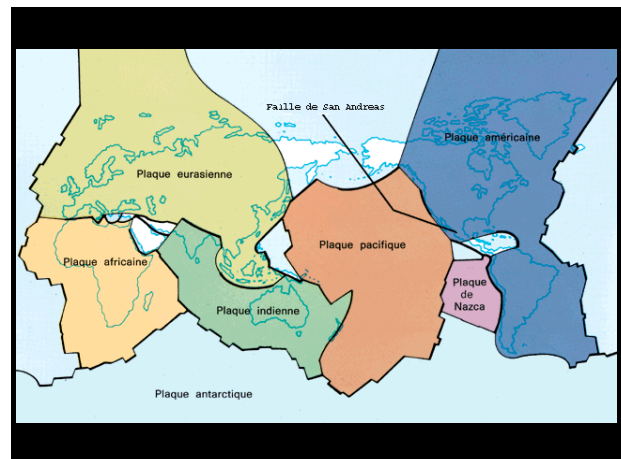
133



134



135



136



137



138



141



142



144



145



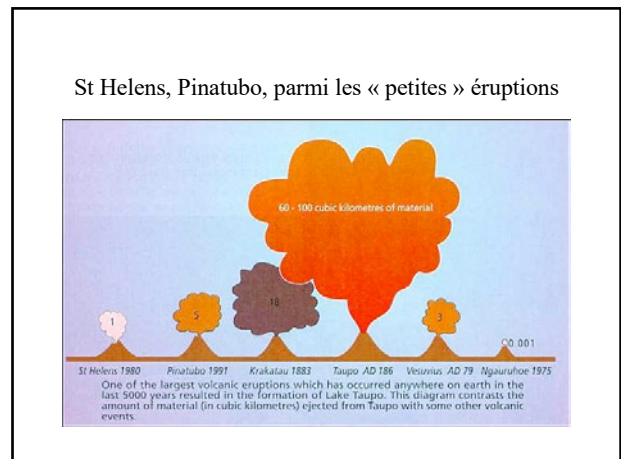
147



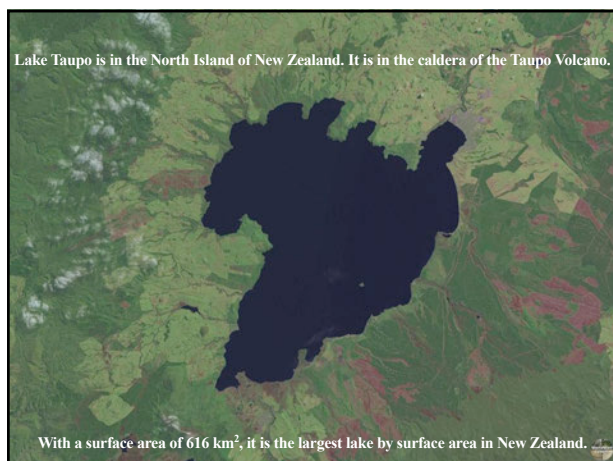
148



149



150



151



152



153



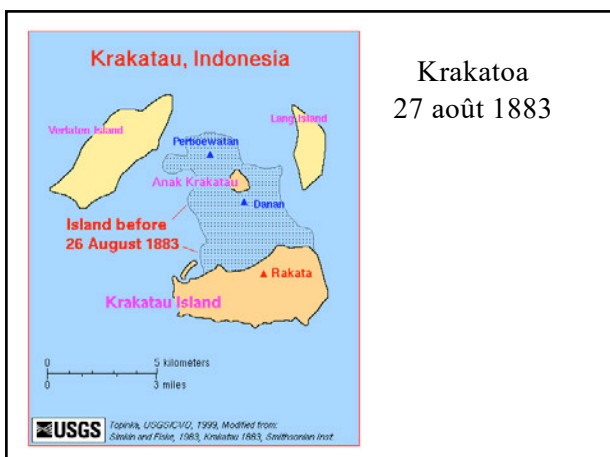
154



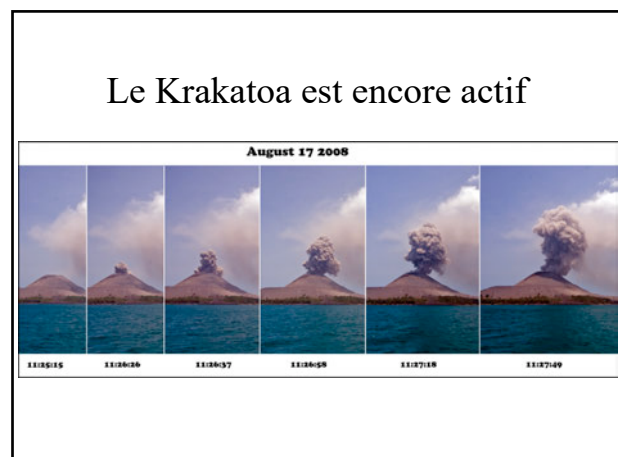
155



156



157



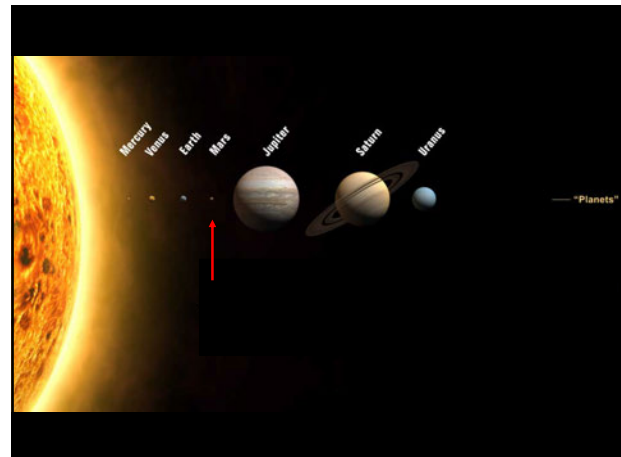
158

02.A.3

Les planètes telluriques

Mercure, Vénus, la Terre, Mars

164



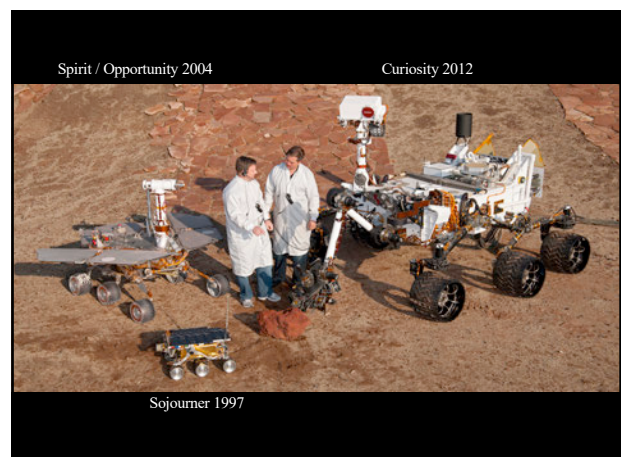
165

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

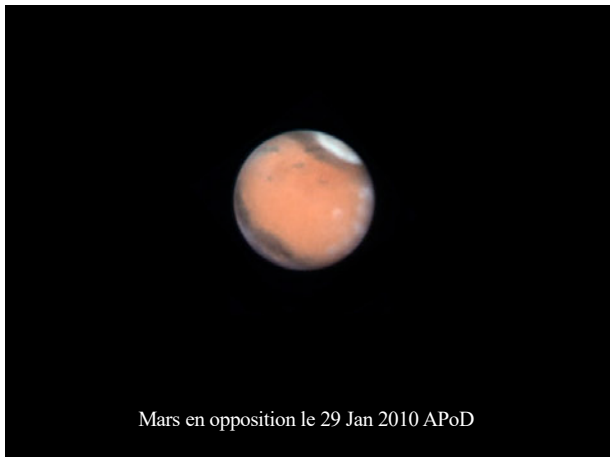
	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
<u>Sol</u>	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
<u>Mercury</u>	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
<u>Venus</u>	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
<u>Earth</u>	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
<u>Mars</u>	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
<u>(Ceres*)</u>	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
<u>Jupiter</u>	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
<u>Saturn</u>	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
<u>Uranus</u>	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
<u>Neptune</u>	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
<u>(Pluto*)</u>	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
<u>(Eris*)</u>	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

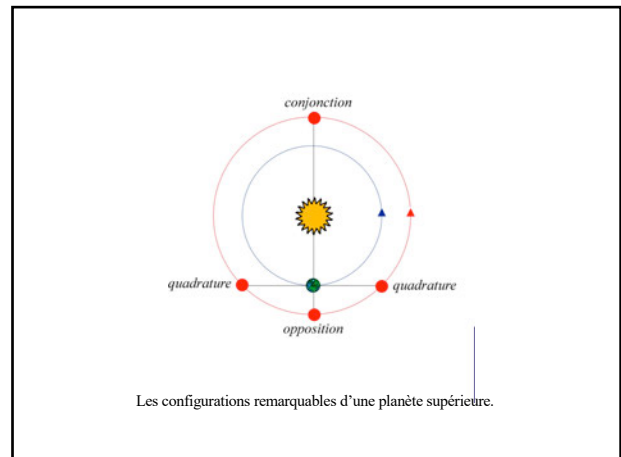
166



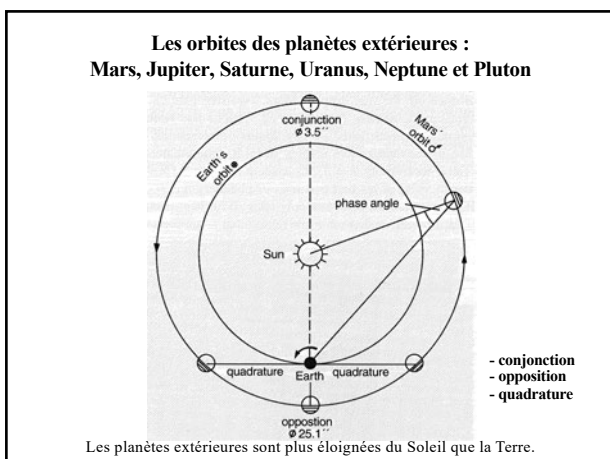
167



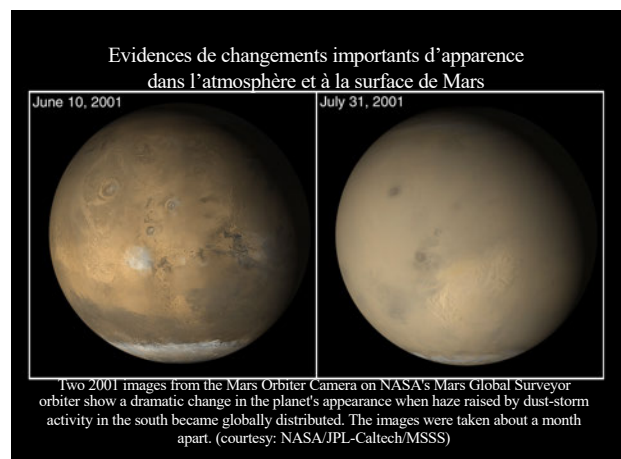
168



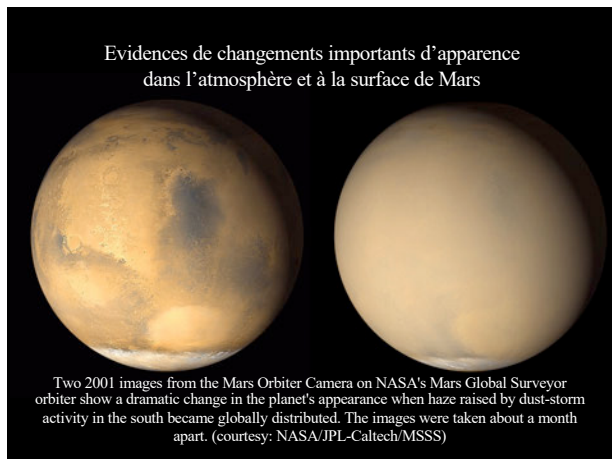
169



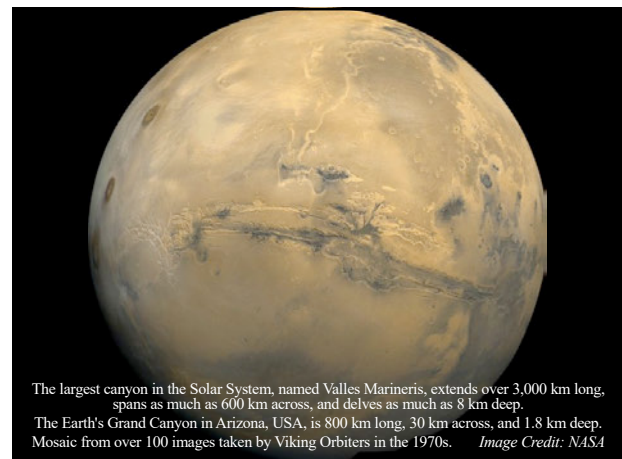
170



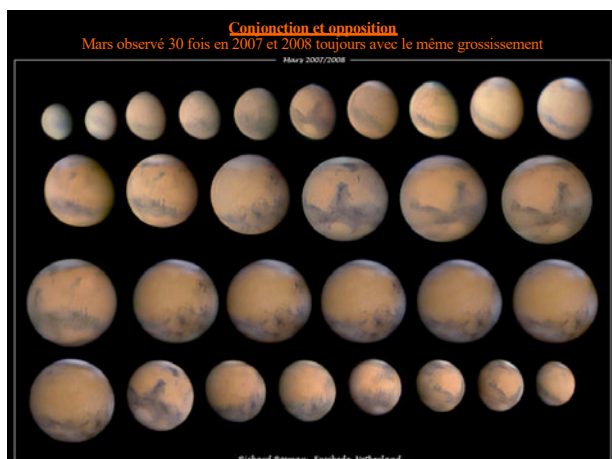
171



172



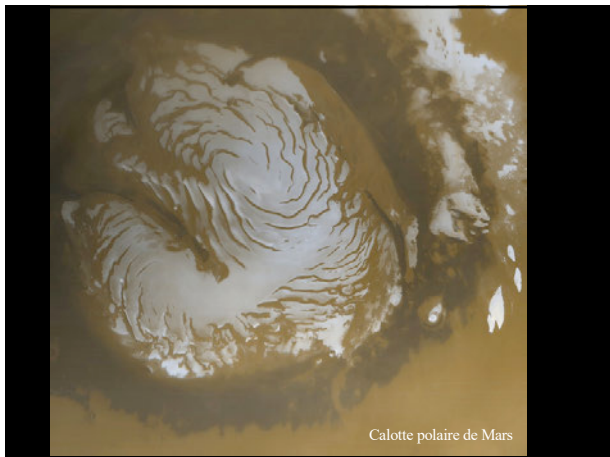
173



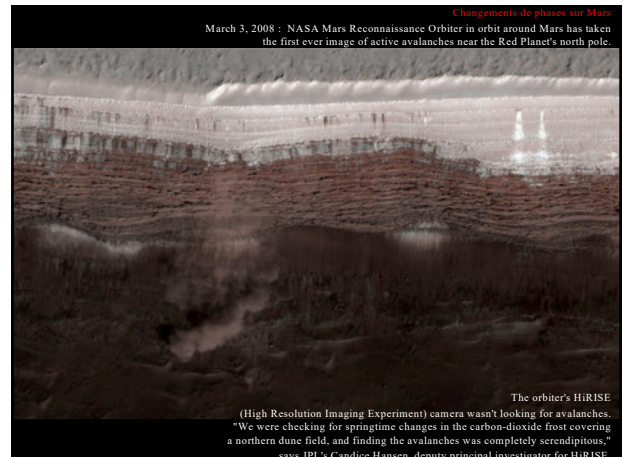
174



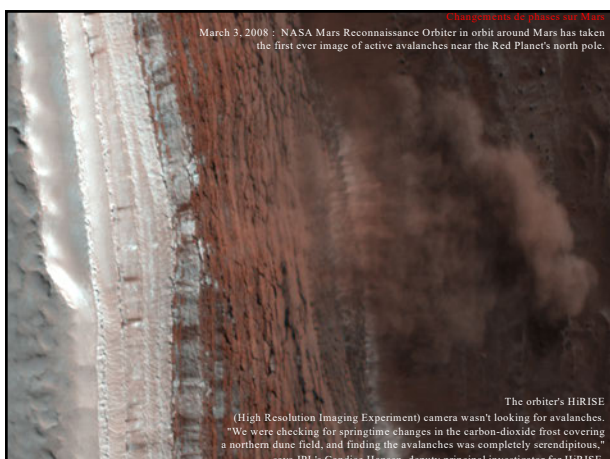
176



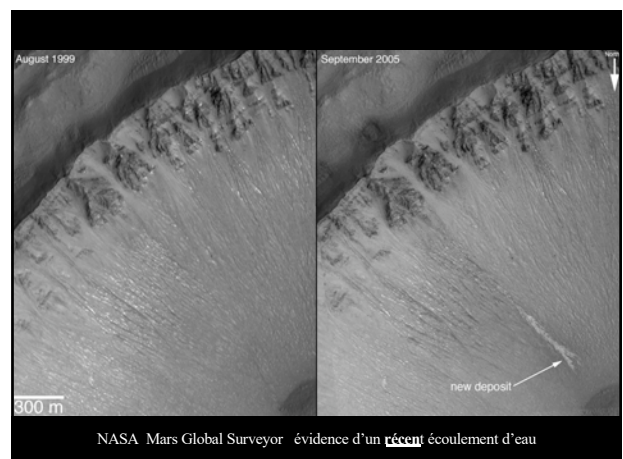
177



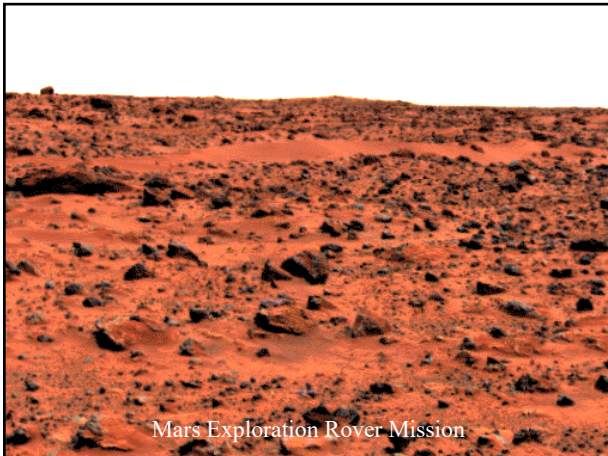
178



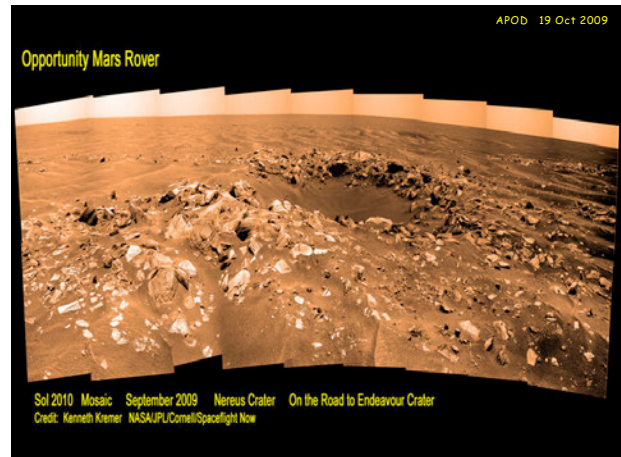
179



180



181



182



184



185



Panorama de Mars obtenu par Spirit
NASA-JPL-Caltech

186



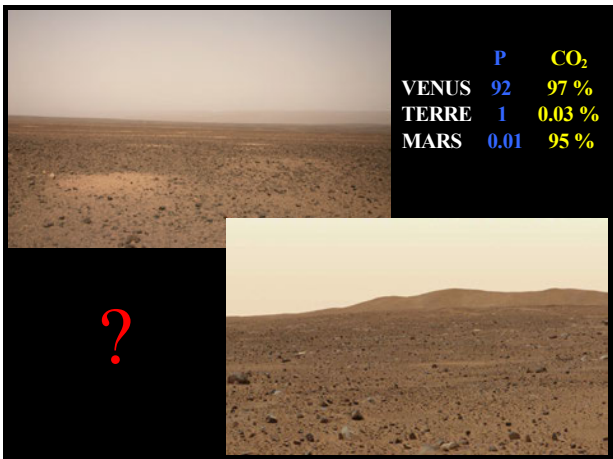
Panorama de Mars obtenu par Spirit NASA-JPL-Caltech

