

Text

Text

Text

⁰Text

Rosetta, un an après

Jean-Pierre Lebreton, Chercheur
LPC2E, UMR CNRS-Université d'Orléans

Christelle Briois, Enseignant-chercheur
Université d'Orléans, LPC2E
à contribué aux versions successives de ce diaporama



Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace



- UMR



-  OSUC : Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre
(avec ISTO, Nançay, équipes associées + BRGM, INRA...)
- ≈ 25 chercheurs et enseignants-chercheurs,
- ≈ 30 ingénieurs, techniciens et ≈ 11 CDD
- un des **“Laboratoires Spatiaux”** du CNRS : concevoir, réaliser, exploiter des instruments scientifiques envoyés sur des satellites ou des ballons stratosphériques pour étudier le milieu spatial
- **l'espace comme lieu de travail et comme objet d'étude**

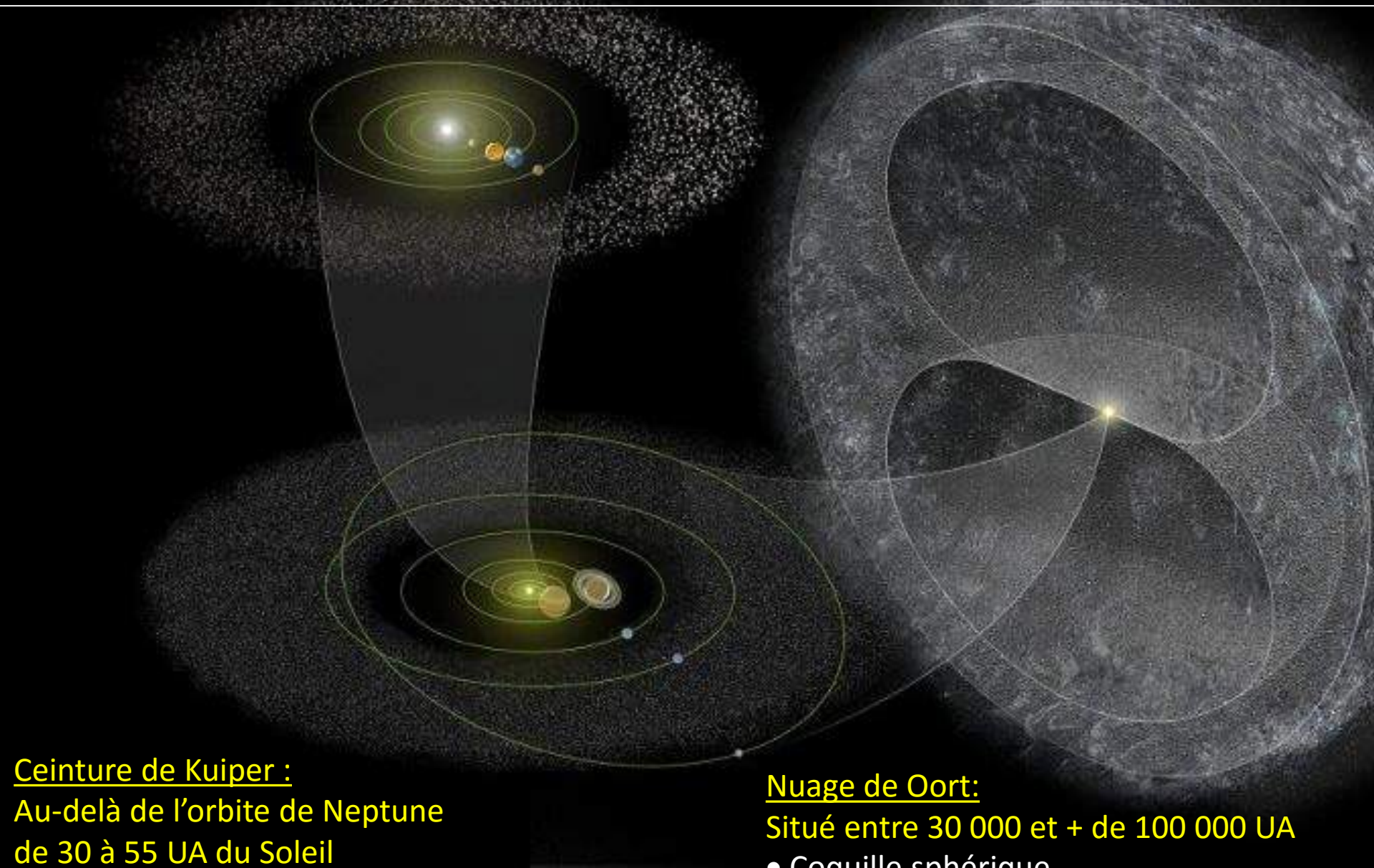
**des équipes
scientifiques + 1 équipe
technique**



France
Départements



Pourquoi Explore-t-on les Comètes ?



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.

Structure : noyaux cométaires peu dense et très fragiles

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



(images Hubble)

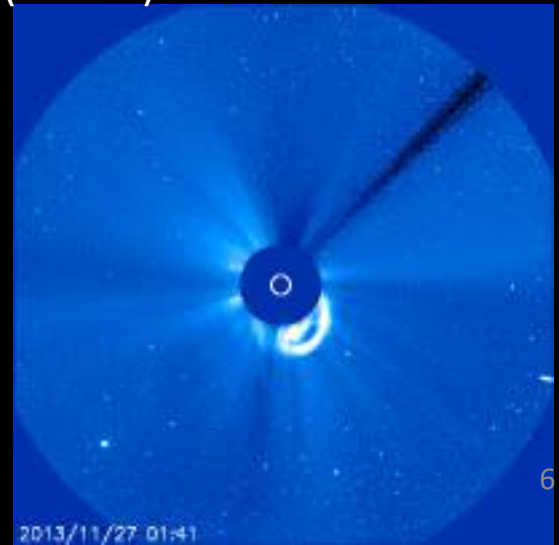


La comète C/1999S4 (LINEAR)
totalement fragmentée en juillet 2001

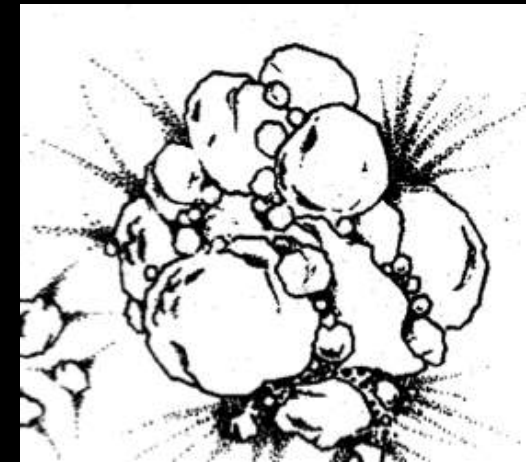
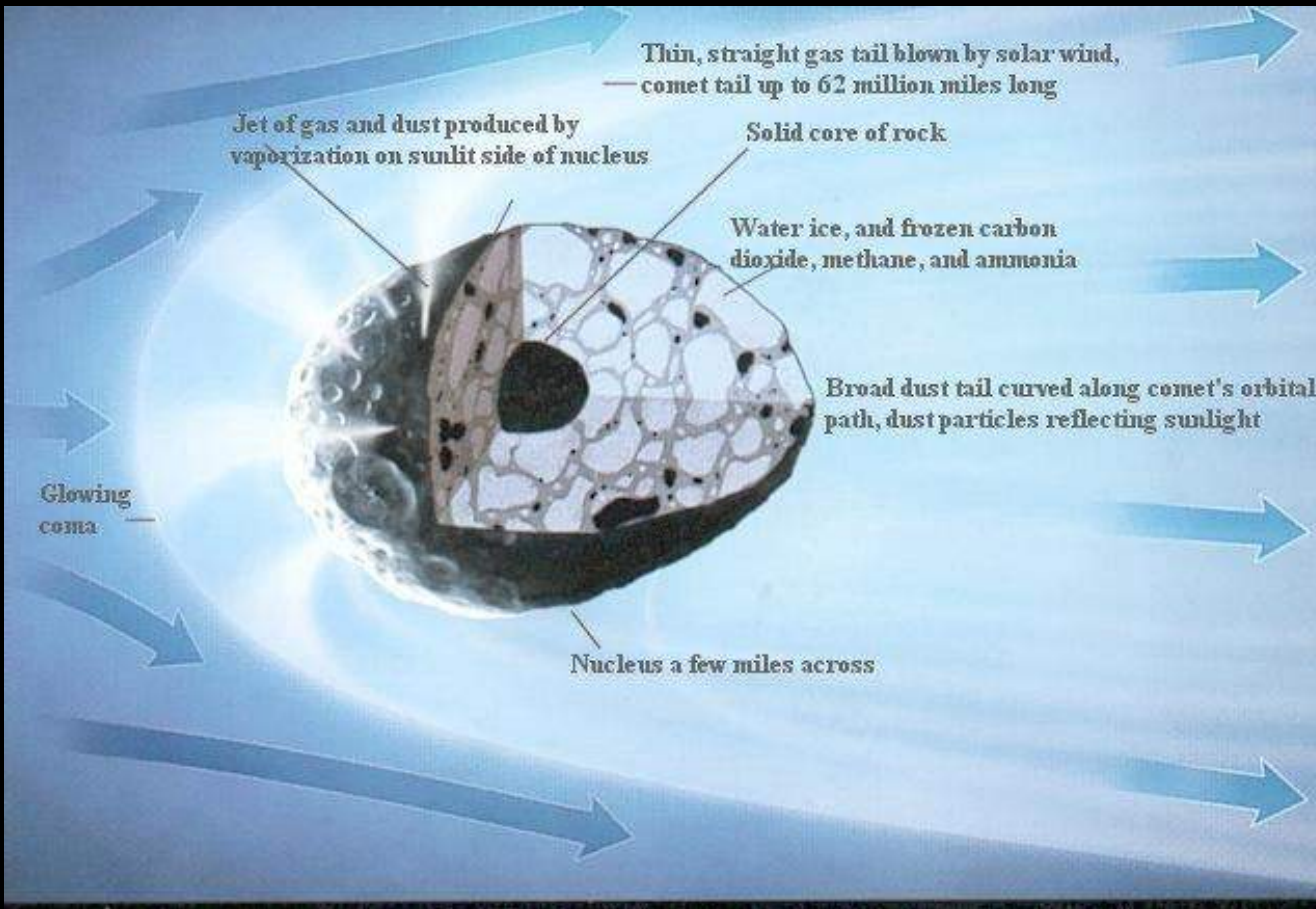


ISON ne survit pas à son passage
près du Soleil (1Mkm) en nov. 2013

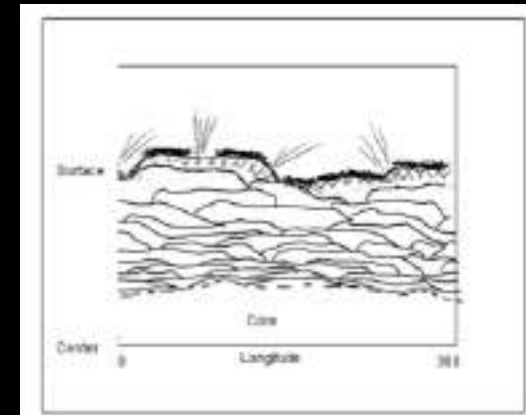
(images SOHO)



Structure : noyaux cométaires



Modèle Rubble pile
de Weissman (1986)

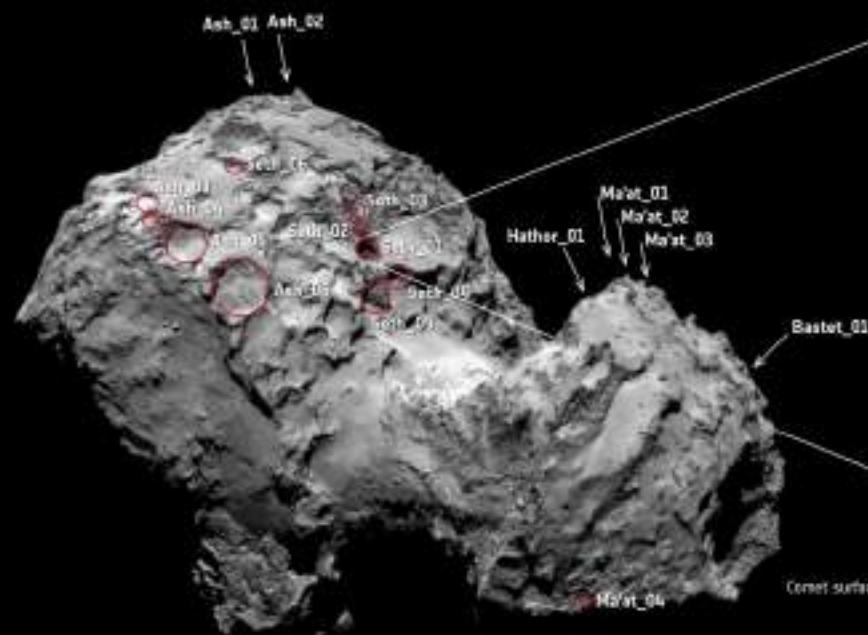


Modèle en strate
de Belton (2006)

Activité cométaire à faible distance héliocentrique :

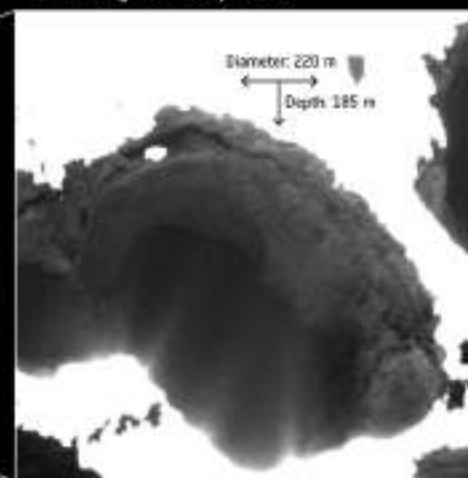
- Sublimation des glaces du sous sol (CO , puis CO_2 , puis H_2O)
- Ionisation des composés volatils à grandes distances
- Ejection des poussières via le gaz
- Fragmentations et sublimation des grains

→ 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.

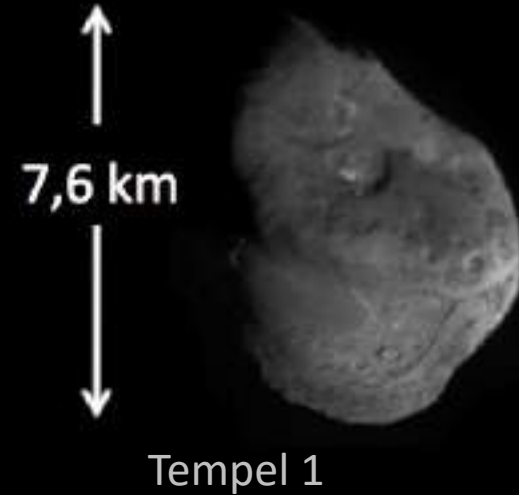


→ Pit formation via sinkhole collapse



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).

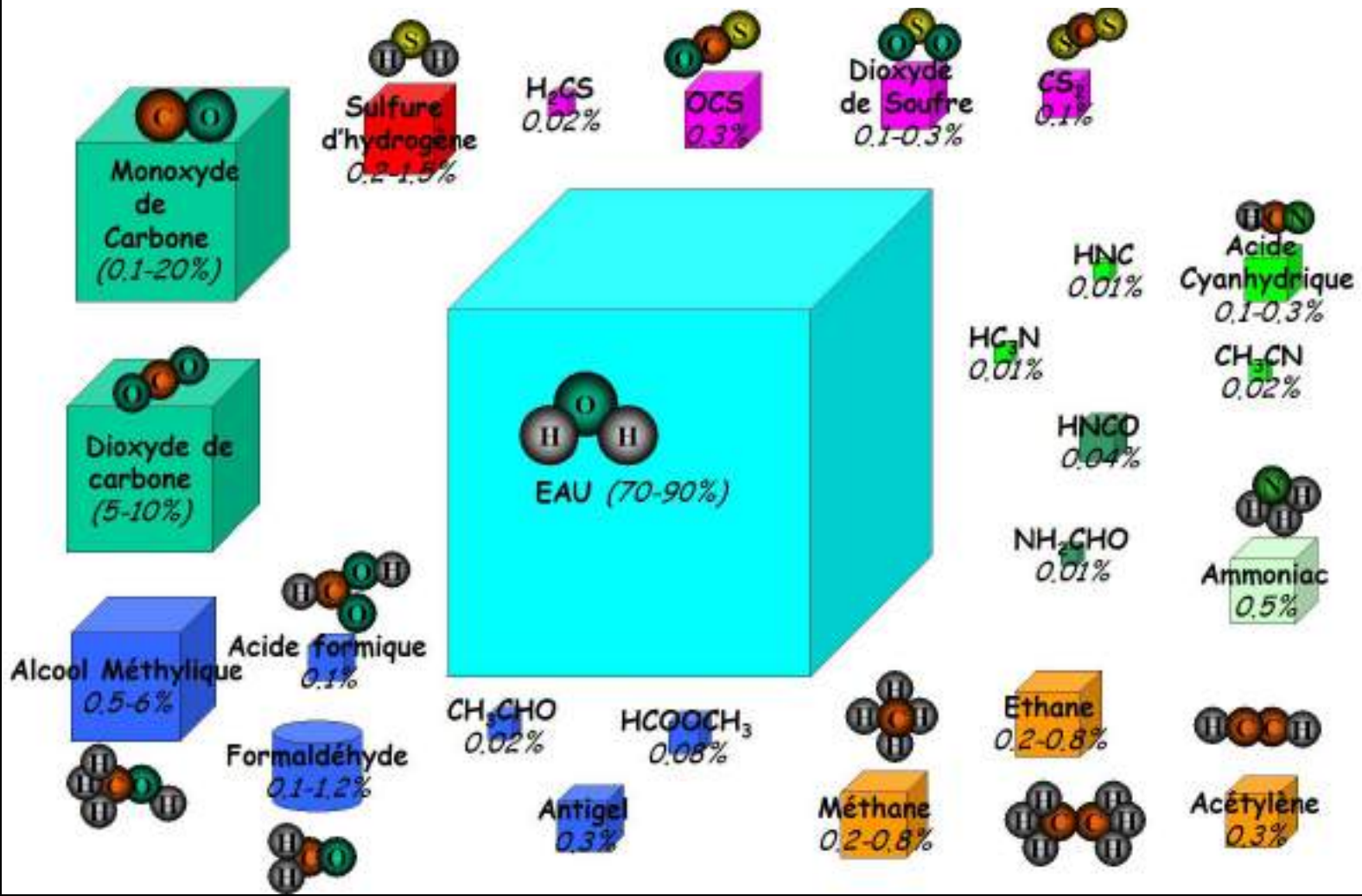
Noyaux cométaires photographiés - Exploration Spatiale



Composition chimique des comètes : un monde de glace ...

Molécules et ions (des gaz et poussières) identifiés depuis la Terre

Molécules présentes dans les glaces – formées à basse température



N2 (N-N)
Azote

CO⁺, HCO⁺
CH⁺, C₃, C₂,
He, Na, K, O⁺
MgSiO₄ (olivine
magnésienne)

Et les isotopes
suivants: HDO,
DCN, H¹³CN,
HC¹⁸O

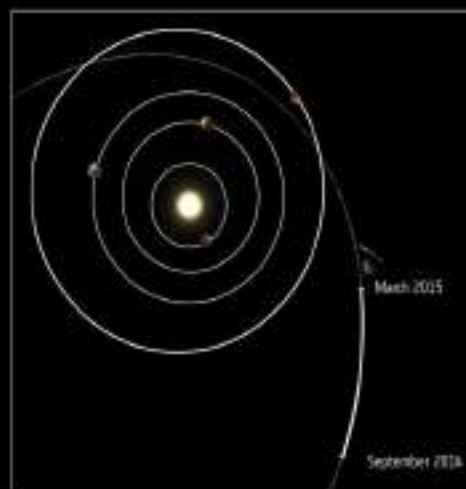
O2 (O-O)
Oxygène

Beaucoup de composés carbonés dans les gaz et poussières cométaires

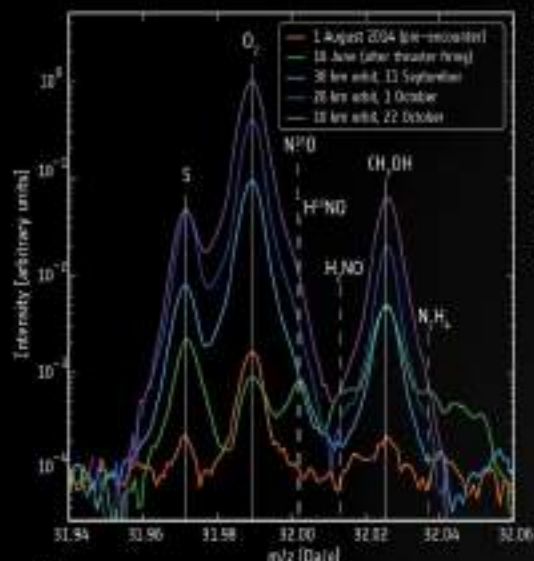
→ ROSETTA HAS MADE THE FIRST DETECTION OF MOLECULAR OXYGEN AT A COMET



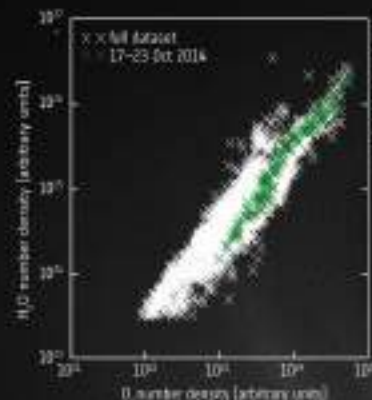
The measurements were made with the Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis Double-Focusing Mass Spectrometer (ROSINA-DFMS).



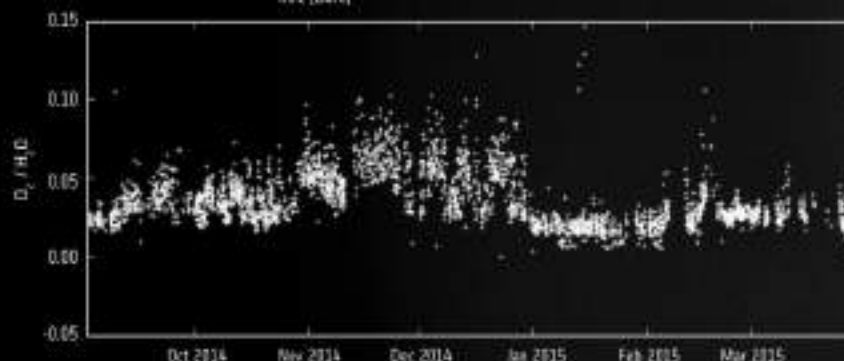
The results were collected between September 2014 and March 2015.



