

Rosetta: Exploring Comet 67P/C-G on its journey around the Sun

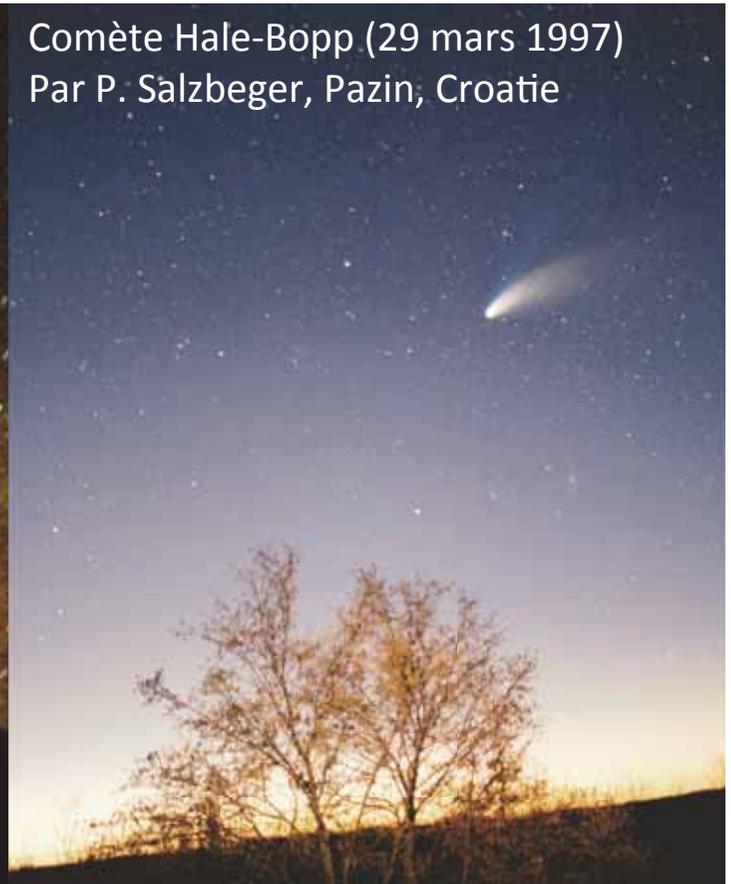
Jean-Pierre Lebreton, Chercheur, LPC2E, CNRS-
Université d'Orléans, France

Presentation material prepared jointly with Christelle Briois,
Assistant Professor (LPC2E, CNRS-Université d'Orléans)

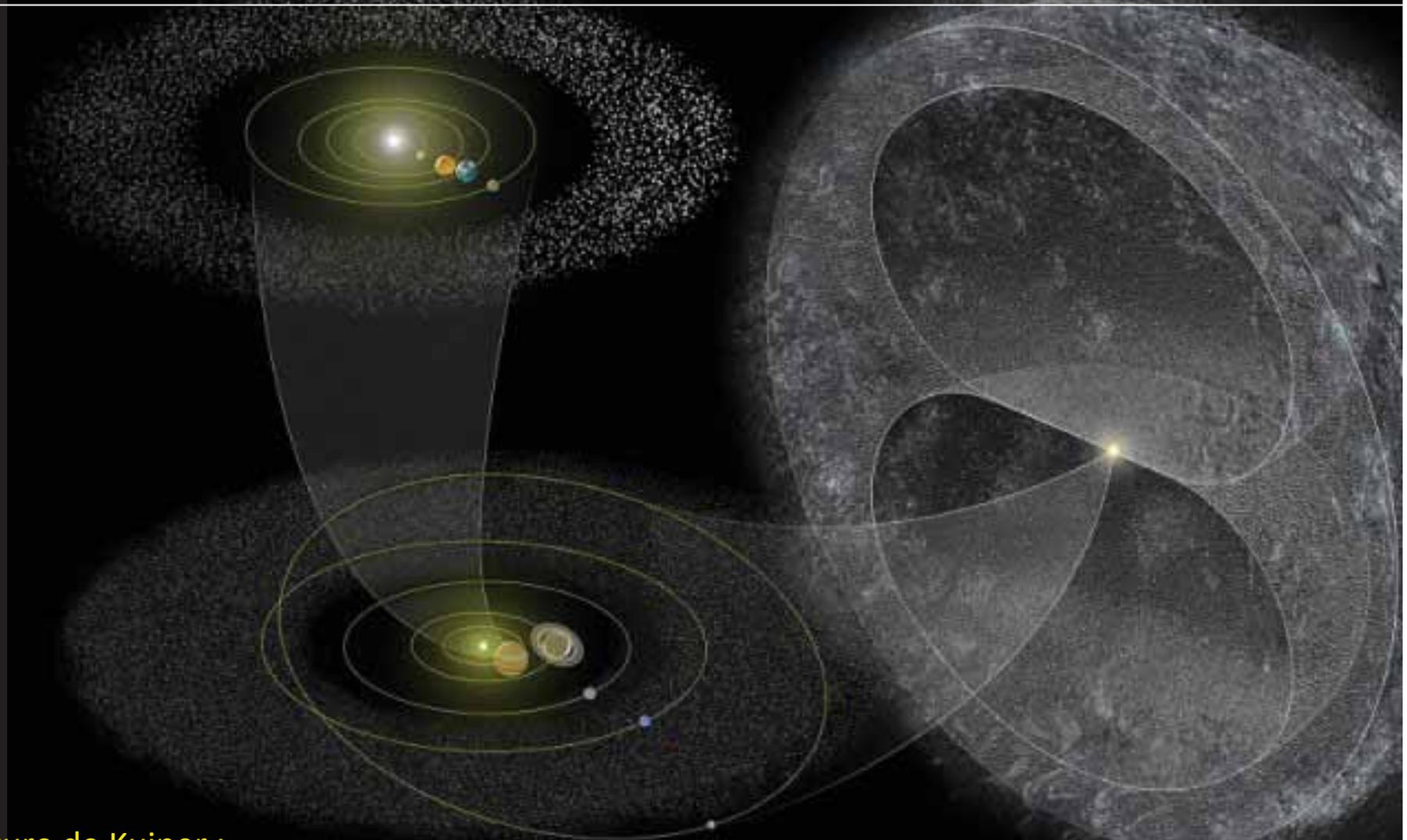
Comète Haykutake (1996)
Crédit NASA/JPL



Comète Hale-Bopp (29 mars 1997)
Par P. Salzberger, Pazin, Croatie



Comète C/2013 R1 Lovejoy
par G. Rhemann le 13 décembre 2013 à Jauerling, Autriche



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

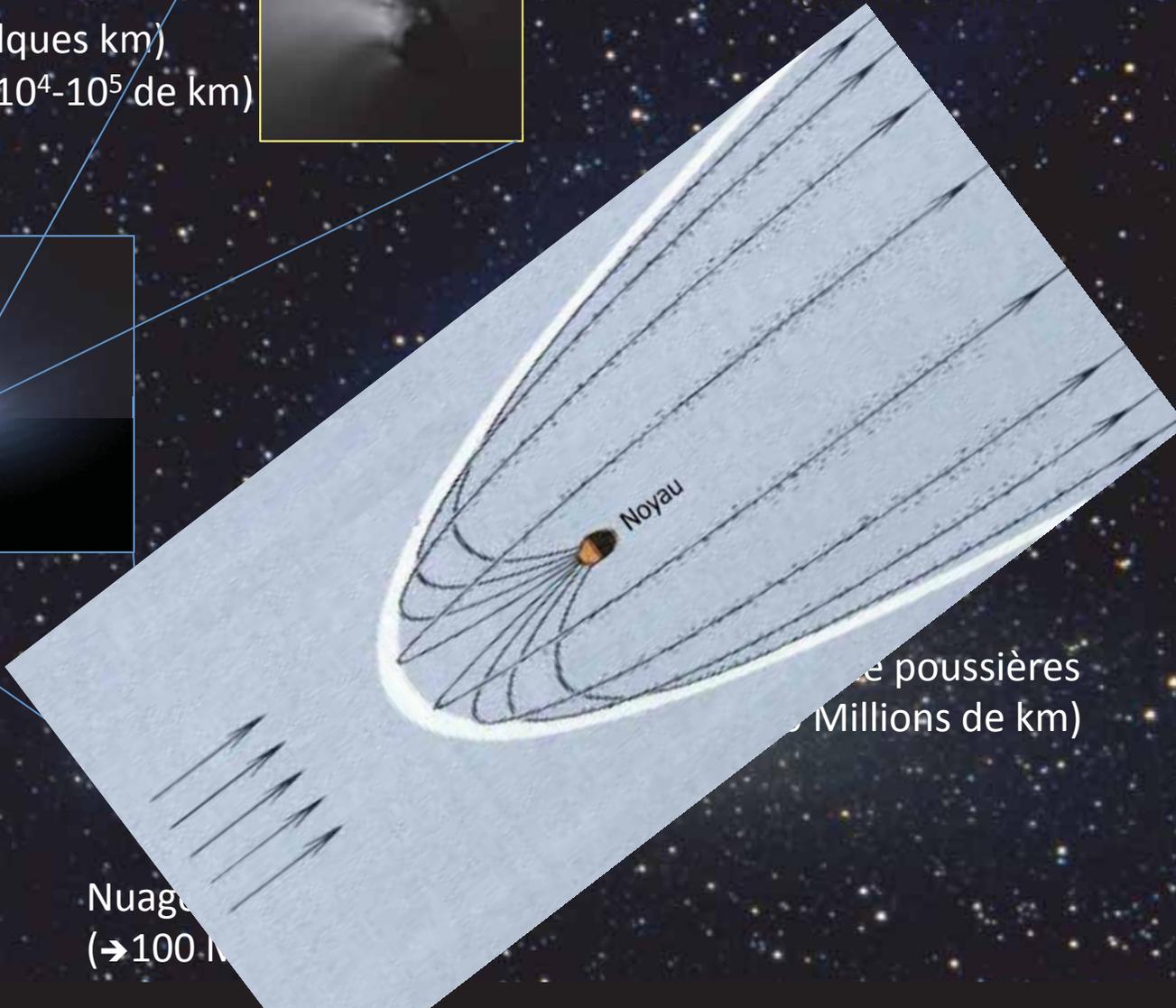
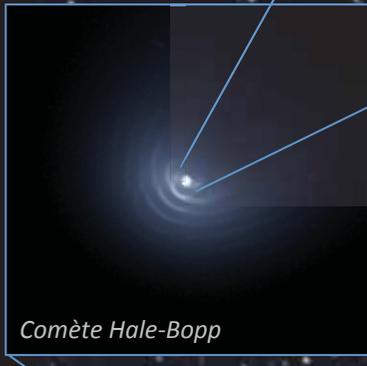
- Coquille sphérique
- Aucun n'objet n'a jamais été détecté directement dans le nuage de Oort.