187



Panorama de Mars obtenu par Opportunity NASA-JPL-Caltech

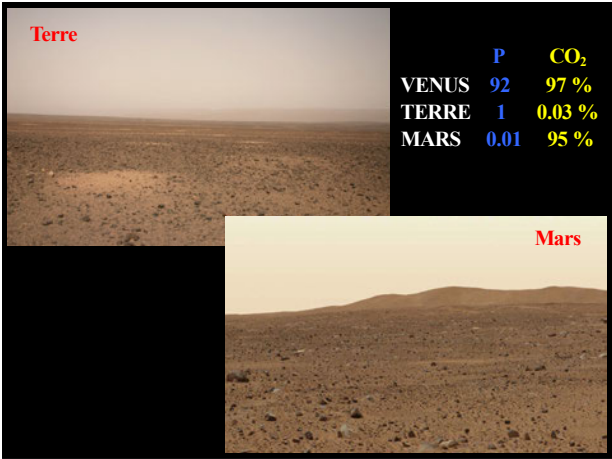
188



	P	CO ₂
VENUS	92	97 %
TERRE	1	0.03 %
MARS	0.01	95 %

?

189



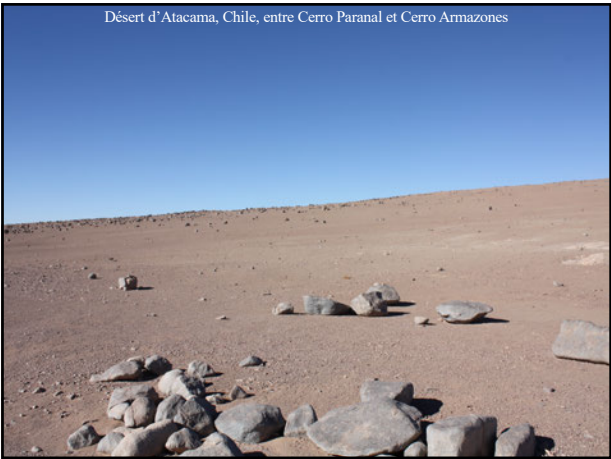
190



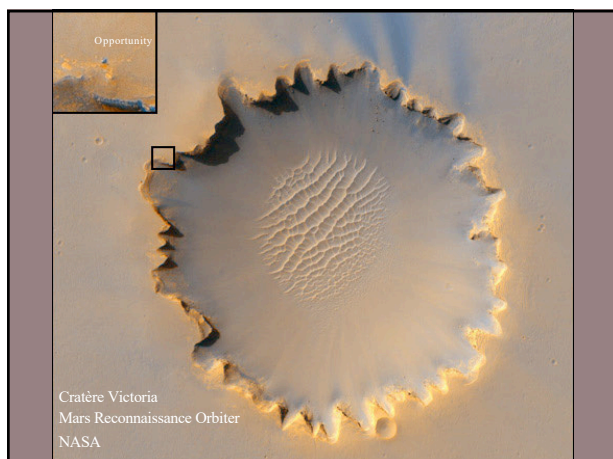
193



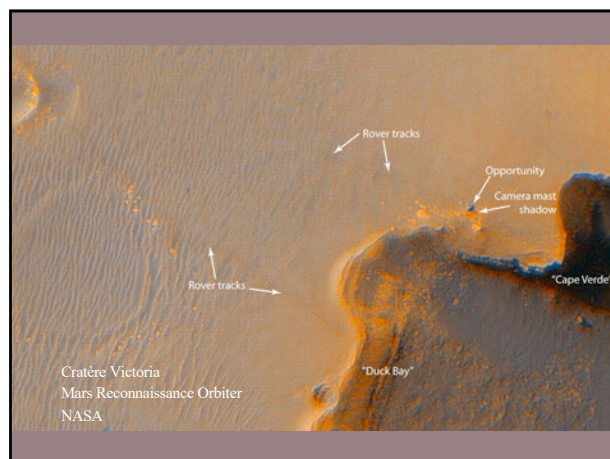
194



195



196



197



204



205



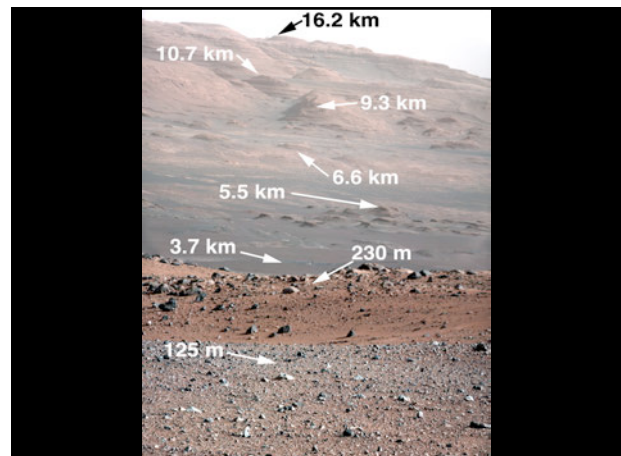
206



207



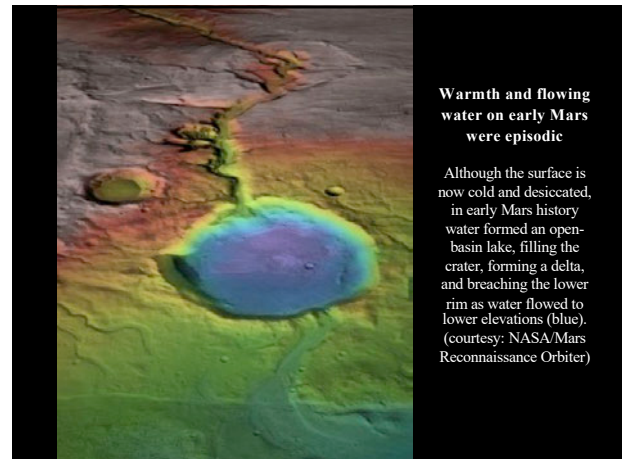
208



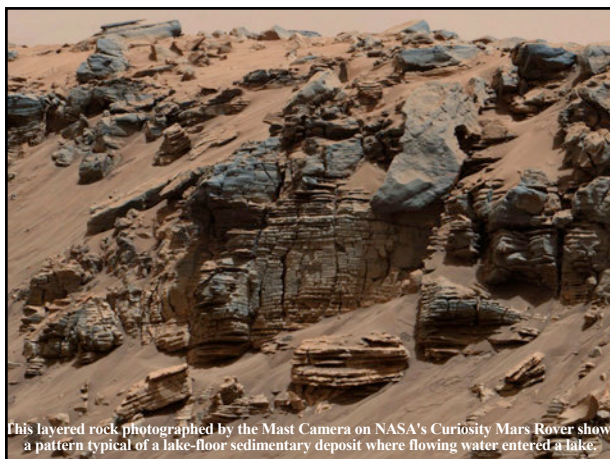
221



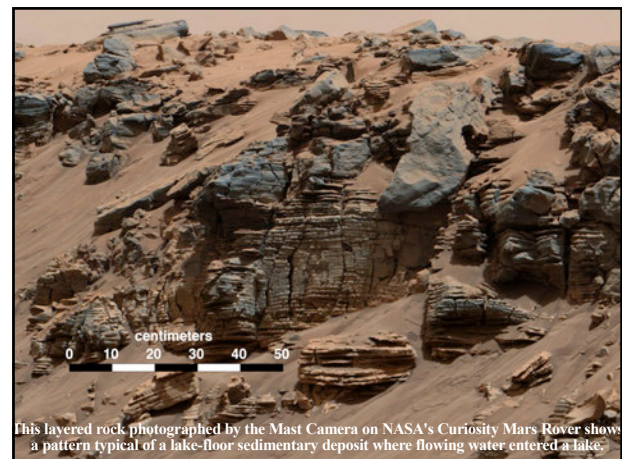
225



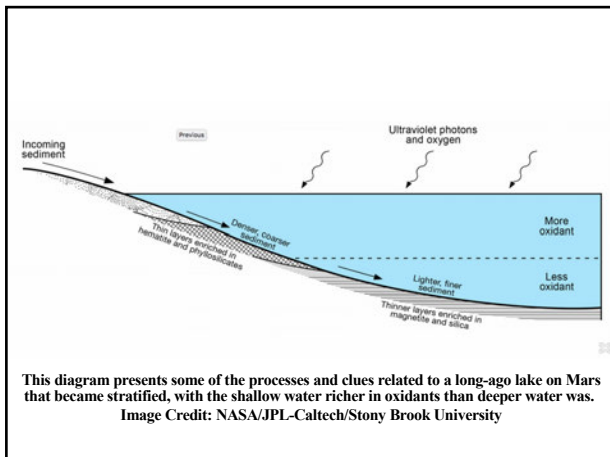
226



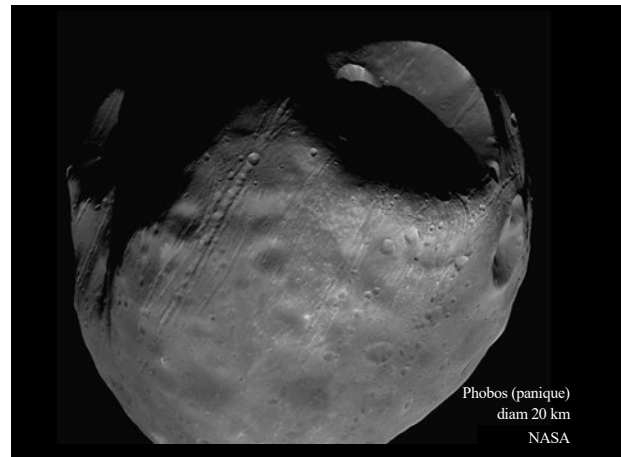
227



228



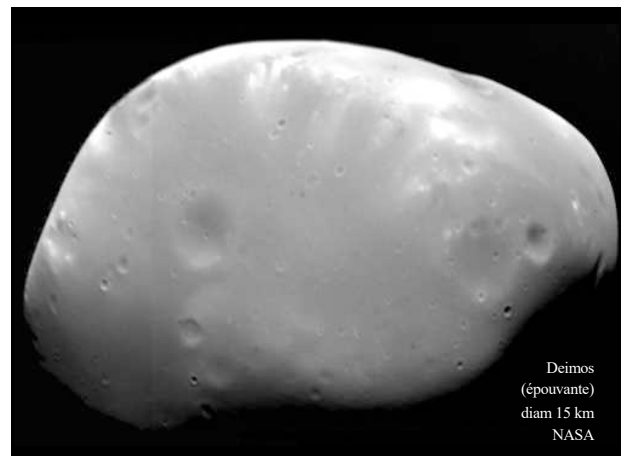
229



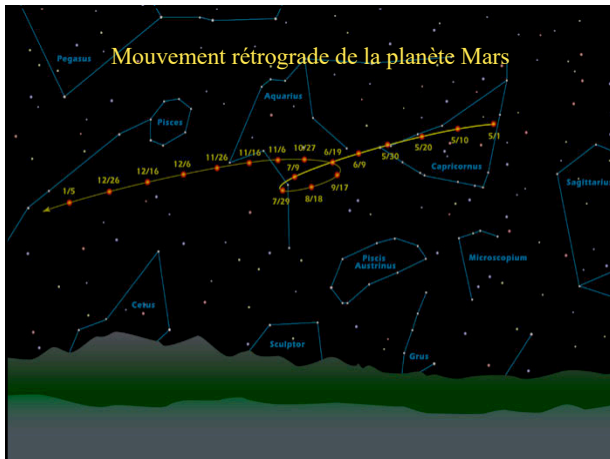
230



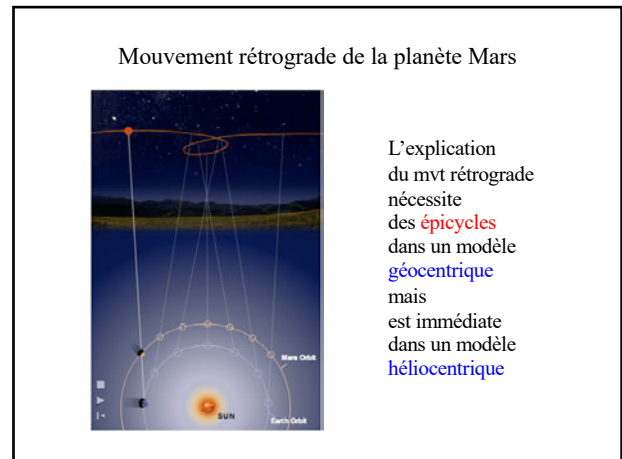
231



232



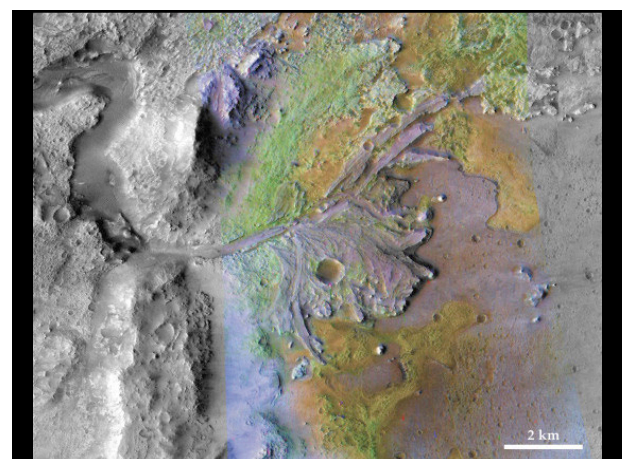
233



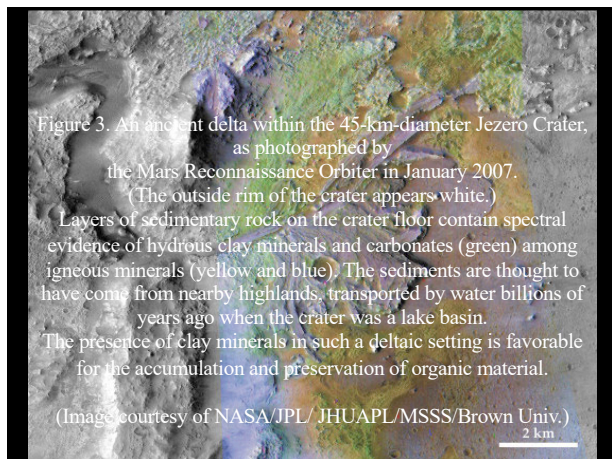
234



238



243



244

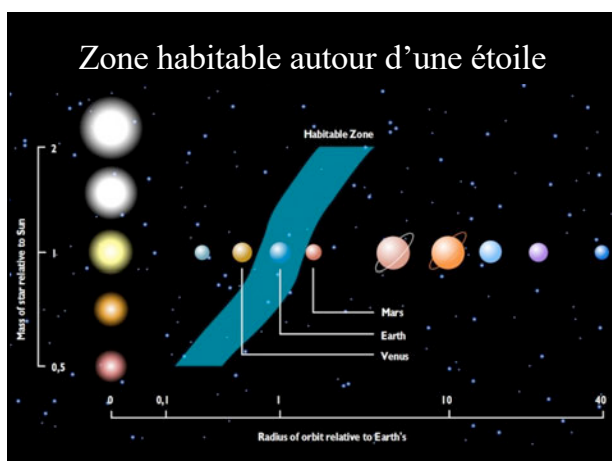
Conclusions about Mars

The orbiters, landers, and rovers that have probed the red planet over the past two decades reveal it to be :

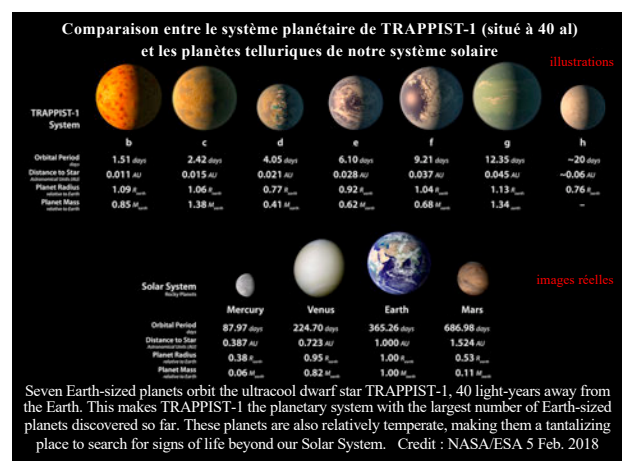
- chemically complex,
- historically watery, and
- suitable as a home for life.

