

@SOHO – ESA/NASA

Découverte du Système Solaire

Isabelle VAUGLIN – Obs. Lyon



axial tilt 0.01°
Mercury



axial tilt 177.3°
Venus



axial tilt 23.26°
Earth



axial tilt 25.19°
Mars



axial tilt 3.13°
Jupiter



axial tilt 26.73°
Saturn



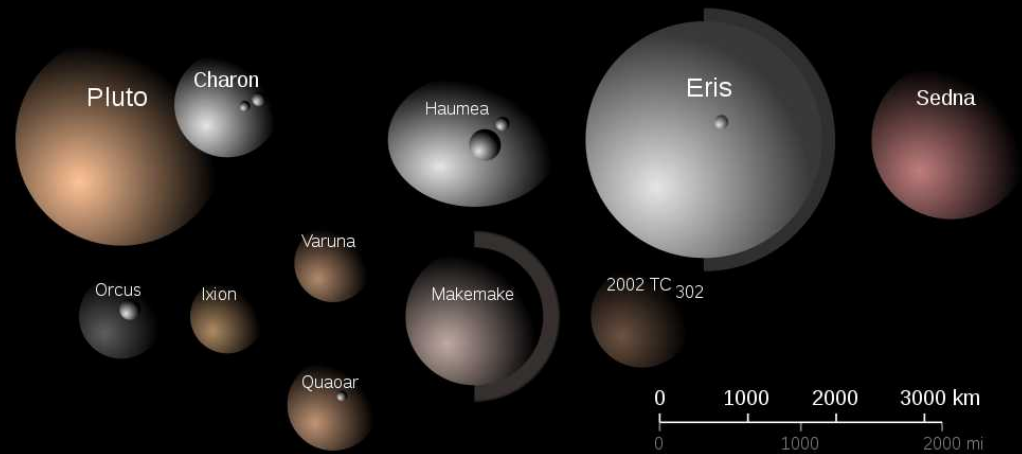
axial tilt 97.77°
Uranus

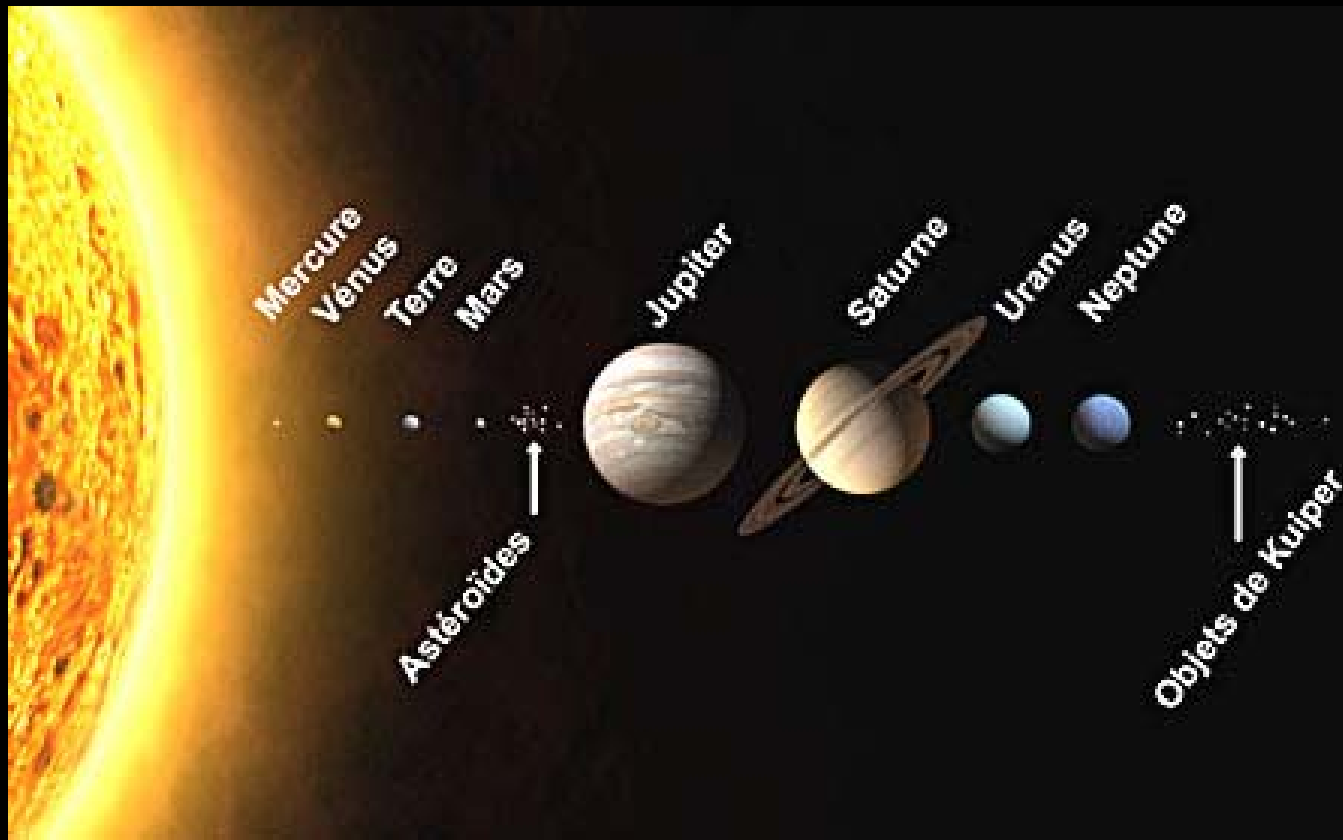


axial tilt 28.32°
Neptune



Curiosity – MSL/NASA-JPL



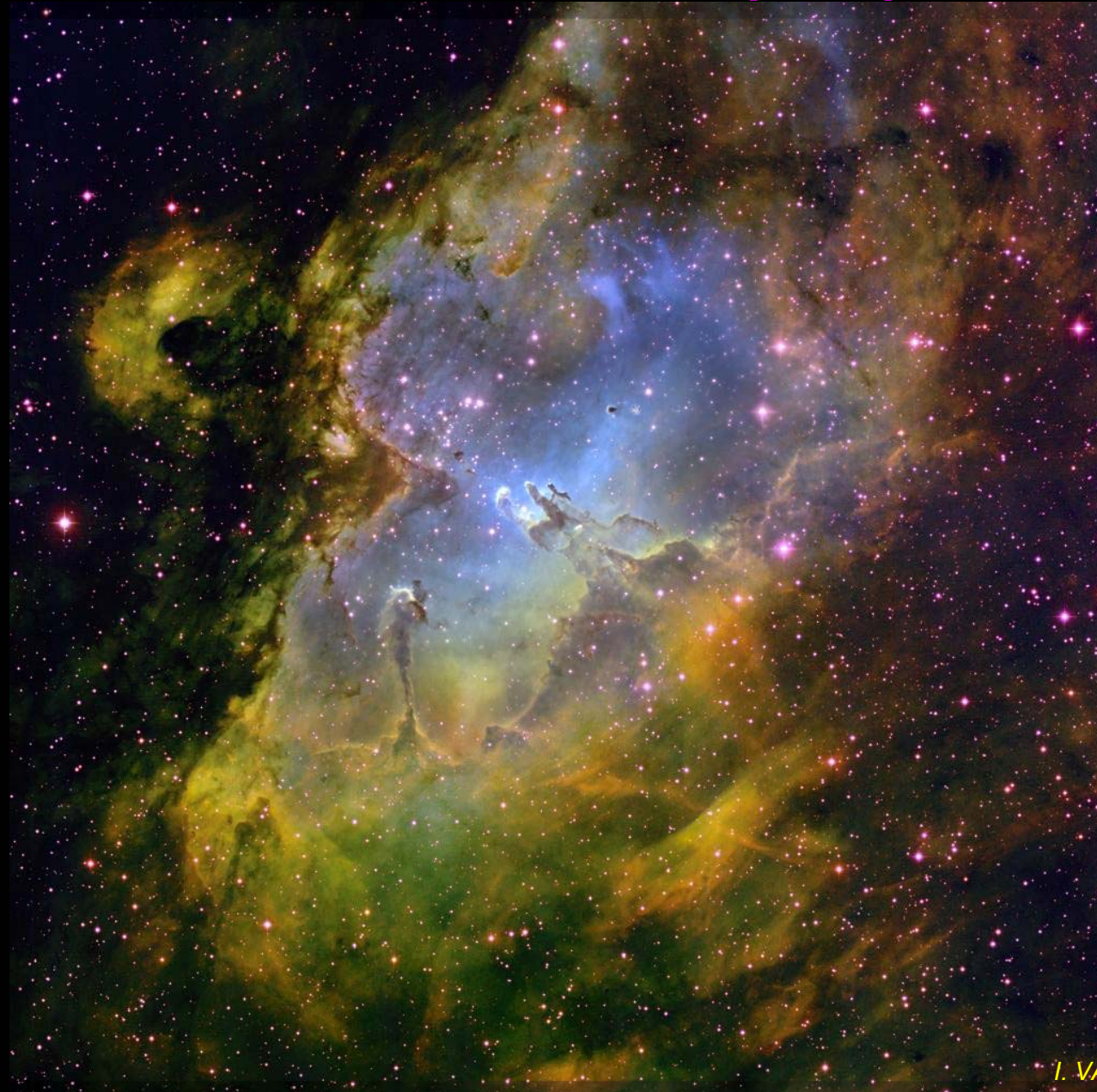


Systeme Solaire

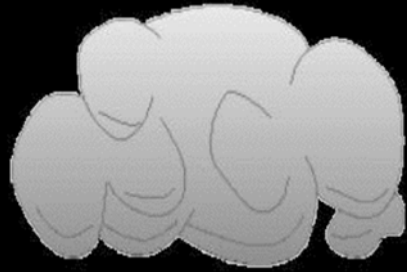
- Le Soleil
- Les corps qui tournent autour
(planètes, planètes naines, astéroïdes, comètes)

Formation des étoiles:

Naissance dans une pouponnière

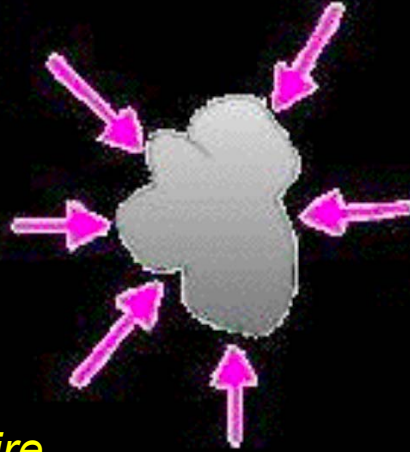


Effondrement



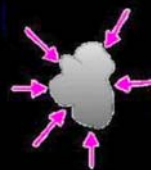
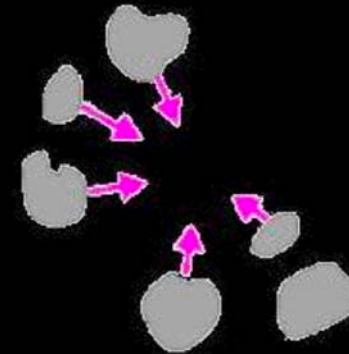
10^4 à $10^5 M_{\odot}$

Le nuage moléculaire s'effondre



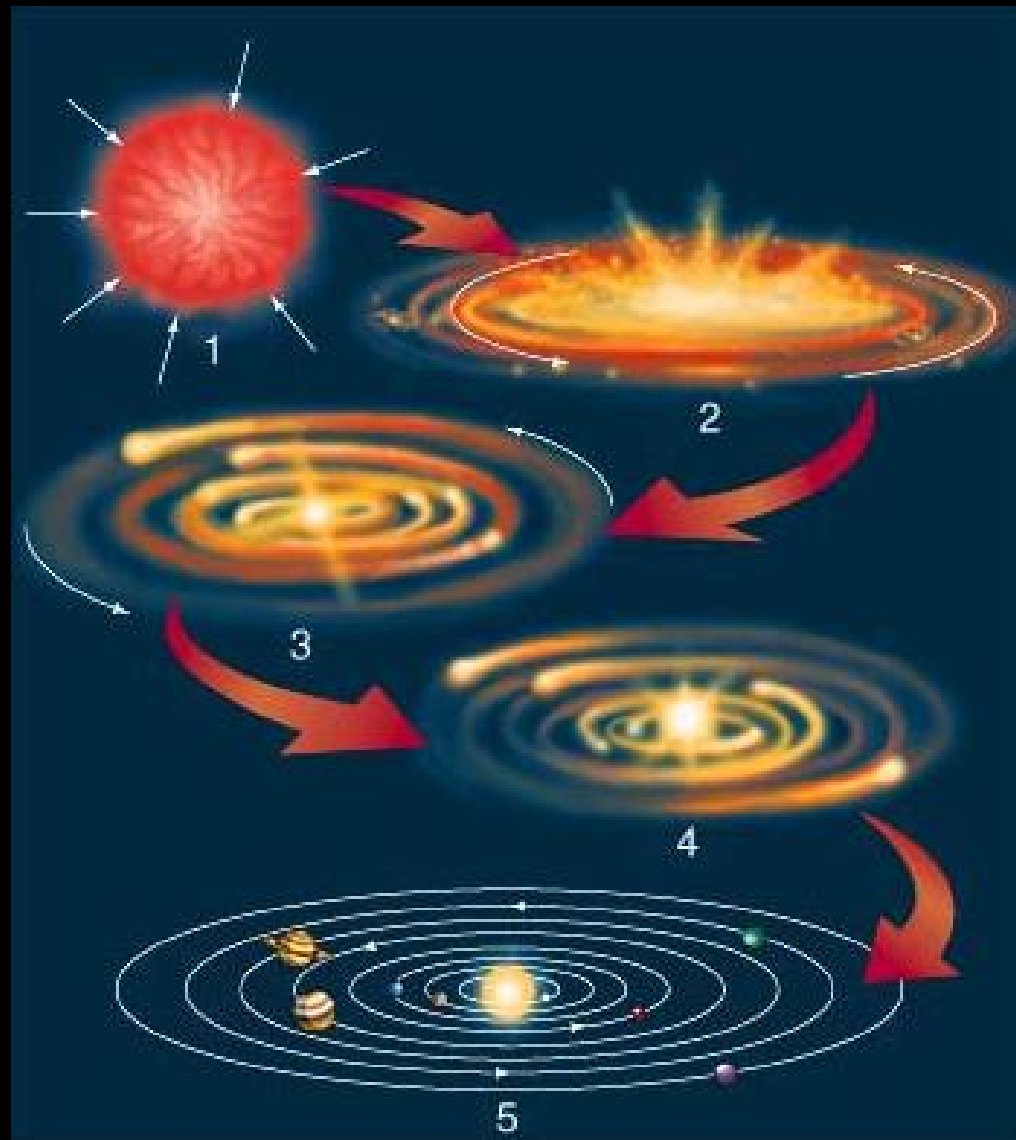
Instabilités:

Fragmentation en de nombreux grumeaux de $M \sim 1$ à $100 M_{\odot}$



Contraction et échauffement de chaque grumeau
⇒ **nébuleuse protostellaire**

Le mieux connu: notre Système Solaire



... on arrive à une étoile!

Ω Une boule de gaz

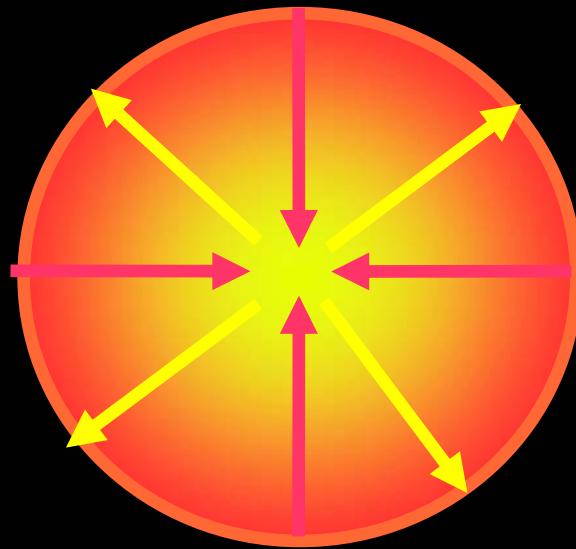
Ω Chaud (de $T \sim 5000 \text{ K}$ à la surface à $T > 10 \cdot 10^6 \text{ K}$ au centre)

Ω Sphérique (essentiellement...)

Ω En équilibre sous l'action conjuguée de la gravité et de la pression du gaz

Ω Rayonnant de l'énergie (émet sa propre lumière grâce à des réactions thermonucléaires)

*force de
gravitation*



*pression
thermonucléaire
& radiative*

la plus people des stars : notre Soleil

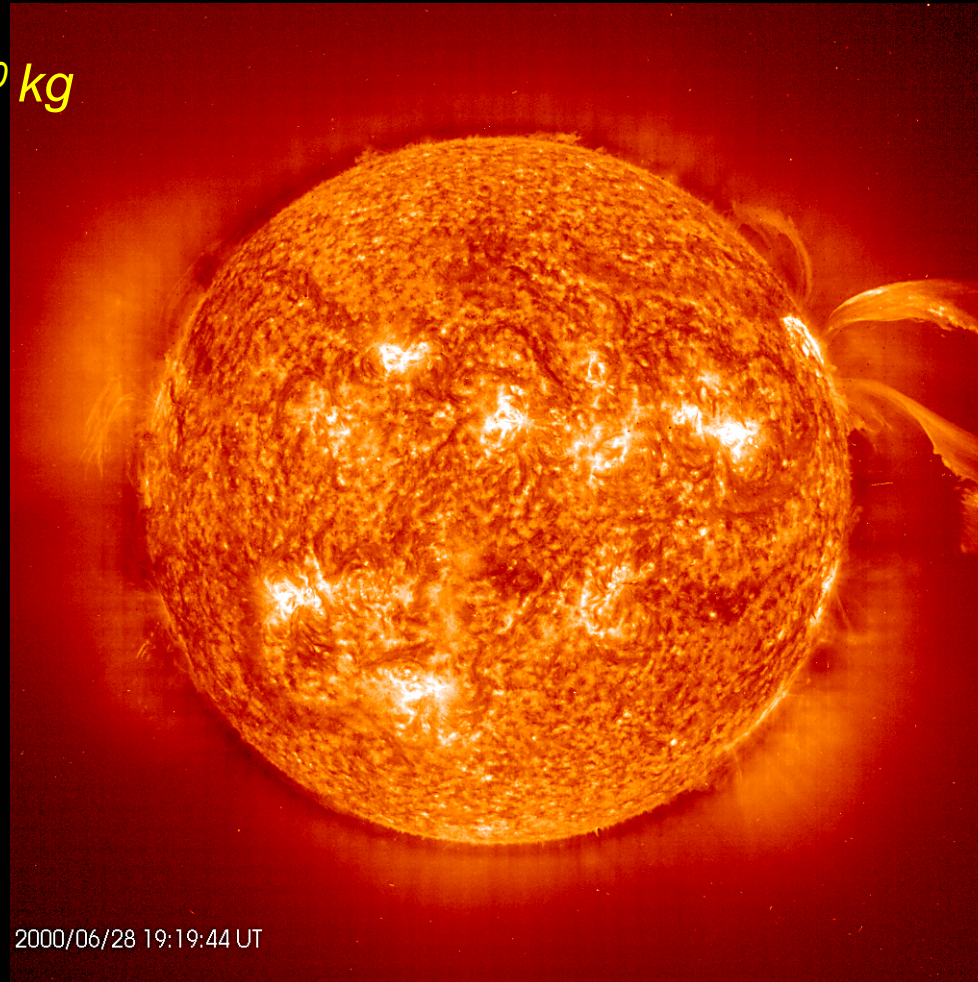
$$1 M_{\odot} = 1,988\,92 \times 10^{30} \text{ kg}$$