Structure des comètes

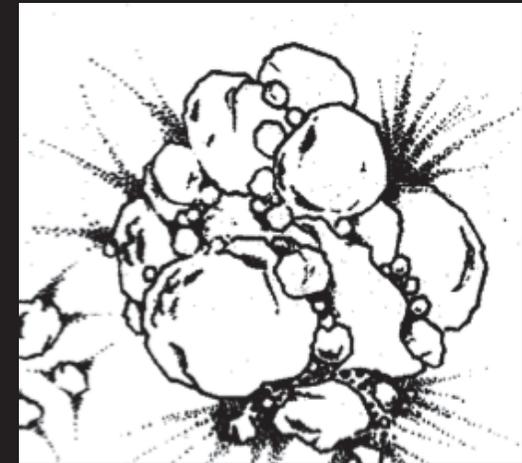
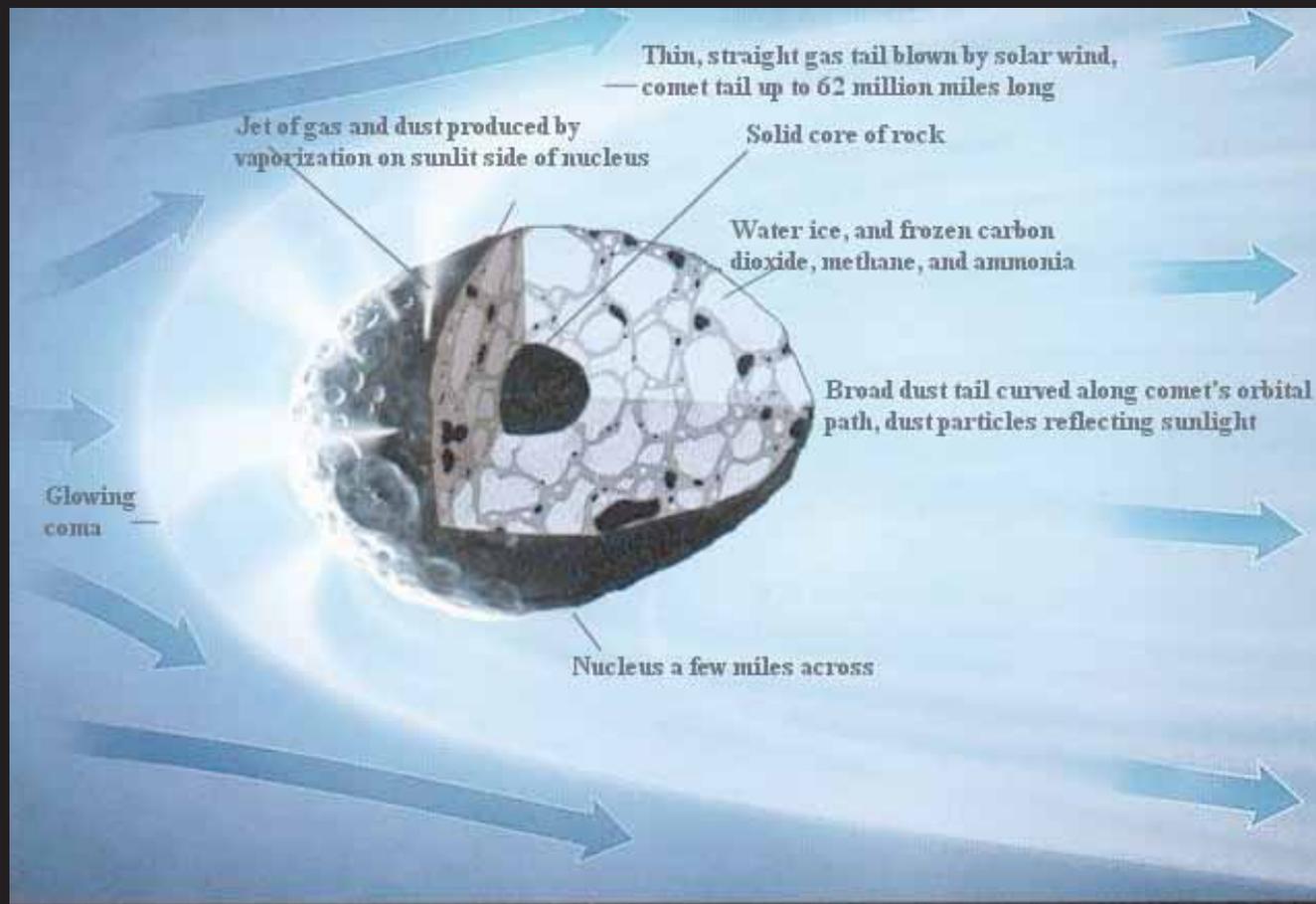
Comète Hale-Bopp (à ≈ 1 UA, avril 1997)

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.

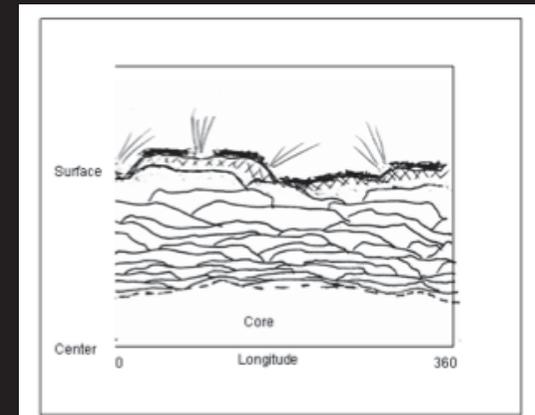
Tête:
Noyau (quelques km)
et Coma ($\sim 10^4$ - 10^5 de km)



Structure : noyaux cométaires



Modèle Rubble pile de Weissman (1986)



Modèle en strate de 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)

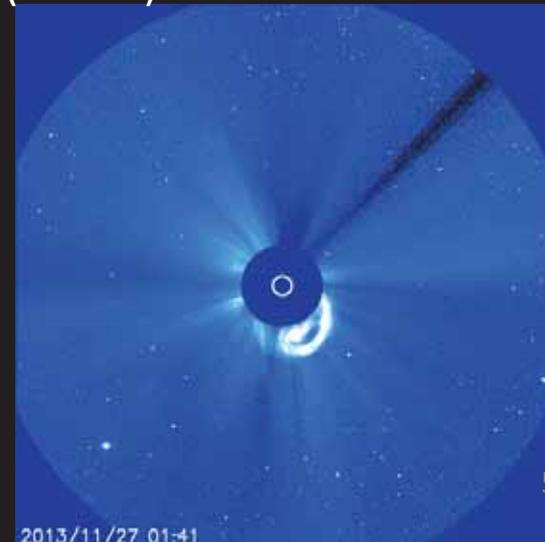


La comète C/1999S4 (LINEAR)
totalement fragmentée en juillet 2001

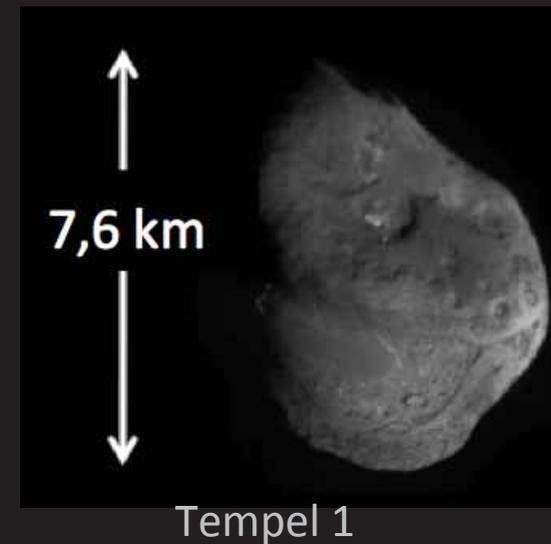
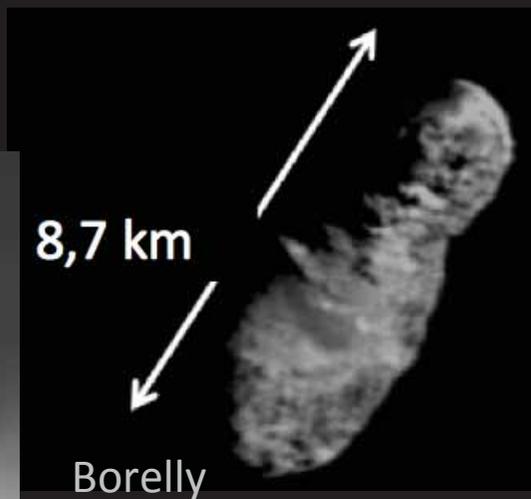
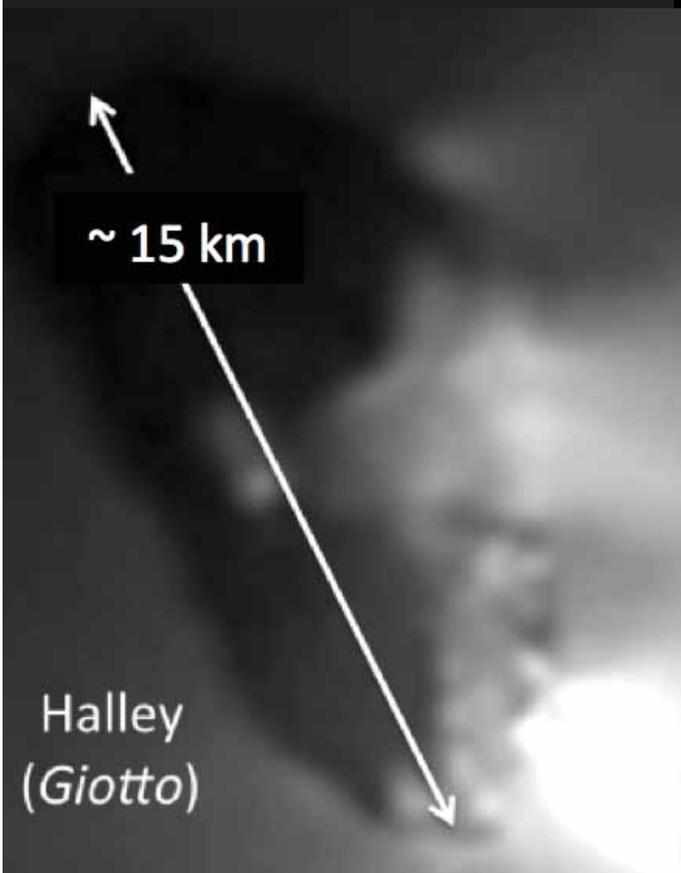
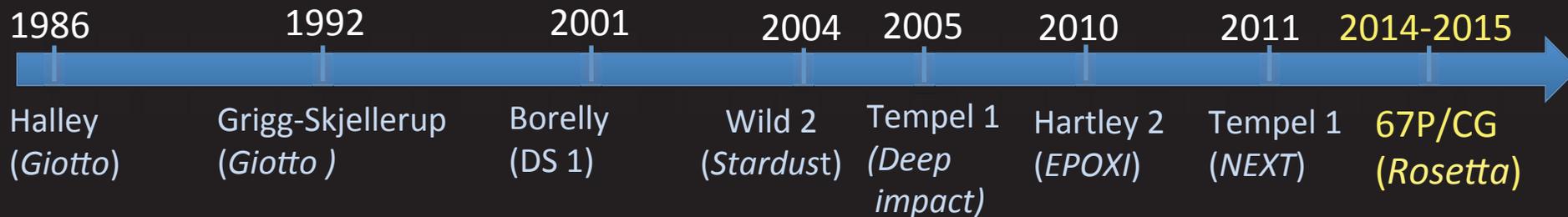


ISON ne survit pas à son passage
près du Soleil (1Mkm) en nov. 2013

(images SOHO)



Noyaux cométaires photographiés - Exploration Spatiale



Pourquoi s'intéresser aux comètes ?

Témoins des conditions physico-chimiques primordiales :

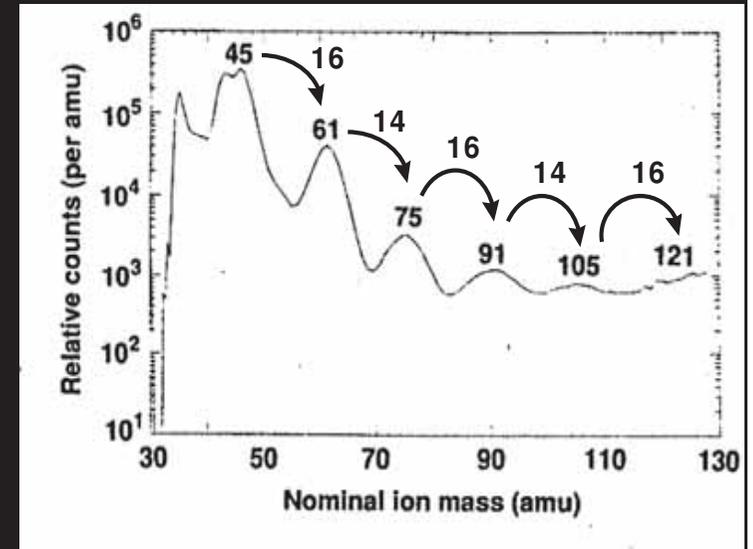
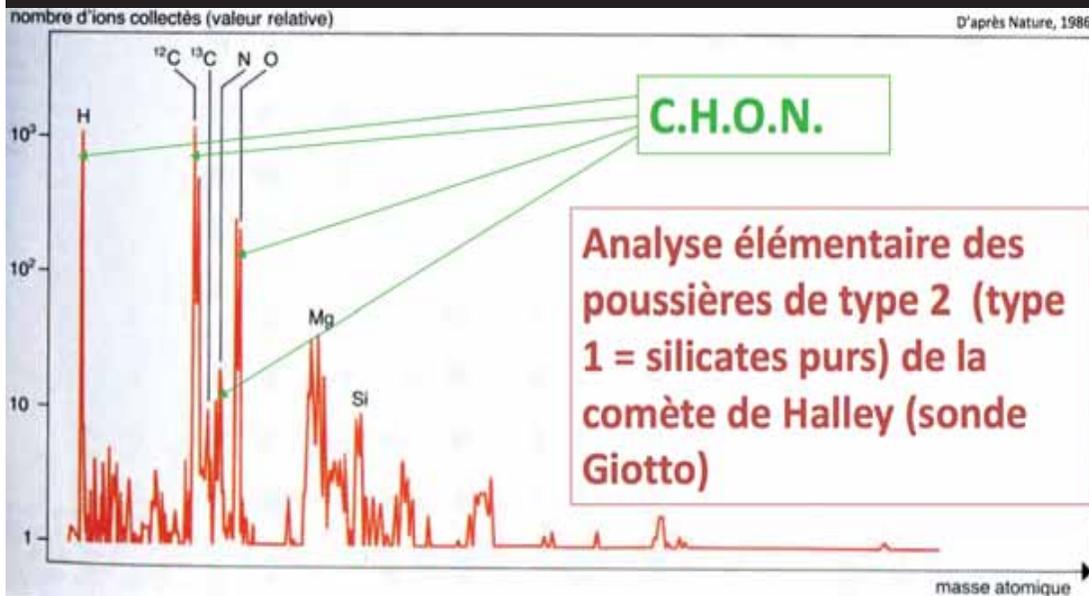
- Remonter aux origines du Système Solaire
- Composition du disque protoplanétaire
- Héritage « interstellaire »? (nuage protosolaire)
- Comprendre la formation des planètes
- Source de l'eau sur Terre ?
- Apport de matière organique prébiotique sur Terre ?