So far, no trace of life has been found.

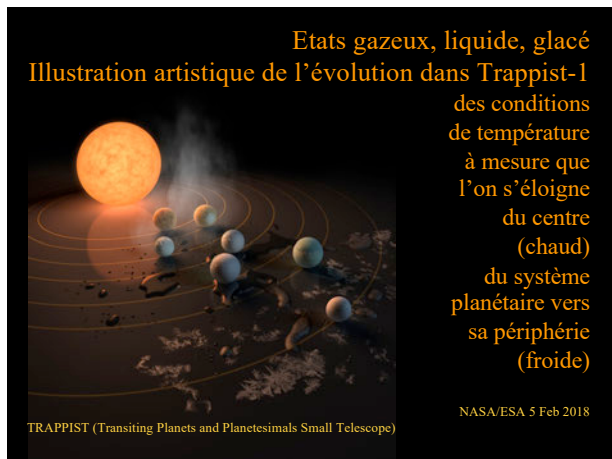
247



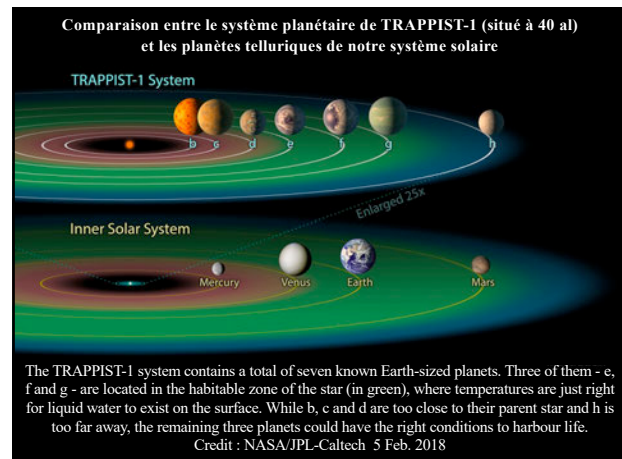
248



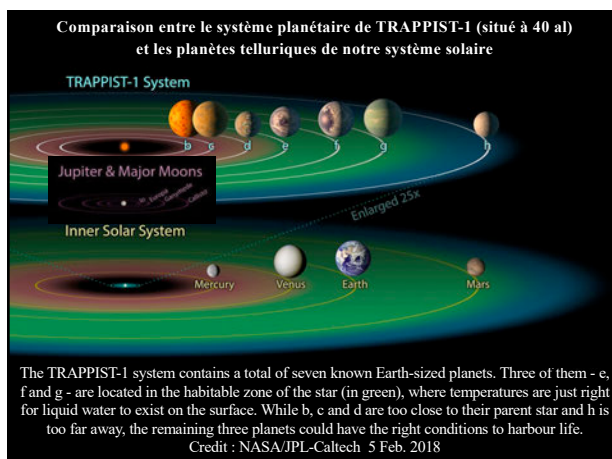
249



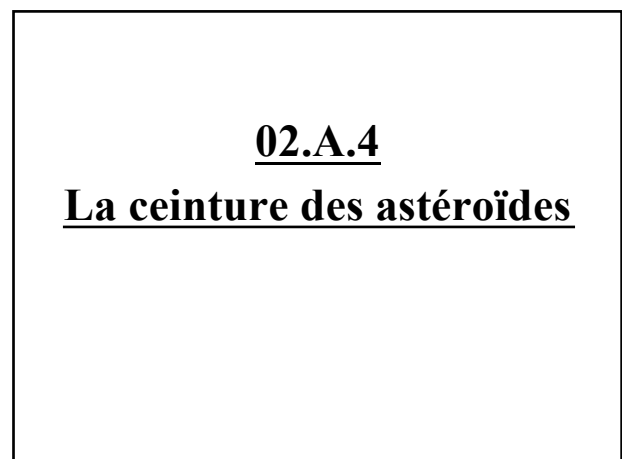
250



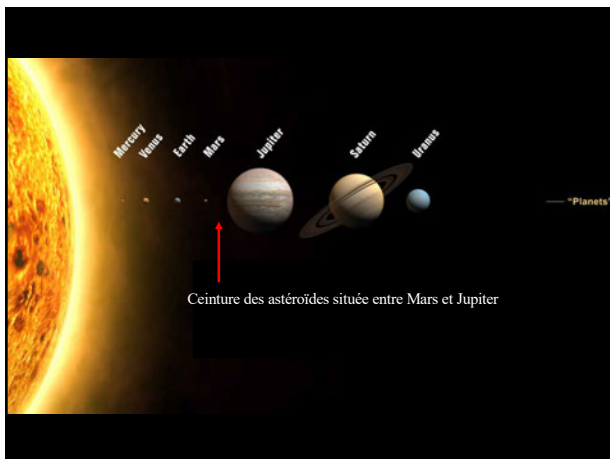
251



252



254



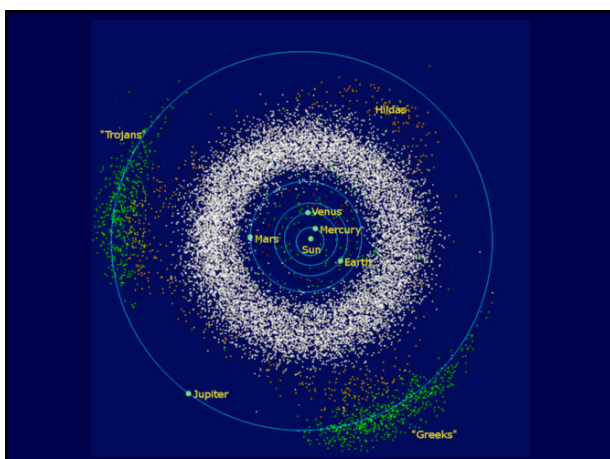
255

Paramètres physiques des planètes (valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet".)

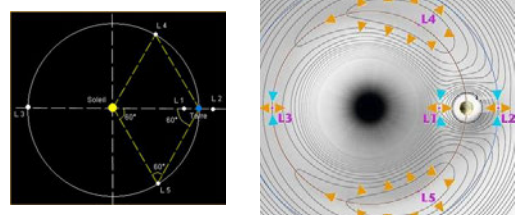
256



257

Forces gravifiques **Champ gravifique**

Position des points de Lagrange du système Soleil-Terre, et orientation du champ gravitationnel en leur voisinage.

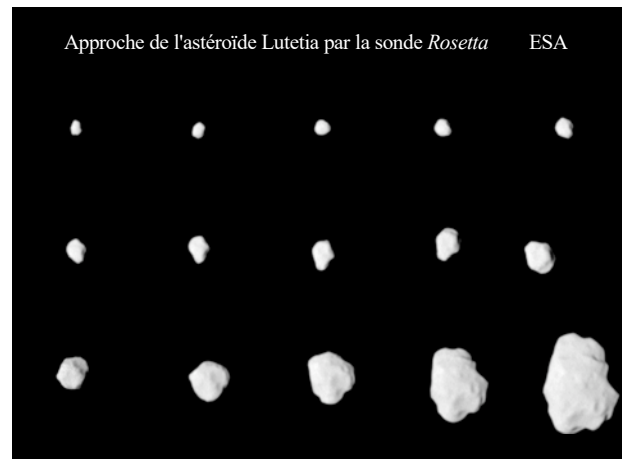


Dans le plan orbital, les équipotentiels du champ montrent 5 points d'équilibre. Trois de ces points (L1, L2 et L3) sont des selles (instables). L4 et L5 sont des maxima (stables).