$$1 R_{\odot} = 695\,990 \text{ km}$$

$$1 L_{\odot} = 3,826 \times 10^{26} \text{ W}$$

$$T_{\text{eff}, \odot} = 5\,780 \text{ K}$$

$$\text{Age} \simeq 4.5 \cdot 10^9 \text{ ans}$$



H : 90%

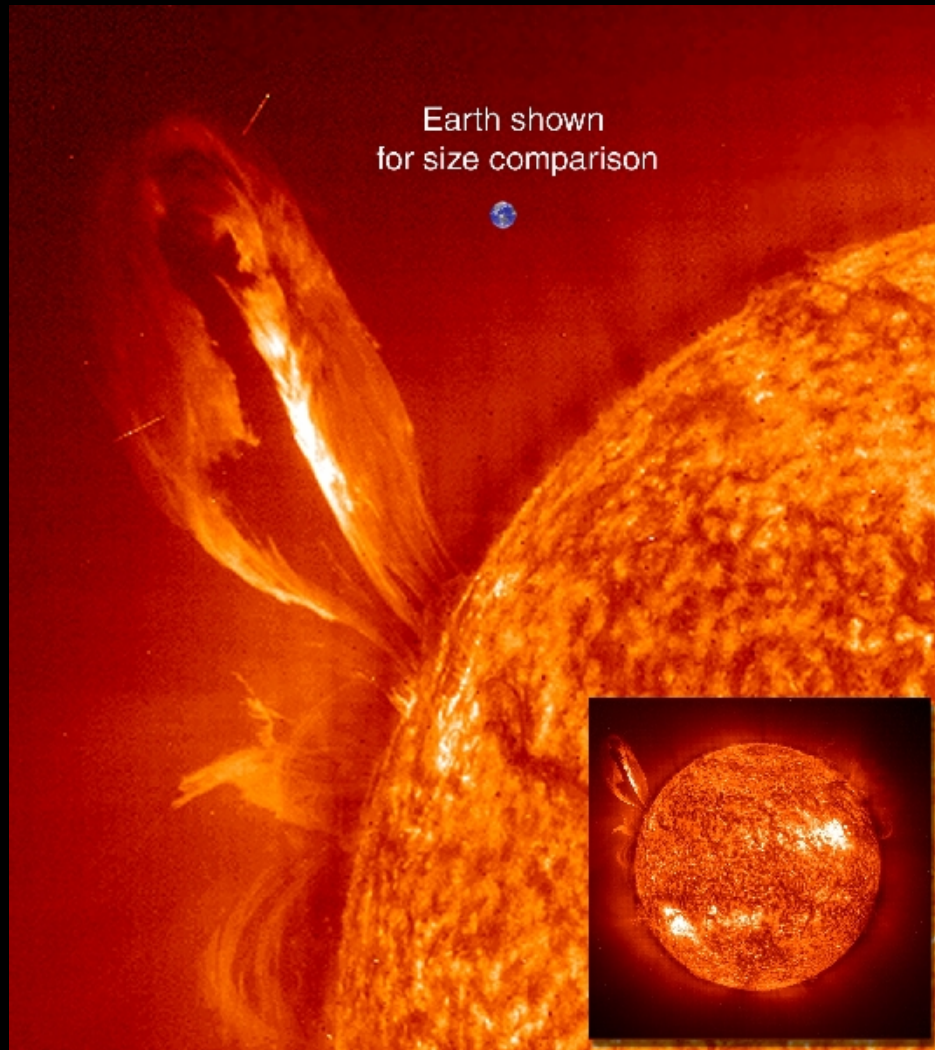
He : 10%

"Métaux" : traces

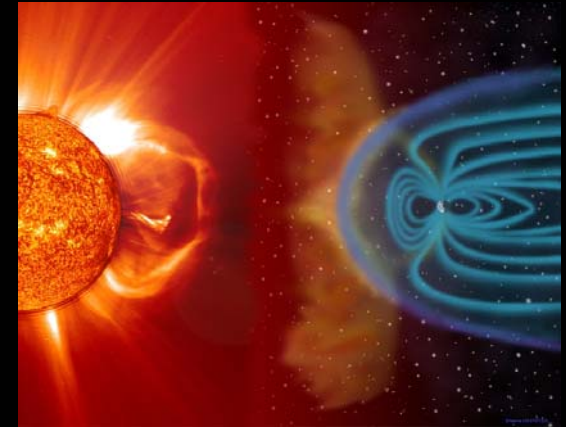
©SOHO

Perte de masse: 4 millions de tonnes par seconde

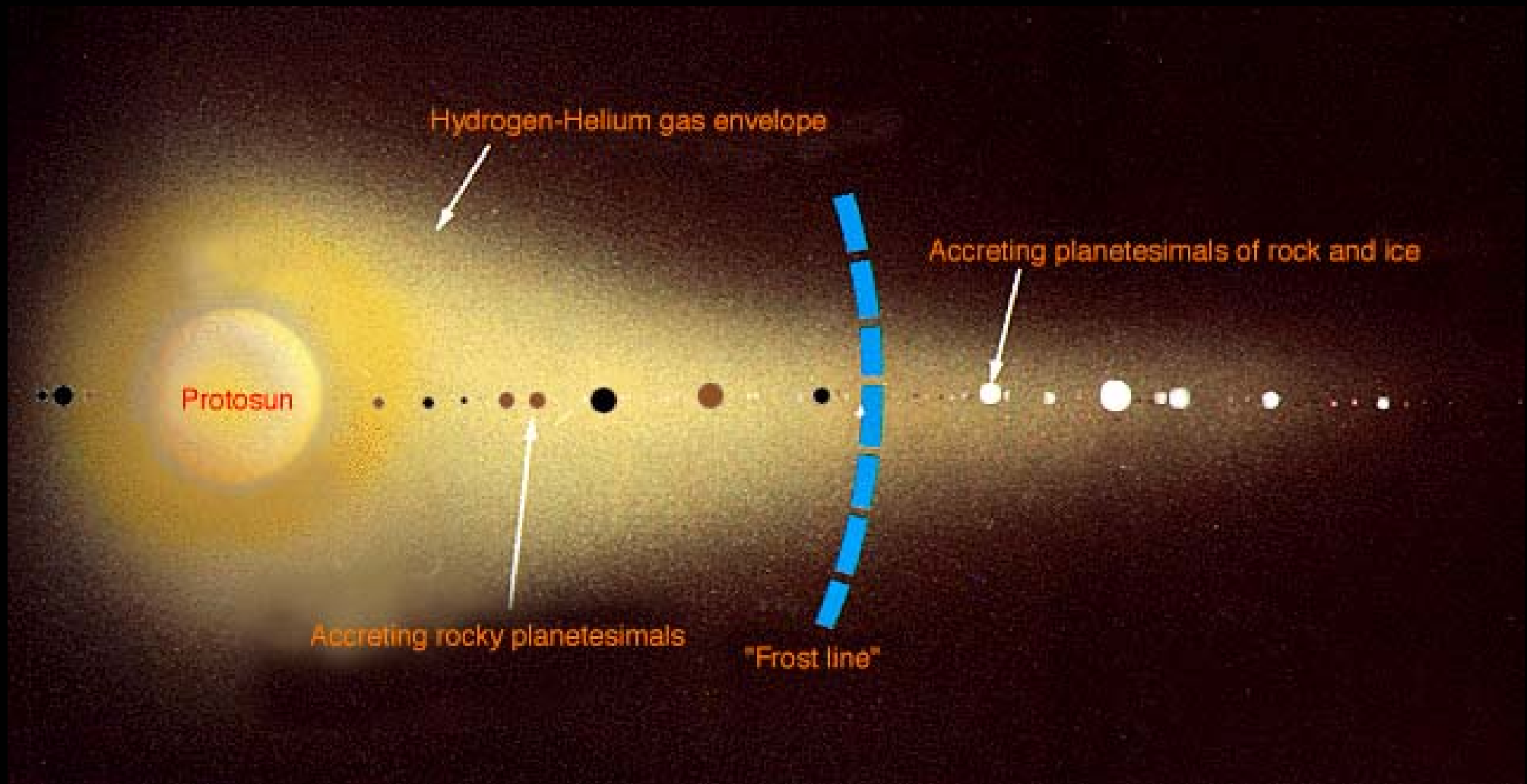
SoHO: placé au point de Lagrange L1 interactions vent solaire / champ magnétique terrestre



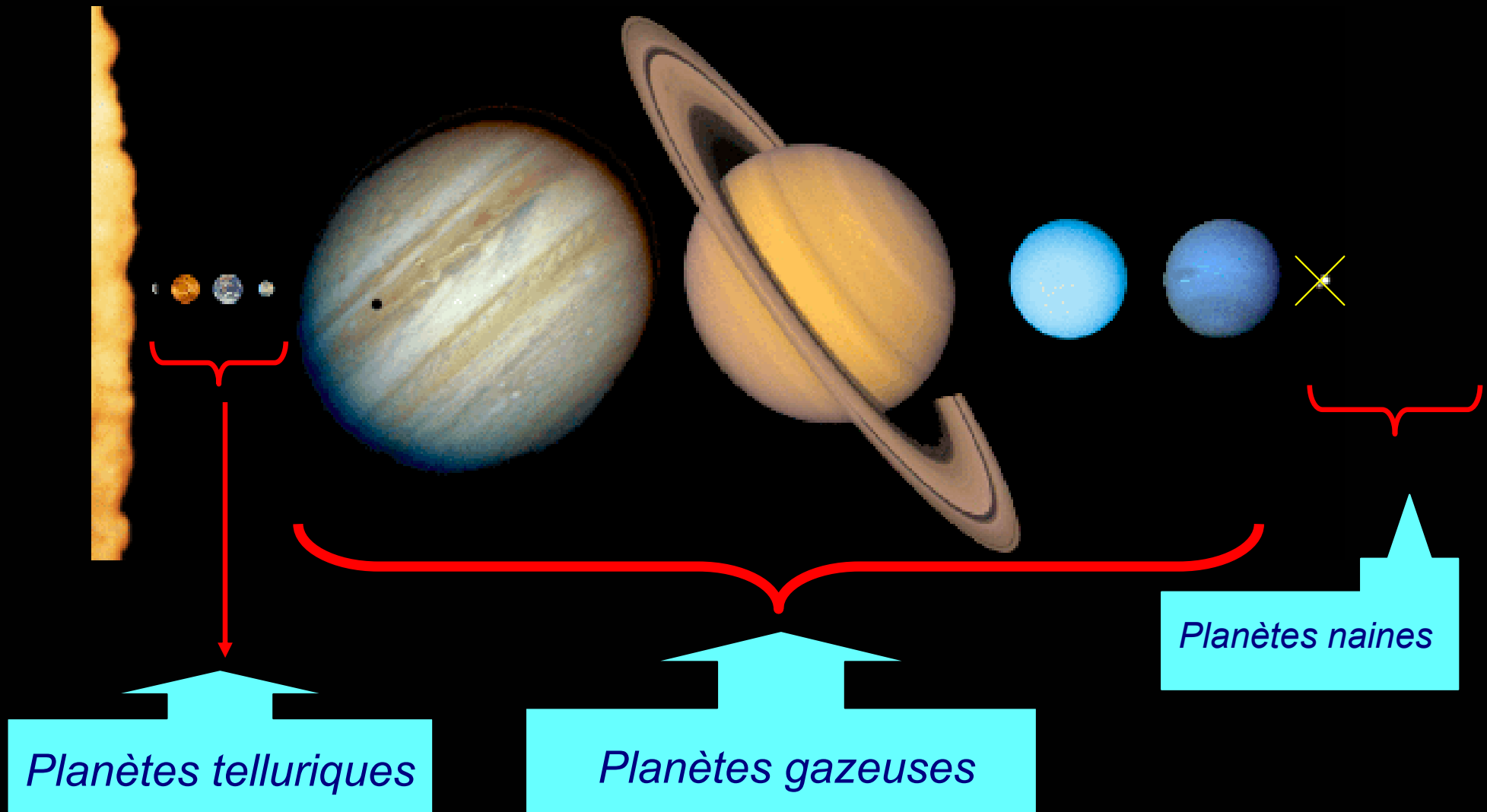
SoHO 1999 / 07 / 24



Différenciation dans la nébuleuse solaire

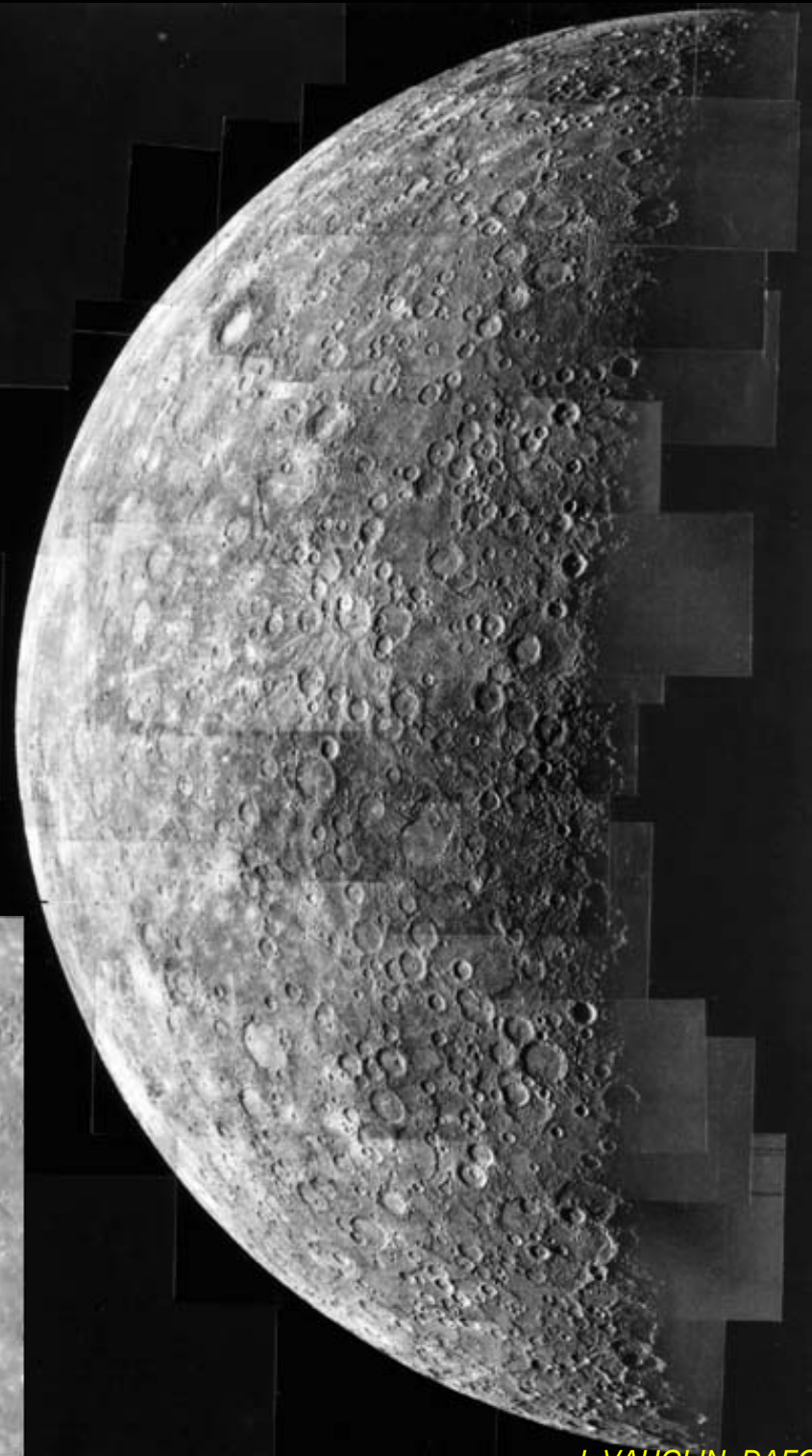
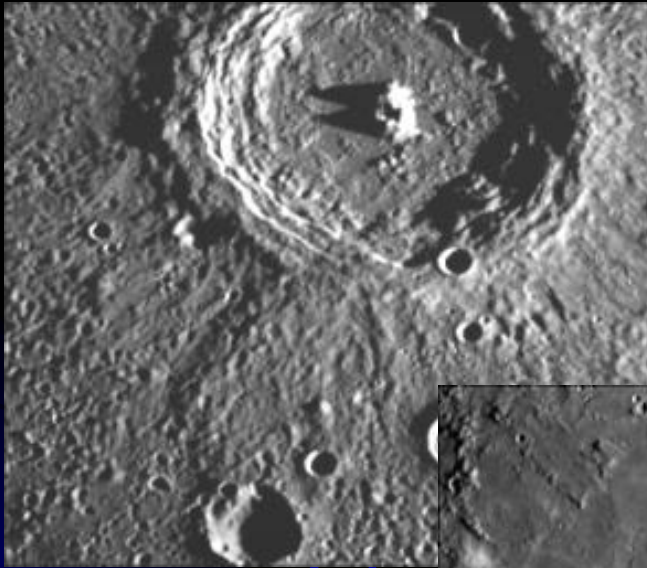