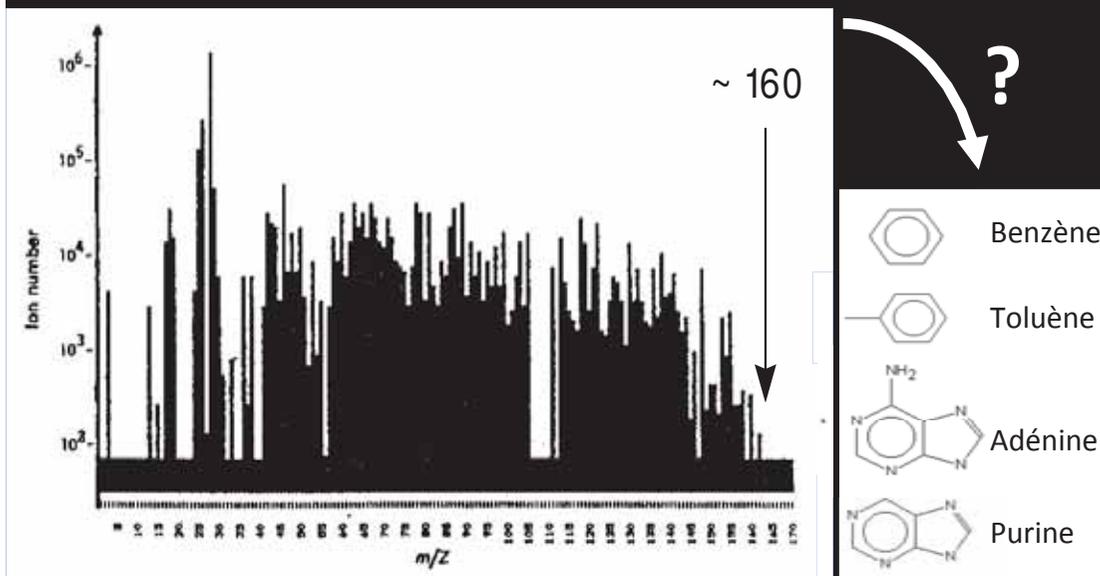
Comète Wild 2



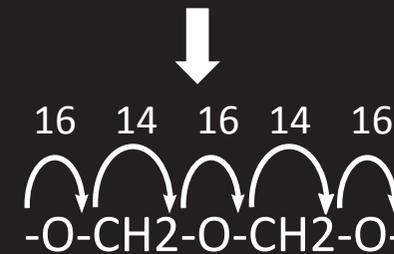
Comète de Halley (1986) Poussières ionisées par impact sur une plaque d'argent



Spectre de masse collecté par l'instrument PICCA à bord de la sonde Giotto entre 8 200 et 12 600 km du noyau de la comète de Halley (Huebner, 1987)



Spectres de masses cumulés obtenus pour la comète de Halley par l'instrument PUMA à bord de la sonde VEGA-1 (Kissel & Krueger, 1987)

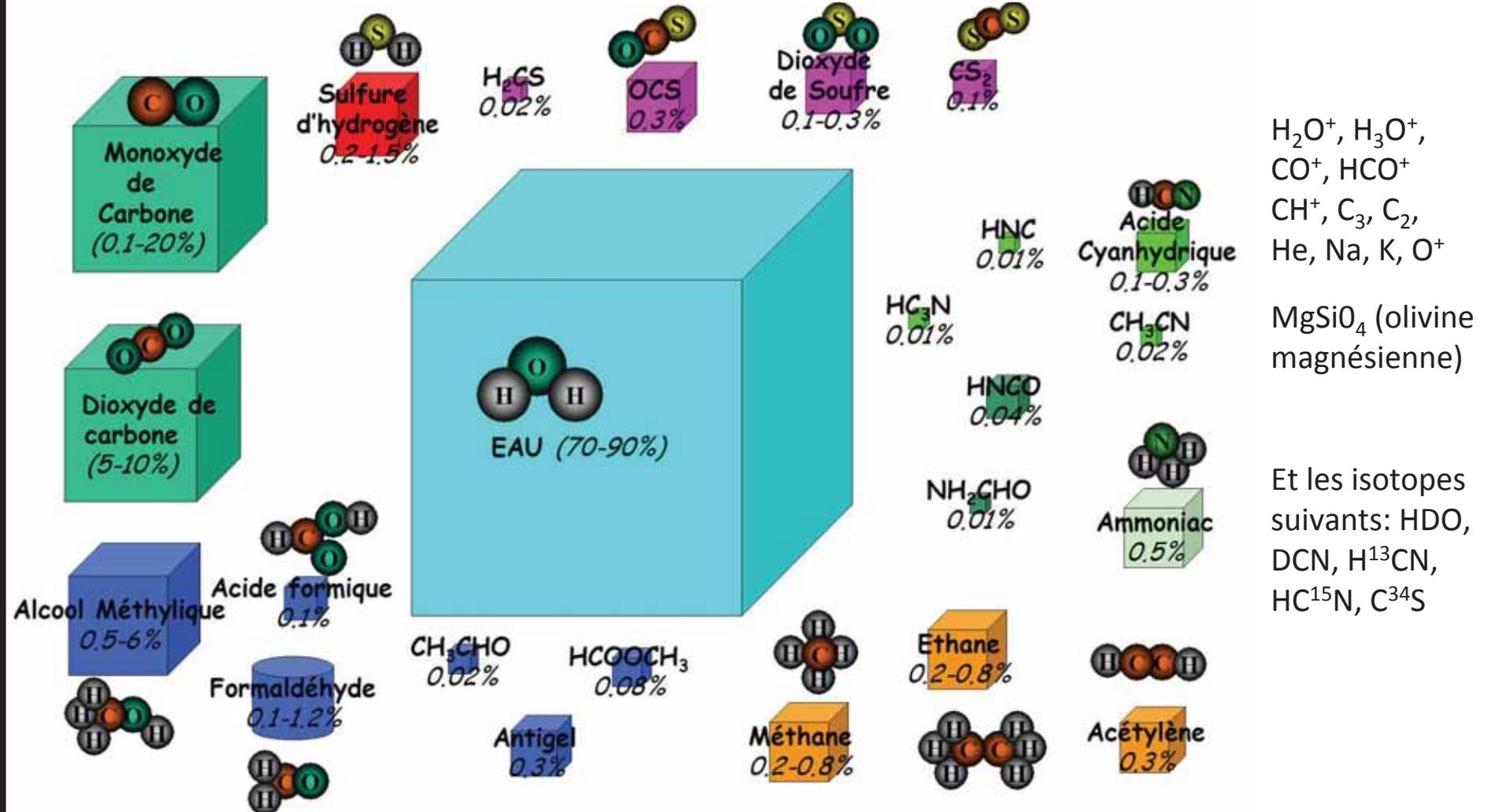


C.H.O.N., initiales qui ravissent n'importe quels biologistes, chimistes et géologues !

Composition 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



Beaucoup de composés carbonés dans les gaz et poussières cométaires

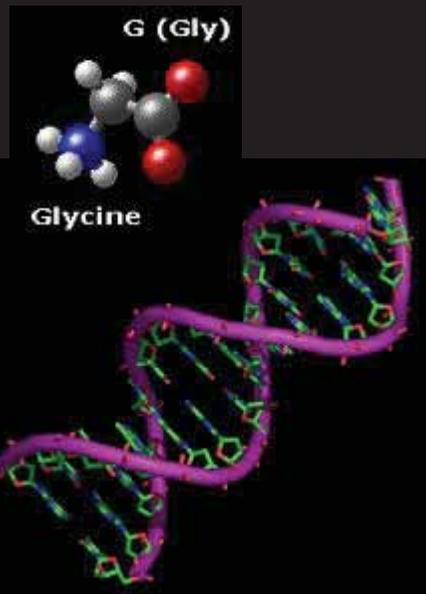
Composition des comètes : un monde de glace ... et de feu

Roches: Matière organique, et minéraux formés à haute température

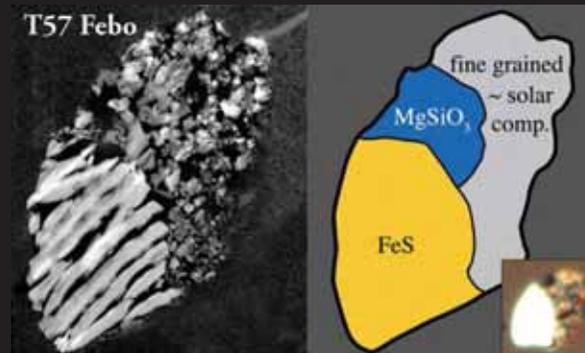
Mission Stardust/NASA vers la comète Wild 2 en 2004 : retour d'échantillons en 2006



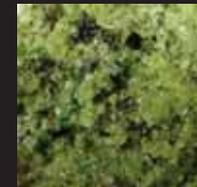
Présence de la glycine dans les grains



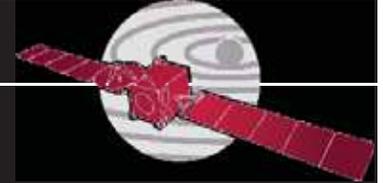
Grain 8 μm : pyrrhotite (FeS), enstatite (pyroxène magnésien) & agrégat μgrains composition globale des CC (ie compo solaire)



Olivine cristalline (forstérite)



La Mission Rosetta/ESA



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

Charge utile 165 kg + 100 kg Lander

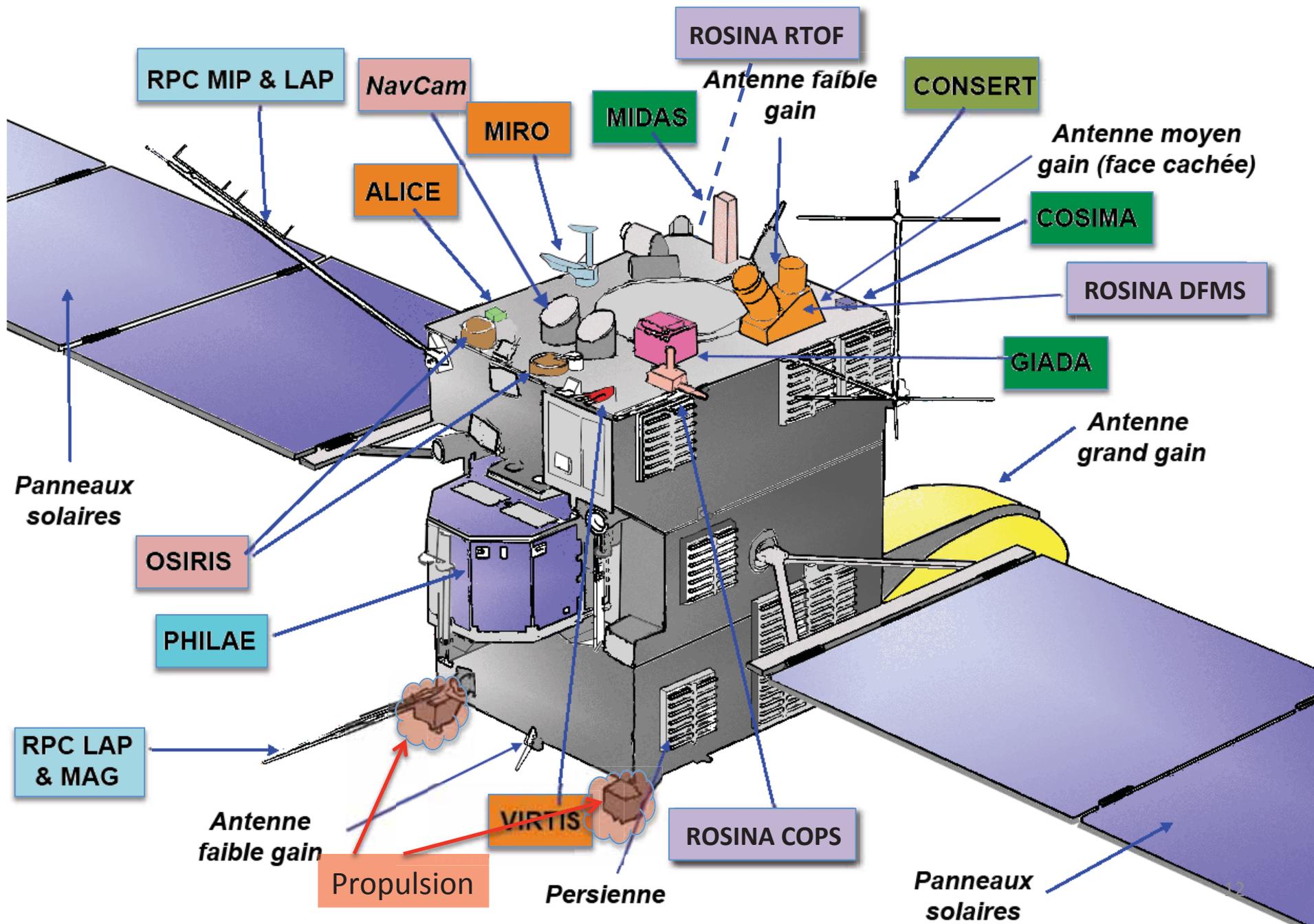
Dimensions: 2,8m × 2,1m × 2,0m

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

Constructeur: EADS-Astrium (Airbus Defense & Space)