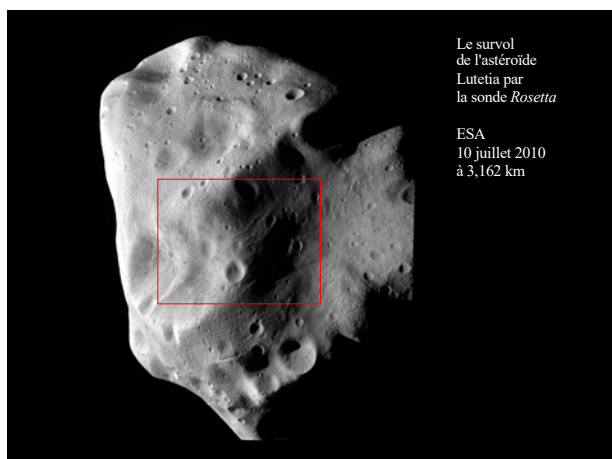
258



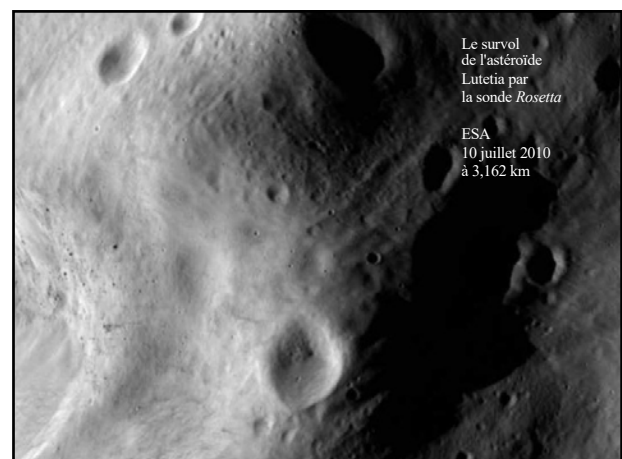
259



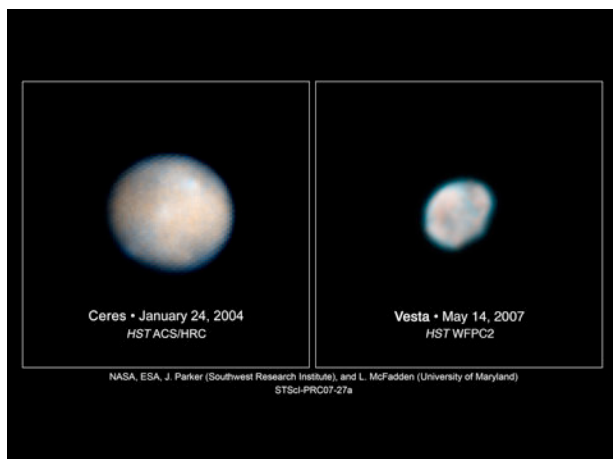
260



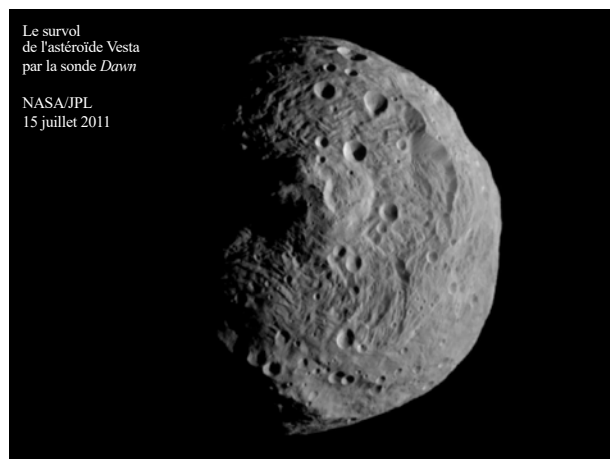
261



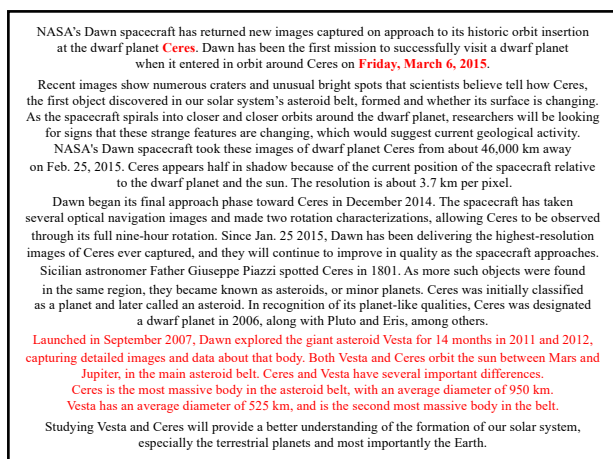
262



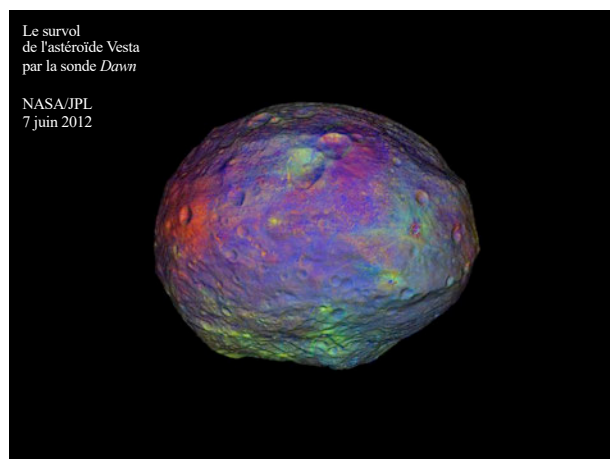
263



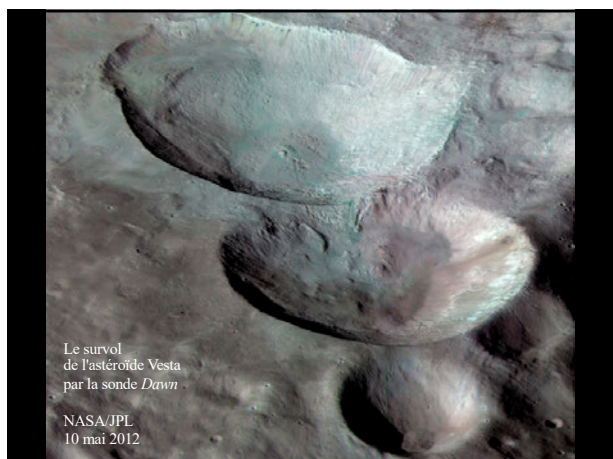
264



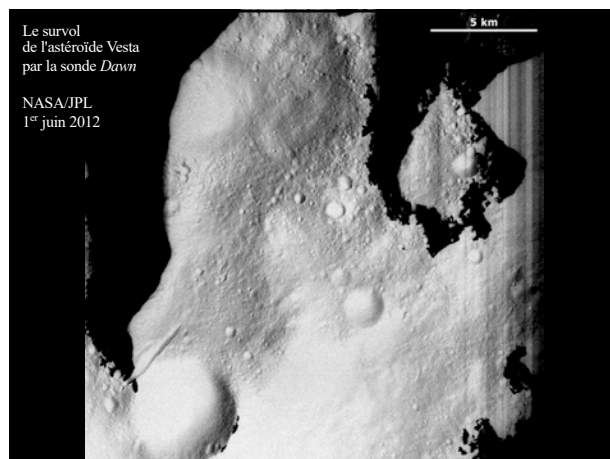
265



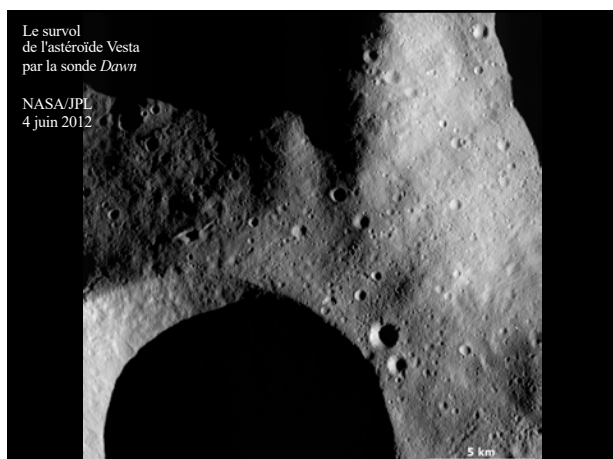
266



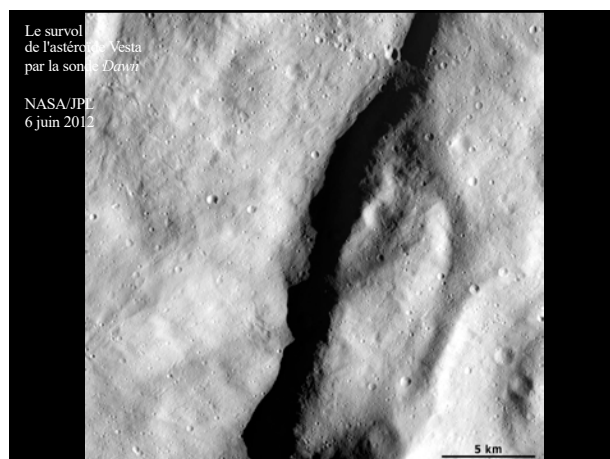
267



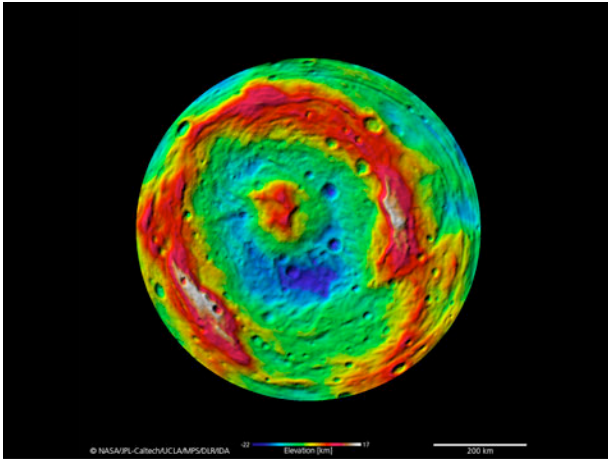
268



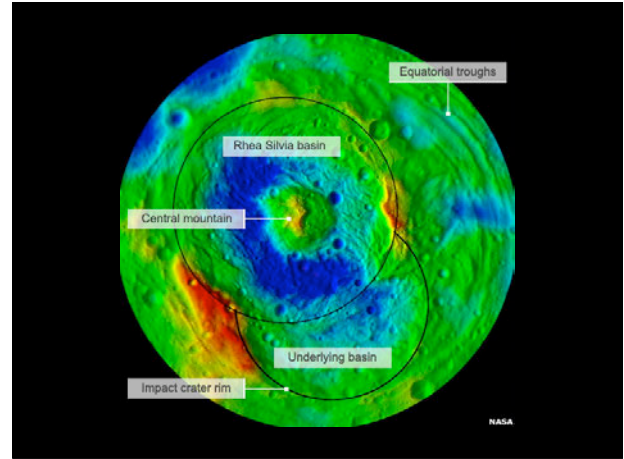
269



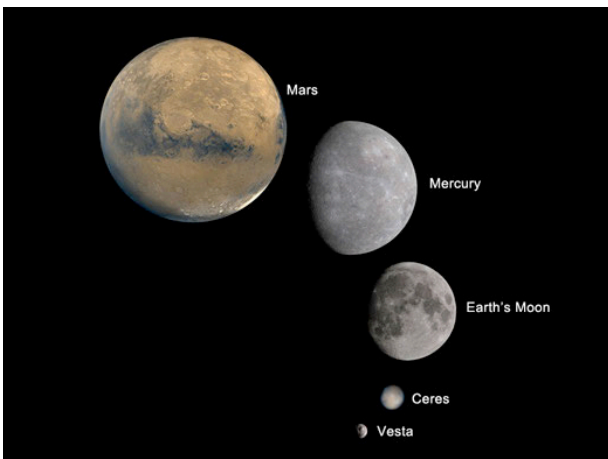
270



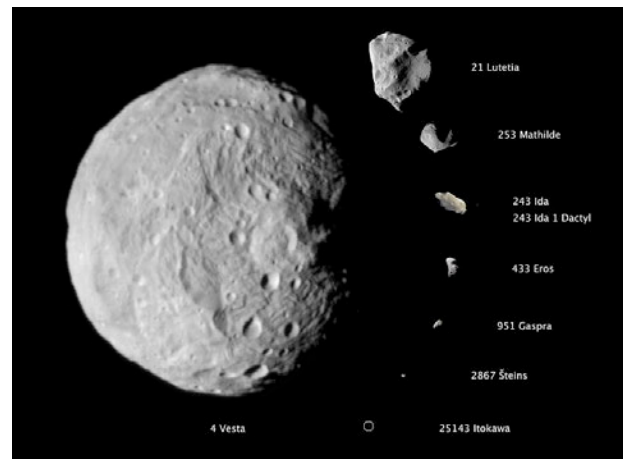
271



272



274



275

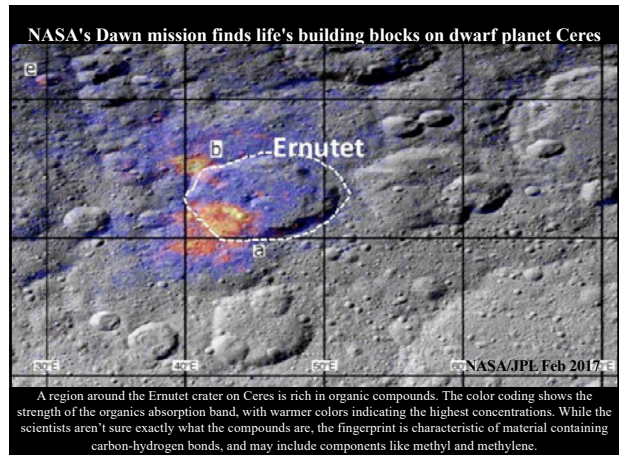
La vie aurait-elle pu apparaître ailleurs que sur Terre ?

C'est une des lancinantes questions que se posent les astrophysiciens et autres exobiologistes. Des molécules complexes carbonées, nécessaires à la vie, sont cherchées sur Mars avec le robot comme Curiosity. Des briques élémentaires ont été observées sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko grâce à la sonde européenne Rosetta. De telles traces organiques sont suspectées exister sur les lunes de Jupiter (Europe) et de Saturne (Titan ou Encelade) dans les océans liquides qu'on soupçonne sous leurs surfaces gelées.

Grâce à la sonde Dawn de la NASA, une autre candidate pointe son nez : Cérès. C'est une planète dite « *naine* », orbitant dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, à environ 370 millions de kilomètres du Soleil. Si elle tourne autour de ce dernier et si elle est quasi-sphérique, Cérès n'est pas une planète, car elle n'a pas fait le ménage sur son orbite, occupée par de multiples corps rocheux. Mais c'est un gros morceau, de 950 kilomètres de diamètre, qui représente le tiers de la masse de la ceinture des astéroïdes.

Depuis l'arrivée de Dawn dans son voisinage, en mars 2015, les révélations et les surprises se succèdent, dévoilant une complexité inattendue pour un tel corps. Les premières photographies montrent des taches blanches dans des cratères, attribuées à de la présence de sels remontant à la surface.

284



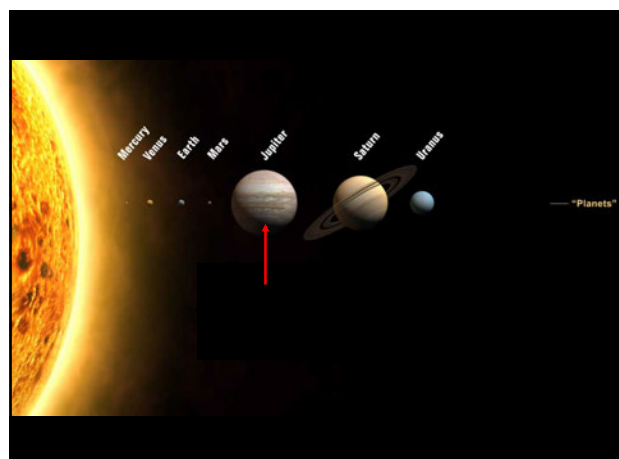
285

02.A.5

Les planètes joviennes

Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune

287



288

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

289

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	79
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

290

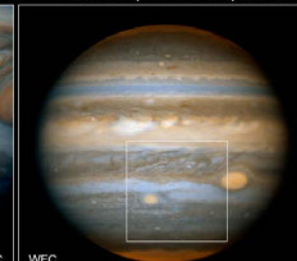
Planète Jupiter
écoulement des bandes atmosphériques parallèles à l'équateur



291

Jupiter's Red Spots

Hubble Space Telescope ■ ACS



HRC
Apr. 8, 2006

WFC
Apr. 16, 2006

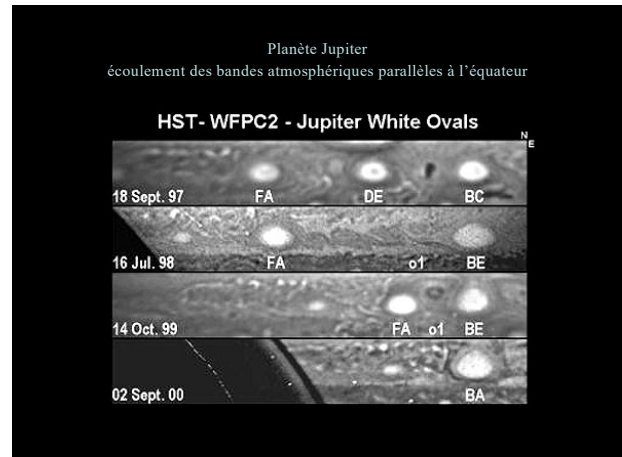
NASA, ESA, A. Simon-Miller (NASA/GSFC), I. de Pater, and M. Wong (UC Berkeley)

STScI-PRC06-19

292



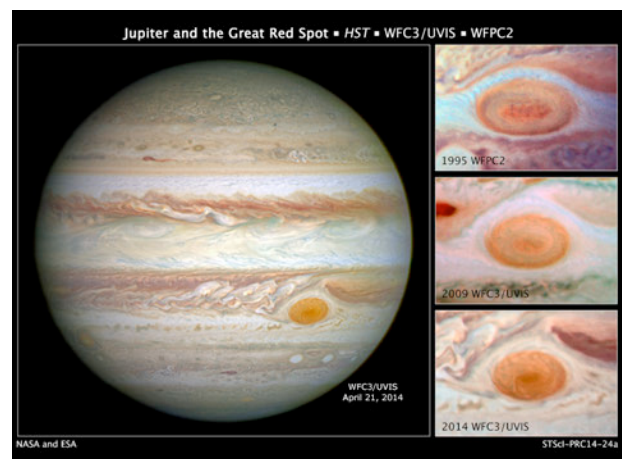
293



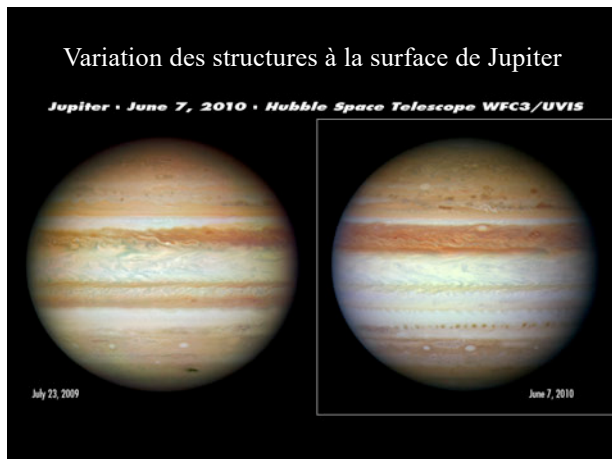
294



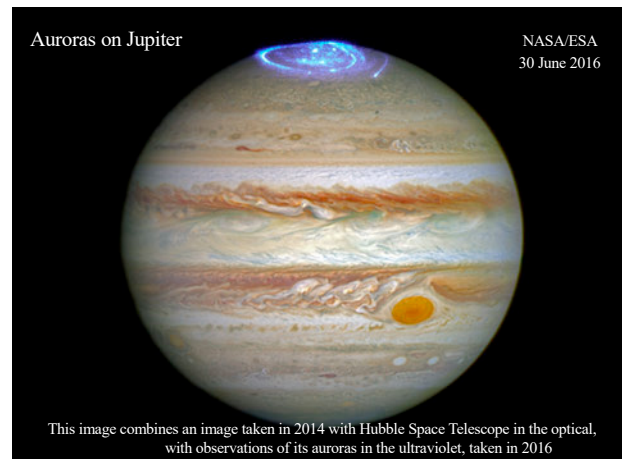
295



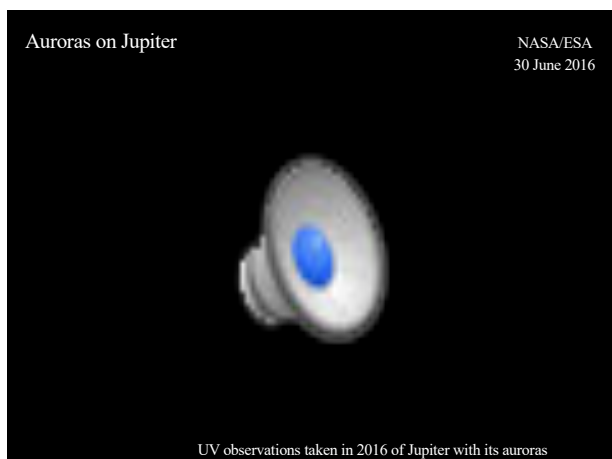
296



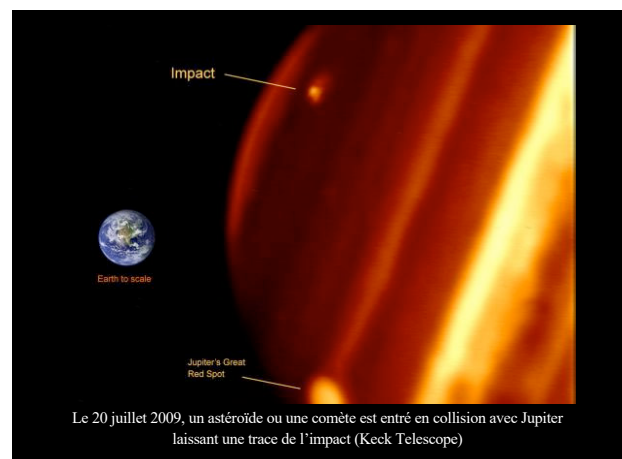
297



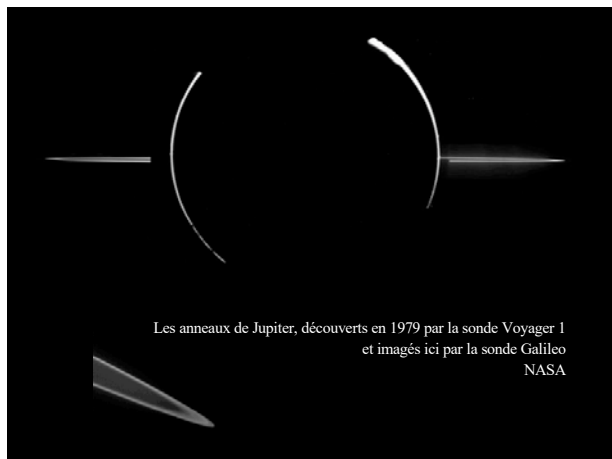
298



299



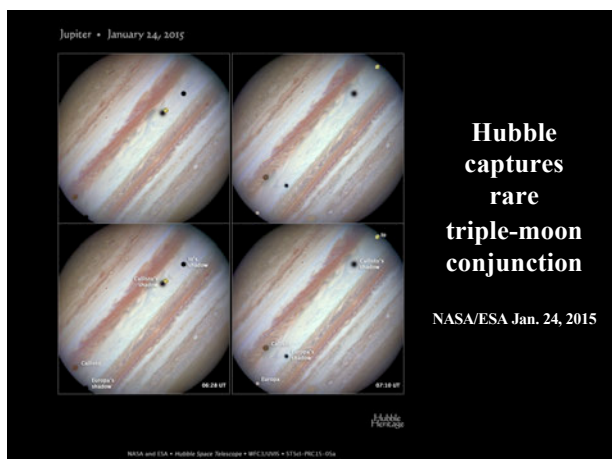
300



301



302



304

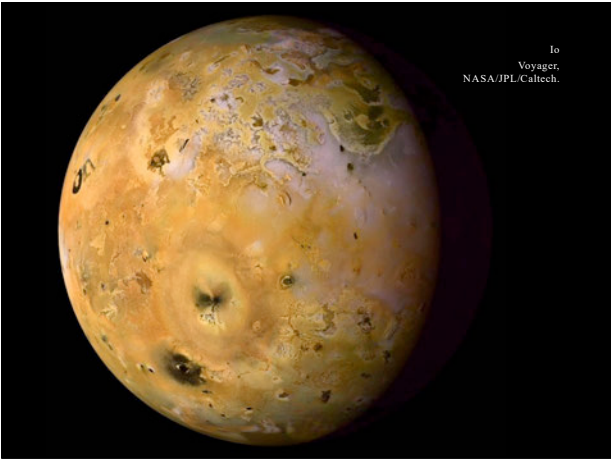


305

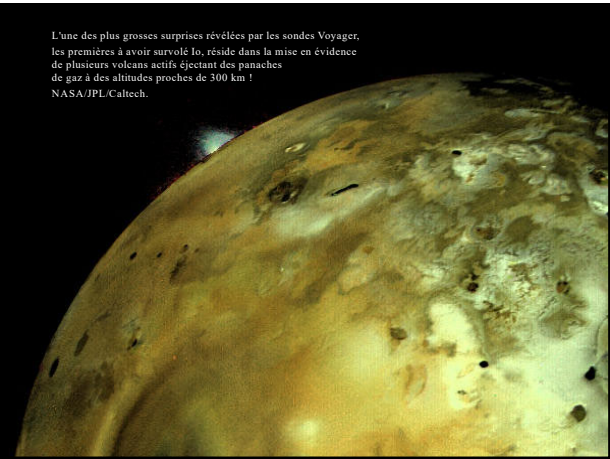
Paramètres physiques des 4 principaux satellites de Jupiter et de quelques autres corps célestes pour comparaison

	CALLISTO	GANYMEDE	EUROPA	IO	MOON	MERCURY	PLUTO	TITAN	TRITON	CERES	EARTH
Diameter (km)	4821	5262	3122	3643	3475	4879	2390	5150	2705	950	12,756
Mass (10 ²² kg)	107.6	148.2	48.0	89.3	73.5	330.2	12.5	134.6	21.5	0.87	5970
Density (kg/m ³)	1830	1940	3010	3530	3340	5427	1790	1881	2050	2000	5515
Gravity (m/s ²)	1.24	1.43	1.31	1.80	1.6	3.7	0.6	1.35	0.78	0.26	9.8
Escape Velocity (km/s)	2.4	2.7	2.0	2.6	2.4	4.3	1.1	2.6	1.5	0.5	11.2
Rotation Period (hours)	400.5	171.7	85.2	42.5	655.7	1407.6	-153.3	382.7	-141.0	9.1	23.9
Orbital Distance (10 ³ km)	1883	1070	671	422	384	57,900	5,870,000	1222	355	414,000	149,600
Perigee (10 ³ km)	1870	1068	664	420	363	46,000	4,435,000	1186	355	381,000	147,100
Apoapse (10 ³ km)	1896	1072	678	424	406	69,800	7,304,300	1258	355	447,000	152,100
Orbital Period (days)	16.7	7.2	3.6	1.8	27.3	88.0	90,588	15.9	5.9	1680	365.2
Orbital Velocity (km/s)	8.2	10.9	13.7	17.3	1.0	47.9	4.7	5.6	4.4	17.9	29.8
Orbital Inclination (degrees)	0.51	0.21	0.47	0.04	5.1	7.0	17.2	0.33	157.3	10.6	0.0
Orbital Eccentricity	0.007	0.0015	0.0101	0.004	0.055	0.205	0.244	0.029	0.000	0.079	0.017
Mean Temperature (°C)	-155	-160	-170	-155	-20	167	-225	-180	-215	-105	15
Global Magnetic Field?	No	Yes	No	Possible	No	Yes	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown	Yes

