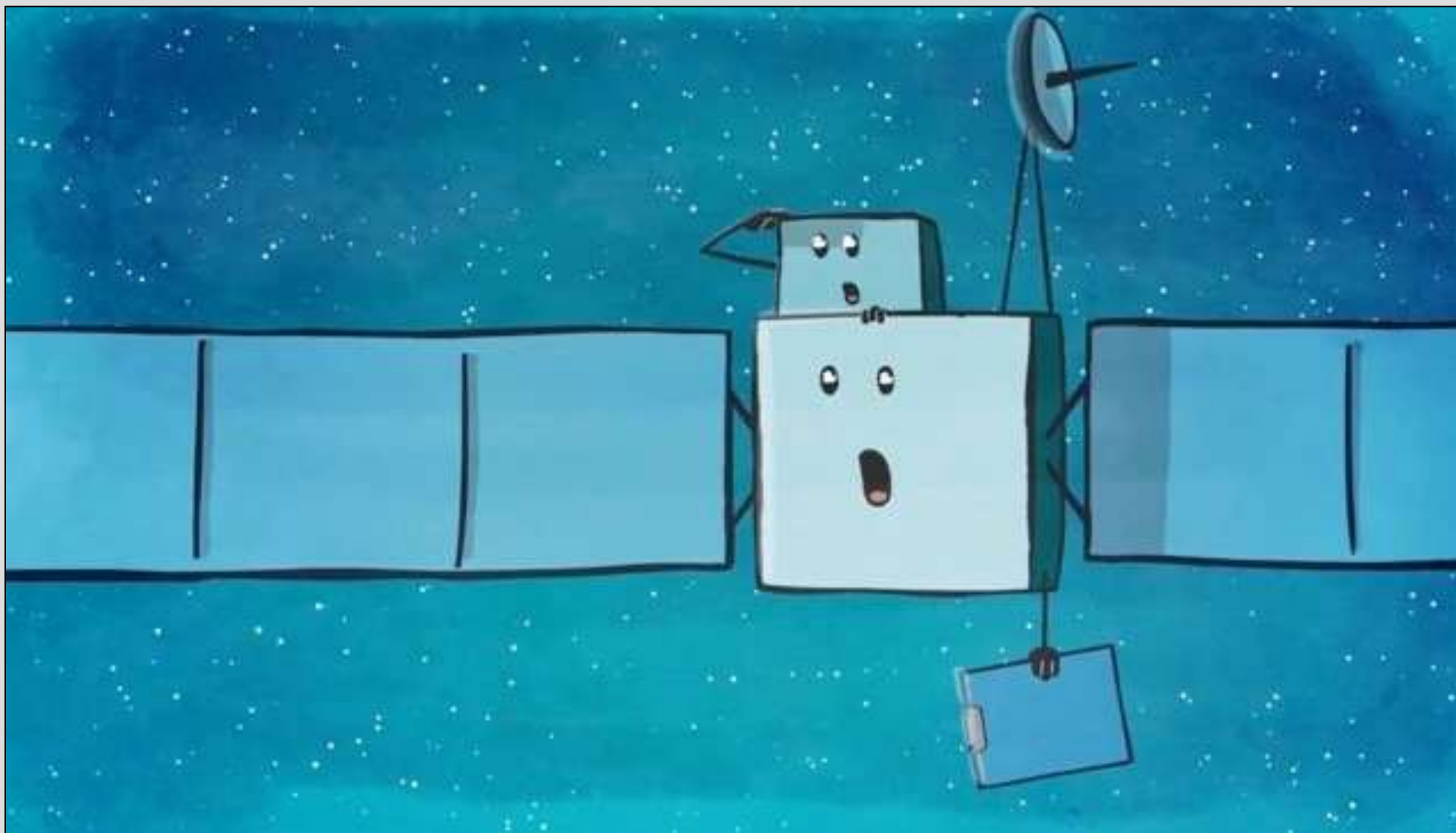


Mise ROSETTA

– PRŮBĚH A VÝSLEDKY Z POHLEDU KOMETÁRNÍ ASTRONOMIE



Historické ohlédnutí

start 2. března 2004

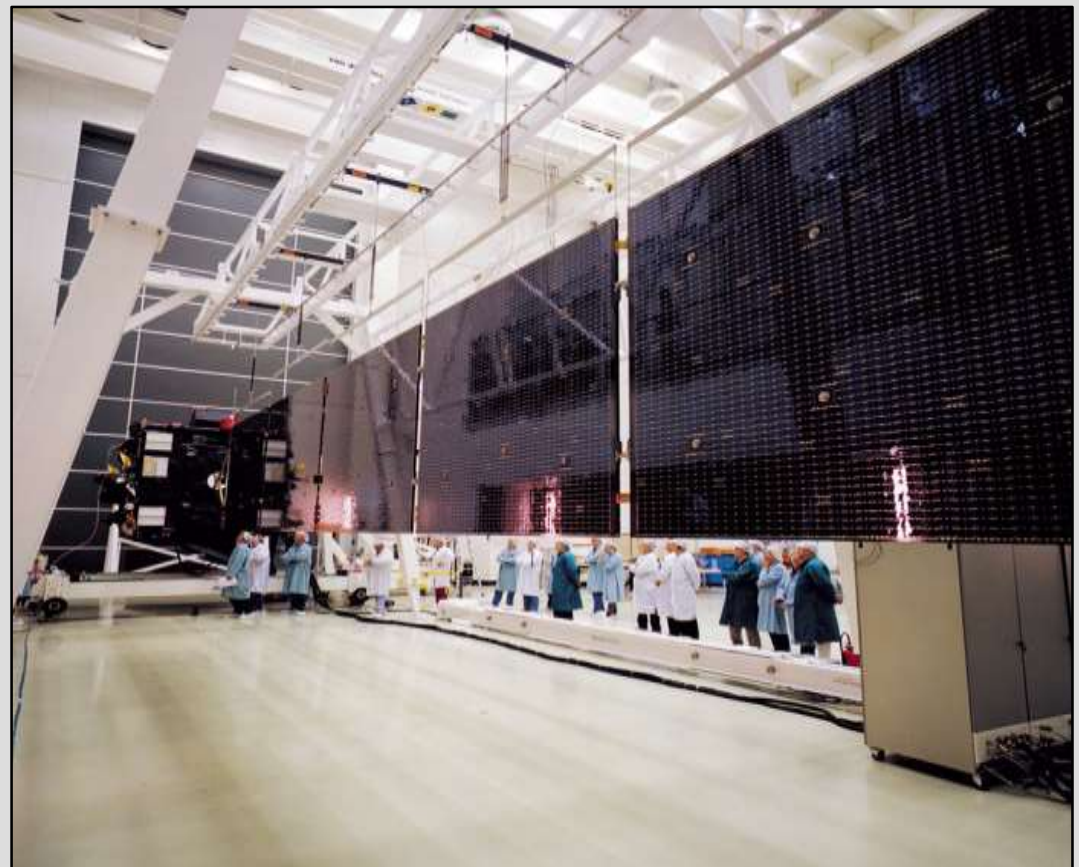
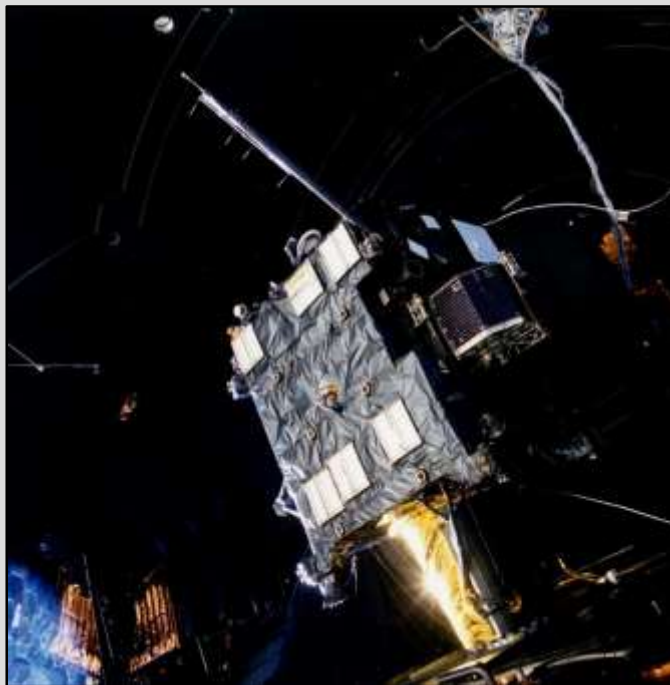
Ariane 5 G+

Korou



Rosetta – technické specifikace

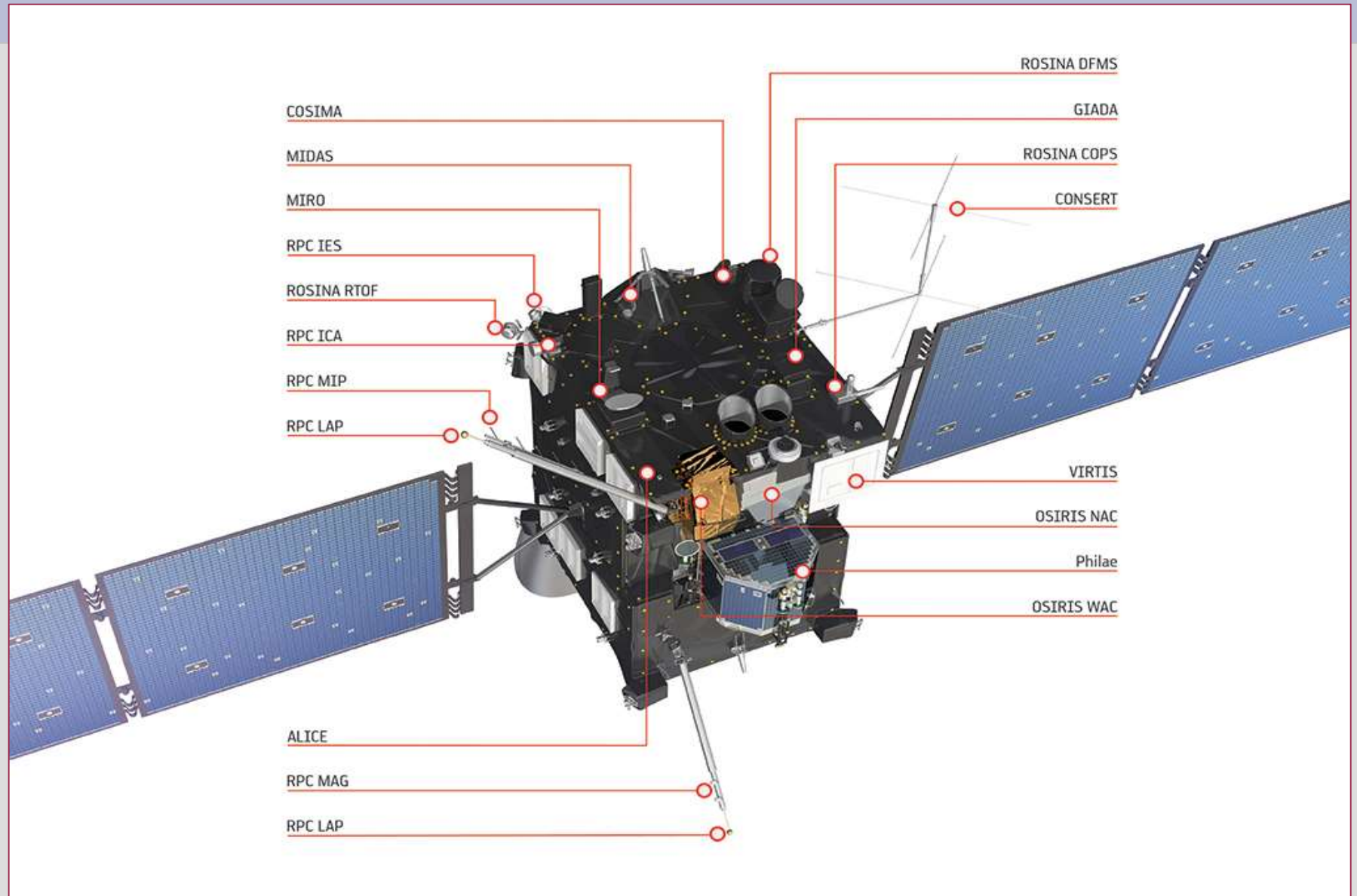
- 2 900 kg (1 670 kg paliva, 165 kg přístrojů)
- 2,8 x 2,1 x 2,0 m
solární panely 14 m



Rosetta – přístroje

- ALICE (Ultraviolet Imaging Spectrometer)
- CONSERT (Comet Nucleus Sounding)
- COSIMA (Cometary Secondary Ion Mass Analyser)
- GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator)
- MIDAS (Micro-Imaging Analysis System)
- MIRO (Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter)
- OSIRIS (Rosetta Orbiter Imaging System)
- ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis)
- RPC (Rosetta Plasma Consortium)
- RSI (Radio Science Investigation)
- VIRTIS (Visible and Infrared Mapping Spectrometer)

Rosetta – přístroje



Philae

- 100 kg (27,6 kg přístrojů)
- 1 x 1 x 1 m

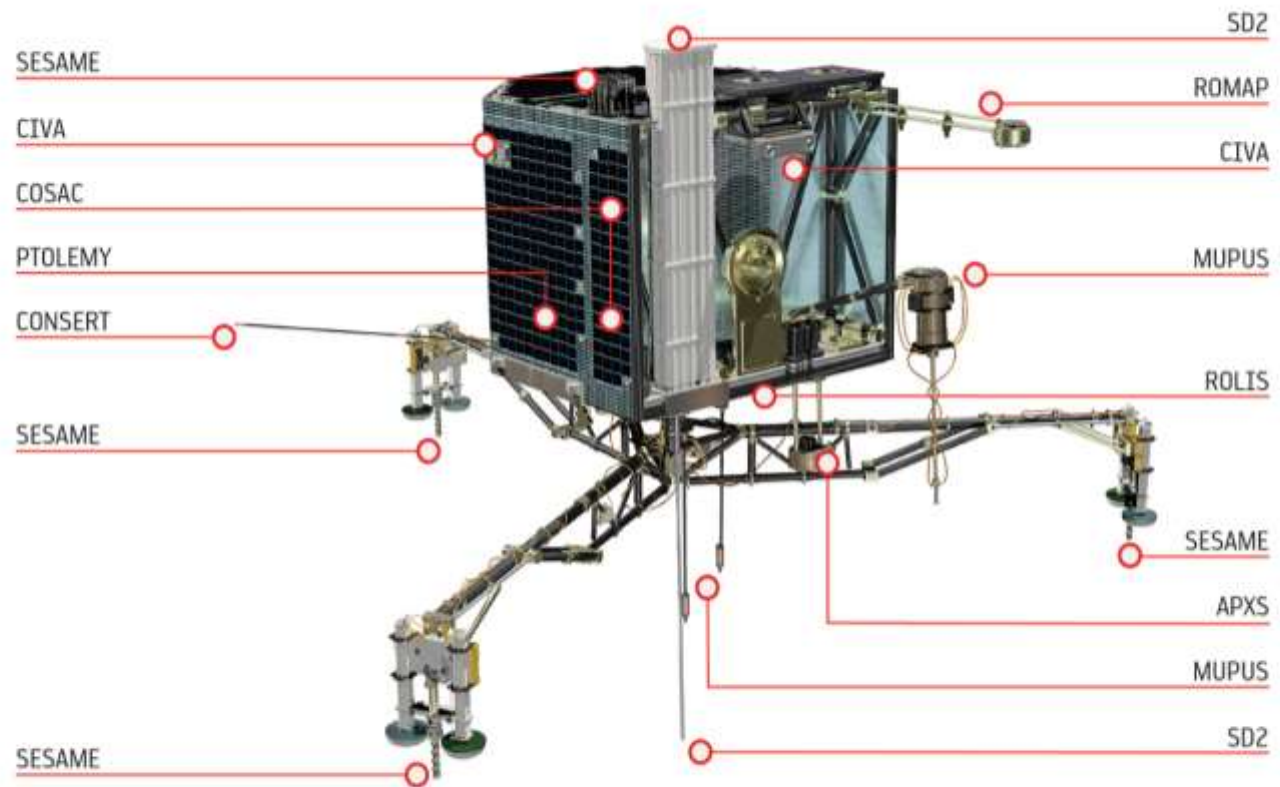
(před uvolněním podvozku)



Philae – přístroje

- APXS (Alpha Proton X-ray Spectrometer)
- ÇIVA / ROLIS (Rosetta Lander Imaging System)
- CONSERT (Comet Nucleus Sounding)
- COSAC (Cometary Sampling and Composition experiment)
- MODULUS PTOLEMY (Evolved Gas Analyser)
- MUPUS (Multi-Purpose Sensor for Surface and Subsurface Science)
- ROMAP (RoLand Magnetometer and Plasma Monitor)
- SD2 (Sample and Distribution Device)
- SESAME (Surface Electrical Sounding and Acoustic Monitoring Experiment)

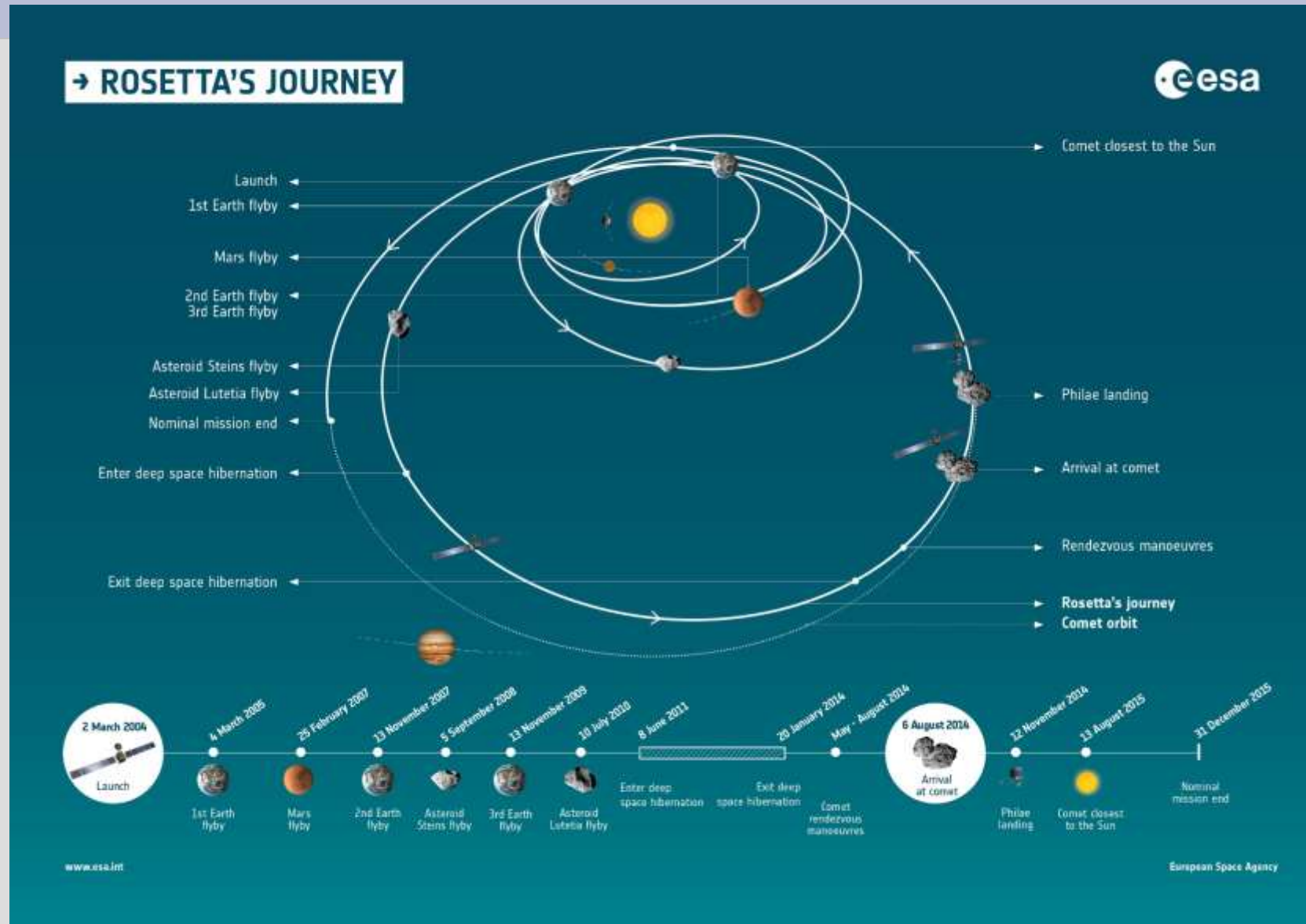
Philae – přístroje



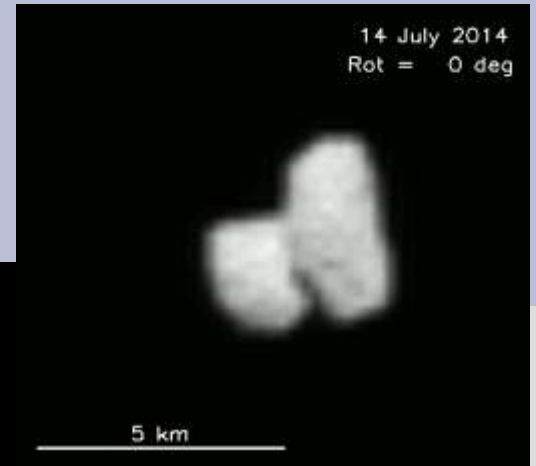
Rosetta – časová osa mise

- start 2. března 2004
- gravitační asistence Země I 4. března 2005
- gravitační asistence Marsu 25. února 2007
- gravitační asistence Země II 13. listopadu 2007
- gravitační asistence Země III 13. listopadu 2009
- průlet kolem planety *Steins* 5. září 2008
- průlet kolem planety *Lutetia* 10. července 2010
- hibernace 8. června 2011 do 20. ledna 2014
- setkávací manévry s 67P květen – srpen 2014
- přílet ke kometě 6. srpna 2014
- přistání Philae na povrchu 12. listopadu 2014
- opět kontakt s Philae 13. června 2015
- přísluní 67P 13. srpna 2015
- objev Philae 2./5. září 2016
- konec mise ~~31. prosince 2015~~ (30. září 2016)