Tailles comparées des planètes



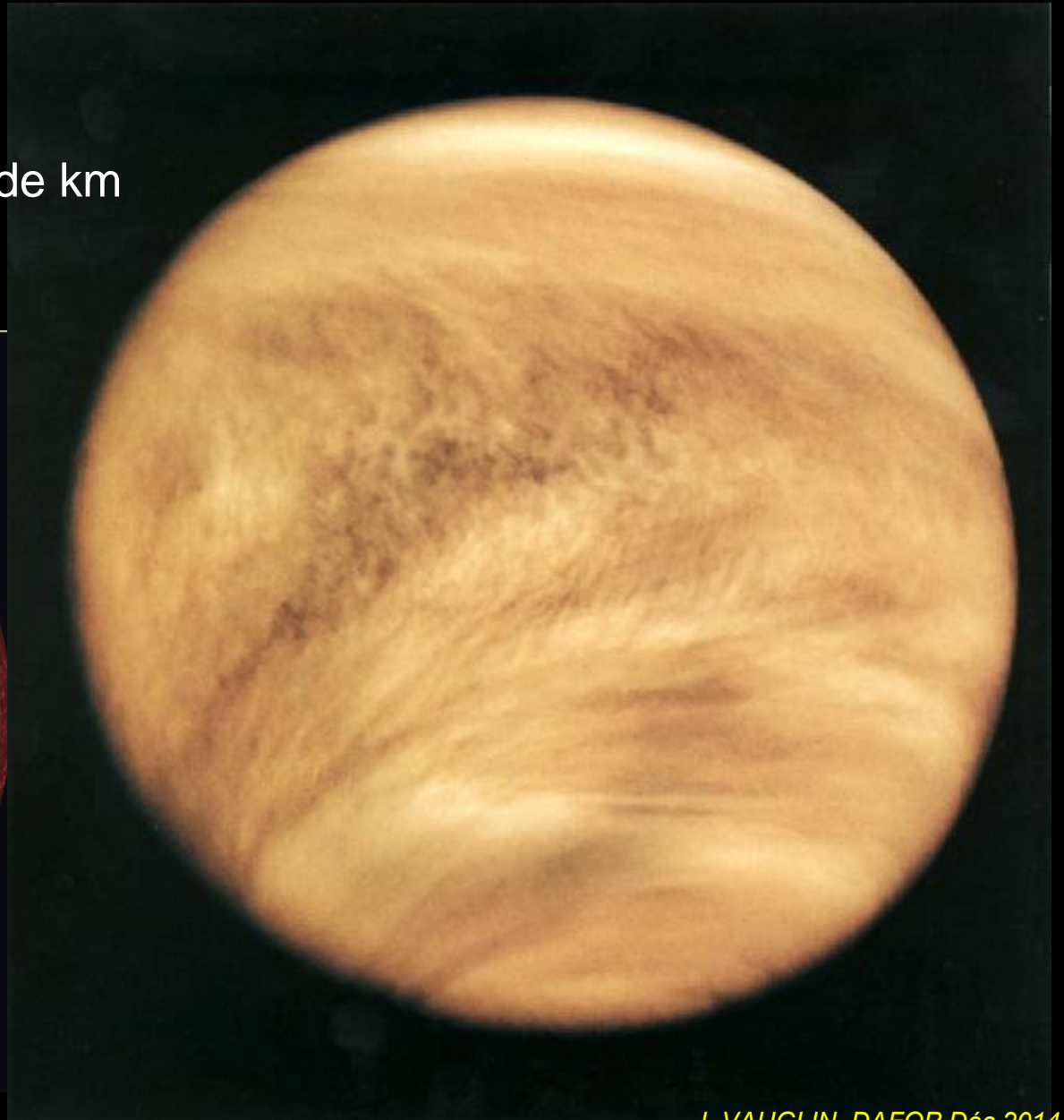
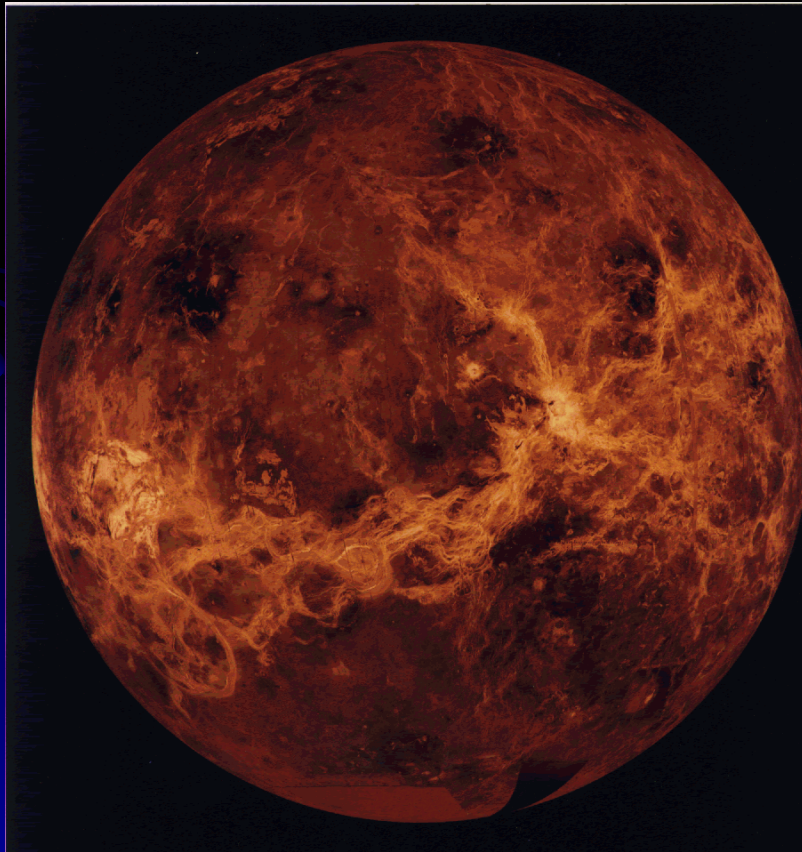
Mercure

- planète de type terrestre
- pas d'atmosphère
- présente toujours la même face au Soleil
- diamètre de 4 878 km
- distance au Soleil de 60 millions de km



Venus

- planète de type terrestre
- une atmosphère
- il y fait chaud (480° à la surface) !
- diamètre de 12 104 km
- distance au Soleil de 110 millions de km



La planète bleue...

- planète de type terrestre (et pour cause !)
- une atmosphère (heureusement)
- diamètre de 12 756 km
- distance au Soleil de 150 millions de km



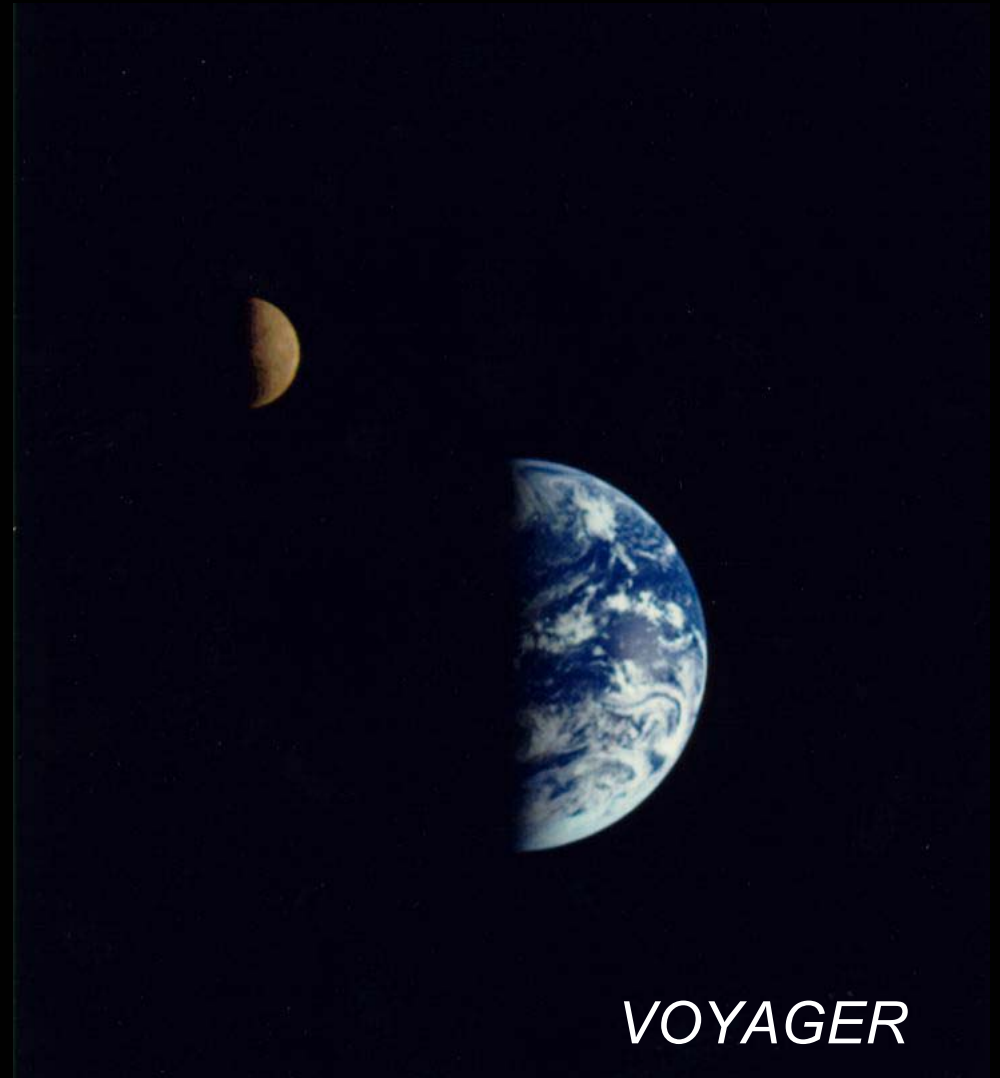
La Lune

- satellite de la Terre
- pas d'atmosphère
- diamètre de 3 476 km
- distance à la Terre de 390 000 km



La Terre et la Lune : une planète et son satellite.

APOLLO



VOYAGER

Mars : la planète rouge



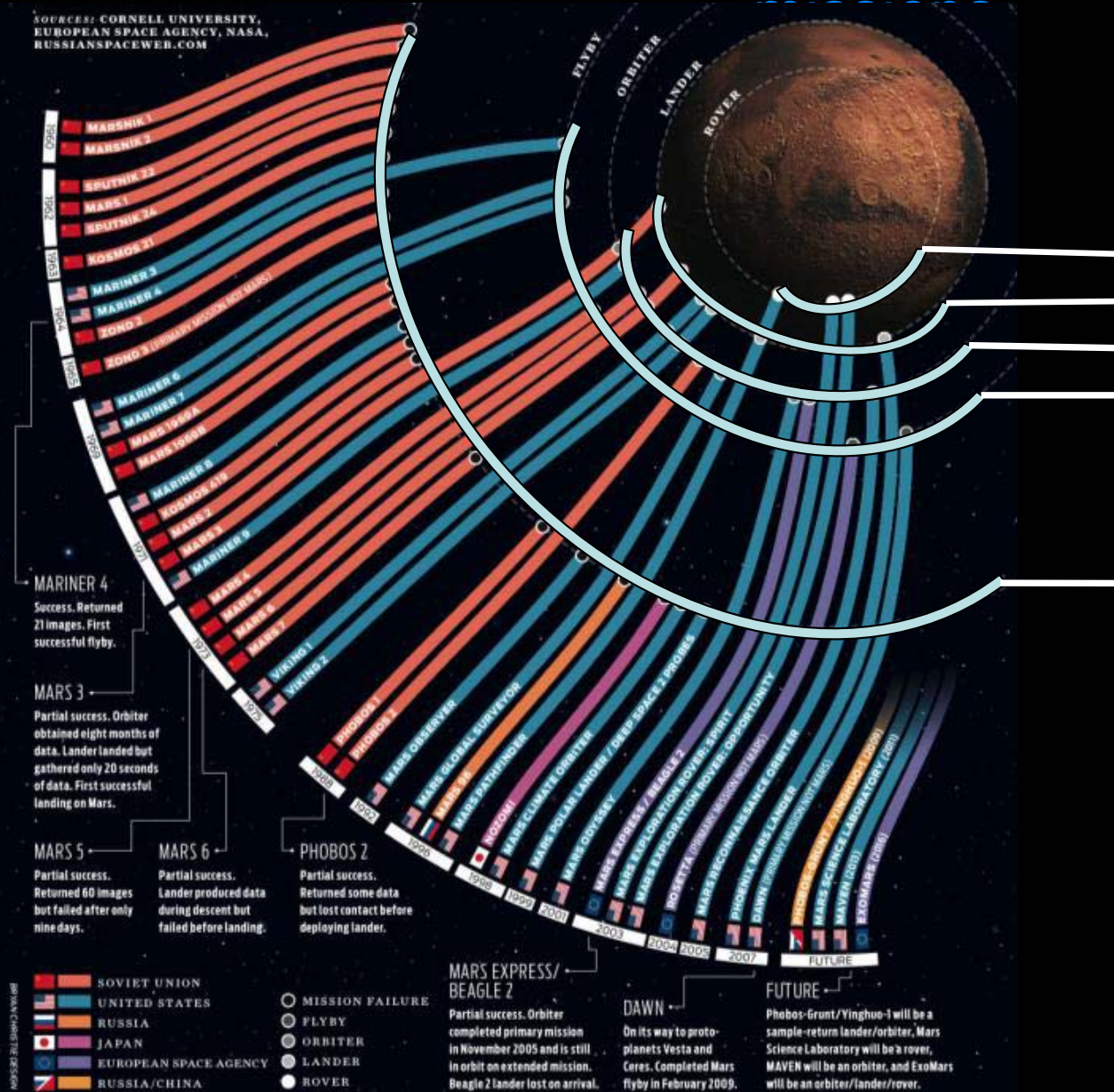
- planète de type terrestre
- une atmosphère ténue
- diamètre de 6794 km
- distance au Soleil de 230 millions de km

MARS :

nombreuseuses

Rovers: 4
Landers: 6
Orbiteurs: 11
Survols: 6

Echecs... 21



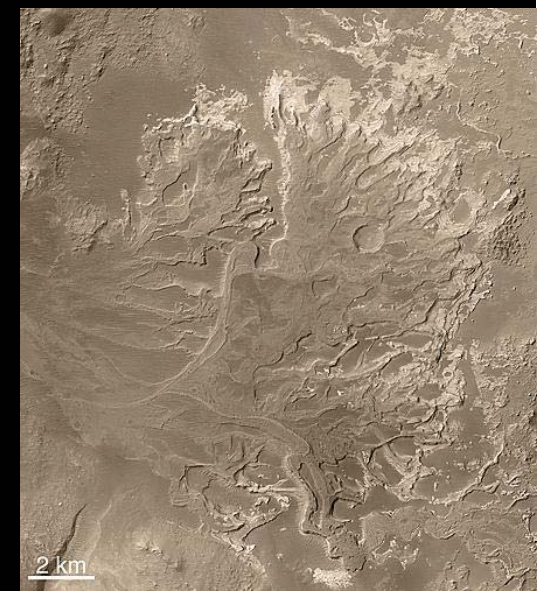
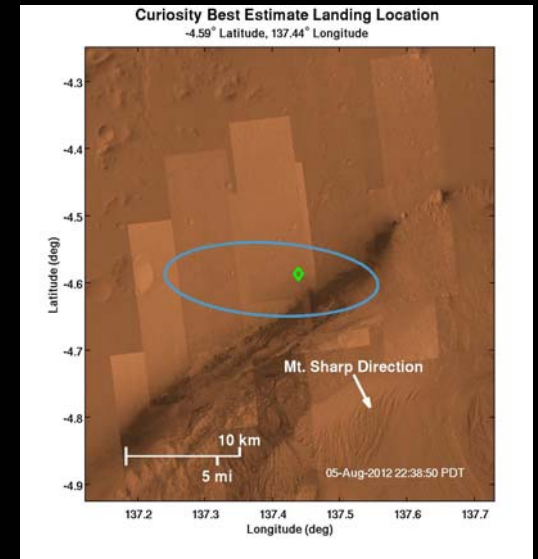


MSL - Curiosity: habitabilité de Mars?

6 août 2012
cratère Gale

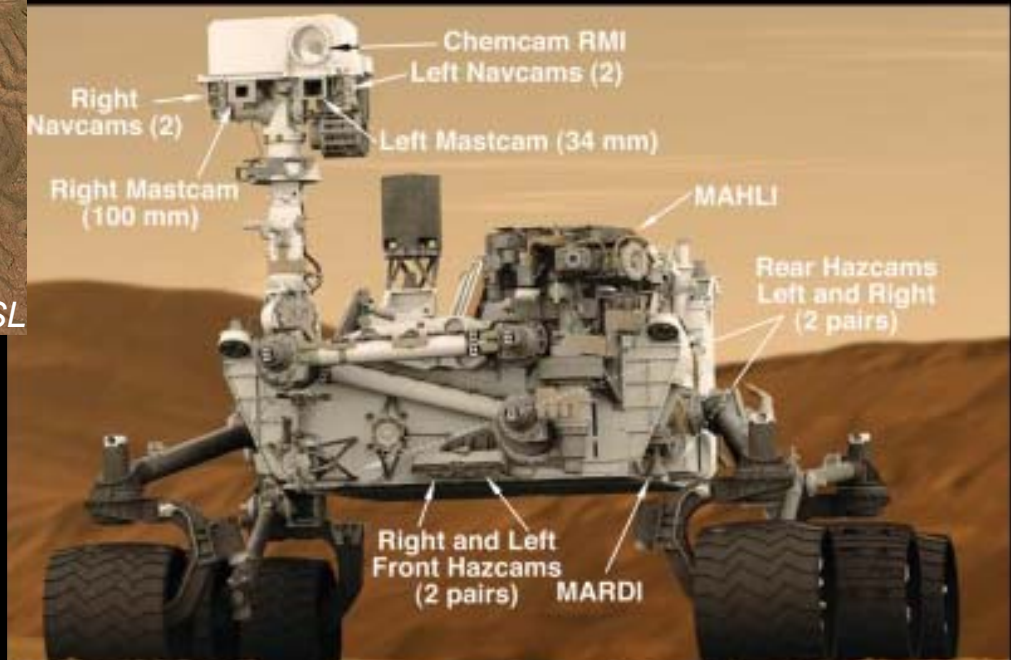
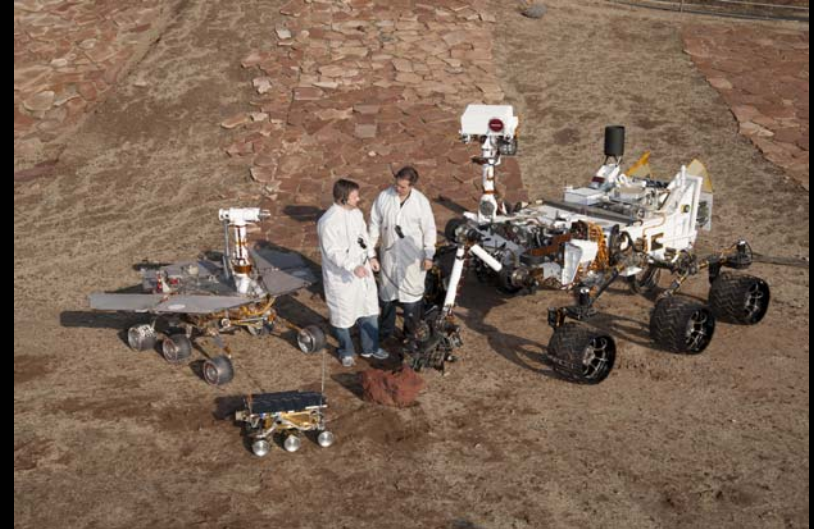
destination mont Sharp

- Déterminer si la vie a pu exister sur Mars. Les dernières missions ont montré que l'eau liquide a existé sur Mars peu après la formation de la planète. Qu'en est-il maintenant ?
- Étudier les cycles du carbone et de l'eau sur la planète au cours du temps (instrument MSL). Présence importante ou non de Méthane?
- Étudier le climat de Mars présent et passé et la composition de l'atmosphère.
- Étude de la géologie martienne. Recherche de la preuve de la formation de roches en présence d'eau liquide.
- Préparer une éventuelle exploration humaine.

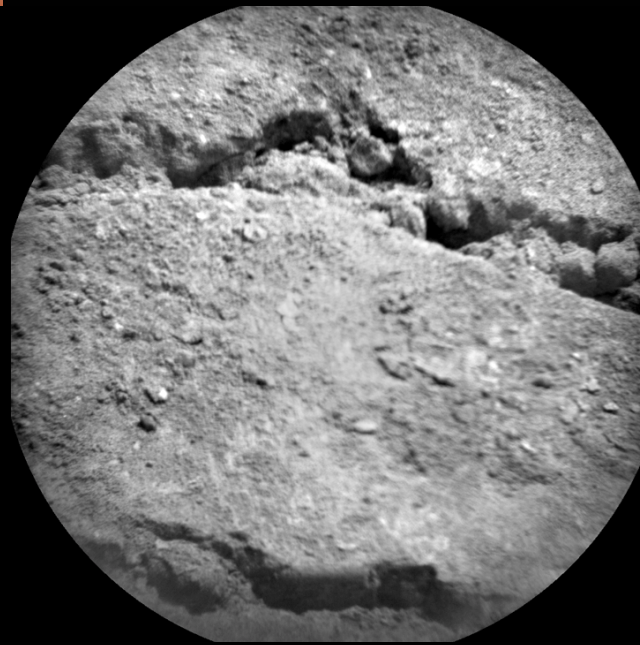




Copyright: NASA/MSL



- **SAM** 3 instruments : un spectromètre de masse quadrupolaire (QMS), un chromatographe en phase gazeuse (GC), un spectromètre à diode laser (TLS)
- **ChemCAM** (Chemical Camera) doit étudier à distance la composition des roches par ablation laser



@NASA/ChemCam



Situé à environ 3,5 m de la cible, l'instrument ChemCam a envoyé 50 impulsions laser par point sur la roche choisie, chacune délivrant une puissance d'1 million de watts chacune pendant environ 5 nanosecondes.