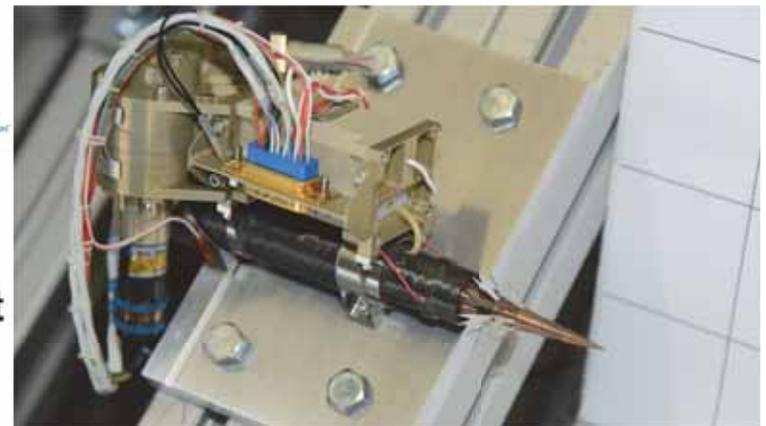
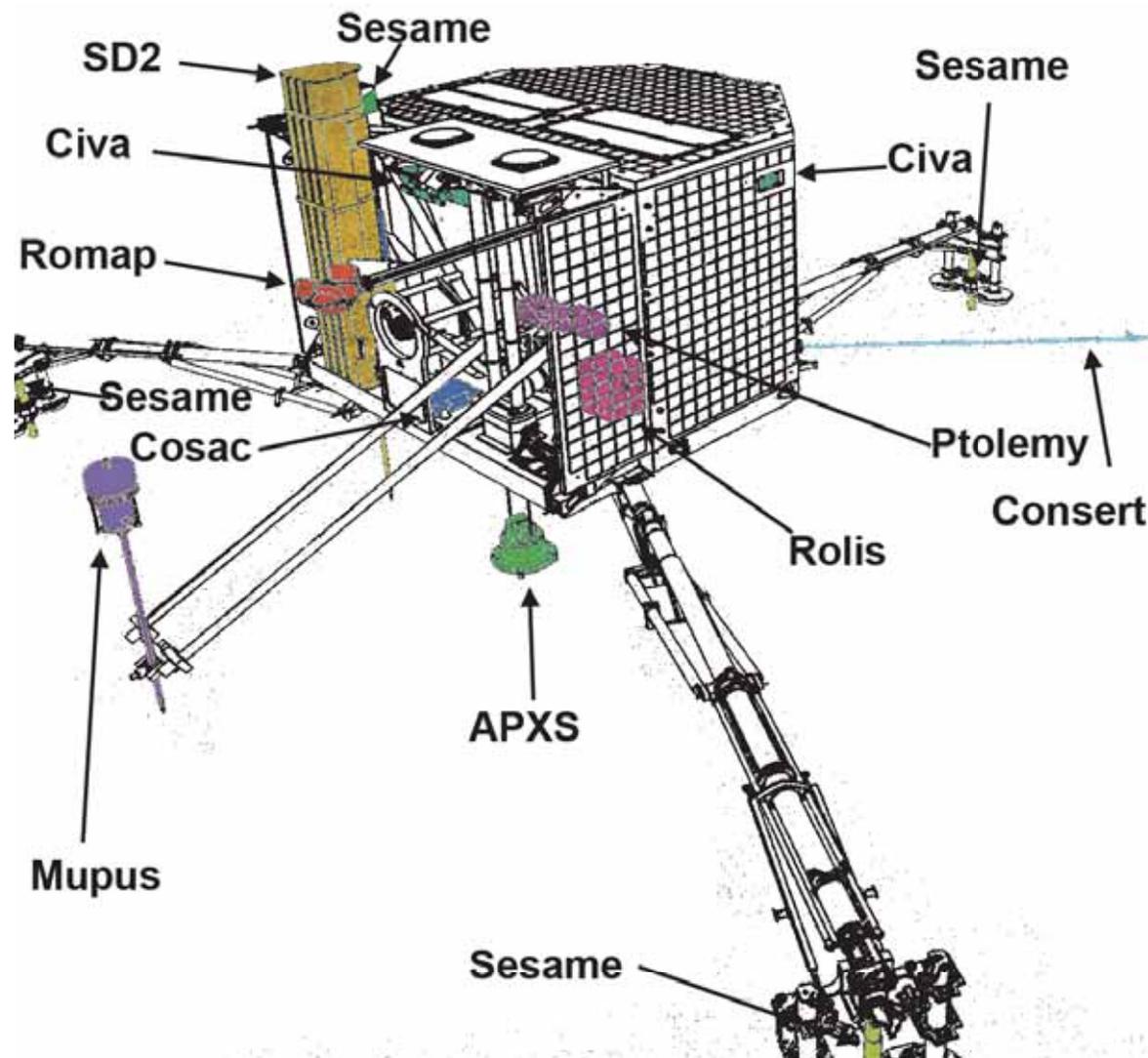


11 Instruments sur l'orbiteur Rosetta + Philae:

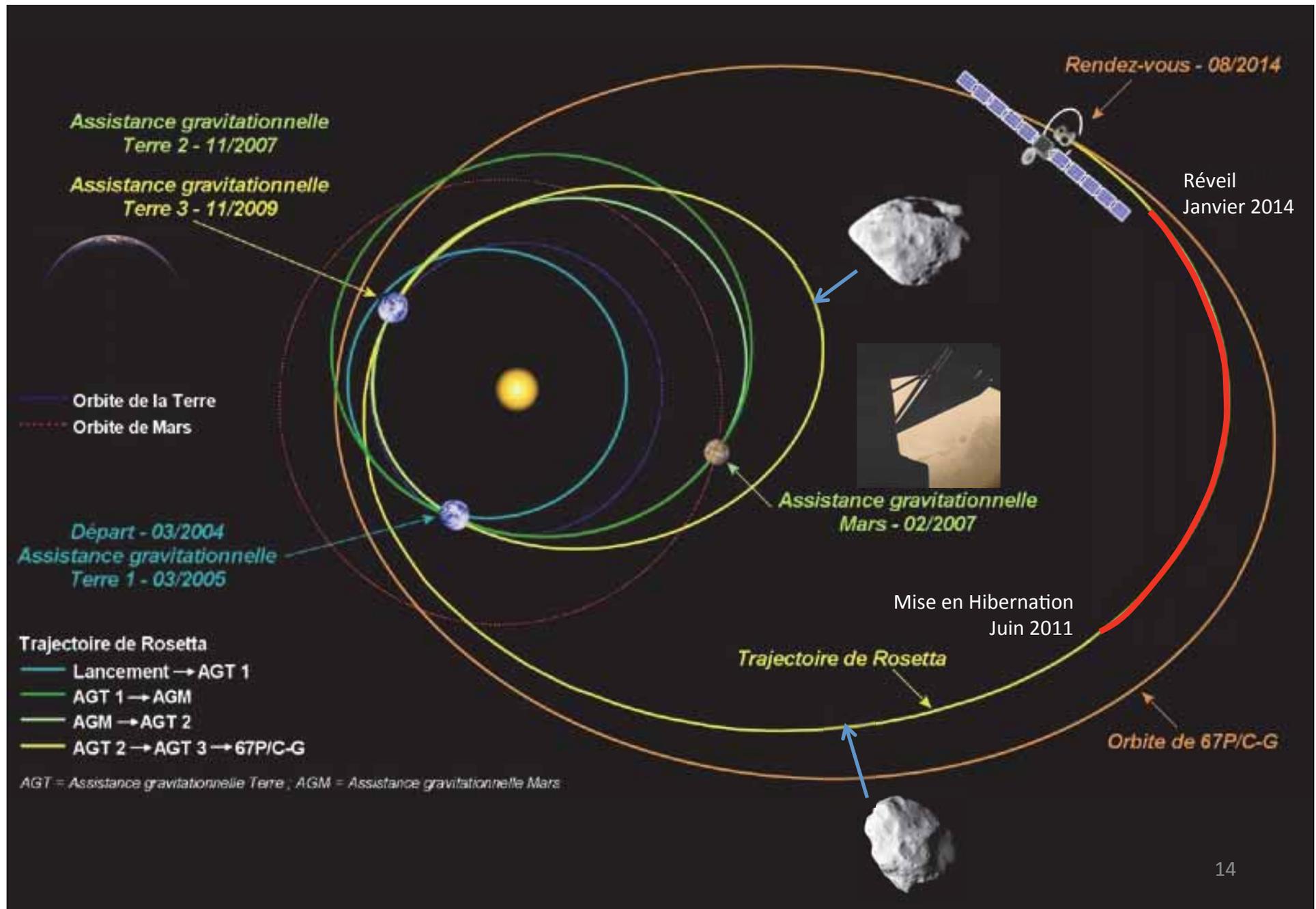


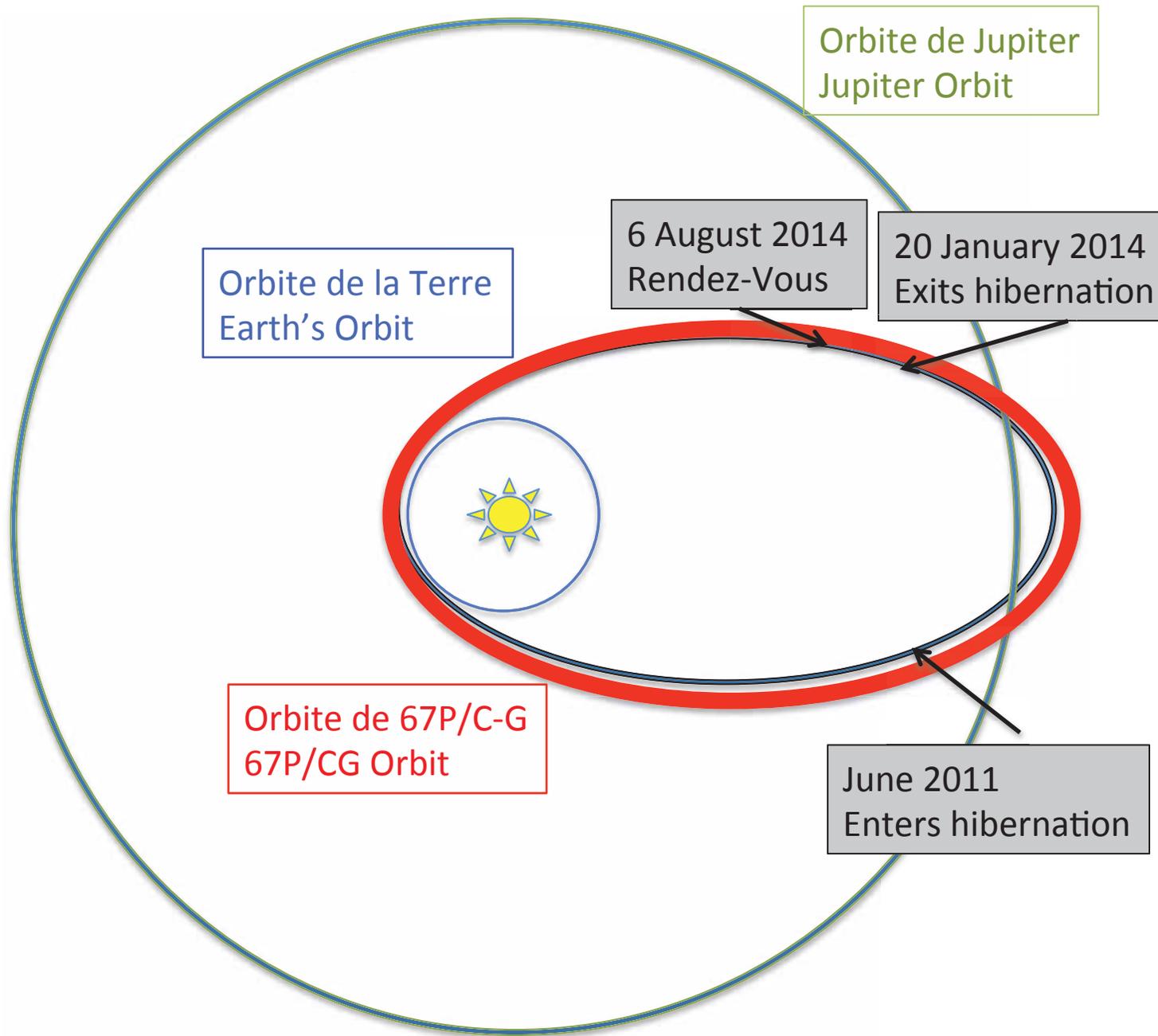
10 Instruments sur le lander Philae:

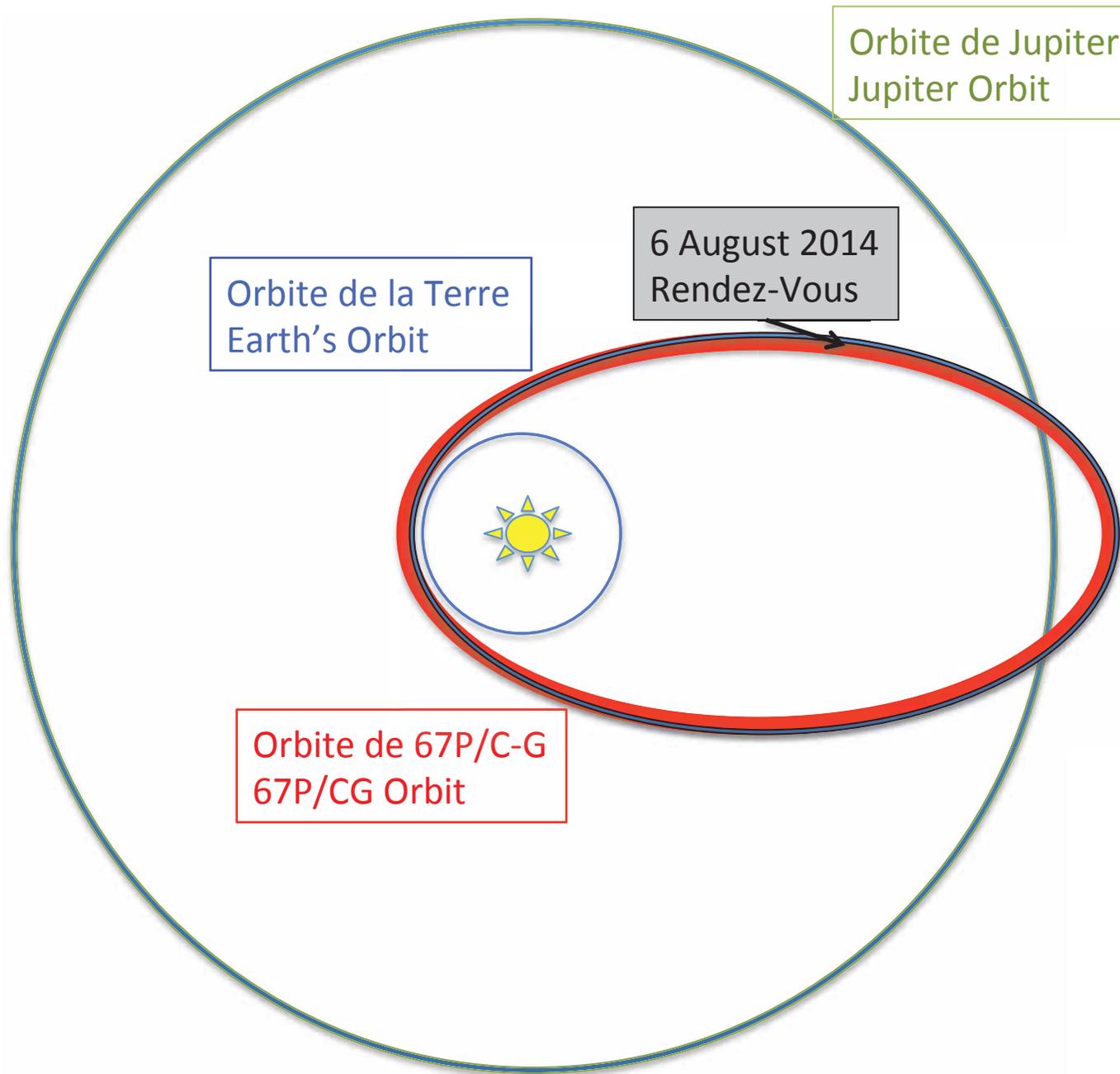
100 kg dont 21 kg d'instruments scientifiques



10 ans de trajectoire complexe, avec 4 assistances gravitationnelles





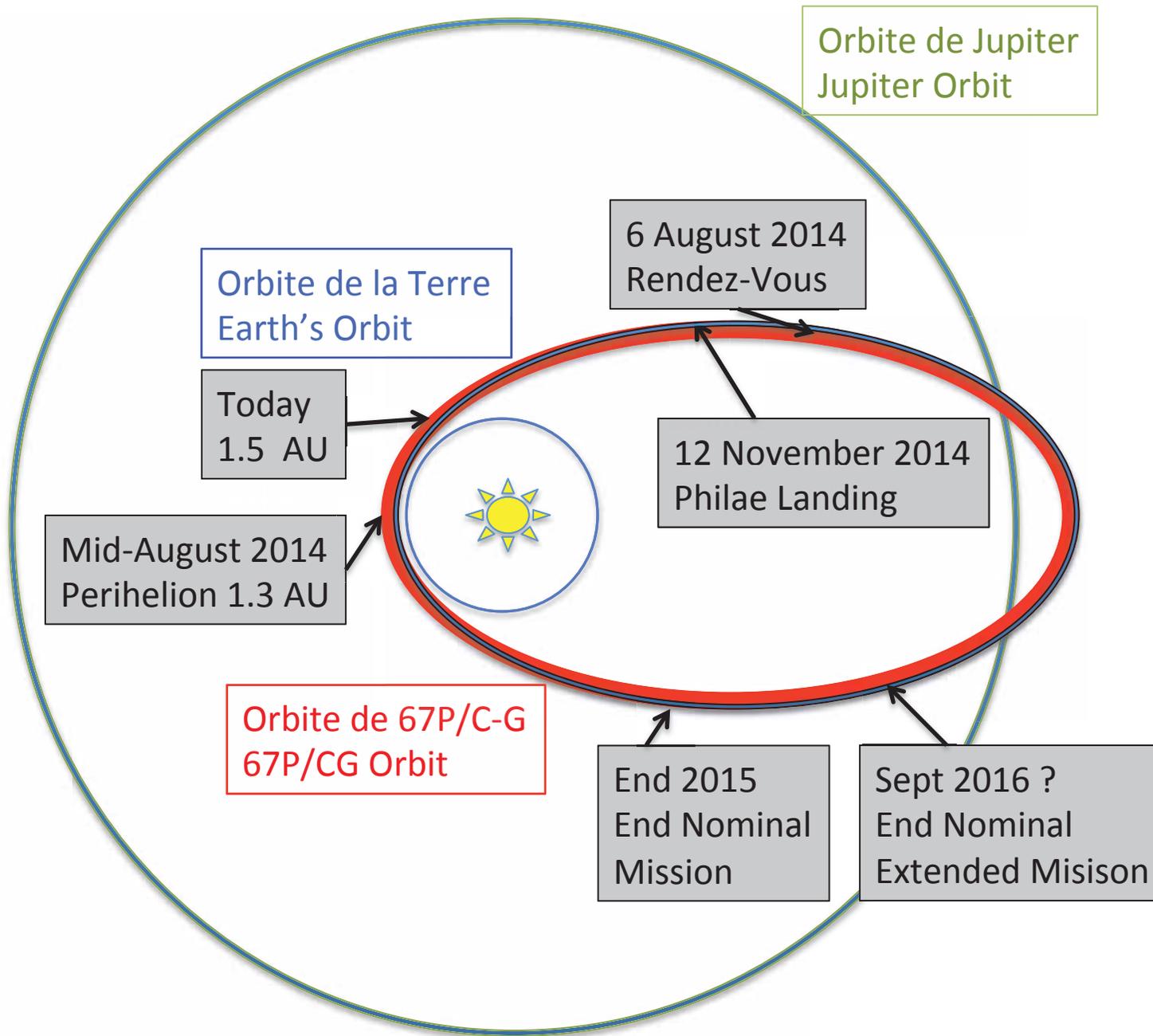


Orbite de Jupiter
Jupiter Orbit

Orbite de la Terre
Earth's Orbit

6 August 2014
Rendez-Vous

Orbite de 67P/C-G
67P/CG Orbit



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

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

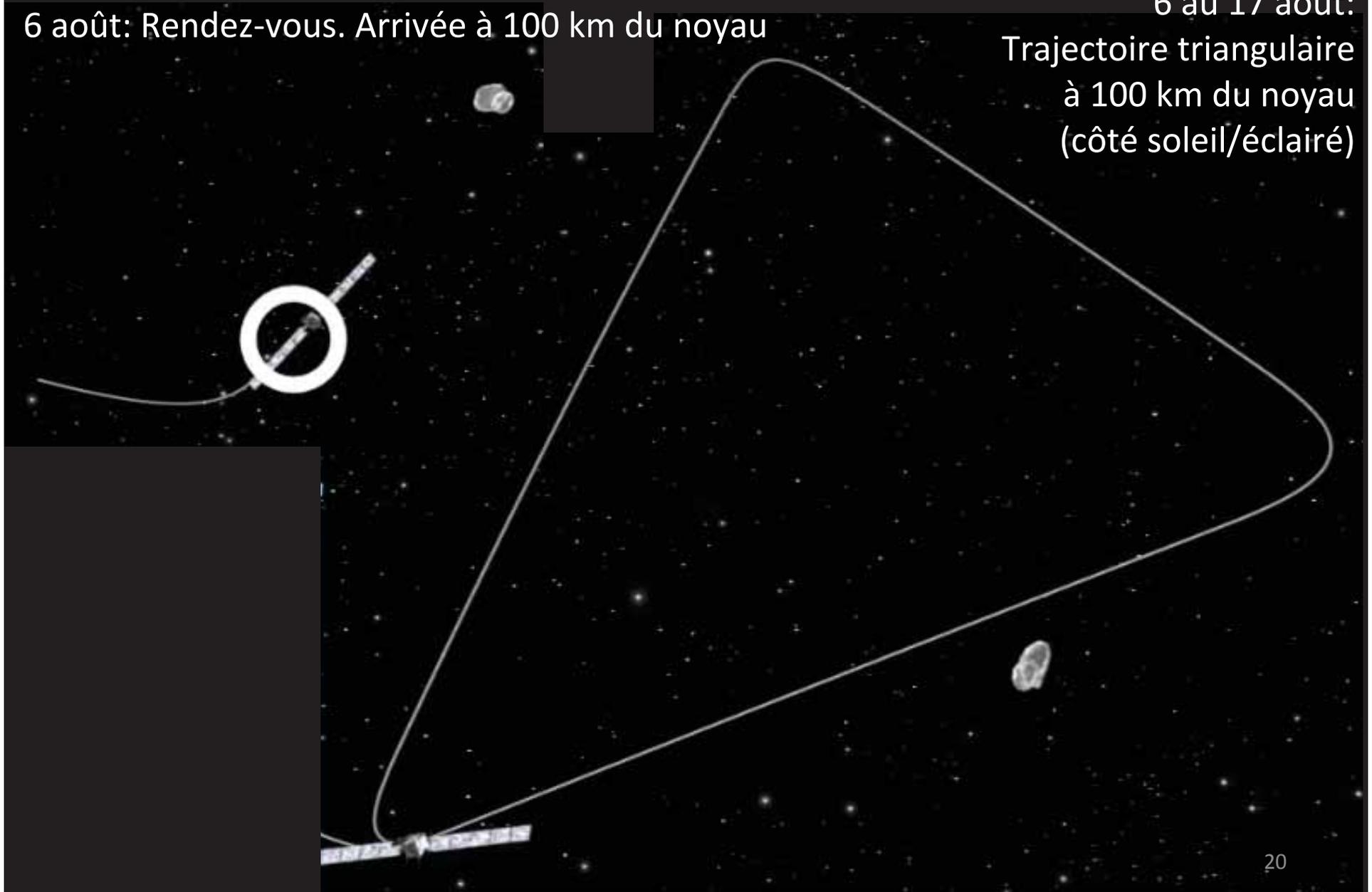


Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près ...