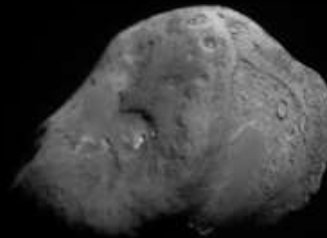
Rosetta – časová osa mise



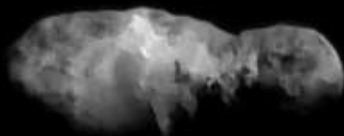
67P a ty další



1P/Halley - $16 \times 8 \times 8$ km
Vega 2, 1986



9P/Tempel 1
 7.6×4.9 km
Deep Impact, 2005



19P/Borrelly
 8×4 km
Deep Space 1, 2001

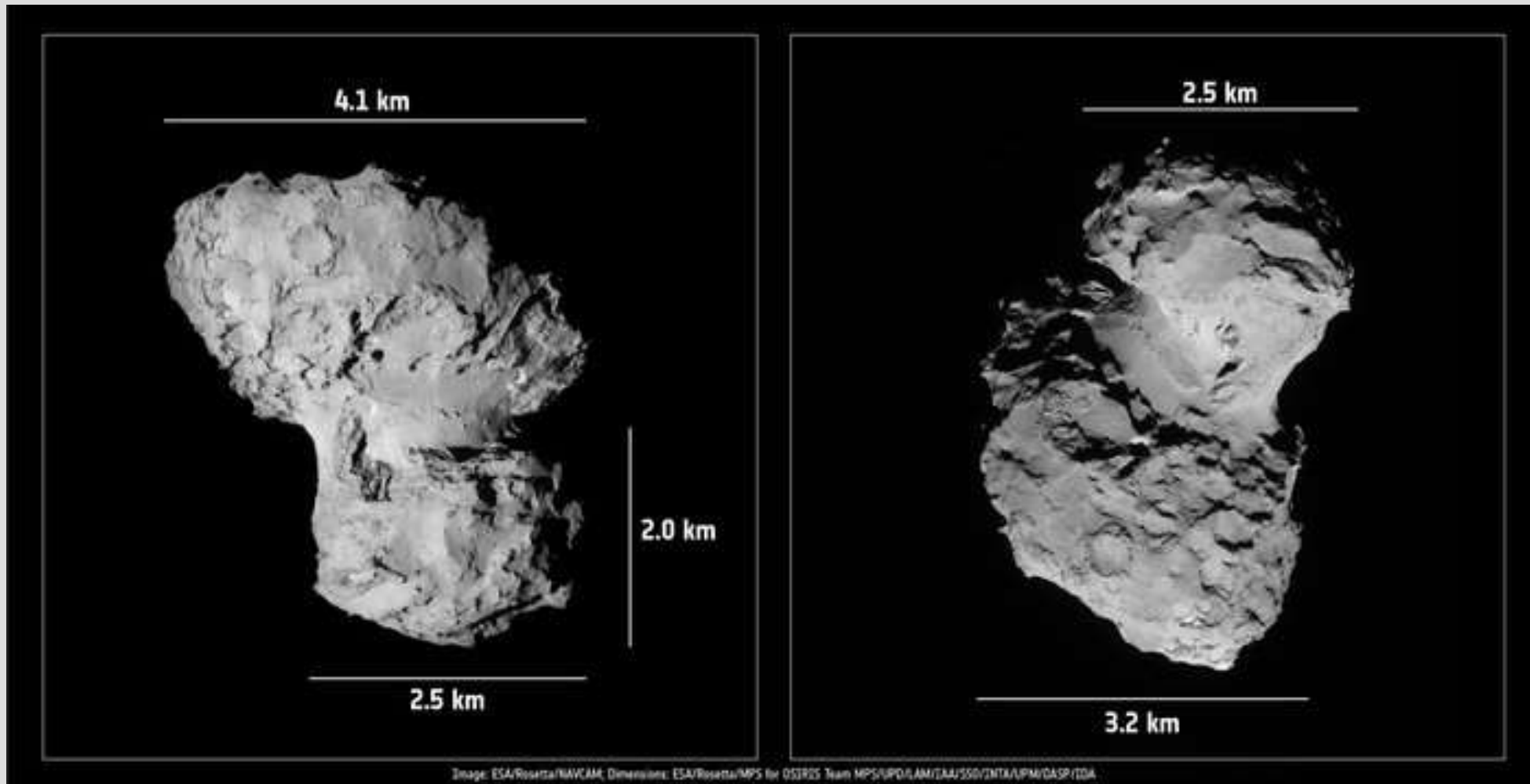


103P/Hartley 2
 2.2×0.5 km
Deep Impact, 2010

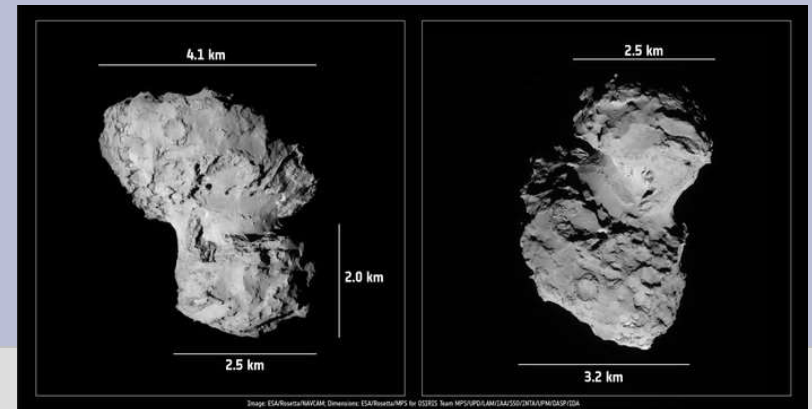


81P/Wild 2
 $5.5 \times 4.0 \times 3.3$ km
Stardust, 2004

67P – míry a váhy



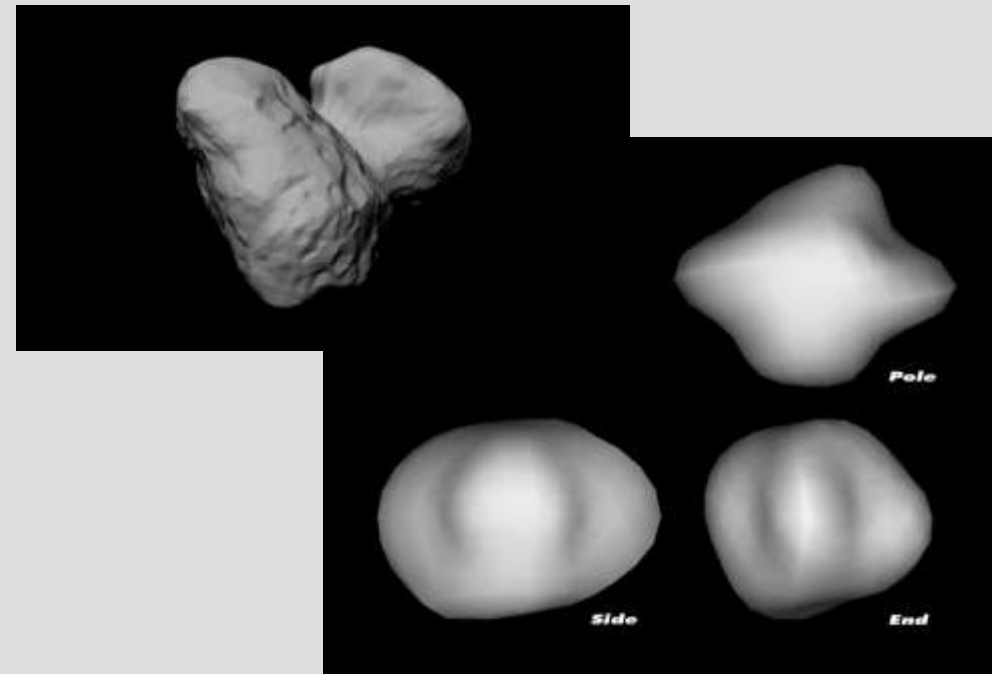
67P – míry a váhy



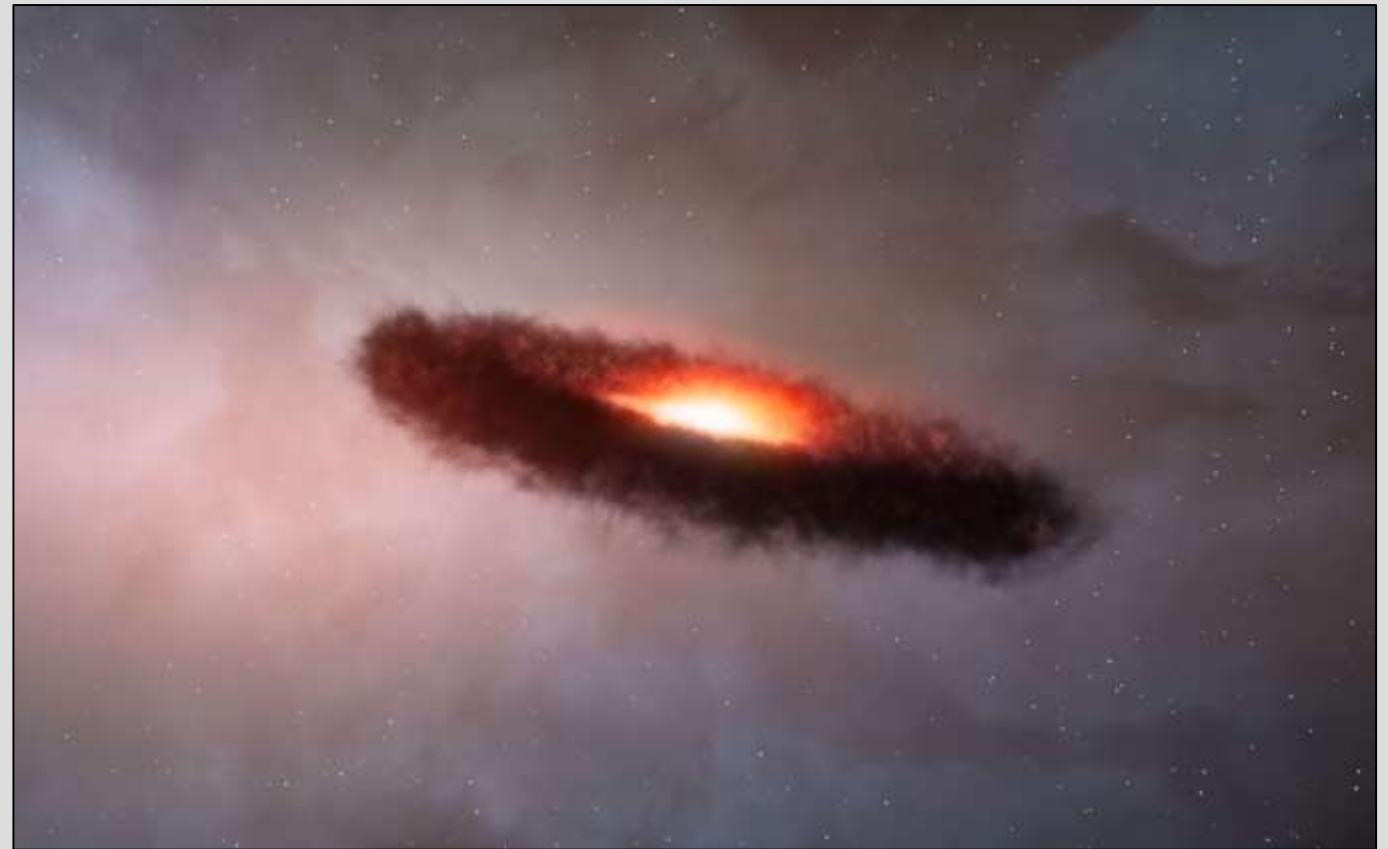
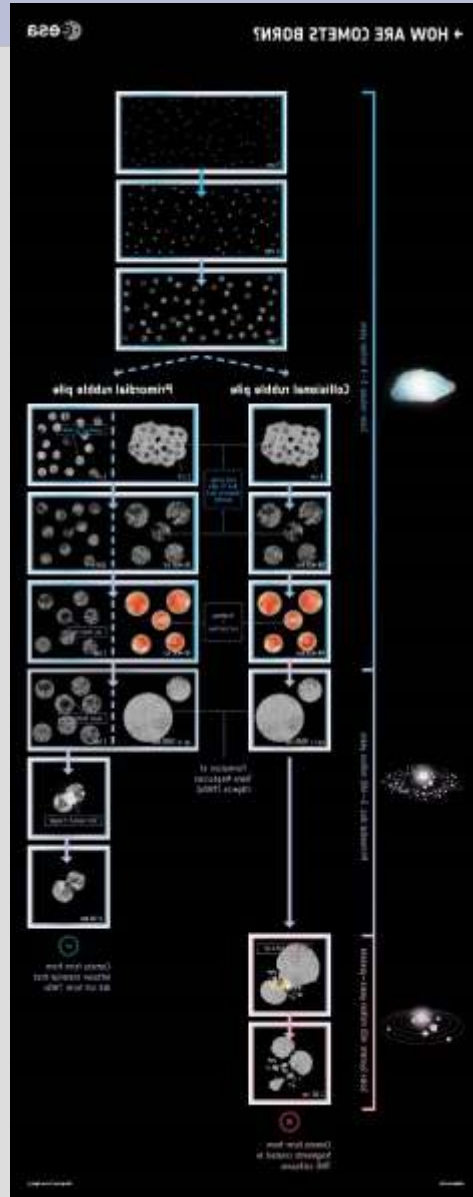
- jádro je složeno ze dvou částí (kontaktní binár)
- sekundární jádro (hlava) $2,6 \times 2,3 \times 1,8$ km
- primární jádro (tělo) $4,1 \times 3,3 \times 1,8$ km
- celkový objem $\sim 21,4$ km³
- hmotnost na 10 miliard tun
- střední hustota 470 kg/m³

- 46P/67P – přistání Philae

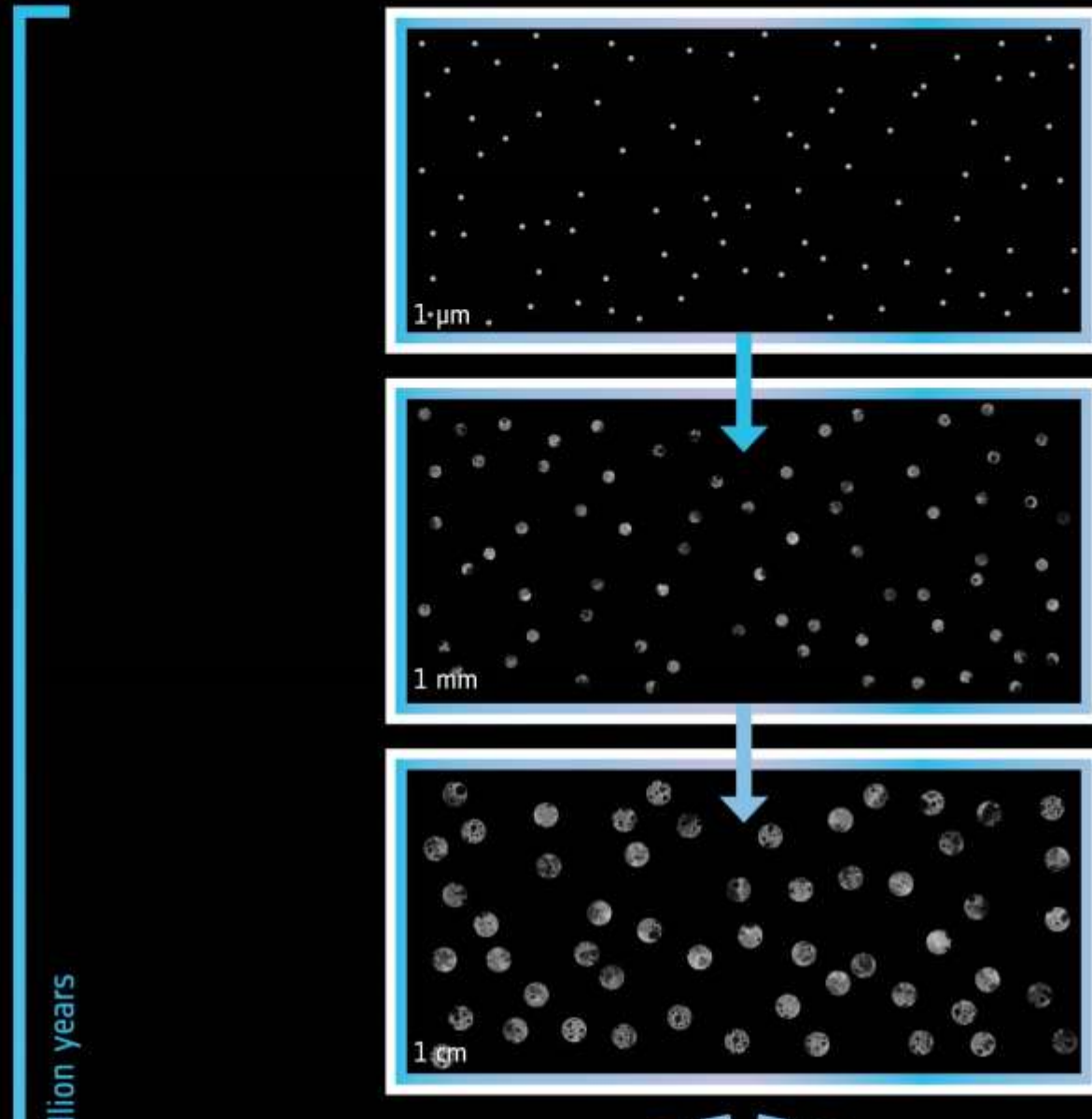
- překvapivě komplexní tvar
=
nadhodnocení původního
odhadu hmotnosti



67P – vznik kometárního jádra



→ HOW ARE COMETS BORN?