High-resolution measurements allowed molecular oxygen (O_2) to be distinguished from other species like sulphur (S) and methanol (CH_3OH). The detection of the coma gases is stronger closer to the comet nucleus, as expected. The contribution to the detection from contamination from the spacecraft thruster plume during manoeuvres is very low.



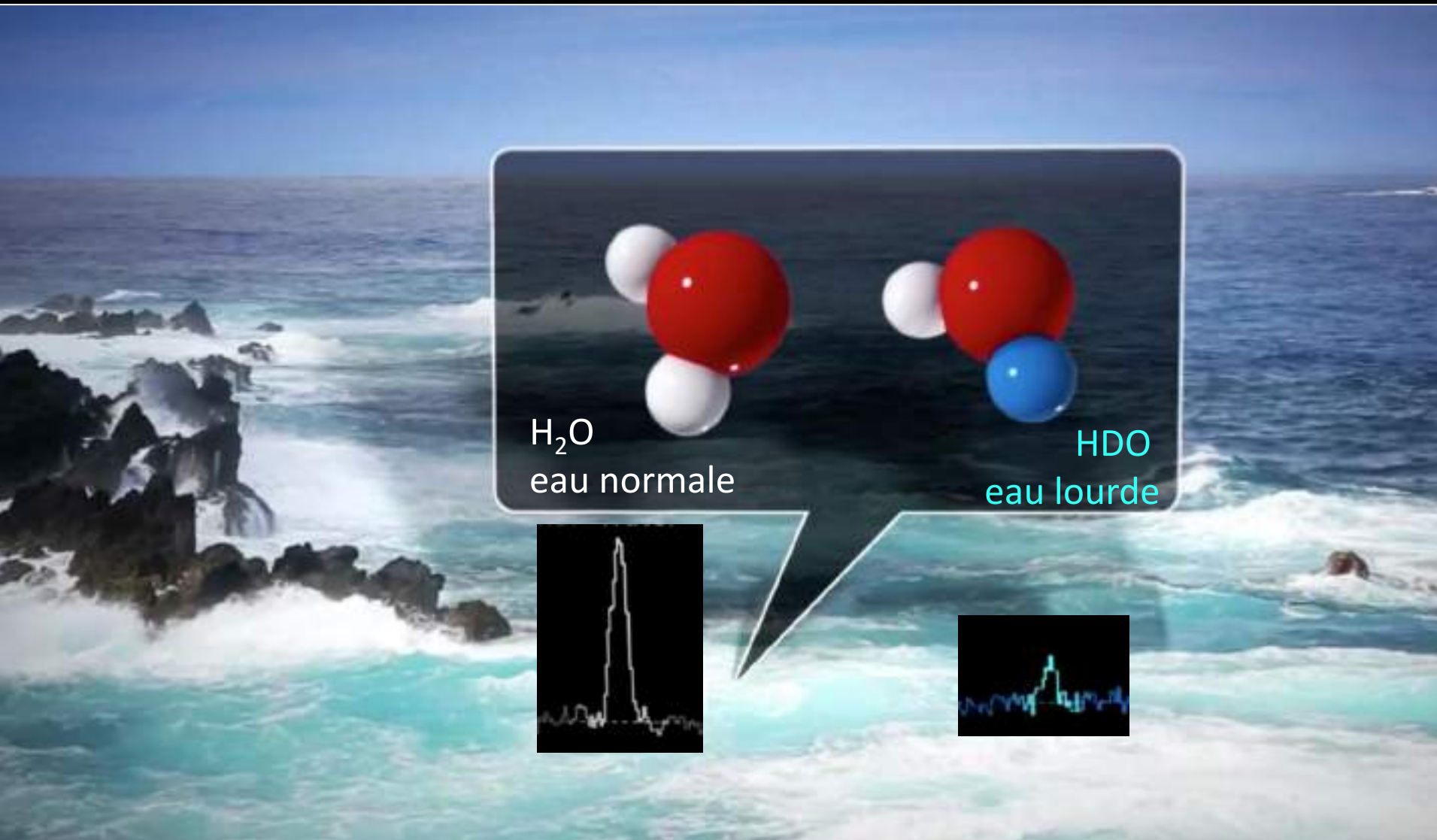
The strong correlation of molecular oxygen abundance with water vapour indicates a shared origin and release mechanism from the nucleus.



The O_2/H_2O ratio does not vary significantly over the study period. Short-lived strong variations are attributed to the decrease of the O_2 ratio for occasionally higher H_2O abundances linked to the daily water-ice cycle. The overall consistent level implies that O_2 is not produced today by solar wind or UV interaction with surface ices, otherwise it would rapidly decrease due to the comet's increased activity. Instead, the O_2 must have been incorporated into the comet's ices during its formation in the early Solar System, and is being released with the water vapour today.



L'Origine de l'eau sur Terre ?



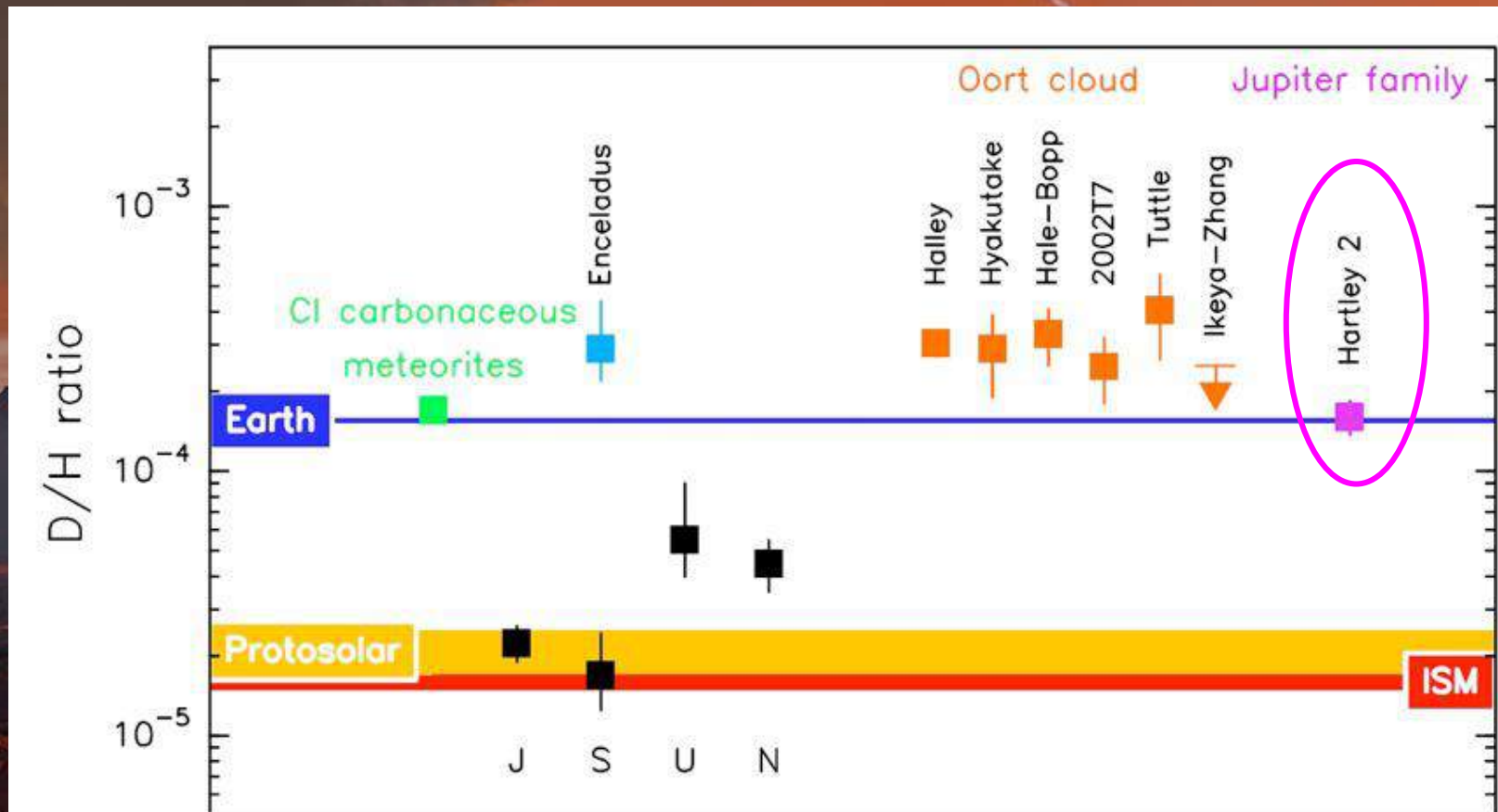
Calculer le rapport d'abondance entre l'eau semi-lourde et l'eau normale
=> Rapport D/H

Pour les océans terrestres $\text{D/H} = 1,54 \cdot 10^{-4}$ soit 0,016%

L'Origine de l'eau sur Terre ?

⇒ L'eau du Système Solaire est principalement dans les comètes.

De nombreuses collisions avec des météorites et des comètes (Grand Tack, puis Grand Bombardement Tardif) ont pu modifier la composition de l'environnement terrestre de la Terre Primitive.



Hartogh et al. (2011, Nature, 478, 4638)



L'épopée de la mission Rosetta/ESA

La Mission Rosetta/ESA : 2 vaisseaux (Orbiteur et Philae)



Masse au lancement : 1 395 kg + 1 670 kg de carburant

Charge utile 165 kg + 100 kg Lander

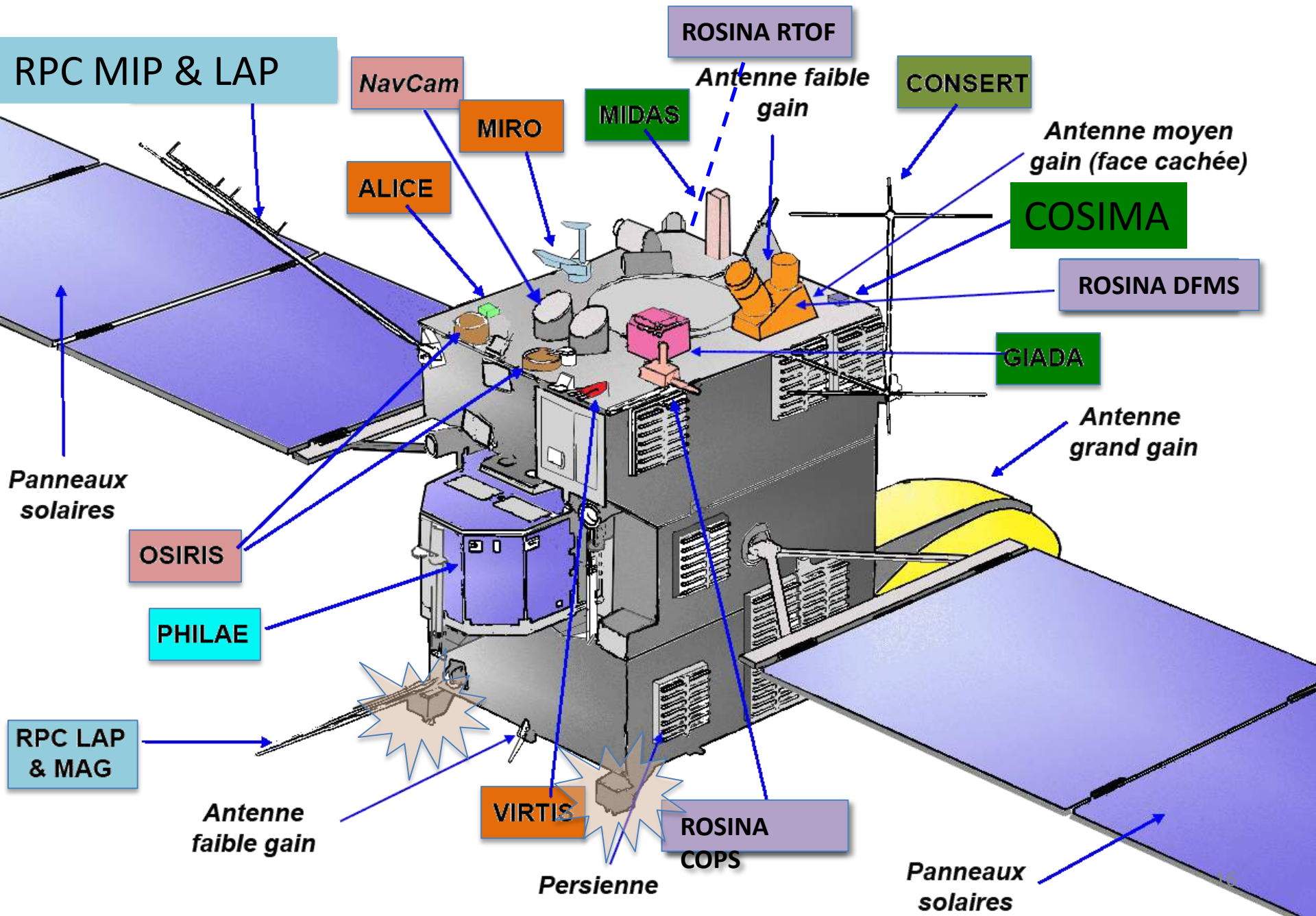
Dimensions: 2,8m × 2,1m × 2,0m

Envergure 32 m avec deux panneaux solaires de 14 m de long

Constructeur: EADS-Astrium (Airbus Defense & Space)

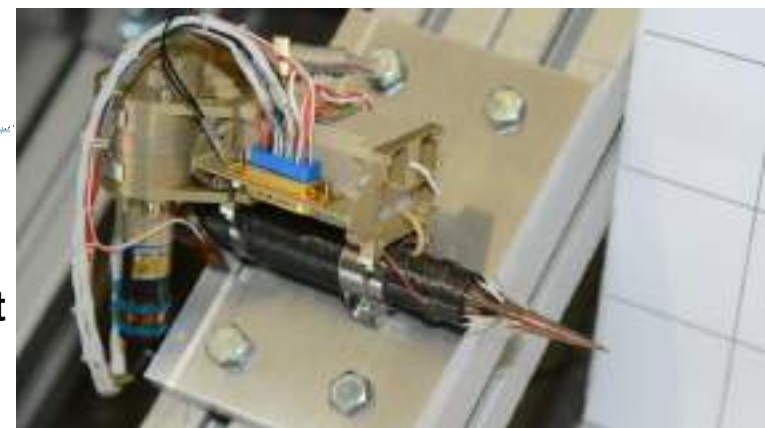
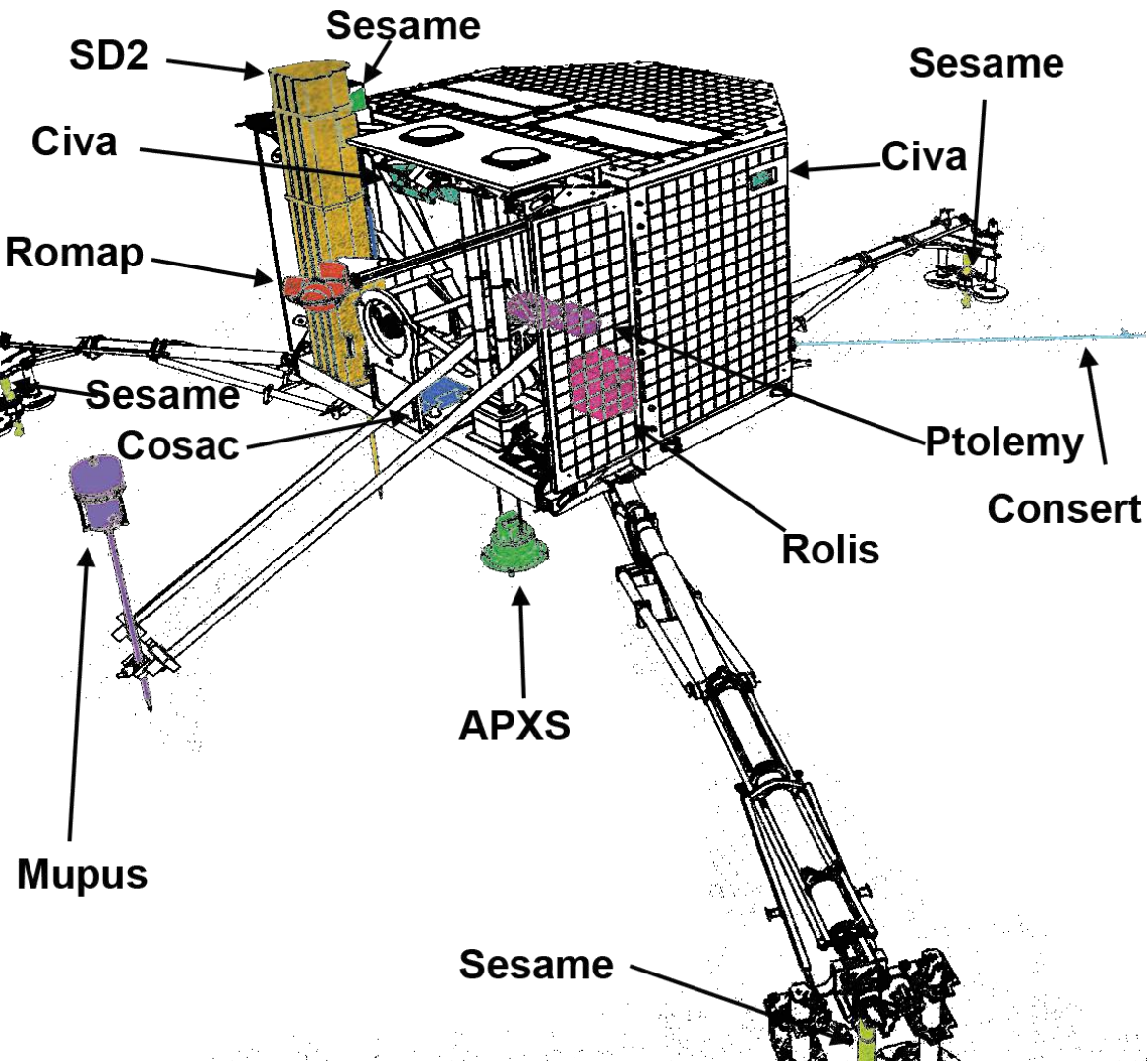


11 Instruments sur l'orbiteur Rosetta :



10 Instruments sur le landeur Philae:

100 kg dont 21 kg d'instruments scientifiques



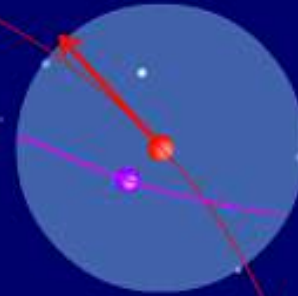
Lancement de Rosetta de Kourou Le 2 Mars 2004 par Ariane 5





G.T.
04/07

V_0



énergie dans
le référentiel
héliocentrique

0



fond

Explications

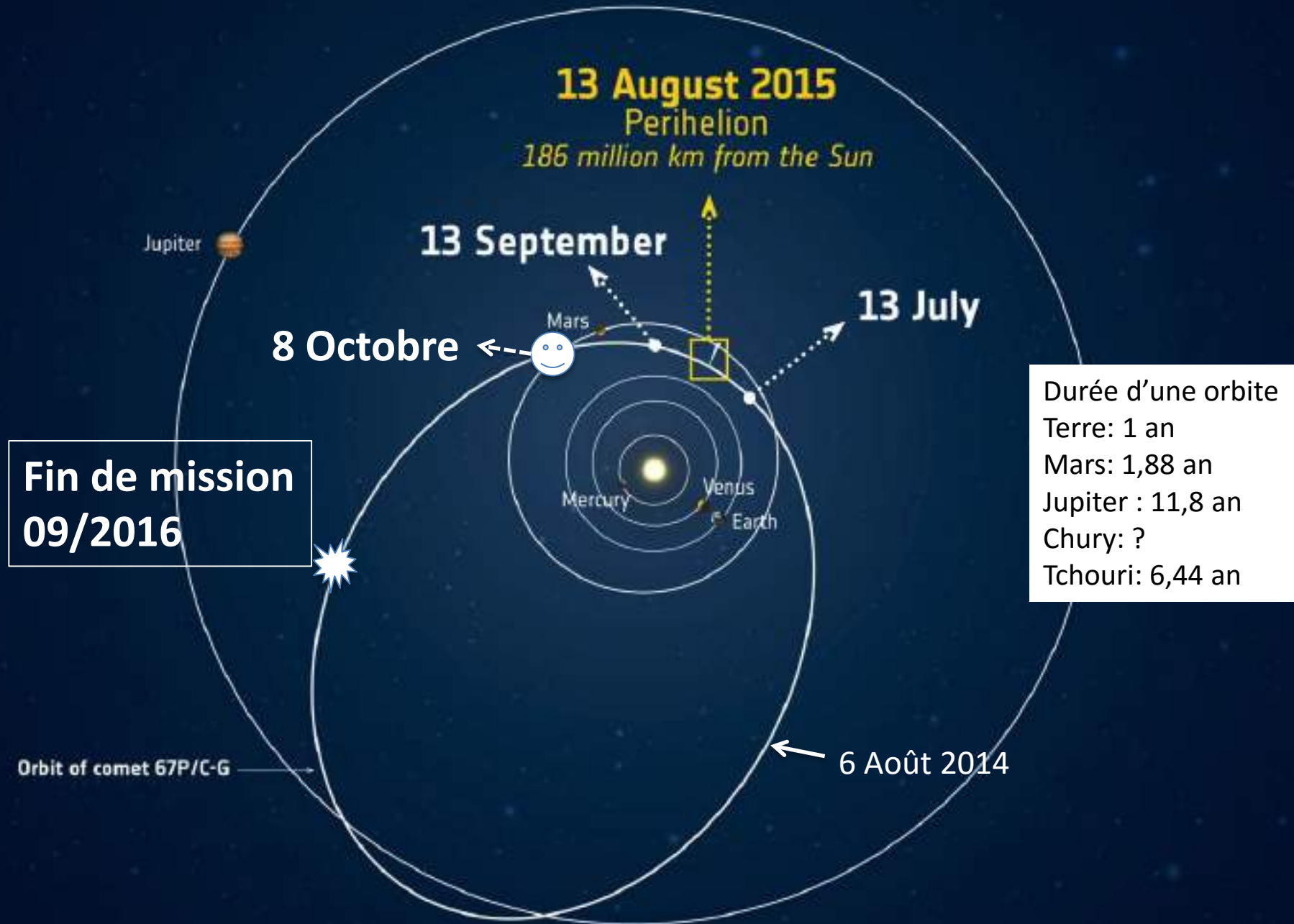
Play

Reset

masse de la planète : 10000

trajectoire hyperbolique
excentricité : 8.61

Ou est Rosetta ?