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

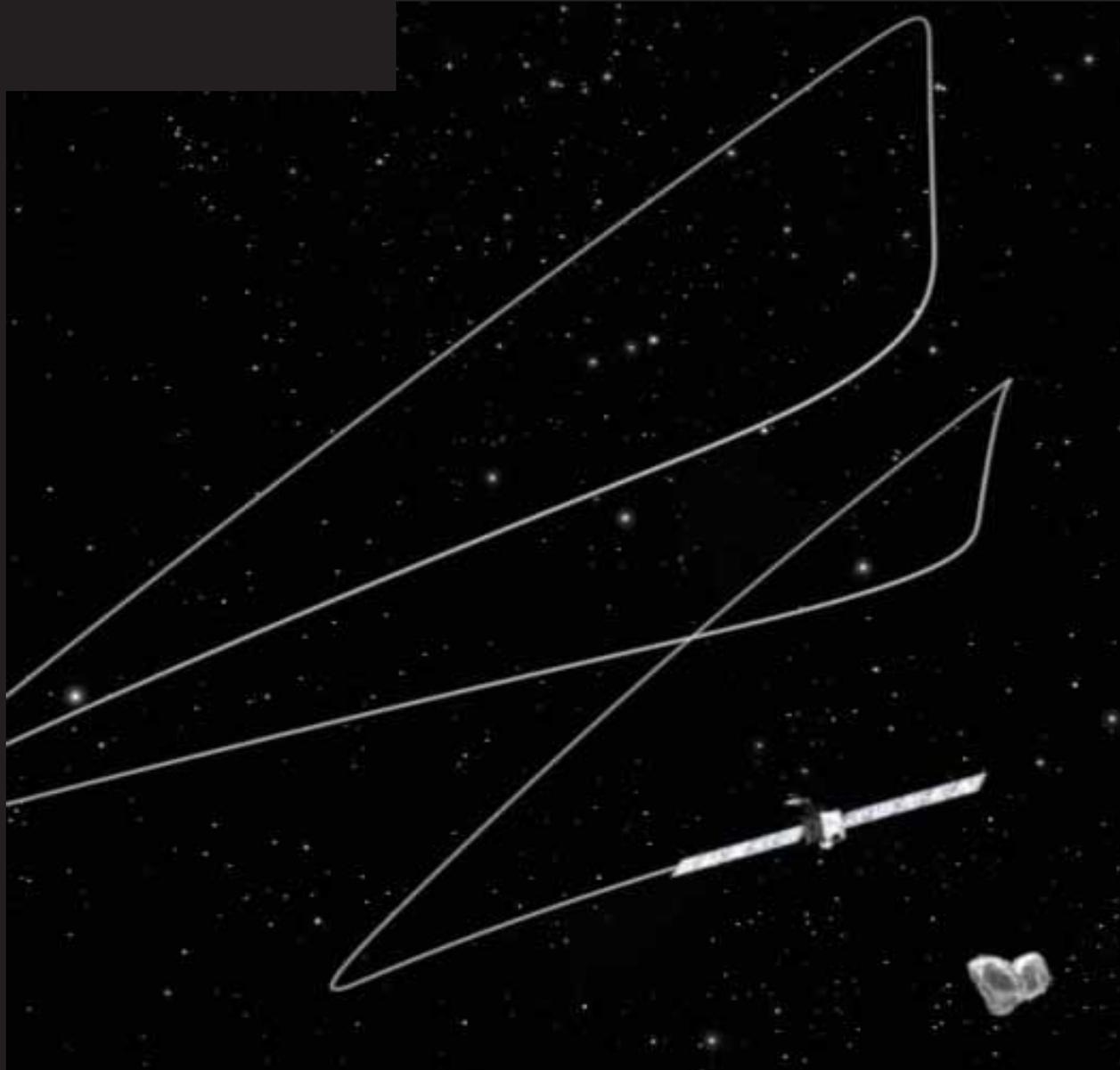
6 au 17 août:
Trajectoire triangulaire
à 100 km du noyau
(côté soleil/éclairé)



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

Août-Septembre: Observation de près ...

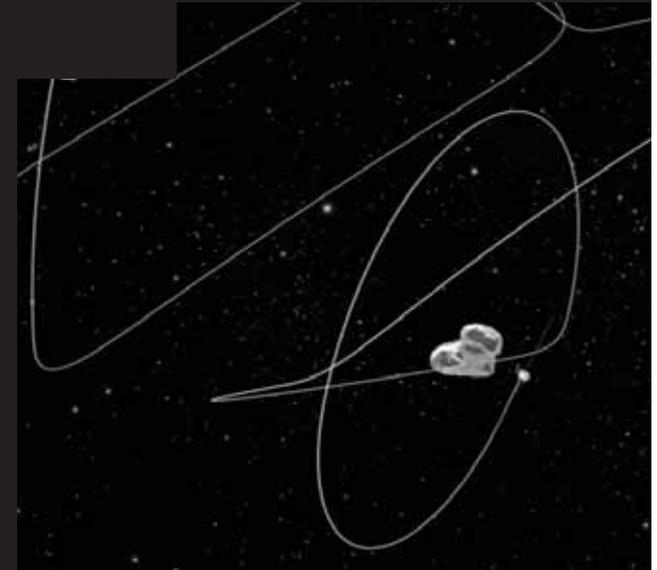
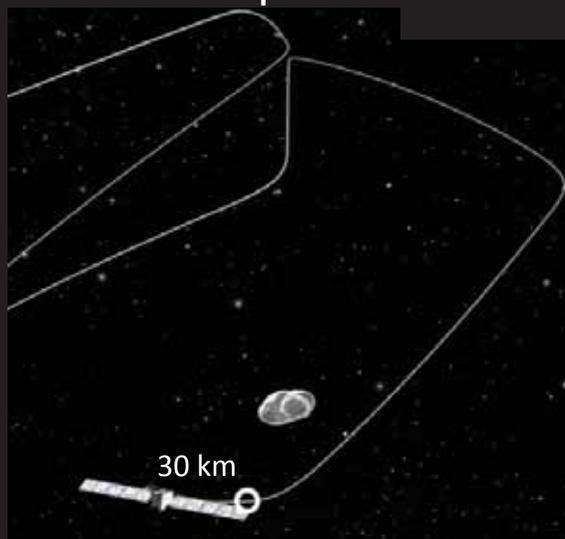
20 août au 3 septembre: Trajectoire triangulaire à 80 km du noyau



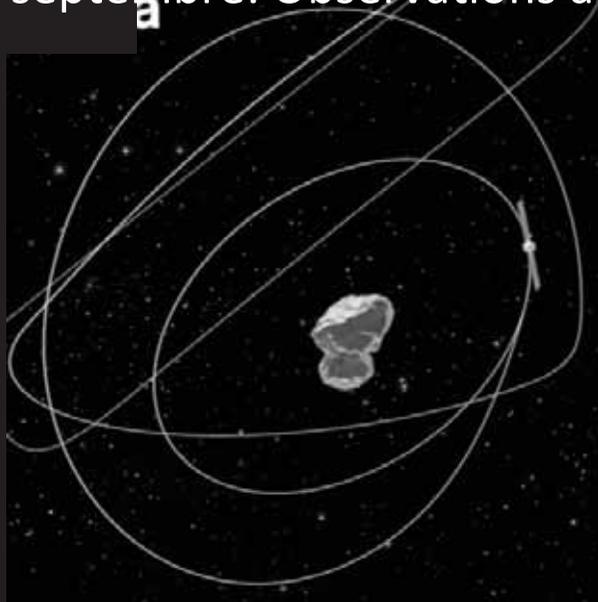
Programme de 2014 après le réveil de Rosetta le 20 janvier 2014

Août-Septembre: Observation de près ...

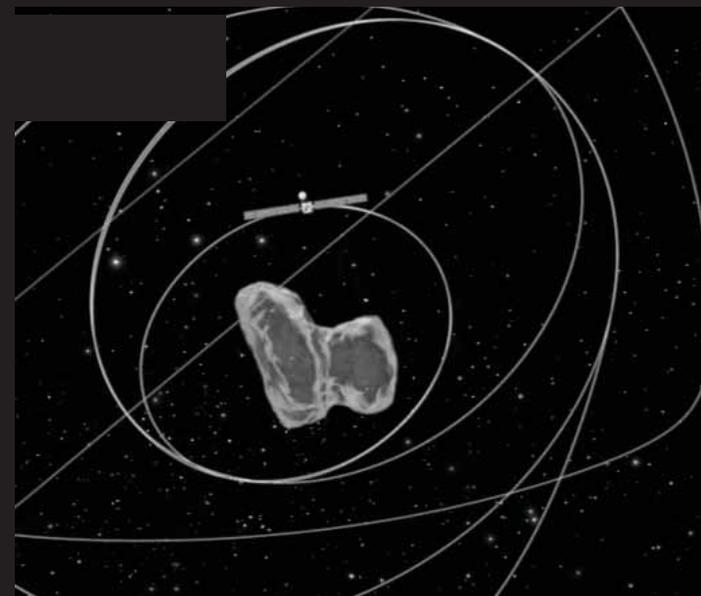
10 au 28 septembre: Cartographie globale à 30 km



29 septembre: Observations à 20 km



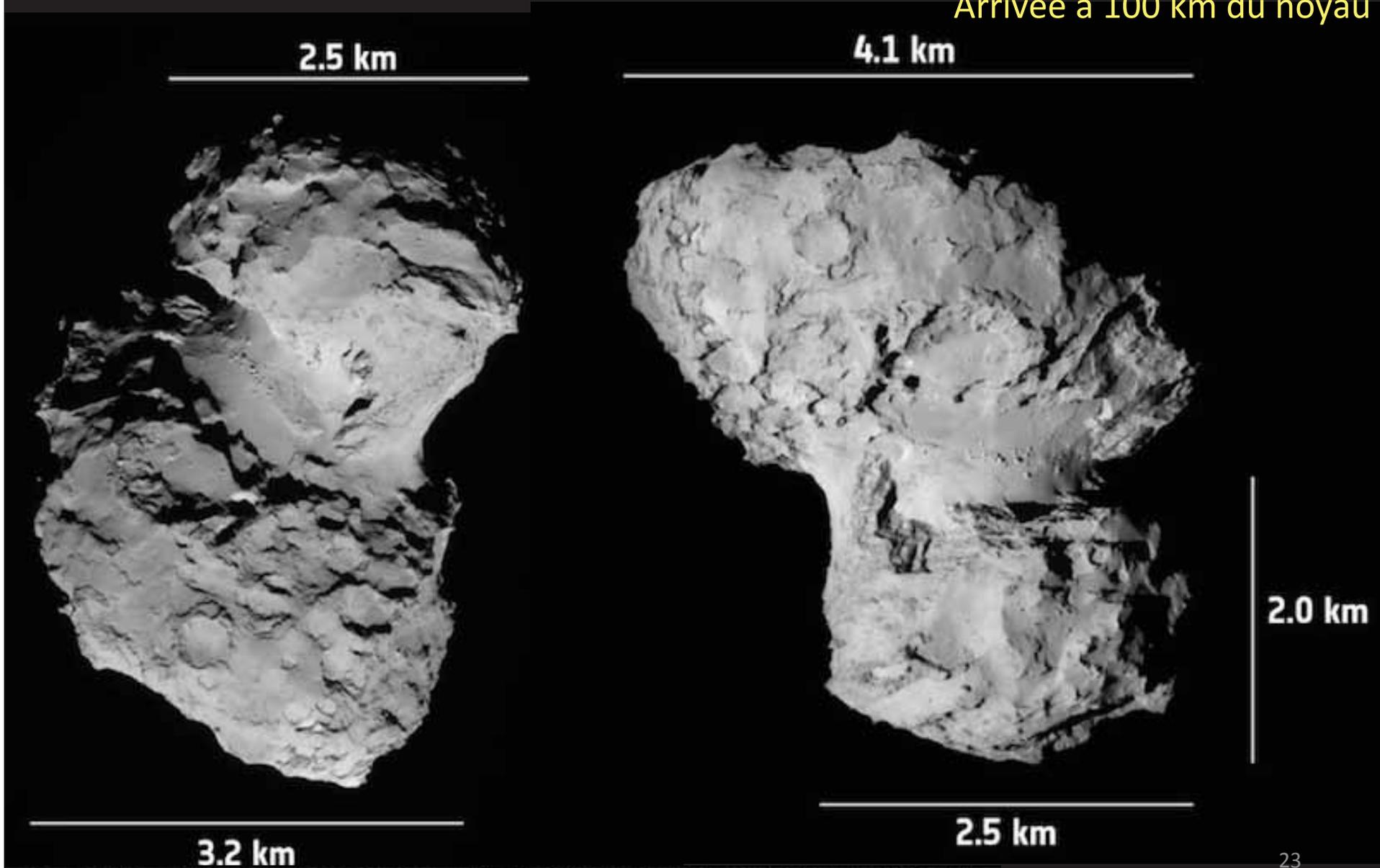
10 octobre: Observations à 10 km



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



OSIRIS/Rosetta/ESA
7 août 2014

Falaise de
900m qui
surplombe le
« cou »