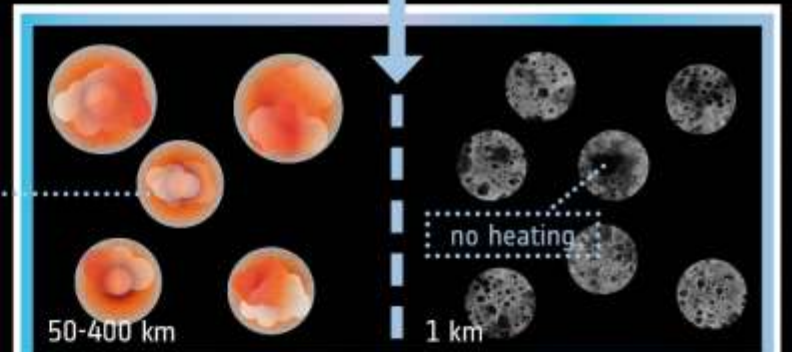
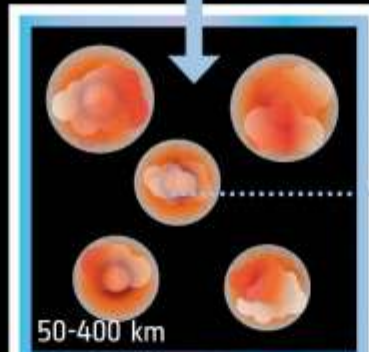
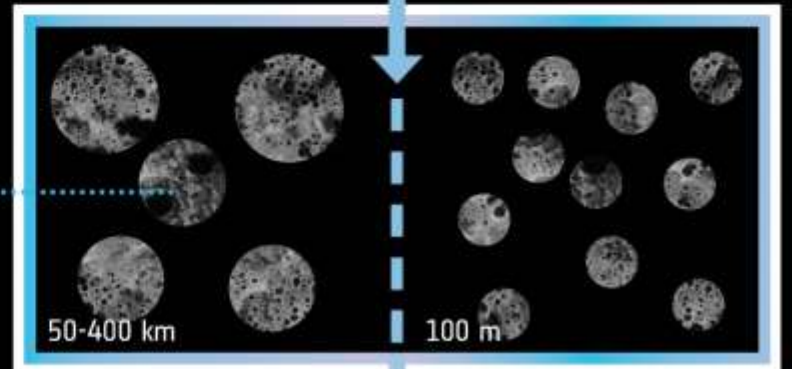
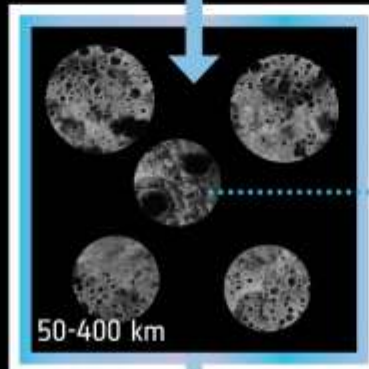
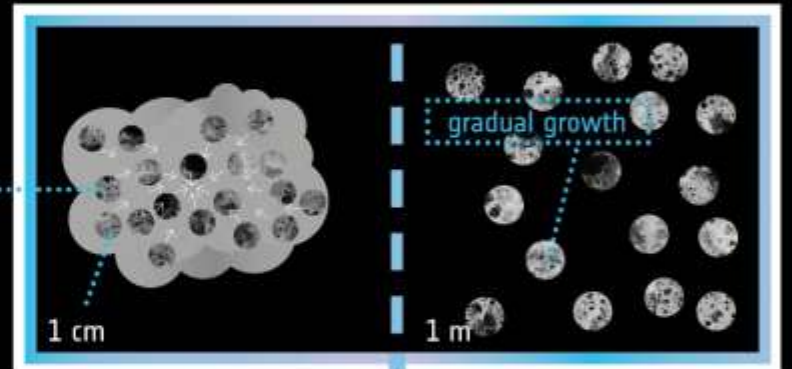
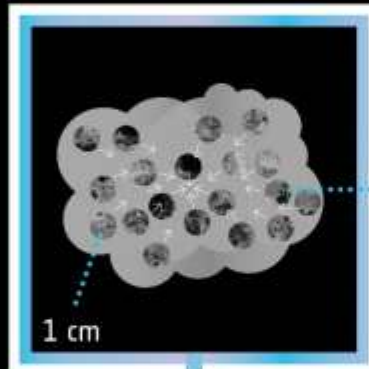


Solar nebula: 0–3 million years



Collisional rubble pile

Primordial rubble pile



size jump
due to gas
streams and
gravity

heating
+
compaction

no heating



Primordial disc: 3 – 400 million years



50-400 km

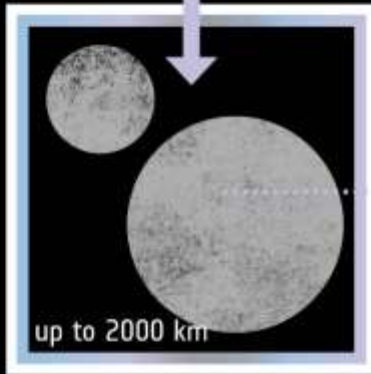


50-400 km

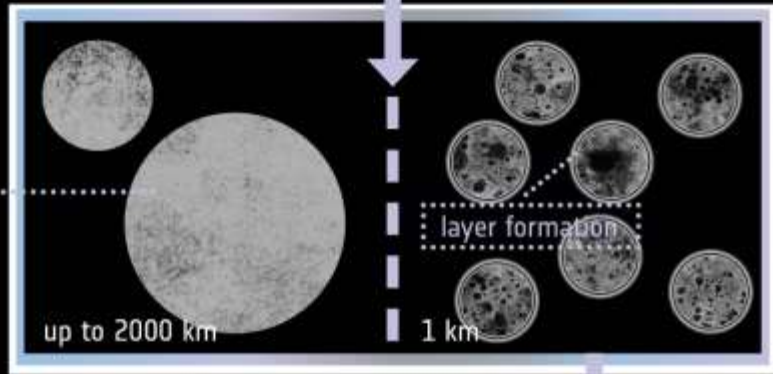


1 km

no heating



up to 2000 km

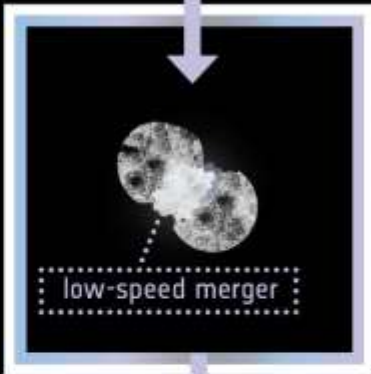


up to 2000 km

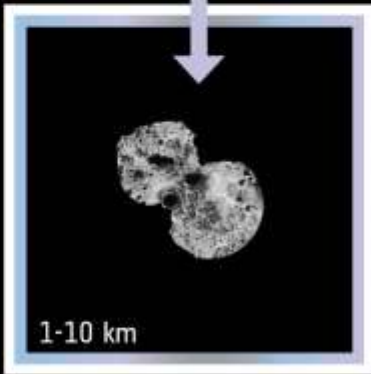
1 km

layer formation

Formation of Trans-Neptunian Objects (TNOs)



low-speed merger



1-10 km



Comets form from leftover material that

present

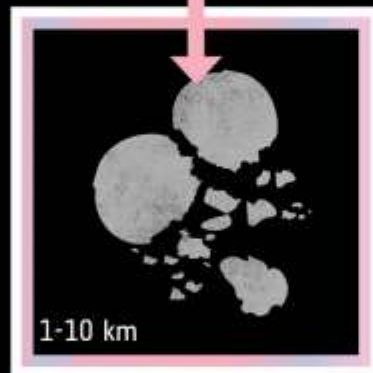


violent collision

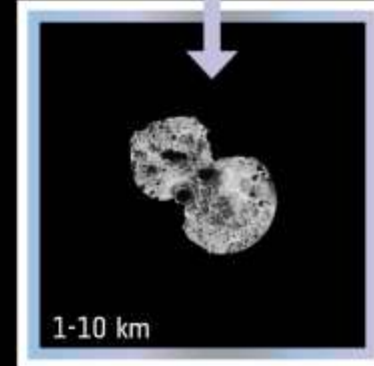


Solar System: 400 million years – present

Prim



Comets form from fragments created in TNO collisions

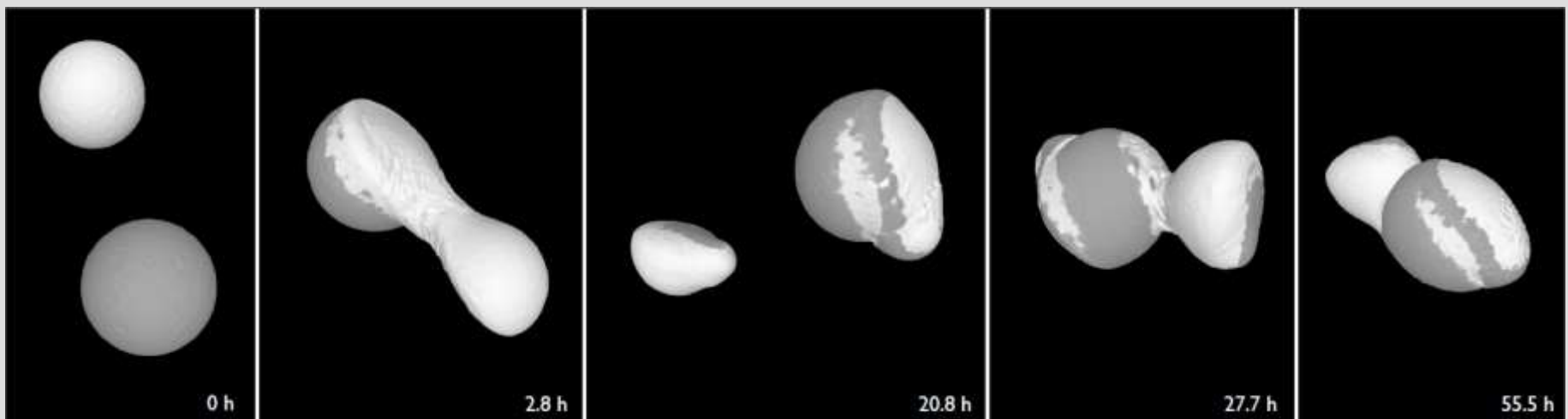


Comets form from leftover material that did not form TNOs

67P – vznik podvojného jadra

- a. ~~lokalizovaná aktivita (dnes oblast krku)~~
- b. ~~slepení prvotních jader nestejně velikosti~~
- c. kolizní destrukce asymetrického jadra a opětovné spojení materiálu

Problém s dlouhodobou stabilitou útvaru.



67P – vznik podvojného jadra

Comet 67P/C-G shape formation
by sub-catastrophic collisions

M. Jutzi, W. Benz

67P – vznik podvojného jádra

- a. ~~lokalizovaná aktivita (dnes oblast krku)~~
- b. ~~slepení prvotních jader nestejně velikosti~~
- c. kolizní destrukce asymetrického jádra a opětovné spojení materiálu

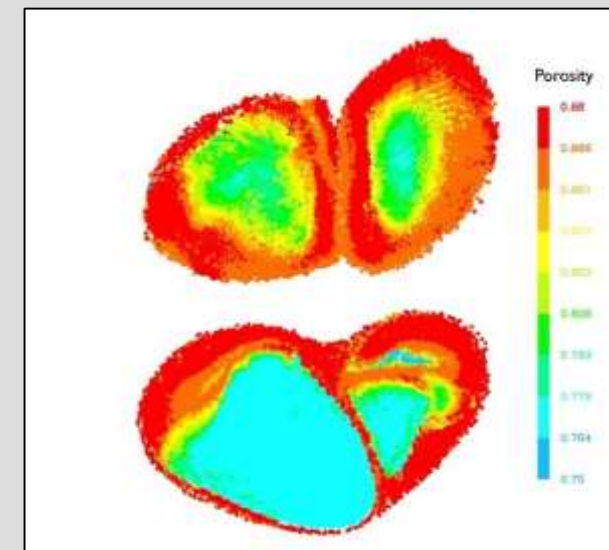
Problém s dlouhodobou stabilitou útvaru.

- šokově a tepelně je ovlivněno řádově několik procent hmoty, zbytek je zachován v původním primitivním stavu
- kometární jádra nemohou být kolizními pozůstatky rozpadlých větších těles (TNO)

67P – hmota a vnitřní stavba

- hmota je velmi primitivní (obsahuje však i tepelně modifikované prachové částice)
- směs ledu a prachu v poměru od 0,4 až po 2,6
 - => **Většina hmoty jádra je v podobě prachu !!!**
- vysoká porosita (asi 75-85 %)
- vyloučena makroporosita (v řádu ~100 m)
- detekována místa, kde klesá směrem do nitra

Modelové rozložení porosity po vzniku (dvoj)jádra dle impaktního scénáře.



67P – morfologie povrchu



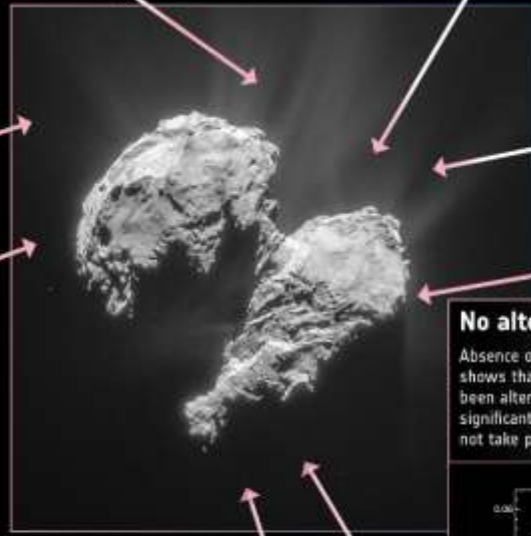
→ PROFILE OF A PRIMORDIAL COMET

Positive relief features
Spherical 'caps' hint at remnant cometesimals

Supervolatiles
The comet is rich in carbon monoxide, oxygen, nitrogen and argon, suggesting it formed at low temperature and did not experience thermal processing by heat from radioactive decay

High porosity
Nucleus and ejected dust consist of highly porous material, implying low-speed accretion and excluding further high-speed collisional processing

Goosebumps and clods
Internal 'lumpiness' hints at metre-sized cometesimals



Layers
Extensive layering implies material accumulated over a lengthy period

No alteration by liquid water
Absence of an absorption feature at 700 nm shows that minerals in the comet have not been altered by liquid water, implying that significant heating by radioactive decay did not take place

Low strength
Low density, high porosity and weak strength reflect properties of early cometesimals and imply low speed accretion

Two lobes
Similar properties of both lobes imply similar evolution, and survival against collision

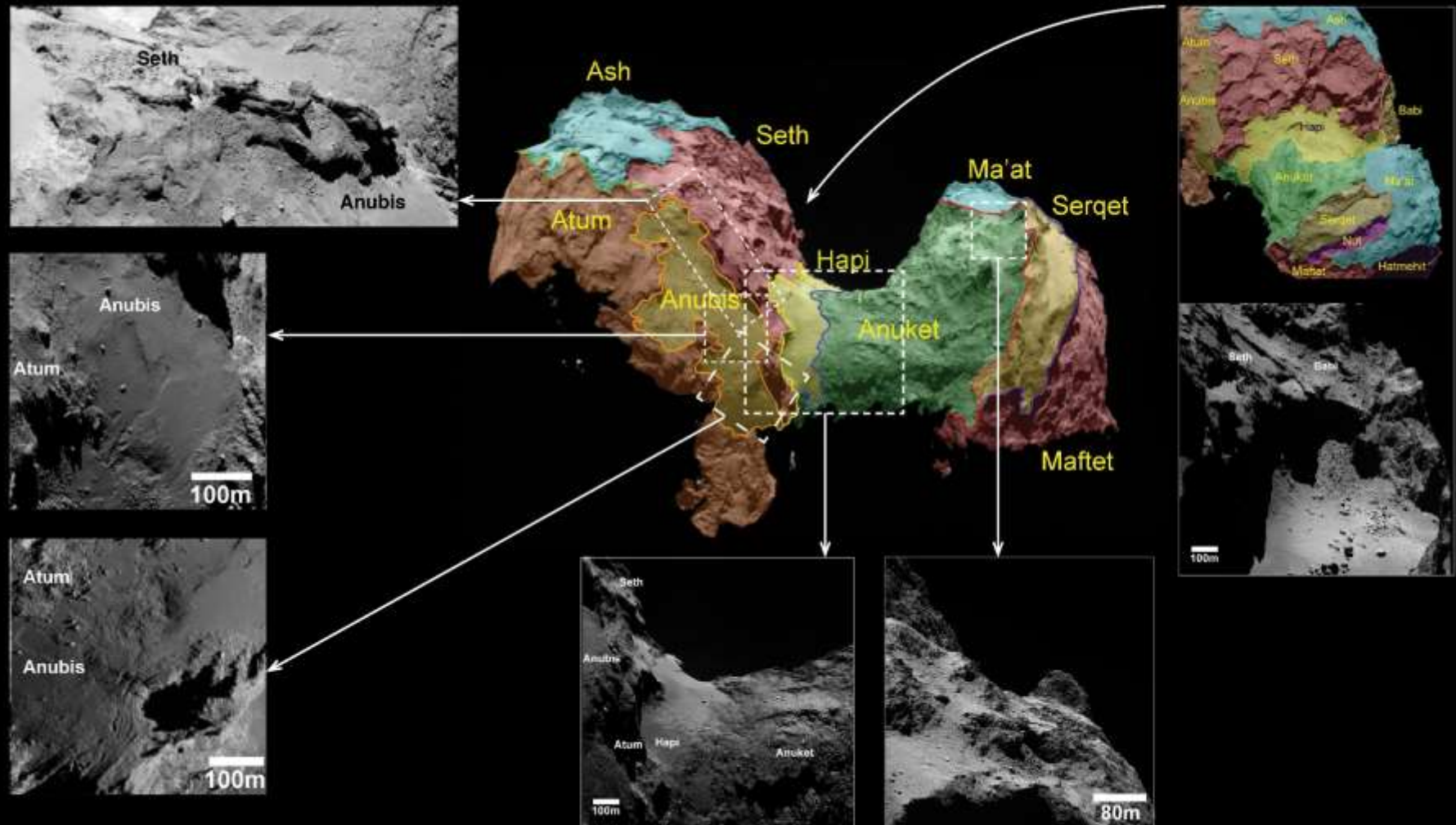
67P – morfologie povrchu

Pět základních morfologických struktur:

- prachem pokrytý terén
- jemně rozlámaný terén
- rozsáhlé propadliny
- hladký terén
- obnažený zpevněný terén

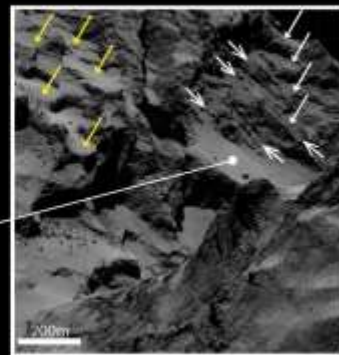
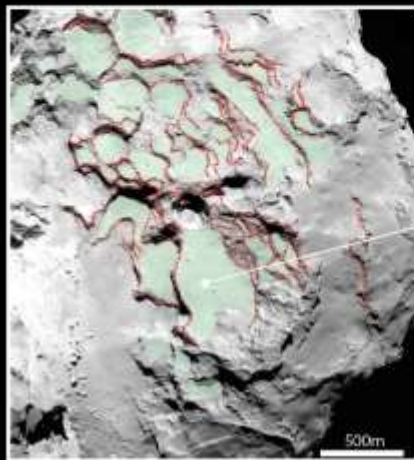


67P – morfologie povrchu

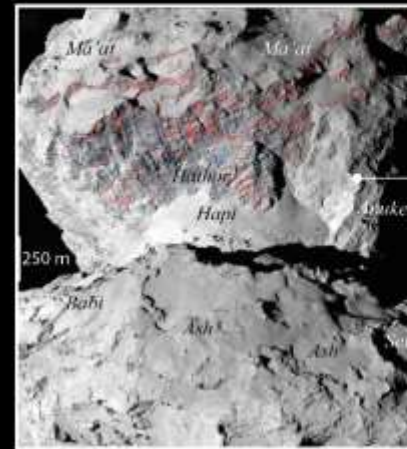


67P – morfologie povrchu

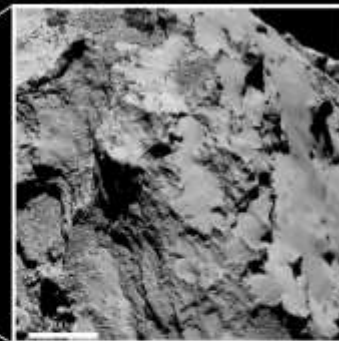
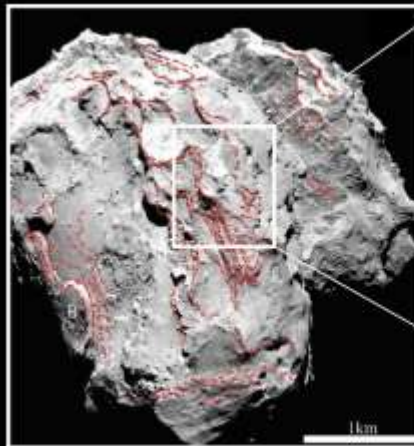
→ COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO'S LAYERS



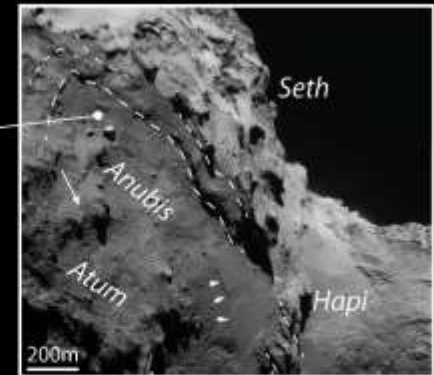
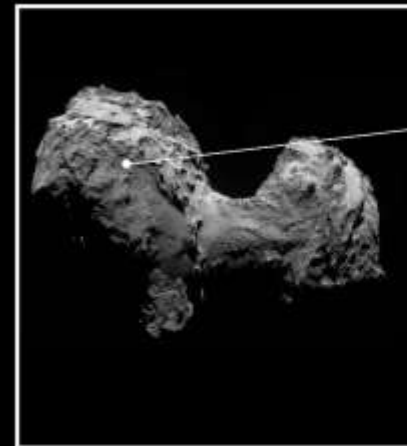
Main terraces (green) and exposed layers (red dashed lines) seen in the Seth region. Close-up: sets of terraces in two locations (small-pointed white and yellow arrows) with examples of parallel layers (large-pointed white arrows).



