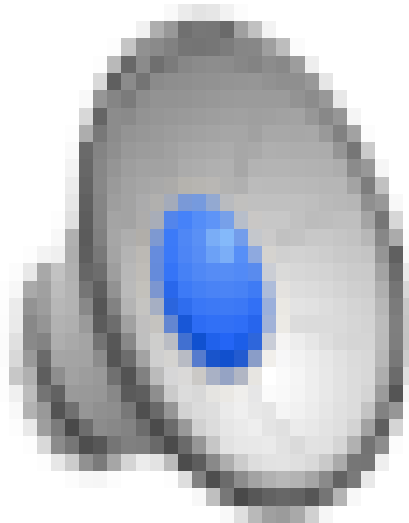
The background of the slide is a composite image. At the top, the Rosetta spacecraft is shown in space, with its long boom and solar panels extending across the frame. Below it, a smaller satellite is visible. In the bottom left corner, the dark, cratered surface of the asteroid 67P/Churyumov-Gerasimenko is shown. The title 'Rosetta: Le grand Rendez-vous' is overlaid in large white text.

Rosetta: Le grand Rendez-vous

Jean-Pierre Lebreton, Chercheur LPC2E (CNRS Orléans)
& LESIA (CNRS- Obs Paris-Meudon)

Remerciements: Christelle Briois, Enseignant-chercheur, Université d'Orléans & LPC2E

Il était une fois....



Solar Orbiter
soho
Facing the Sun



venus express
Studying Venus' atmosphere



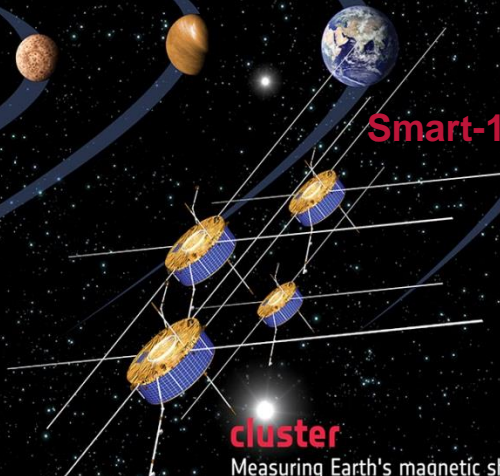
ExoMars
mars express
Investigating the Red Planet



bepicolombo
Exploring Mercury



Smart-1

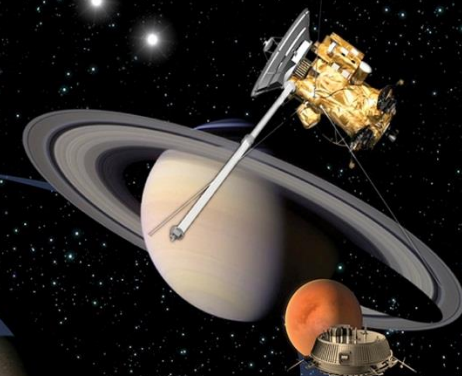


cluster
Measuring Earth's magnetic shield

JUICE
Investigating Jupiter
and its icy Moons



cassini-huygens
Studying the Saturnian system
and landing on Titan



rosetta
Chasing a comet
Giotto



→ ESA'S FLEET IN THE SOLAR SYSTEM

The Solar System is a natural laboratory that allows scientists to explore the nature of planets. ESA's missions to our planetary neighbours have transformed our view of the celestial neighbourhood. The planets that exist today are the result of 4.6 billion years of formation and subsequent development. Studying how they appear now allows us to unlock the mysteries of their past and to predict how they will change in the future.

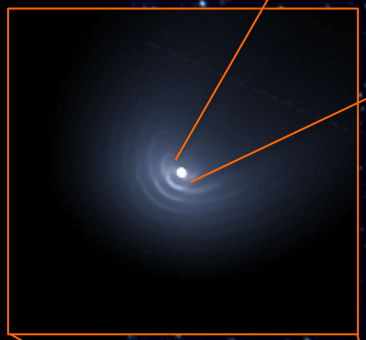
Parlons un peu des comètes

Structure des comètes

Comète Hale-Bopp (à ≈ 1 UA)

1 unité astronomique (UA) : 149 600 000 km
1 année lumière (al) : 9 500 milliards $\sim 10^{13}$ km
1 parsec (pc) : 3,26 a.l.

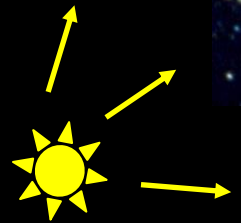
Tête:
Noyau (quelques km)
et Coma ($\sim 10^4$ - 10^5 de km)



Queue d'ions (de plasma)
(10 à 200 millions de km)

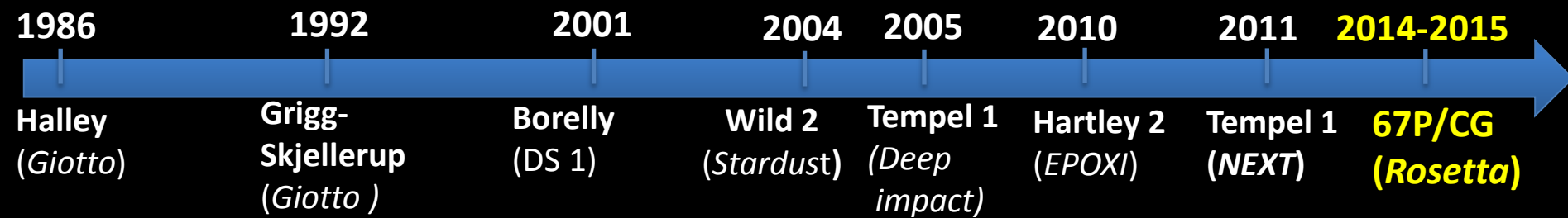
Queue de poussières
(1-10 Millions de km)

Nuage d'Hydrogène
(\rightarrow 100 Millions de km)



- Vent solaire: protons et électrons 300-800 km/s
- Photons (lumière du Soleil)

Structure : noyaux cométaires & Exploration Spatiale



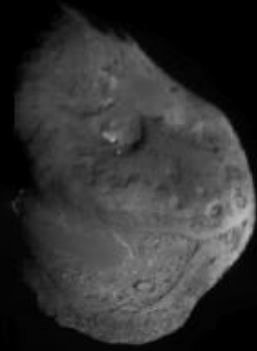
Caractéristiques communes d'un noyau de comète

- Invisible depuis la Terre
- Forme irrégulière, surface inhomogène
- Formes suggérant des processus d'accrétion
- Présences de cratères
- Plus noir que du charbon !!
- Extrêmement froid : 30-40 K (-243 à -233°C)
- Détection de glaces en surface TRES DIFFICILE !
- Jets localisés dans la coma



Comète 67P-Churyumov-Gerasimenko (29 juillet 2014) / ESA (OSIRIS team)
À une distance de 1950 km.

7,6 km



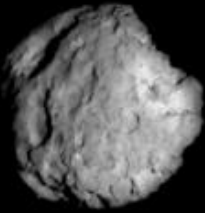
9P/Tempel 1
(*Deep Impact*)

8,7 km



Borrelly
(*Deep Space 1*)

5,5 km



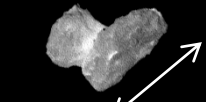
Wild 2
(*Stardust*)

2 km



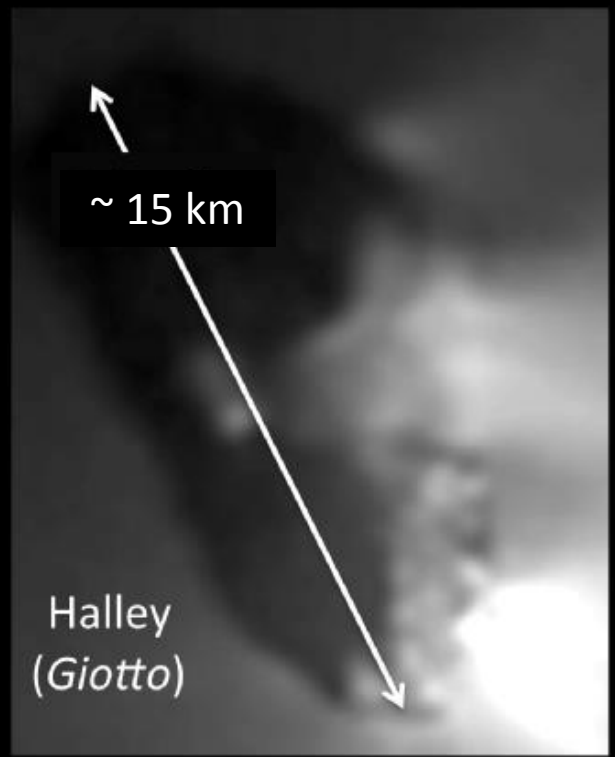
Hartley 2
(*EPOXI*)

67P-Churyumov-Gerasimenko
(*Rosetta*)



2 km

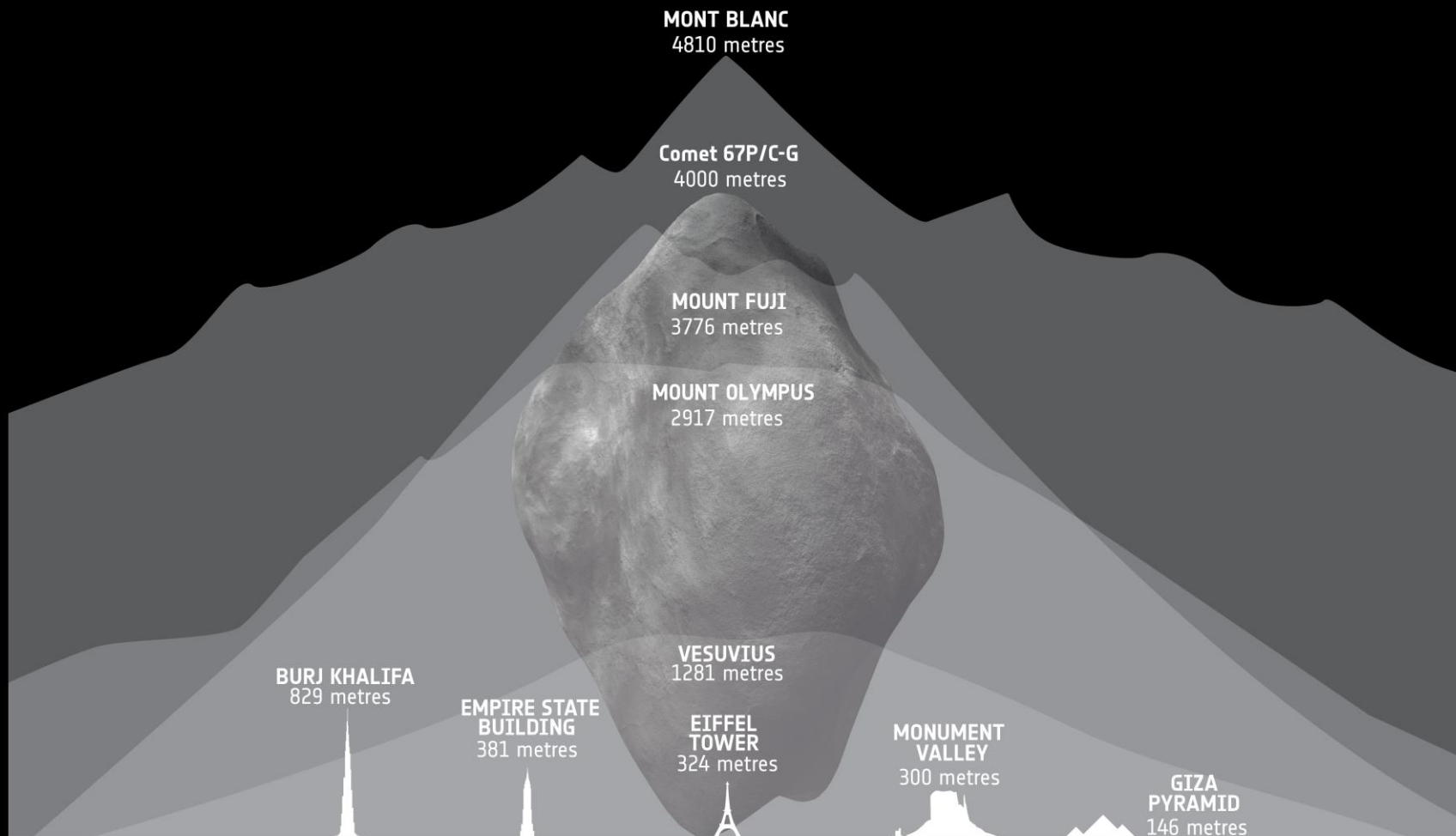
4 km



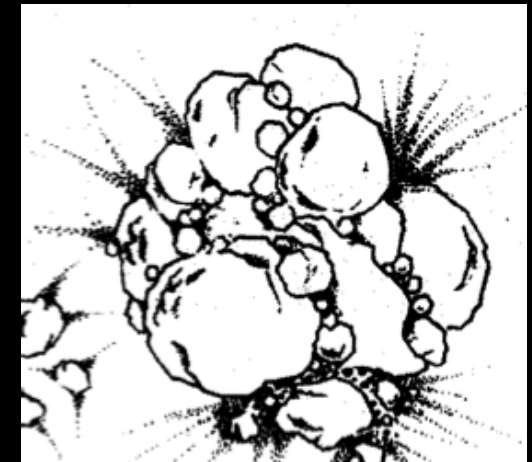
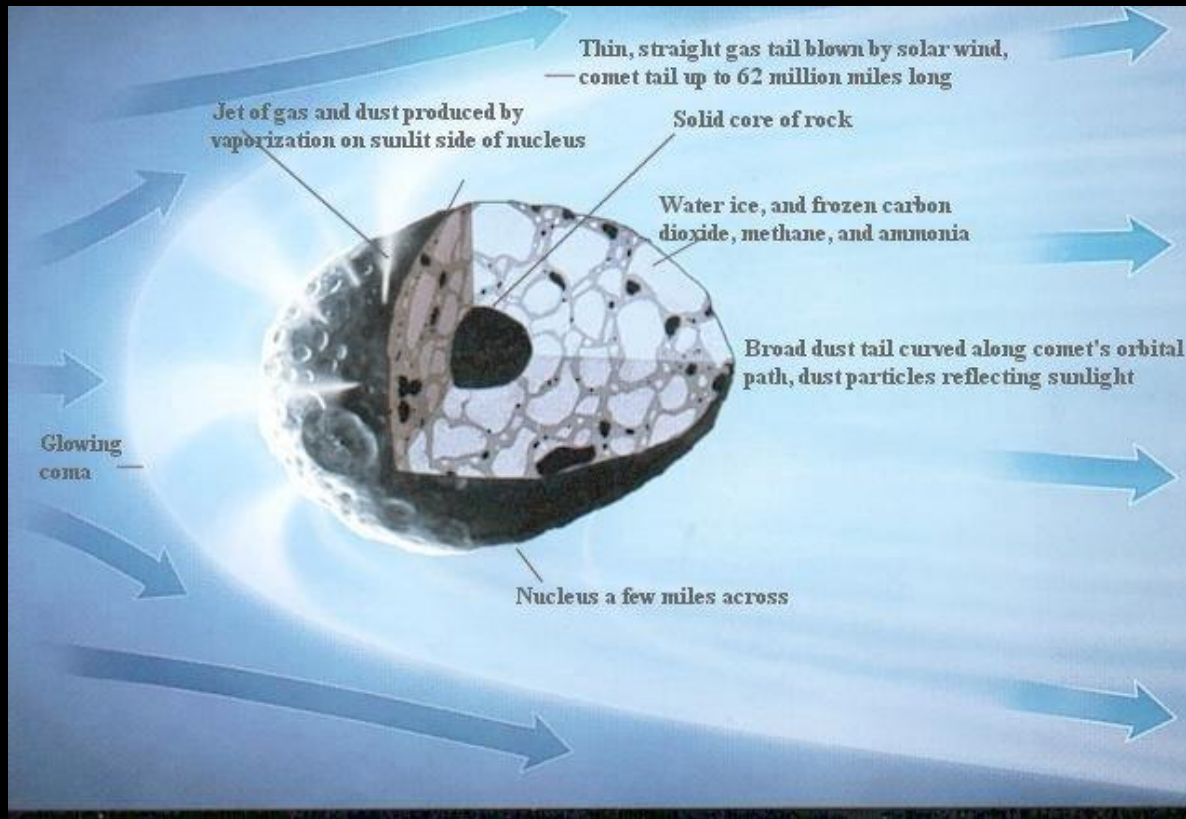
~ 15 km

Halley
(*Giotto*)

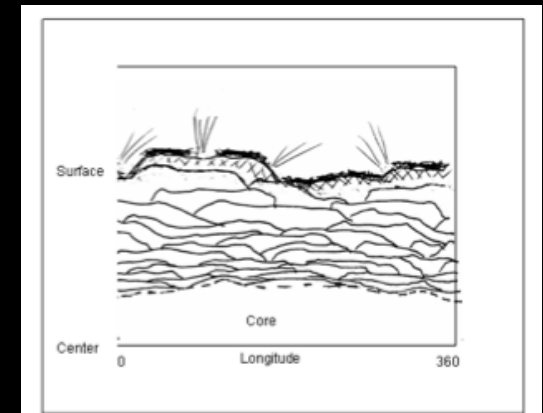
→ HOW BIG IS COMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO?



Structure : noyaux cométaires



Weissman (1986)



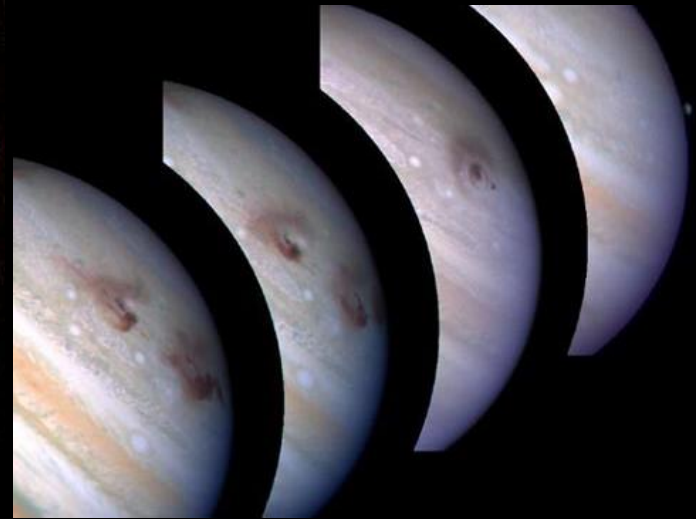
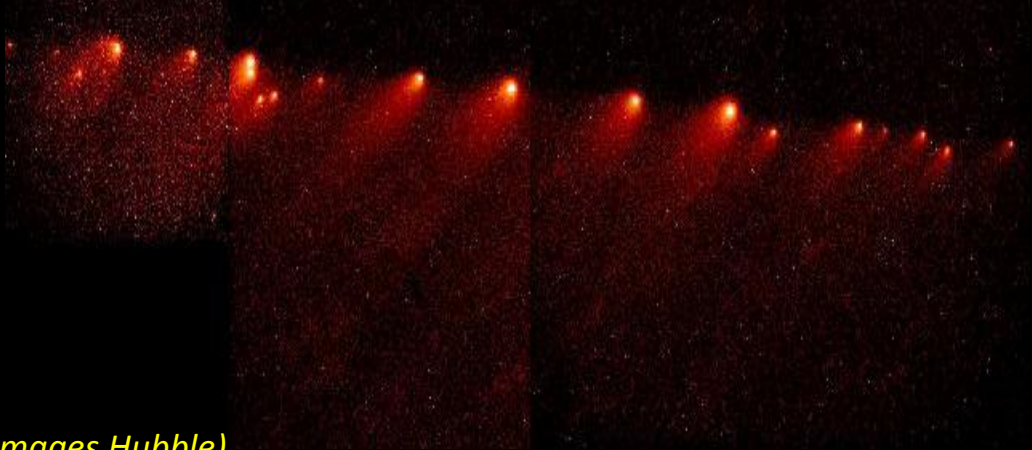
Belton (2006)

A faible distance héliocentrique :

- Sublimation des glaces du sous sol (CO , puis CO_2 , puis H_2O)
- Ionisation des volatiles à grandes distances
- Ejection des poussières via le gaz
- Fragmentations et sublimation des grains