Des blocs et
des éboulis en
bas du « cou »
... mais avec
une gravité si
faible

à ~ 3,32 AU du Soleil
à ~ 3 AU de la Terre

Image haute résolution
avec de beaux jets de
vapeurs et de poussières



Navcam 26 sept. 2014

25
Credits: ESA/Rosetta

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

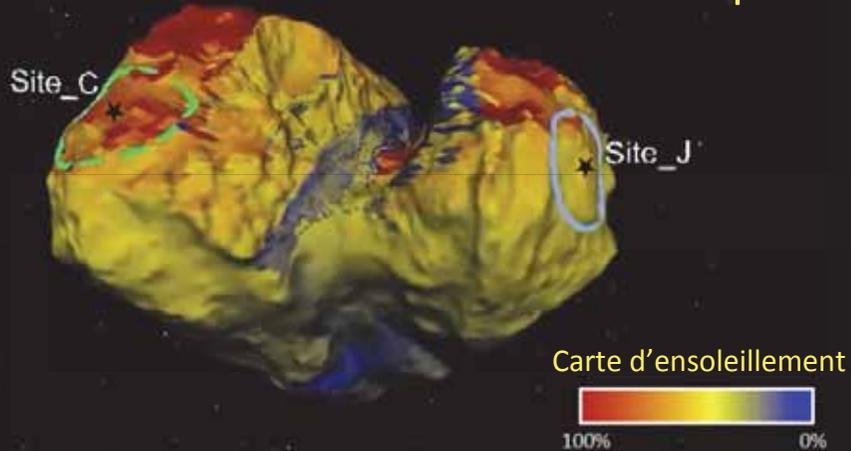
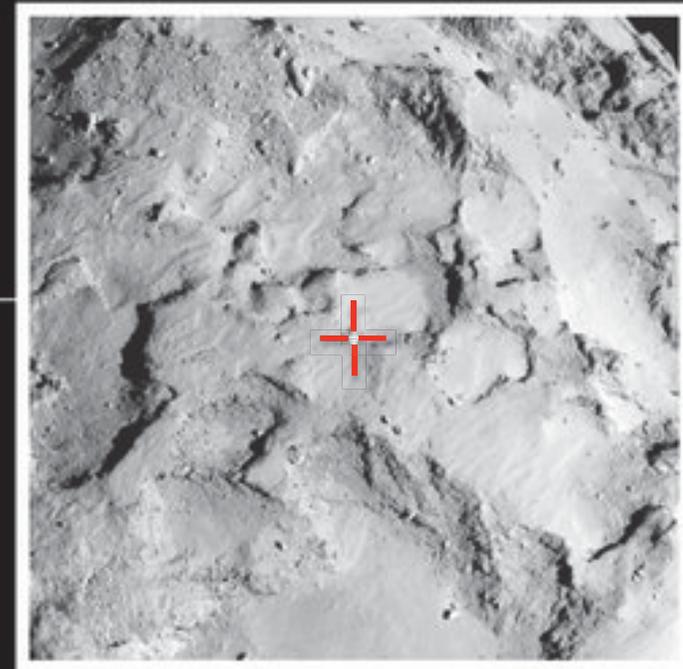


image OSIRIS petit champ prise le 2 Sept. 2014
(5 semaines avant la séparation Rosetta/Philae)
à une distance de 50 km de la surface



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

Novembre: Atterrissage de Philae ...

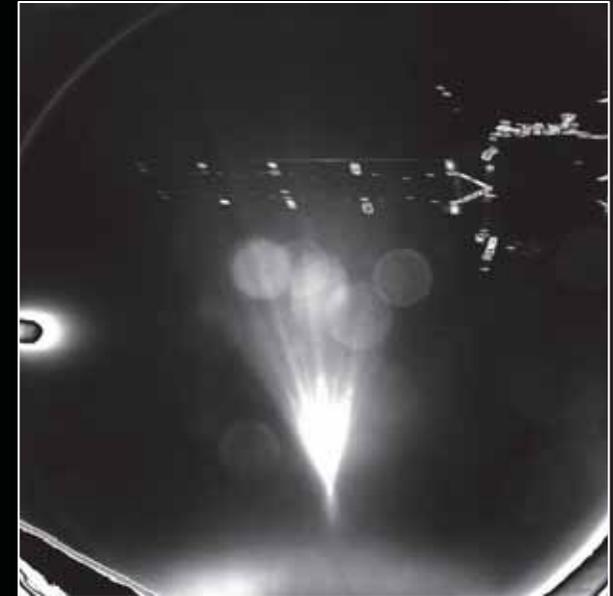
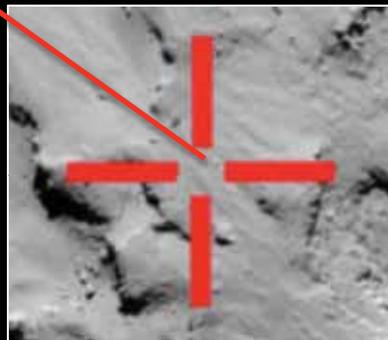
(Philae descent à $\approx 95 \text{ cm/s} = 3,4 \text{ km/h}$)



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**

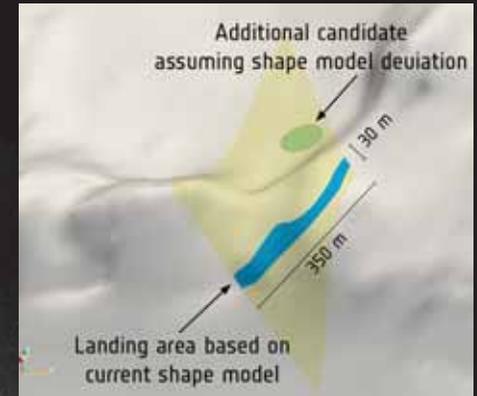
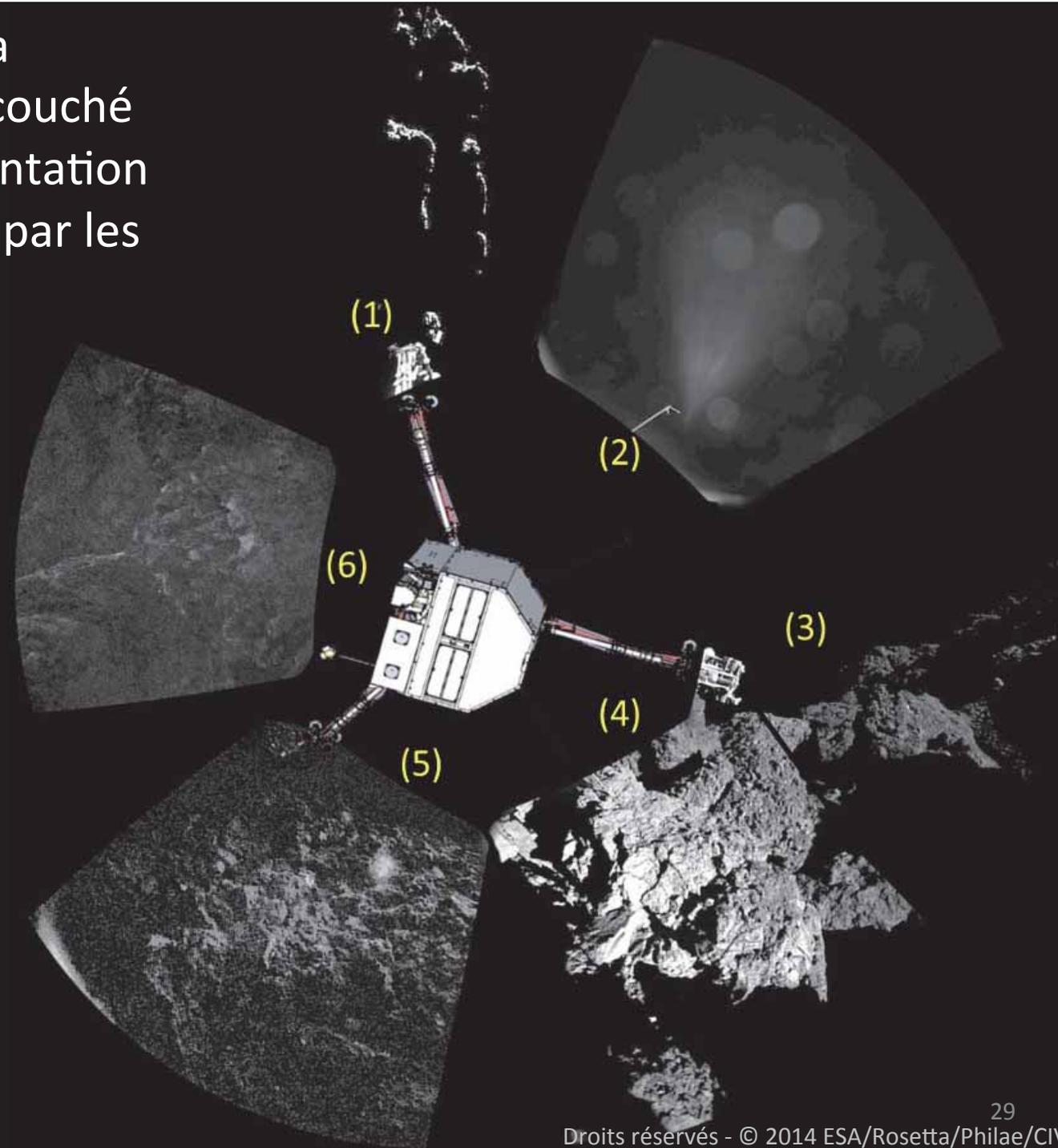
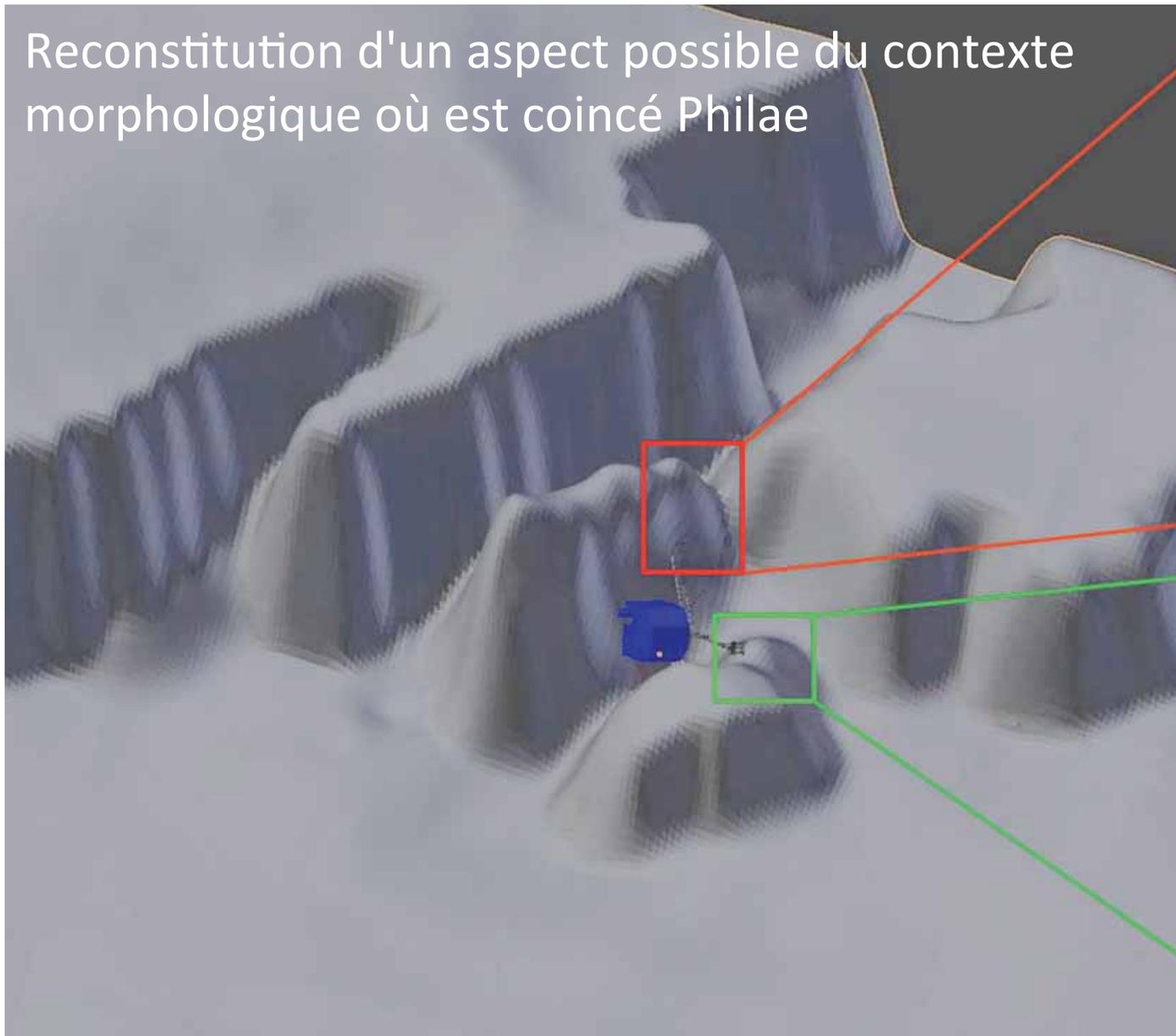