*Le tir laser créé un plasma qui est analysé. La technique est sensible aux éléments légers H, Li, Be, B, C, N, O
→ les composés organiques mesurés*

*premier forage réalisé par le rover Curiosity.
La poussière extraite est analysée à l'intérieur du rover*

Le Grand Tour: Voyager

1977 → 1989

Quelques unes des découvertes:

- Anneaux autour de Jupiter, Uranus et Neptune
- 33 nouveaux satellites
- Volcans actifs sur Io
- Surface jeune d'Encelade
- Atmosphère de Titan
- Geysers de Triton



Objets humains les plus lointains:

Voyager 1 a quitté l'héliopause en septembre 2013 –
proximité d'une étoile de la Girafe dans 40 000 ans

Voyager 2 vers Sirius dans 296 000 ans

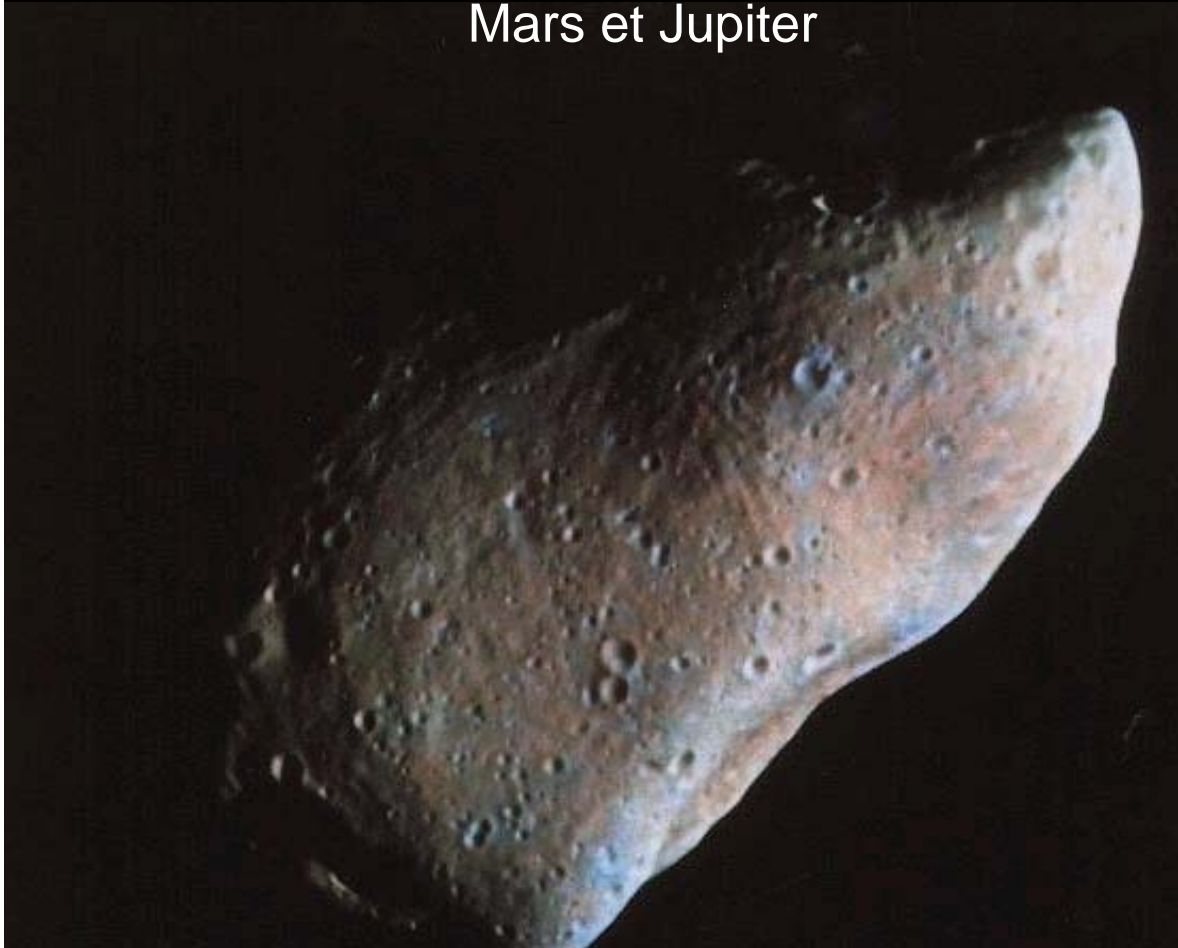
Mais épuisement vers 2025 du générateur thermoélectrique

Les astéroïdes

Une ceinture
d'astéroïdes entre
Mars et Jupiter



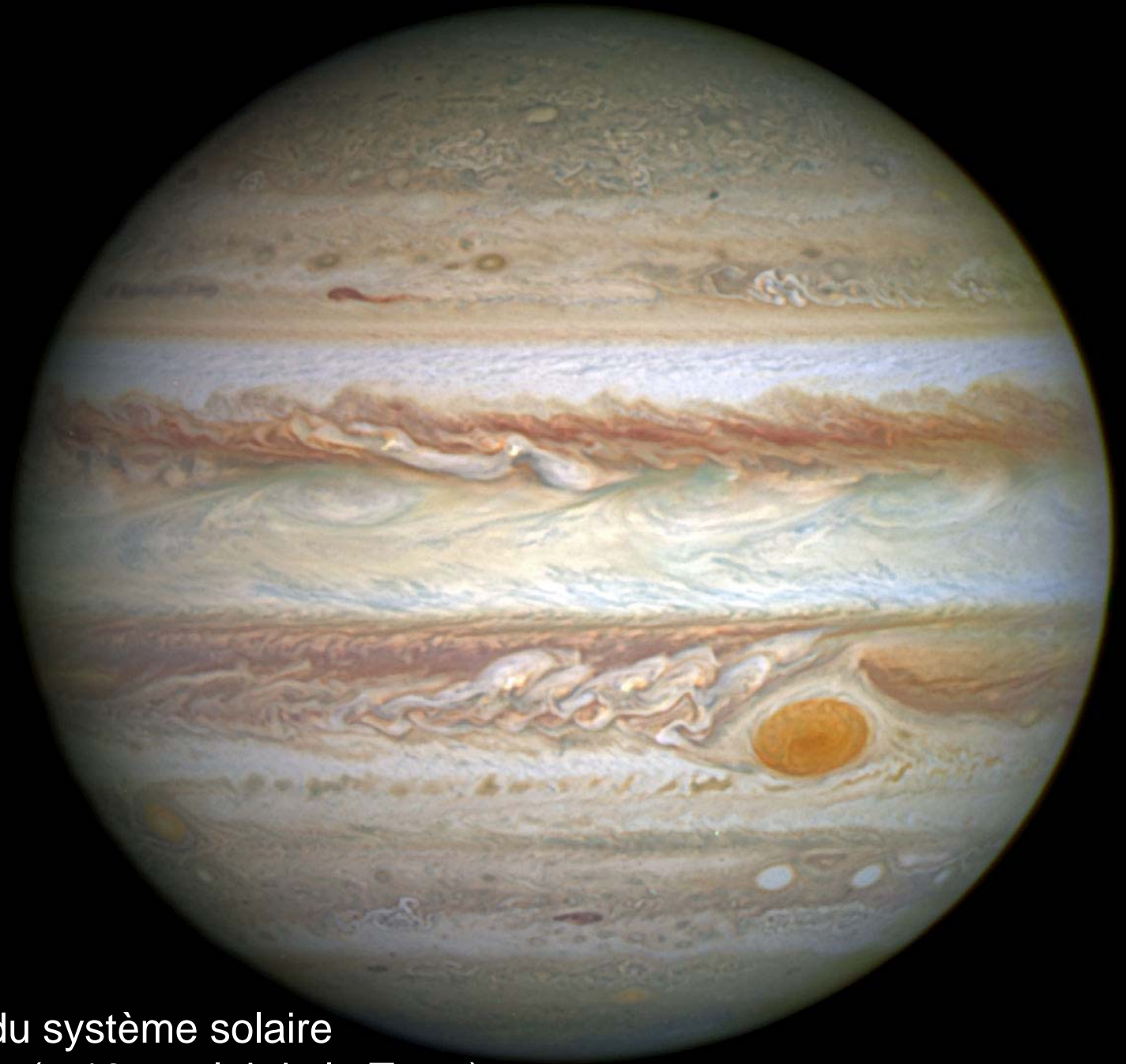
Lutetia vu par Rosetta



Gaspra vu par Galileo

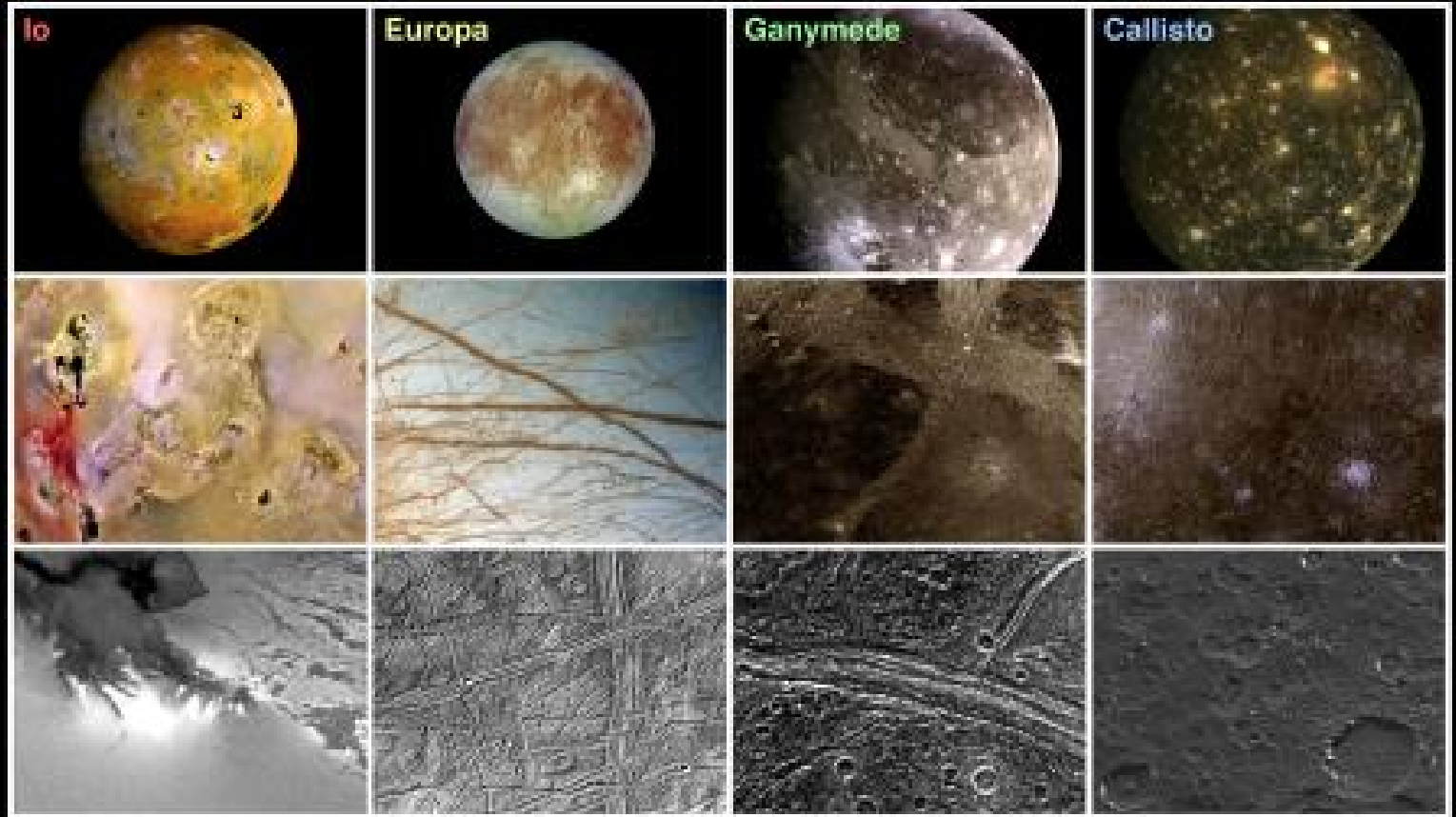
- situés à environ 340 millions de km du Soleil
- plus de 100 000 astéroïdes de plus d'un 1 km de diamètre
- environ 12 astéroïdes de plus de 250 km de diamètre

Jupiter



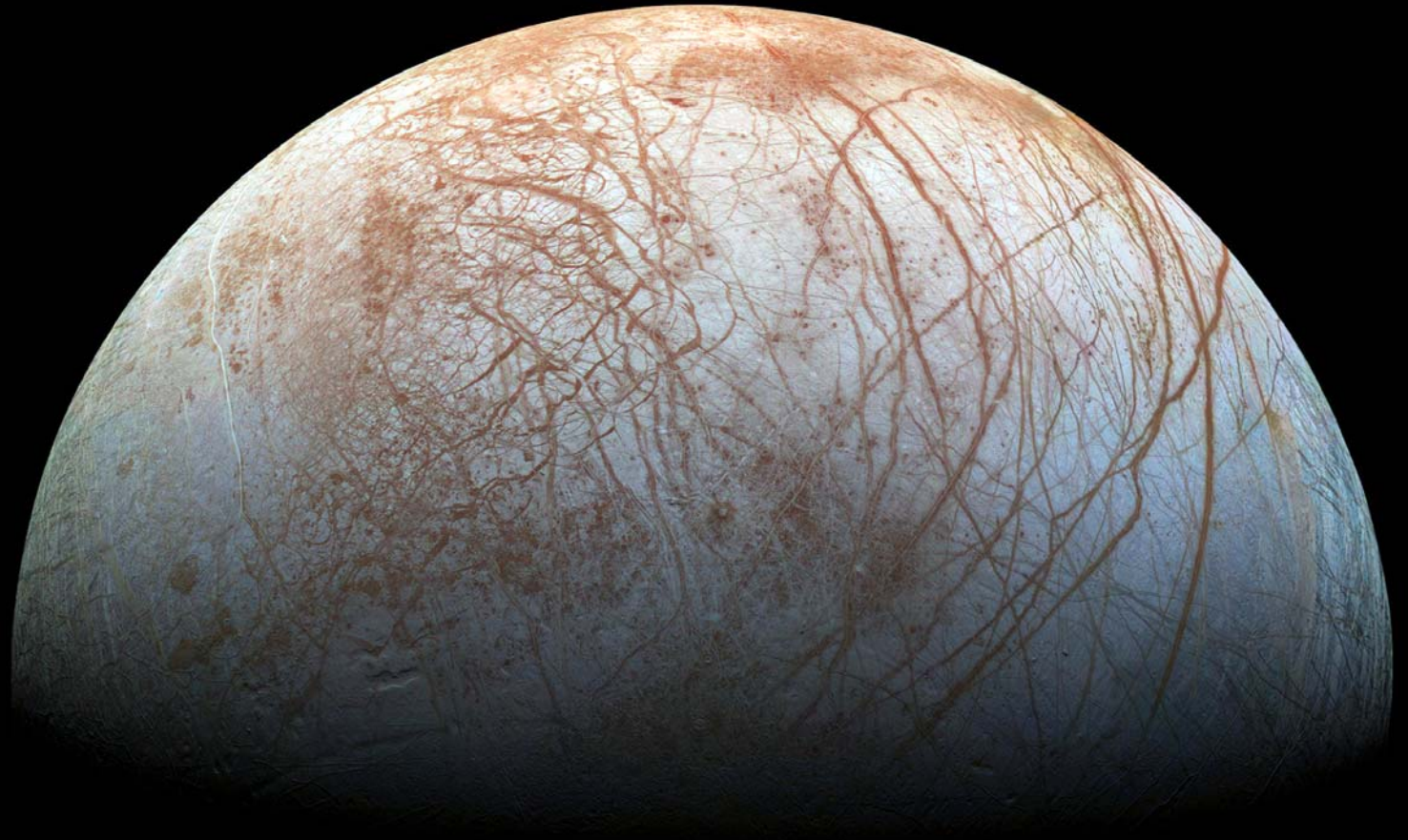
- une planète géante
- la plus grosse planète du système solaire
- diamètre de 142 800 km ($> 12 \times$ celui de la Terre)
- distance au Soleil de 780 millions de km

Jupiter et sa famille...

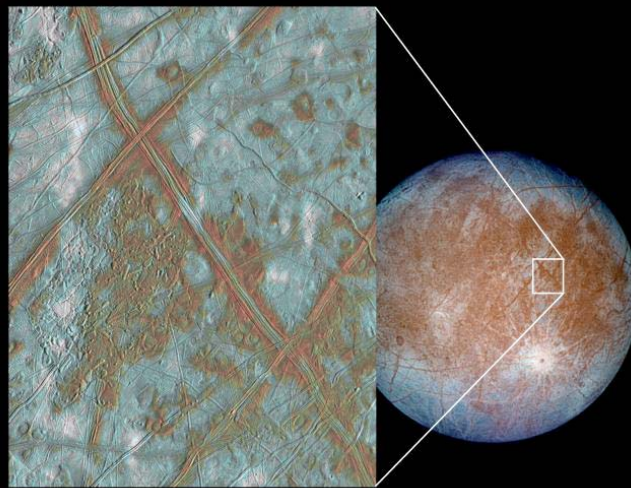


Sonde lointaine: Galileo

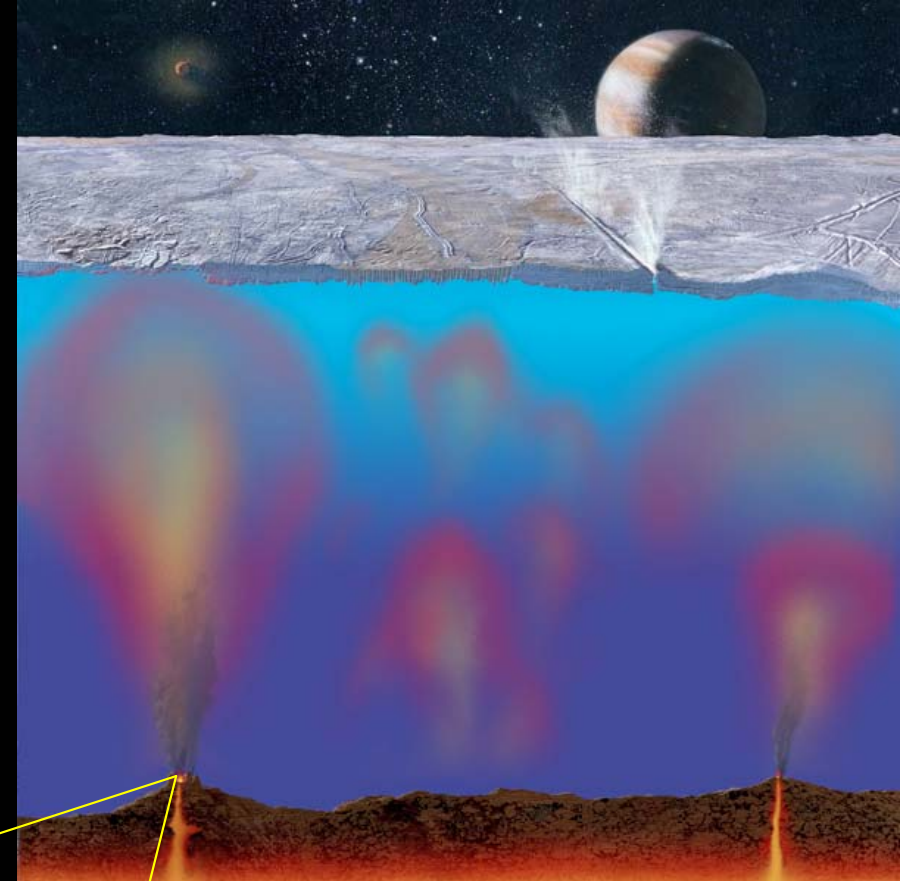
Octobre 1989 – septembre 2003



EUROPE

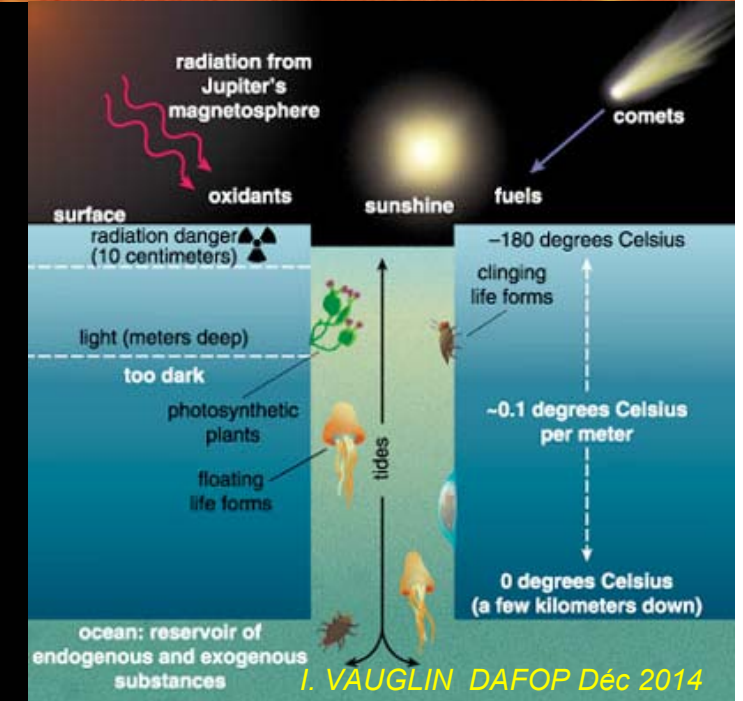


Habitats profonds au sein des hydrosphères?
océans de subsurface en contact avec les silicates