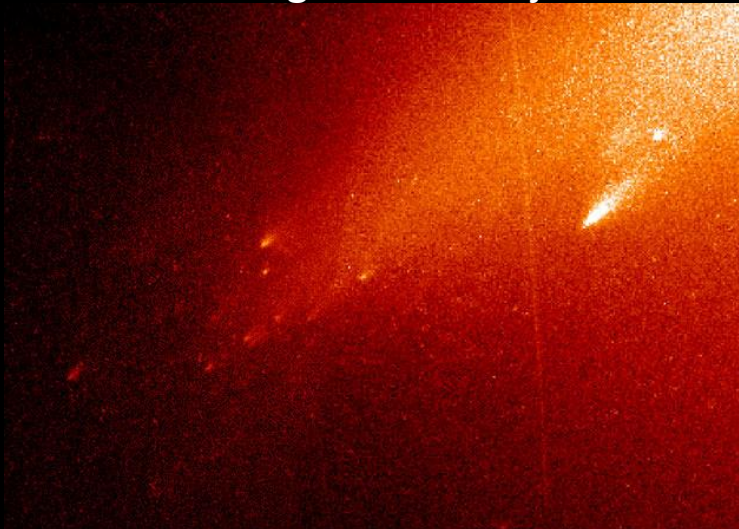
Structure : noyaux cométaires peu dense et très fragiles

Comète Shoemaker-Levy 9 en 1994: brisée par, et chutant sur Jupiter



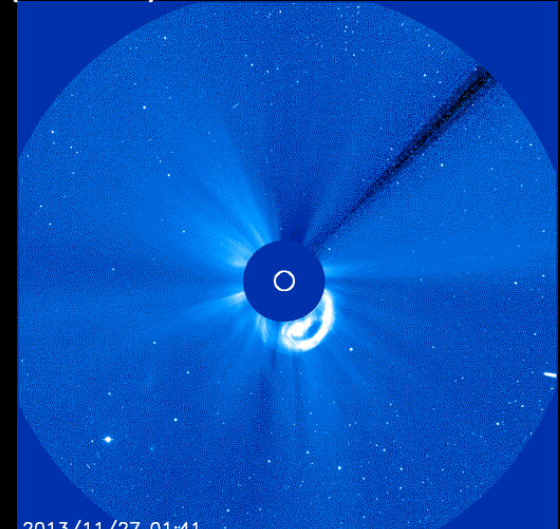
(images Hubble)

La comète C/1999S4 (LINEAR)
totalement fragmentée en juillet 2001



ISON ne survit pas à son passage
près du Soleil (1Mkm) en nov. 2013

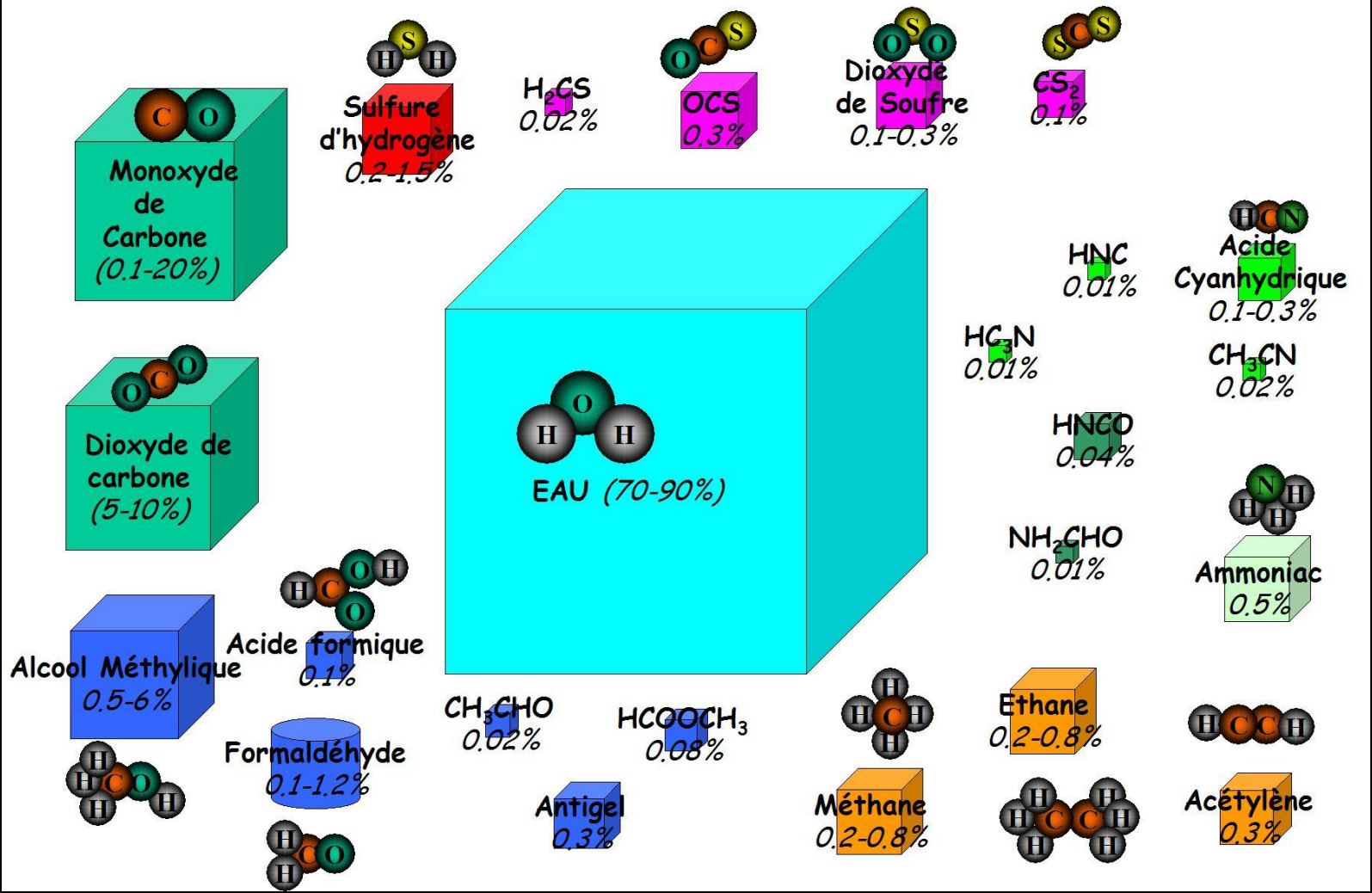
(images SOHO)



2013/11/27 01:41

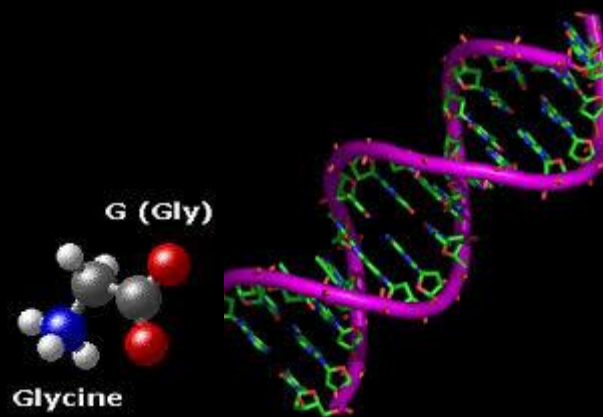
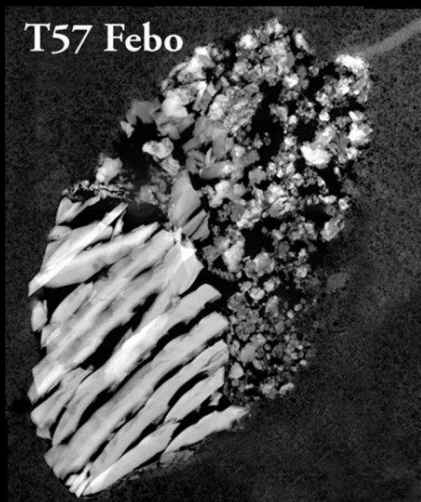
Composition des comètes : un monde de glaces et de feu

Molécules présentes dans les glaces – formées à basse température



Roches: Matière organique, et minéraux formés à haute température

Mission Stardust vers la comète Wild 2 en 2004:
retour d'échantillons en 2006

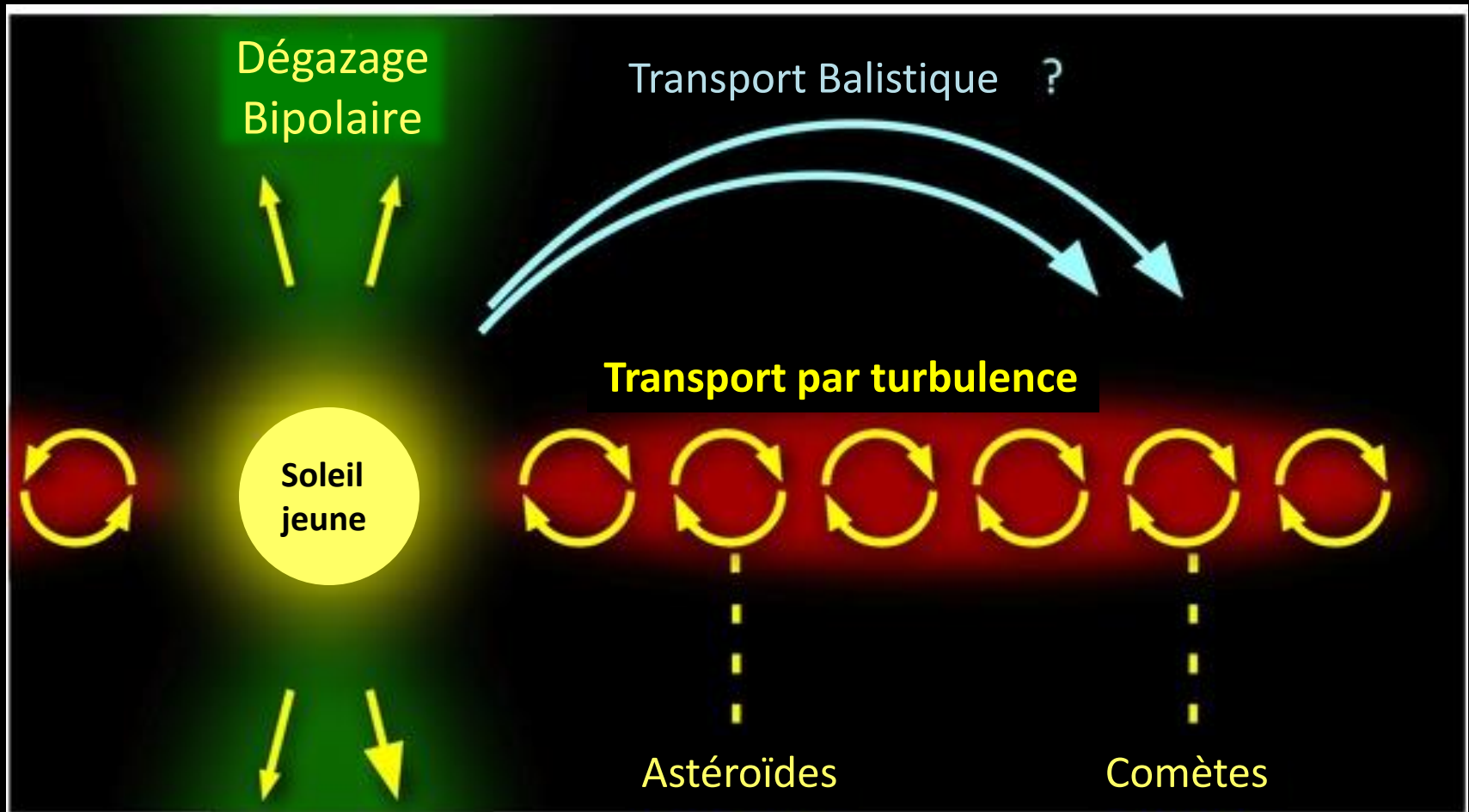


Présence de la glycine
dans les grains

Olivine cristalline
(forstérite)



Les minéraux formés près de l'étoile ont été transportés vers les régions extérieures, zones de formation des comètes



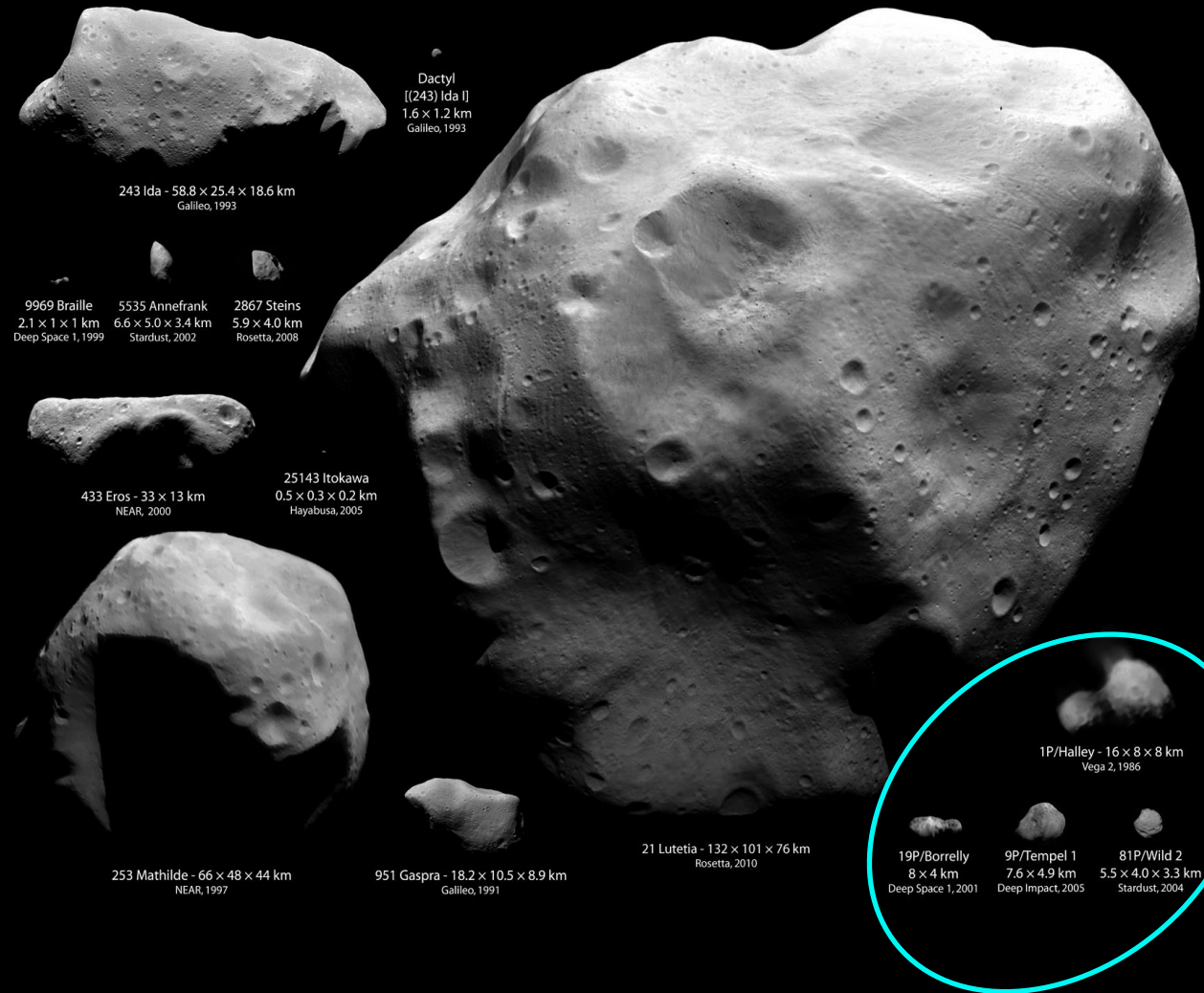
1.) Formation du système solaire *Un des scénarios plausibles: hypothèse de la Nébuleuse Solaire*

Cela commence il y a 4,6 milliards d'années - quatre grandes étapes



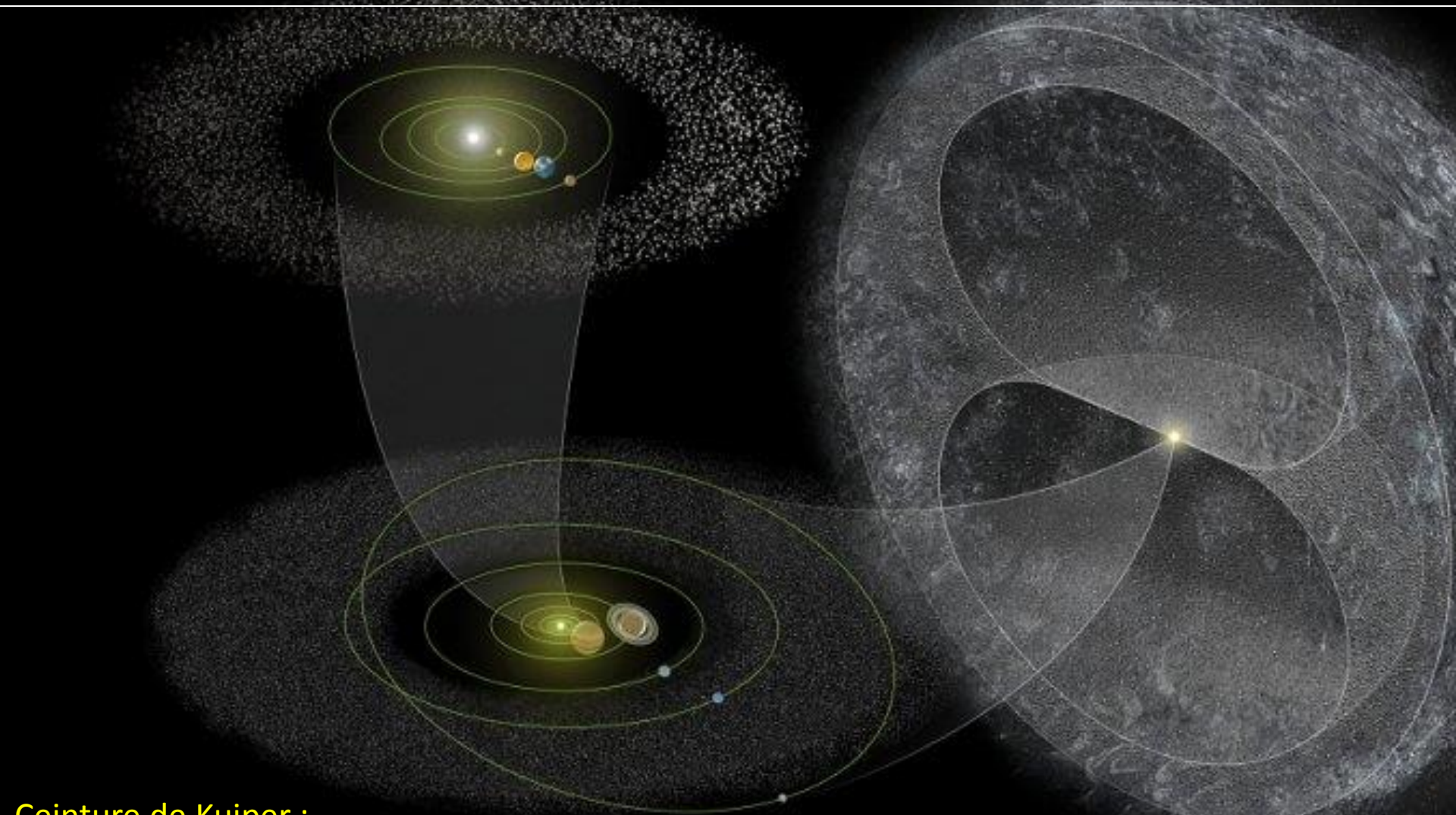
Tous les corps qui ne se sont pas accumulés pour former les planètes sont aujourd'hui représentés par :

- Astéroïdes
- **Comètes**
- Troyens
- Centaures
- Objets Trans-neptuniens



**Les comètes : formées loin contiennent des volatiles
issus de la nébuleuse protoplanétaire et qui restent peu altérés**

D'où viennent les comètes ? Les deux grands réservoirs $1 \text{ UA} = 149\,600\,000 \text{ km}$



Ceinture de Kuiper :

Au-delà de l'orbite de Neptune
de 30 à 55 UA du Soleil

Au-delà jusqu' à + de 100 UA,
on parle de disque épars

Nuage de Oort:

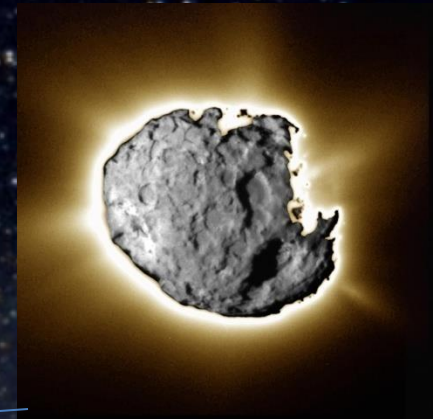
Situé entre 30 000 et + de 100 000 UA

- Coquille sphérique
- Aucun n' objet n' a jamais été détecté directement dans le nuage de Oort.