La Mission Rosetta/ESA : 2 vaisseaux (Orbiteur et Philae)



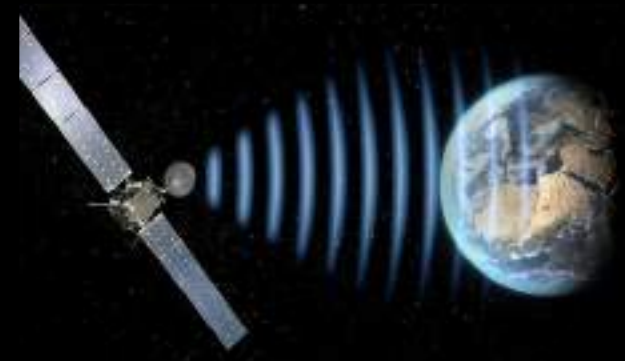
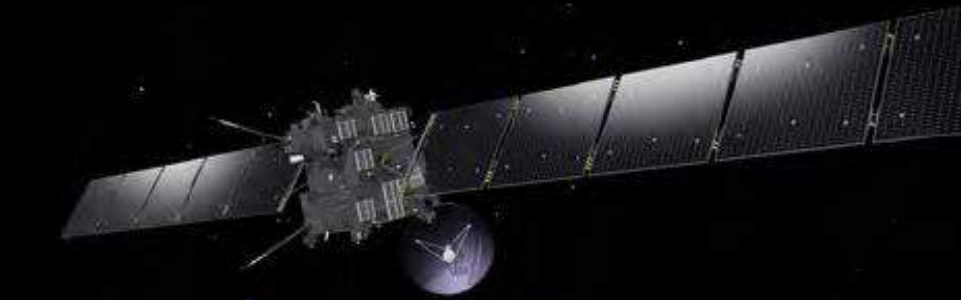
Masse au lancement : 1 395 kg + 1 670 kg de carburant

Charge utile 165 kg + 100 kg Lander

Dimensions: 2,8m × 2,1m × 2,0m

Envergure 32 m avec deux panneaux solaires de 14 m de long

Constructeur: EADS-Astrium (Airbus Defense & Space)



16 (@2AU) à 40 (@5AU) min

Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Février-Mars: Remise en fonctionnement du vaisseau

Mars-Mai: Chaque instrument est réveillé 1 à 1

14 July 2014

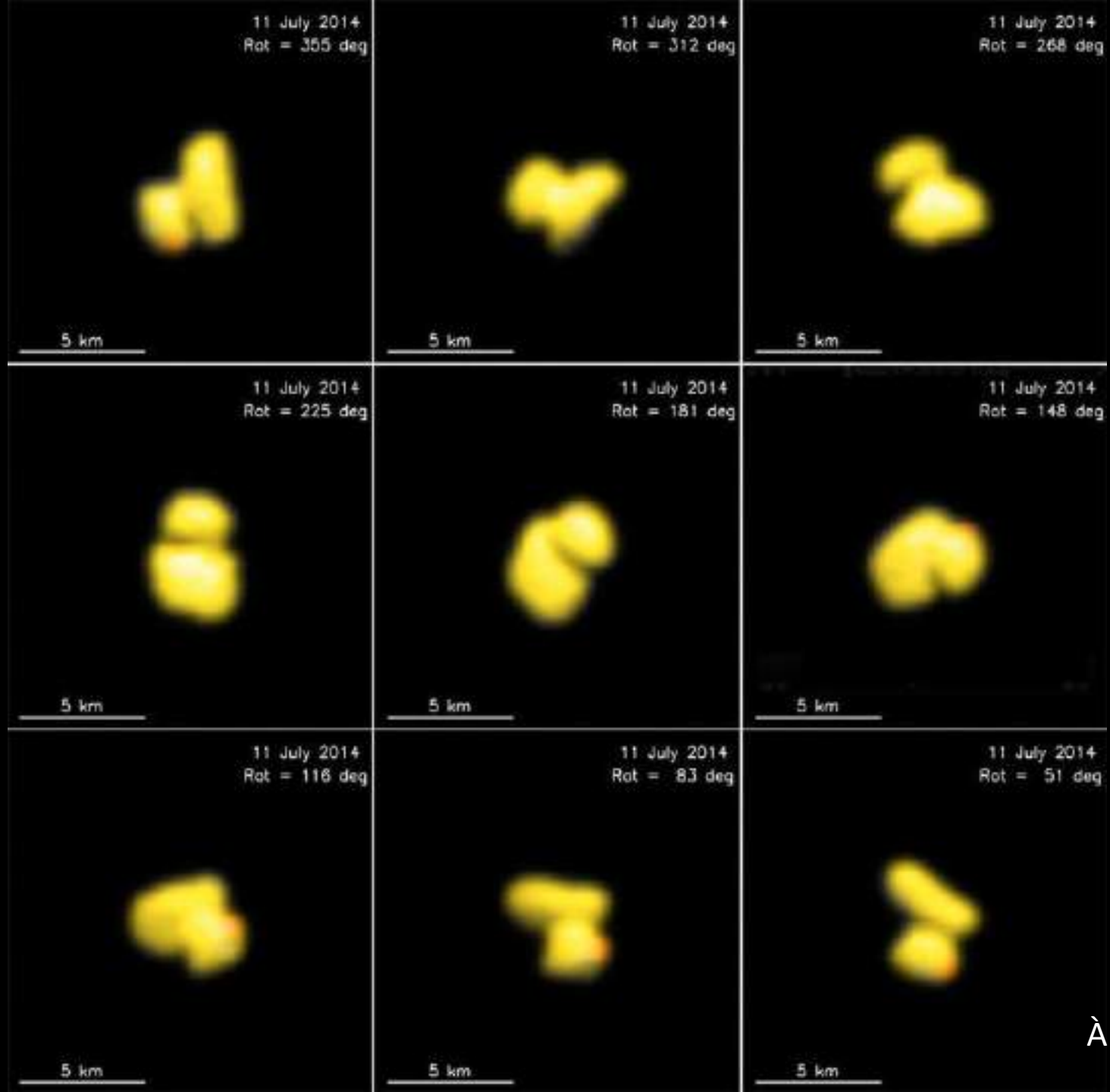
Mai: Recalcul de la trajectoire vers la comète,
Manœuvre d'ajustement de la trajectoire

Rot = 0 deg

Juin-Juillet: Observations de loin,
Caractérisation de l'activité



5 km

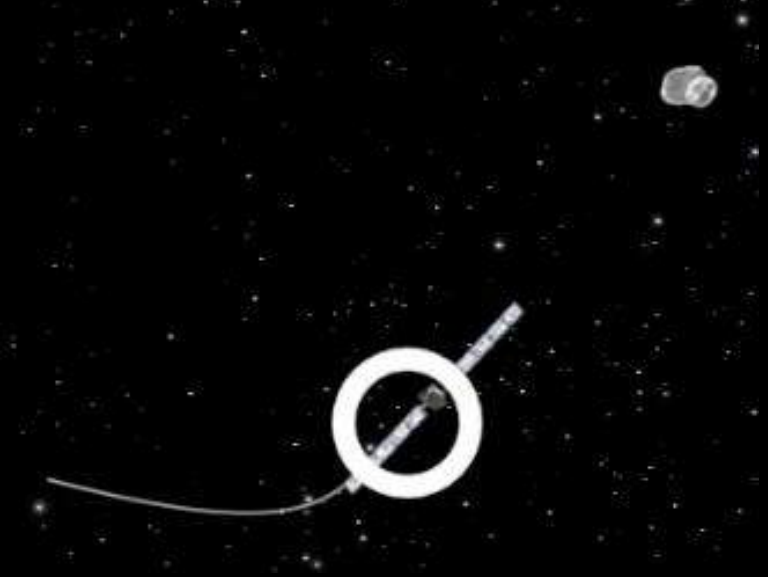


À 12000 km.

Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près ...

6 août: Rendez-vous. Arrivée à 100 km du noyau



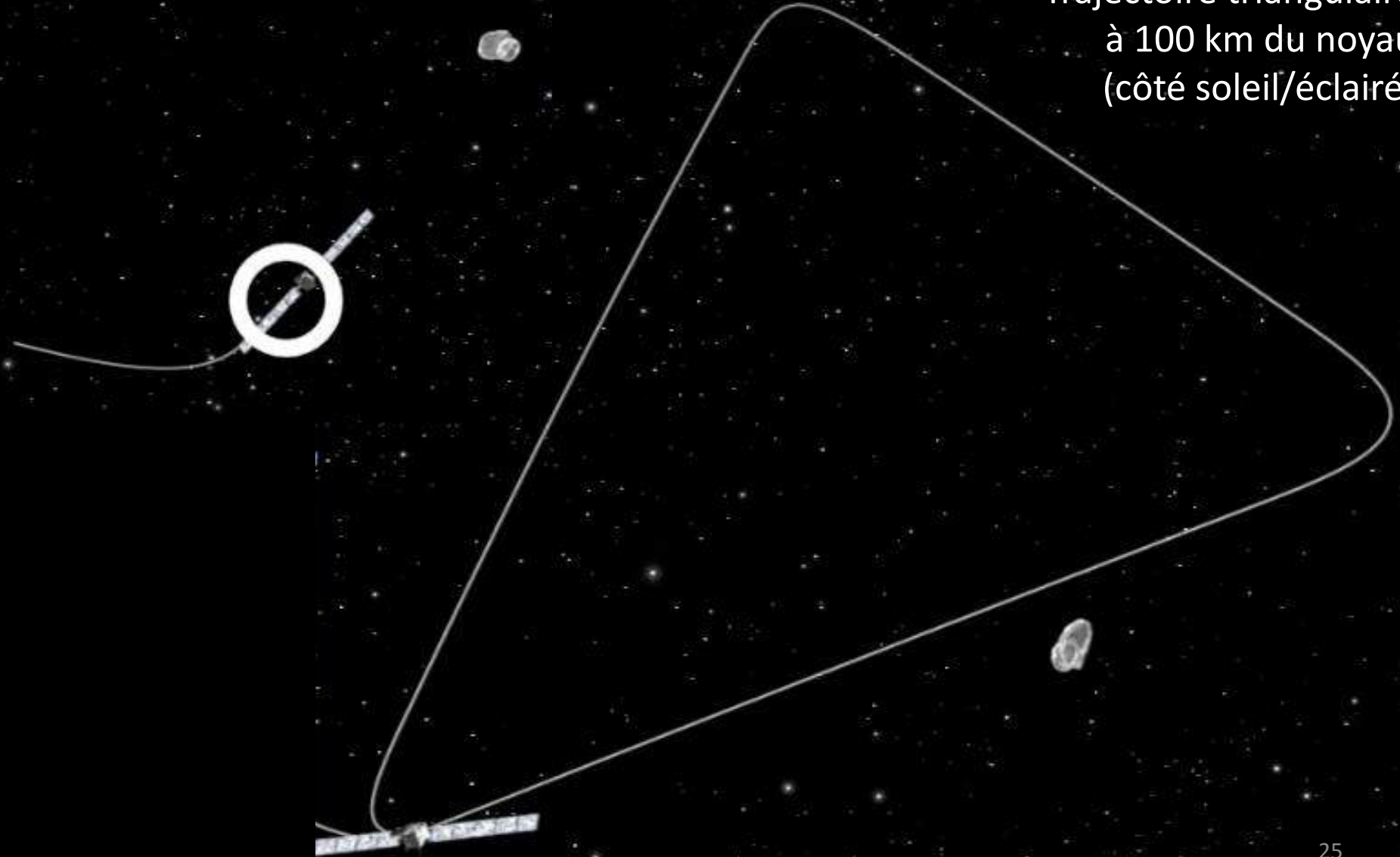
Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près ...

6 août: Rendez-vous. Arrivée à 100 km du noyau

6 au 17 août:

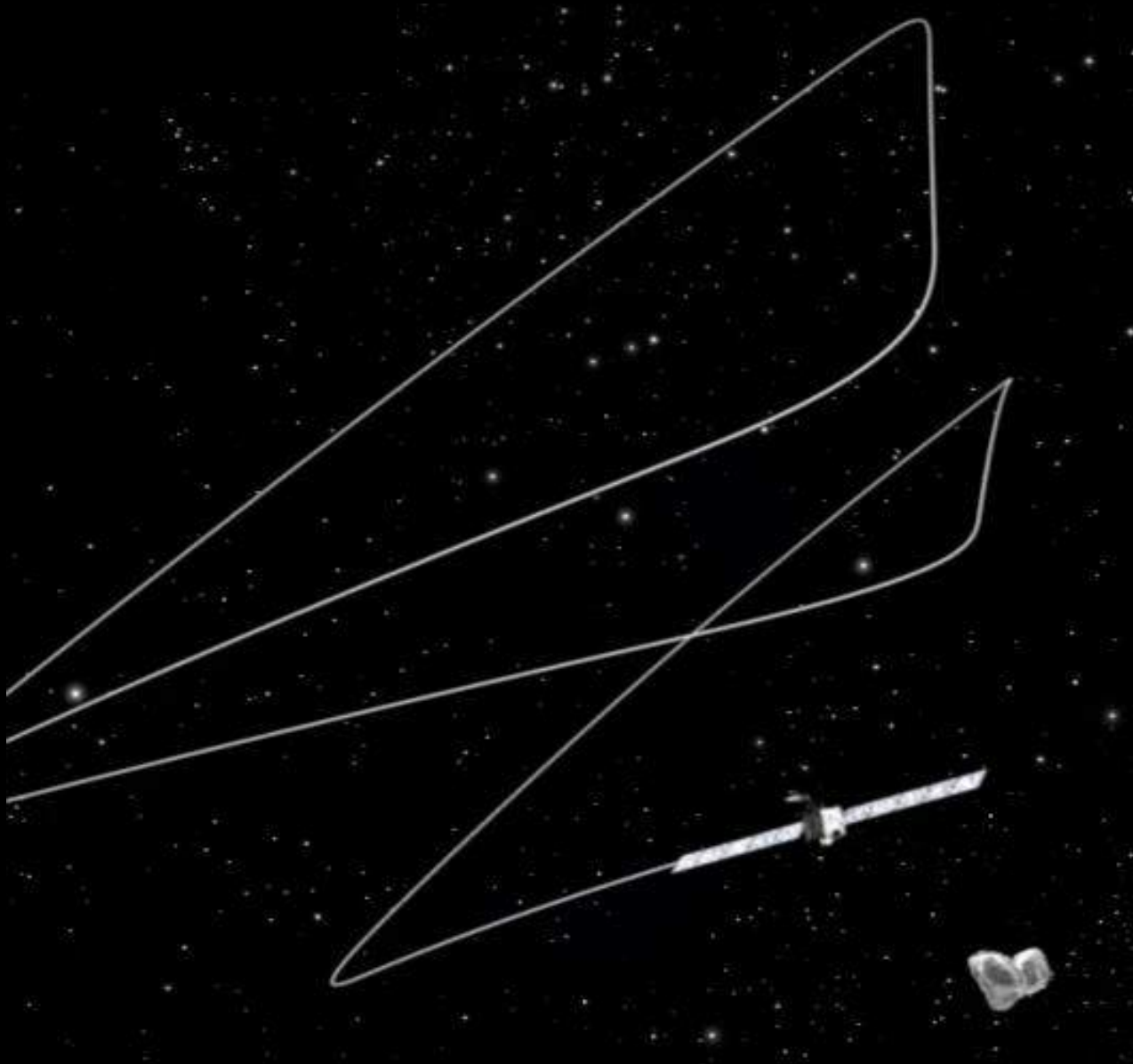
Trajectoire triangulaire
à 100 km du noyau
(côté soleil/éclairé)



Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près ...

20 août au 3 septembre: Trajectoire triangulaire à 80 km du noyau



Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

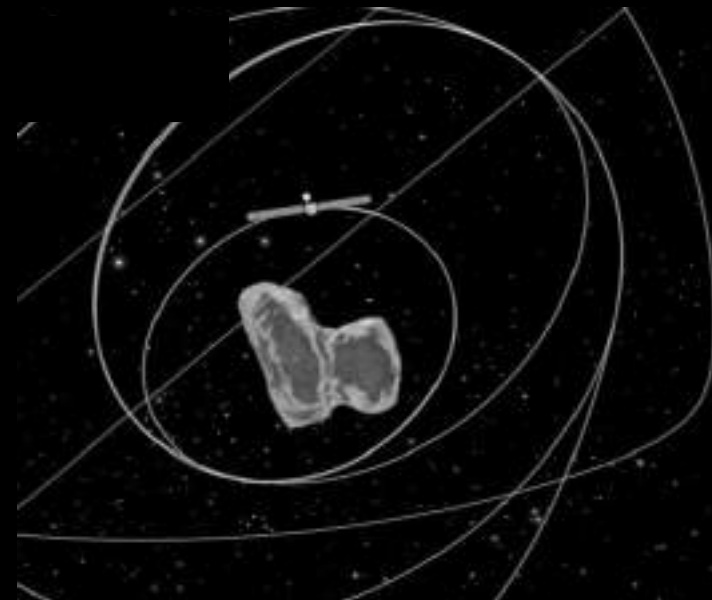
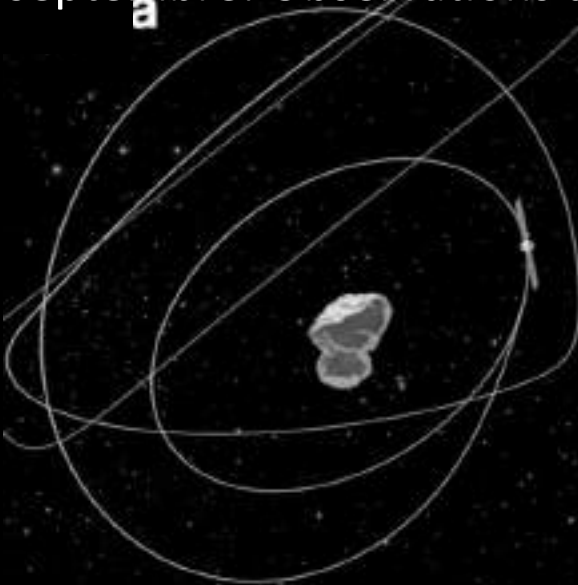
Août-Septembre: Observation de près ...

10 au 28 septembre: Cartographie globale à 30 km



29 septembre: Observations à 20 km

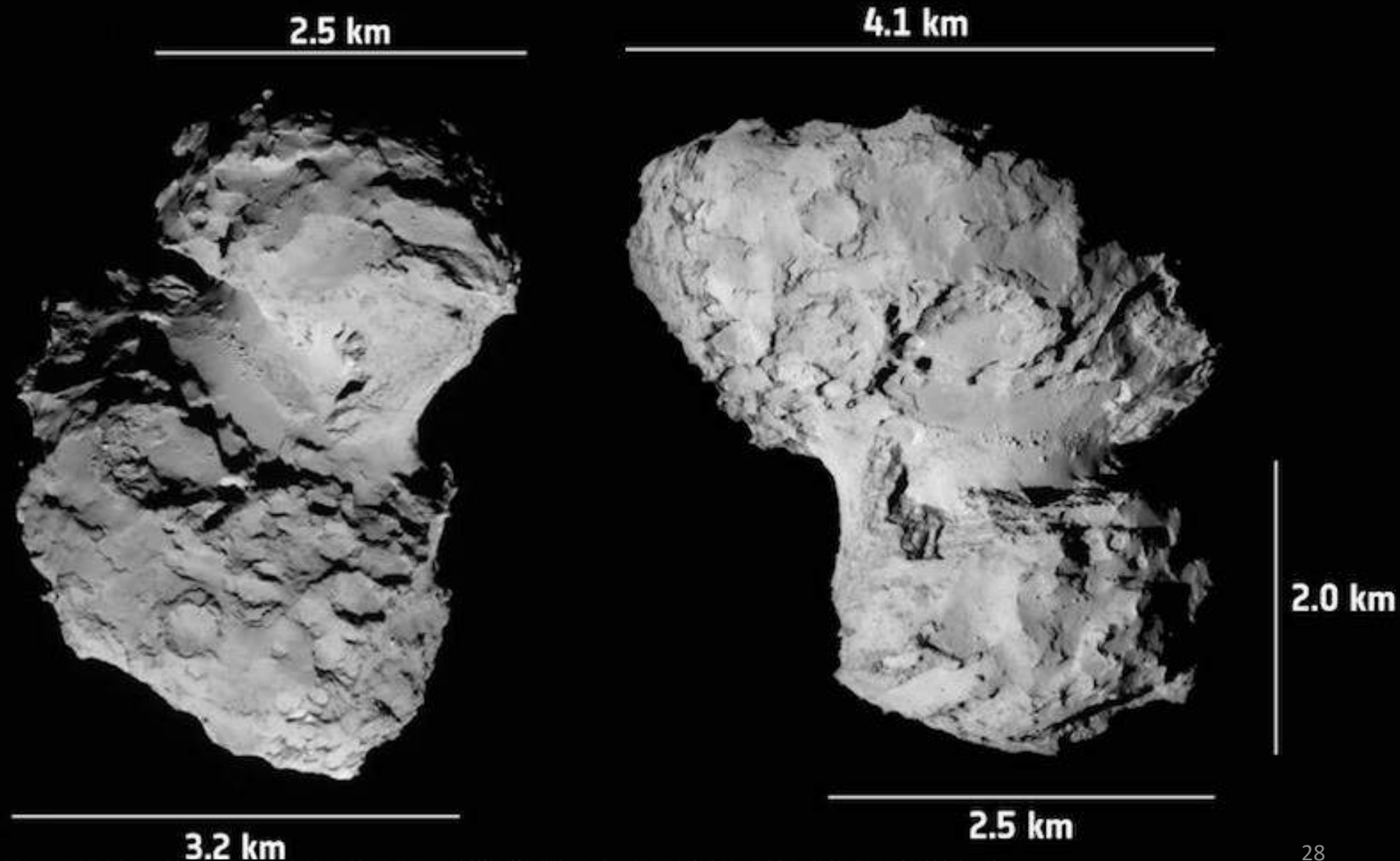
10 octobre: Observations à 10 km



Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près et ...