Main layers (red dashed lines) and cross-cutting fractures (blue dashed lines) in the Hathor cliff face on the comet's small lobe. Close-up: layers in an akove at the Hathor–Anuket boundary. White arrows indicate terraces.



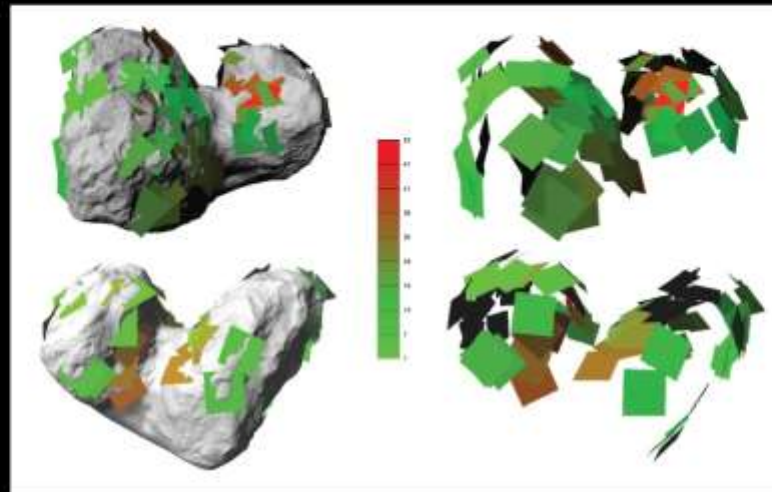
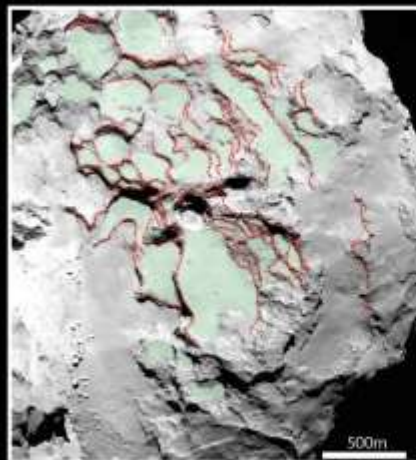
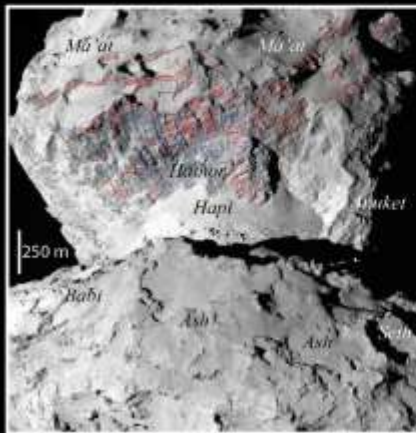
Outline of exposed layers (red dashed lines) in the Imhotep and Ash region on the comet's large lobe (some layers also indicated on small lobe in the background). Close-up: parallel layers in a section along the Imhotep–Ash boundary.



Layers (white dashed lines) at the boundary of Anubis and Seth. The three arrow heads point to a terrace margin in Anubis and the single white arrow points to a terrace in Atum.

67P – morfologie povrchu

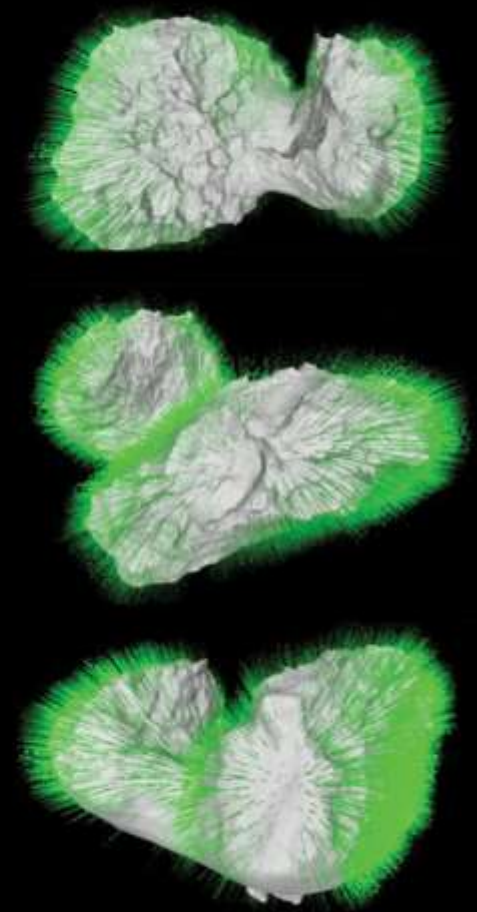
→ THE TWO LOBES OF COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO



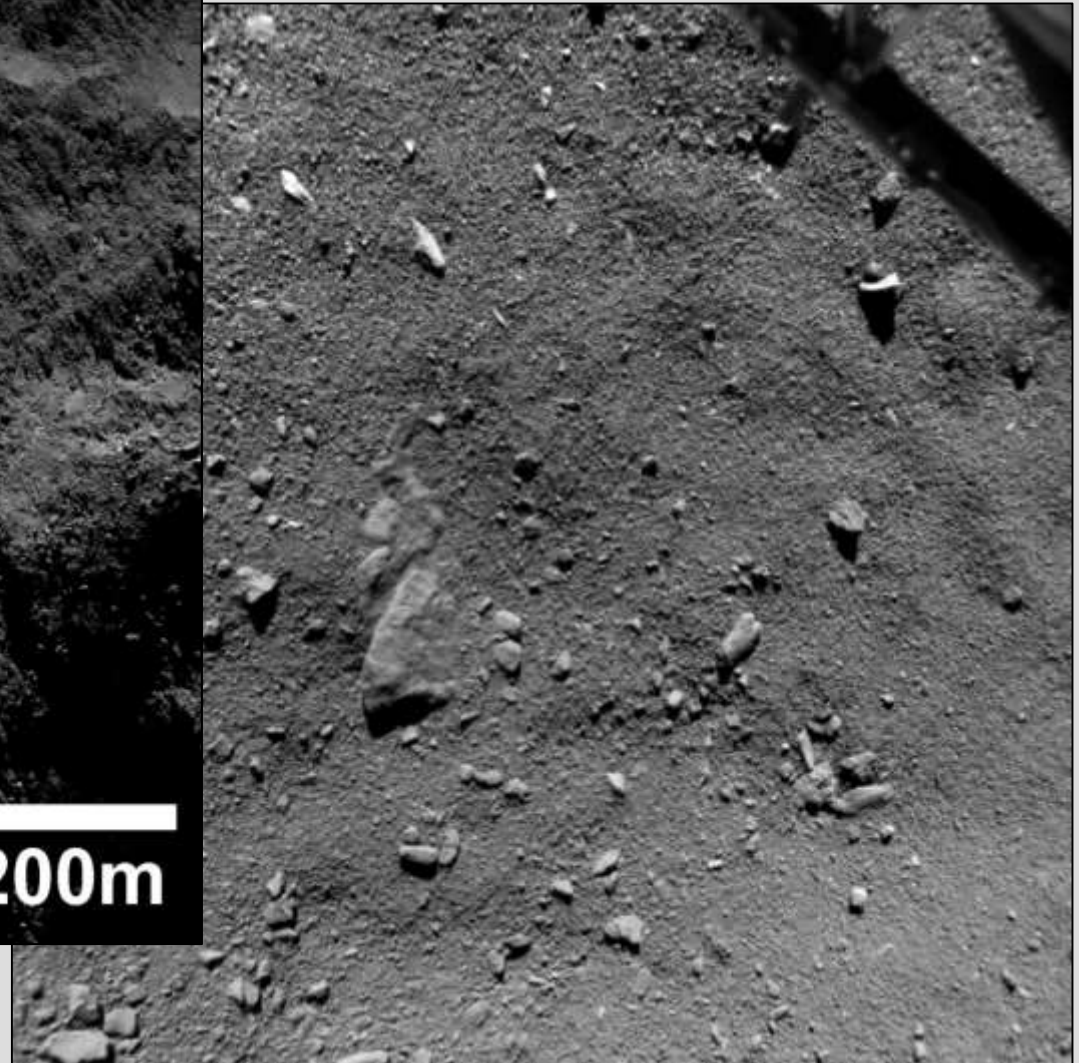
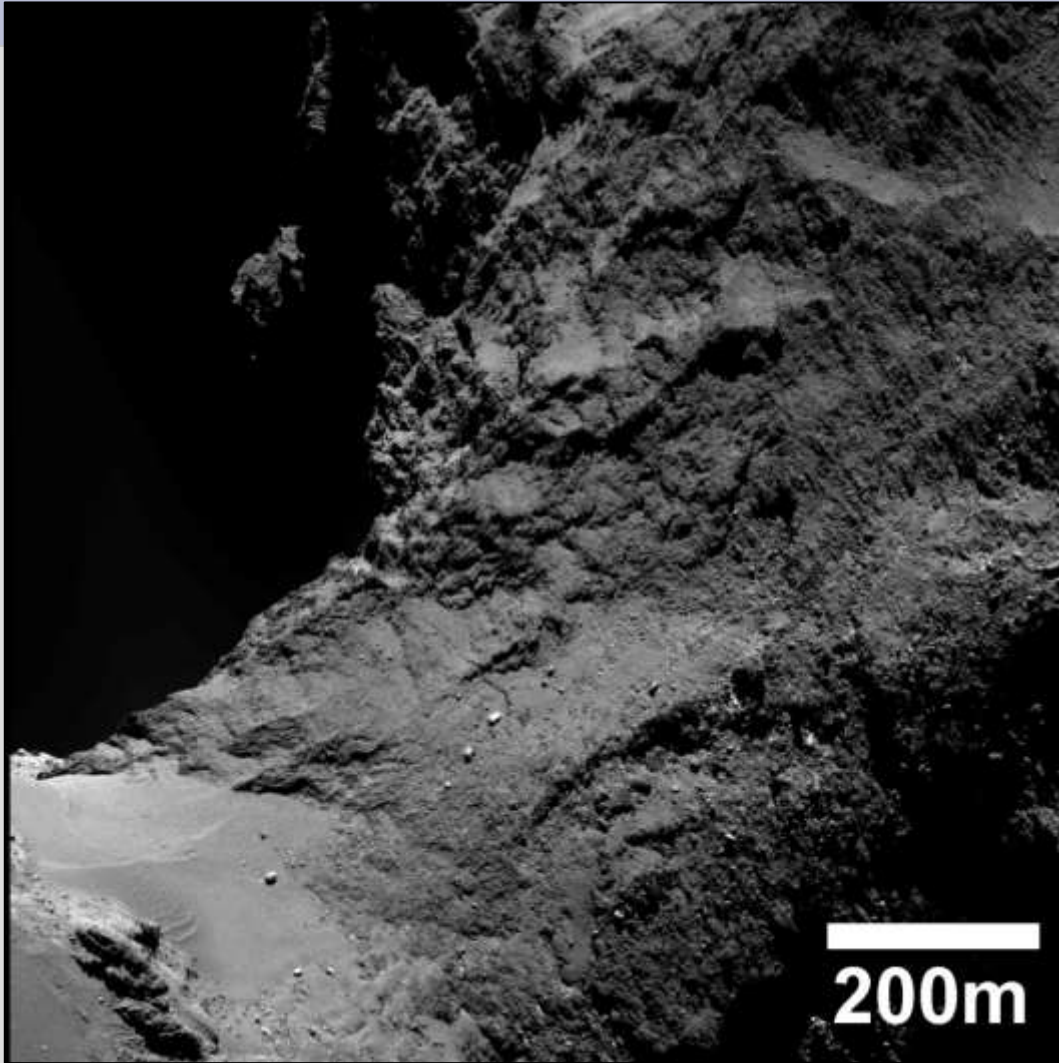
Left: high-resolution OSIRIS images were used to visually identify over 100 terraces (green) or strata – parallel layers of material (red dashed lines) – in exposed cliff walls and pits all over the comet surface (left top: Hathor and surrounding regions on comet's small lobe; bottom: Seth region on comet's large lobe).

Above: a 3D shape model was used to determine the directions in which the terraces/strata are sloping and to visualise how they extend into the subsurface. The strata 'planes' are shown superimposed on the shape model (above left) and alone (above right) and show the planes coherently oriented all around the comet, in two separate bounding envelopes (scale bar indicates angular deviation between plane and local gravity vector).

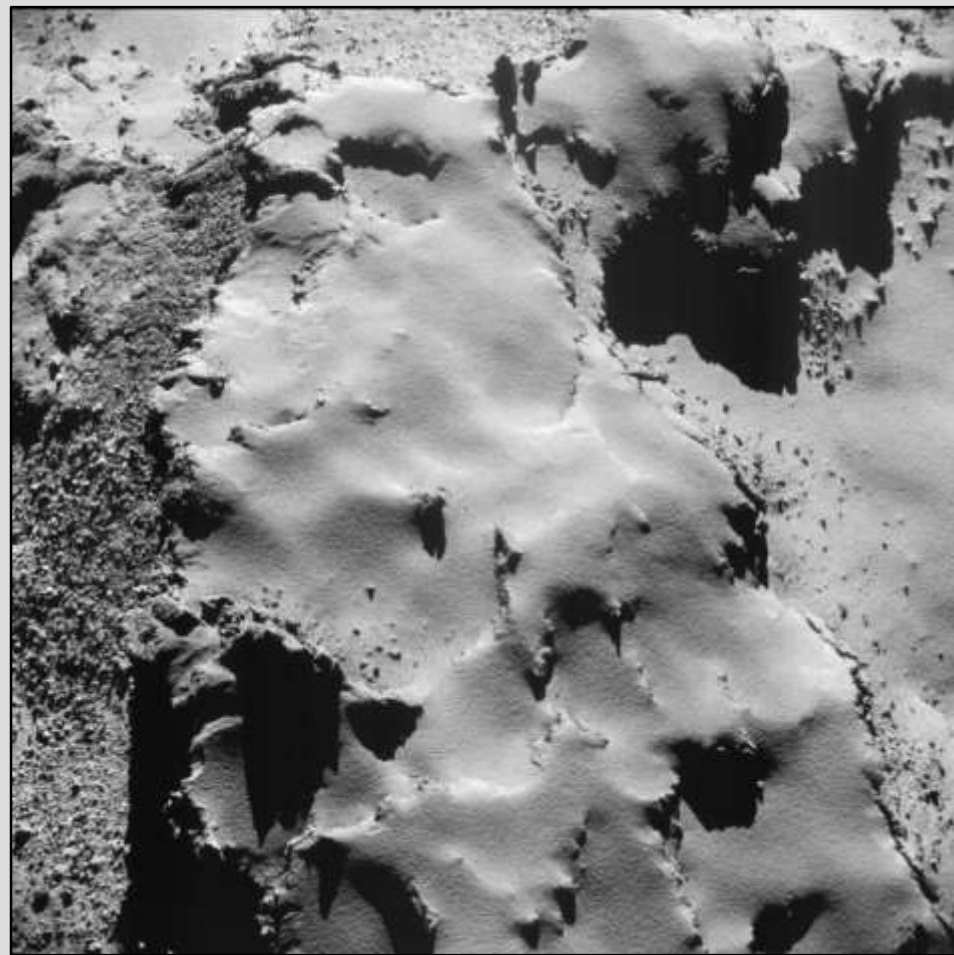
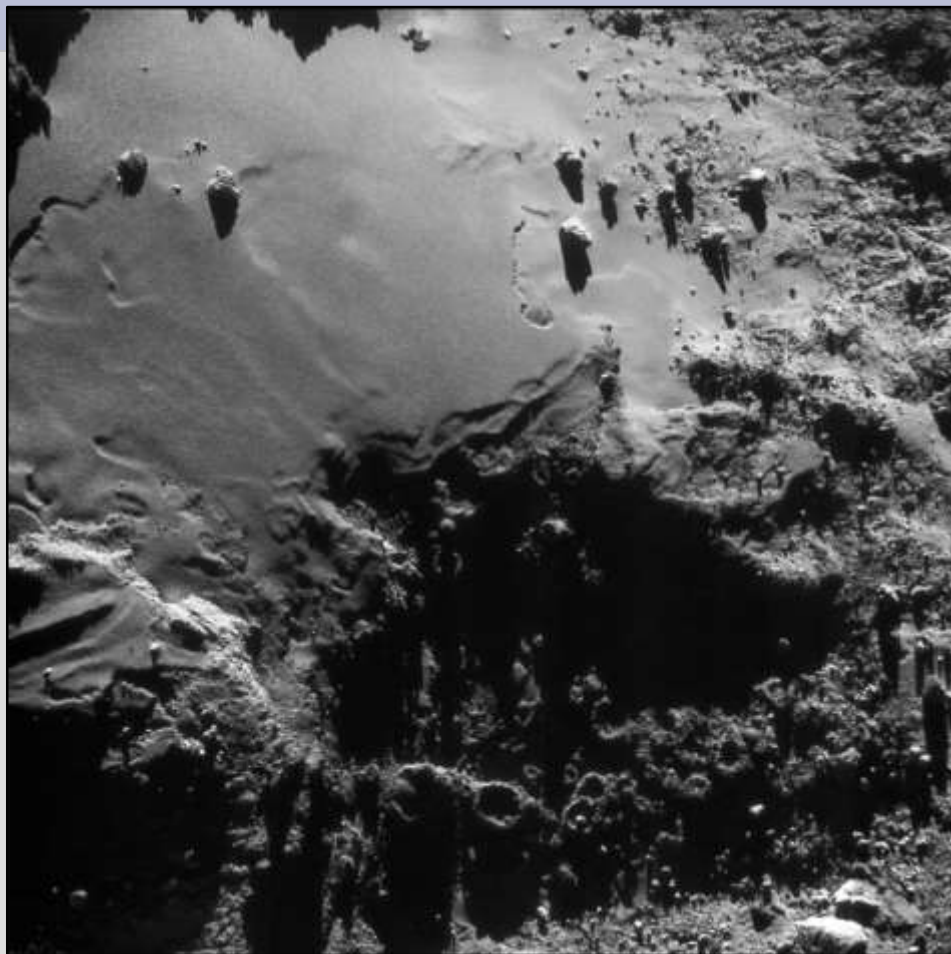
Right: local gravity vectors visualised on the comet shape model perpendicular to the terrace/strata planes further demonstrate the independent nature of the two lobes.