Pourquoi s'intéresser aux comètes ?

- 1) Remonter aux origines du Système solaire
- 2) Comprendre la formation des planètes
- 3) Source d'eau sur Terre ?
- 4) Source de matière organique sur terre ?

comprendre l'origine de la vie



Rosetta

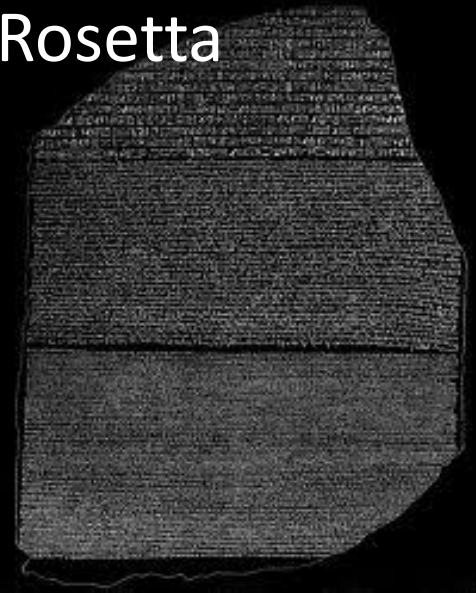
Une mission de l'Agence Spatiale Européenne



Cap sur la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko

Grands Objectifs scientifiques de la mission Rosetta

- Mieux comprendre l'origine du Système Solaire en caractérisant la composition et les propriétés physiques d'un noyau cométaire
- Comprendre comment l'activité des comètes se développe en accompagnant une comète dans son voyage autour du Soleil



Vue d'artistes de l'atterrisseur Philae (~100kg)



Vue d'artistes de l'Orbiteur Rosetta après largage de Philae

La mission Rosetta (ESA)

Masse: 1395 kg + 1670 kg de carburant au décollage

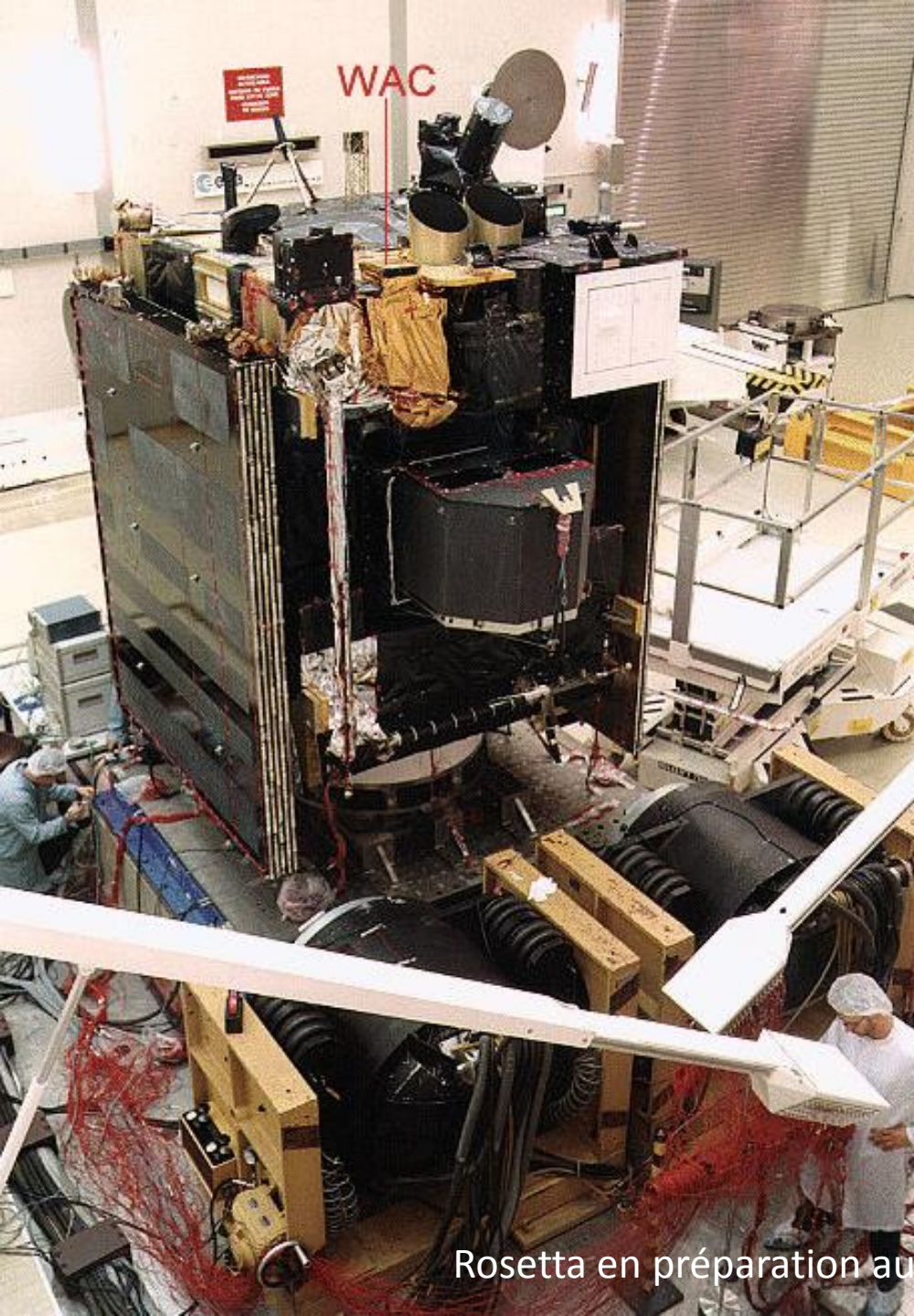
Charge utile 165 kg + 100 kg Lander

2.8m×2.1m×2.0m

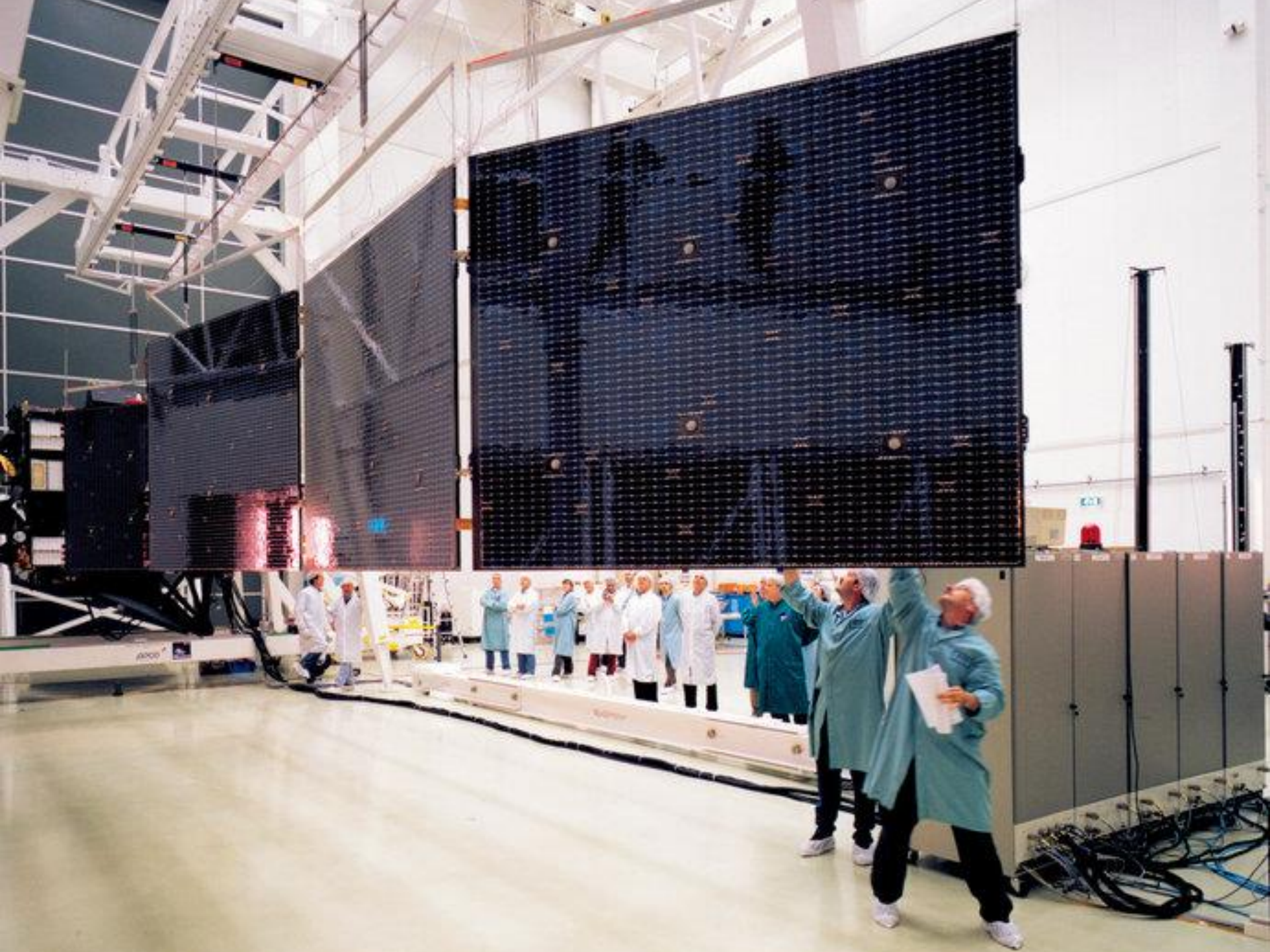
Envergure 32 m

Constructeur: EADS-Astrium

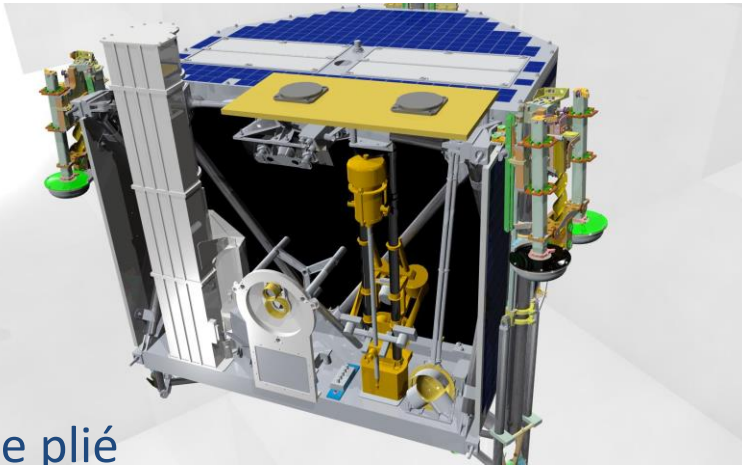




Rosetta en préparation au sol avant le lancement.



Rosetta et son atterrisseur (Philae) en préparation au sol avant le lancement.



Philae plié

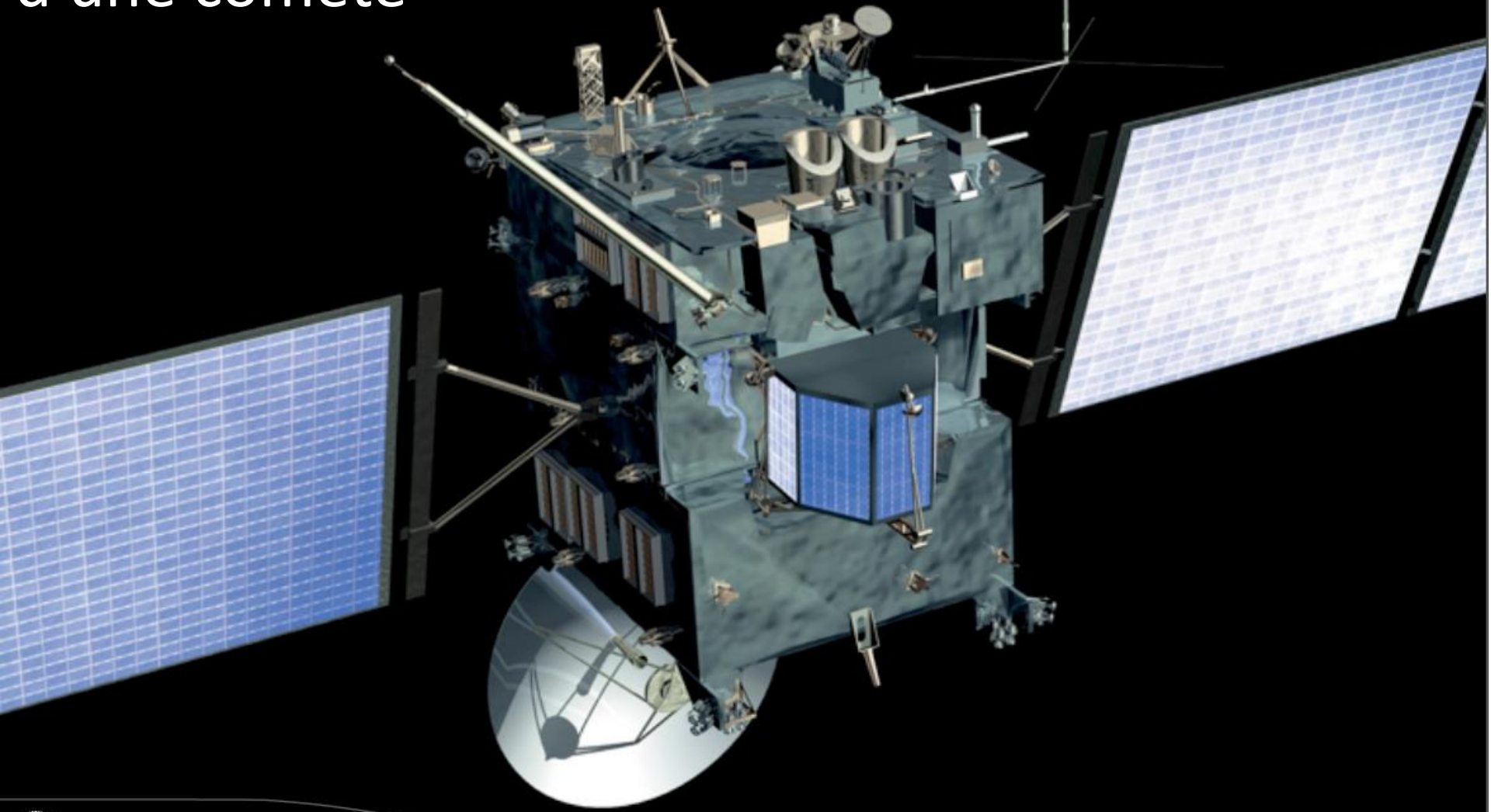


Philae déplié

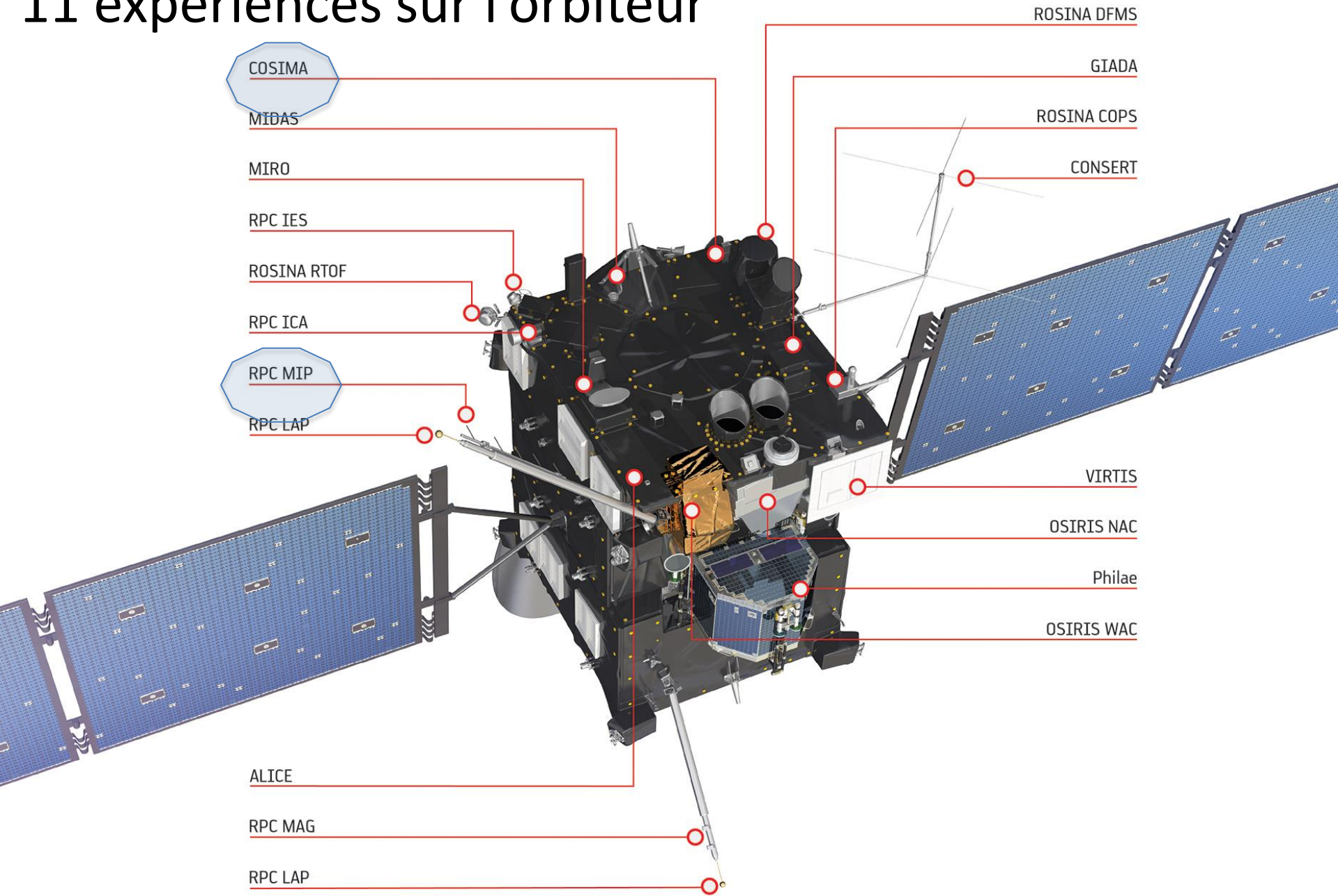


Photo ESA

21 expériences scientifiques pour l'exploration *in situ* la plus détaillée d'une comète



11 expériences sur l'orbiteur



Imaging & spectroscopy in the optical, UV, IR, millimetre
OSIRIS, ALICE, VIRTIS, MIRO