6 août : Rendez-vous.
Arrivée à 100 km du noyau



Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: ... et Choix du site d'atterrissage de Philae
=> ANNONCE le 15 septembre 2015

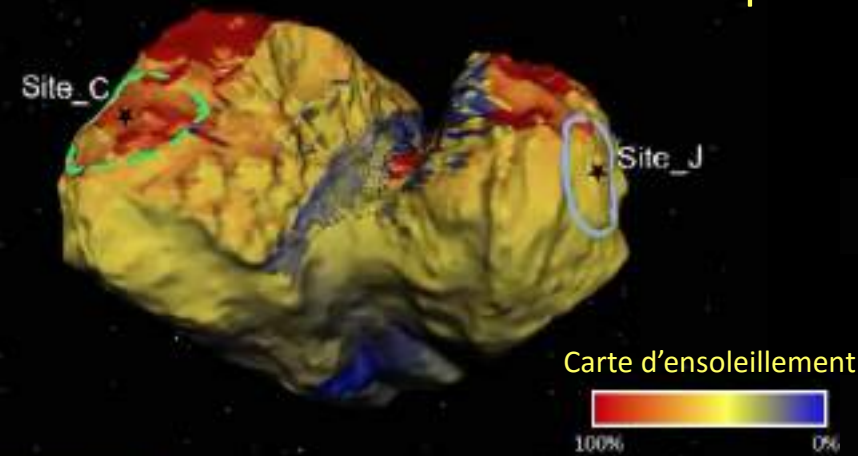


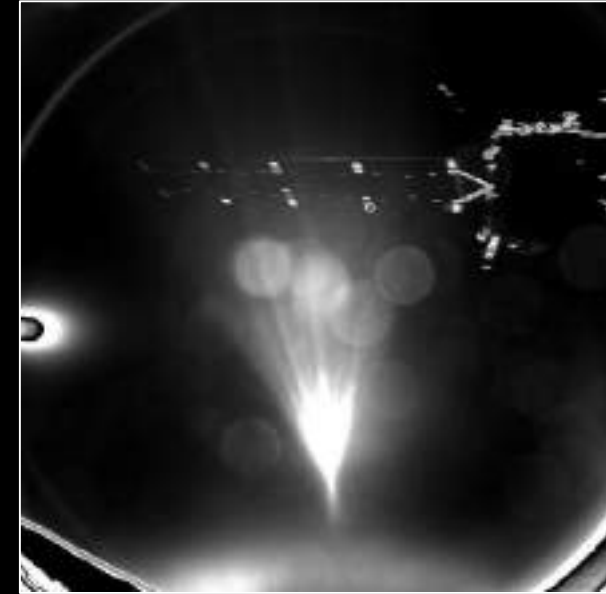
image OSIRIS petit champ prise le 2 Sept. 2014
(5 semaines avant la séparation Rosetta/Philae)
à une distance de 50 km de la surface



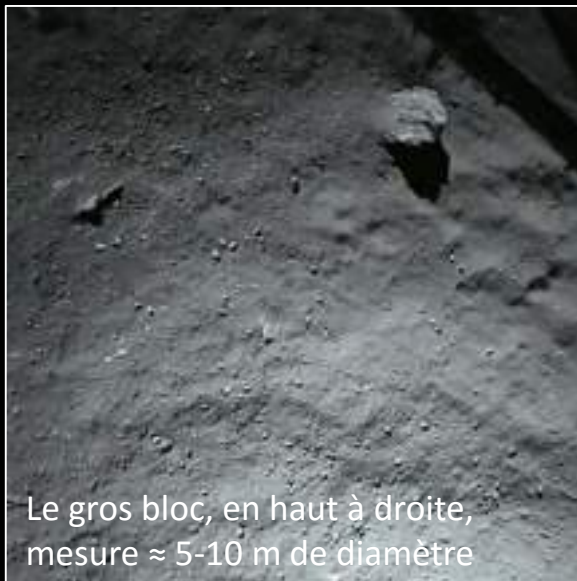
Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Novembre: Atterrissage de Philae ...

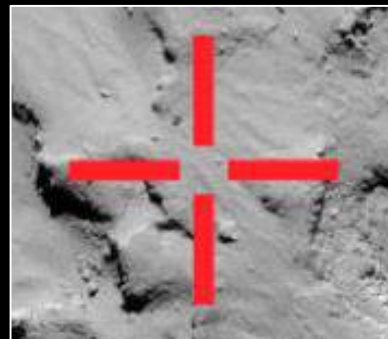
(Philae descent à $\approx 95 \text{ cm/s} = 3,4 \text{ km/h}$)



Le sol de la comète vu par Philae
(caméra ROLIS) à 40 m d'altitude, une
40aine de secondes avant l'atterrissage



Le gros bloc, en haut à droite,
mesure $\approx 5\text{-}10 \text{ m}$ de diamètre



**Zone du
1^{er} contact**

**Zone de
l'immobilisation
définitive**

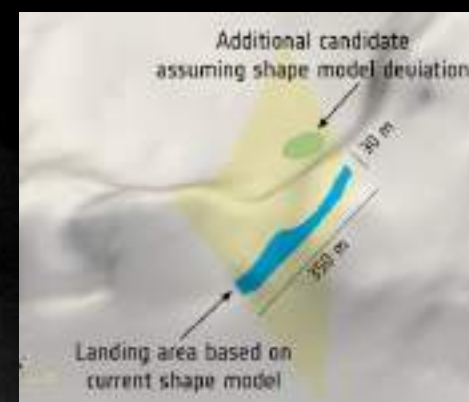
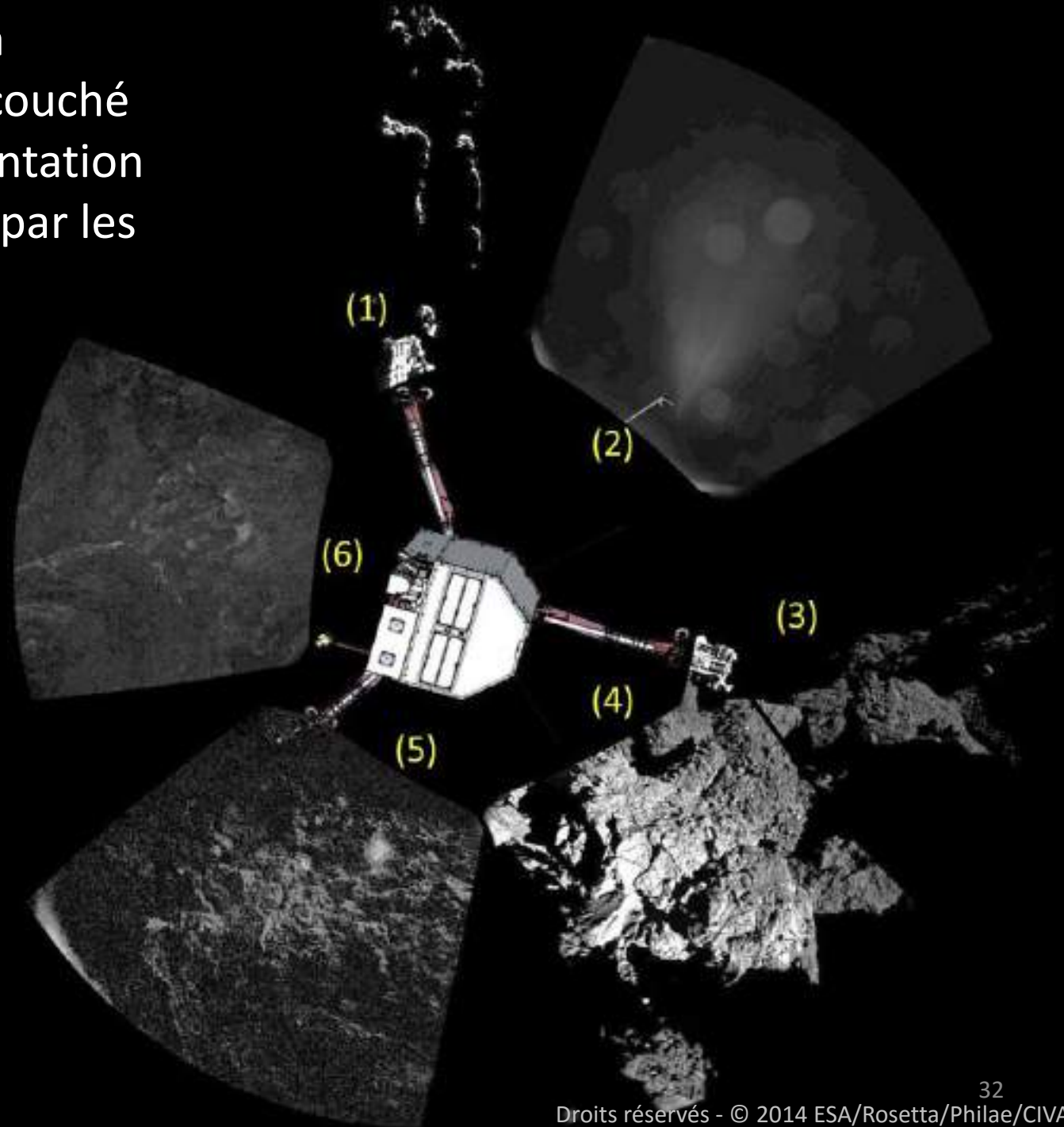
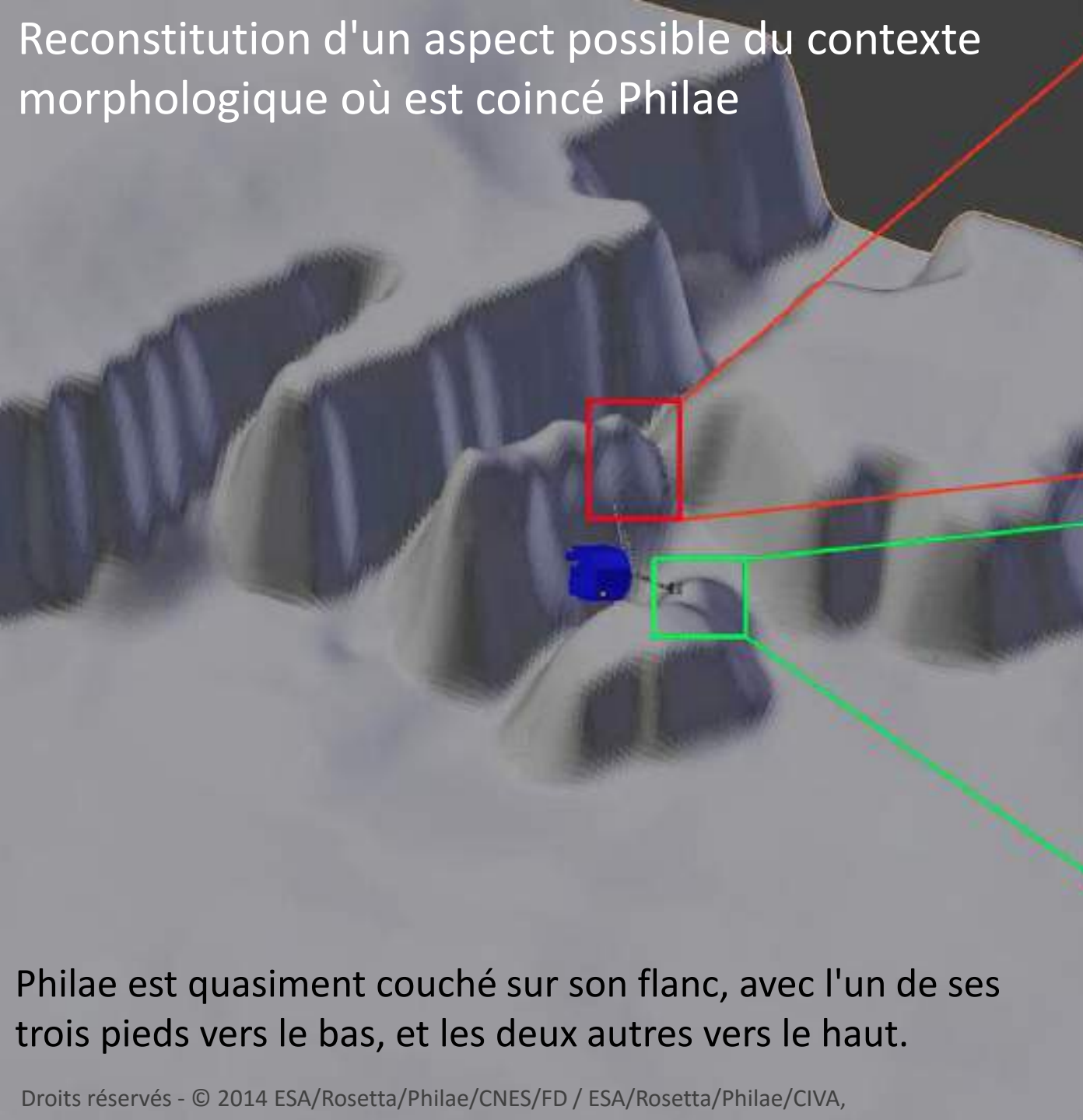
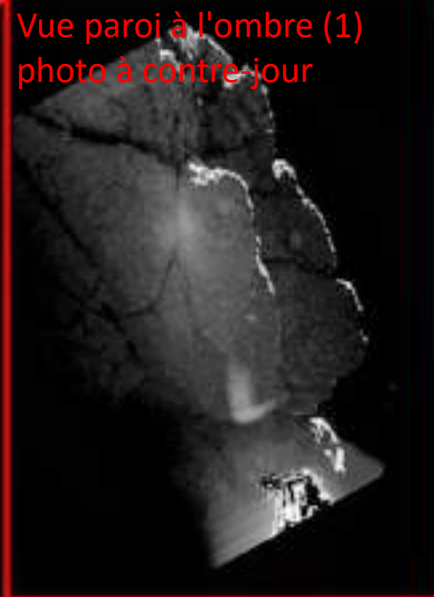


Schéma montrant la position de Philae, couché sur le flanc, et l'orientation des 6 images prises par les caméras CIVA

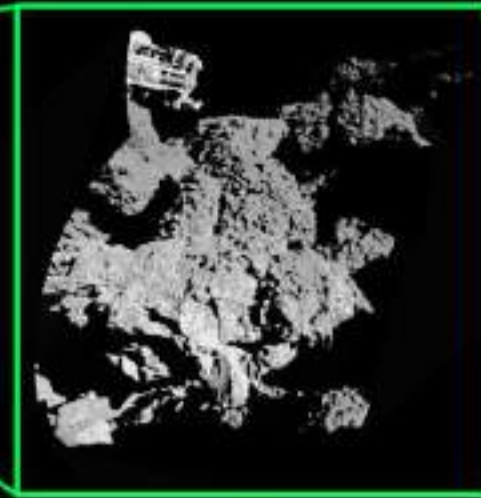




Reconstitution d'un aspect possible du contexte morphologique où est coincé Philae



Vue paroi à l'ombre (1)
photo à contre-jour



Mosaïque de 2 images (3 et 4)
couvrant la paroi éclairée par le
Soleil

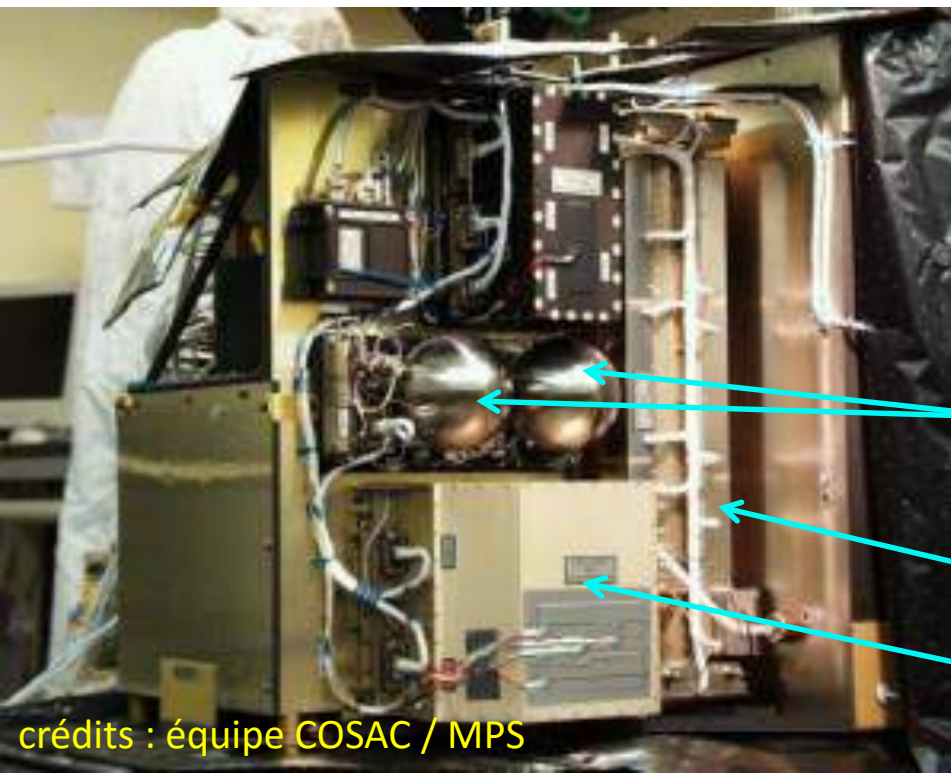
Philae est quasiment couché sur son flanc, avec l'un de ses trois pieds vers le bas, et les deux autres vers le haut.

Il était une fois....
Philae

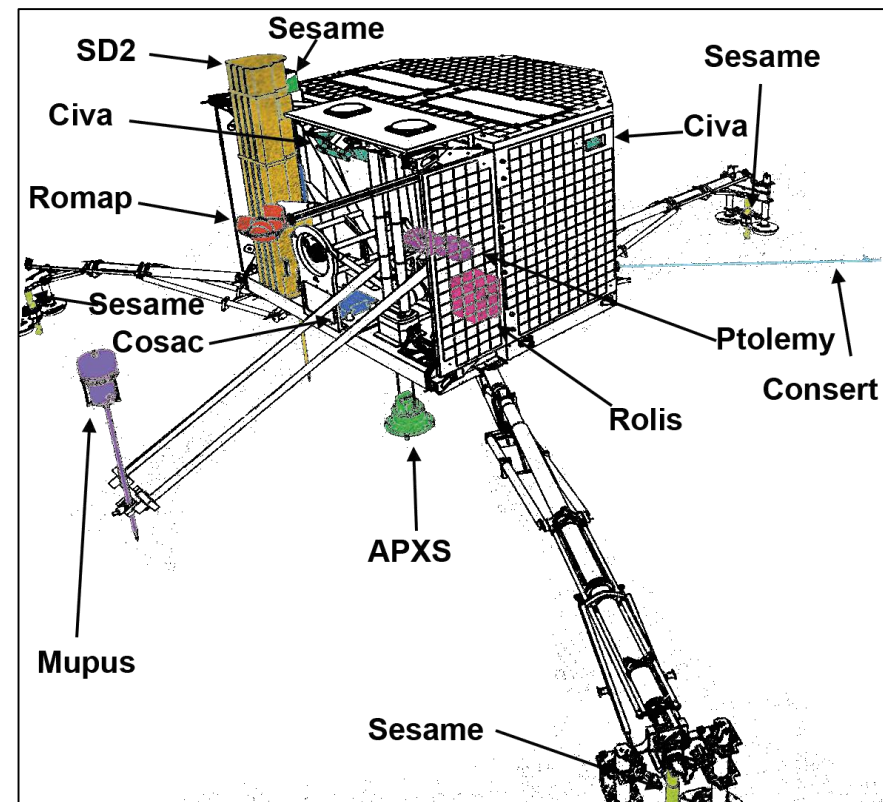
L'expérience COSAC (Cometary SAmpling and Composition experiment) sur l'atterrisseur cométaire Philae

Chromatographe en Phase Gazeuse
(pyrolyseur) couplé à un Spectromètre
de Masse **pour identifier les molécules
organiques du noyau cométaire.**

40 x 50 x 25 cm³ ; 4,5 kg, 15 W



crédits : équipe COSAC / MPS

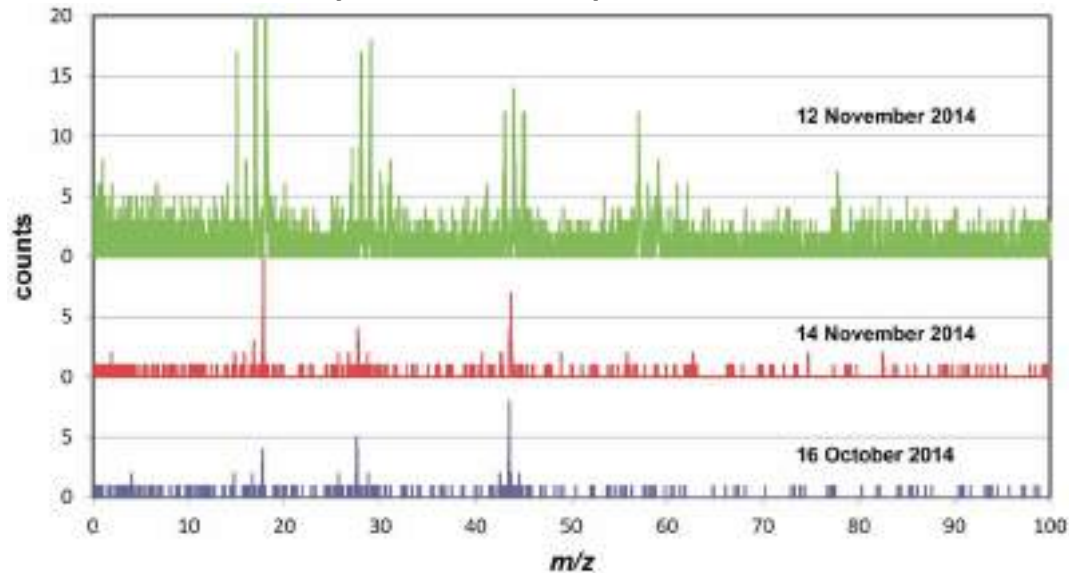


les deux réservoirs du
gaz vecteur (hélium)

TOFMS (46x8x8 cm³ ; 1,5kg ; 15W)
R = 300 (à m/z=70u à 50% FWHM)

le CPG avec 6 colonnes

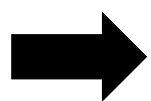
Première analyse chimique en mode « renifleur ». (Goesmann et al., Science 2015)



Zoom du spectre de masse pris 25 min après le contact initial de Philae avec le noyau de la comète 67P/CG, à 10 km de la surface.