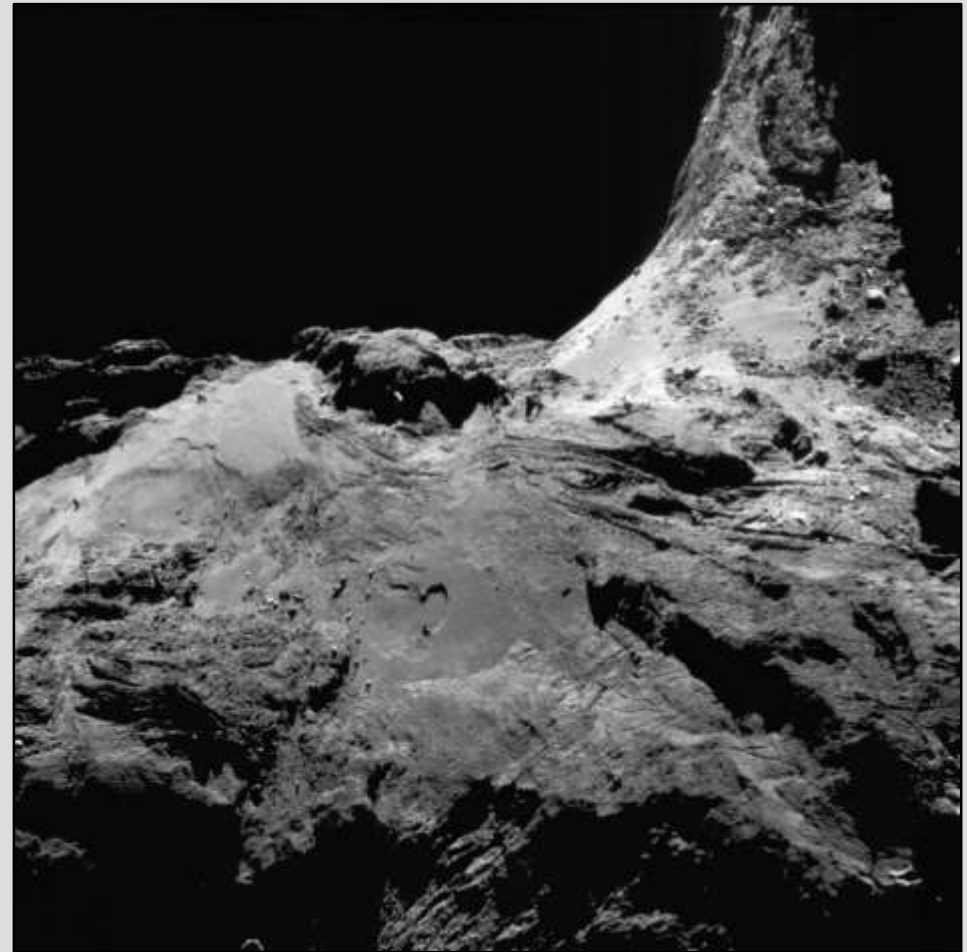
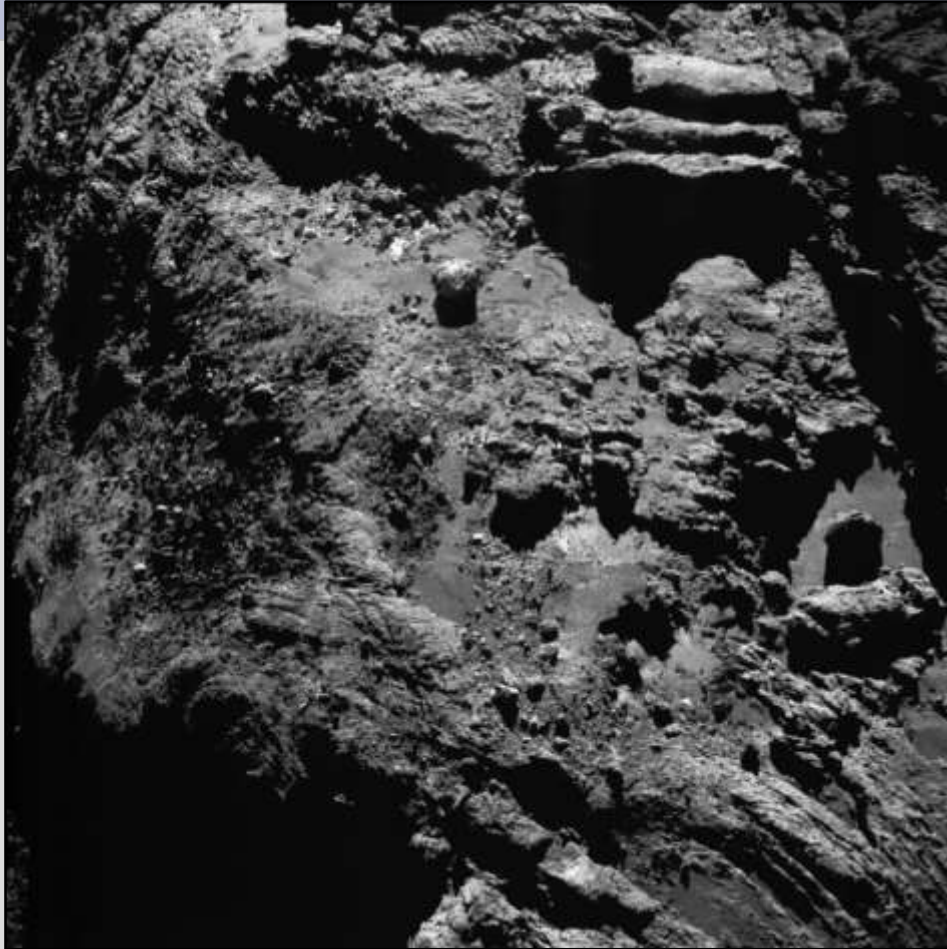
67P – morfologie povrchu



67P – morfologie povrchu



67P – morfologie povrchu

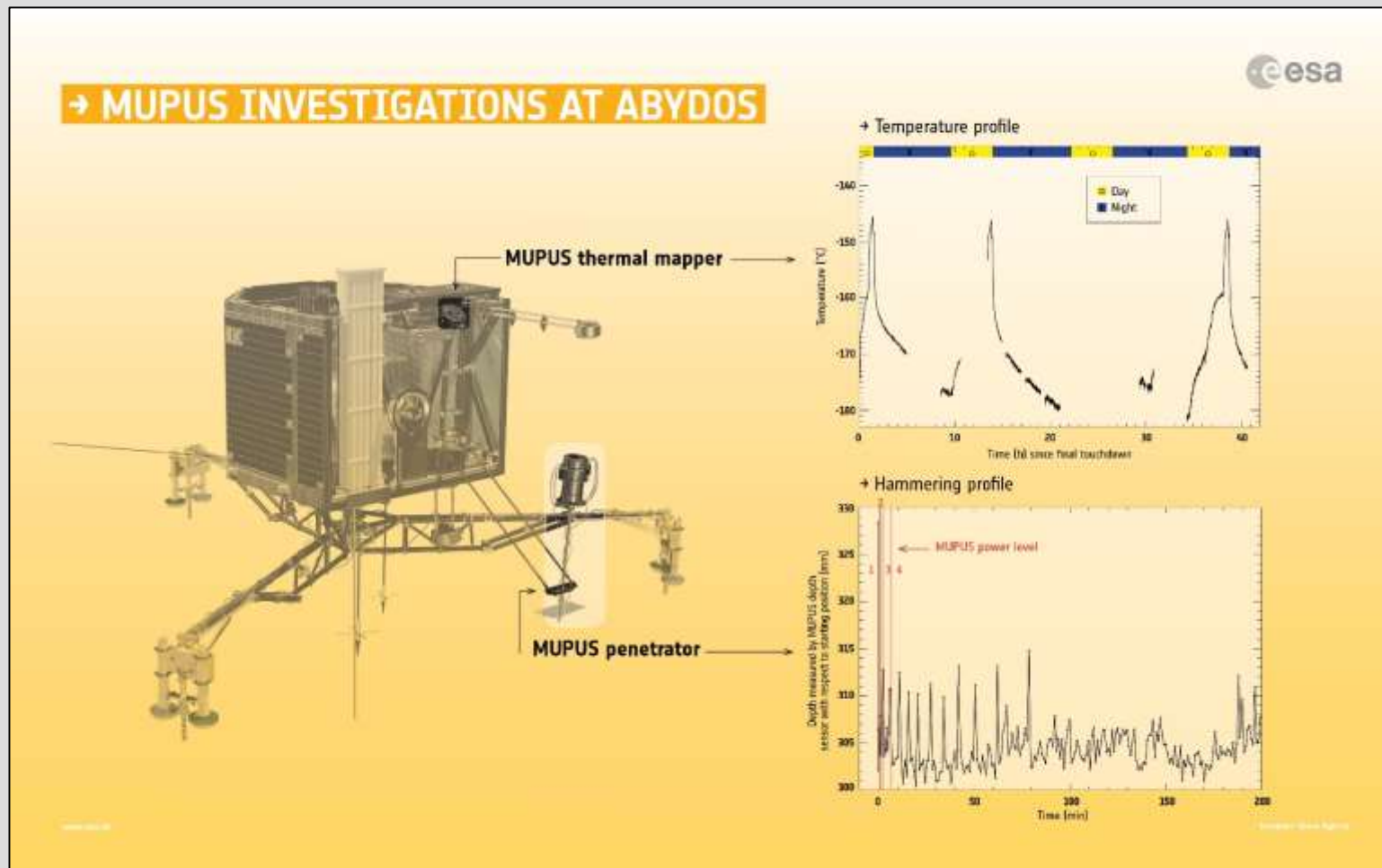


67P – vlastnosti povrchu

- podle měření VISTIS je povrch komety je pokryt vrstvami bohatými na organické sloučeniny
- nejbohatší povrchové zdroje vody jí obsahují asi 4%
- přesto je kometa velmi aktivní ...
- v místě přistání Philae je pod vrstvou prachu je povrch velmi tvrdý, patrně se jedná o usedlé vrstvy uhlíkatého a minerálního prachu (možná ve směsi s vodou)
- většina hmoty komety je zřejmě tvořena uhlíkatými sloučeninami a minerálními kompaktními prachovými zrny o velikosti 0,1 – 1,0 mm

67P – vlastnosti povrchu

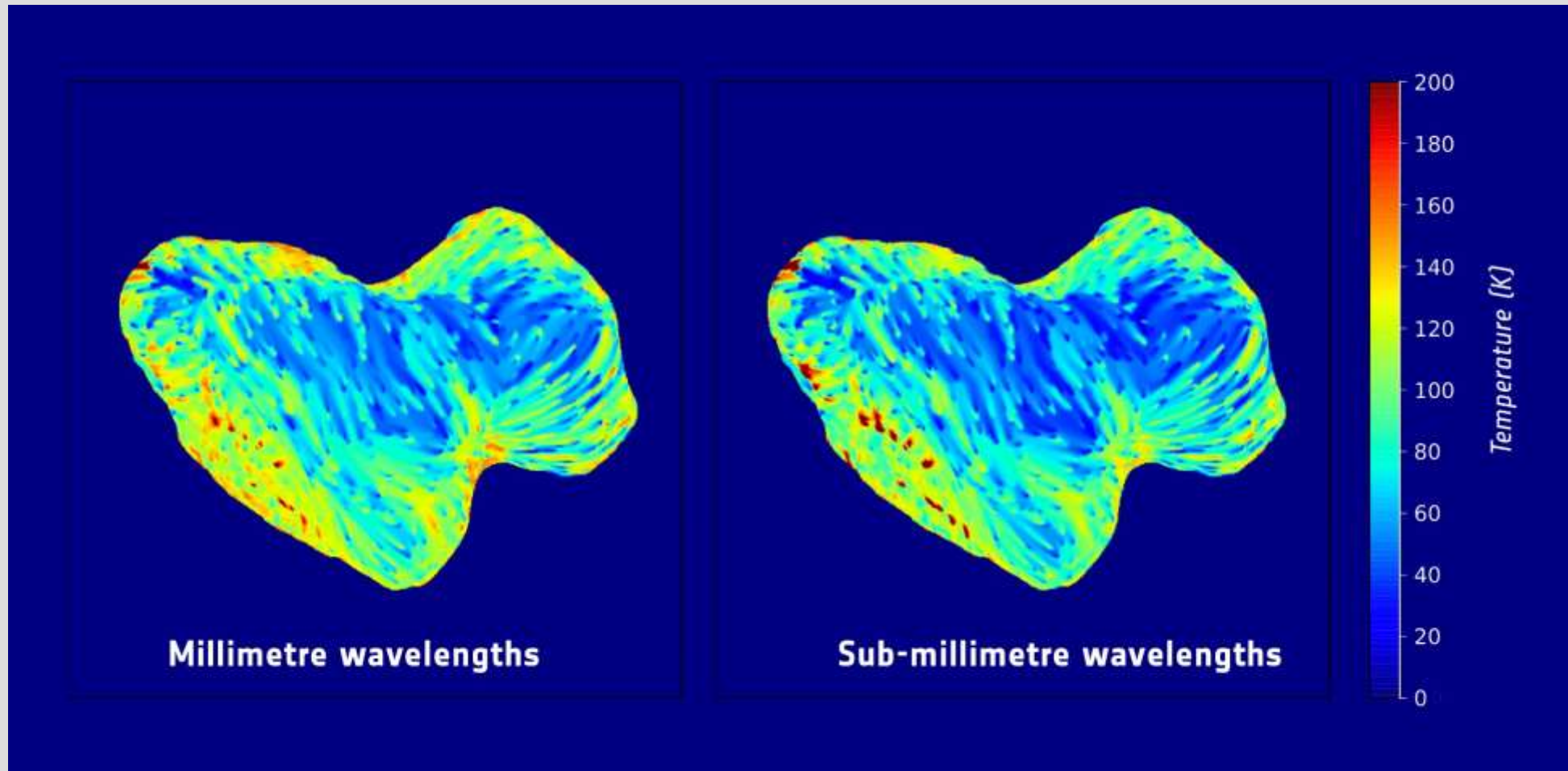
- z měření Philae



67P – povrchová teplota

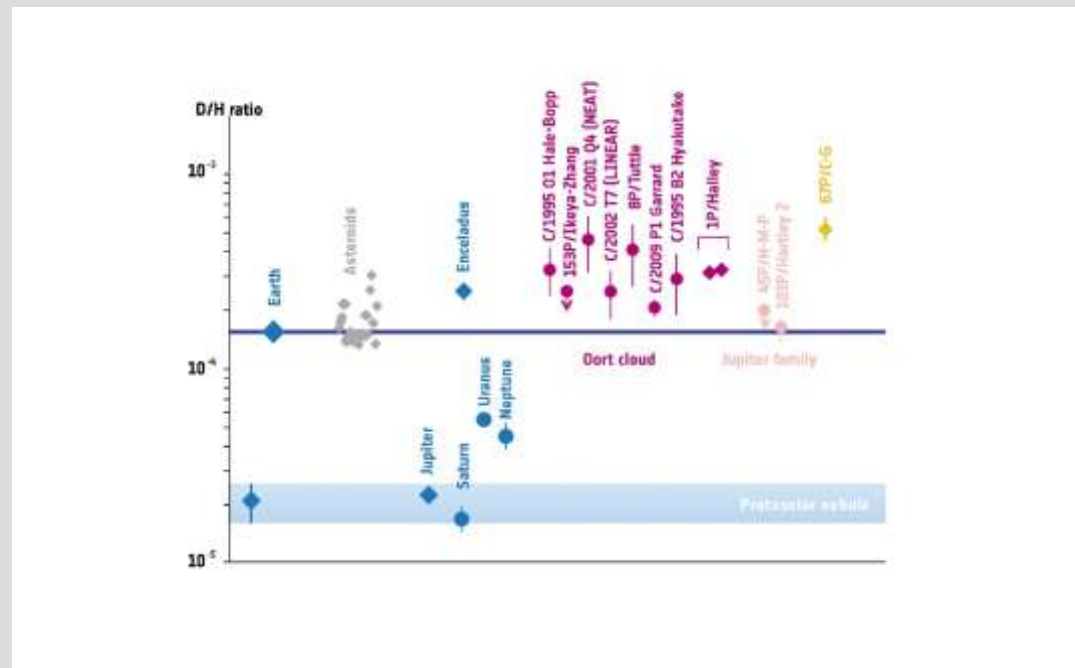
- asi 3,6 au od Slunce - maximum na povrchu ... asi 230 K
 - v hloubce 1,5 cm... asi 180 K
 - v hloubce 5 cm... asi 160 K
- => i pokud by jádro bylo pod 1,5 cm hloubky z čistého ledu, nestačí to, k uvolnění pozorovaného množství vody
- => většina pozorované vody je z vrstvy do 1 cm !!!
- => k uvolňování prachu (a velkých shluků) z povrchu dochází působením sil, které jsou nezávislé na tlaku vodní páry, ten přebírá úlohu až při urychlování částic v komě !!!