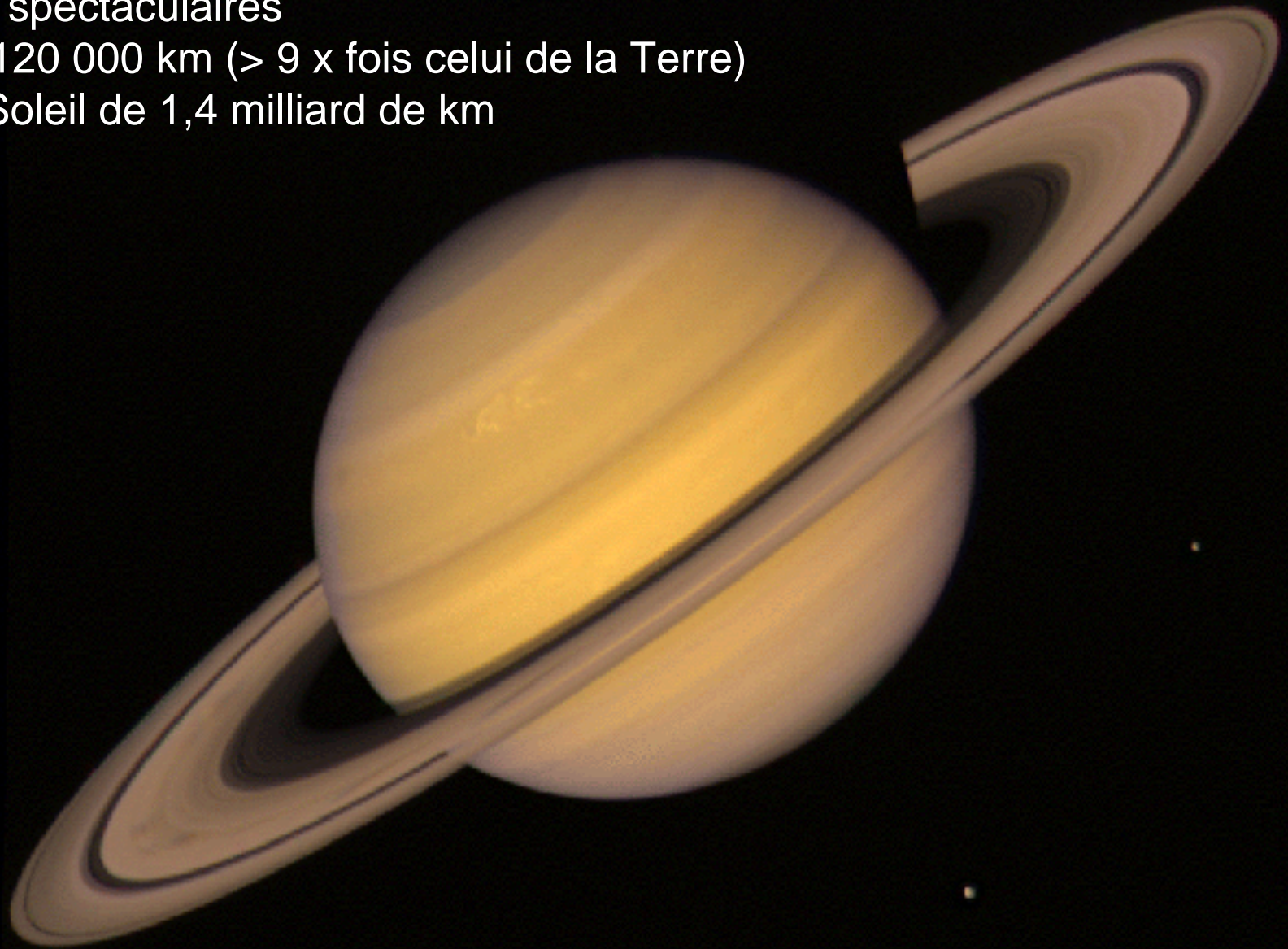
Mission **JUICE**
(2022 – flyby 36 jours)
Dira si:

- la salinité est comparable à nos océans
- Quelle est l'épaisseur de la croute?
- Europe est toujours active
- Où pourrions-nous atterrir dans le futur?

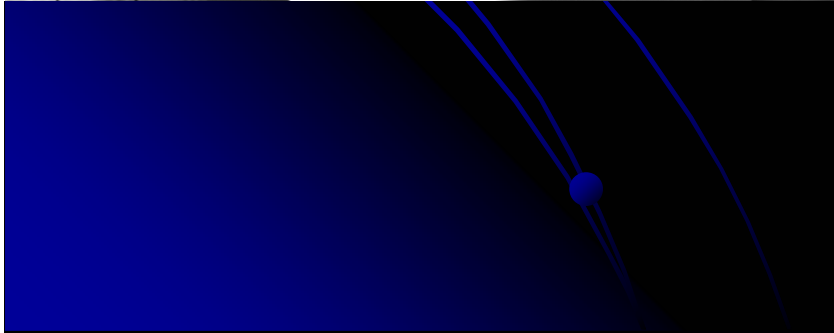
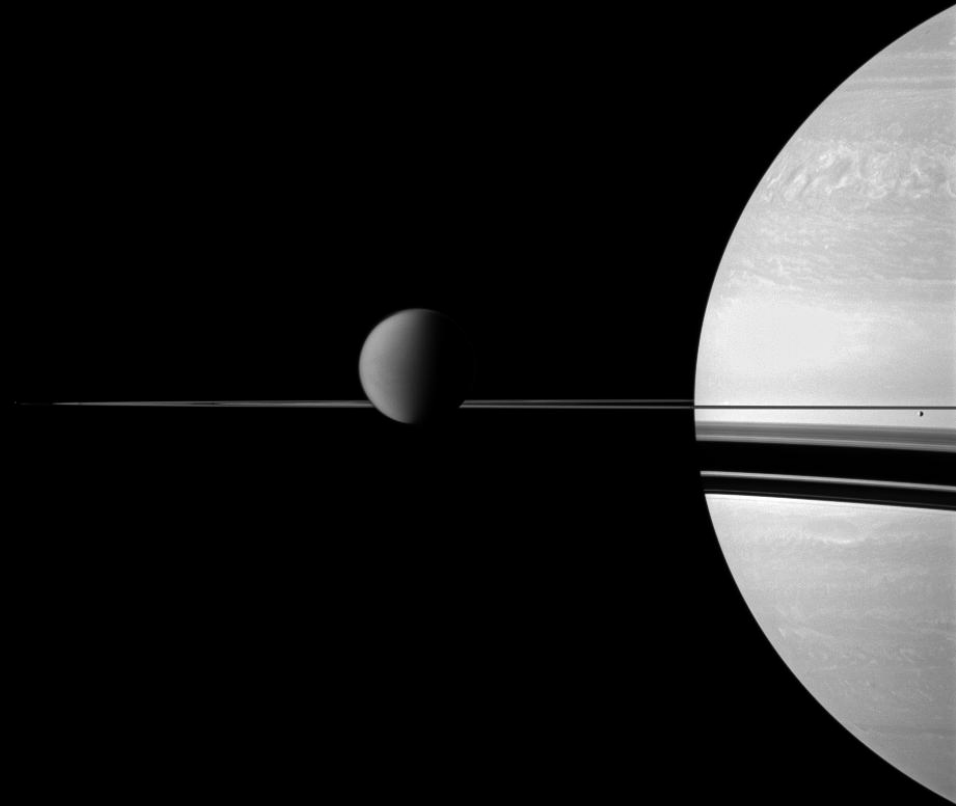


Saturne et ses anneaux

- une planète géante
- des anneaux spectaculaires
- diamètre de 120 000 km (> 9 x fois celui de la Terre)
- distance au Soleil de 1,4 milliard de km



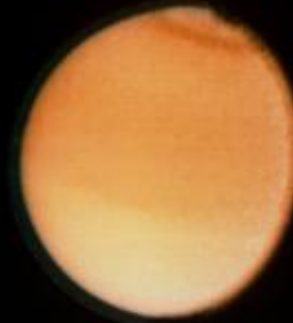
Saturne: Les anneaux



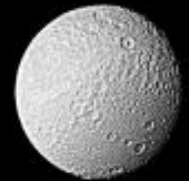
Saturne et sa famille



Mimas

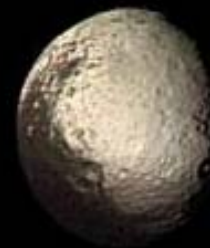


Titan

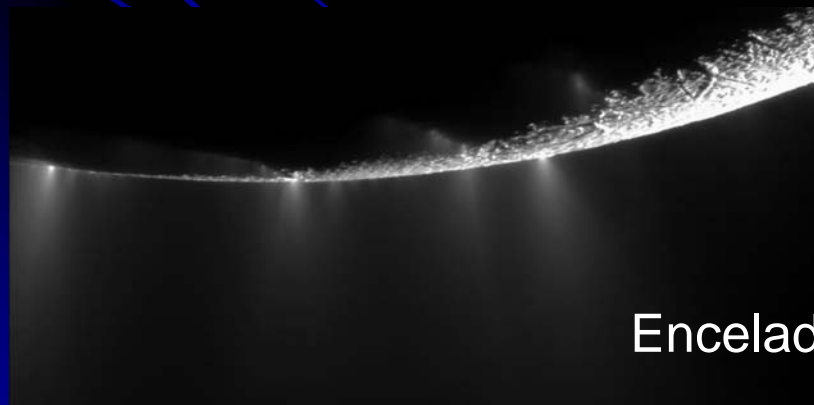


Thétys

Japet

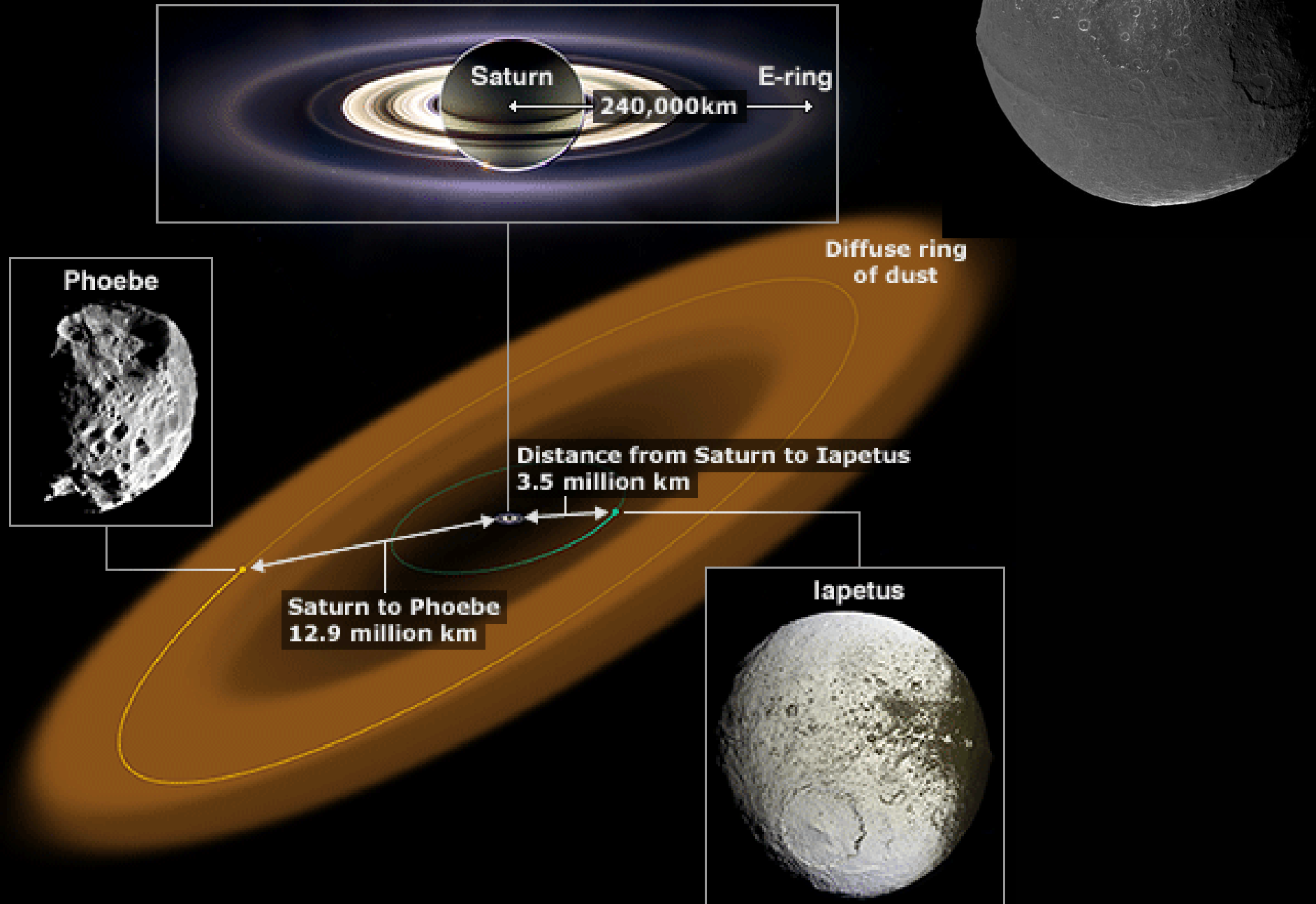


Dioné

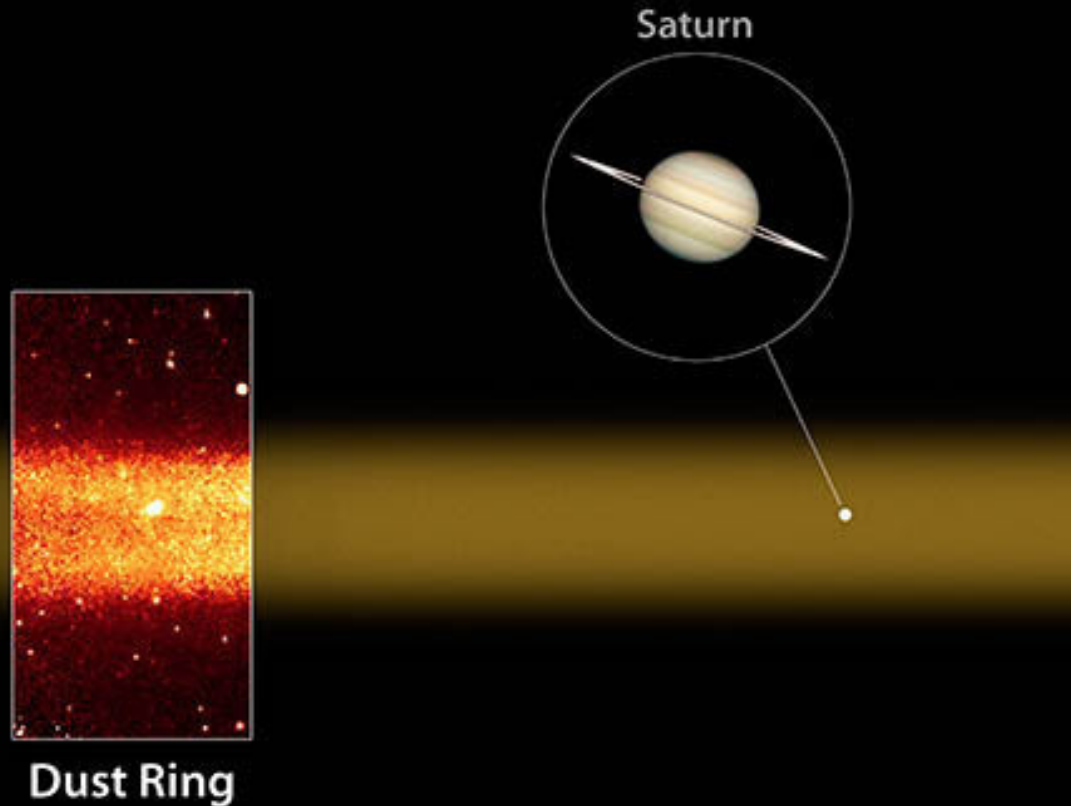


Encelade

Anneau de poussières découvert par Spitzer en 2009



Anneau de poussières froides détecté par Spitzer à $24\ \mu\text{m}$ incliné de 27° par rapport au plan principal de Saturne



Infrared View of Saturn's Largest Ring
NASA / JPL-Caltech / A. Verbiscer (Univ. of Virginia)