Dernier spectre de masse (2 jours après) dans la position « actuelle » de Philae.

1^{er} spectre de masse obtenu en orbite 27 jours avant le largage de Philae à une distance de 10 km du noyau.



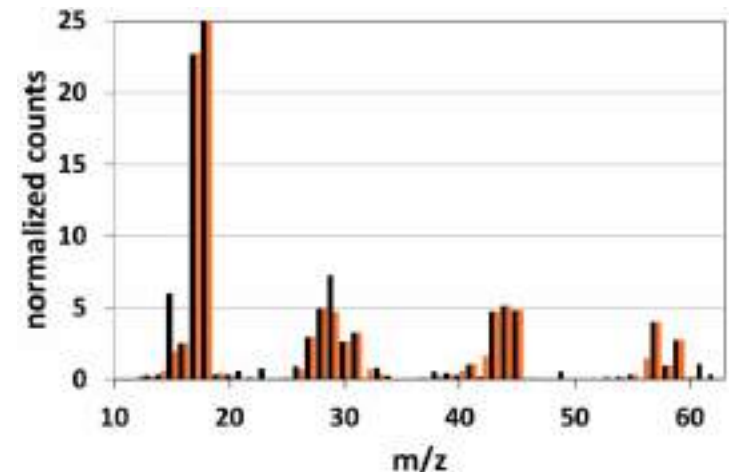
Ces particules proviennent vraisemblablement du nuage de poussière produit par le premier contact de Philae avec le sol.

Tentative d'adéquation avec le spectre de masse observé le 12 nov. 2014

16 composés ont pu être identifiés (présence éventuelle, non sans ambiguïté)

Spectre de masse du 12 nov. De COSAC

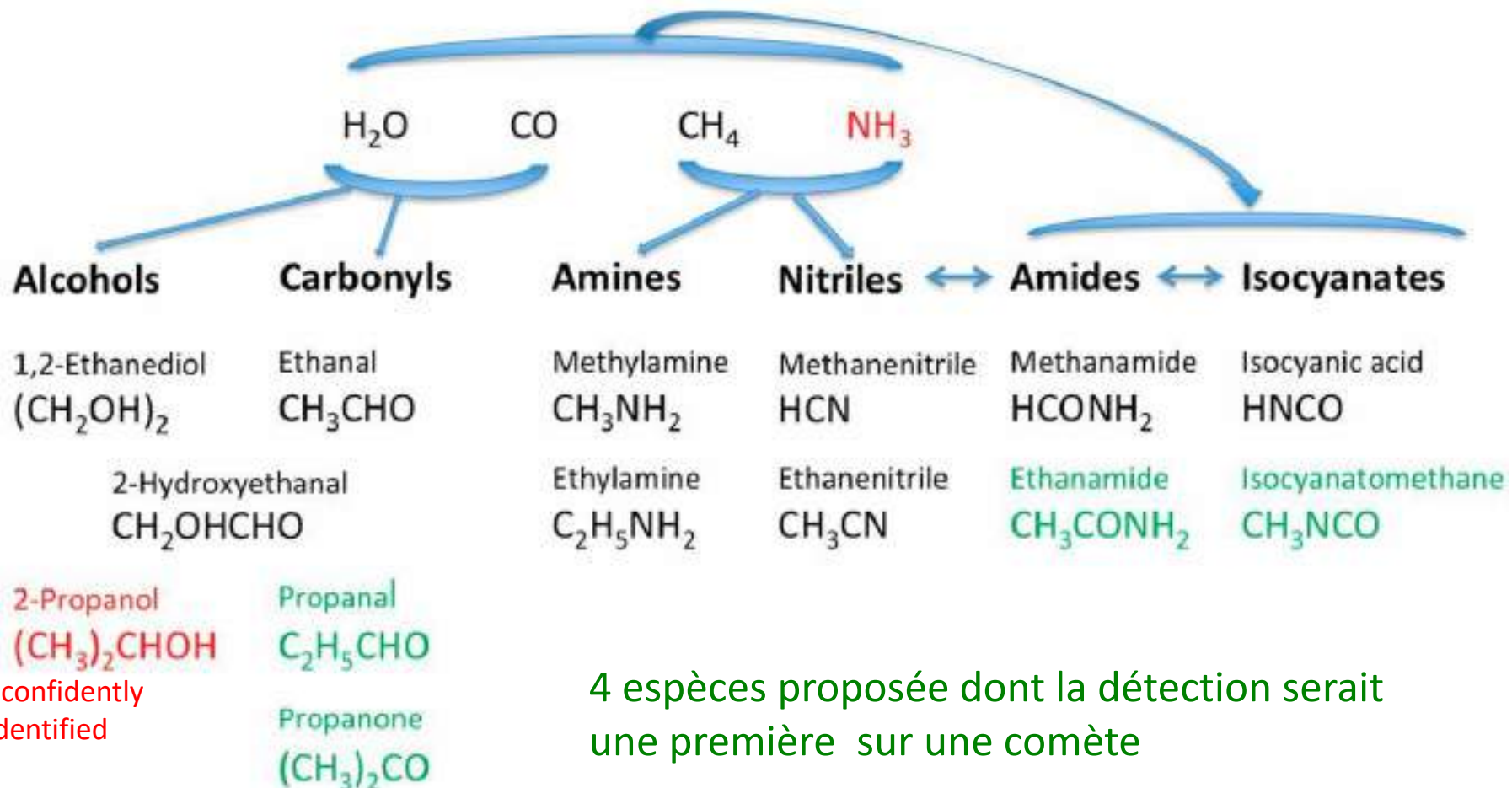
Meilleur spectre de masse reconstruit



Ce sont des précurseurs de molécules importantes pour la vie (sucres, acides aminés, bases de l'ADN...).

Répartis en 6 classes de molécules organiques

Chemin possible de formation de ces composés identifiés par COSAC



Rosetta NavCam Image/ESA

distance: 156.5km

phase angle: ~ 89.6 degrees

at the times:

2015-07-10T02:10:18

2015-07-10T02:36:35



Rosetta NavCam Image/ESA

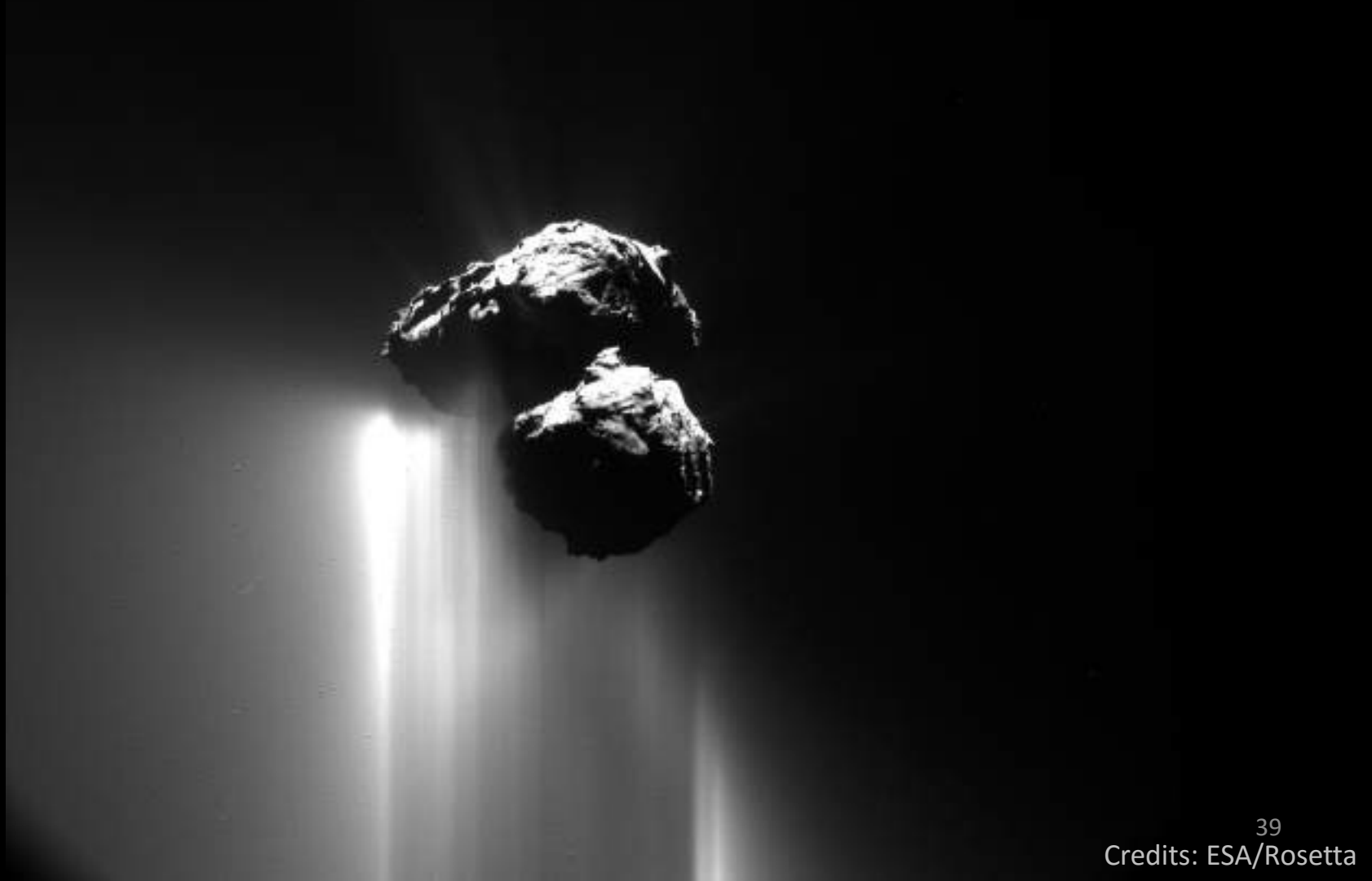
distance: 156.5km

phase angle: ~ 89.6 degrees

at the times:

2015-07-10T02:10:18

2015-07-10T02:36:35



Comète 67P/C-G le 30 Juillet 2015 (contrastes augmentés)
prise à la distance de 178 km du noyau





14:07 GMT



17:35 GMT



23:31 GMT

Images prises le 12 août 2015

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

Le 22 Août 2015

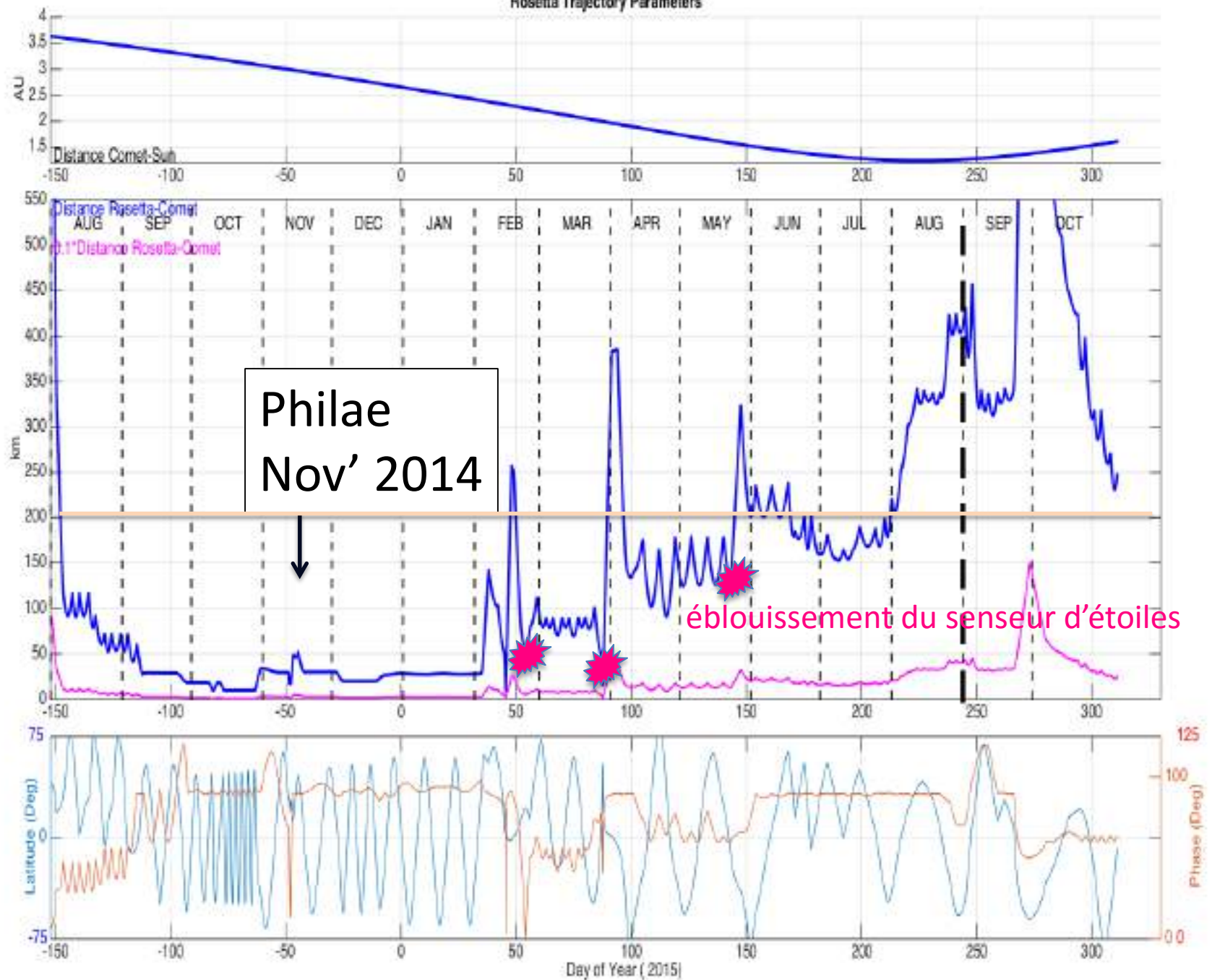




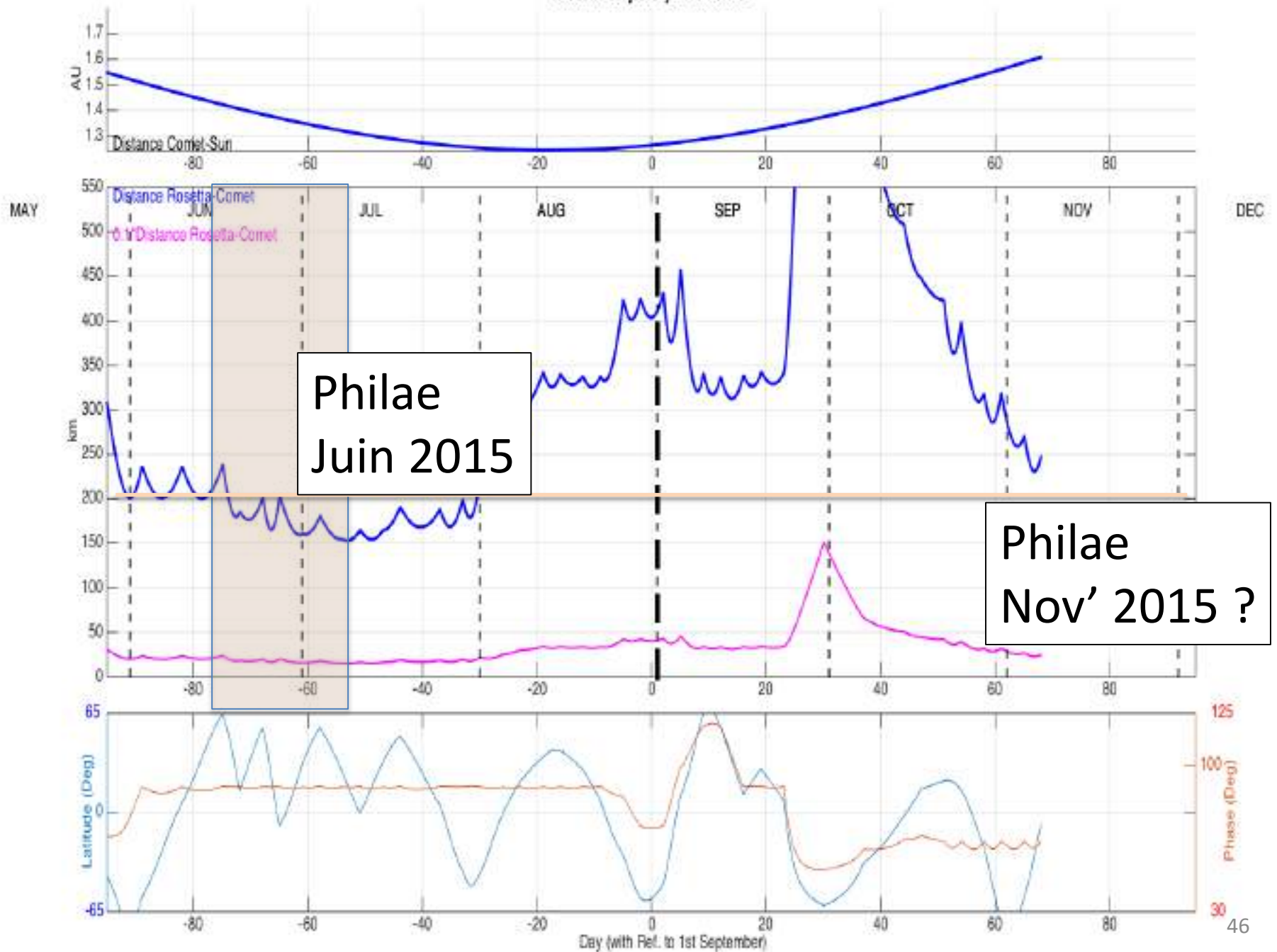
Comment la trajectoire de Rosetta est-elle contrôlée ?

- Position de Rosetta par rapport à la Terre (navigation radio)
- Position de Rosetta par rapport à la Comète (Navigation optique)
 - Senseur Stellaire (position par rapport aux étoiles)
 - NAVCAM (position par rapport à la comète)

Rosetta Trajectory Parameters



Rosetta Trajectory Parameters



Aperçu de la moisson scientifique actuelle de Rosetta



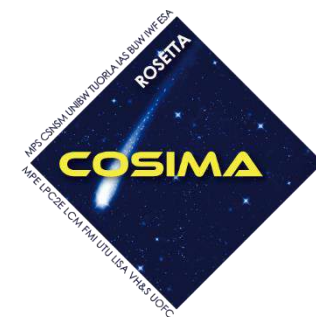
Principales
contributions
instrumentales
du LPC2E

COSIMA et **RPC-MIP**

Participation à **ROSINA** et **RPC-LAP**

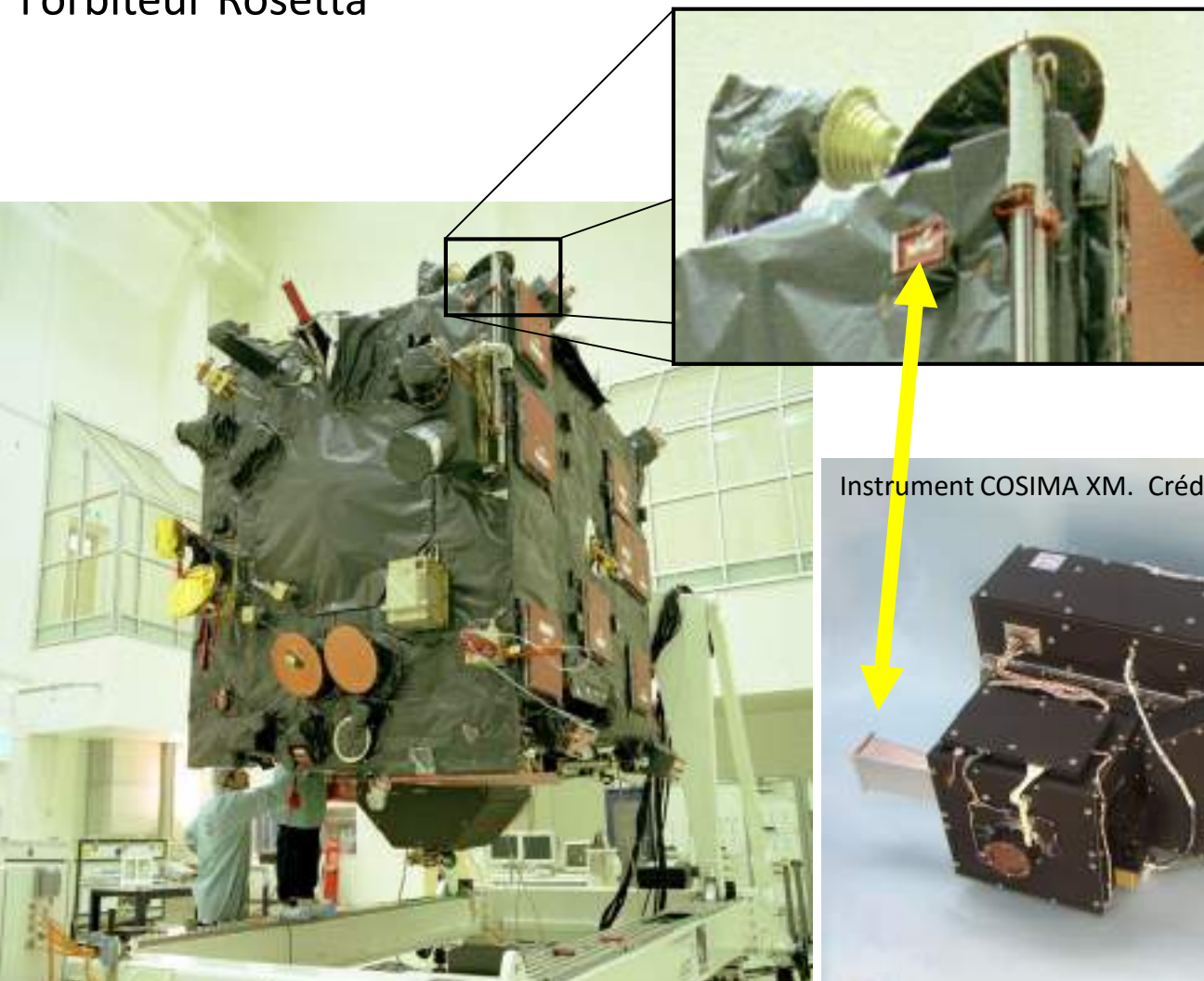
L'instrument COSIMA : C_Ometary Secondary Ion Mass Analyser