67P – povrchová teplota

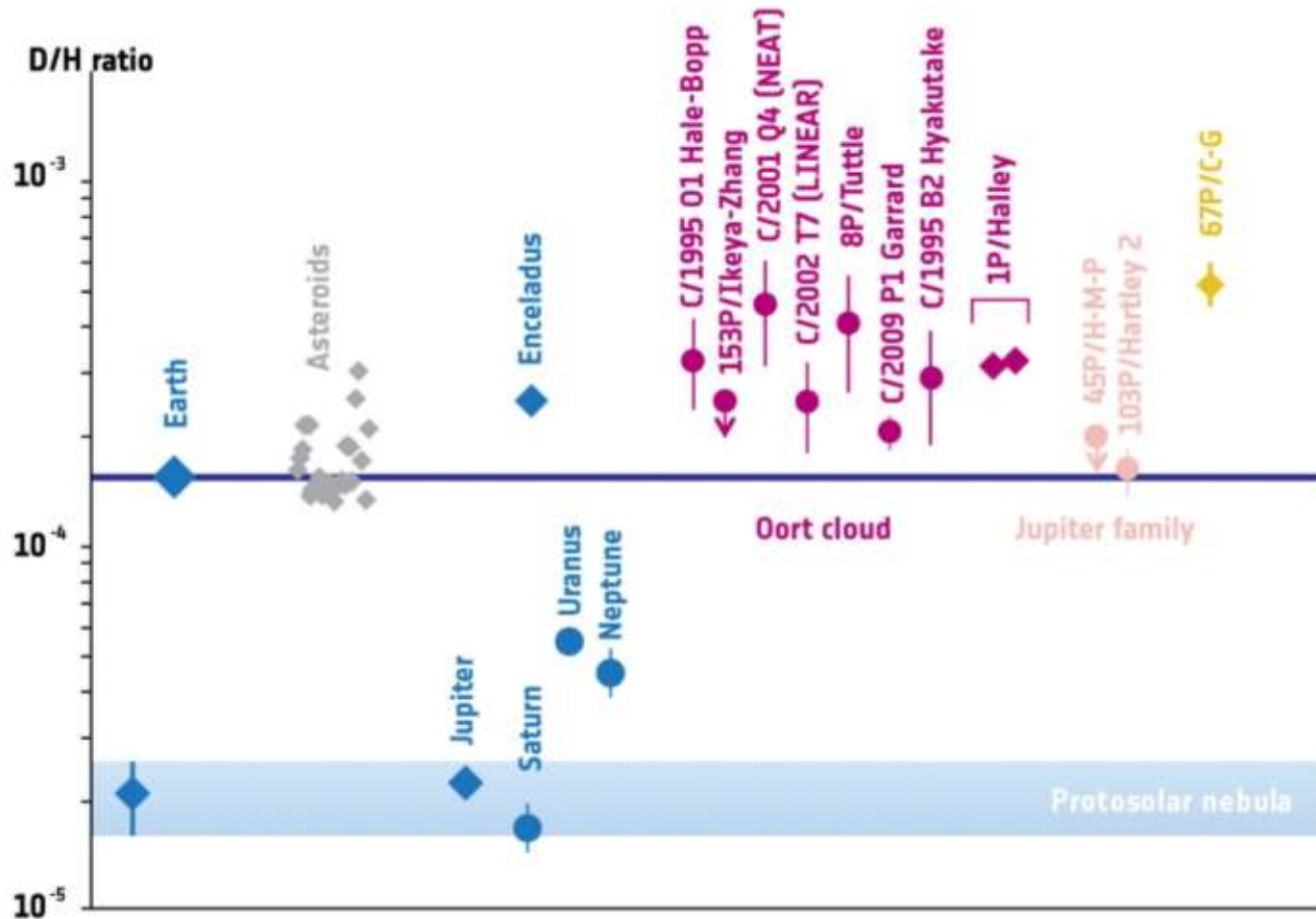


67P – chemické složení

- poměrné zastoupení D/H
- detekce O₂, N₂, CO₂
- detekce vzácných plynů (Ar, Xe, Kr)
- detekce fosforu
- organické sloučeniny:
 - metyl isokyanát
 - aceton
 - propionaldehyd
 - acetamid
- glycin

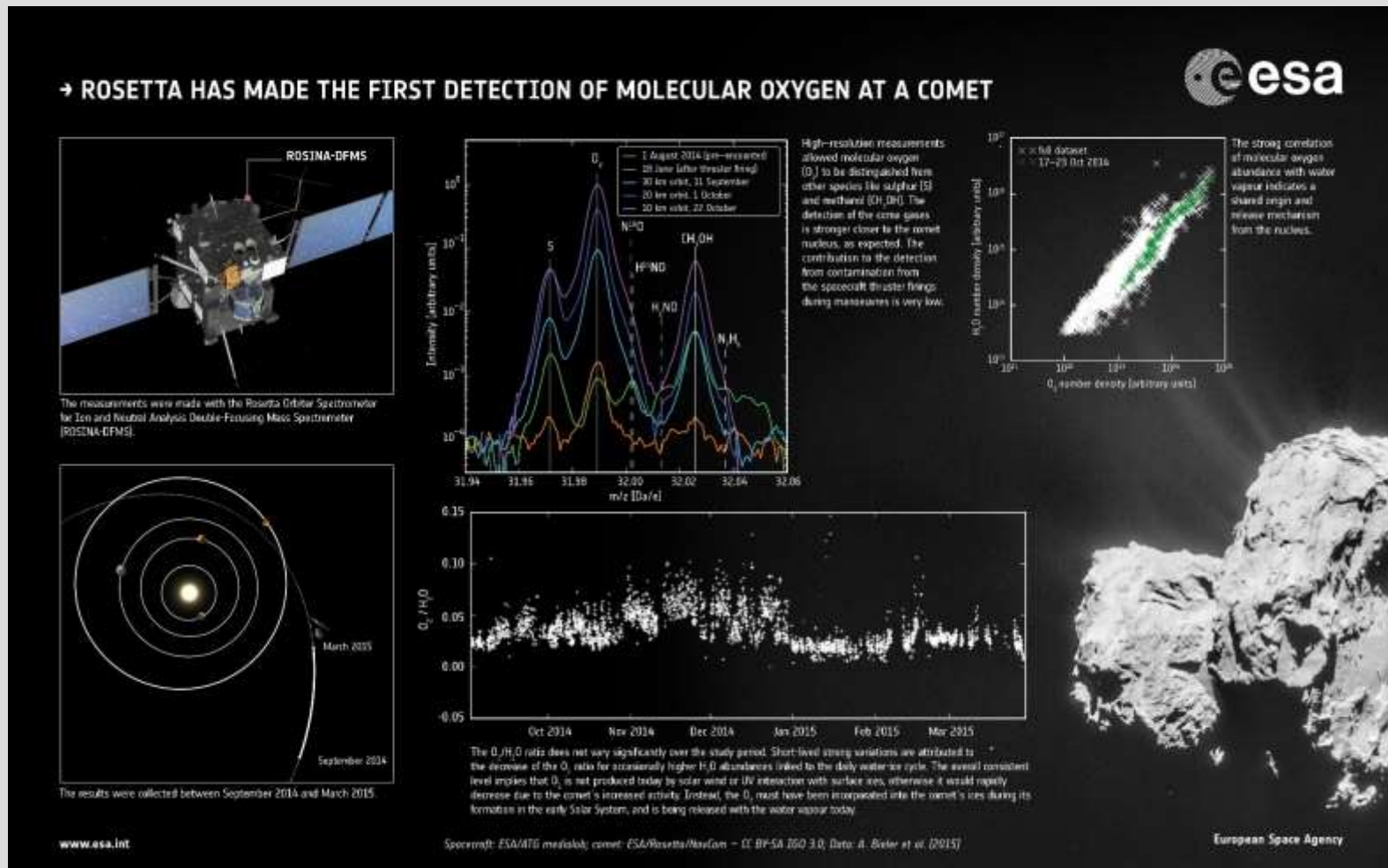


67P – chemické složení



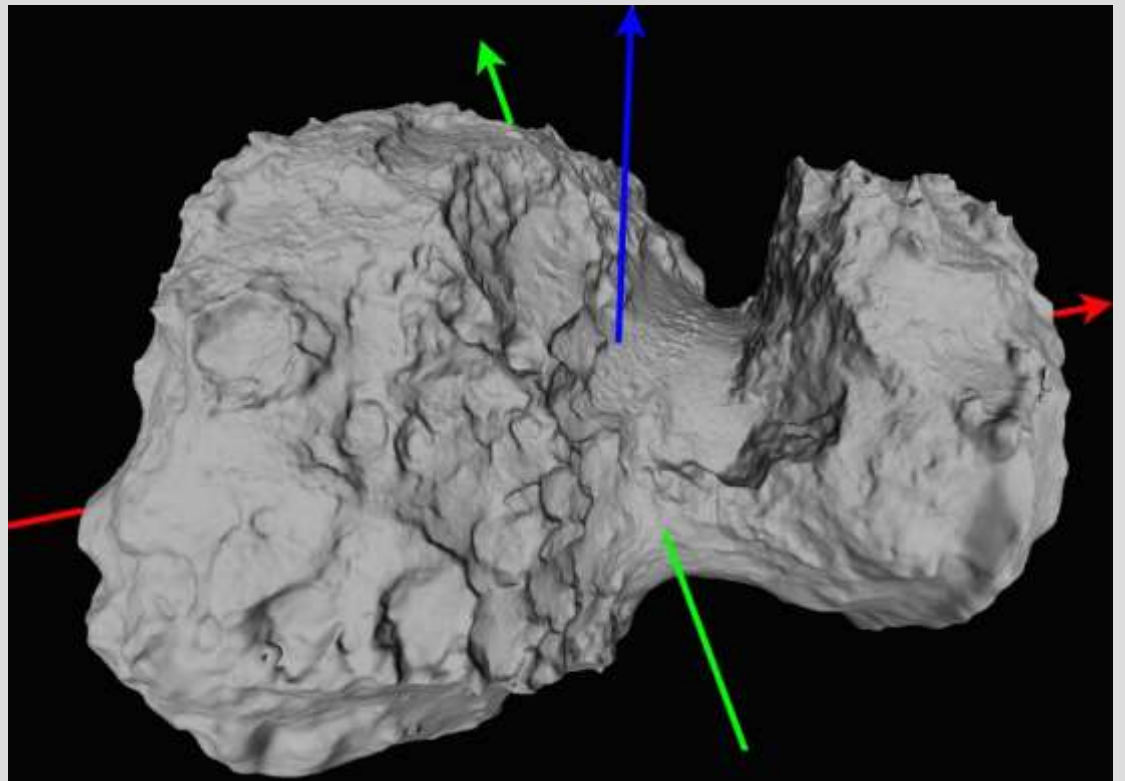
67P – chemické složení

- molekulární kyslík: 1 – 10% obsahu H₂O (více)



67P – kometární aktivita

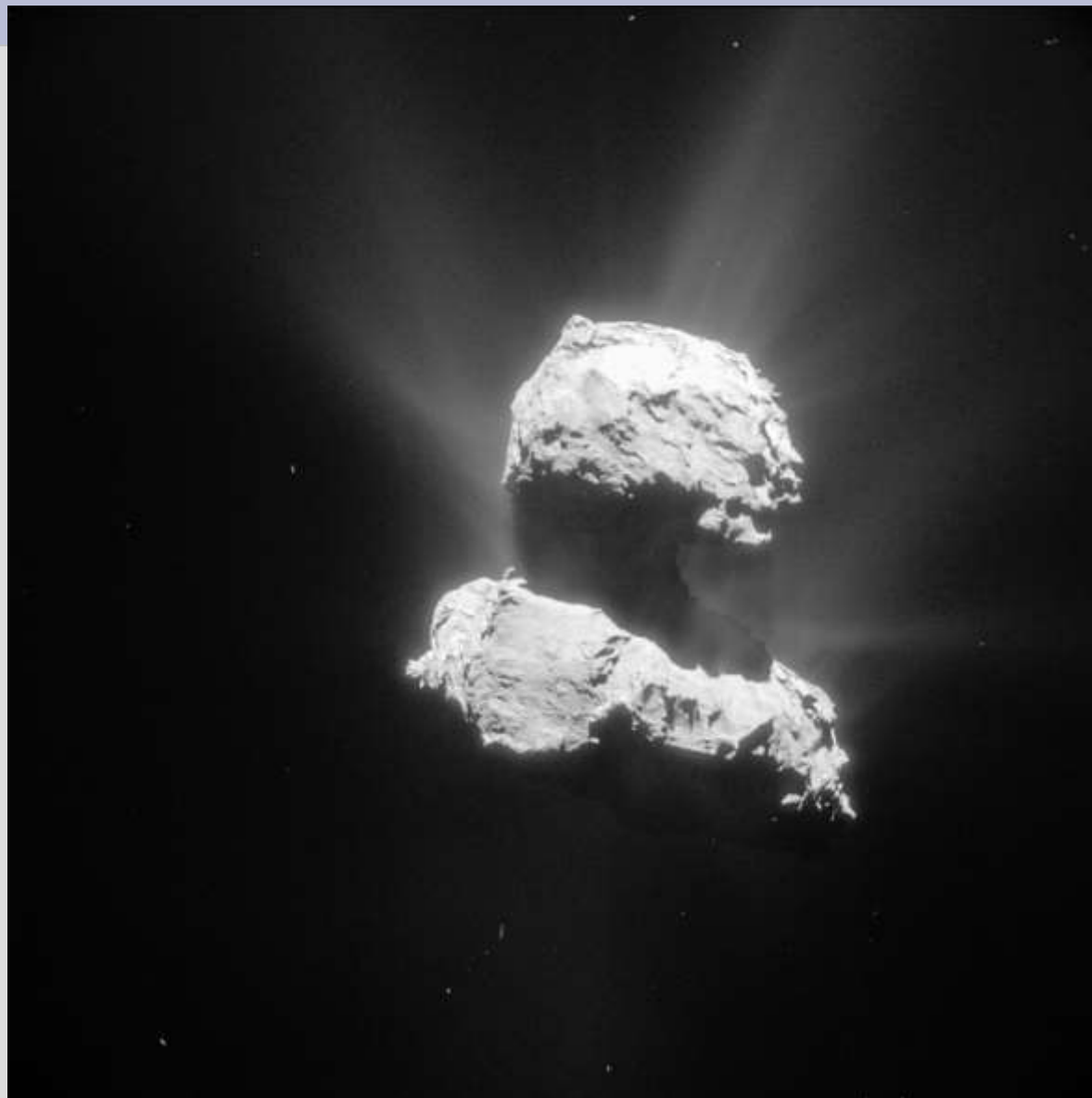
- inklinace dráhy asi 7°
- sklon rotační osy k rovině oběhu asi 52°



67P – kometární aktivita

- počáteční lokalizace aktivity (oblast krku)
- globální rozložení poměrně rovnoměrné (led)
 - jety, výtrysky, aktivní ‚jámy‘ (pits)
 - lokální zvýšená aktivita maximálně 5% povrchu
 - makroskopické struktury komy jsou důsledkem tvaru jádra a nikoli lokalizované aktivity !!!
 - vlastnosti komy lze poslat prakticky rovnoměrným rozložením aktivity (faktor 3), modely nevylučují malé (50 m) aktivnější lokality, ale jsou rovnoměrně rozloženy po povrchu a jsou jich stovky

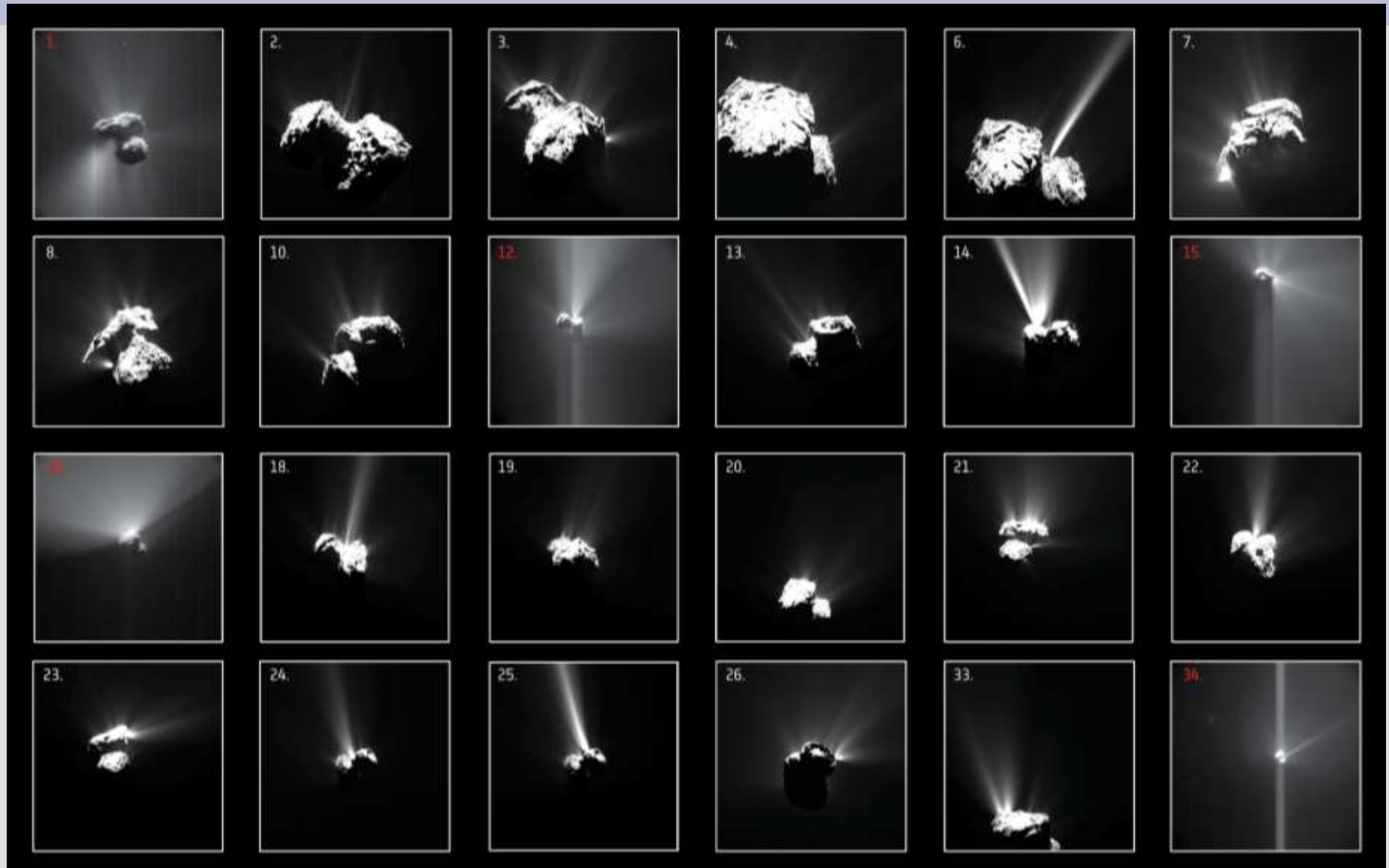
67P – kometární aktivita



67P – kometární aktivita

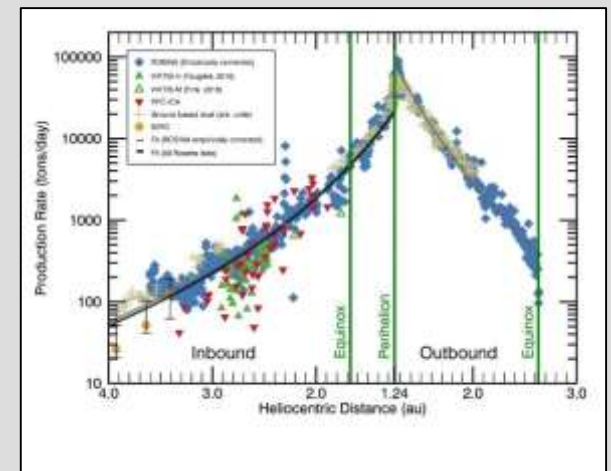
- výrazná denní variace (daná vlastnostmi jádra)
- sezónní variace (dána sklonem rotační osy)
- distribuce prachu po povrchu
 - v okolí přísluní je jižní polokouli velmi aktivní (léto 1,7 au před až 2,6 au po přísluní), severní je naopak ve stínu
 - ukládání prachu (v noci nebo na zastíněných místech) => hladký terén (vrstvy až řádu m)
 - v rámci chyb usedající prach obsahuje jisté množství vody, takže stále může být zdrojem aktivity

67P – kometární aktivita

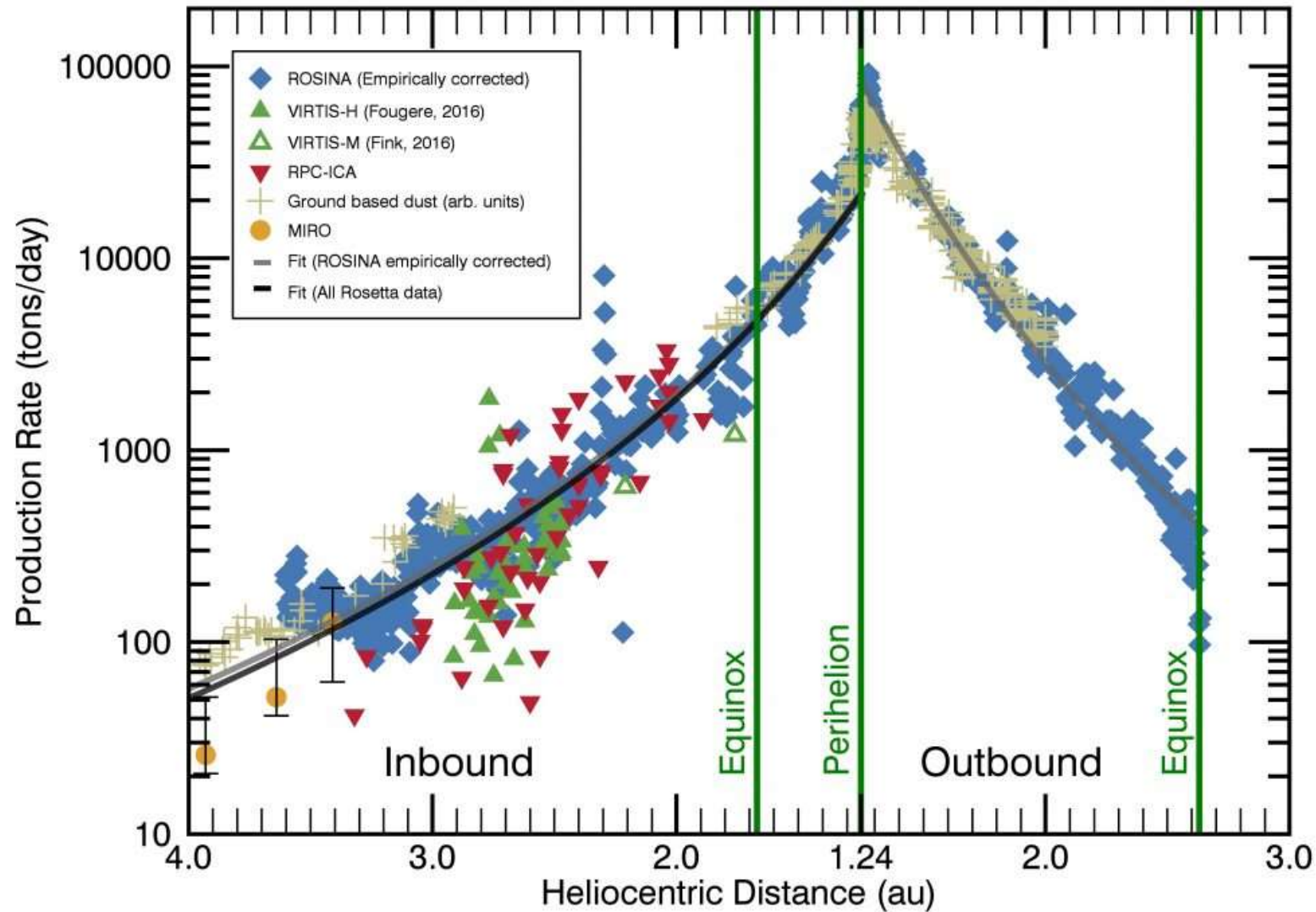


67P – kometární aktivita

- v komě poměr prach/voda – asi 6:1 až 100:1
 - poměr prach/plyn asi – asi 4:1 (5:1)
 - CI chondrity mají poměr prach/plyn 3 a porositu 70 %
- hmota povrchu obsahuje méně než 1% vody
- (lokálně několik %, planiny v okolí severního pólu až 15%)
- ztráta 1 m hmoty (lokálně až 15 m)
- na průchod přísluním