Spitzer Space Telescope • MIPS
ssc2009-19a

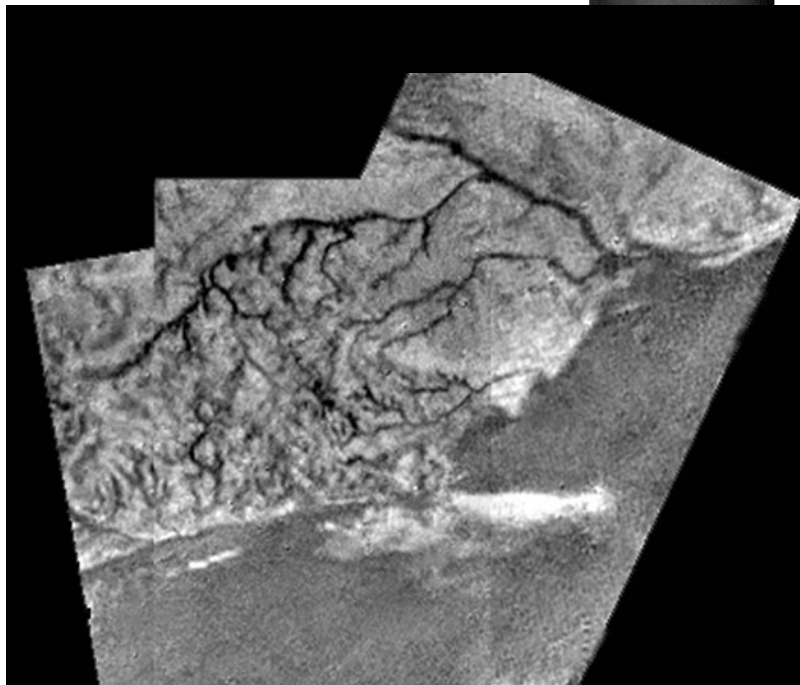
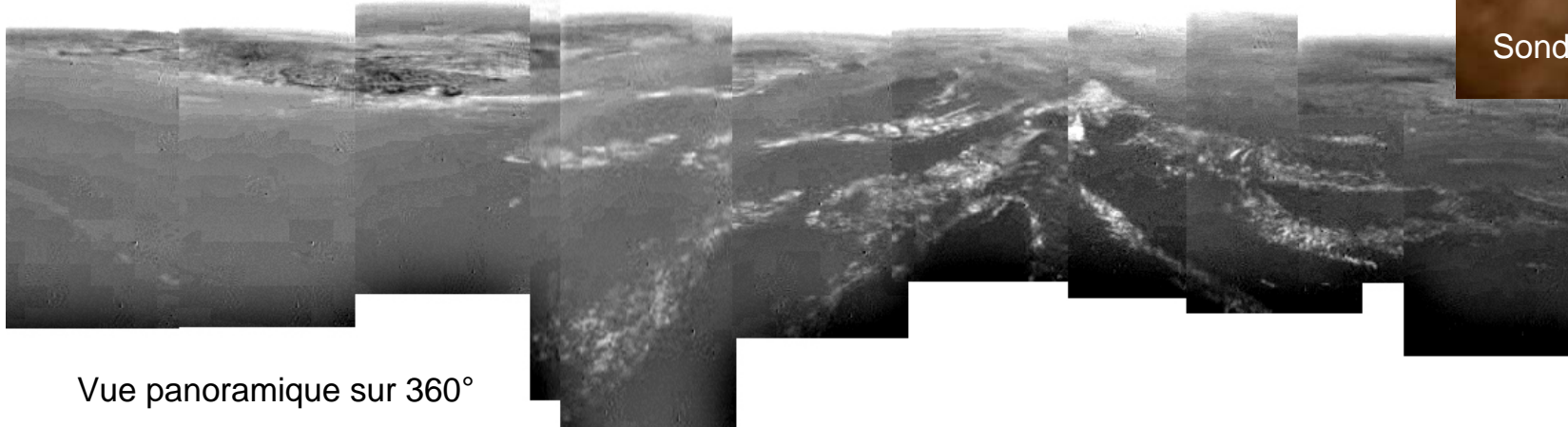
Cassini-Huygens (1997-2017)



Copyright: NASA/JPL



L'exploit de Huygens sur Titan..



Surface de Titan
vue depuis une
altitude de 8 km

14 janvier 2005
ESA

Photo couleur de
la surface de Titan



Photos @ESA

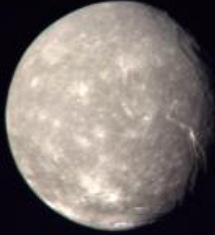
Diamètre de Titan: 5550 km

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014

Réflexion spectaculaire sur Jingpo Lacus,

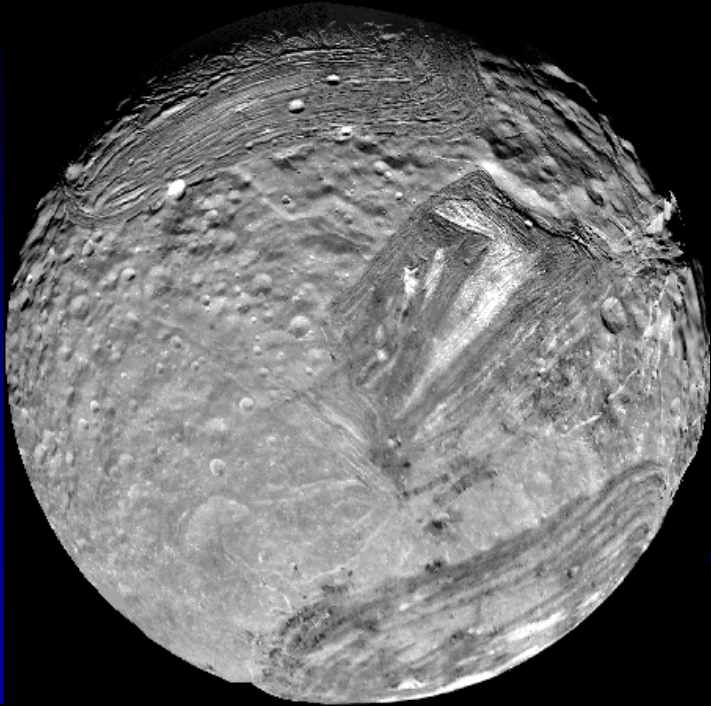


Uranus et sa famille



Titania

Miranda

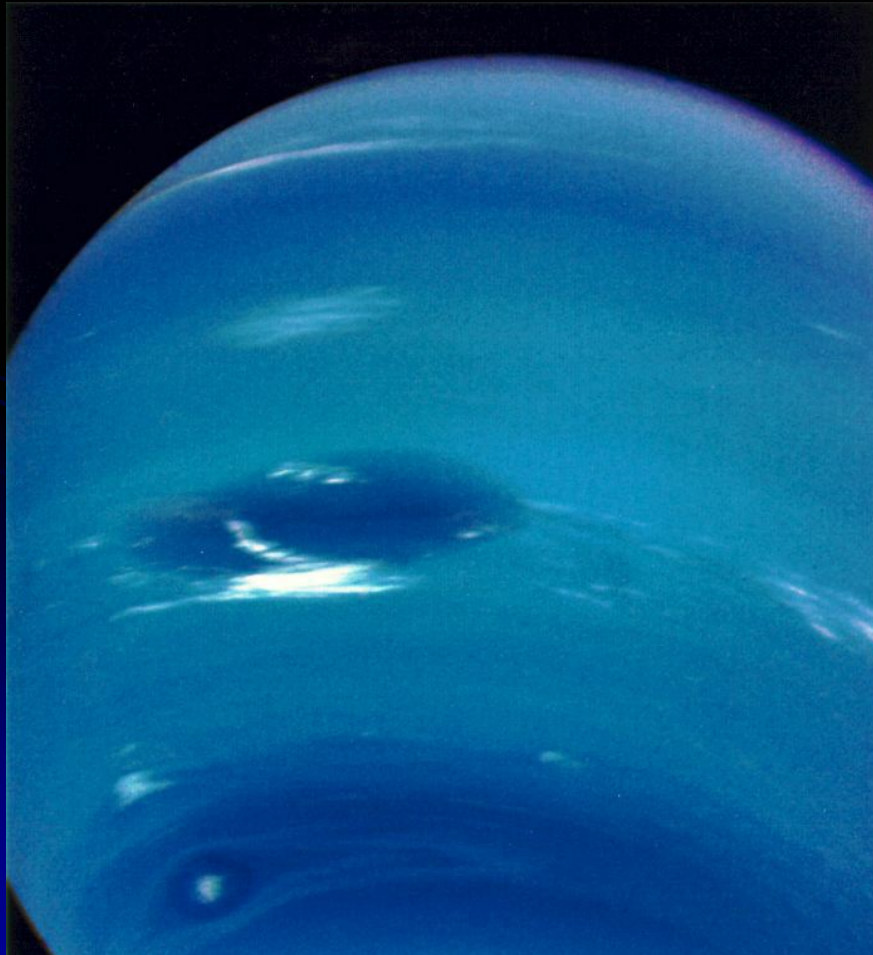
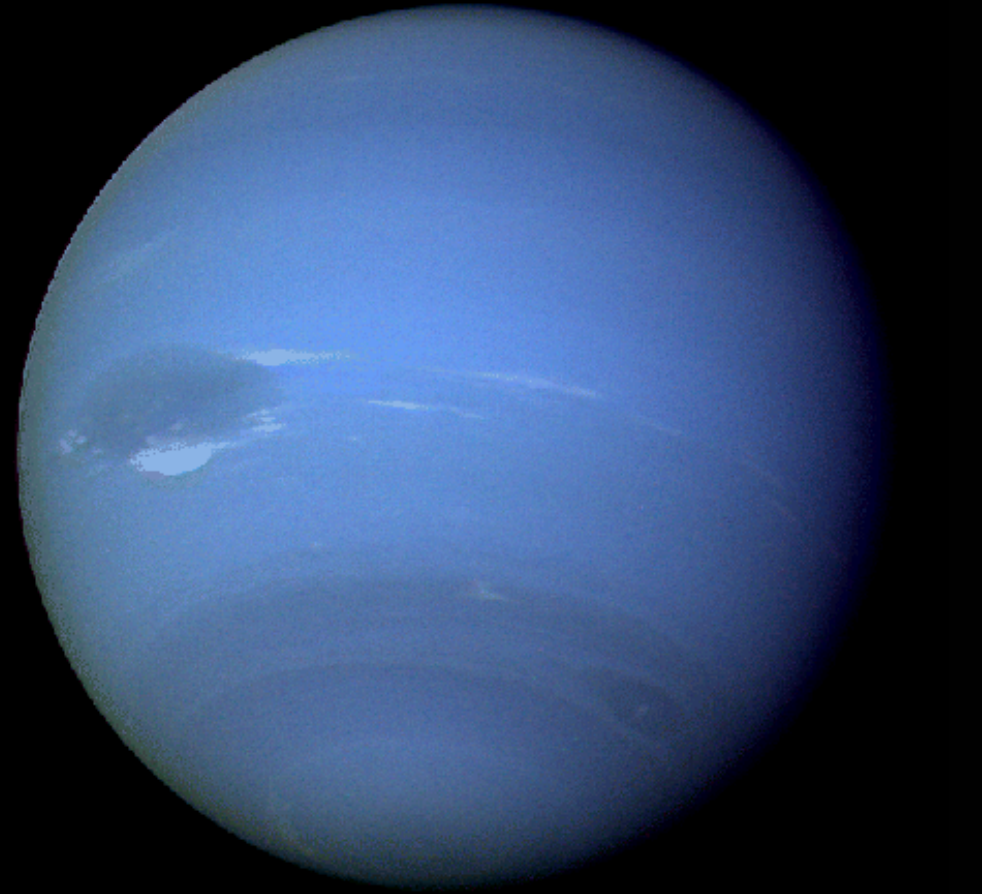


Uranus

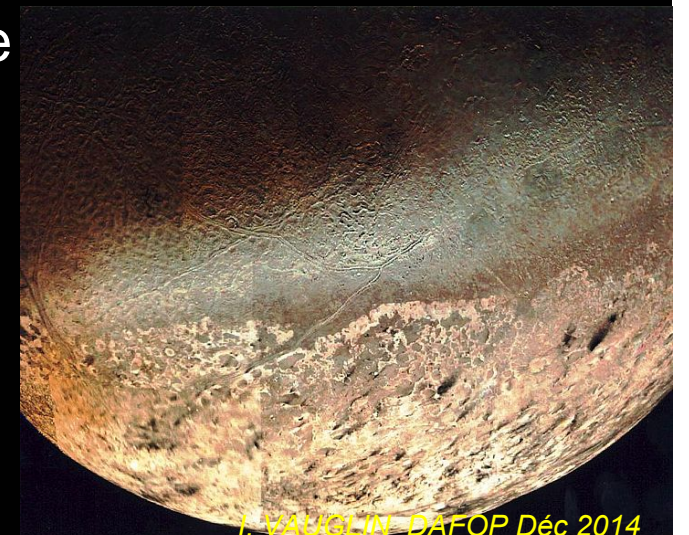
- Uranus, une planète géante
- diamètre de 51 120 km
- distance au Soleil de 2.9 milliards de km

Neptune

- une planète géante
- diamètre de 49 528 km
- distance au Soleil de 4.5 milliards de km



Triton un satellite
de Neptune



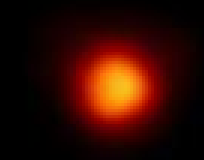
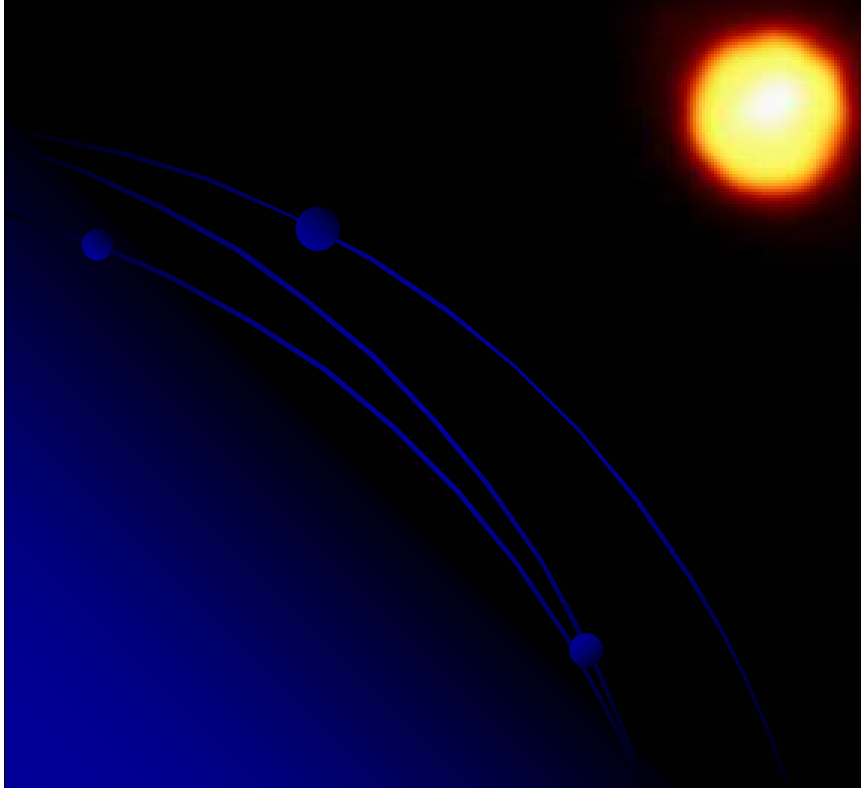
Pluton et Charon

Pluton (c'est une planète naine)

- une distance de près de 6 milliards de km du Soleil
- un diamètre de 2290 km

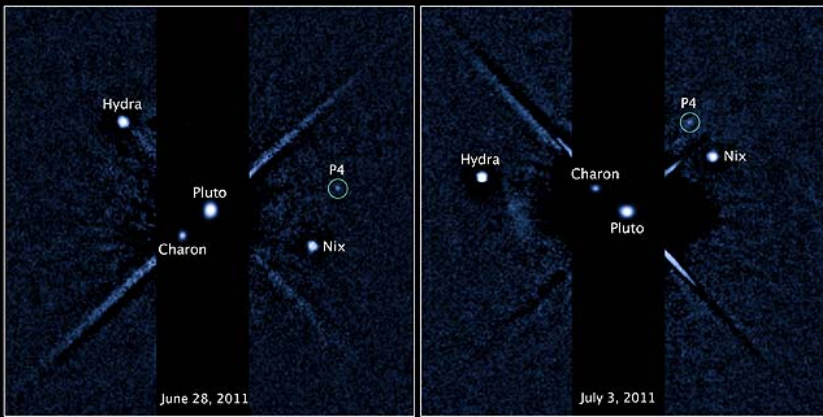
Charon (satellite de Pluton)

- un diamètre de 1280 km
- une distance à Pluton de 19 400 km



Cela commence à faire vraiment loin...

Pluton



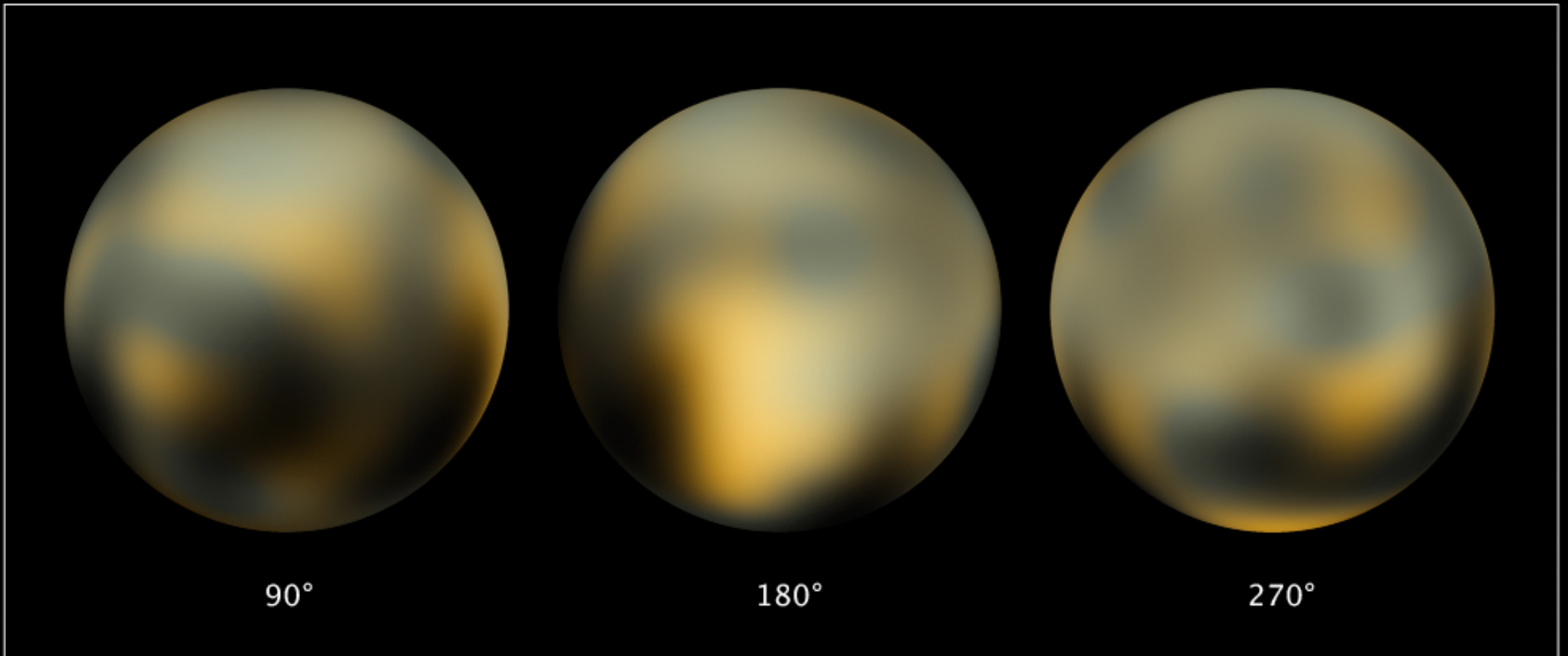
Pluto System
Hubble Space Telescope • WFC3/UVIS

NASA, ESA, and M. Showalter (SETI Institute)