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

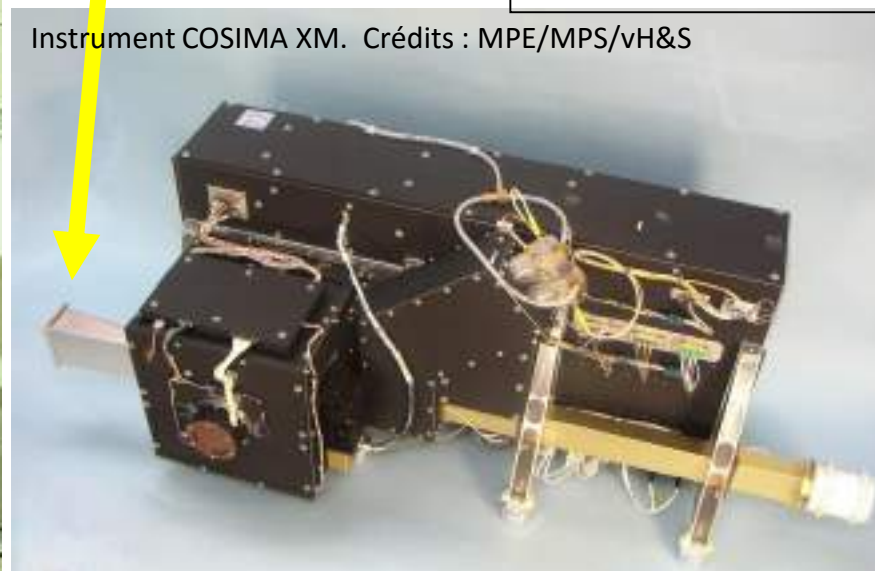


COSIMA TECHNIQUEMENT c'est:

Masse: **19,9 kg**
Volume (Lxlxh): 986 x 356 x362 mm³
Consommation: **20,4 W**
Taux télémetrie: ~ 500 bits/s
Résolution ~ 1400 (à m/z=100u
en Masse: à 50% hauteur du pic)



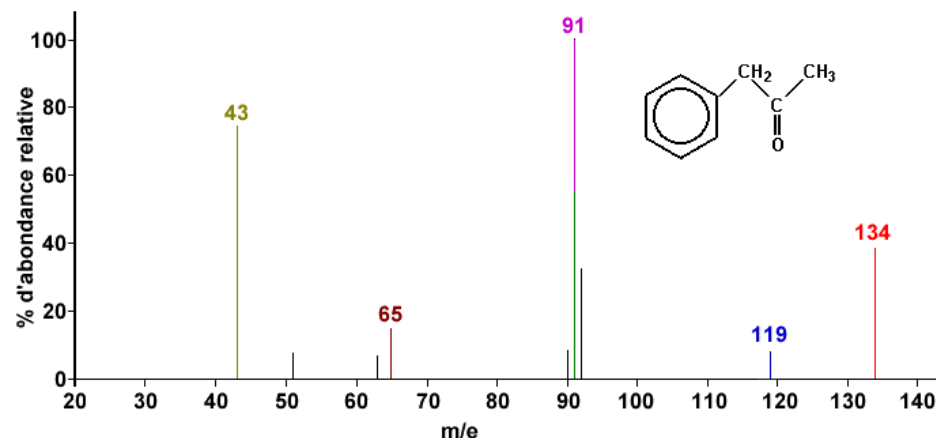
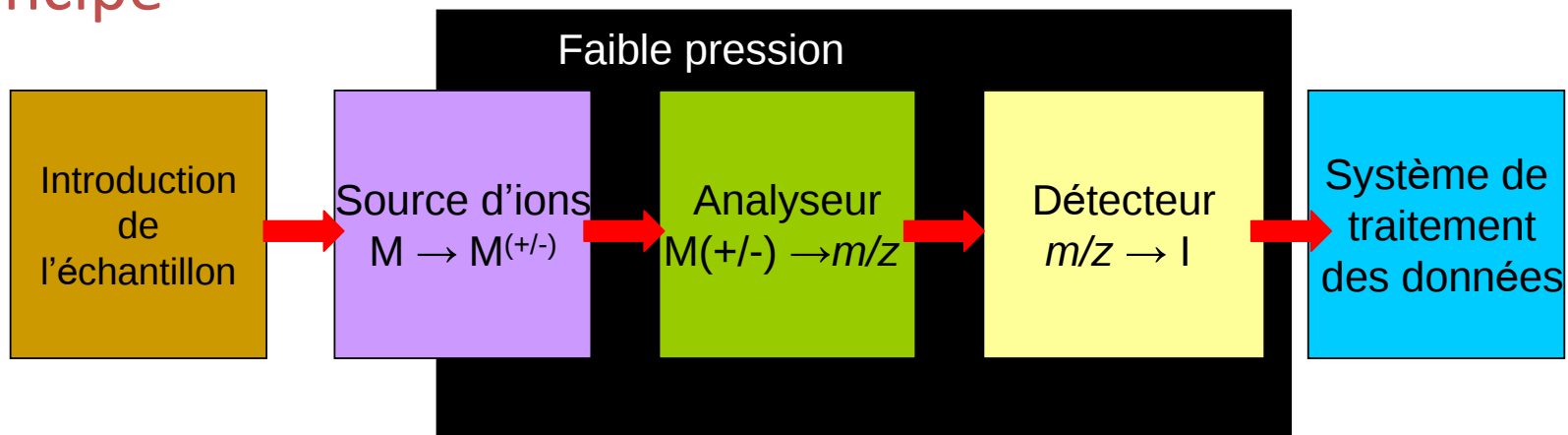
Instrument COSIMA XM. Crédits : MPE/MPS/vH&S



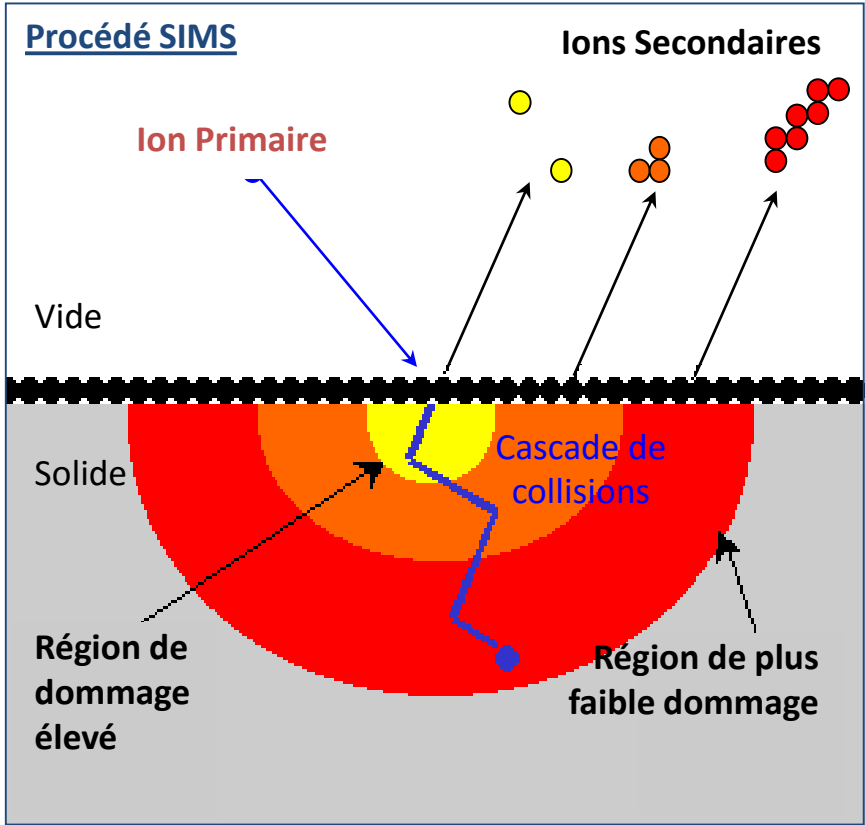
La spectrométrie de masse, c'est quoi ?

Méthode analytique qui permet de détecter et d'identifier des molécules.
Sorte de « balance » au niveau atomique, moléculaire.

Principe



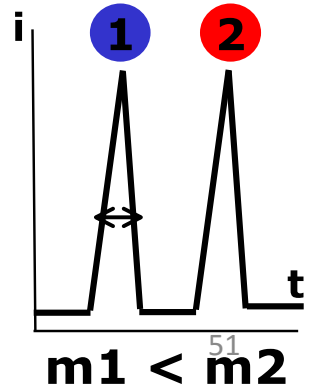
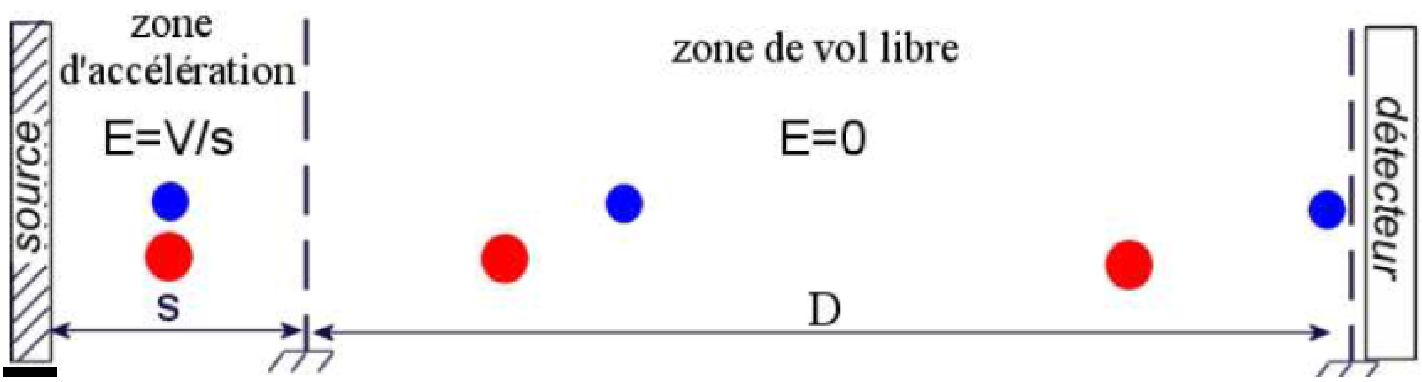
Principe de l'instrument COSIMA : COMetary Secondary Ion Mass Analyser



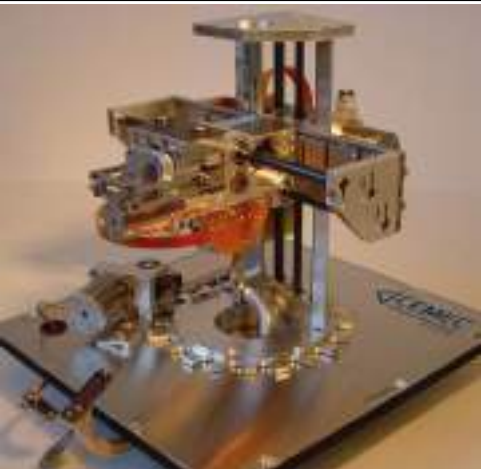
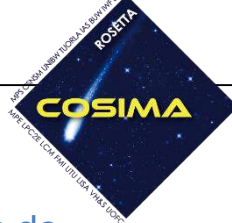
Technique de spectrométrie de masse d'ions secondaires à temps de vol (TOF-SIMS)
=> analyse des premières couches de la surface d'un échantillon **capté sur une cible**

Temps de vol d'un ion

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



L'instrument COSIMA de vol



TMU : Unité manipulatrice des sets de cibles



COSISCOPE : mini-caméra

Zone de station thermique

PIBS : système de faisceau d'ions primaires

Source d'Indium

Fil de Tungstène

CHOPPER

BUNCHER (3 électrodes)

Ions primaires d'Indium

Ions secondaires

Tube de vol

Réflectron

Détecteur

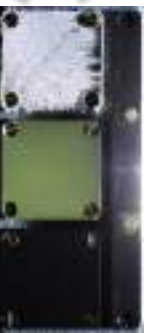
TOF : l'analyseur Temps de vol

Electroniques

Flux de données du/vers Rosetta

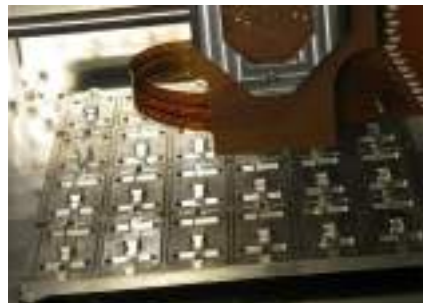
Poussières cométaires

1 cm



Set de 3 cibles collectrices des grains cométaires

Plateau de stockage des 24 sets de cibles



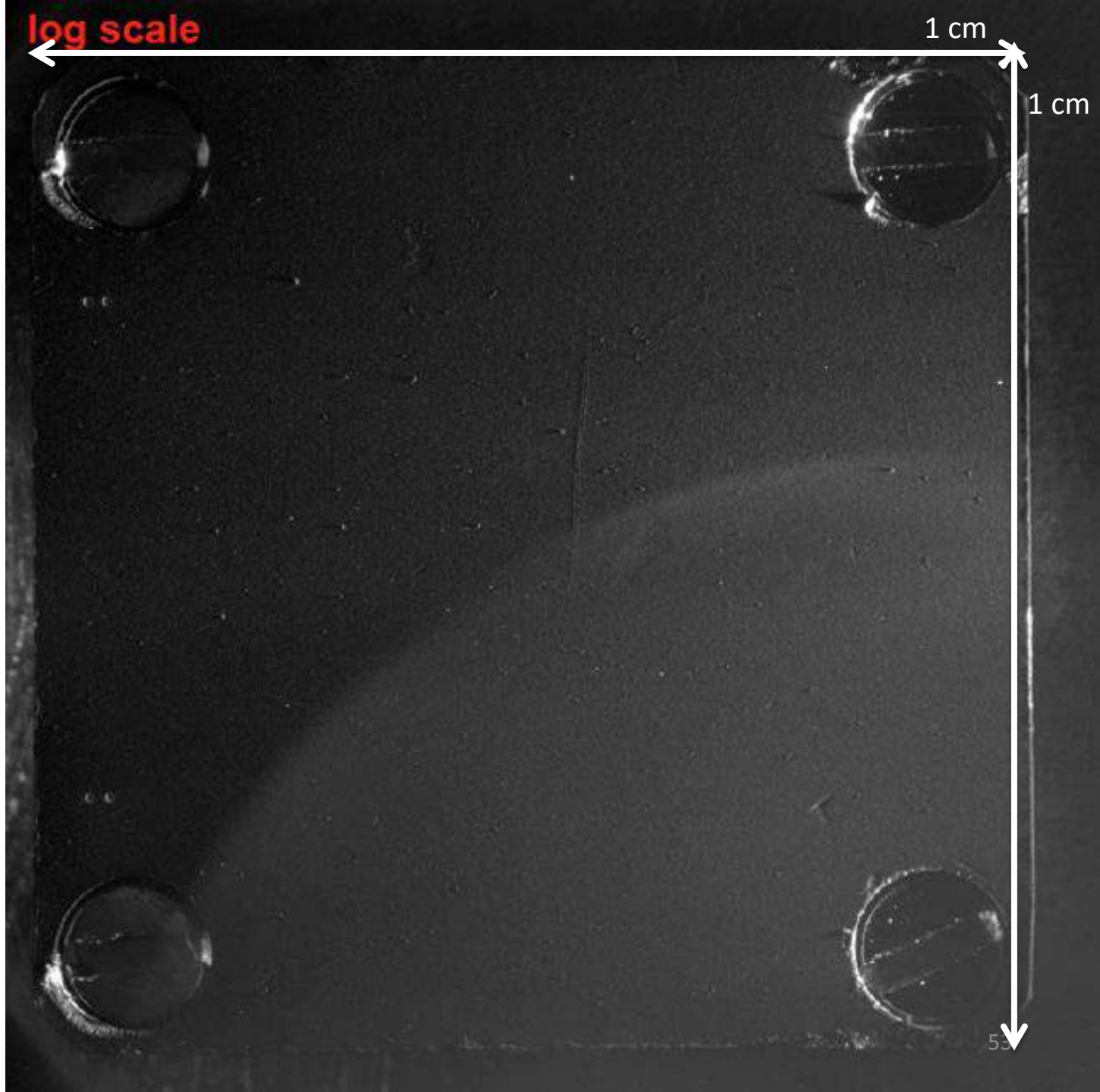


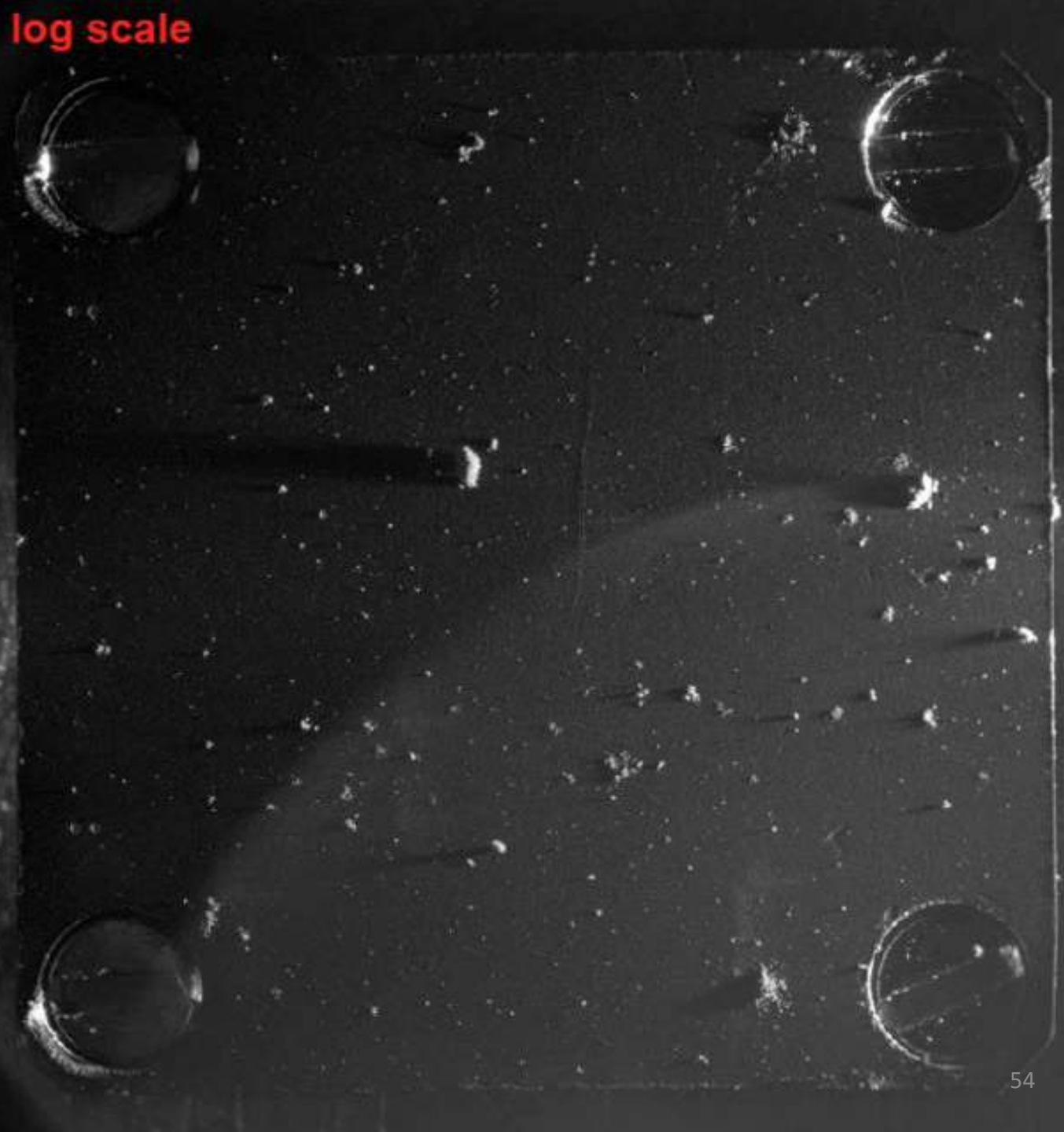
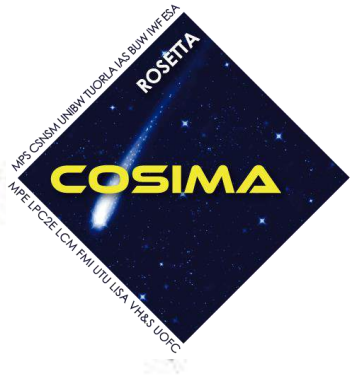
Cible 3D0