67P – kometární aktivita



67P – kometární aktivita

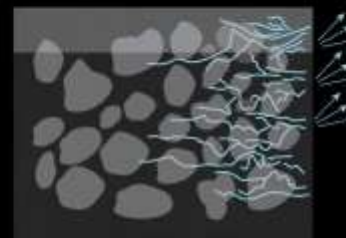
→ COMET ACTIVITY AND CLIFF EROSION



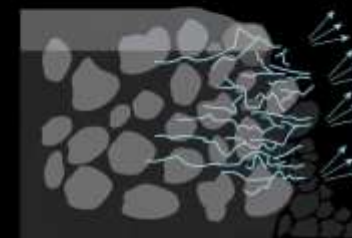
1. Cliff with insulating layer of dust covers mix of ice and dust



2. Cracks generate and propagate from cliff edge due to thermal and mechanical stresses



3. Heat reaches buried ices, sublimation intensifies cracking



4. Weakened wall collapses; freshly exposed ices and fallen boulders generate additional activity

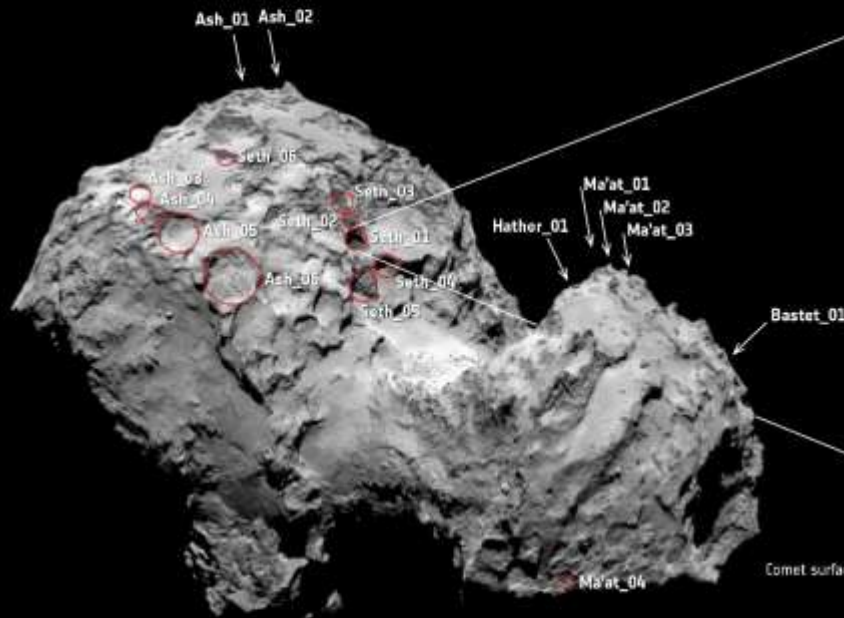
67P – kometární aktivita

- voda na povrchu



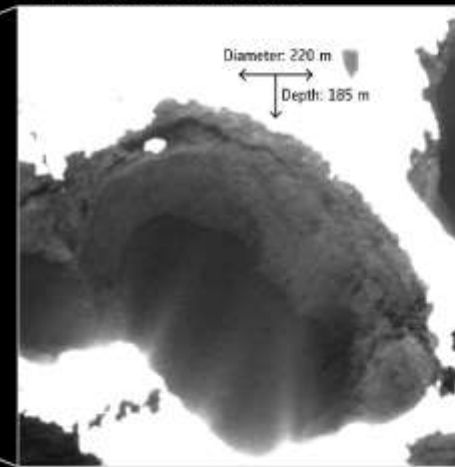
67P – kometární aktivita

→ ACTIVE PITS ON COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO



The pits were identified in OSIRIS images taken August–October 2014.

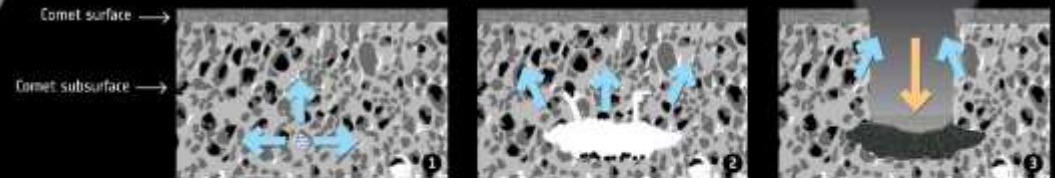
→ Close-up of Seth_01 shows jets emanating from the pit walls



→ Active pits contribute to the comet's overall activity seen from afar.

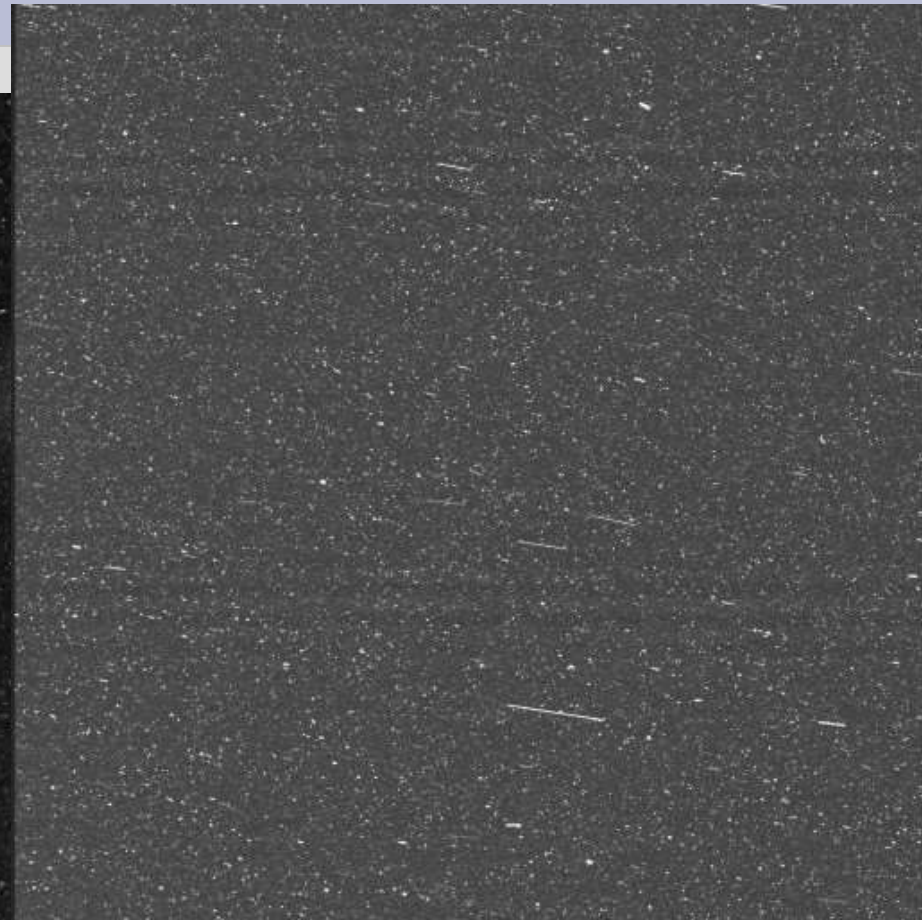


→ Pit formation via sinkhole collapse



1. Heat causes subsurface ices to sublimate (blue arrows), forming a cavity [2]. When the ceiling becomes too weak to support its own weight, it collapses, creating a deep, circular pit [3, orange arrow]. Newly exposed material in the pit walls sublimates, accounting for the observed activity [3, blue arrows].

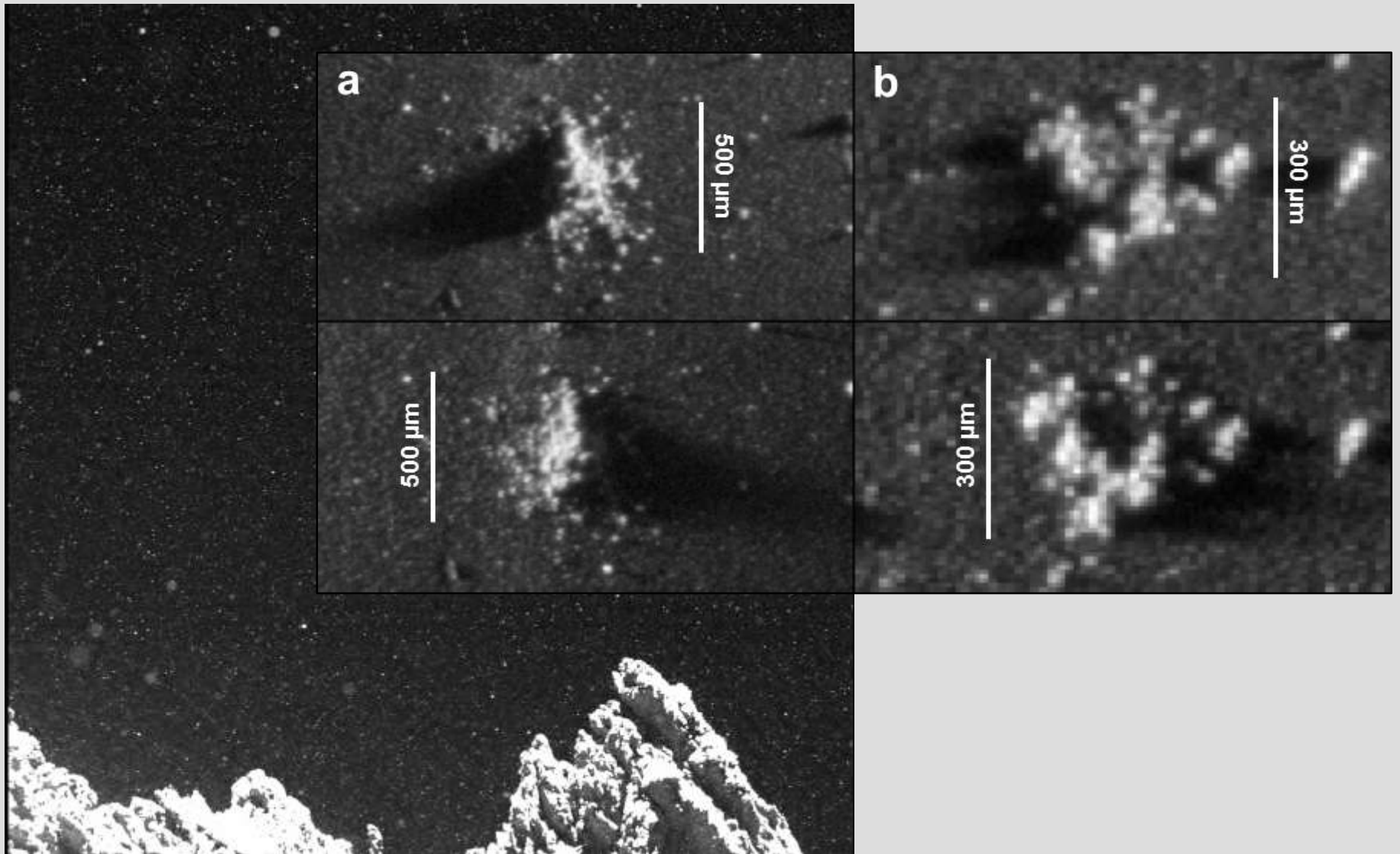
67P – prachové částice



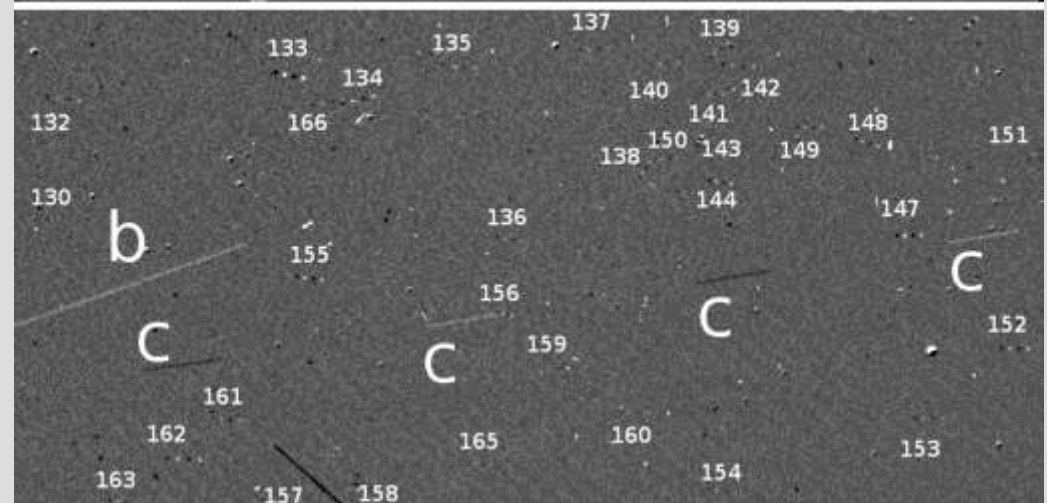
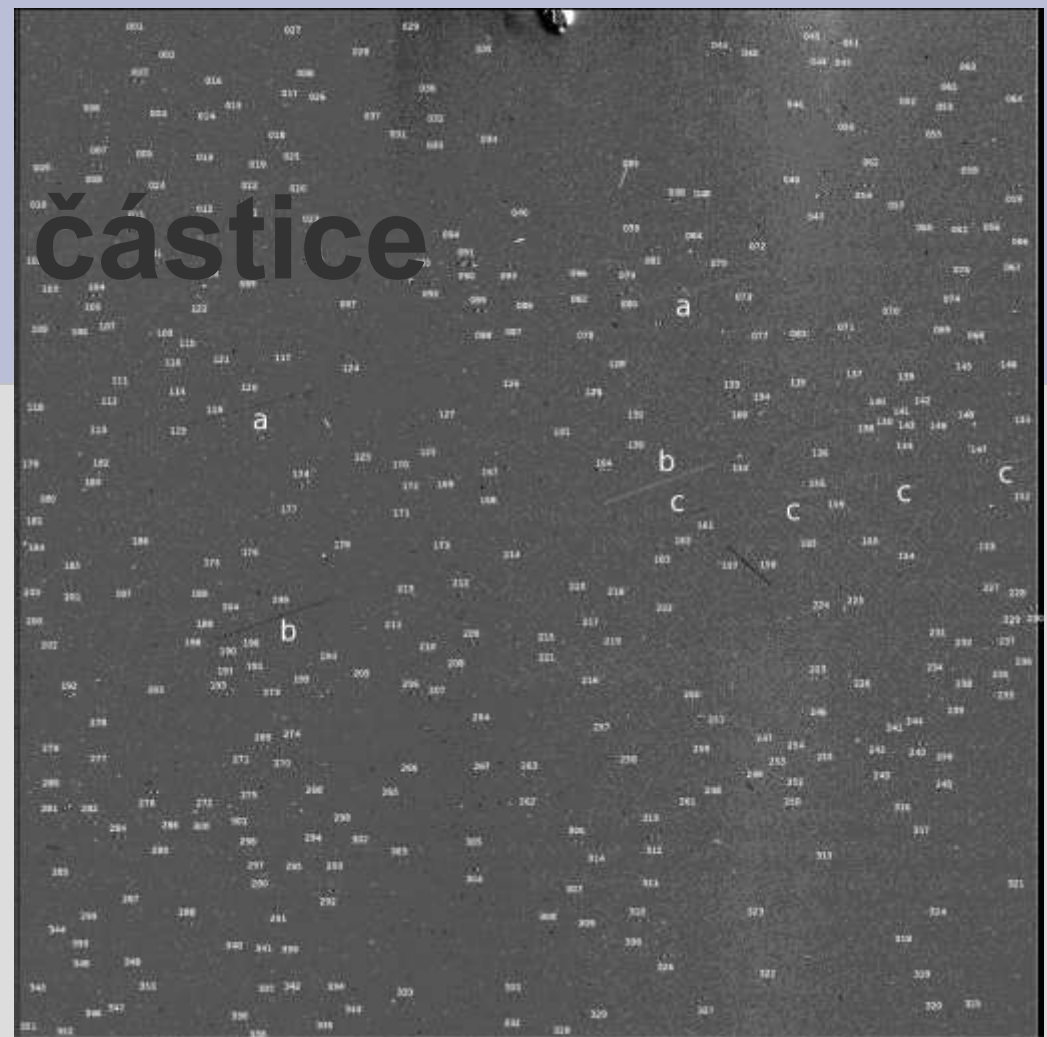
67P – prachové částice

- kompaktní zrna
 - hustota 800 až 3 000 kg/m³
 - 0,03 – 1 mm
 - částice s významným tepelným přetvořením
 - podobný typ zachycen u komety 81P/Wild
 - většina hmoty (nedochází k sublimaci ani rozpadu)
- konglomeráty
 - spršky/roje trvající 0,1 s až 30 s (subspršky)
 - 0,2-2,5 mm
 - početně převažují, jejich celková hmotnost je minimální
 - volně vázané sub-mikronové částice
 - celková hustota 1 kg/m³ (velmi vysoká porozita)
 - neobsahují vodu/vodík (nebo jen velmi málo, < 15%)
 - obsahují sodík Na
 - obsahují rozsáhlé uhlíkaté molekuly
 - v noci a po přísluní se zpět ukládají na povrchu
 - efektivně se přenášejí po povrchu