STScI-PRC11-23

Pluto Faces

Hubble Space Telescope • ACS/HRC



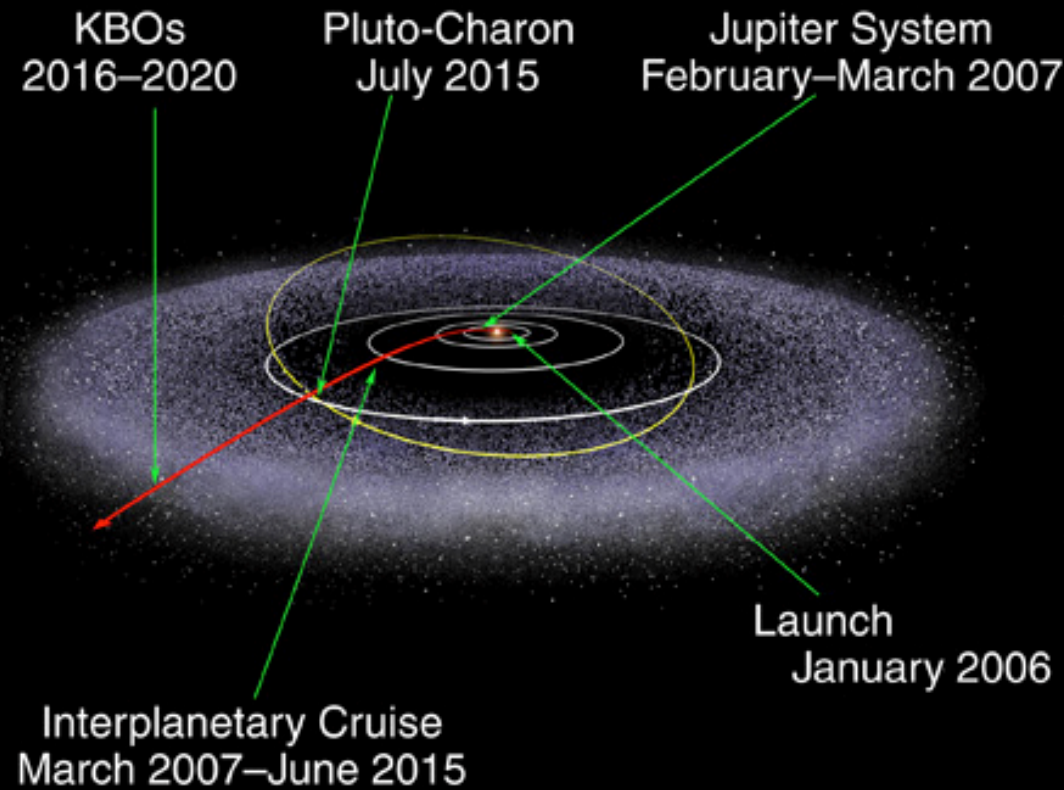
NASA, ESA, and M. Buie (Southwest Research Institute)

STScI-PRC10-06a
I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014



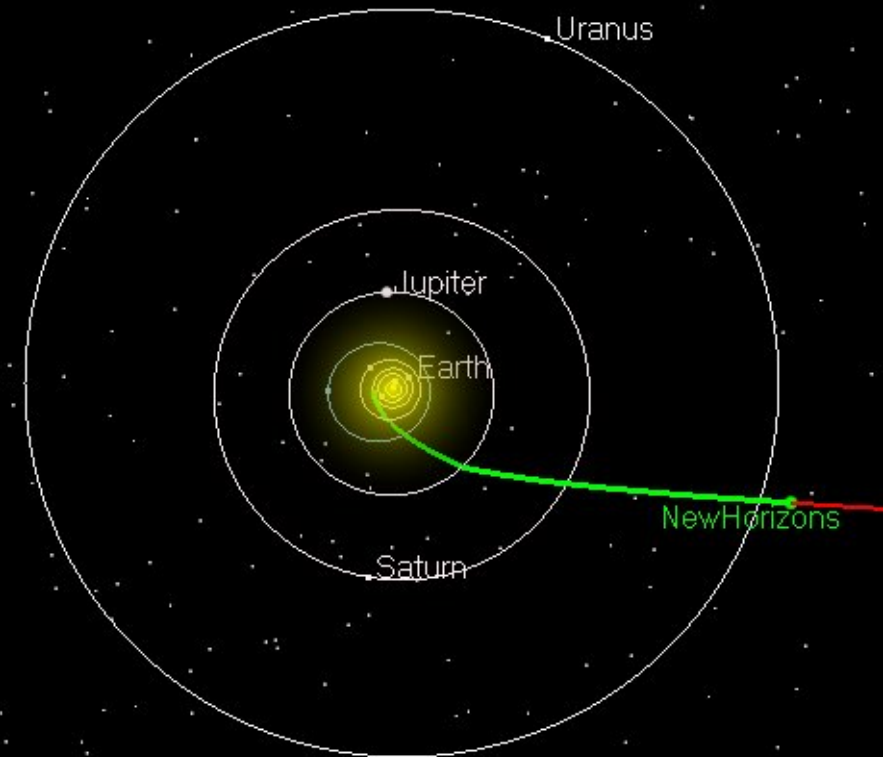
New Horizons

- Janvier 2006



New Horizons Current Position

Distance from Sun (AU): 20.83 Heliocentric Velocity (km/s): 15.55



Distance from Earth (AU): 20.22
 Distance from Jupiter (AU): 22.99
 Distance from Pluto (AU): 11.39
 24 Aug 2011, 16:00:00 UTC

Une nouvelle classe d'objets: Les planètes naines - UAI en 2006

ERIS (2005) :
Diamètre 2 326km
Albédo 96%

Les plus grands objets transneptuniens connus



Éris



Pluton



Makemake



Haumea



Sedna



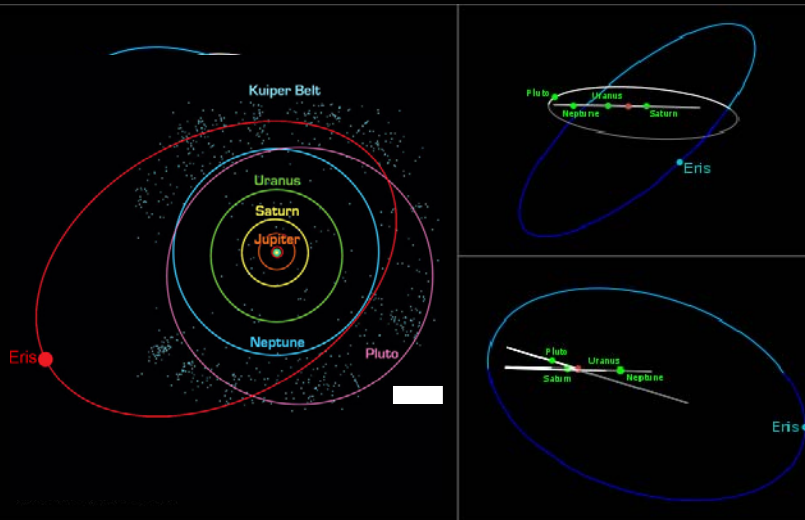
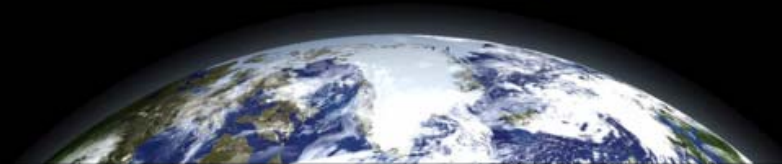
Orcus



Quaoar



Varuna

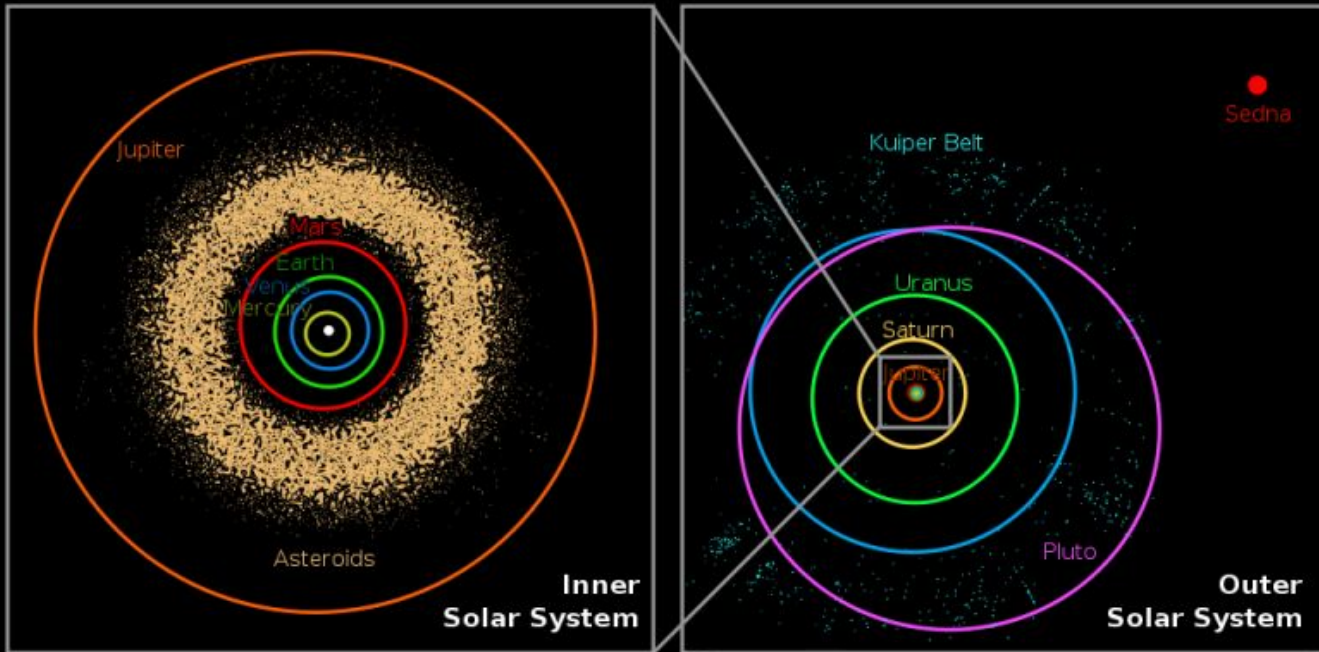
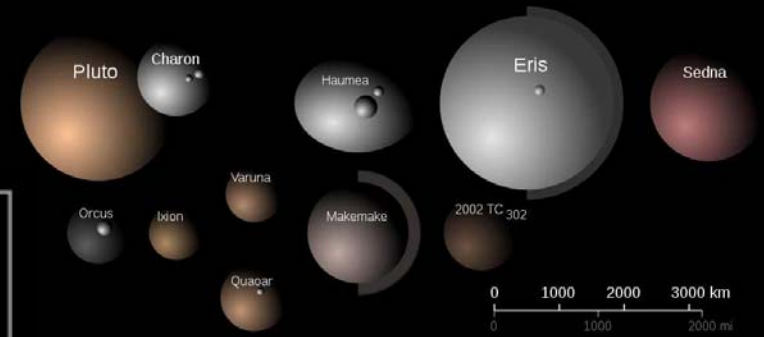


Orbit of Eris (136199 Eris)

Perihelion: 37.77 AU
Aphelion: 97.56 AU
Orbital period: 557 years

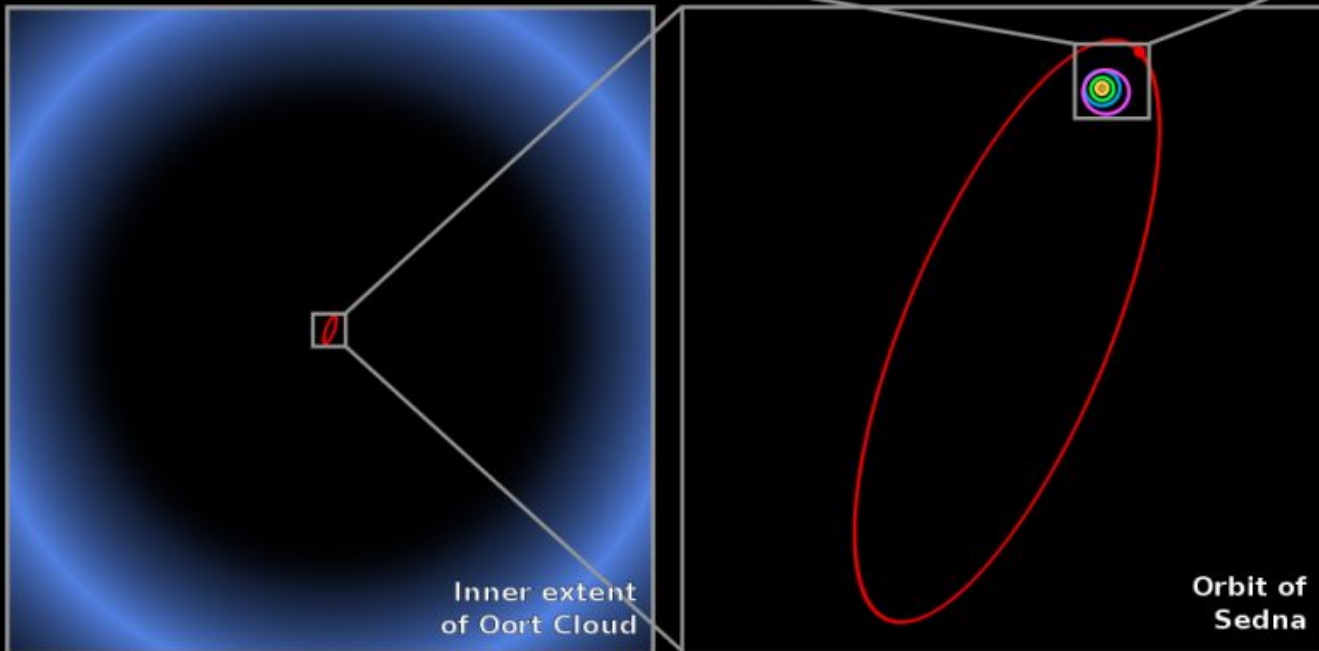
Eccentricity: 0.44
Inclination: 44°

Les planètes naines



Objets de la Ceinture de Kuiper:

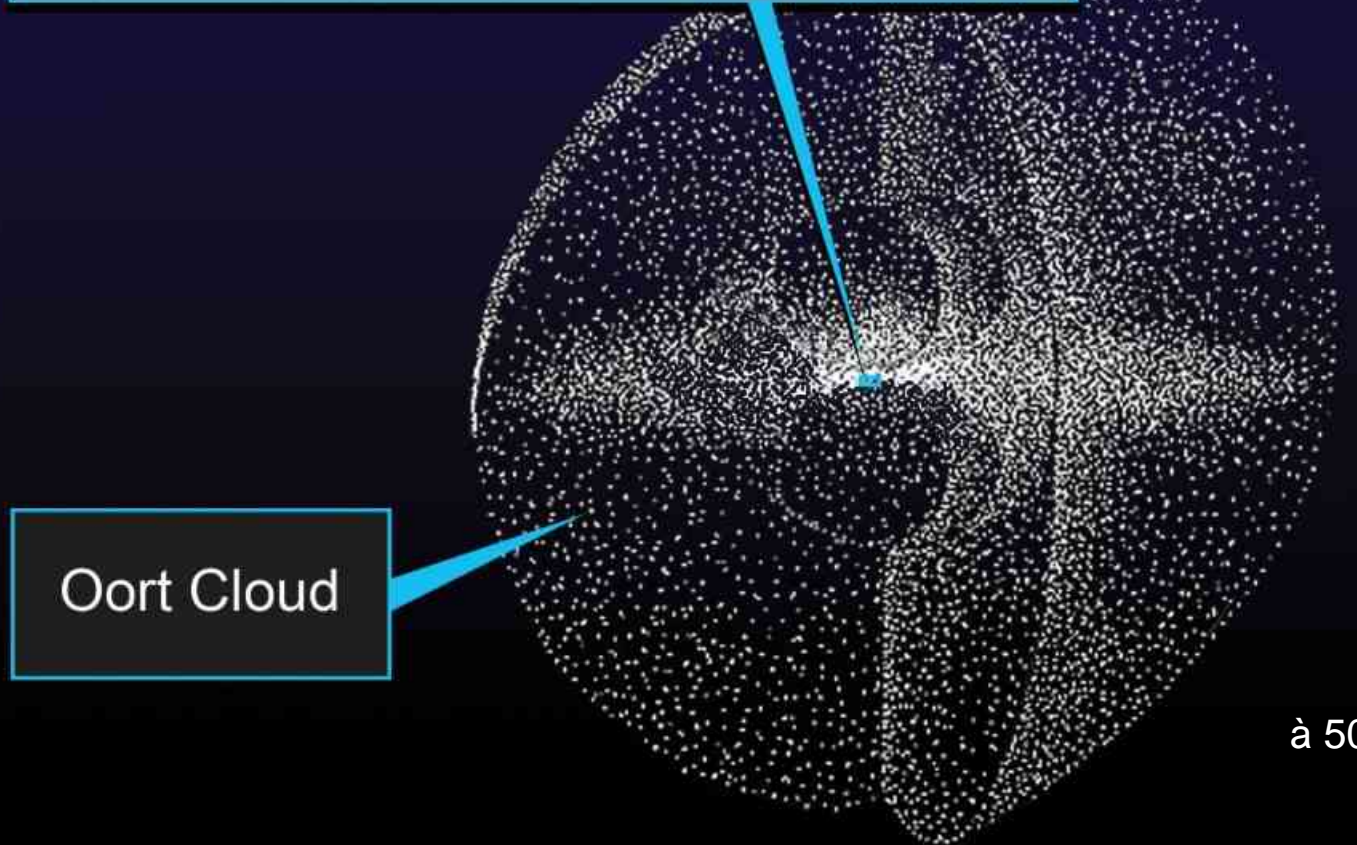
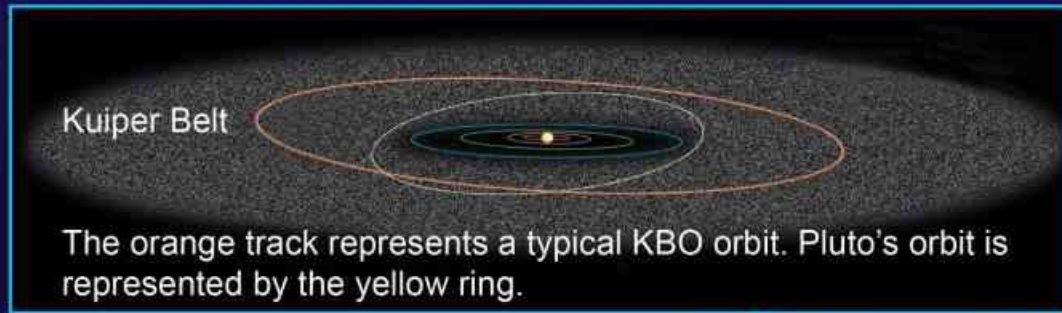
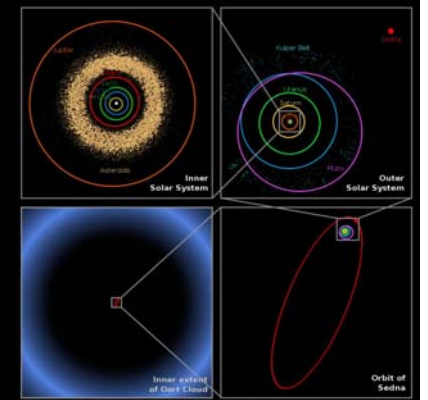
- Au-delà de Neptune (30 à 55ua)
- Orbites hors du plan de l'écliptique
- Orbites très elliptiques



Périhélie 76 ua
Aphélie à 940 ua

Le nuage de Oort

Aux confins du Système Solaire (50 000 ua, presque une 1al),
le réservoir des comètes