Gas & dust mass spectroscopy
ROSINA, COSIMA

Dust structure, distribution, sizes, & microscopy
GIADA, MIDAS

Plasma experiments
RPC

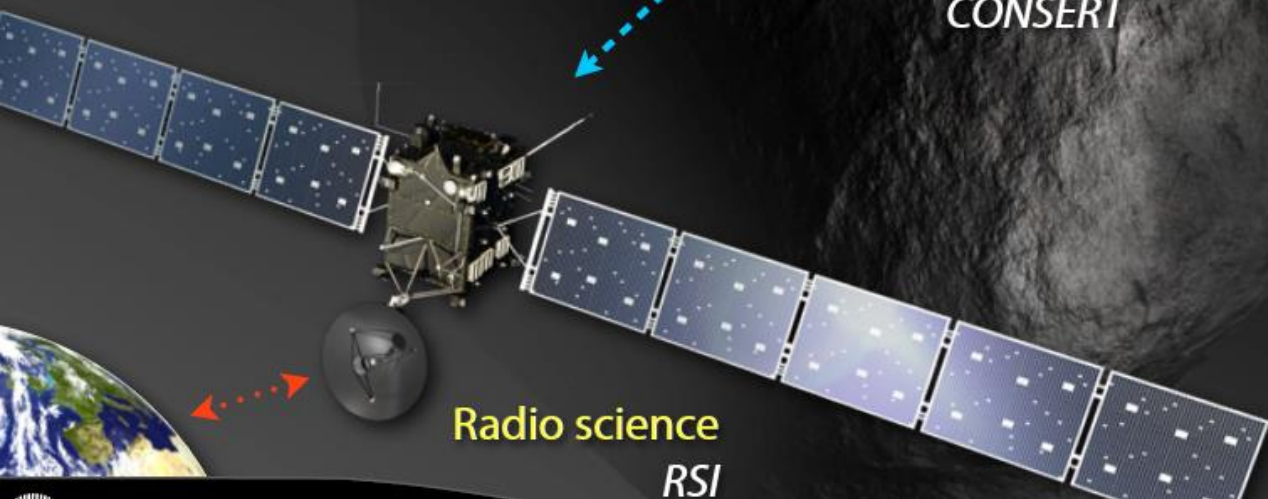
Tomography of the nucleus
CONSERT

Imaging during descent, surface panorama, & microscopy
ROLIS, ÇIVA

Gas, dust, organics, & plasma
COSAC, MODULUS PTOLEMY, APXS, ROMAP

Analysis of surface & sub-surface
SD2, MUPUS, SESAME

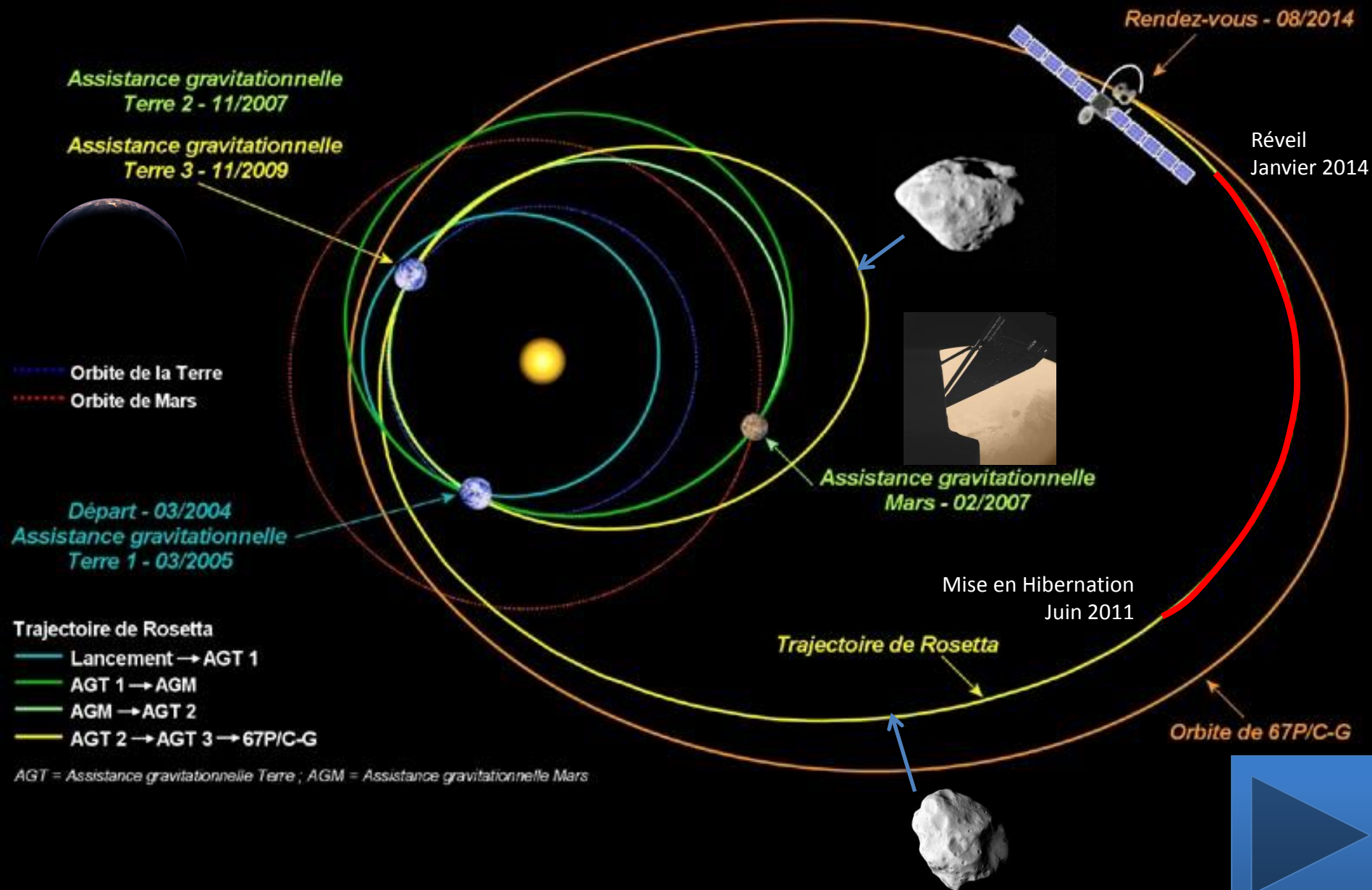
Radio science
RSI



Lancement de Rosetta par Ariane 5G+ de Kourou (2 mars 2004)
ESA, CNES, Arianespace



Trajectoire interplanétaire de Rosetta



Trajectoire interplanétaire de Rosetta





Rosetta lors du survol de Mars (à 1 000km), 25 février 2007 / ESA

La Terre vue de Rosetta au 3^{ème} survol, 13 novembre 2009 /ESA



Survol de l'astéroïde 21 Lutétia, le 10 juillet 2010/ESA, OSIRIS





**Mise en
Hibernation
en juin 2011**



Réveil programmé
Le 20 janvier 2014 à 10:00 GMT
Réception prévue à 17:30 GMT



18:30 CET Le signal qui va nous fasciner pendant de longues minutes

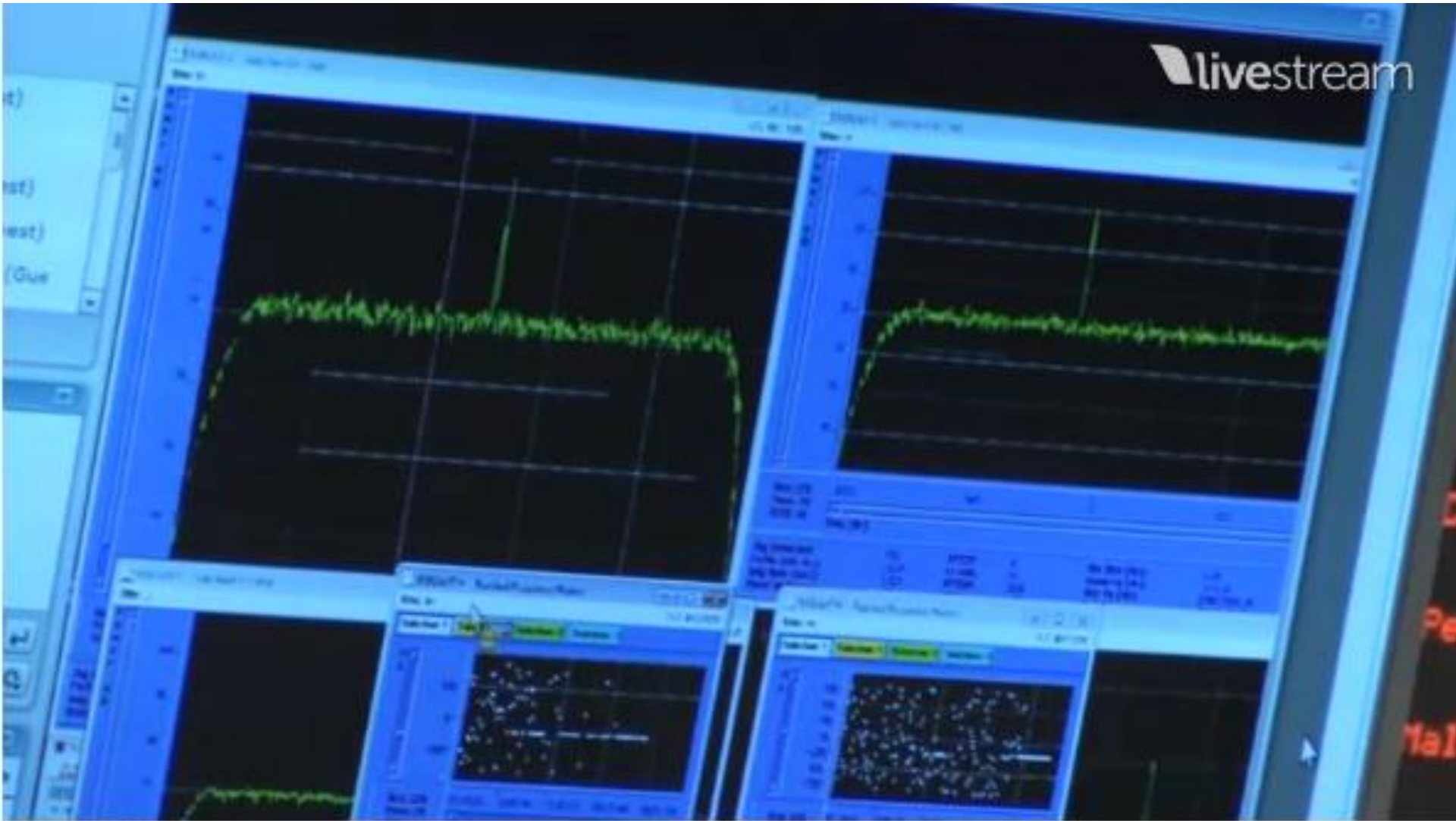


Stress palpable dans la salle de contrôle de l'ESOC

Paolo Ferri, Chef des Opérations à l'ESA, et Andrea Accomazzo, Responsable des opérations du vaisseau Rosetta, attendant patiemment le signal de Rosetta.

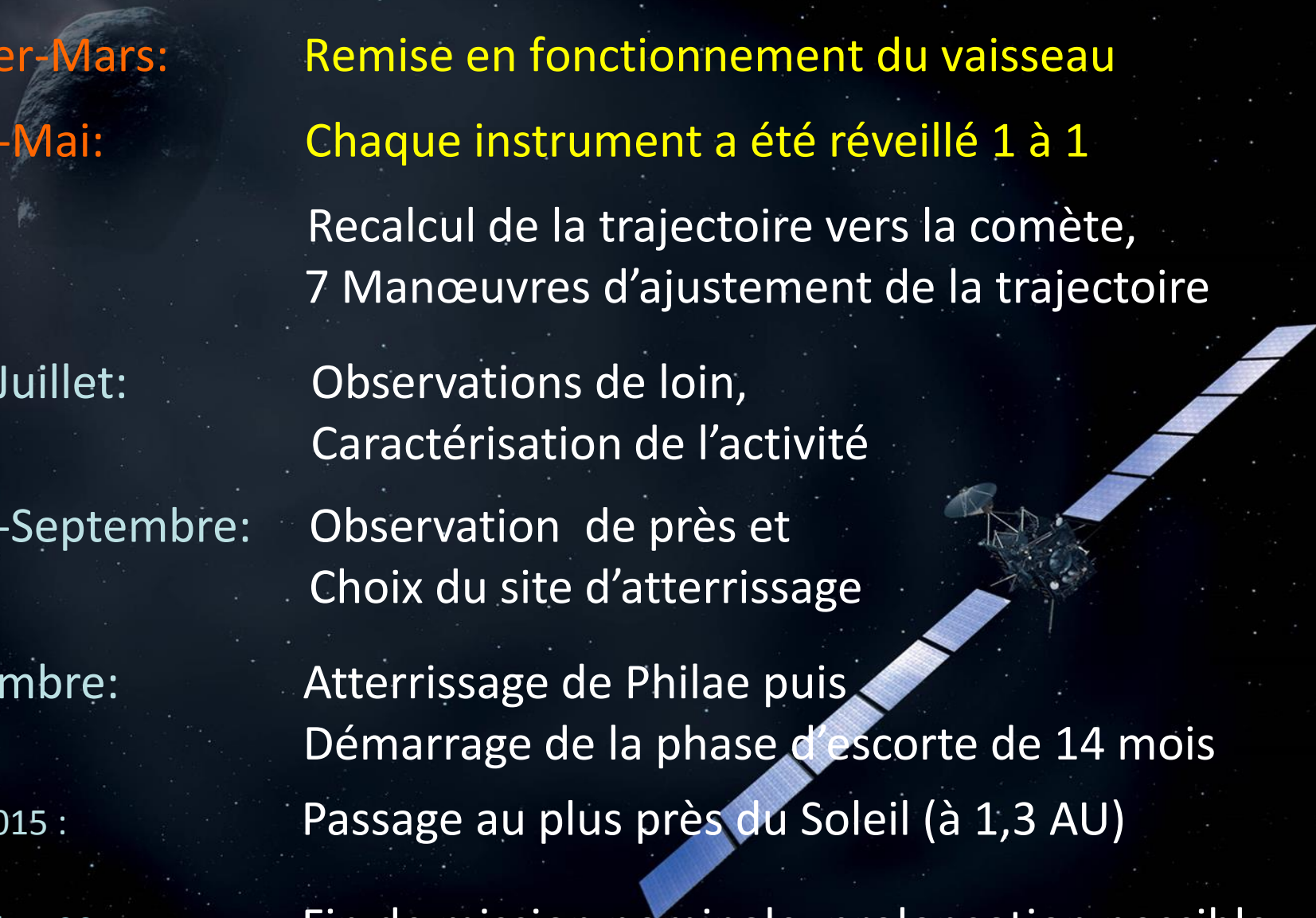


Et finalement après 48 minutes d'angoisse





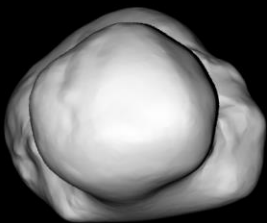
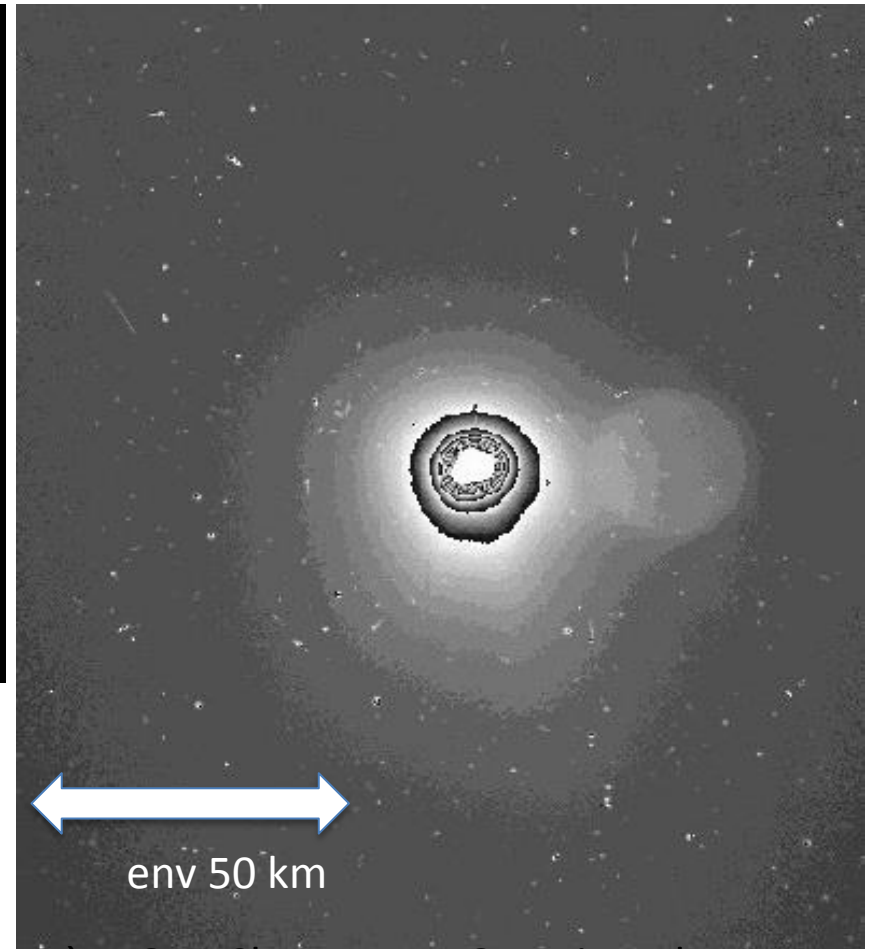
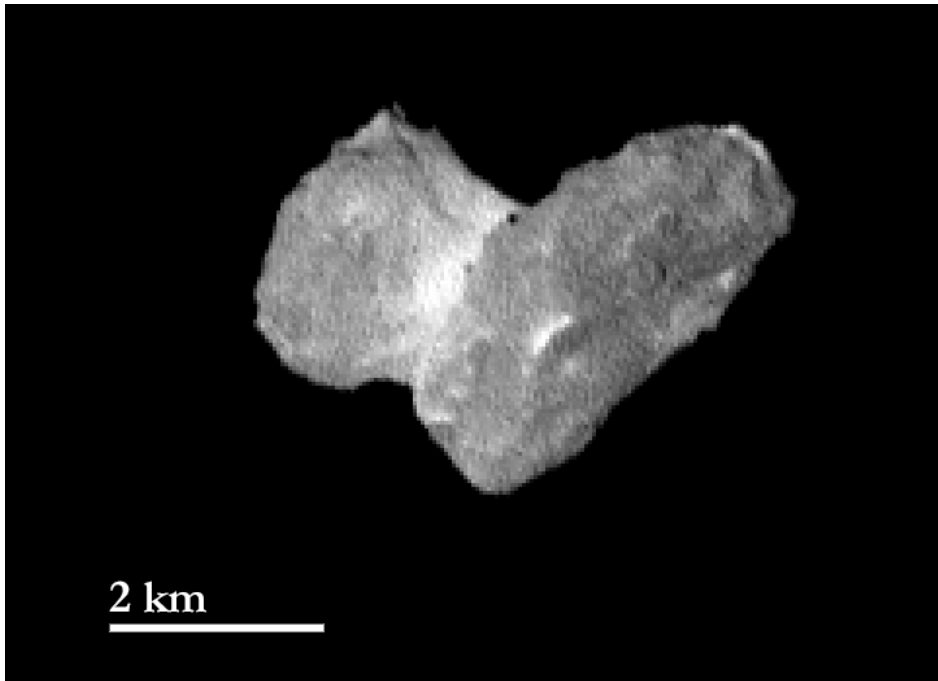
Programme suivi après le réveil

- 
- Février-Mars:** Remise en fonctionnement du vaisseau
- Mars-Mai:** Chaque instrument a été réveillé 1 à 1
- Mai:** Recalcul de la trajectoire vers la comète,
7 Manœuvres d'ajustement de la trajectoire
- Juin-Juillet:** Observations de loin,
Caractérisation de l'activité
- Août-Septembre:** Observation de près et
Choix du site d'atterrissage
- Novembre:** Atterrissage de Philae puis
Démarrage de la phase d'escorte de 14 mois
- Août 2015 :** Passage au plus près du Soleil (à 1,3 AU)
- Décembre 2015:** Fin de mission nominale; prolongation possible