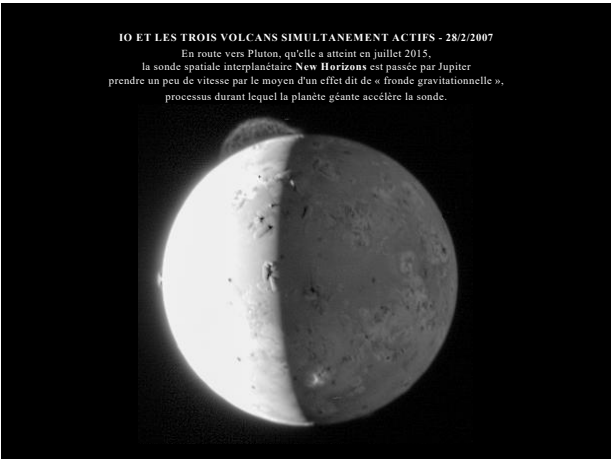
308



309



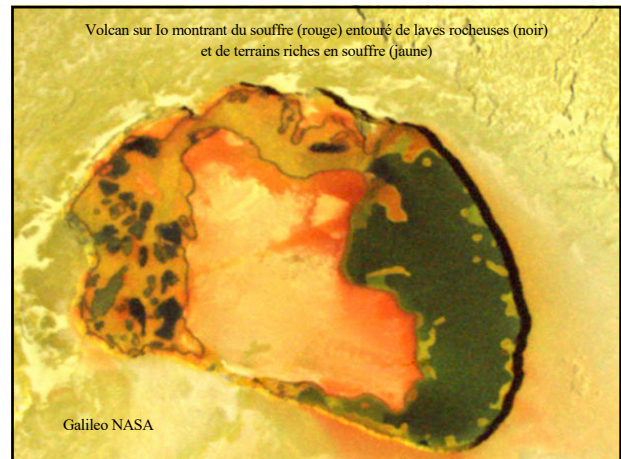
310



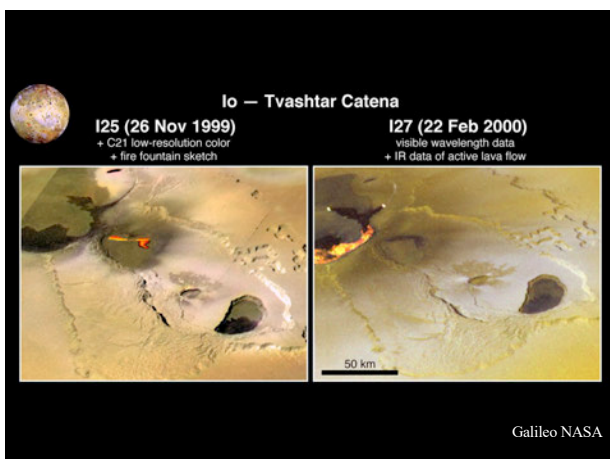
311



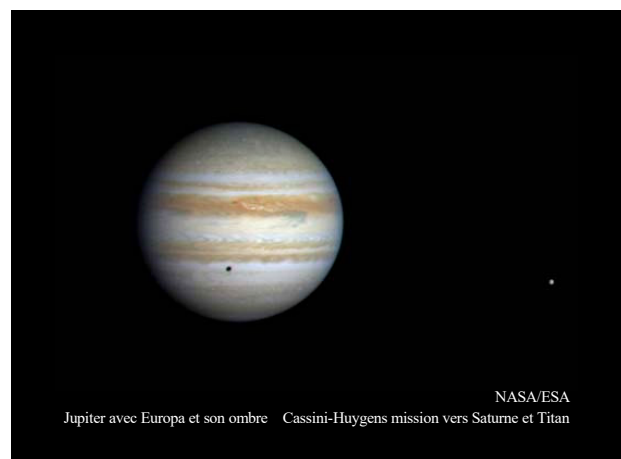
312



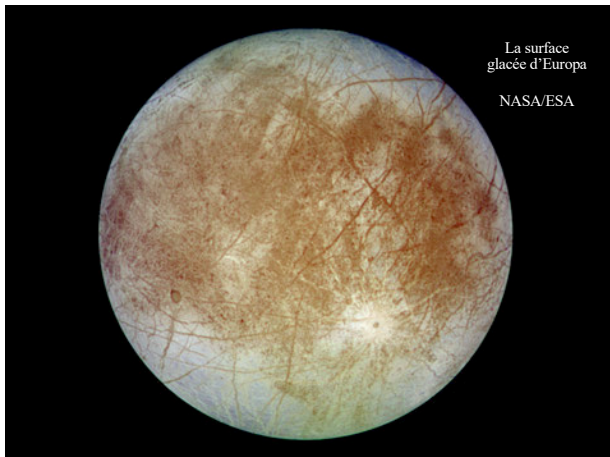
313



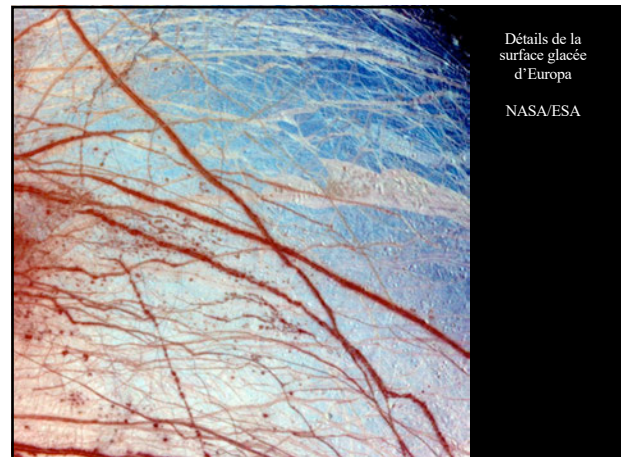
314



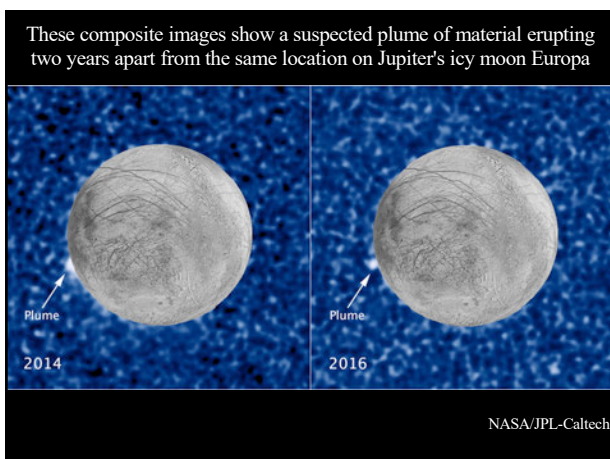
318



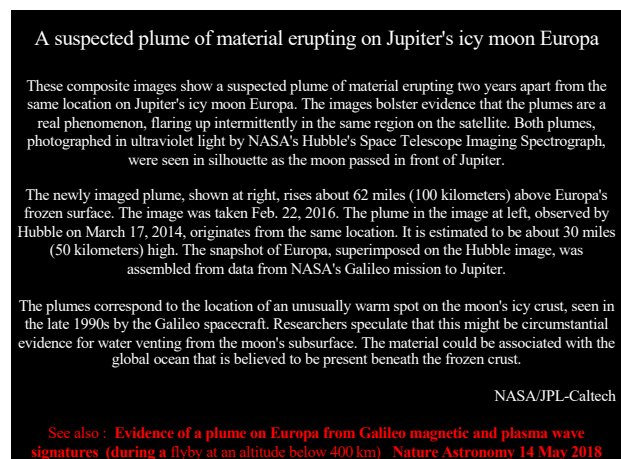
319



320

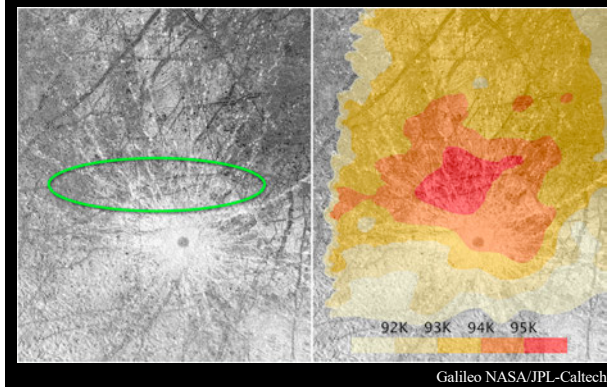


321



322

These images of the surface of the Jovian moon Europa focus on a "region of interest" on the icy moon.



323

These images of the surface of the Jovian moon Europa, taken by NASA's Galileo spacecraft, focus on a "region of interest" on the icy moon.

The image at left traces the location of the erupting plumes of material, observed by NASA's Hubble Space Telescope in 2014 and again in 2016. The plumes are located inside the area surrounded by the green oval.

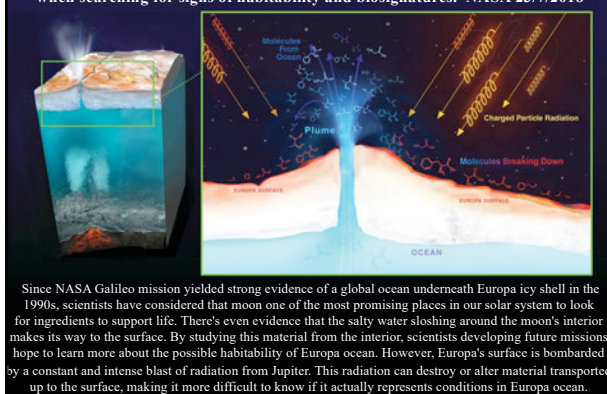
The green oval also corresponds to a warm region on Europa's surface, as identified by the temperature map at right. The map is based on observations by the Galileo spacecraft. The warmest area is colored bright red.

Researchers speculate these data offer circumstantial evidence for unusual activity that may be related to a subsurface ocean on Europa. The dark circle just below center in both images is a crater and is not thought to be related to the warm spot or the plume activity.

Galileo HST NASA/JPL-Caltech

324

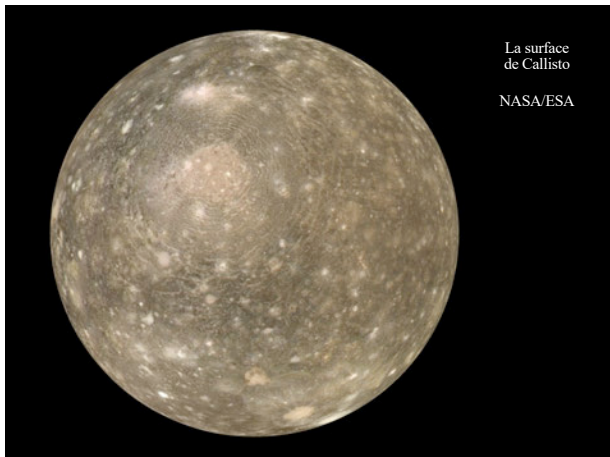
New comprehensive mapping of the radiation pummeling Jupiter icy moon Europa reveals where scientists should look -- and how deep they'll have to go -- when searching for signs of habitability and biosignatures. NASA 23/7/2018



325



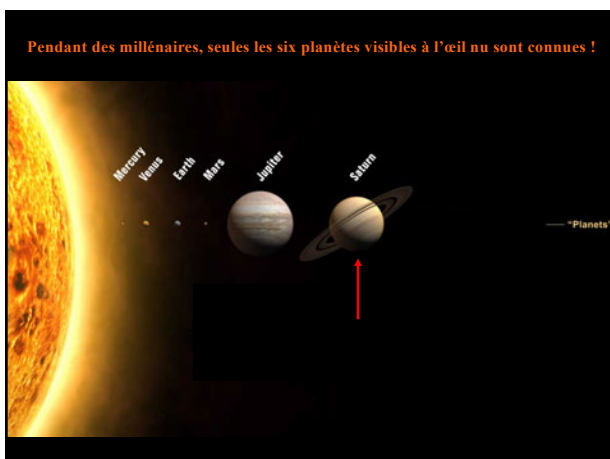
326



327

02.A.5
Les planètes joviennes
 Jupiter, **Saturne**, Uranus, Neptune

328



329

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

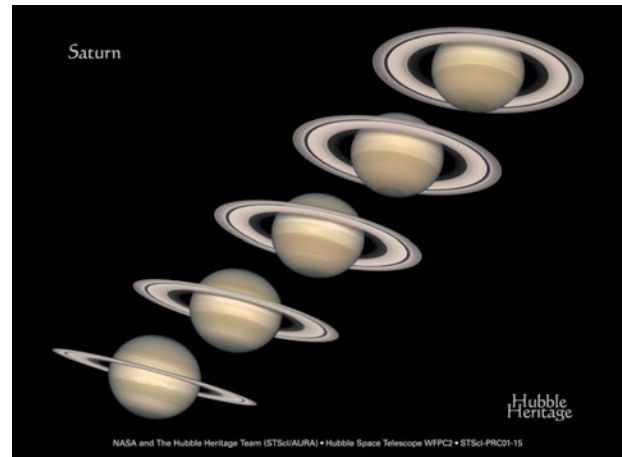
	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	---	1.42	28	---
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	79
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	62
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