Oort Cloud

à 50 000 ua du Soleil

Les comètes, des boules de glace sale ... spectaculaires



HMC 68 Image Composite
Comet Halley 14th March 1986

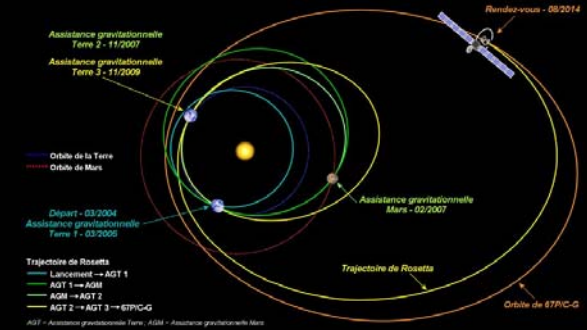
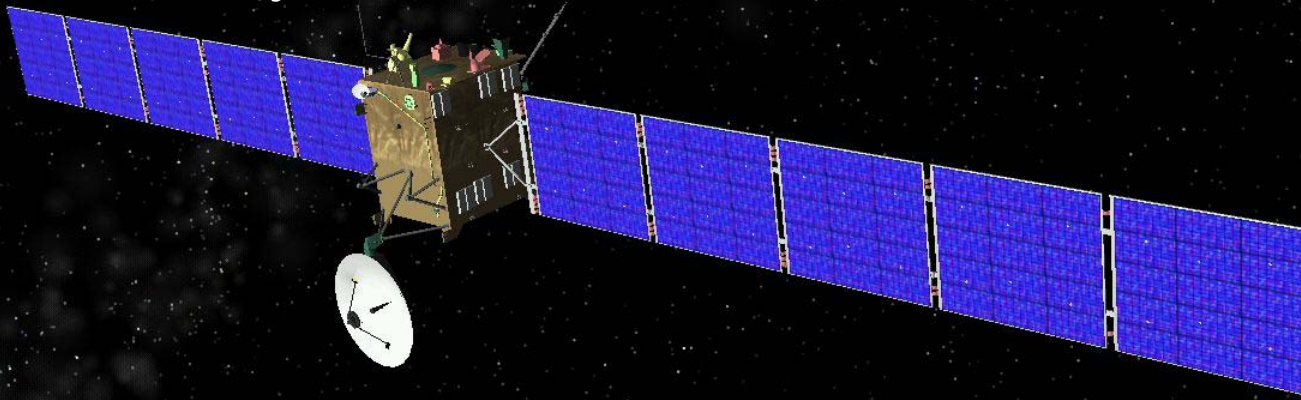


Giotto → Comète Halley en 1986

*Rosetta → Comète Churyumov-Gerasimenko
en 2014*

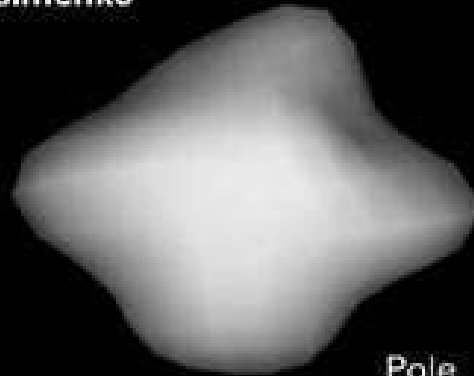
Rosetta

12 ans de voyage pour aller à la rencontre de la Comète 67P/Churyumov-Gerasimenko réveil le 20 janvier 2014



Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

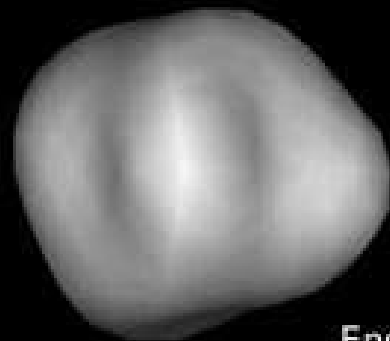
3-D reconstruction of the nucleus based on March 12, 2003 Hubble Space Telescope observations



Pole



Side



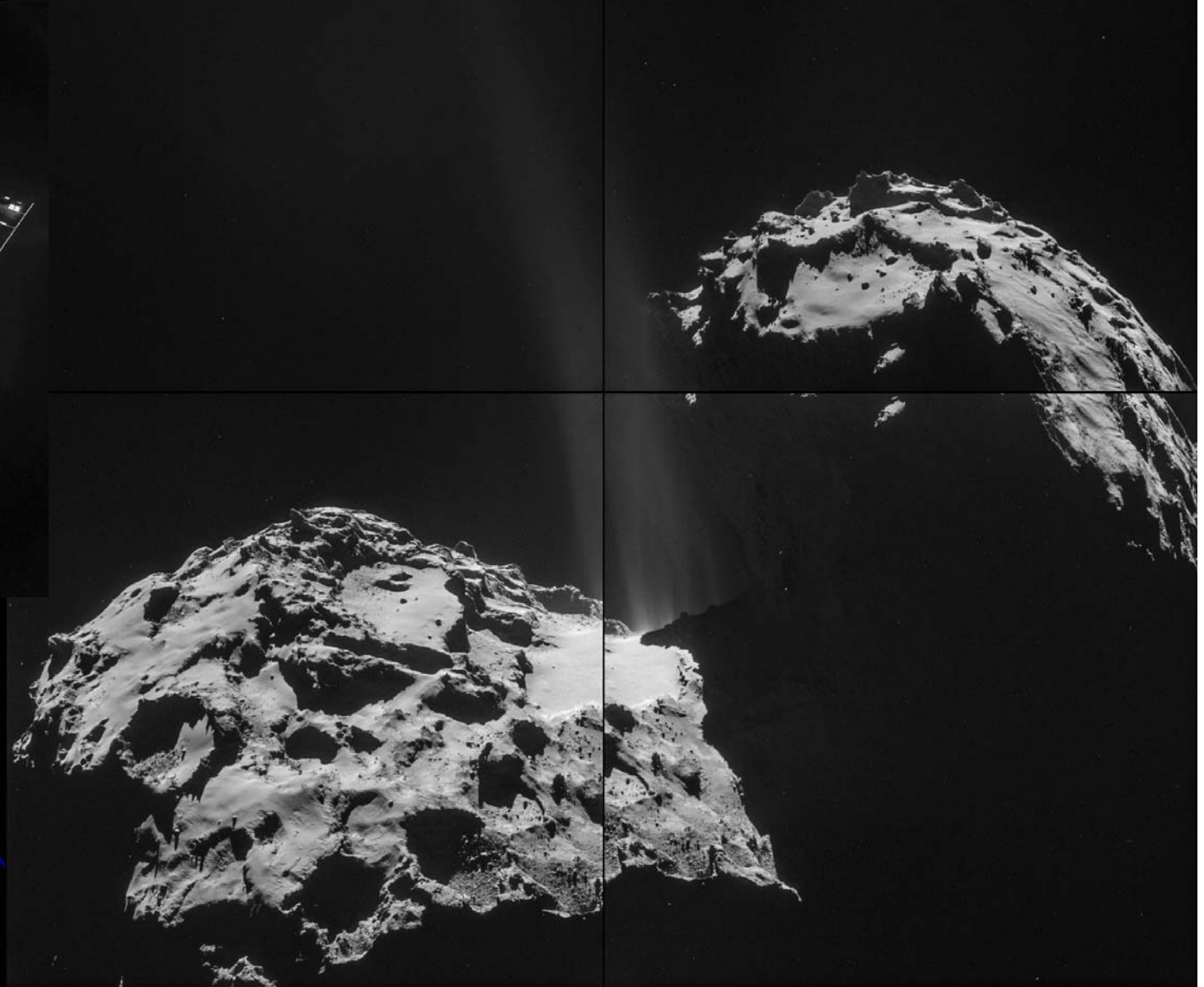
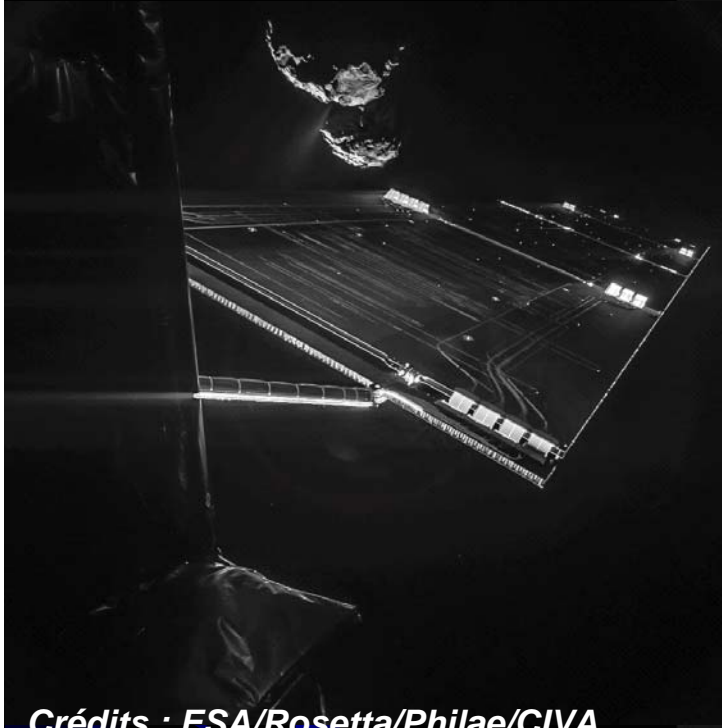
End



Philae lander

La comète vue par la caméra CIVA
de Philae le 7 oct.

Le 26 septembre 2014, la comète
est déjà un peu active....

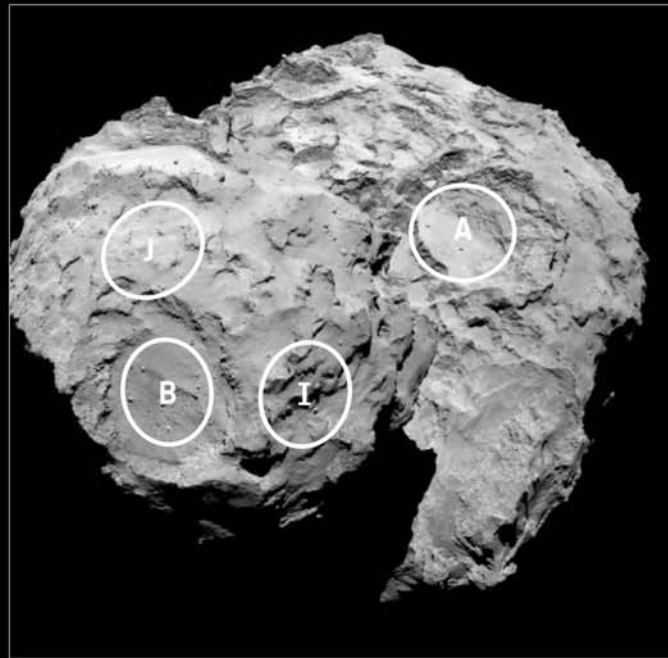


Crédits : ESA/Rosetta/Philae/CIVA

Crédits : ESA/Rosetta/NavCam

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014

Philae se pose sur la comète 67/P le 12 novembre 2014 sur le site Agilkia



Crédits : ESA/Rosetta/MPS

Mercredi 12 novembre 2014



Crédits : ESA/Rosetta

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014



Crédits : ESA/Rosetta/Philae/CIVA

1^{er} panoramique pris par CIVA
le 13 novembre depuis le sol



Crédits : ESA/Rosetta/Philae/CIVA

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014



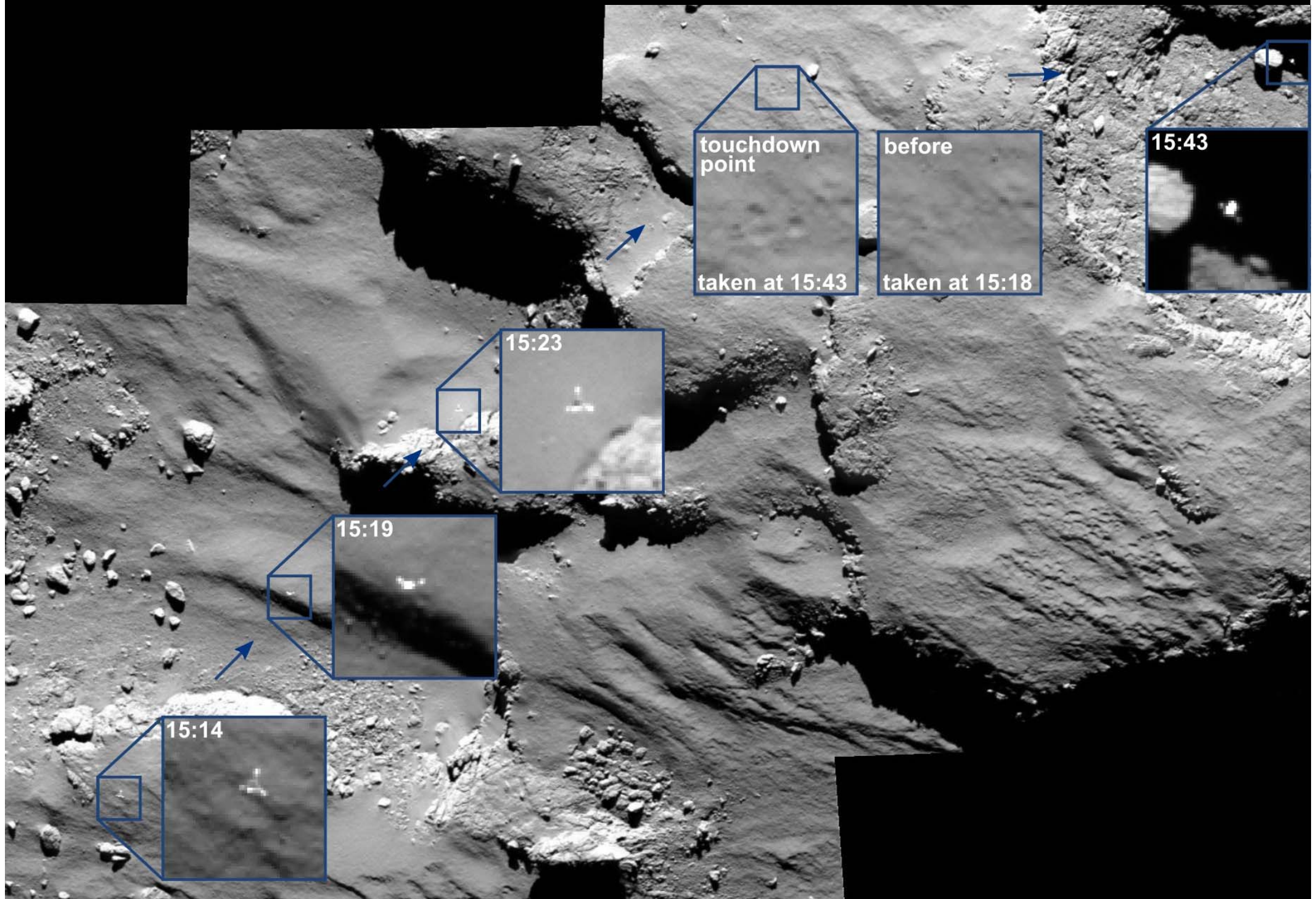
Crédits : ESA/Rosetta/Philae/CIVA

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014



Crédits : ESA/Rosetta/Philae/CIVA

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014



touchdown point
taken at 15:43

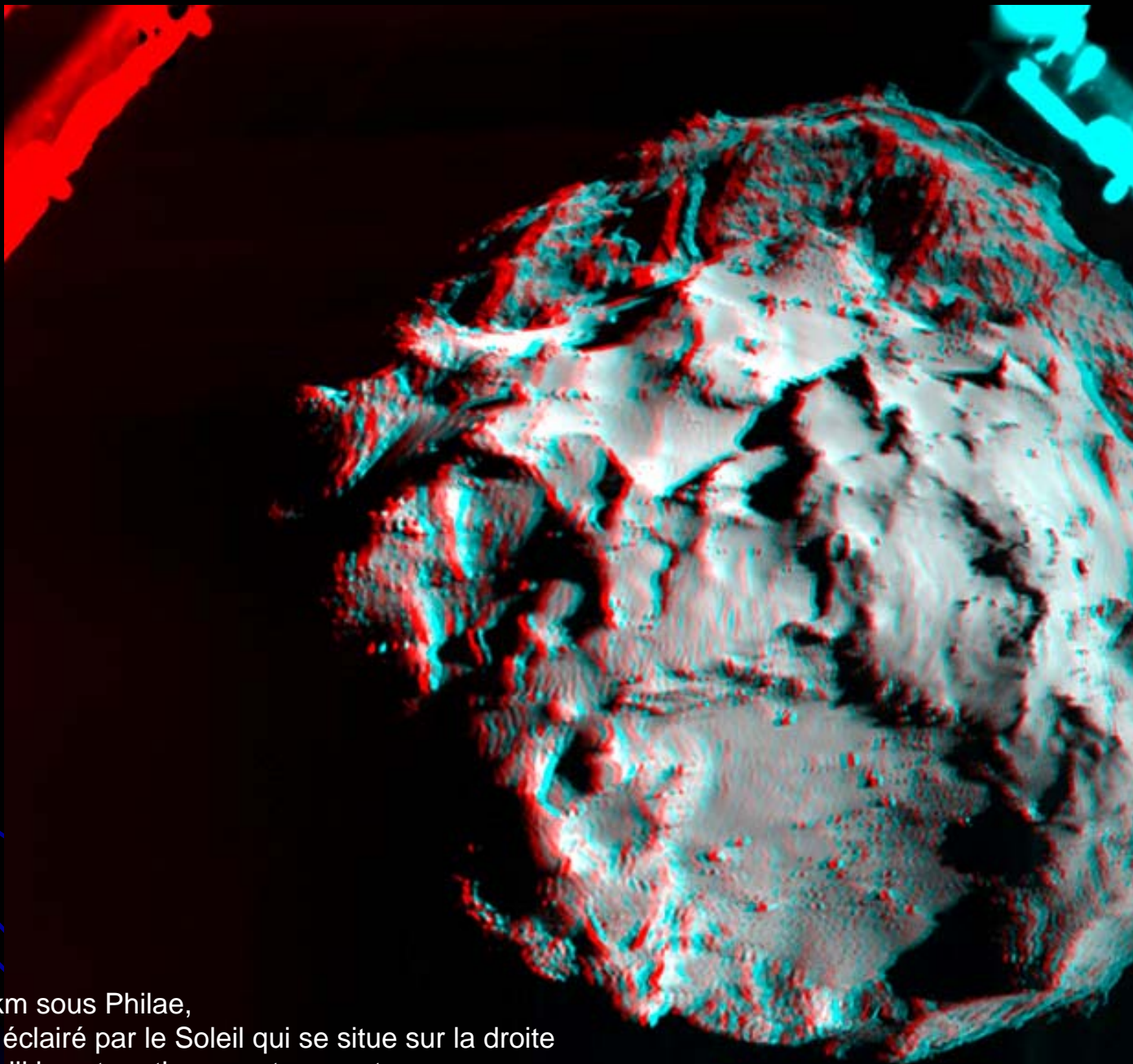
before
taken at 15:18

15:43

15:23

15:19

15:14



Au 1er plan, moins de 3 km sous Philae,
le petit lobe est vivement éclairé par le Soleil qui se situe sur la droite
et le site d'atterrissage Agilkia est pratiquement au centre.

Images prises par ROLIS à près de 3 km d'altitude le 12 novembre 2014

Deux images à 2 mn d'écart, Philae s'est approchée de 100 m

Crédits : ESA/Rosetta/Philae/ROLIS/DLR

I. VAUGLIN DAFOP Déc 2014