Images de Rosetta par les caméras d'OSIRIS



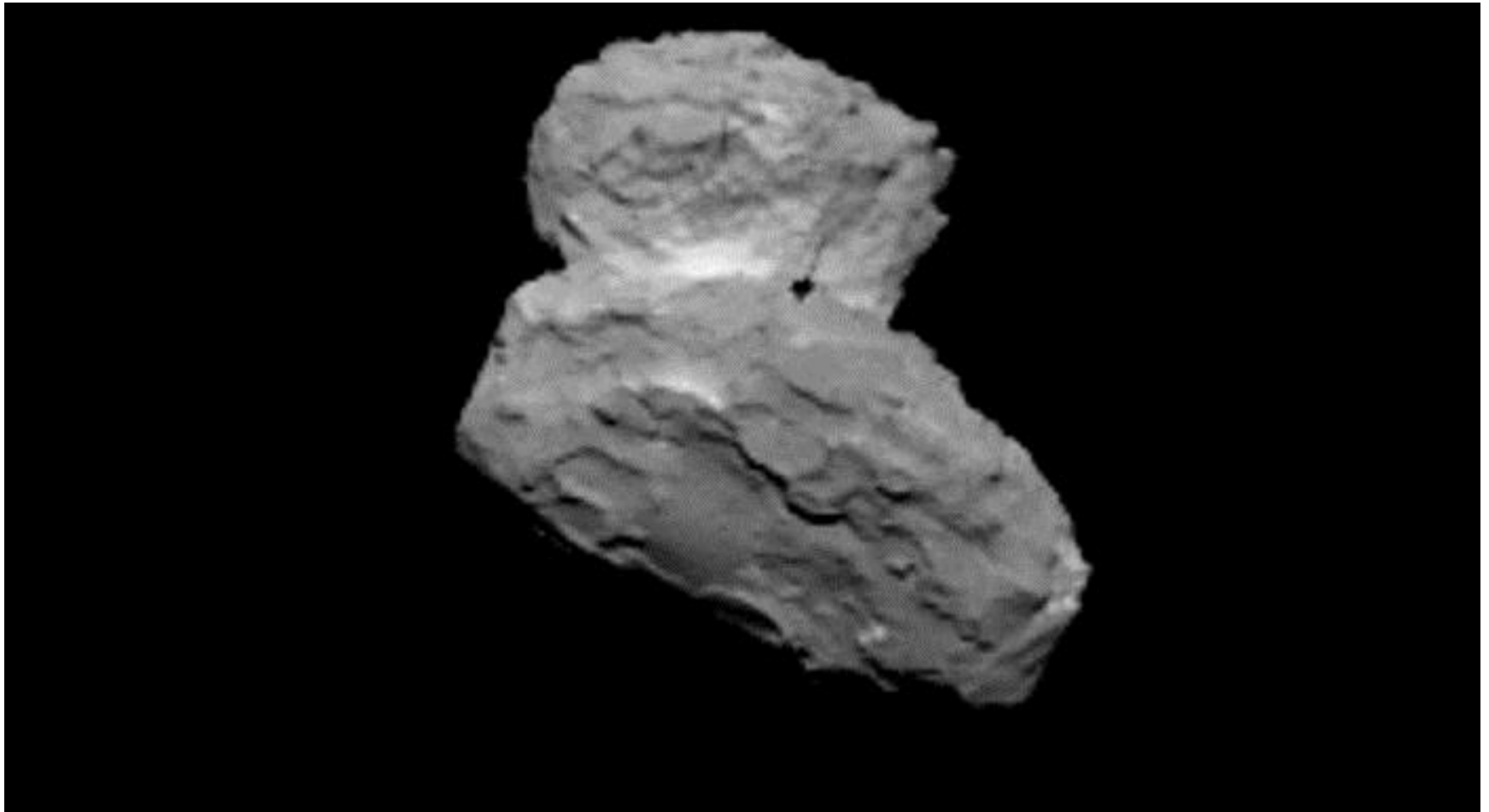
Observations récentes du noyau Images de la caméra OSIRIS



Modèle de forme

Images de la Comète 67P-Churyumov-Gerasimenko
à gauche: 29 juillet 2014 à une distance de 1950 km (NAC).
à droite: 25 juillet à 3000 km (WAC)

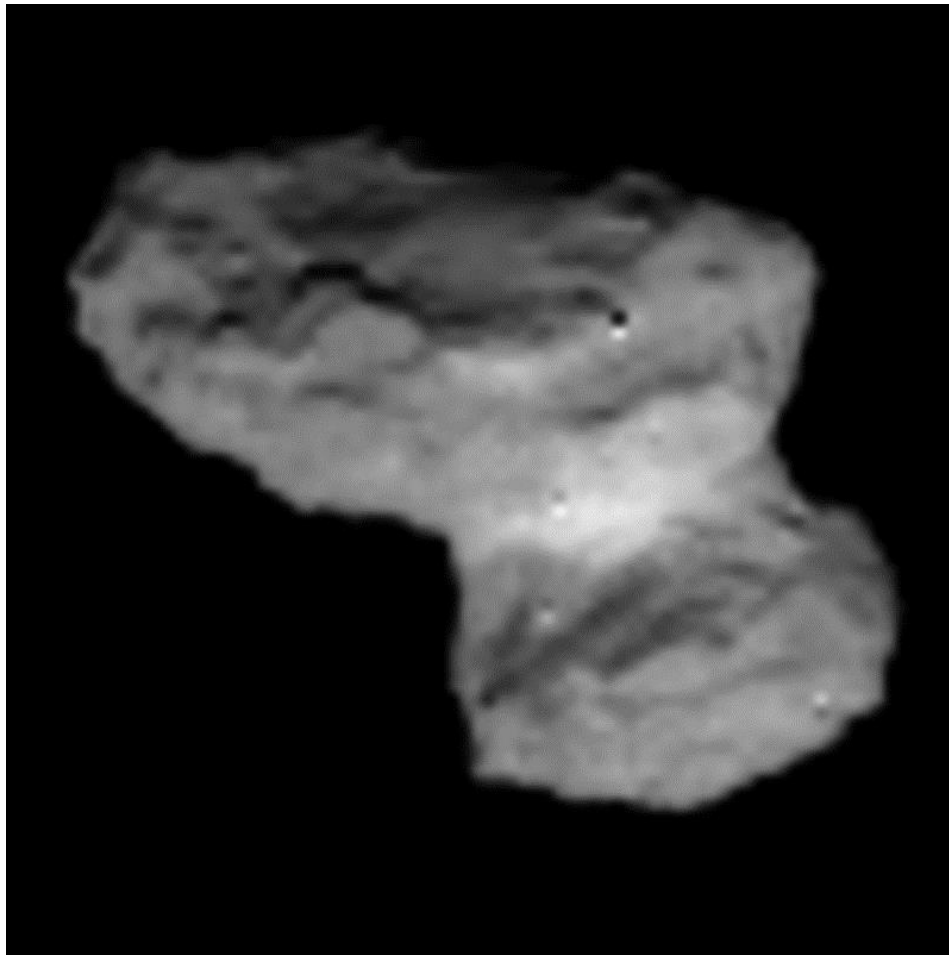
Dernière Image (disponible) de 67P/C-G par OSIRIS



This image was acquired 1 August at 04:48 CEST (02:48 GMT) by the OSIRIS Narrow Angle Camera on board ESA's Rosetta spacecraft. The distance was approximately 1000 km. Note that the dark spot is an image artefact.

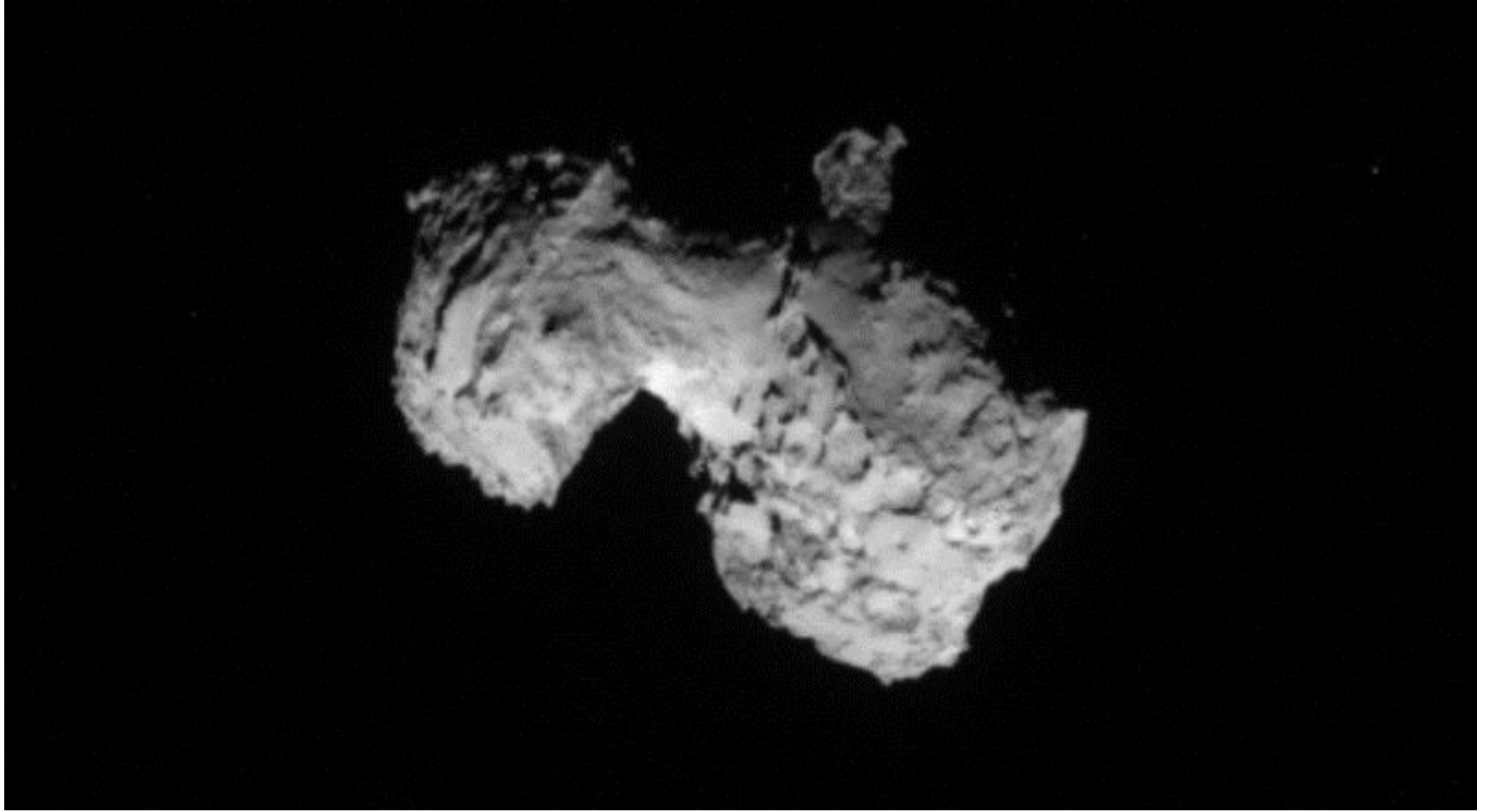
Credits: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

Image par la caméra de navigation



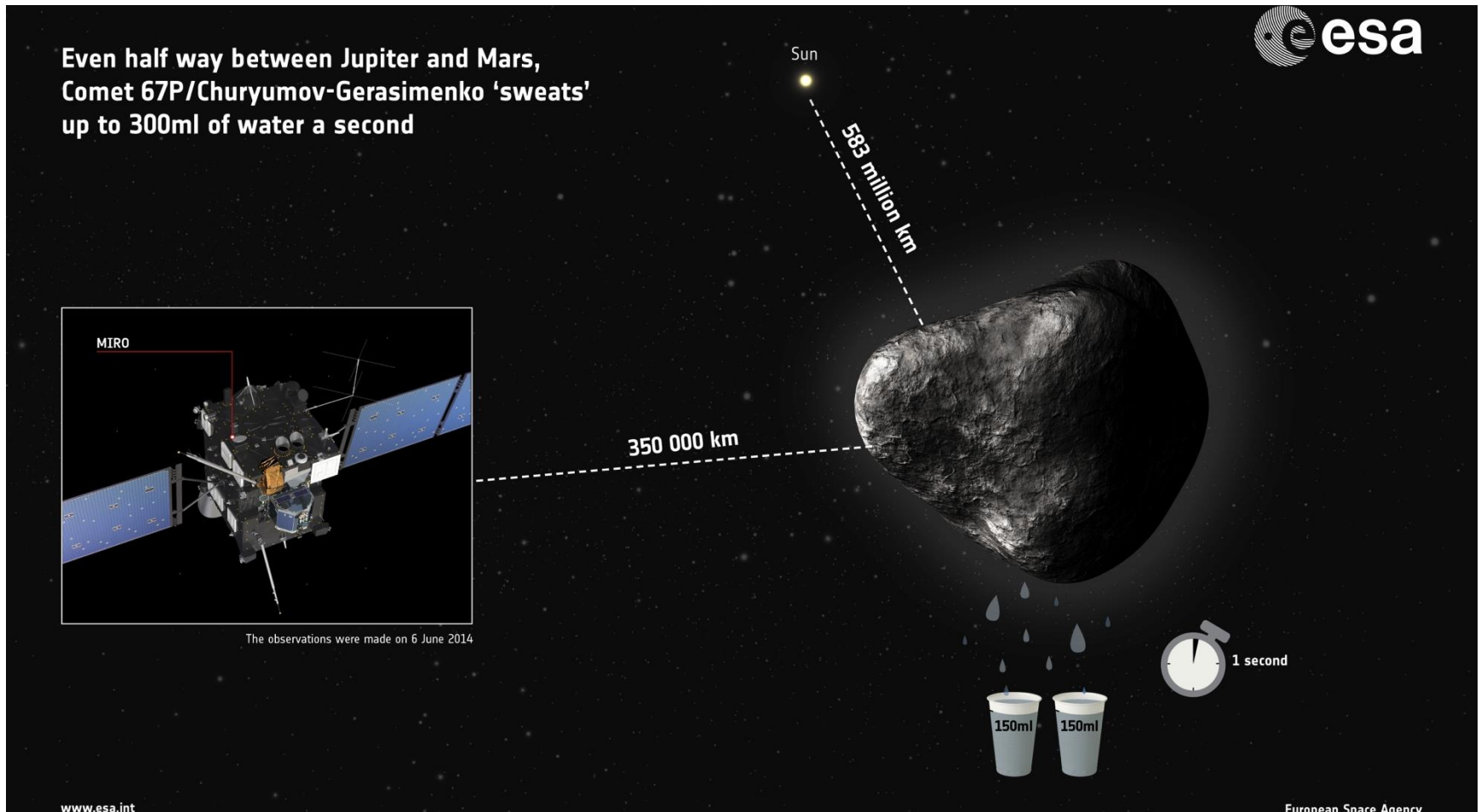
NAVCAM image taken on 2 August 2014 from a distance of about 500 km from comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. Credits: ESA/Rosetta/NAVCAM

Image par la caméra de navigation



Rosetta navigation camera (NAVCAM) image taken on 3 August 2014 at about 300 km from comet 67P/C-G. The Sun is towards the bottom of the image in the depicted orientation
Credits: ESA/Rosetta/NAVCAM

Première détection de l'eau début juin



Crédit: ESA/Rosetta/MIRO team

Mesure de la température de la surface

First VIRTIS measurements reveal a temperature of -70°C suggesting that the surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko is predominantly covered by dust



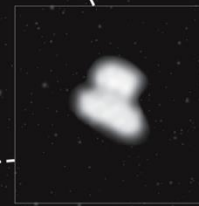
Sun

553.5 million km

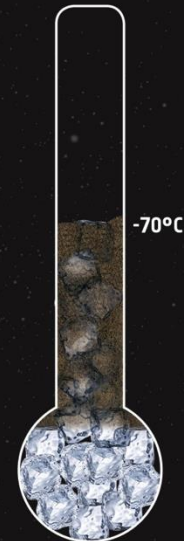


The observations were made by VIRTIS between 13 and 21 July 2014

$\approx 14\ 000 - 5\ 000\ \text{km}$



NAVCAM image of comet 67P/C-G on 23 July 2014





**Principales
contributions
instrumentales
du LPC2E**

COSIMA et RPC-MIP

Participation à ROSINA et RPC-LAP

Solar Orbiter
soho
Facing the Sun



venus express
Studying Venus' atmosphere



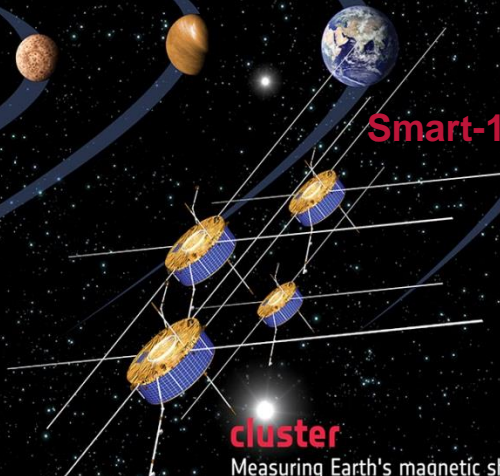
ExoMars
mars express
Investigating the Red Planet