**Photo COSISCOPE :
7 Août 2014**

**Avant l'exposition à
la coma interne de
67P/C-G.**

**Rosetta est alors à
100 km du noyau.**



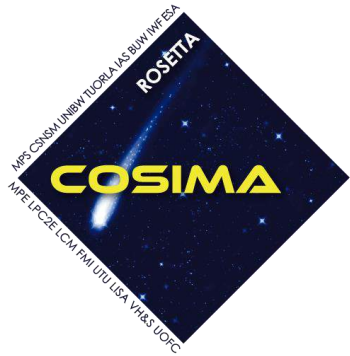


Cible 3D0

Exposée du 11 Août
au 12 Décembre
2014

Photo COSISCOPE :
21 Novembre 2014

**Après 15 semaines
d'exposition à la
coma interne de
67P/C-G.**

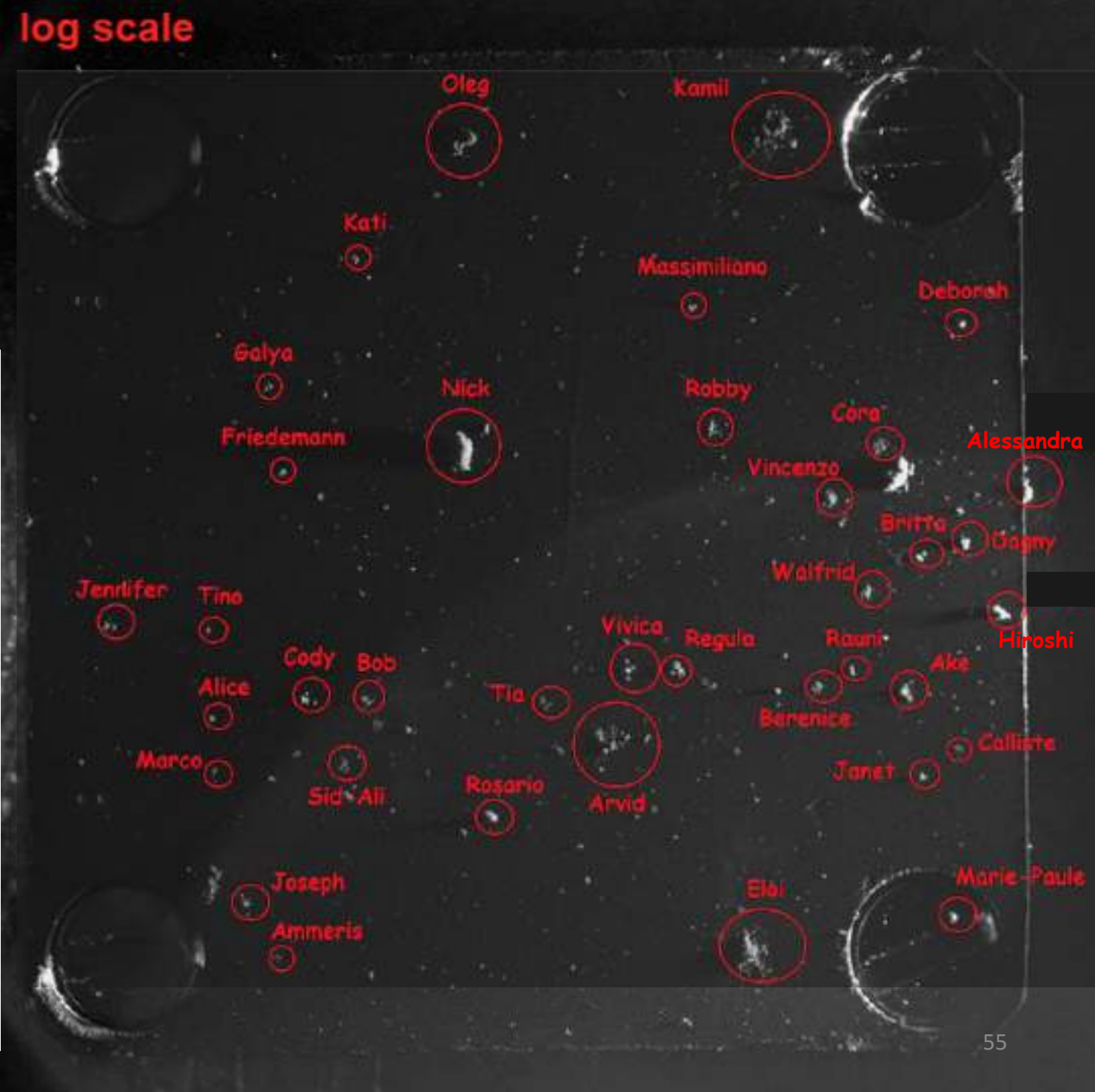


Cible 3D0

Exposée du 11 Août
au 12 Décembre
2014

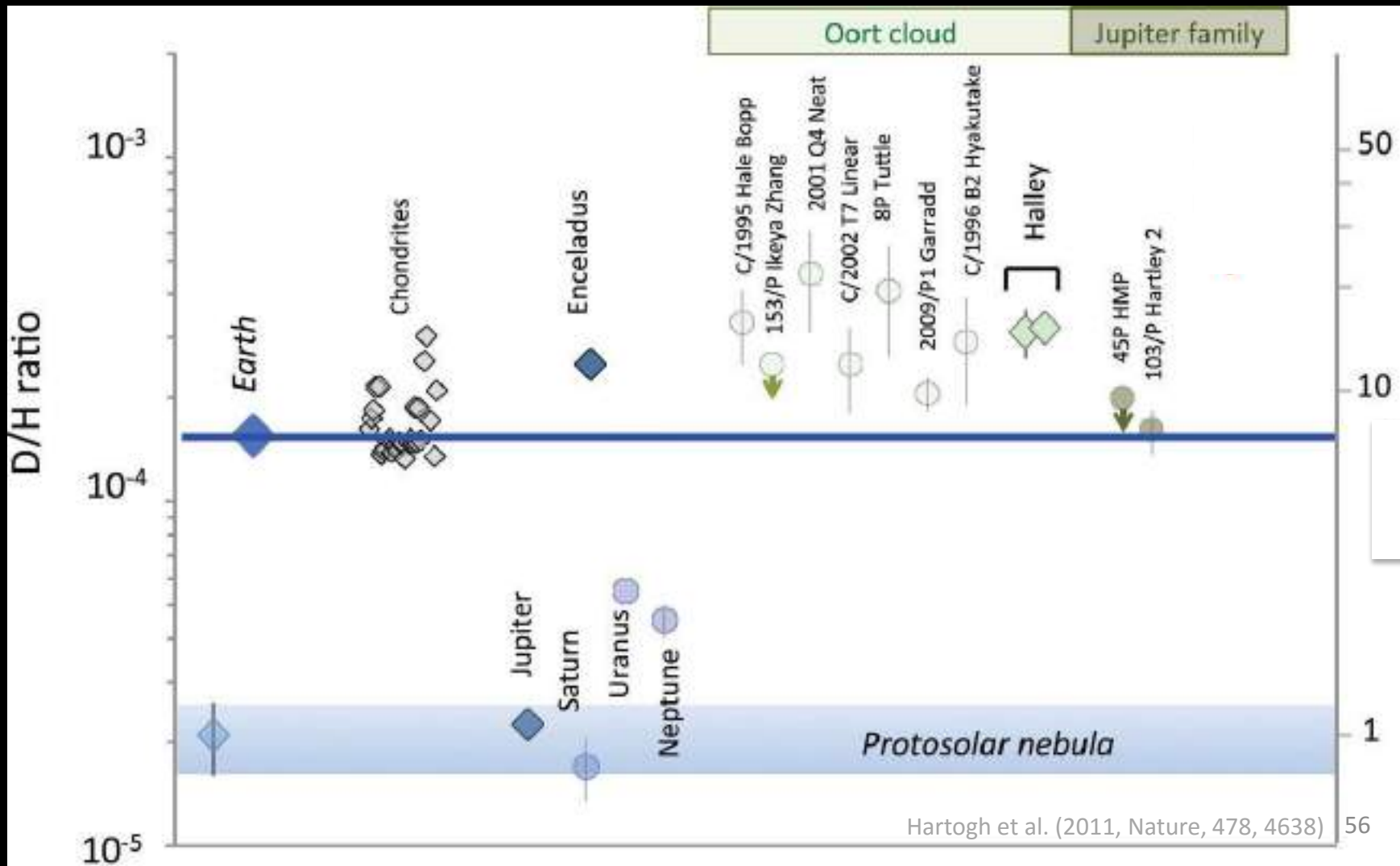
Photo COSISCOPE :
21 Novembre 2014

**Après 15 semaines
d'exposition à la
coma interne de
67P/C-G.**



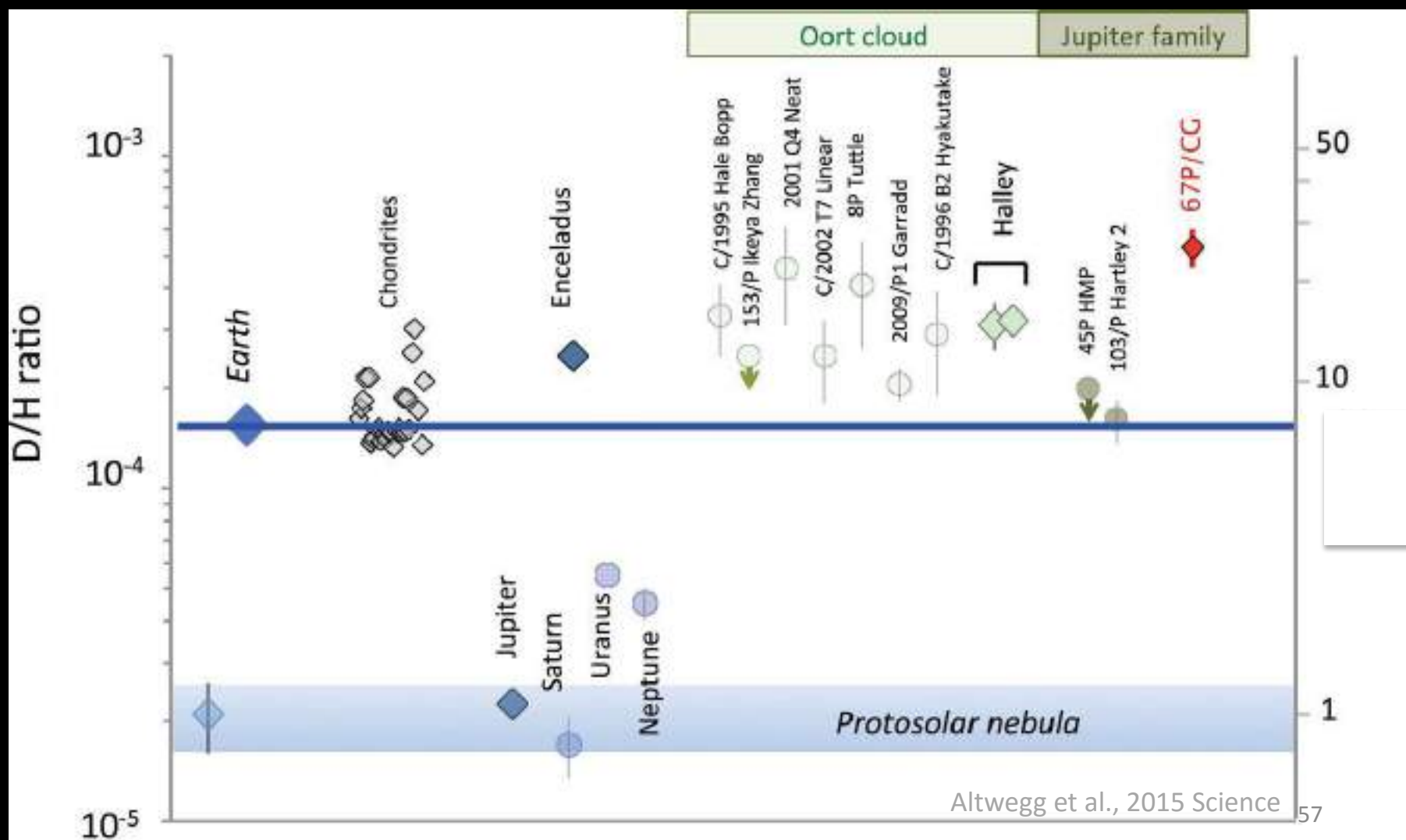
Origine de l'eau terrestre ? Mesure du rapport D/H

- Glace d'eau cométaire : source de l'eau terrestre?
- Avant Rosetta:





- Glace d'eau cométaire : source de l'eau terrestre?
- **Après Rosetta:**



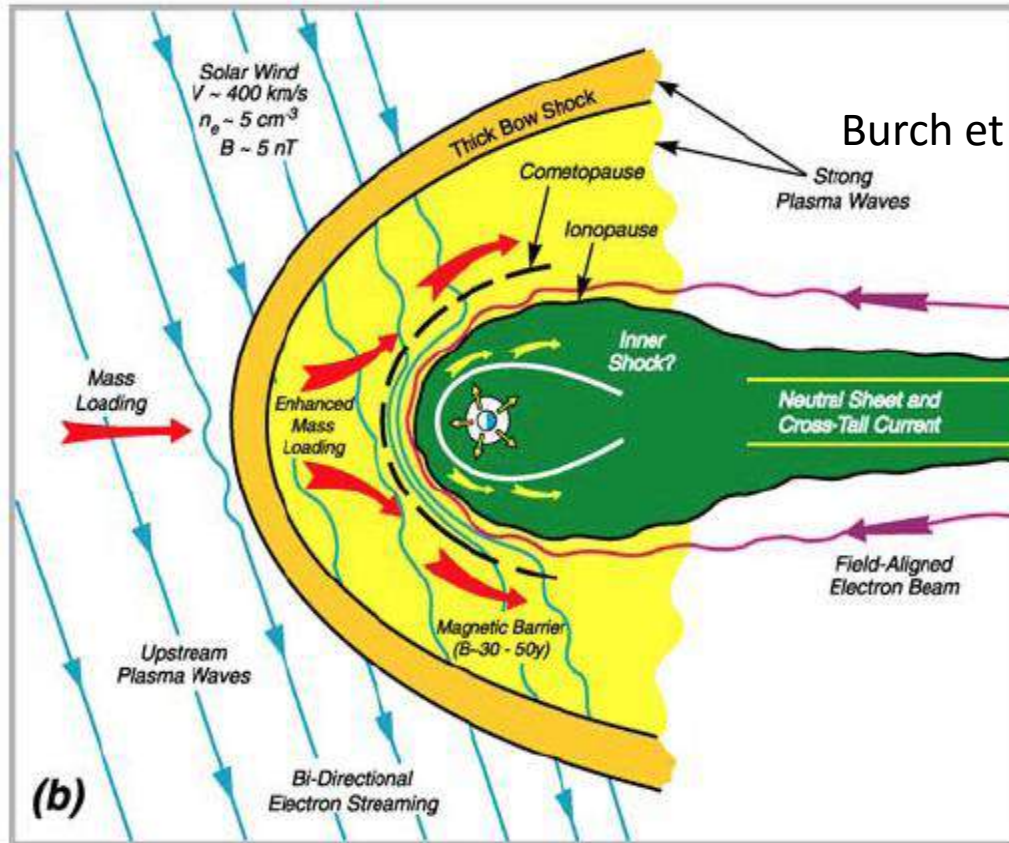


Principales
contributions
instrumentales
du LPC2E

COSIMA et RPC-MIP

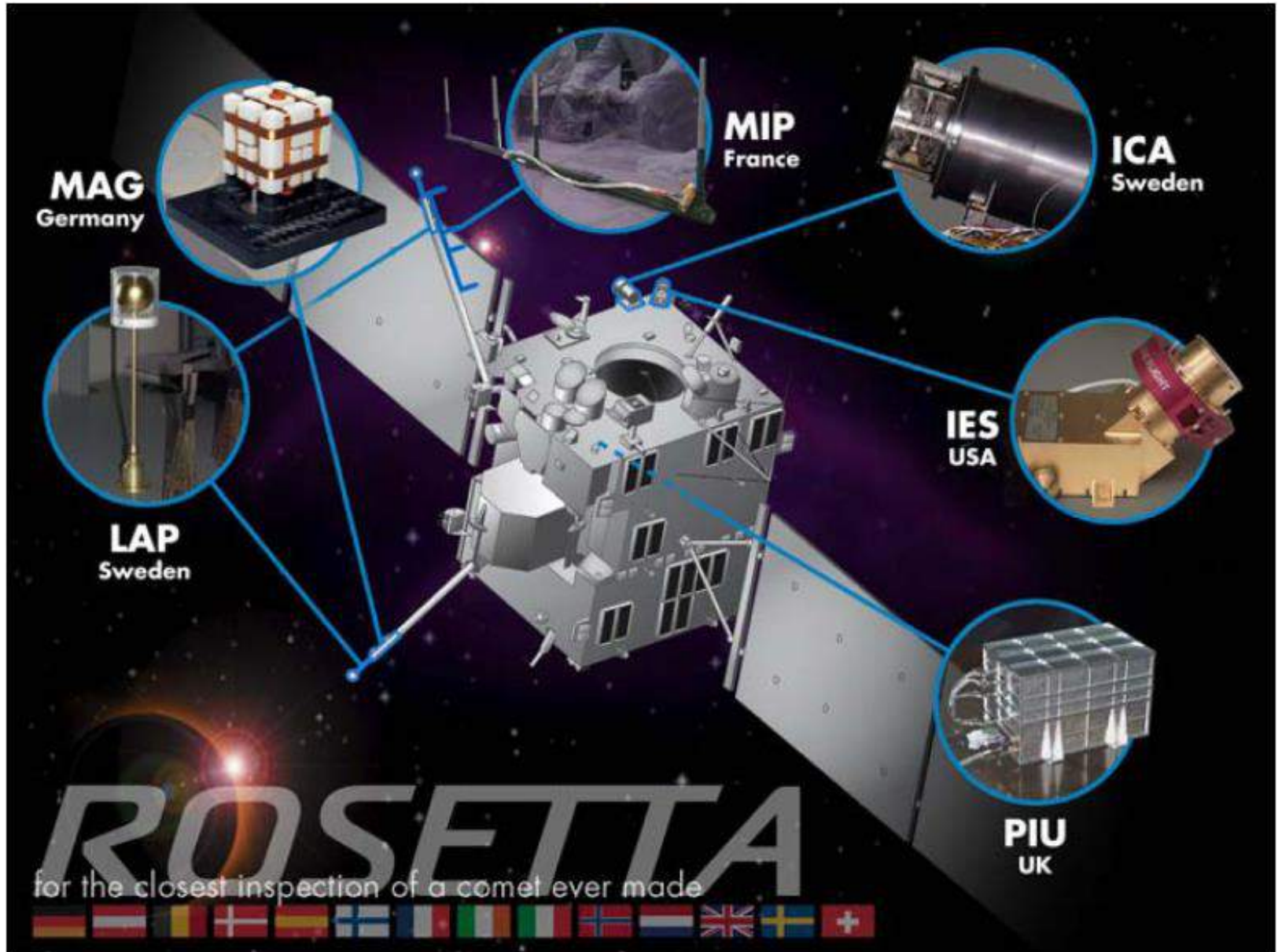
Participation à ROSINA et RPC-LAP

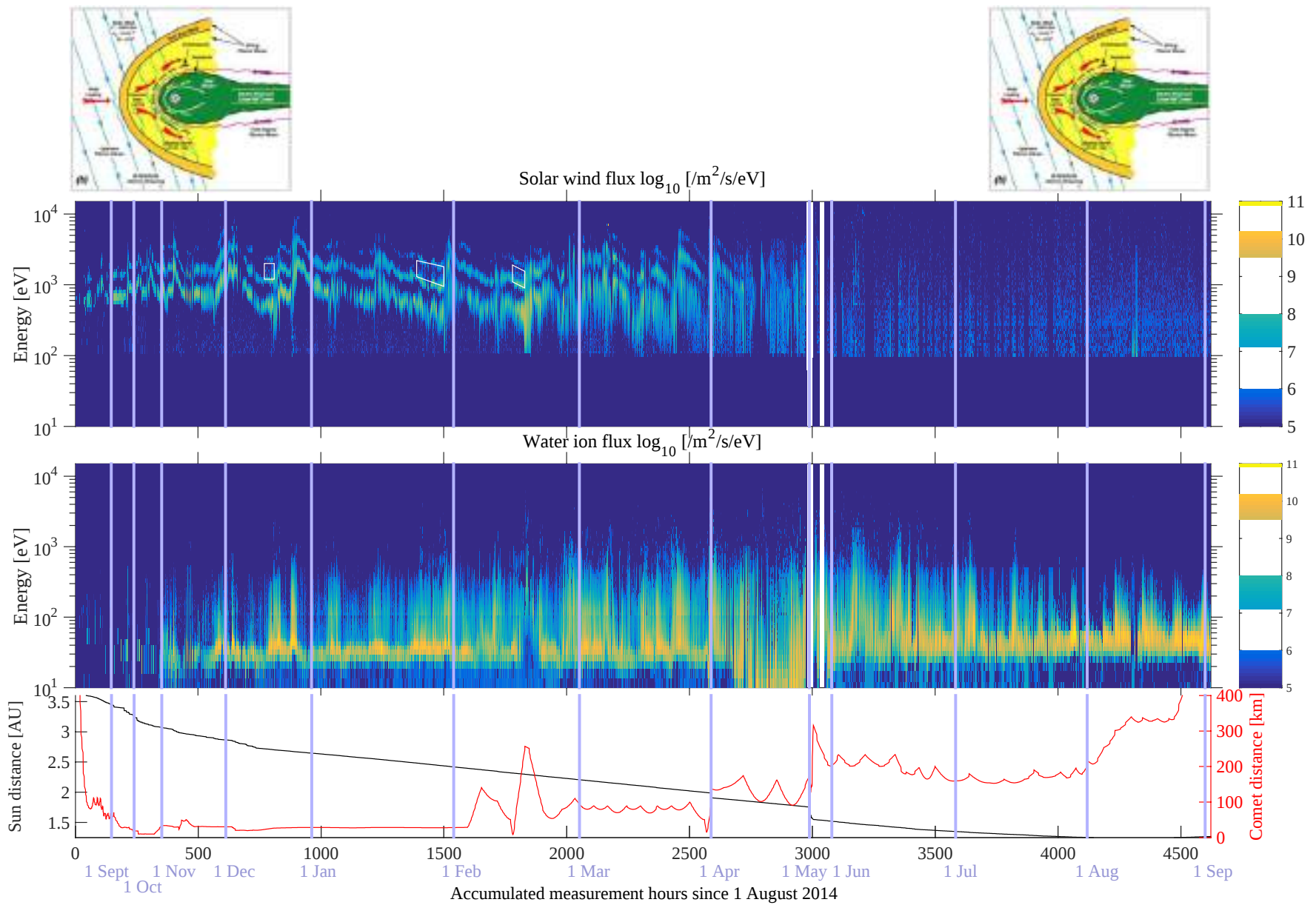
Régions et frontières dans l'environnement ionisé (gas, plasma, poussières) autour du perihelion