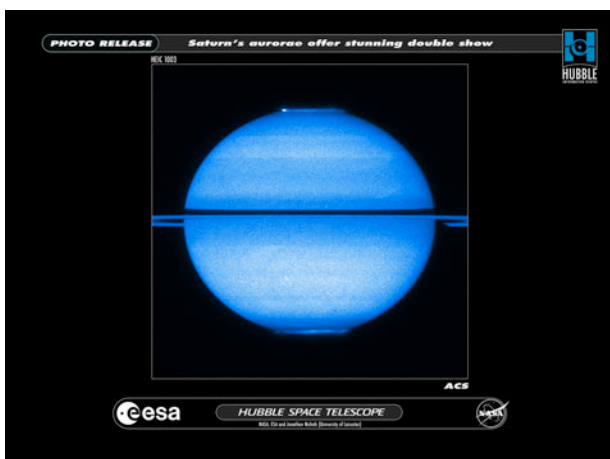
331



332



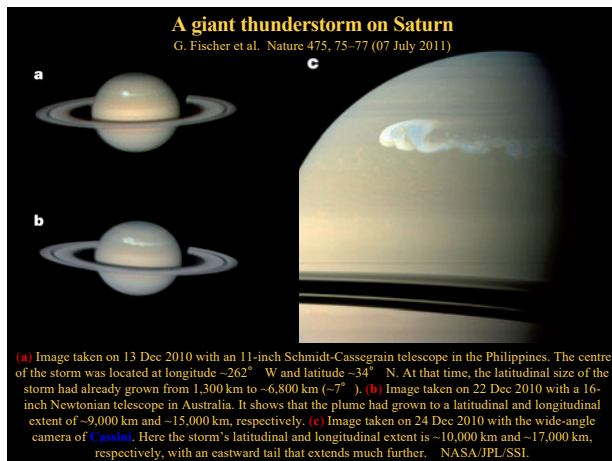
333



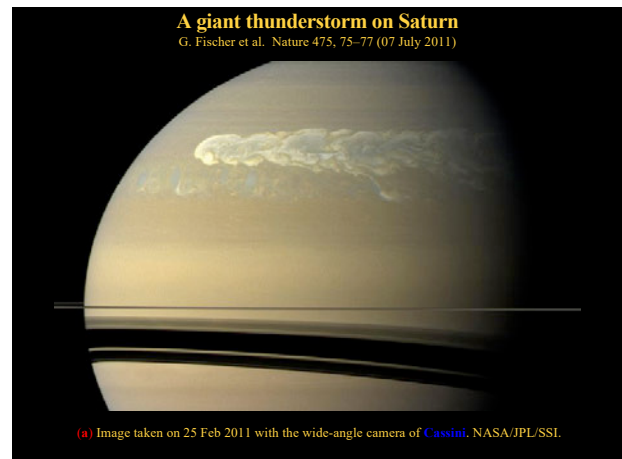
334



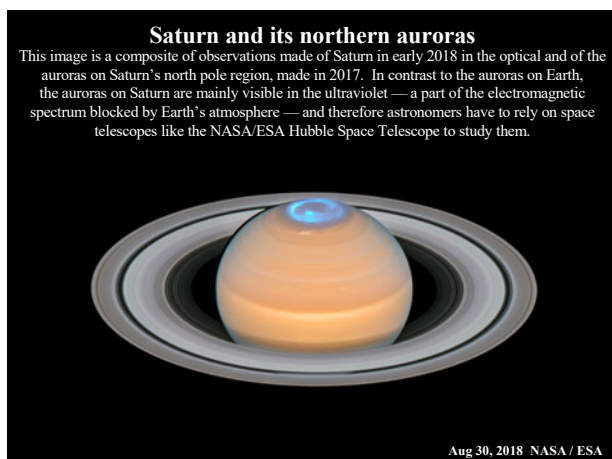
335



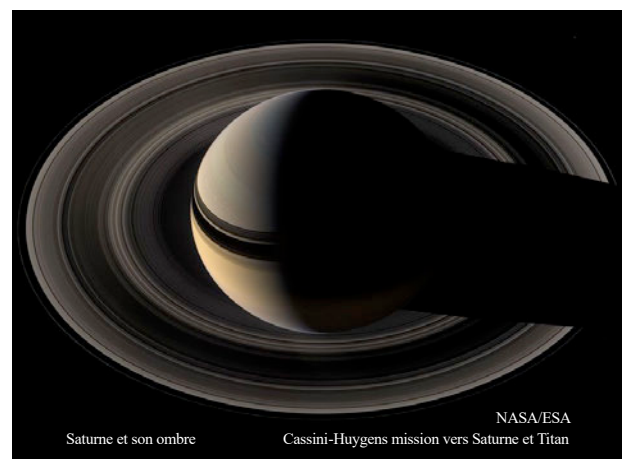
336



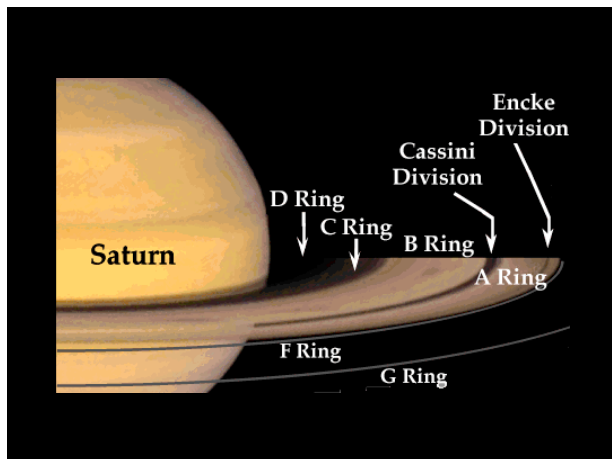
337



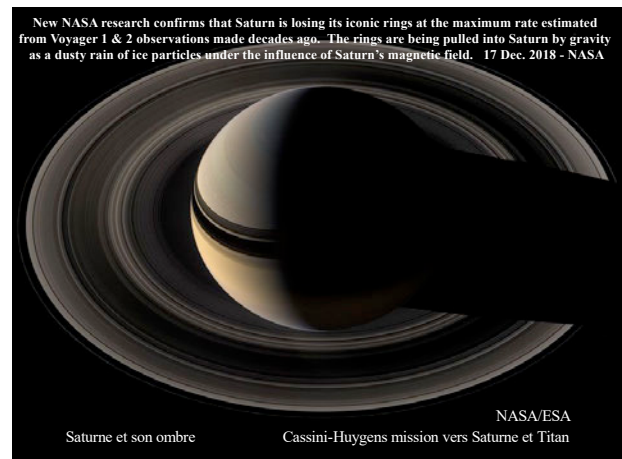
338



339



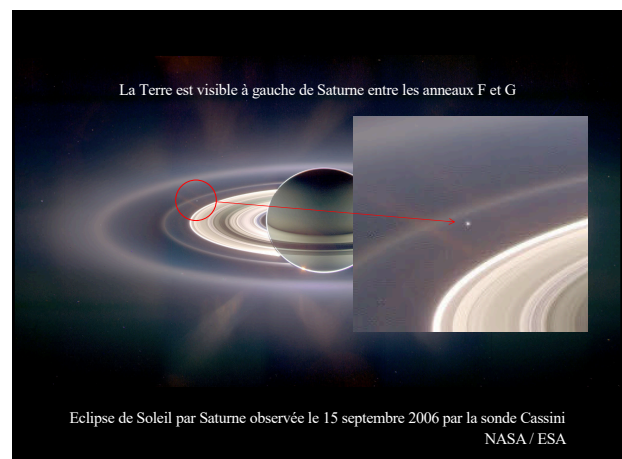
340



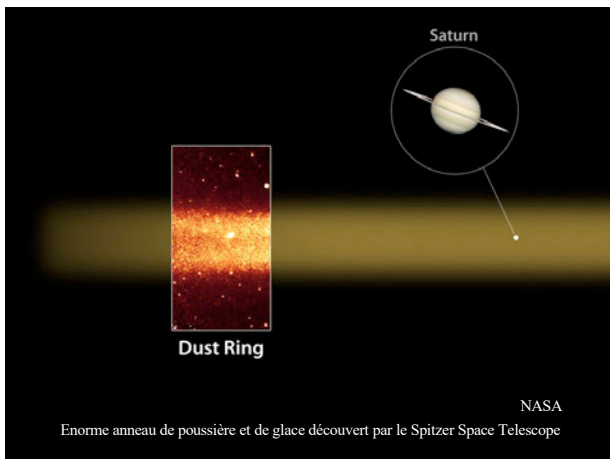
341



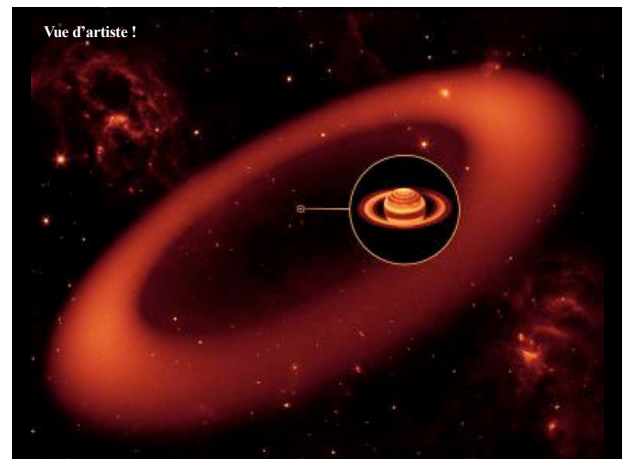
342



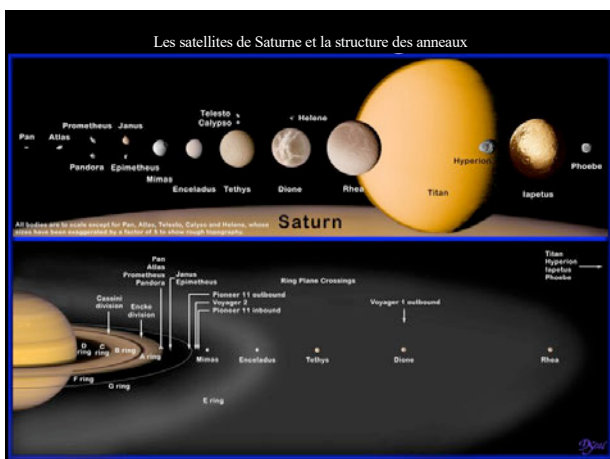
343



344



345



346

Cassini–Huygens

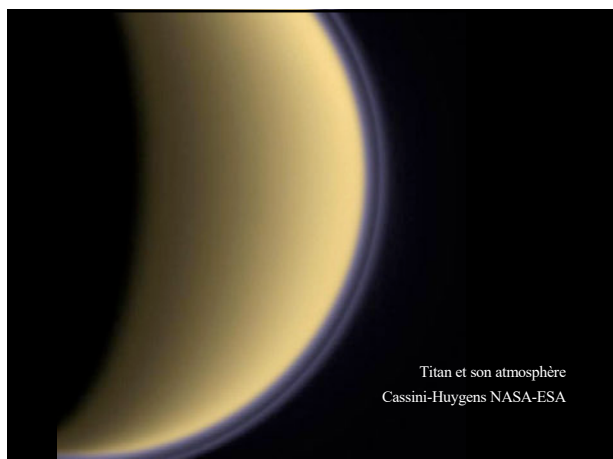
La sonde Cassini–Huygens atteint Saturne le 1 juillet 2004.

Entre octobre 2004 et mai 2008, le module Cassini effectue un relevé radar de la surface de Titan et prend des photographies à haute résolution depuis des distances inférieures à 1000 km.

Le module Huygens se pose sur la surface le 14 janvier 2005.

Titan est le corps céleste le plus éloigné de la Terre à avoir reçu à sa surface une sonde spatiale.

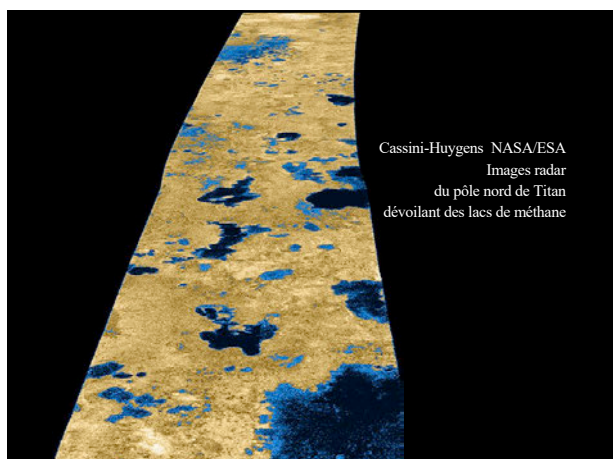
347



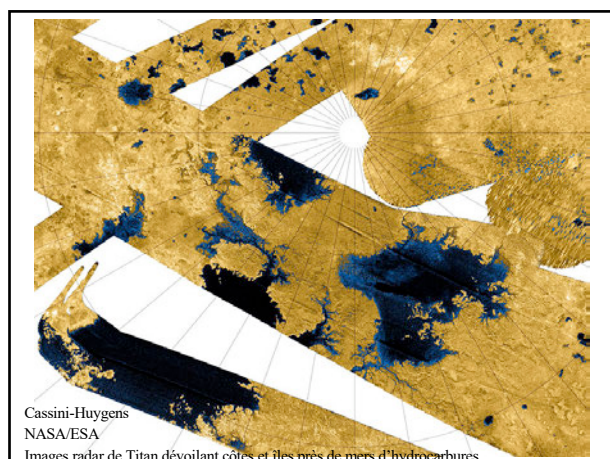
348



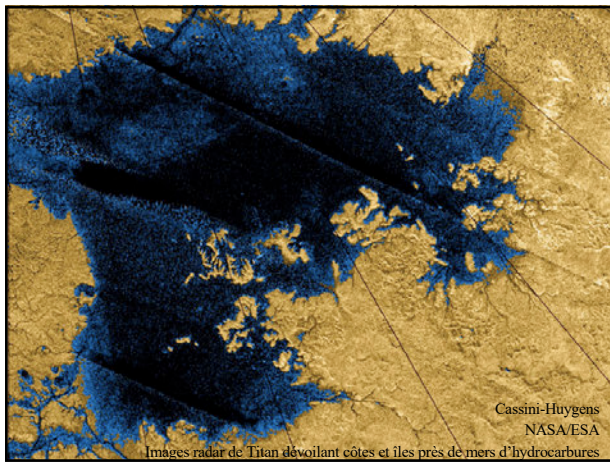
349



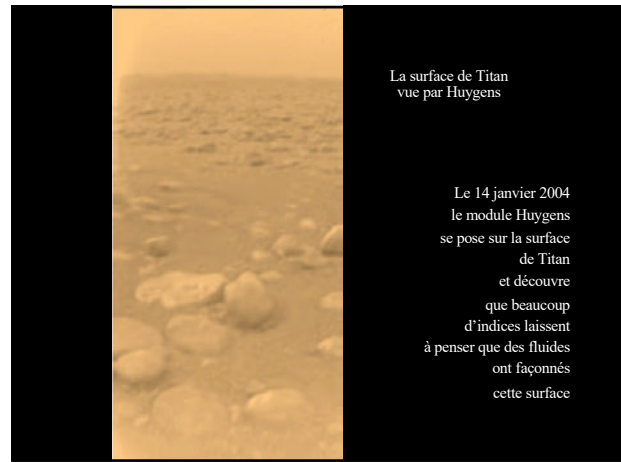
350



351



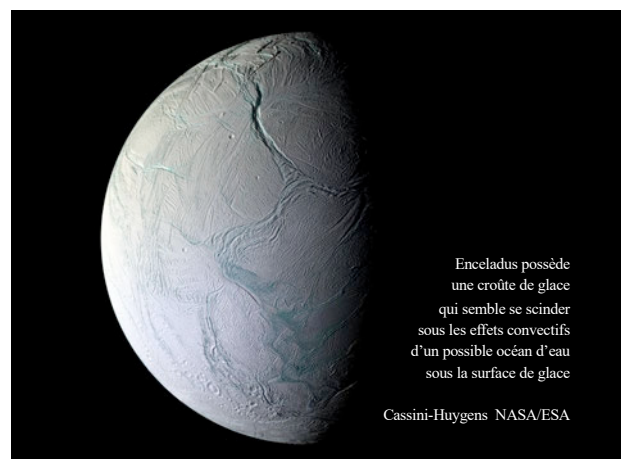
352



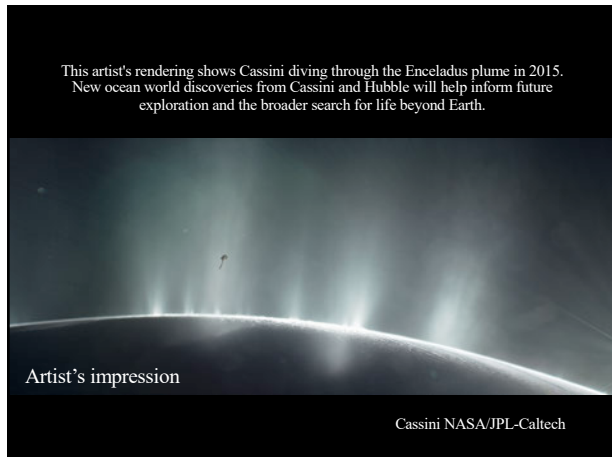
353



354



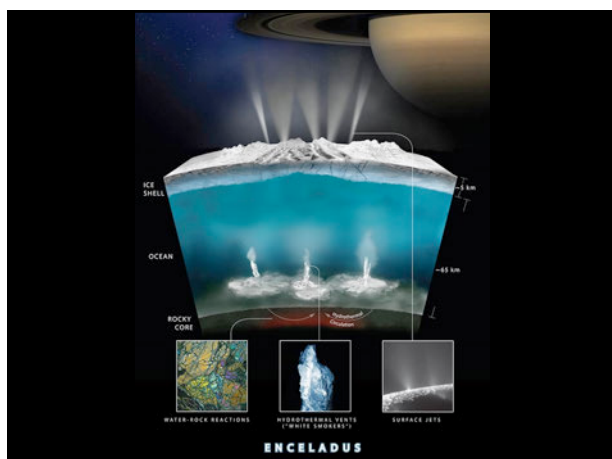
355



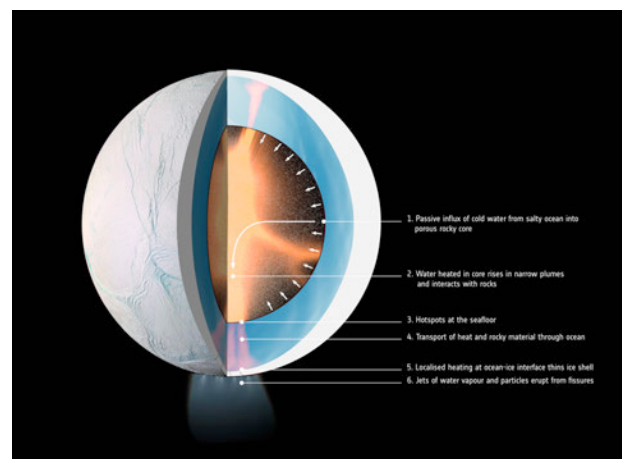
356



357



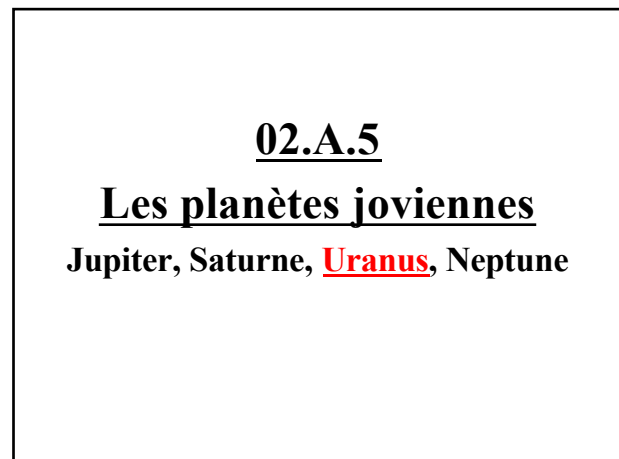
358



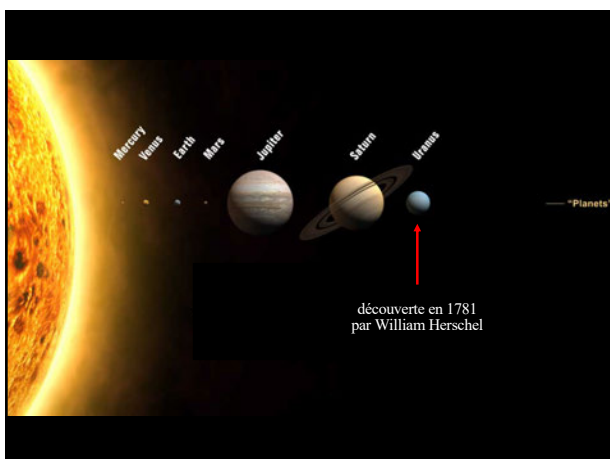
359



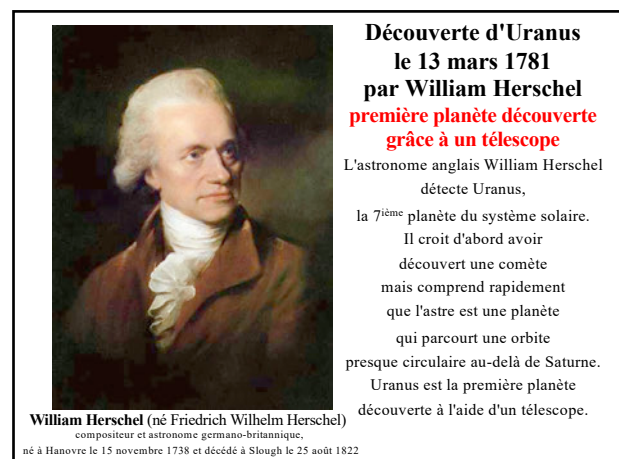
365



371



372

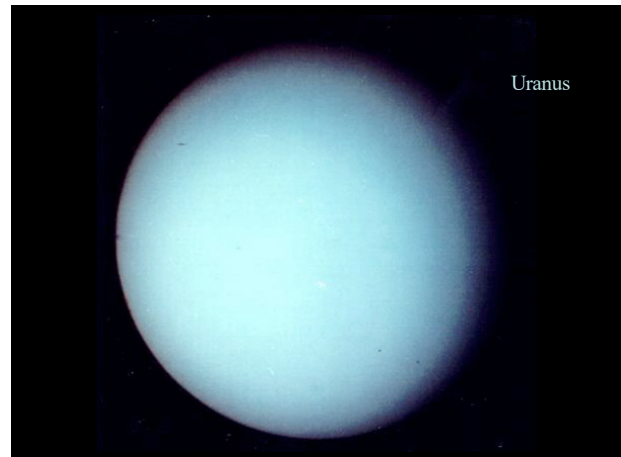


373

Paramètres physiques des planètes
(valeurs comparées à celle de la Terre)