bepicolombo
Exploring Mercury



Smart-1

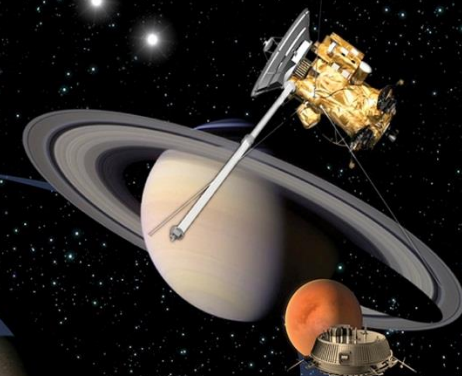


cluster
Measuring Earth's magnetic shield

JUICE
Investigating Jupiter
and its icy Moons



cassini-huygens
Studying the Saturnian system
and landing on Titan

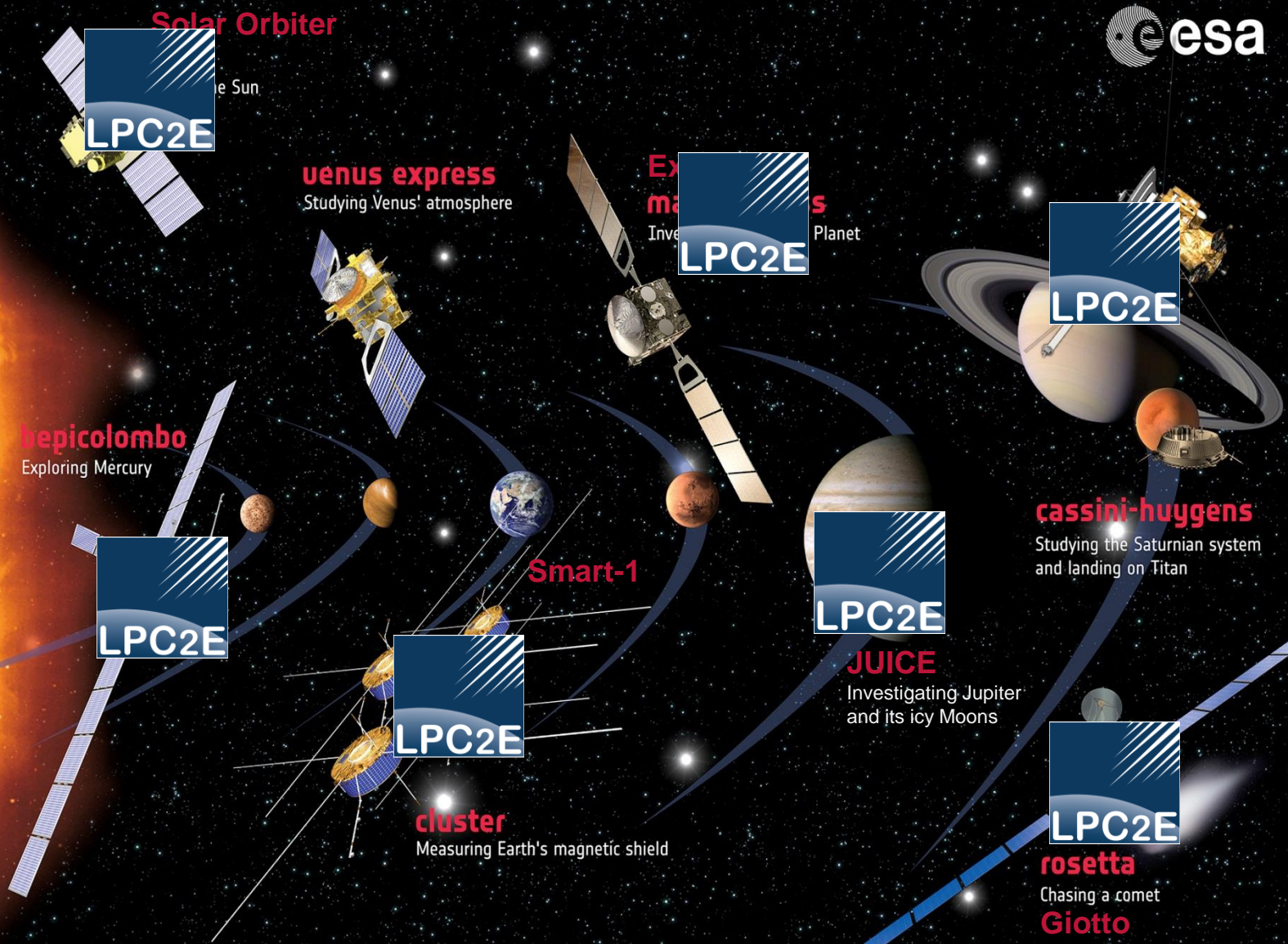


rosetta
Chasing a comet
Giotto



→ ESA'S FLEET IN THE SOLAR SYSTEM

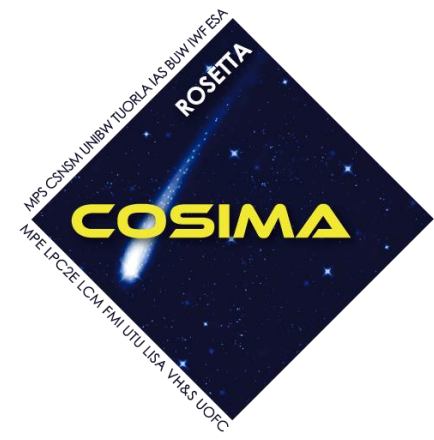
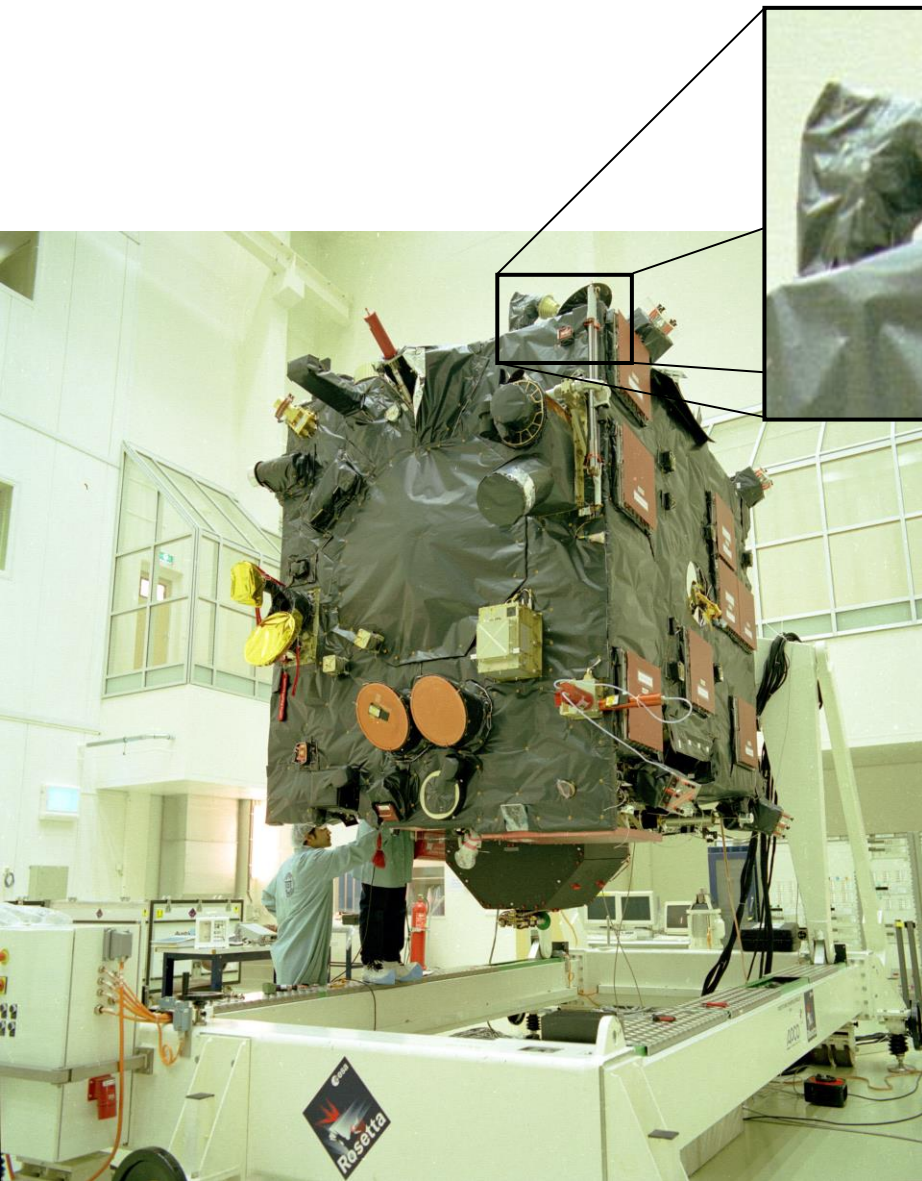
The Solar System is a natural laboratory that allows scientists to explore the nature of planets. ESA's missions to our planetary neighbours have transformed our view of the celestial neighbourhood. The planets that exist today are the result of 4.6 billion years of formation and subsequent development. Studying how they appear now allows us to unlock the mysteries of their past and to predict how they will change in the future.



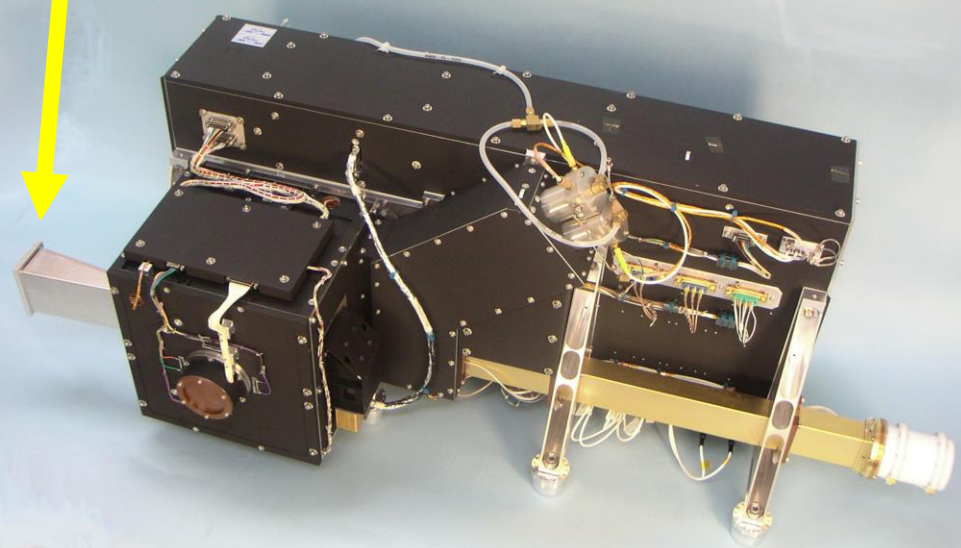
→ ESA'S FLEET IN THE SOLAR SYSTEM

The Solar System is a natural laboratory that allows scientists to explore the nature of planets. ESA's missions to our planetary neighbours have transformed our view of the celestial neighbourhood. The planets that exist today are the result of 4.6 billion years of formation and subsequent development. Studying how they appear now allows us to unlock the mysteries of their past and to predict how they will change in the future.

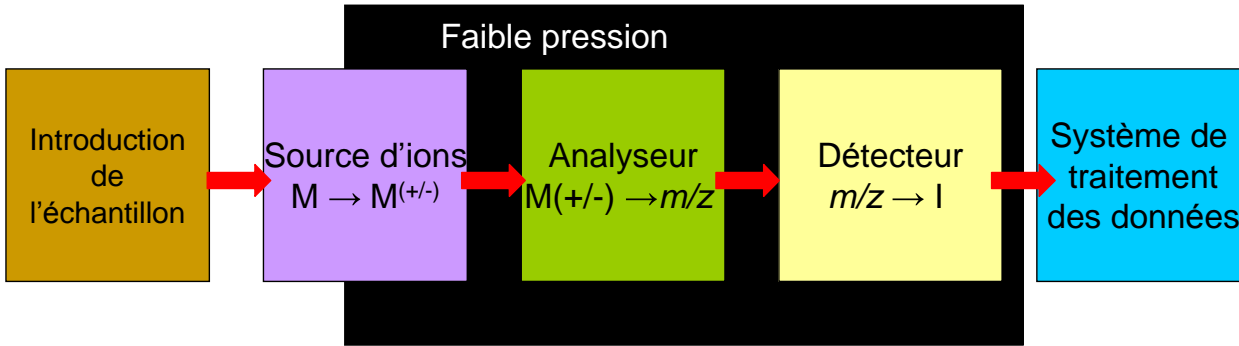
COSIMA Système de collecte et d'analyse chimique (moléculaire, élémentaire et isotopique) *in situ* des grains de poussières cométaires à bord de l'orbiteur Rosetta



Instrument COSIMA XM. Crédits : MPE/MPS/vH&S

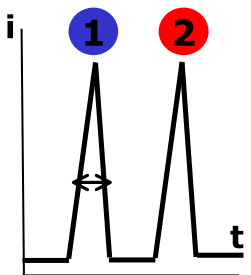
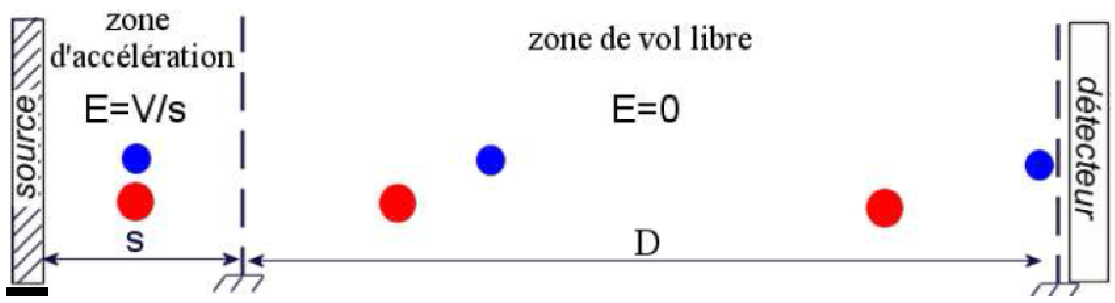
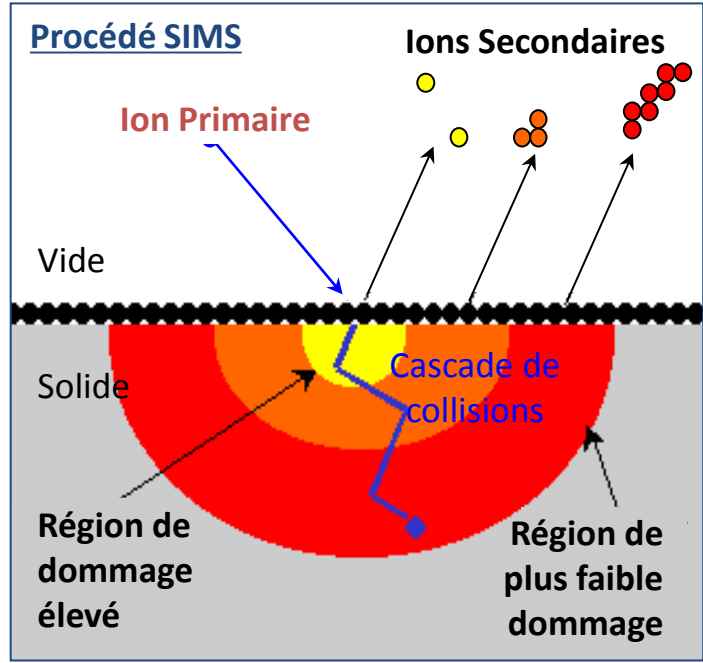


Principe de la spectrométrie de masse



L'instrument COSIMA

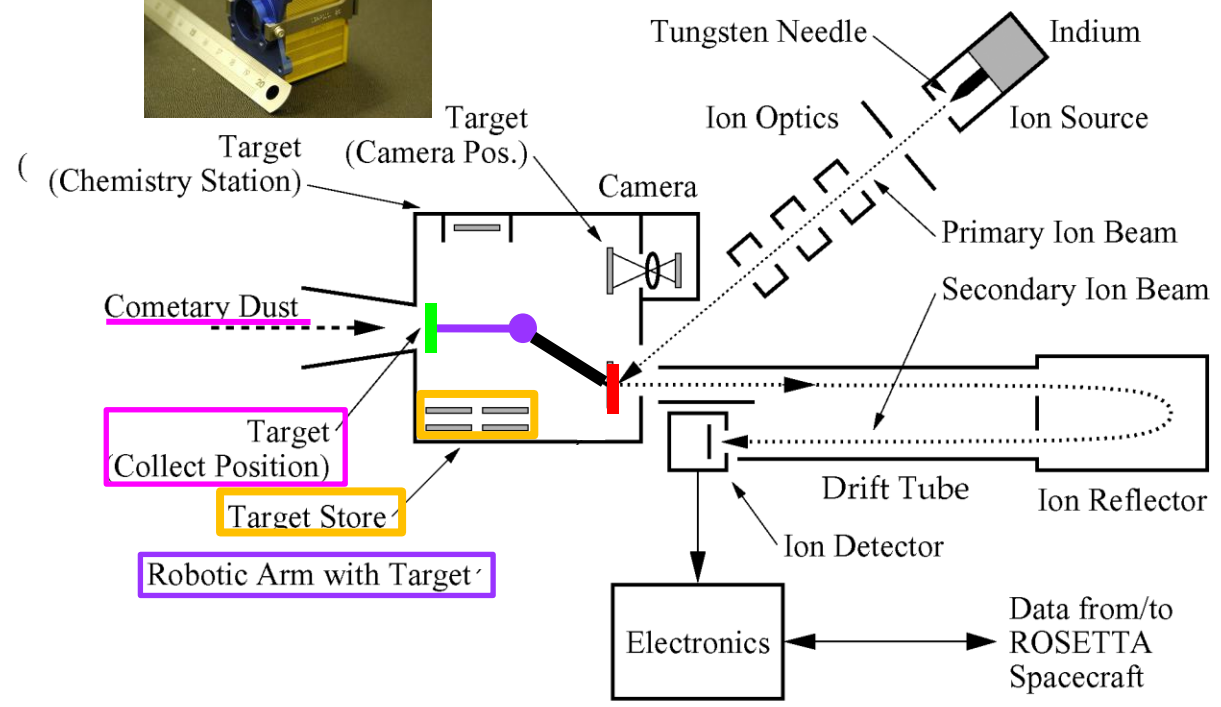
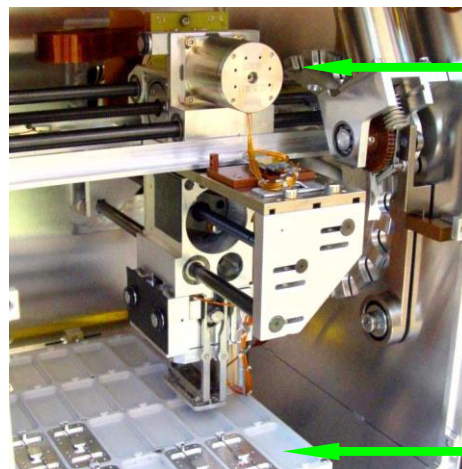
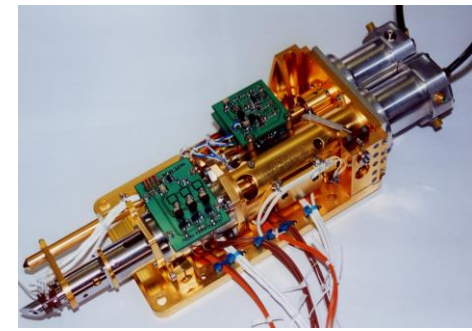
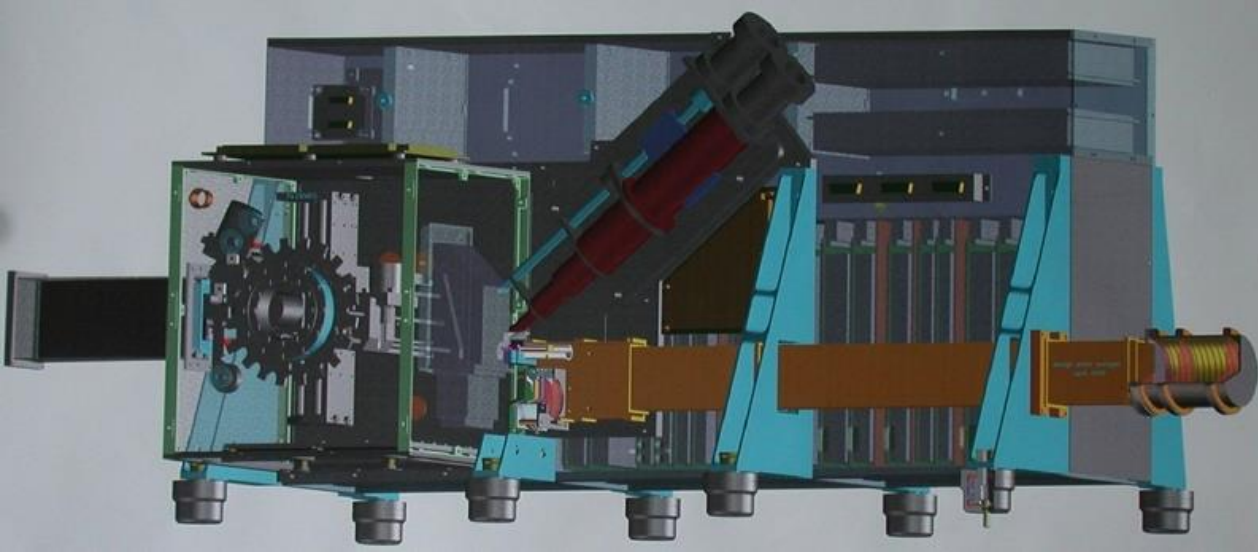
Technique de spectrométrie de masse d'ions secondaires à temps de vol (TOF-SIMS)
 => analyse des premières couches de la surface d'un échantillon **capté sur une cible**



$m1 < m2$
 Temps de vol d'un ion

$$t = D \sqrt{\frac{m}{2e \cdot V}}$$

19,7 kg
 20 Watt !
 97cm x 33 cm x 30 cm



SAOImage ds9

File Edit View Frame Bin Zoom Scale Color

Analysis Help

File CS_60D_20140618T202409_IM_M.FI

Object 60D

Value

WCS

WCS s

Physical X Y

Image X Y

Frame 2 x 4.000 0.000

file edit view frame bin zoom scale color regi

- + to fit zoom 1/8 zoom 1/4 zoom 1/2 zoom 1

111 197 284 370 457 543 629

CS_60D_20140615T002400_SP_P_L3.vector

s1

11 80 119 125.2 130 134

1E-1 1E-2 1E-3

0 2000 4000

log y Mass scale set min: 0 max: 3

5100	5000	"MRMCS000"	"60D"	91933454
5100	5000	"MRMCS000"	"60D"	91933464
4900	5000	"MRMCS000"	"60D"	91933545
4900	5000	"MRMCS000"	"60D"	91933556

Status Row 1

Retrieve Cancel Filter Clear

CS_60D_20140615T002400_SP_P_L2_pk_v2.3.5.txt

Organic

0.2 0.1 0

min: 0 max: 300 Reset mass zoom mineral so

Mineral

Zoom #1

0.4 0.3 0.2 0.1 0

Mass ma Organic Mineral mass: 0 mass scaler: Counts

60D Positive Negative circle radius: 10 width: 10

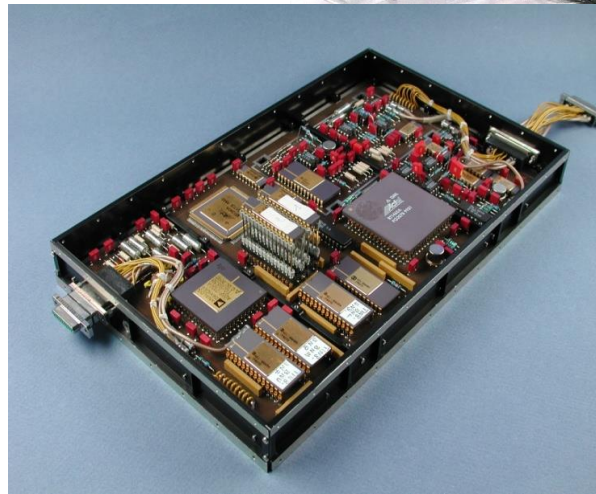
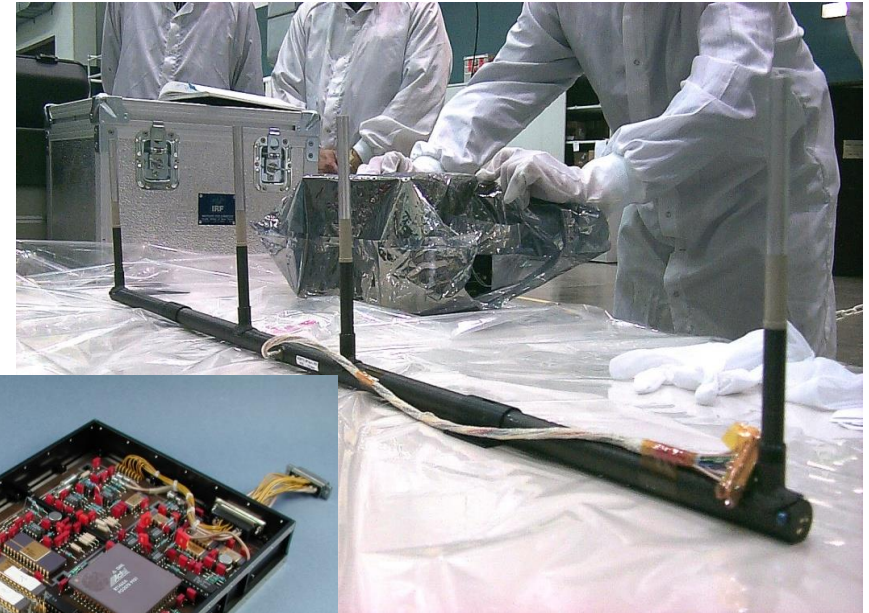
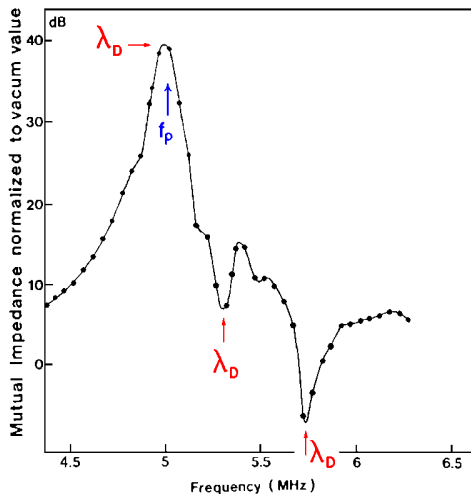
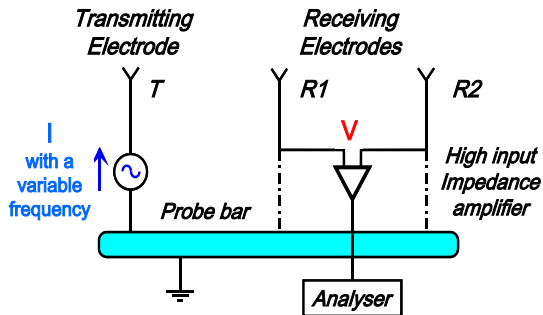
use catalog filter for additional filterin

RPC-MIP (Sonde à Impédance Mutuelle)

Objectif: mesure de la densité et température du **plasma** dans la coma.