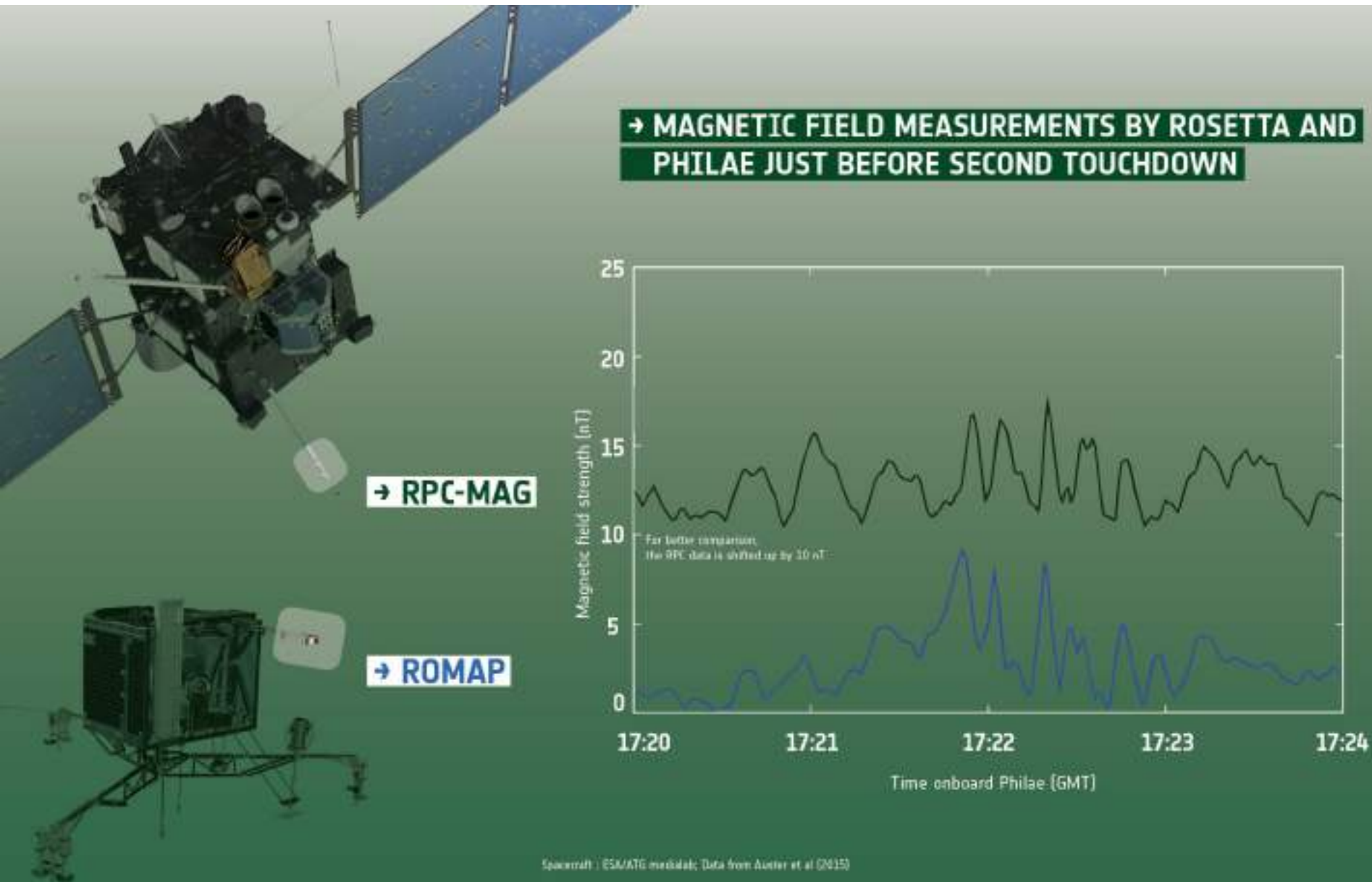
Burch et al. 2006

Accommodation des instruments du RPC



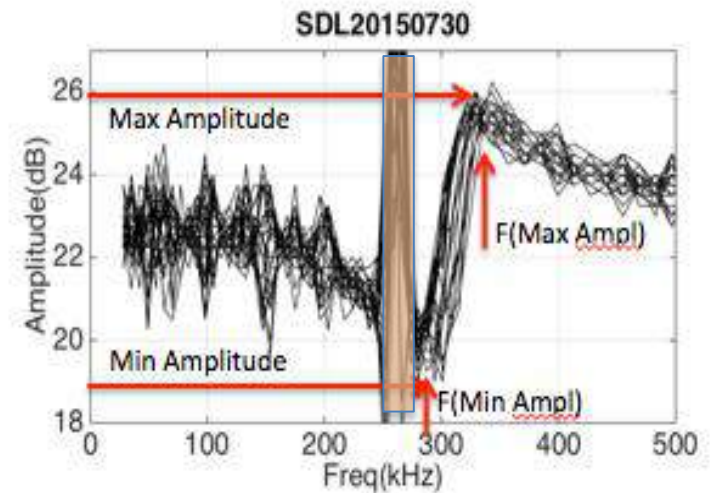
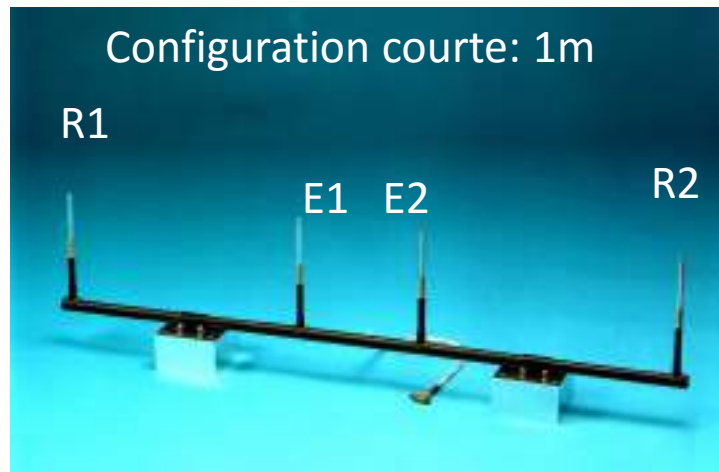


Mesures du champ magnétique

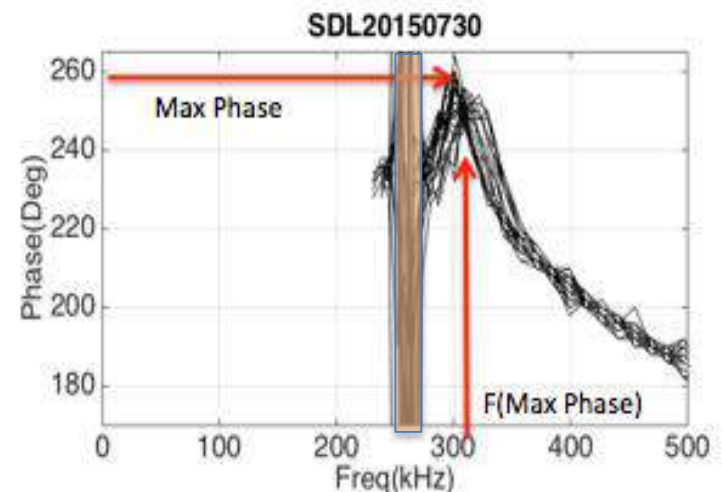


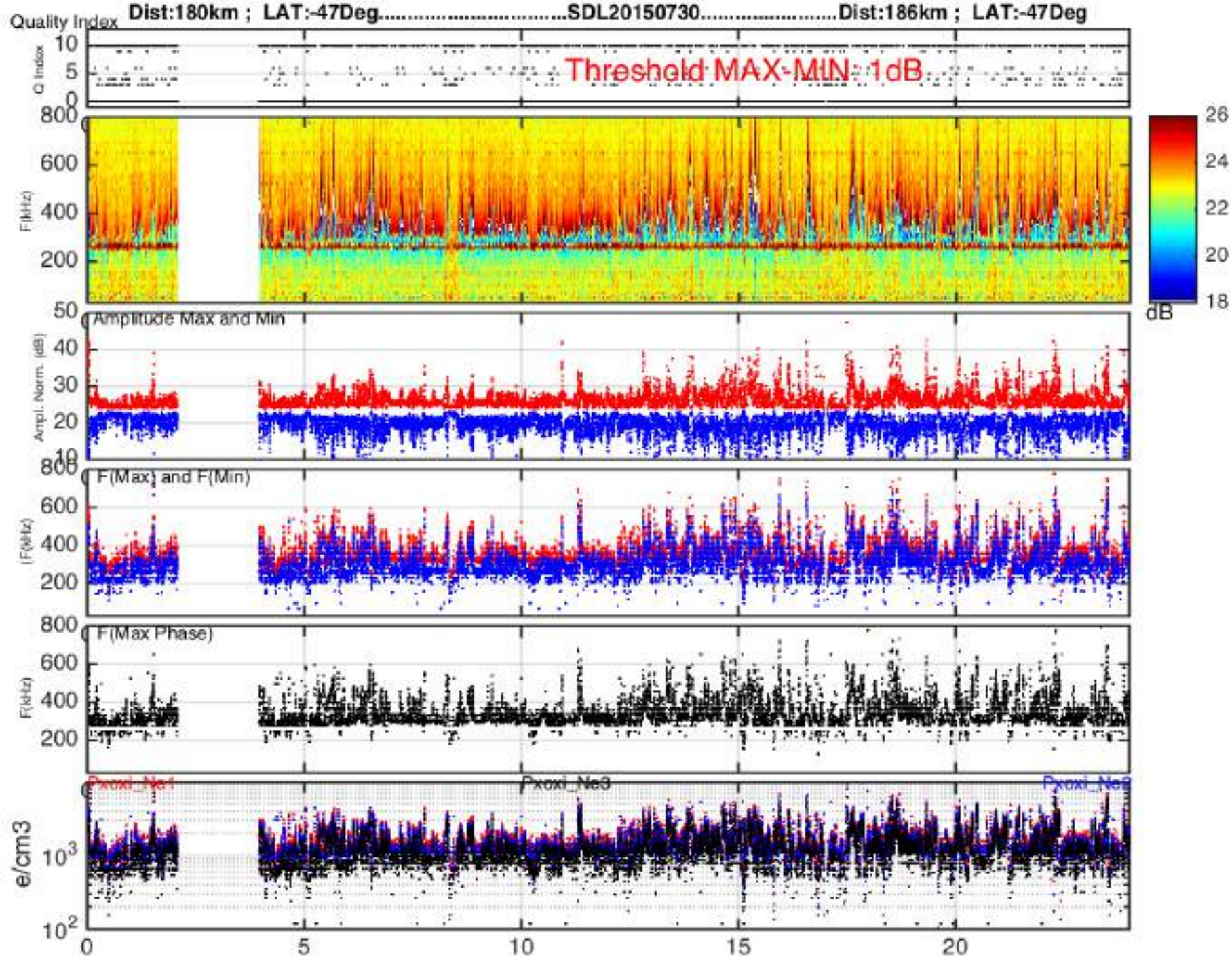
Principe de la mesure par MIP:

Mesure de l'impédance complexe de la sonde immergée dans la plasma



Configuration longue: 4m

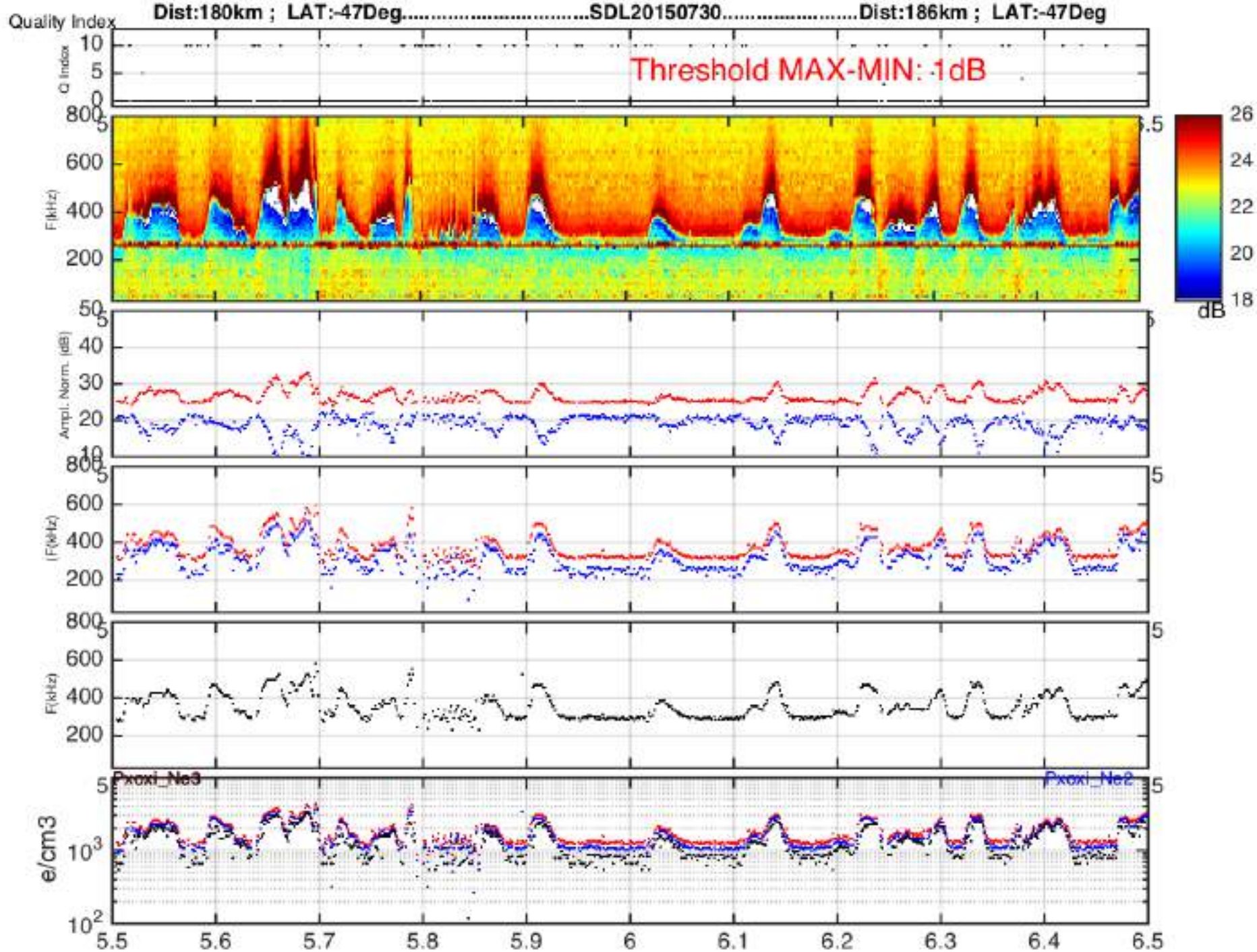


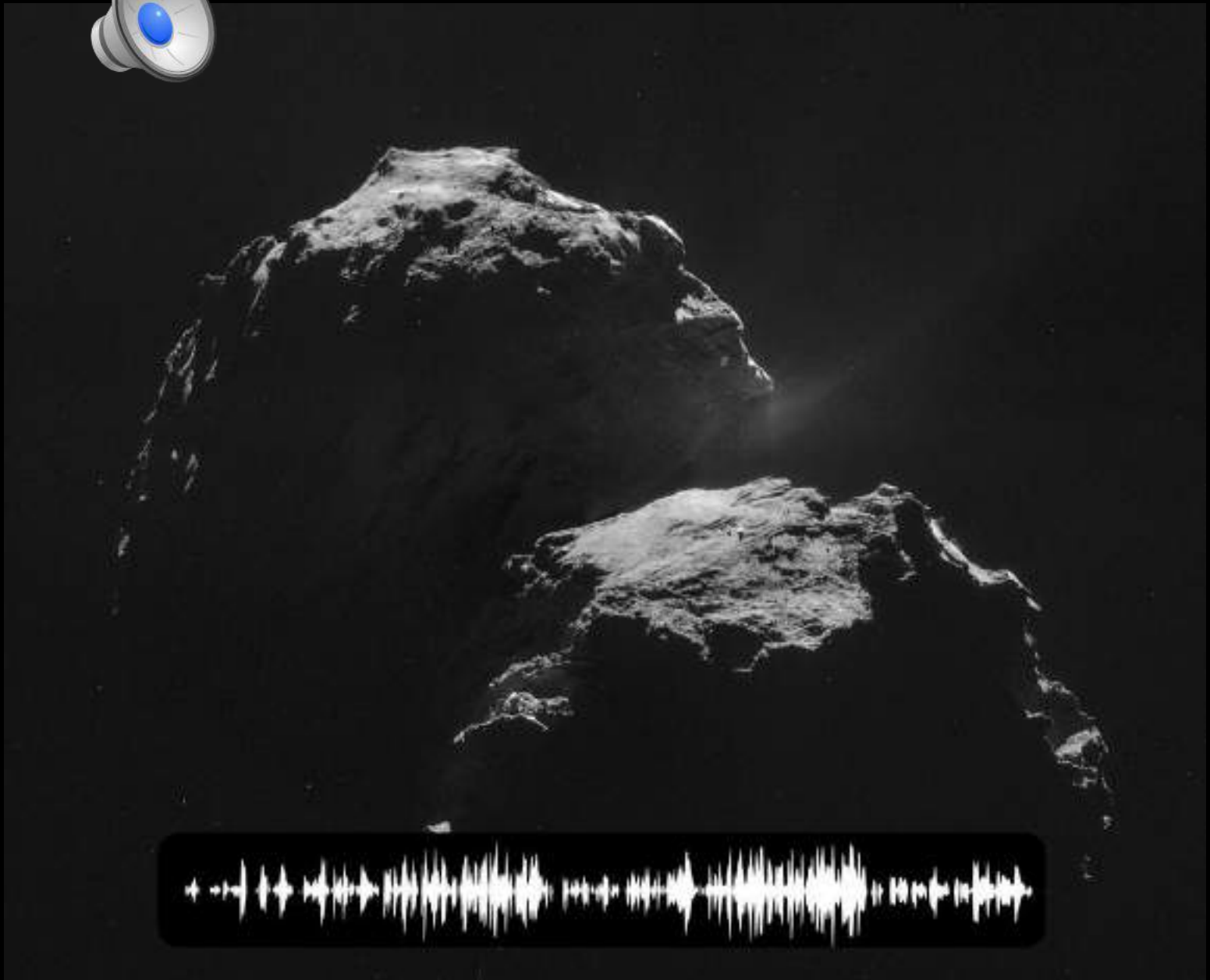


Dist:180km ; LAT:-47Deg

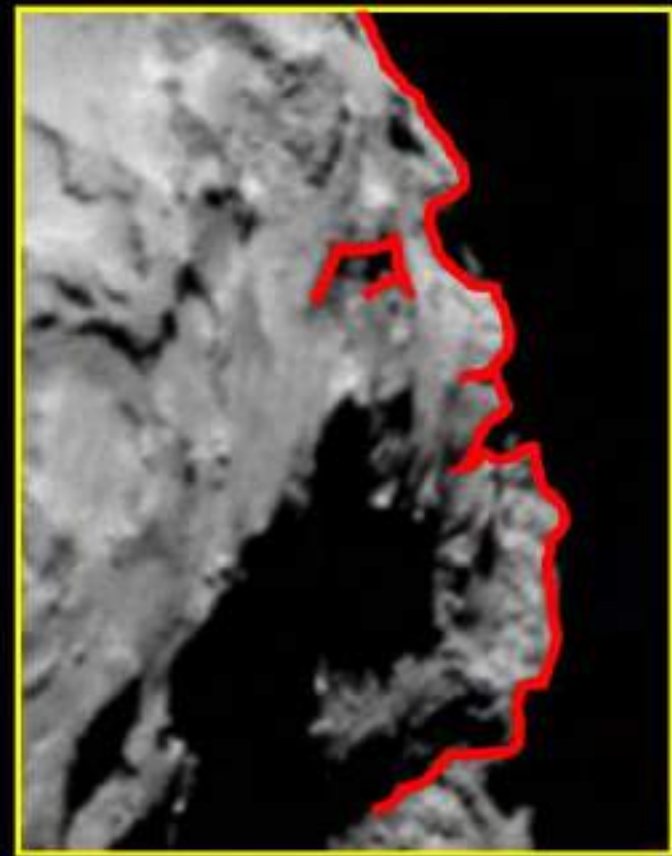
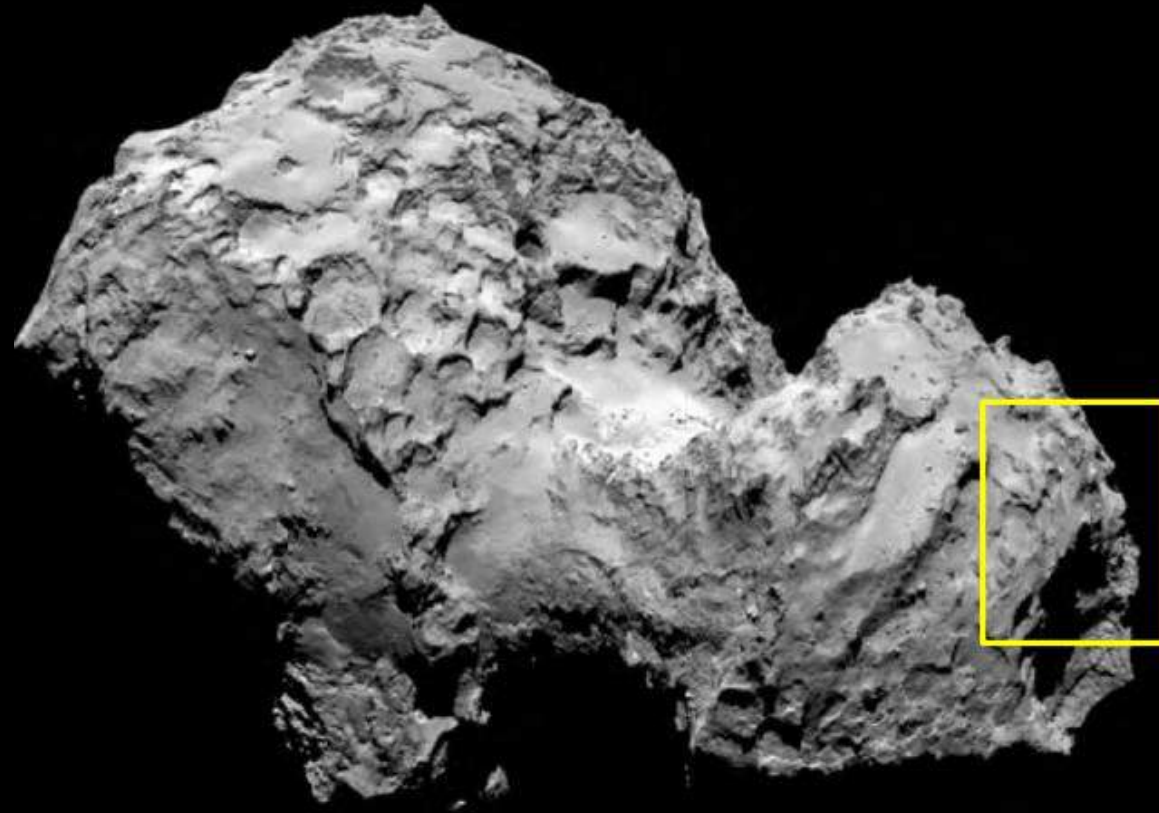
SDL20150730

Dist:186km ; LAT:-47Deg





Pour conclure, le « sourire » de Chury.



Pour plus d'informations:   

http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

<http://blogs.esa.int/rosetta/>

http://www.esa.int/fre/ESA_in_your_country/France/Rosetta

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/11305-rosetta-rendez-vous-avec-la-comete-churyumov-gerasimenko.php>

<http://www.insu.cnrs.fr/fr/rosetta>

Back up

Astronome amateur: à l'écoute des météores (Projet FRIPON)



Astronome amateur: à l'écoute des météores (Projet [FRIPON](#))