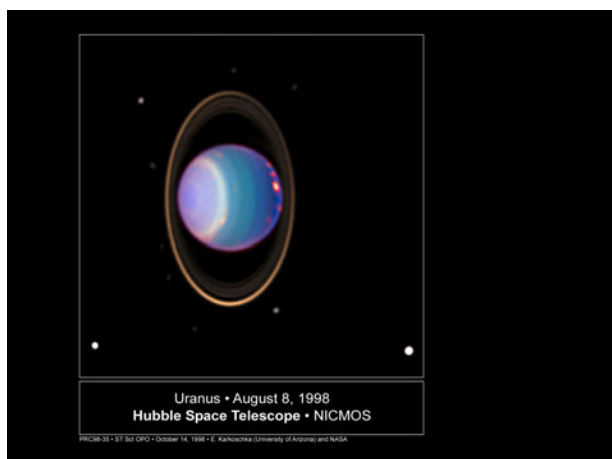
	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Plute*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

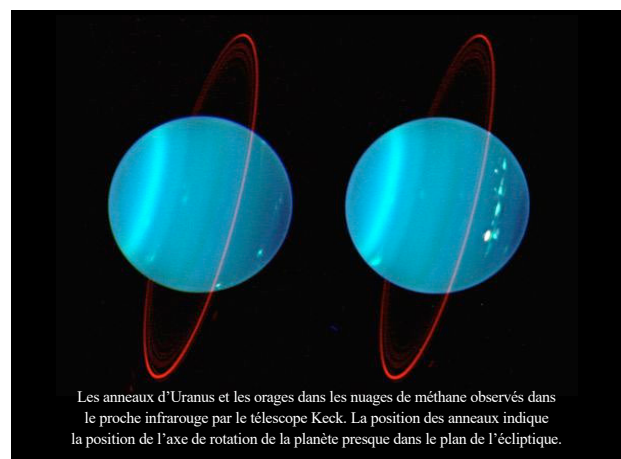


374

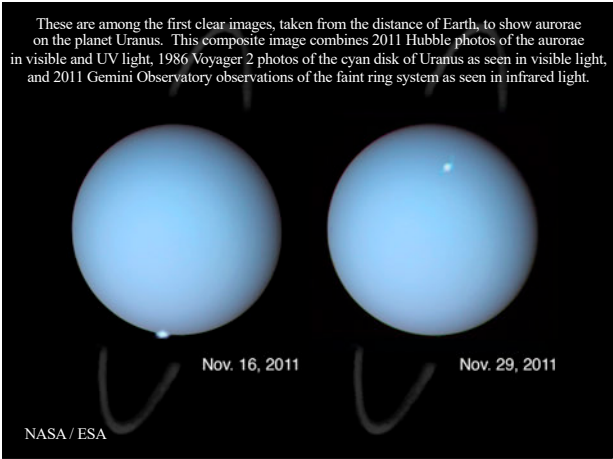
375



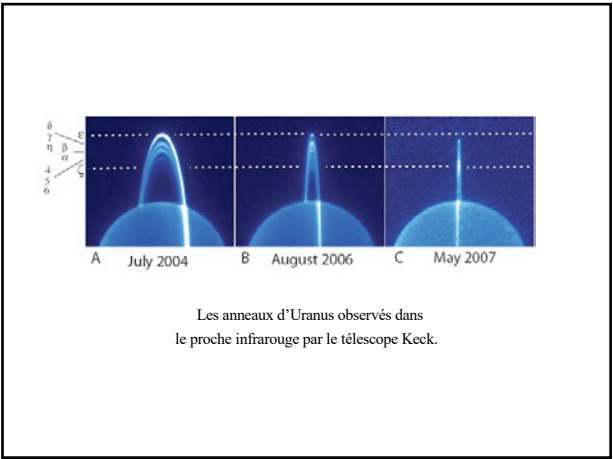
376



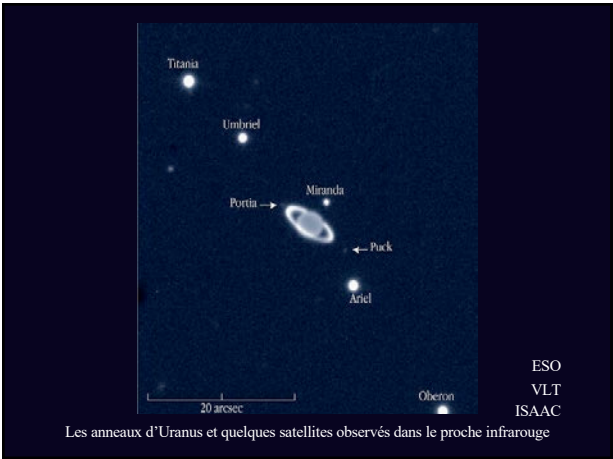
377



378



379



380



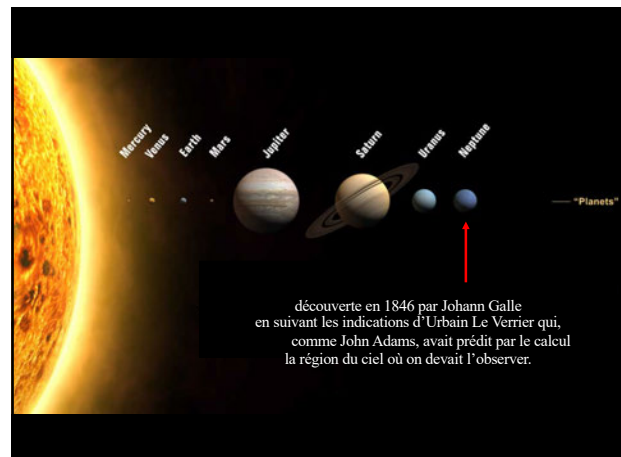
381

02.A.5

Les planètes joviennes

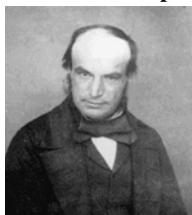
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune

382



383

Le triomphe de la mécanique céleste



John Couch Adams

mathématicien et astronome anglais
né le 18 juin 1819 à Lamez, Cornwall
décédé le 21 janvier 1892 à Cambridge

Durant ses études à Cambridge, John Adams prédit l'existence de Neptune dans une note datée du **3 juillet 1841** et retrouvée seulement après son décès. Ses travaux se basent sur les calculs des perturbations des orbites des planètes connues alors.

« Formed a design at the beginning of this week of investigating, as soon as possible after taking my degree, the irregularities in the motion of Uranus, which are as yet unaccounted for, in order to find whether they may be attributed to the action of an undiscovered planet beyond it ; and, if possible, thence to determine the elements of its orbit approximately, which would lead probably to its discovery. »

Ayant brillamment terminé ses études, Adams se concentre sur le problème de la planète trans-uraniennne. En octobre 1845, il donne ses prédictions de la position dans le ciel du nouvel objet à George Airy, l'Astronome royal. Ce dernier atermoie pendant 9 mois, jusqu'à ce qu'il entende parler de travaux similaires par Urbain Le Verrier à Paris.

384

Le triomphe de la mécanique céleste



Urbain Jean Joseph Le Verrier

mathématicien et astronome français
né le 11 mars 1811 à Saint-Lô,
décédé le 23 septembre 1877 à Paris

La planète Uranus découverte par William Herschel en 1781 présentait des irrégularités par rapport à l'orbite qu'elle aurait dû avoir suivant la loi de la gravitation universelle d'Isaac Newton.

Encouragé par François Arago, Le Verrier se lance en 1844 dans le calcul des caractéristiques de cette nouvelle planète (masse, orbite, position actuelle), dont il communiquera les résultats à l'Académie des Sciences, le **31 août 1846**.

385

Le triomphe de la mécanique céleste

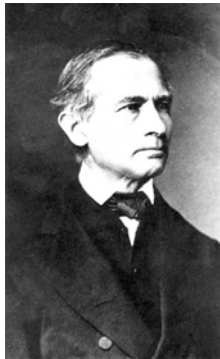
Johann Gottfried Galle

astronome allemand 1812 - 1910

Neptune a été découverte par Galle, le

23 septembre 1846 en suivant les indications données par Urbain Le Verrier, qui avait prévu par calculs la région du ciel où on pourrait la trouver.

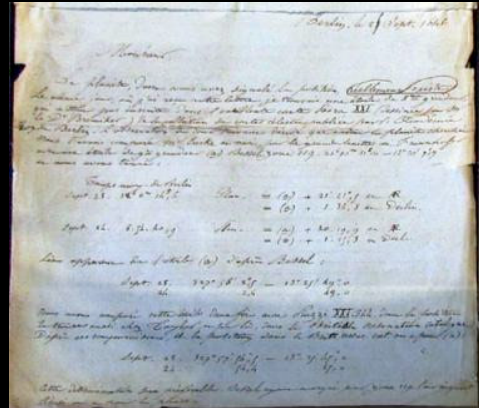
Neptune (dieu romain des océans), invisible à l'œil nu, n'apparaît comme un disque bleu-vert qu'à travers un télescope.



Neue Berliner Sternwarte, Kreuzberg

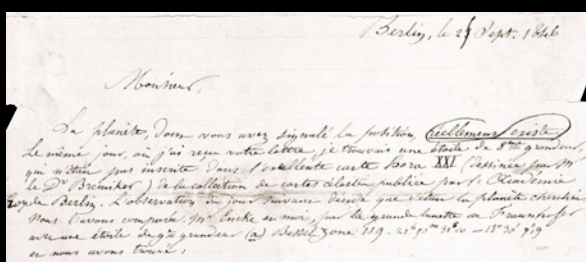
387

Lettre par laquelle J. G. Galle annonce à U. Le Verrier son observation de Neptune durant la nuit du **23 au 24 septembre 1846**

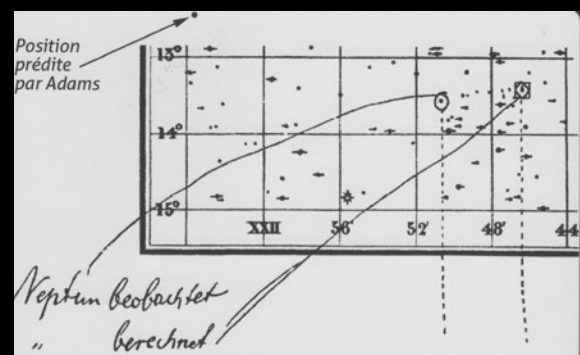


388

Lettre par laquelle J. G. Galle annonce à U. Le Verrier son observation de Neptune durant la nuit du **23 au 24 septembre 1846**



389



Sur cette portion de carte du ciel qui a permis la découverte de Neptune, Galle a porté la position prédite par Le Verrier (Neptun berechnet = Neptune calculée) et la position réelle (Neptun beobachtet = Neptune observée). La position prédite par Adams est également indiquée

390

Le triomphe de la mécanique céleste

Le Verrier prédit la position de Neptune le 31 août 1846 et écrit à son collègue Galle. Le soir de la réception de la lettre, Galle, aidé de Heinrich Louis d'Arrest, découvre la nouvelle planète à moins d'un degré de la position prédite.

Cette découverte est triomphalement annoncée par Arago à l'Académie le 5 octobre



François ARAGO
(1786 - 1853)
Peint par Charles Steuben en 1832

« M. Arago donne lecture d'une Lettre de M. Galle, de Berlin, à M. Le Verrier, en date du 25 septembre. Les premières lignes de cette Lettre sont ainsi conçues : « La planète dont vous avez signalé la position existe réellement¹² [...] » M. Arago a trouvé dans la Lettre de l'observateur de Berlin, l'occasion de tracer avec détail l'histoire de la mémorable découverte de M. Le Verrier. « M. Le Verrier a aperçu le nouvel astre sans avoir besoin de jeter un seul regard vers le ciel ; il l'a vu au bout de sa plume [...] Il était [...] indispensable de procéder à l'exécution de cartes nouvelles, et embrassant jusqu'aux étoiles de dixième grandeur, avant de se livrer, avec des chances assurées de réussite, à la recherche du nouvel astre. Tel était, pour l'espace très-circonscrit en dehors duquel, suivant M. Le Verrier, la planète ne pouvait pas se trouver, le travail minutieux qu'on dût commencer à Paris. A Berlin, ce soin devint superflu : on y possédait déjà des cartes détaillées du ciel. Par une heureuse coïncidence, la carte de la 21^e Heure,

391



392

Paramètres physiques des planètes (valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	80
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

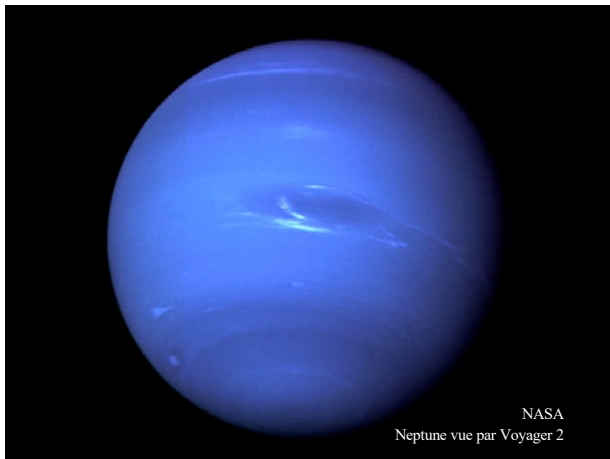
393

Paramètres physiques des planètes (valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earths)	Diameter (earths)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earths)	Surface Gravity (earths)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	80
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	14
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	3
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

394



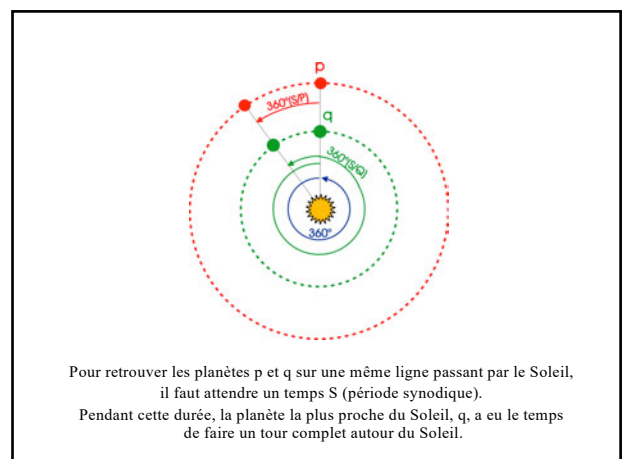
395



396



397



398

Une année de Neptune

La planète Neptune fut observée le **23 septembre 1846** par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle, grâce aux calculs des astronomes britannique John Couch Adams en 1845 et français Urbain Le Verrier en 1846.

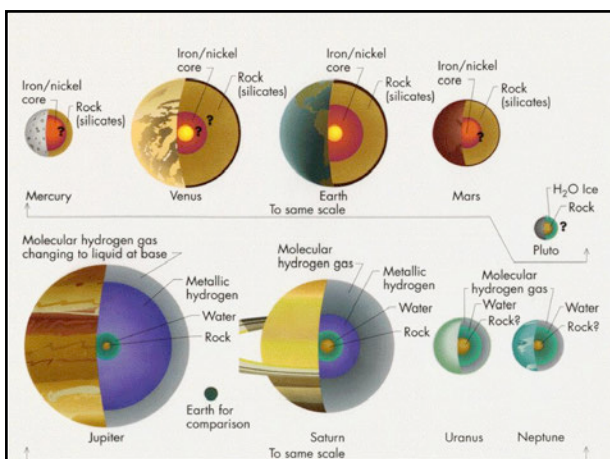
La période de révolution de Neptune autour du Soleil étant de 164,89 ans, cette planète n'est retournée que le **12 juillet 2011** au point du ciel où Galle l'avait observée 165 ans plus tôt.

399

02.A.6

La structure interne des planètes telluriques et joviennes

400

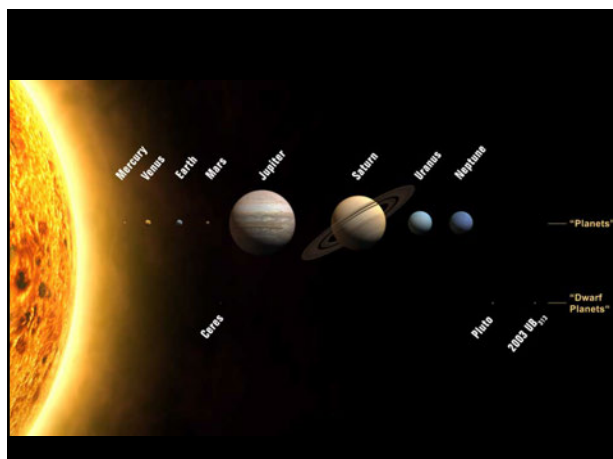


401

02.A.7

Pluton, les autres planètes naines et les TNOs

402



403

Le triomphe de la patience



Clyde William Tombaugh
astronome américain
né le 4 février 1906, Streator, Illinois
décédé le 17 janvier 1997, Las Cruces, NM
astronome américain, a découvert en 1930
la planète naine Pluton.

Fils de paysan, Tombaugh se passionne très tôt pour l'astronomie et utilise les télescopes qu'il fabrique à partir de pièces de voitures et de machines agricoles. En 1928, il décide d'envoyer des croquis de Jupiter et de Mars réalisés à l'aide de son télescope de 22 cm, à l'Observatoire Lowell, Flagstaff, Arizona, simplement pour recueillir quelques commentaires d'experts. Impressionné par ses croquis, Vesto Slipher, le directeur de l'observatoire, engage Tombaugh afin qu'il participe à une laborieuse campagne de photographies à l'aide du nouveau télescope de 33 cm de diamètre, encore en assemblage.