L'instrument comprend:

- Une antenne comprenant 2 électrodes émettrices et 2 électrodes réceptrices montées sur un barreau de 1m de long
- Un boîtier électronique pour le gestion de l'instrument, la collecte et le traitement du signal des antennes dans la gamme 7 kHz-3.5 MHz;

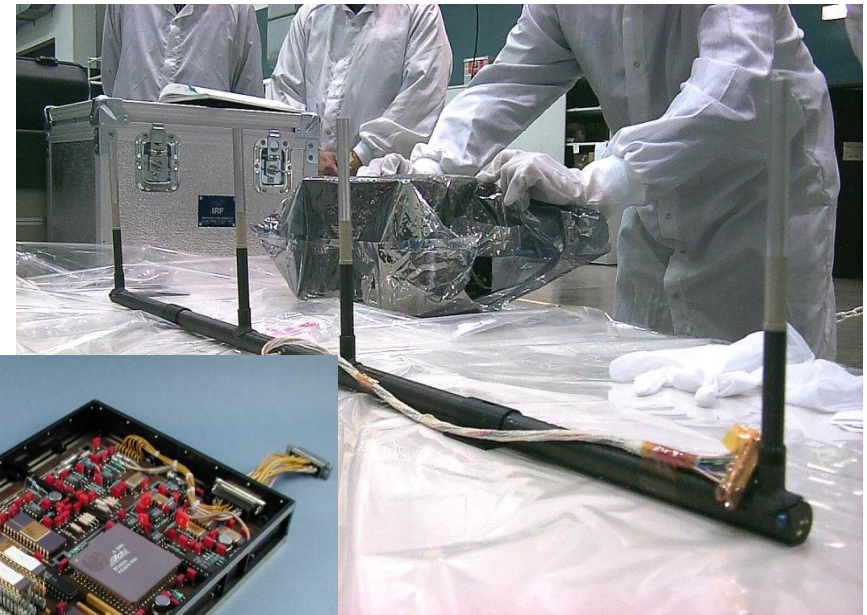
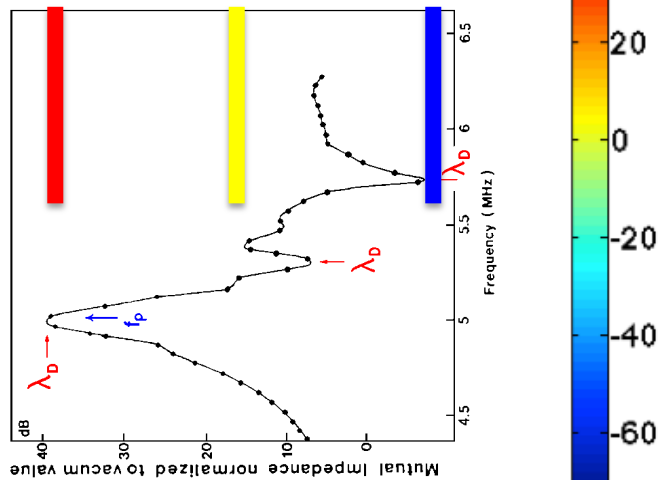
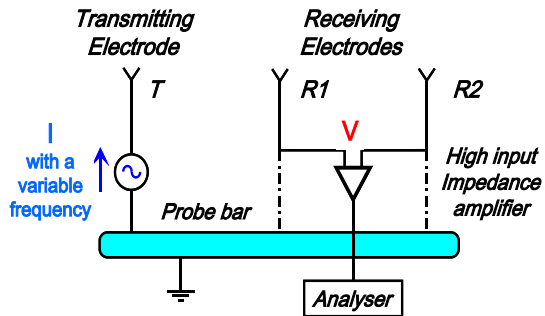


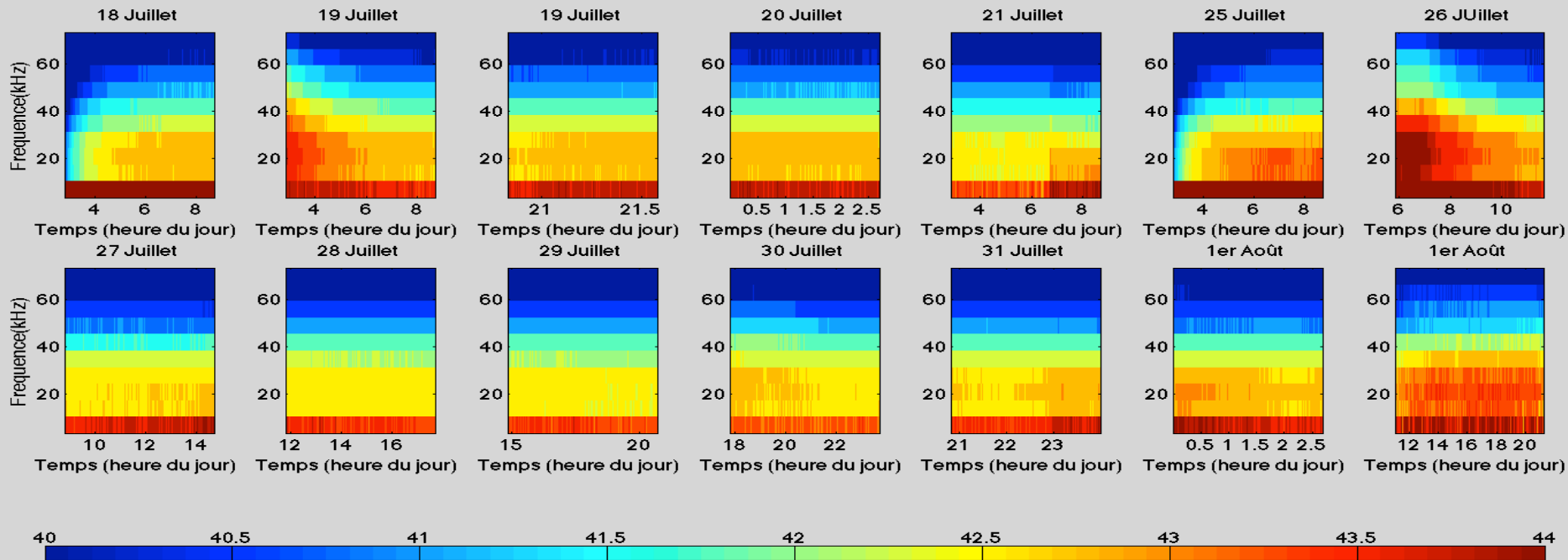
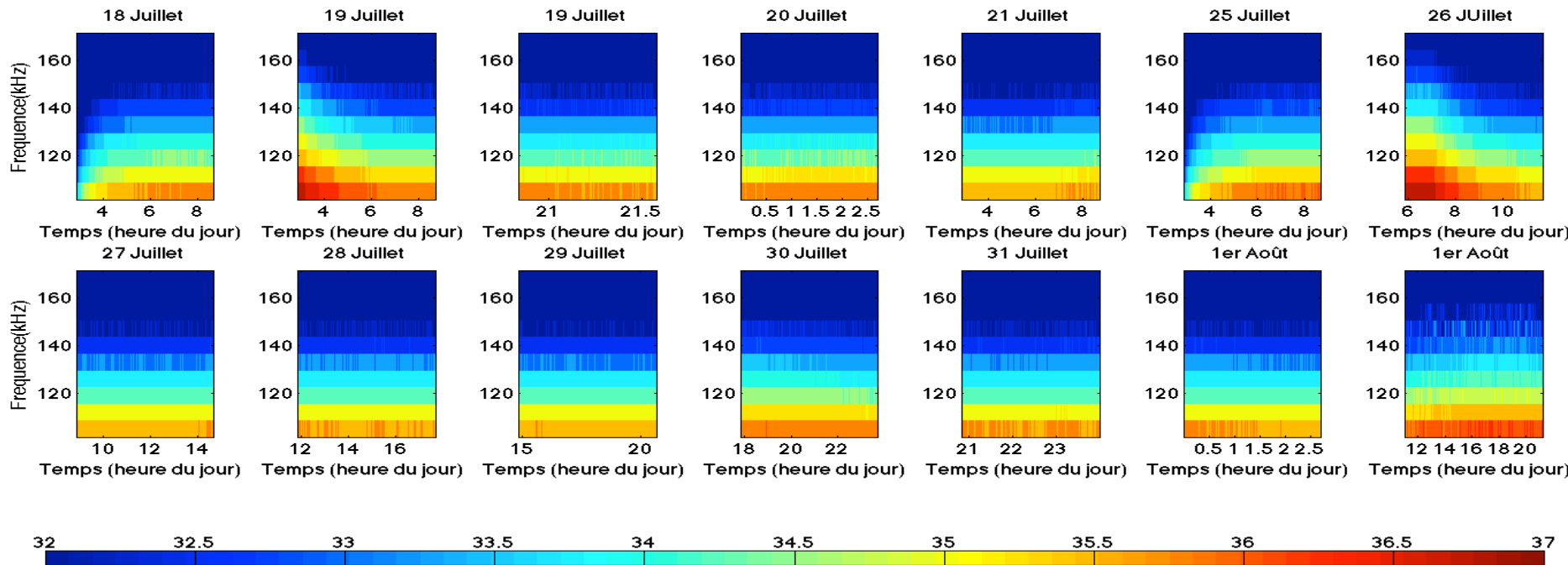
RPC-MIP (Sonde à Impédance Mutuelle)

Objectif: mesure de la densité et température du **plasma** dans la coma.

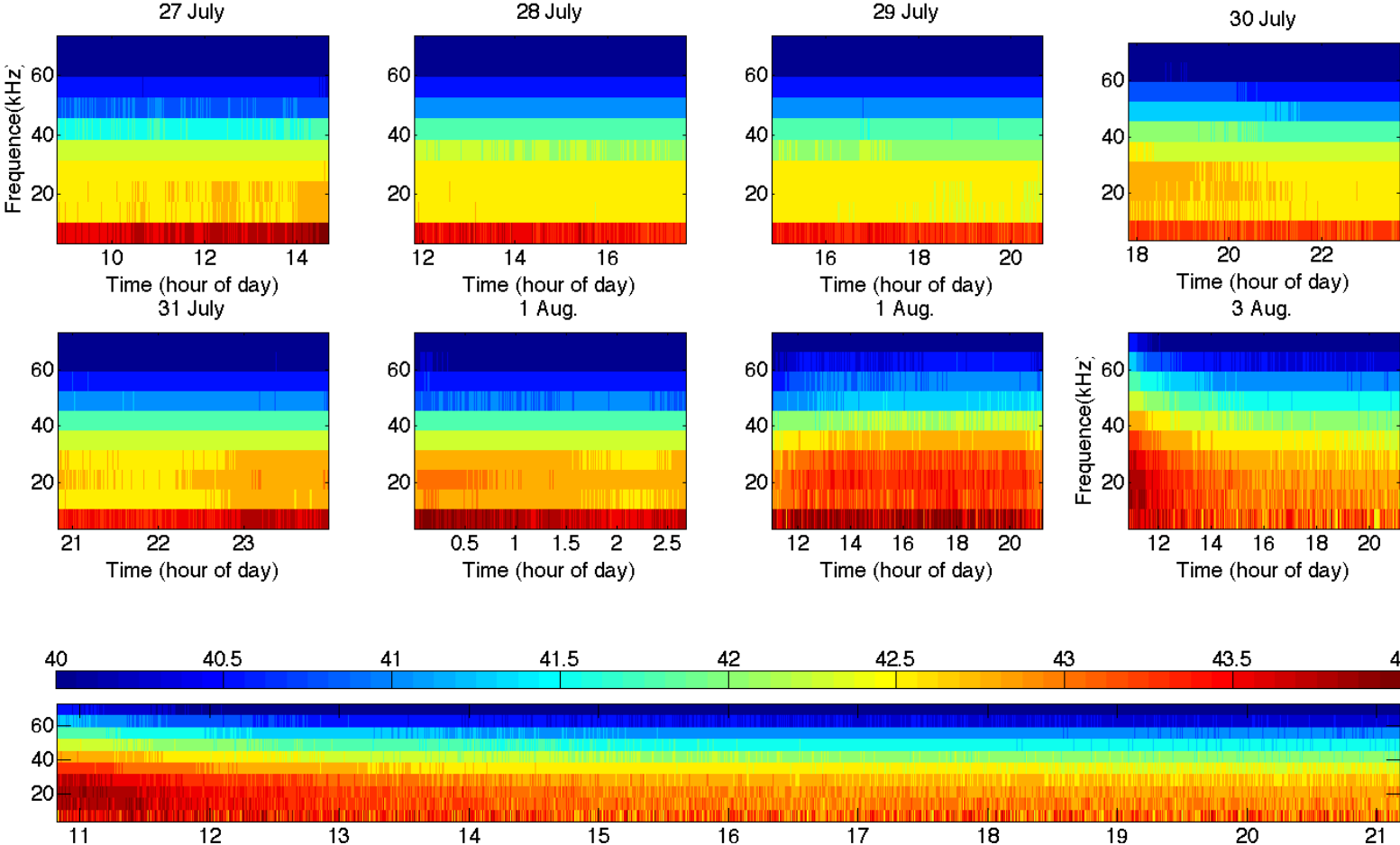
L'instrument comprend:

- Une antenne comprenant 2 électrodes émettrices et 2 électrodes réceptrices montées sur un barreau de 1m de long
- Un boîtier électronique pour le gestion de l'instrument, la collecte et le traitement du signal des antennes dans la gamme 7 kHz-3.5 MHz;

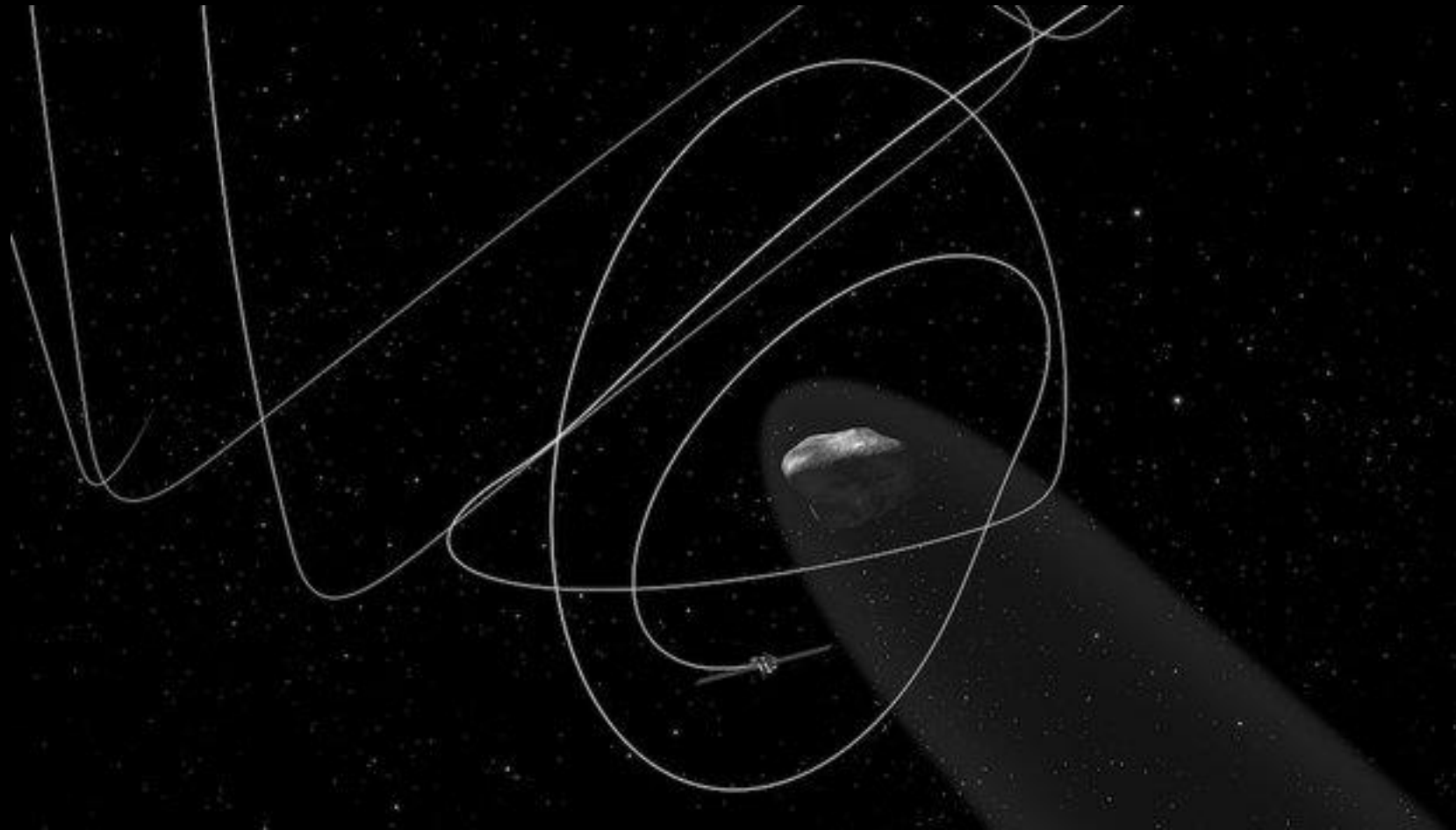




Coma de 67P/C-G sous la surveillance de MIP



Août 2014 à novembre 2014
approche de 100 à 30 km et mise en orbite autour du noyau