67P – prachové částice

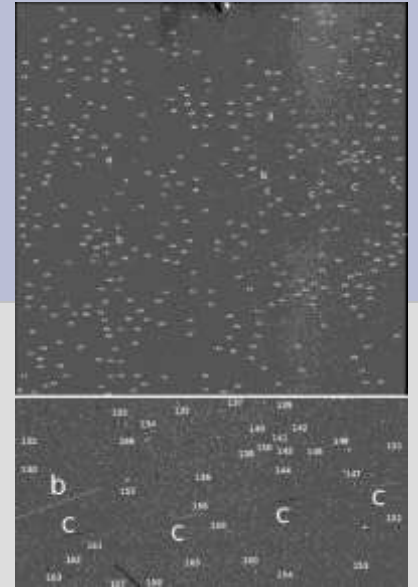


67P – prachové částice



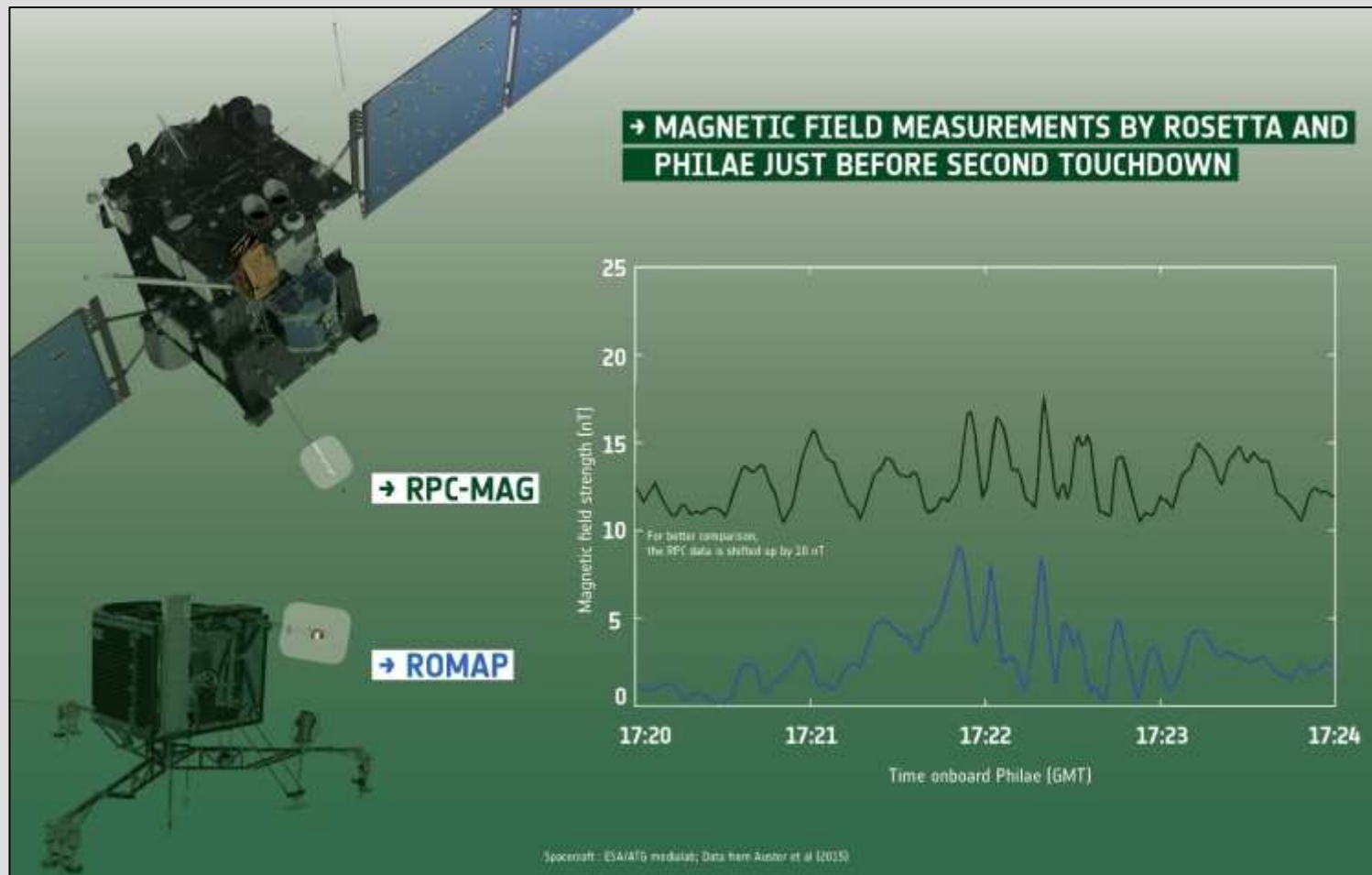
67P – prachové částice

- ve vzdálenosti 3,7 až 3,4 au od Slunce
- vázané částice
 - 4 cm až 2 m
 - detekováno 350
 - ne blíže než 130 km od Rosetty
- unikající částice
 - < 1,7 cm
 - detekováno 48
 - do vzdálenosti 20 km od Rosetty



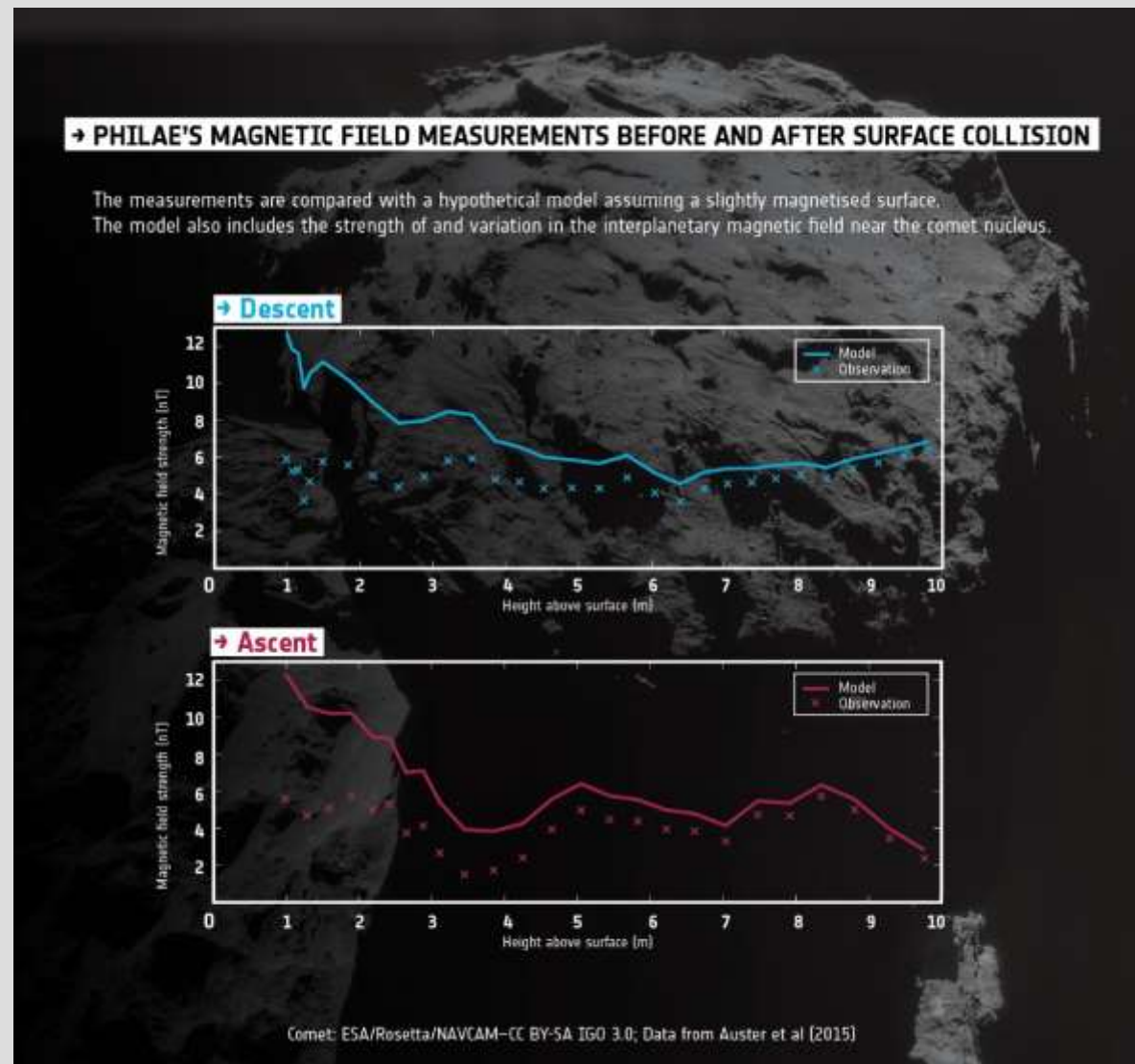
67P – magnetické pole

- velmi slabé (~ 2 nT)



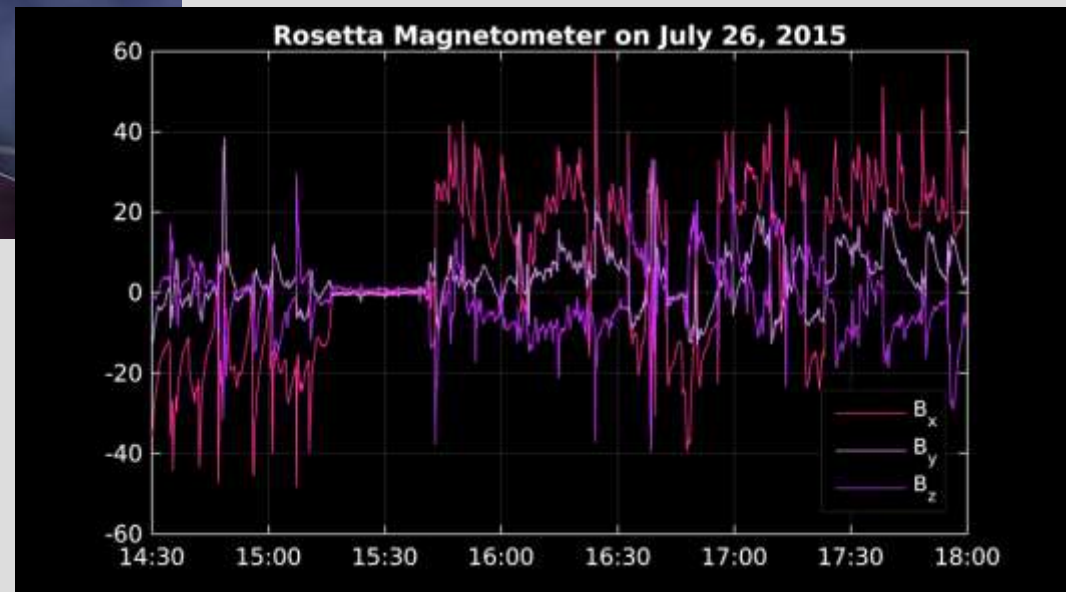
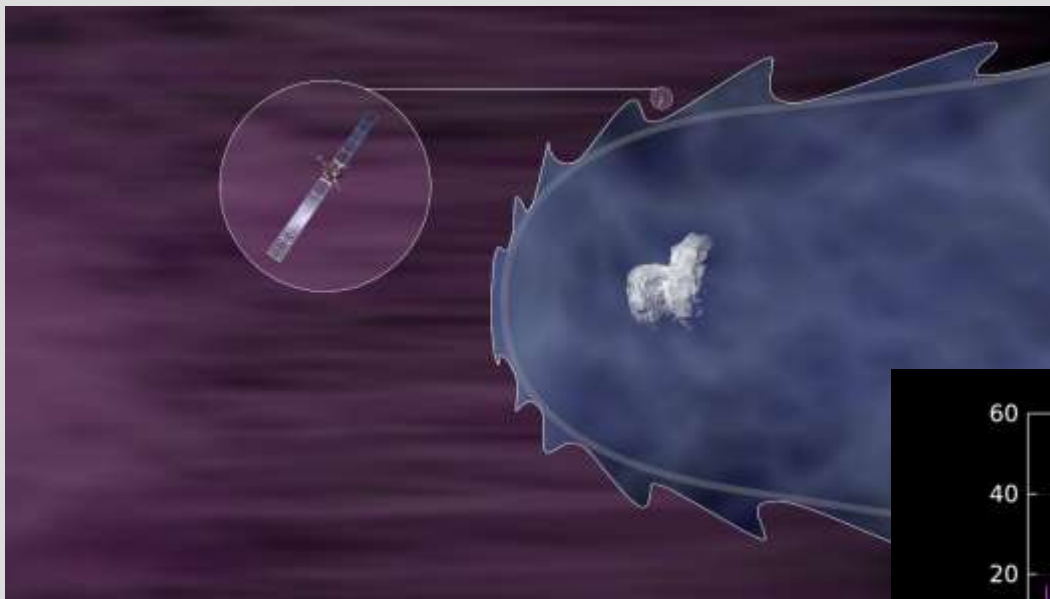
67P – magnetické pole

- velmi slabé (~ 2 nT)



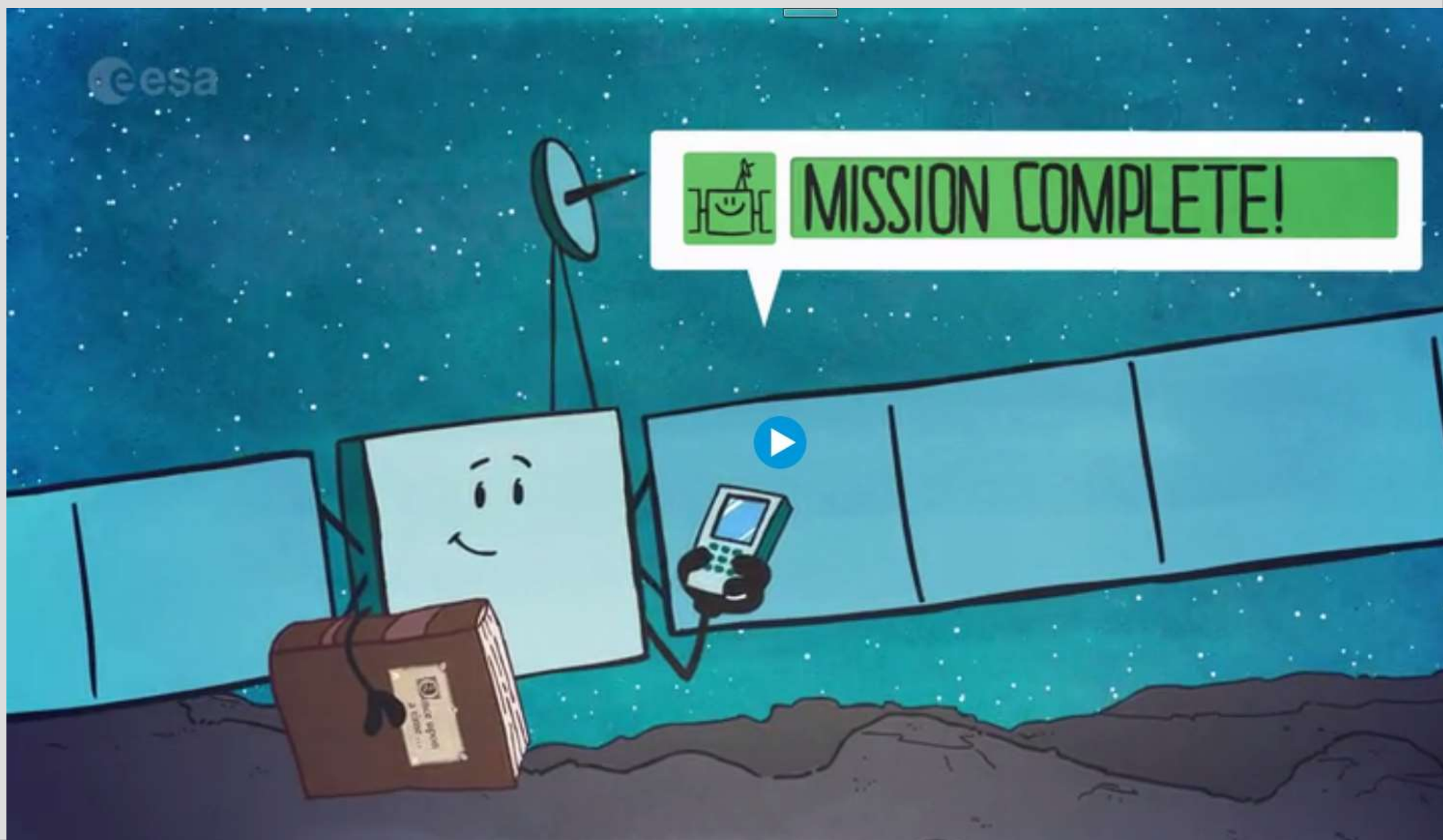
67P – magnetické pole

- magnetické poruchy v okolí = reakce na IMG



Mise ROSETTA

– PRŮBĚH A VÝSLEDKY Z POHLEDU KOMETÁRNÍ ASTRONOMIE



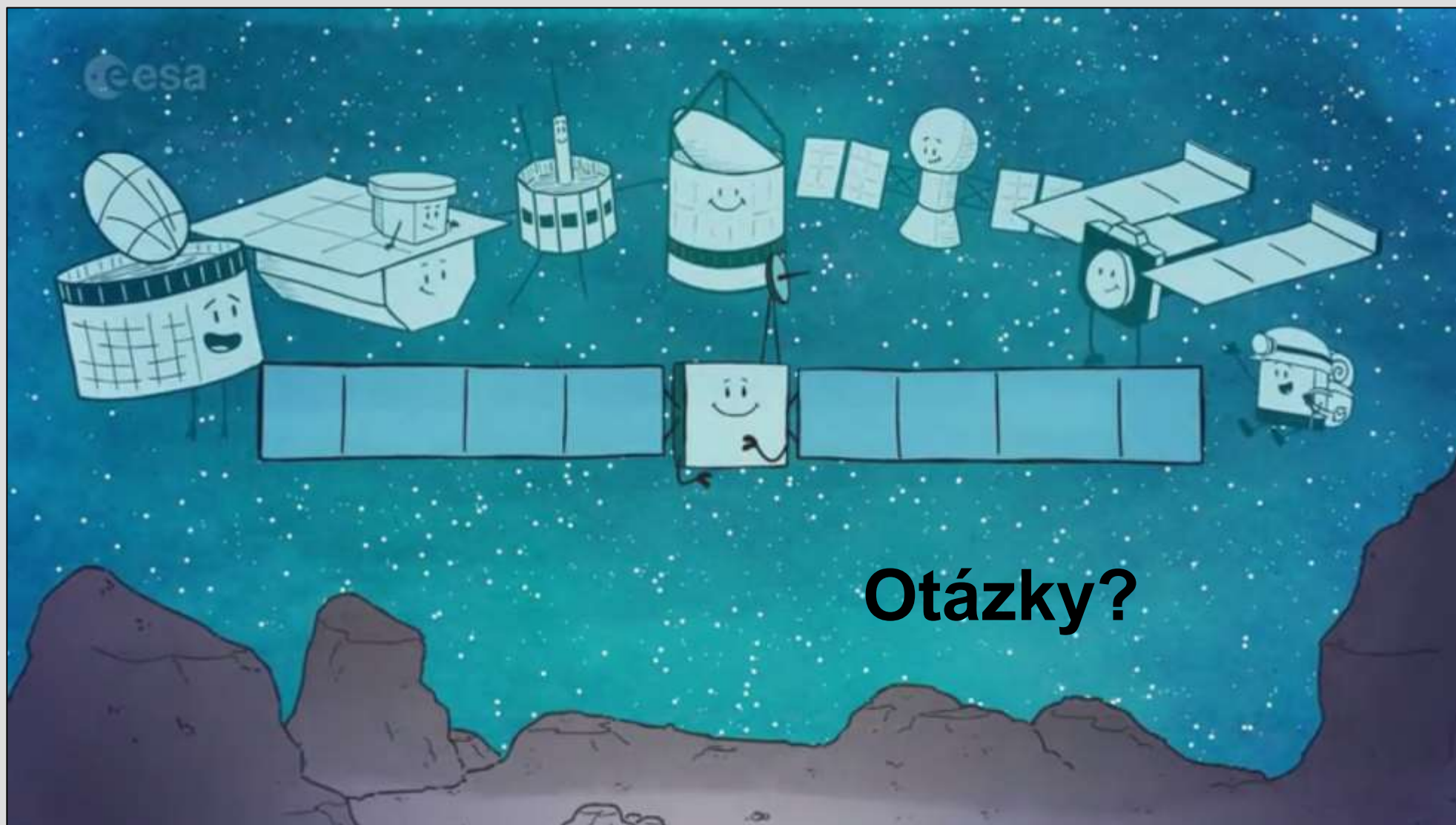
Клім Івановіч Шурюмов (Клим Іва́нович Чурю́мов)

■ 19. 2. 1937 – 14. 10. 2016



Mise ROSETTA

– PRŮBĚH A VÝSLEDKY Z POHLEDU KOMETÁRNÍ ASTRONOMIE



Otázky?