Tombaugh arrive à Flagstaff à la mi-janvier 1929. Son travail consiste à rechercher une planète trans-neptunienne dont l'existence a été prédite par Percival Lowell.

L'assemblage du télescope terminé, la campagne photographique commence en avril 1929 (la troisième depuis le début des recherches en 1905). Après une année de pénibles observations, il trouve la planète recherchée le **18 février 1930**. La découverte de **Pluton** est confirmée le mois suivant. En 1932, Tombaugh obtient le droit d'entrer à l'Université du Kansas, directement en deuxième année. Après Pluton, Tombaugh ne produit rien de significatif.

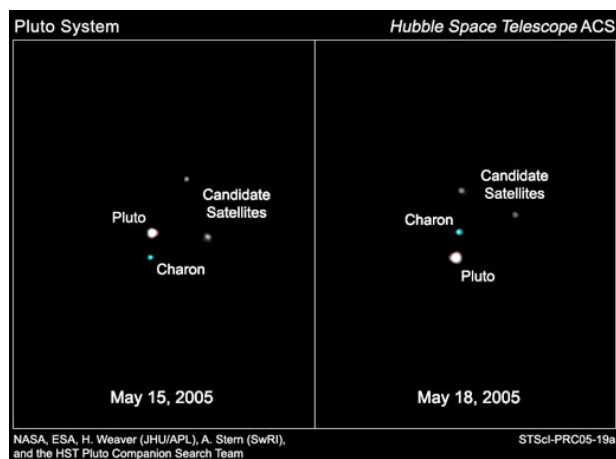
404

Paramètres physiques des planètes (valeurs comparées à celle de la Terre)

	Orbital Distance (AU)	Mass (earth)	Diameter (earth)	Rotational Period (days)	Orbital Period (years)	Density (earth)	Surface Gravity (earth)	Moons
Sol	0.0	330,000	109.2	25.4	...	1.42	28	...
Mercury	0.4	0.06	0.38	59	0.24	0.98	0.38	0
Venus	0.7	0.81	0.95	243	0.62	0.95	0.90	0
Earth	1.0	1.00	1.00	1.00	1.0	1.00	1.00	1
Mars	1.5	0.11	0.53	1.03	1.9	0.71	0.38	2
(Ceres*)	2.8	0.00015	0.07	0.38	4.6	0.38	0.03	0
Jupiter	5.2	317.8	11.2	0.42	11.9	0.24	2.34	63
Saturn	9.5	95.2	9.4	0.44	29.4	0.12	1.16	60
Uranus	19.2	14.5	4.0	0.72	83.7	0.23	1.15	27
Neptune	30.1	17.2	3.9	0.67	163.7	0.30	1.19	13
(Pluto*)	39.4	0.002	0.18	6.40	248.0	0.37	0.04	5
(Eris*)	67.7	0.002?	0.18	~8	557	0.42	?	1

(*Now defined as a "dwarf planet.")

405



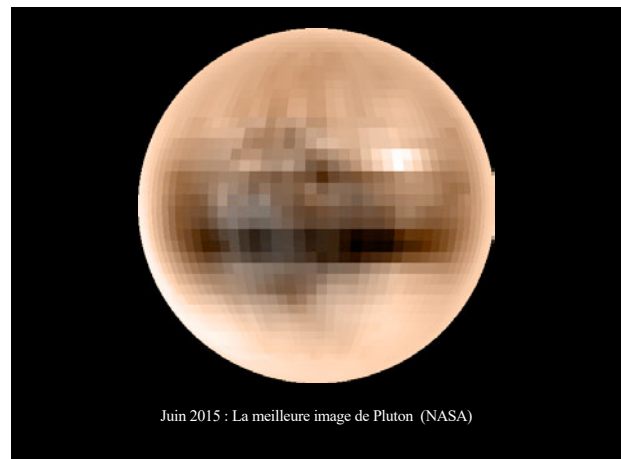
NASA, ESA, H. Weaver (JHU/APL), A. Stern (SwRI),
and the HST Pluto Companion Search Team

STScI-PRC05-19a

406



407



408

La meilleure image de Pluton

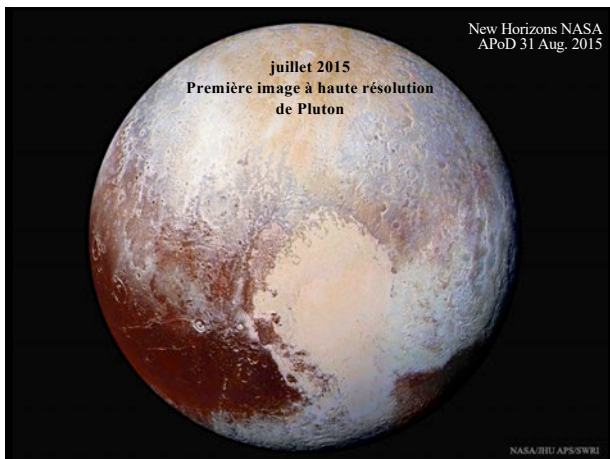
(en juin 2015 !)

- La surface de Pluton est essentiellement brune. L'image visible dans la diapositive précédente représente les vraies couleurs de Pluton et offre la vision avec la plus haute résolution spatiale obtenue à ce jour.
- Aucune sonde spatiale n'a, jusqu'à maintenant, visité Pluton qui est une planète naine, 40 fois plus éloignée du Soleil que ne l'est la Terre.
- L'image précédente a été obtenue en observant, depuis la Terre, les changements de luminosité de Pluton durant toutes les éclipses partielles de la planète naine par son satellite Charon. Cette image montre donc l'hémisphère de Pluton qui fait face à Charon.
- La teinte prédominante brune de Pluton est probablement due pour une grande part à des dépôts de méthane gelés transformés par les rayons lumineux du Soleil, faibles à cette distance mais néanmoins partiellement énergétiques. La bande sombre située sous l'équateur de Pluton présente une coloration plutôt complexe qui pourrait indiquer que des mécanismes inconnus affectent la surface de Pluton.

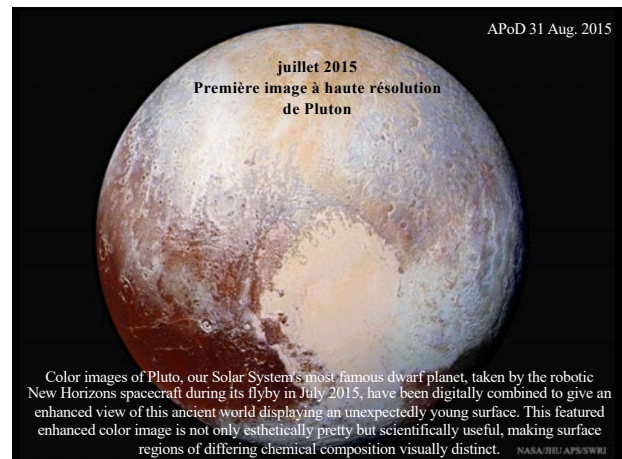
409



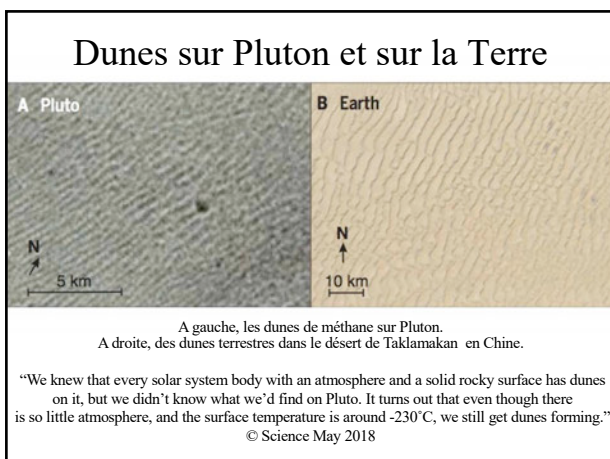
410



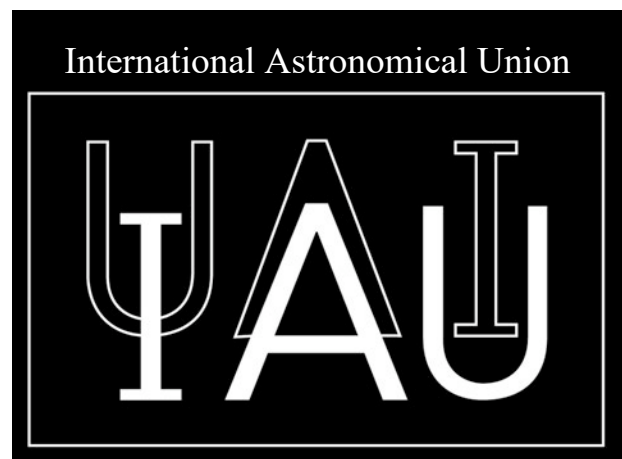
411



412



413



414

AG IAU - août 2006 - Prague

(1) RÉSOLUTION 5A

L'IAU a donc résolu que les "planètes" et autres corps dans notre Système solaire soient définis dans trois catégories distinctes de la façon suivante :

(1) Une "planète" est un corps céleste qui (a) est en orbite autour du Soleil, (b) a suffisamment de masse pour que sa propre gravité surmonte les forces rigides de corps de sorte qu'elle assume une forme hydrostatique d'équilibre (presque ronde), et (c) a délogé le voisinage autour de son orbite.

(2) Une "planète naine" est un corps céleste qui (a) est en orbite autour du Soleil, (b) a suffisamment de masse pour que sa propre gravité surmonte les forces rigides de corps de sorte qu'elle assume une forme hydrostatique ² d'équilibre (presque ronde), (c) n'a pas délogé le voisinage autour de son orbite, et (d) n'est pas un satellite.

(3) Tout autre objet³ excepté les satellites satellisant le Soleil seront désignés collectivement sous le nom de "Petits Corps du Système Solaire" ("Small Solar-System Bodies").

¹Les huit planètes sont : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune.

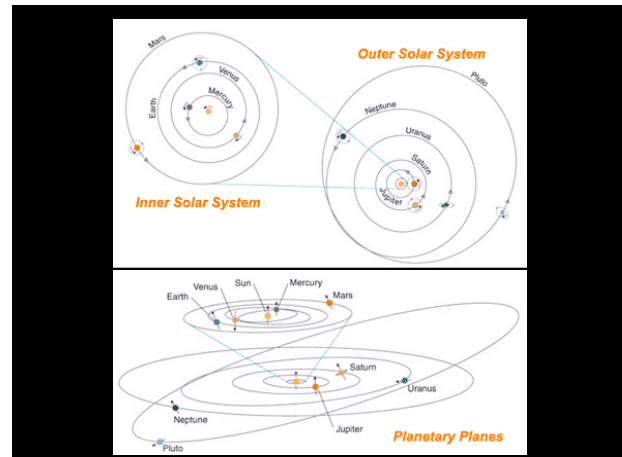
²Une procédure de l'IAU sera établie pour affecter les objets limites dans les catégories de planètes naines ou autres.

³Ceci inclut actuellement la plupart des astéroïdes du Système solaire, de la plupart des objets TransNeptuniens (TNOs), des comètes, et d'autres petits corps.

Résolution de l'IAU : Pluton

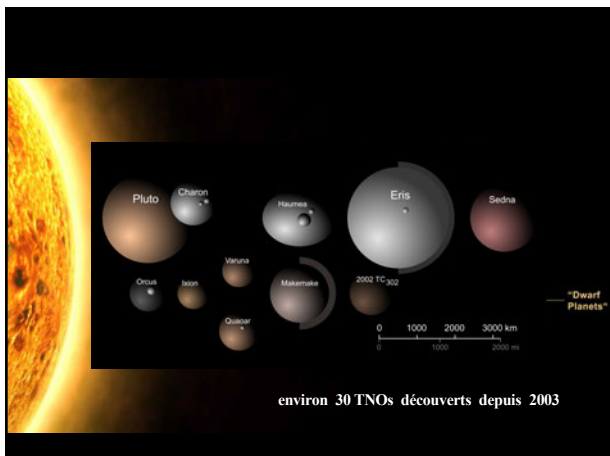
RÉSOLUTION 6A

Pluton est une "planète naine" par la définition ci-dessus et est reconnue comme prototype d'une nouvelle catégorie d'objets transneptuniens.

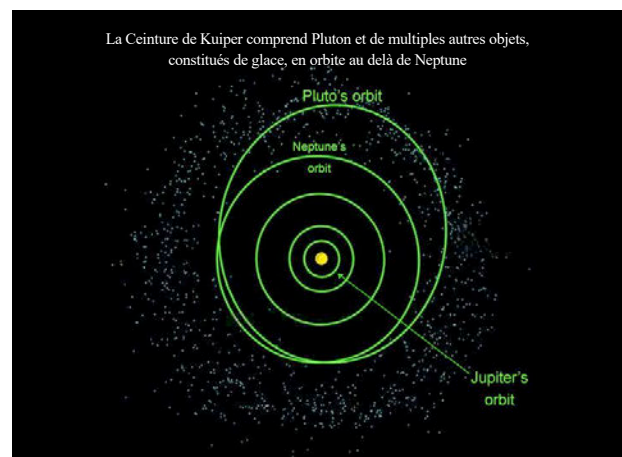


415

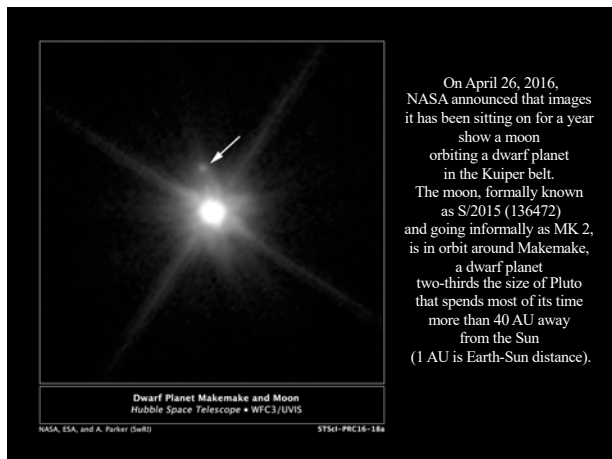
416



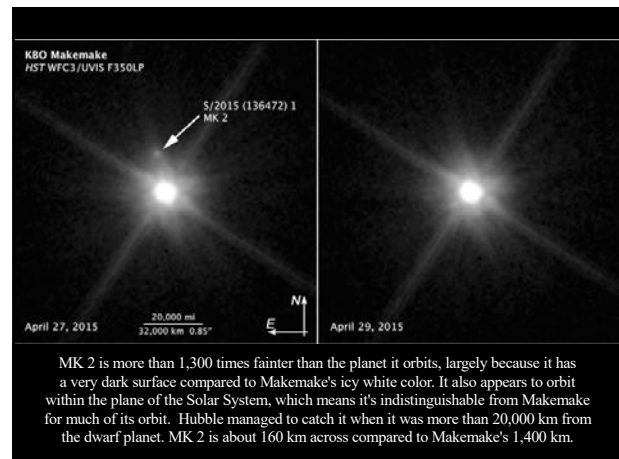
418



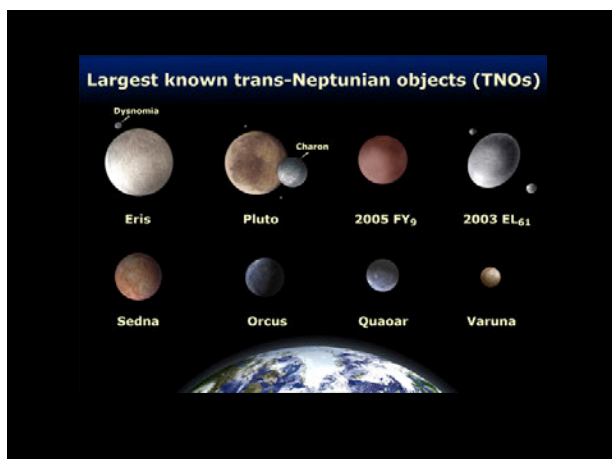
419



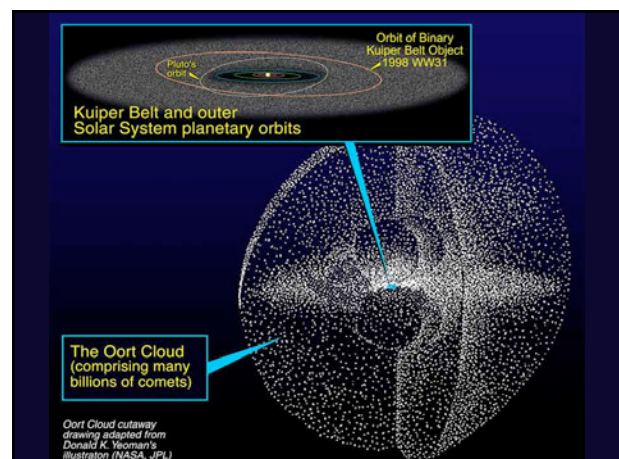
420



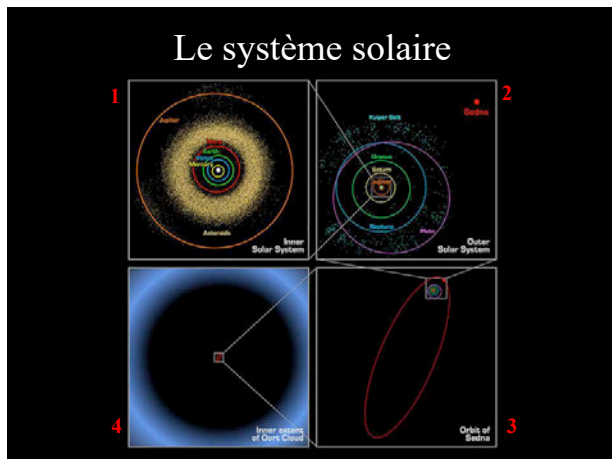
421



422



423



424