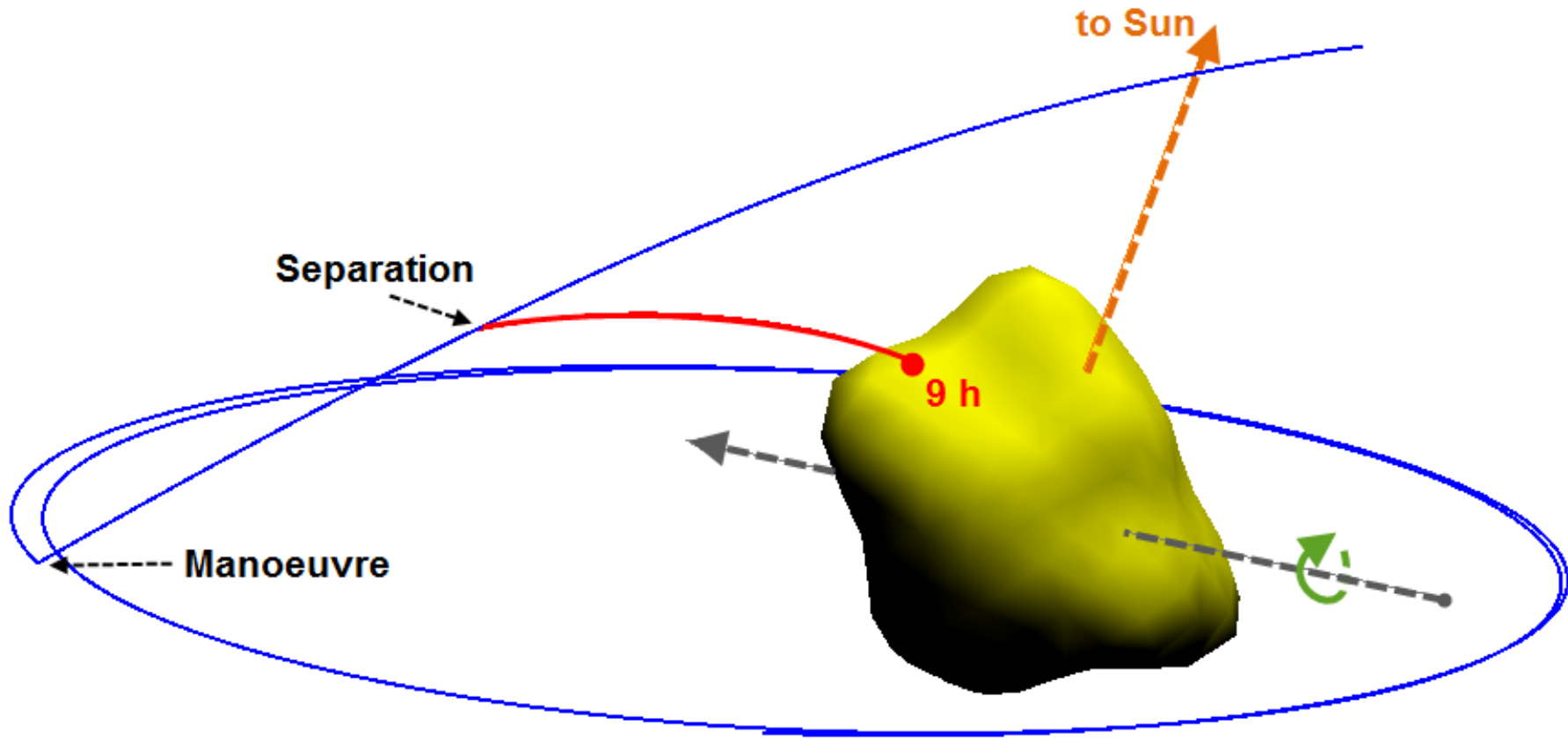
Août 2014 à novembre 2014
approche de 100 à 30 km et mise en orbite autour du noyau



Août 2014 à novembre 2014
approche de 100 à 30 km et mise en orbite autour du noyau

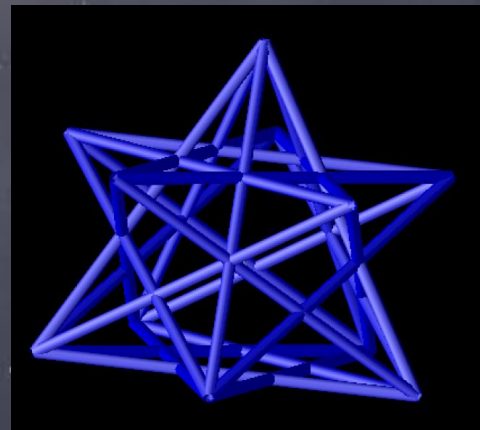
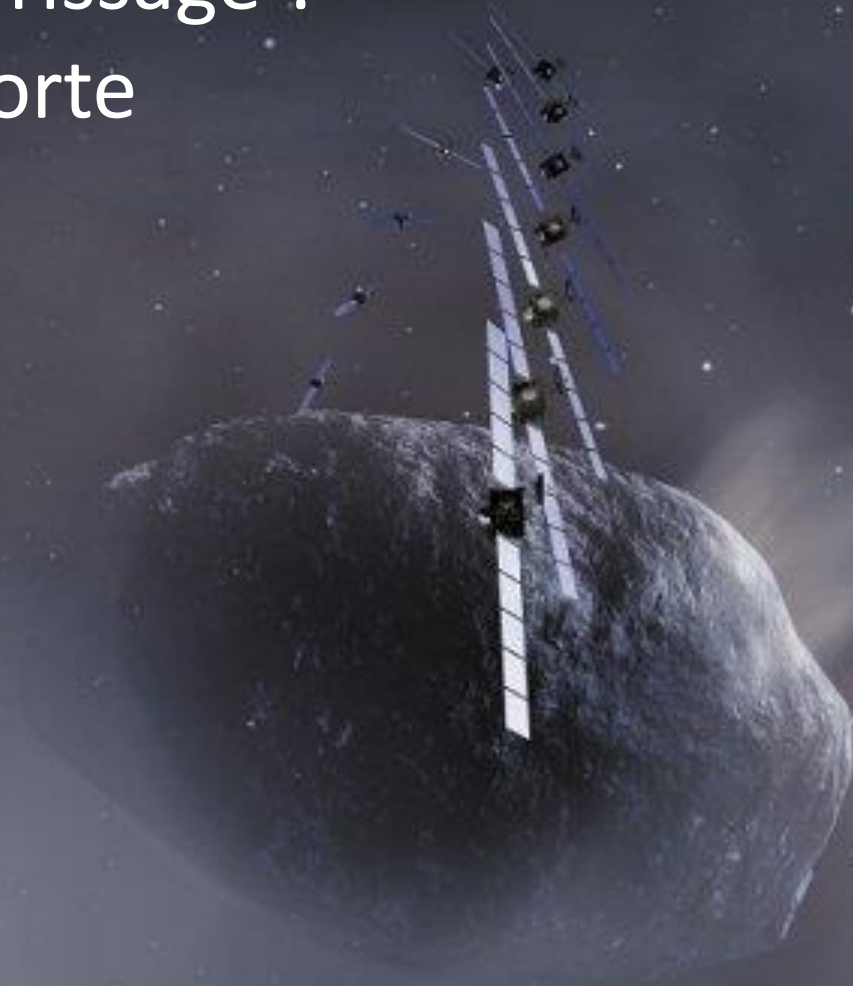


Comment atterrit-on sur la comète ?





Après l'atterrissage ? Phase d'escorte



Rosetta : Mission principale

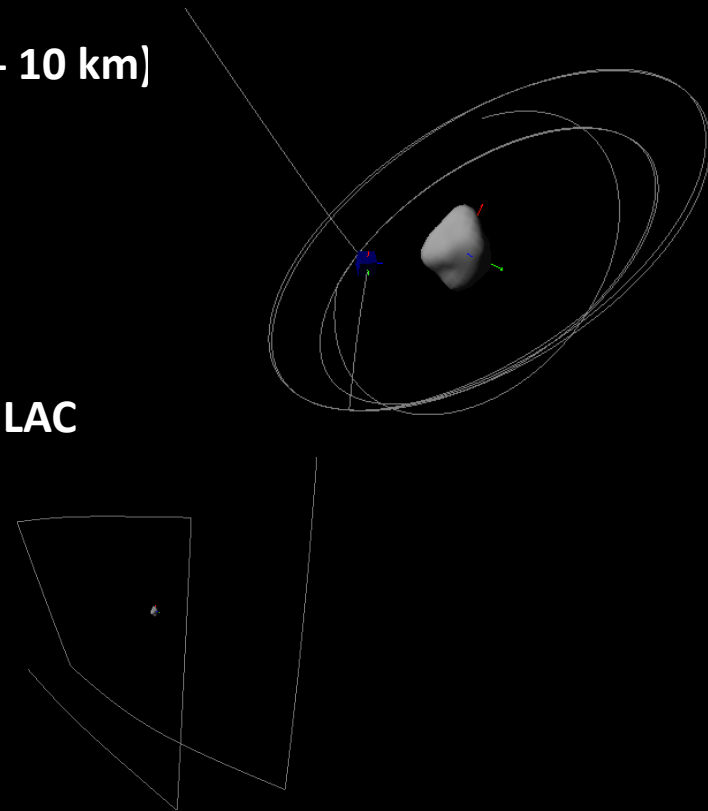
Une mission **TRES complexe**, et **une cible inconnue** avec une activité variable

- 7 Mai 2014 – 1^{er} Juillet 2014 : Near comet Drift (1.9 millions km – 57000 km)
- 1^{er} Juillet - 2 Août 2014 : Far Approach trajectory (57000km – 719 km)
- 2 Août – 2 Sept. 2014 : Close Approach Trajectory (719 – 50 km)
- 2 Sept – 8 Octobre 2014 : Global Mapping (50-20 km)
- 8 Octobre – 25 Octobre : Close Observation phase (20- 10 km)
- 26 Oct. 18 Novembre 2014 : Lander delivery (12 /11)

- **Nov. 2014 – Décembre 2015 : phase ESCORTE**

2 scénarios d'orbites selon l'activité de la comète: HAC & LAC

- Orbites étranges (Icosaèdres)....
- Orbites liées (20 km du noyau)
- Survols rapprochés (flybys)



Les navigateurs de Rosetta

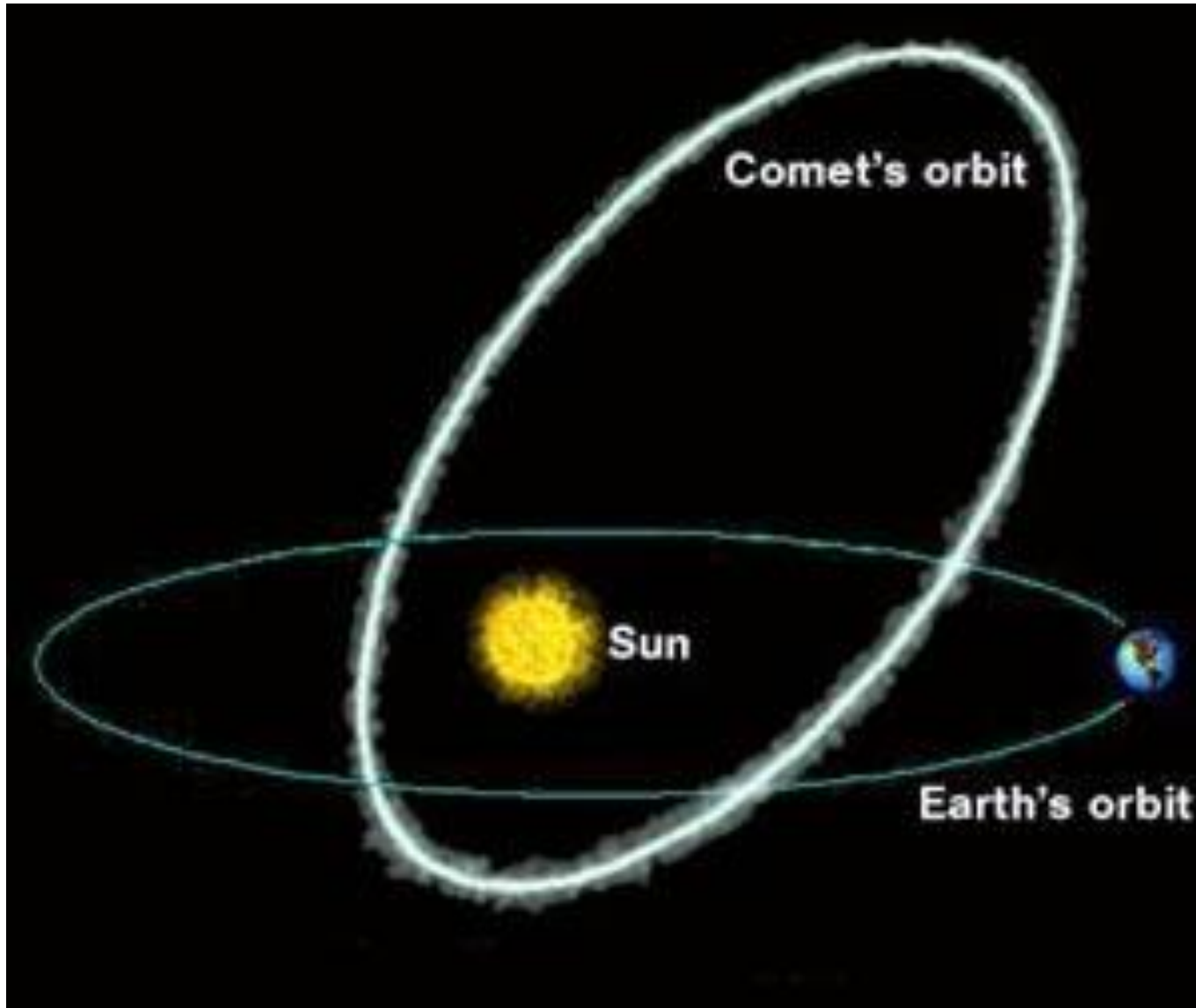


D'autres images et bien d'autres révélations demain

- Conf de Presse ESA à partir de 10h
- <http://rosetta.esa.int/>



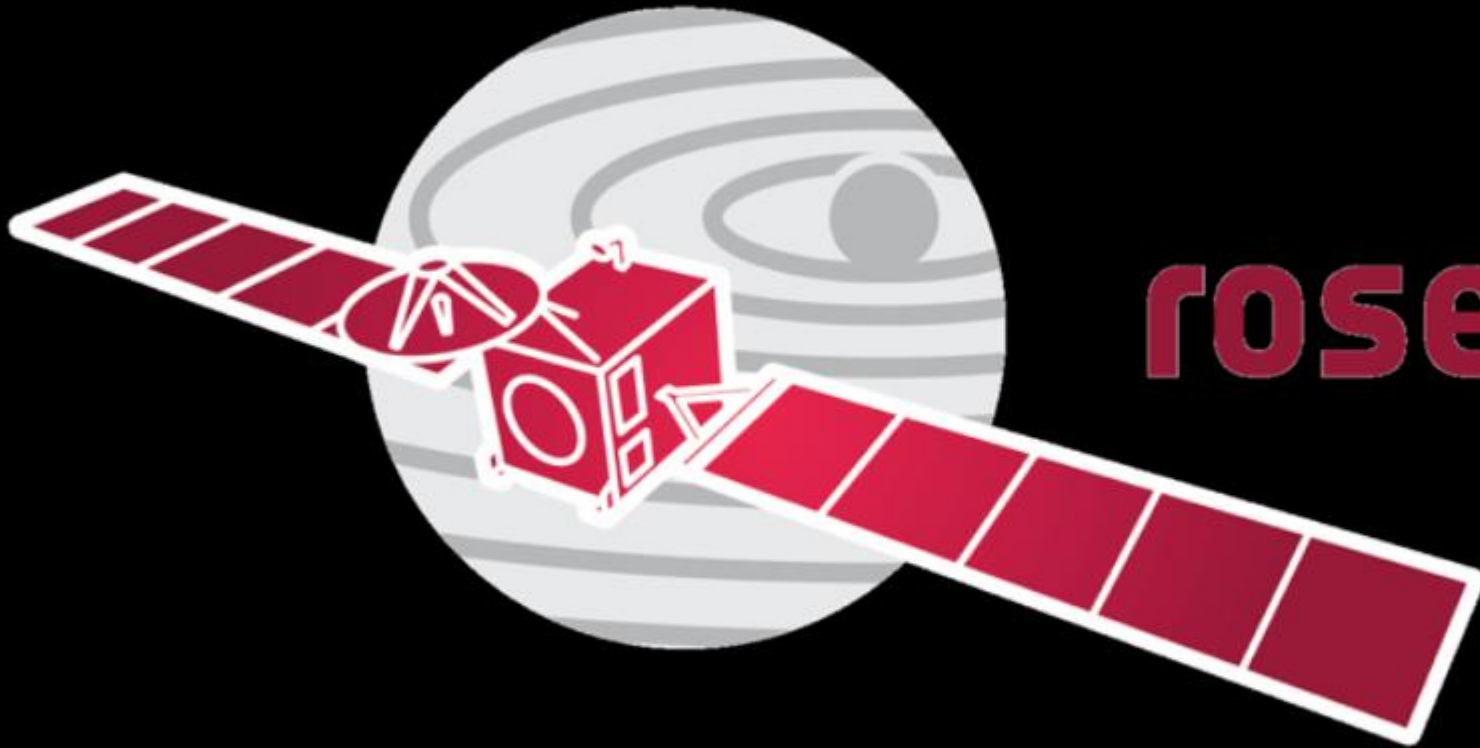
Pourquoi des pluies de météores ?



MERCI

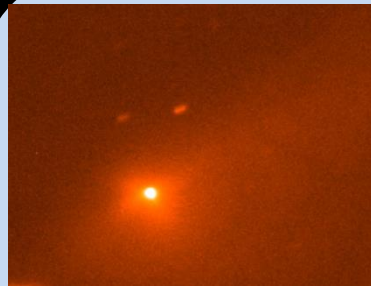
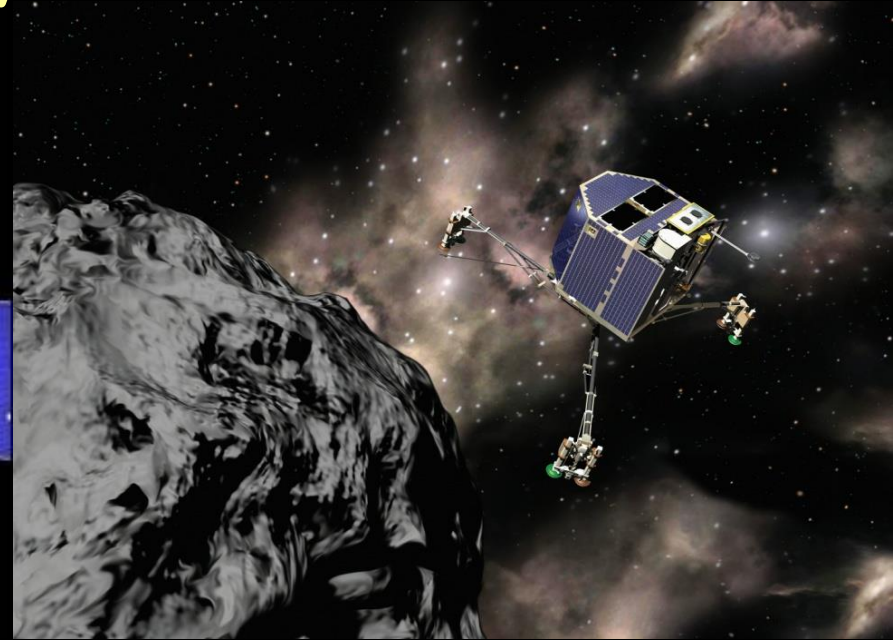
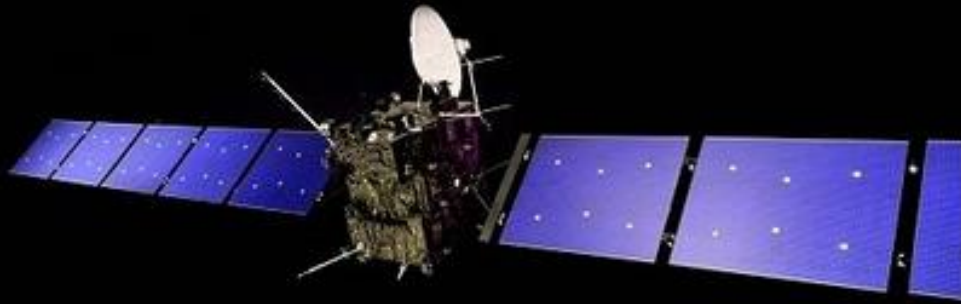
à tous ceux ayant contribué à cette aventure

et à vous tous pour votre attention



rosetta

La Mission Rosetta (2 Mars 2004 → fin 2015) en route vers 67P/Churyumov-Gerasimenko



Cible: 67P/Churyumov-Gerasimenko

Age: Passe près du soleil tous les
6.6 ans depuis plusieurs siècles

Lieu de naissance: Ceinture de Kuiper

Taille: ~4×3 km (rotation 12.3h)

Activité: ~0.3 tonnes/s au périhélie

Origine: Famille de Jupiter ($i=7^\circ$) *Périhélie:* 1.29 UA