Schéma montrant la position de Philae, couché sur le flanc, et l'orientation des 6 images prises par les caméras CIVA



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



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



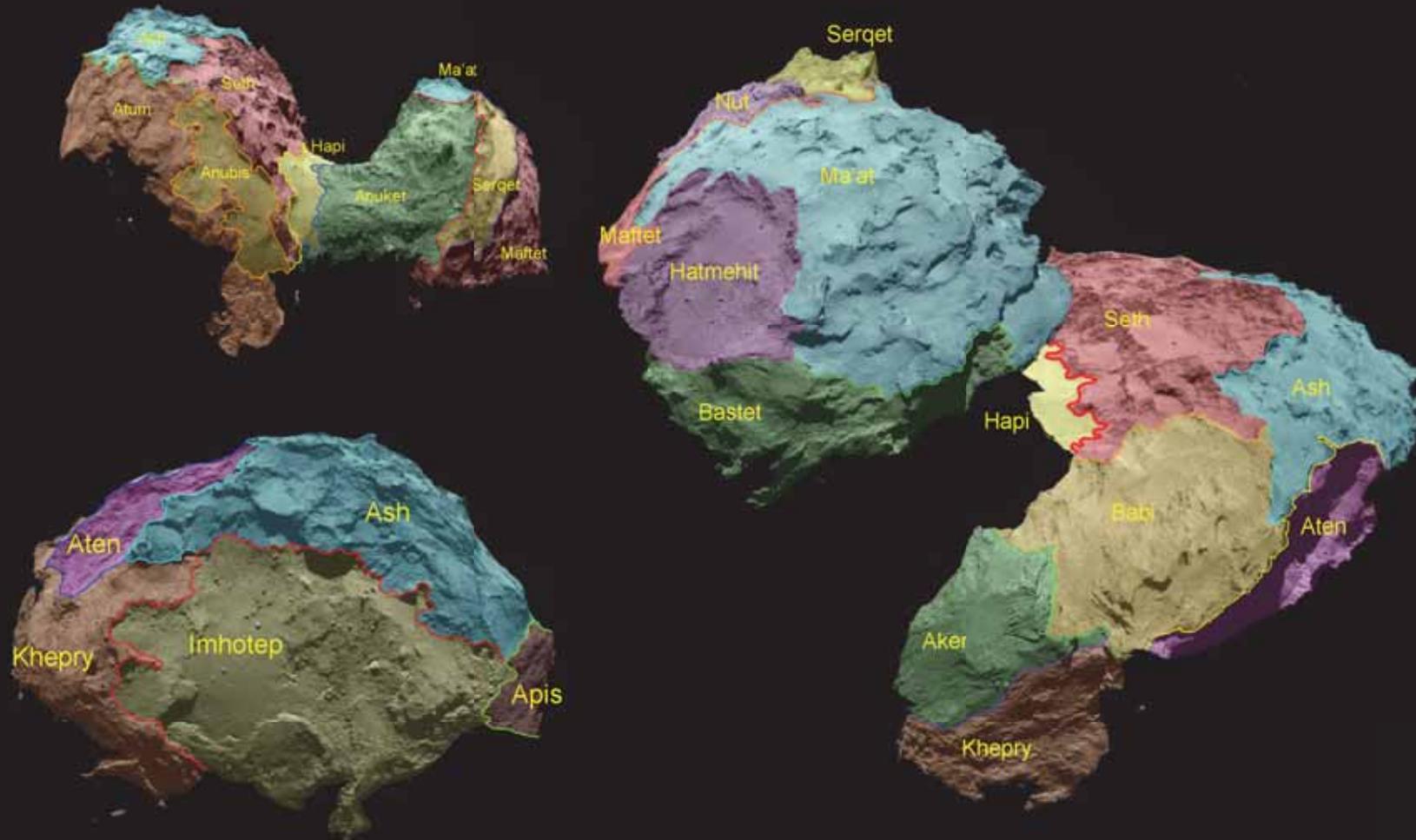
Mosaïque de 2 images (3 et 4)
couvrant la paroi éclairée par le
Soleil

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

Les 1^{er} résultats des instruments de l'orbiteur (Août à Novembre 2014)

Caméra OSIRIS => cartographie de la « Chury » :

Découpage de la surface visible en **19 régions distinctes** et **5 catégories** en fonction de la morphologie de la surface.

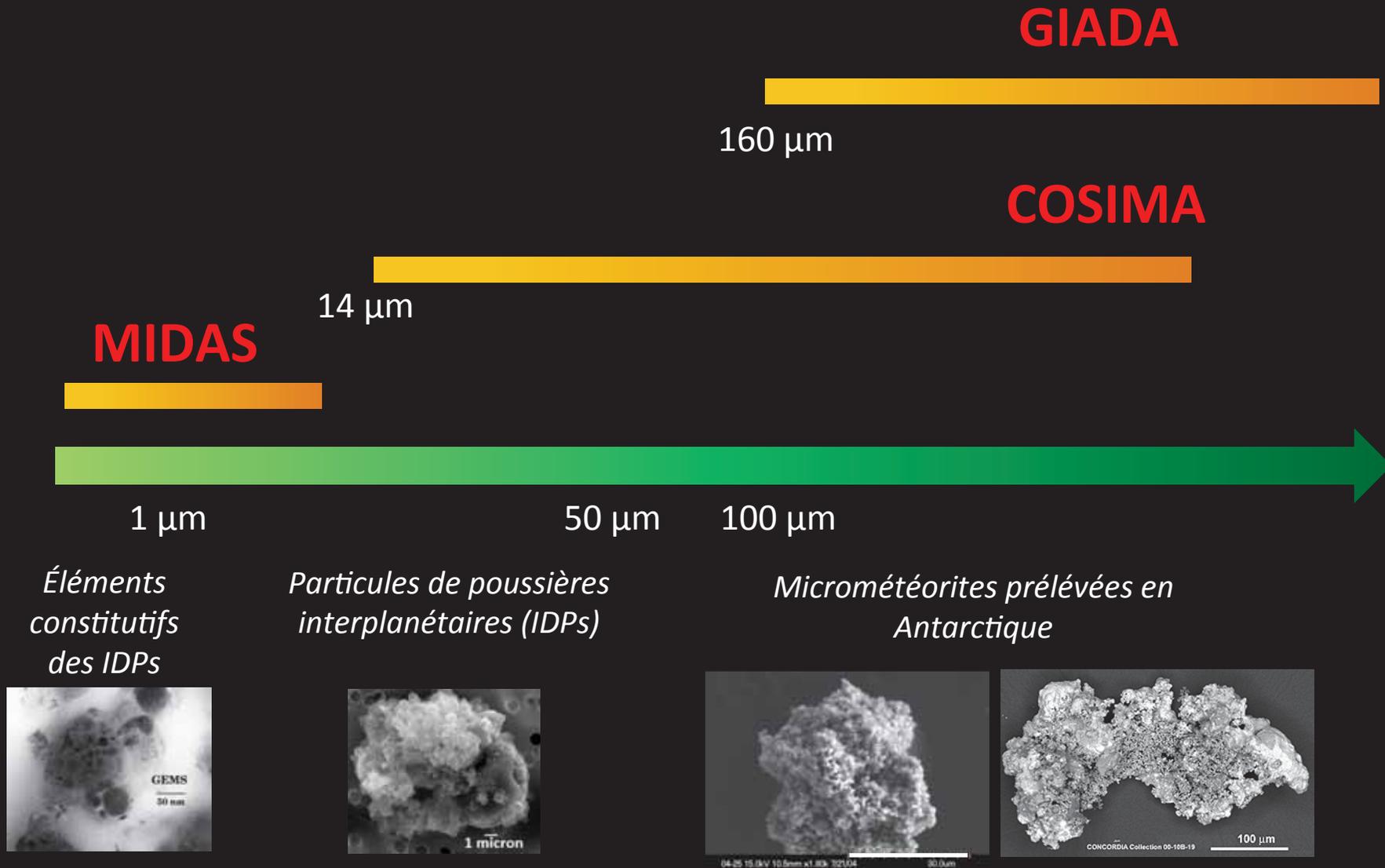


Densité 2 fois plus faible que celle de la glace (OSIRIS et RSI)

(Sierks et al., Science ³¹2015)

Les 1ers résultats des instruments de l'orbiteur publiés dans Science et Nature

Les instruments Poussières sur Rosetta



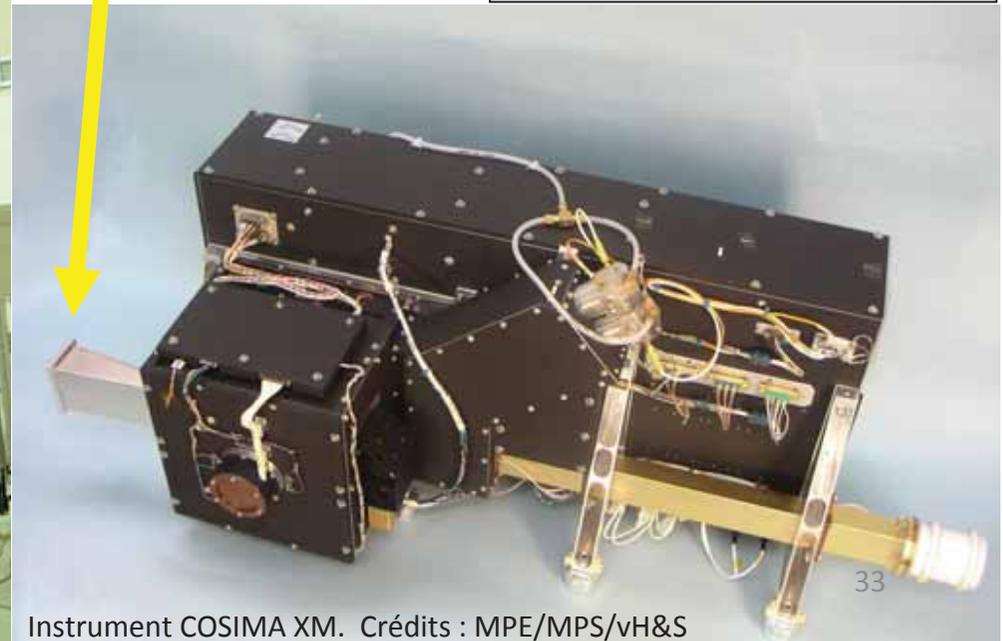
L'instrument COSIMA

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



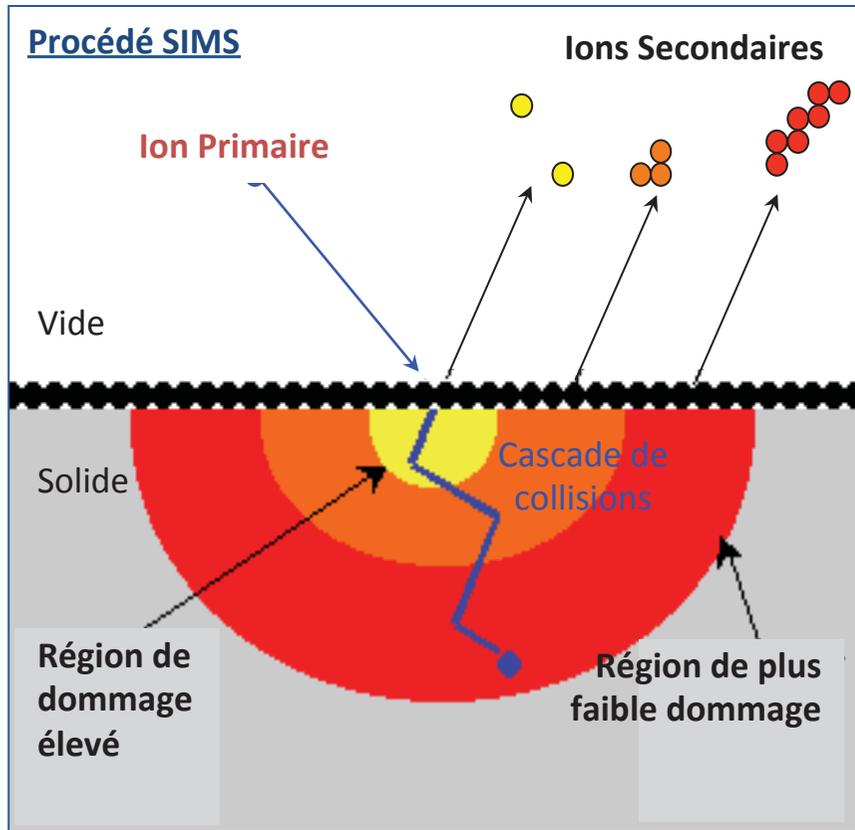
COSIMA TECHNIQUEMENT c'est:

Masse: **19,9 kg**
Volume (Lxlxh): 986 x 356 x 362 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

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

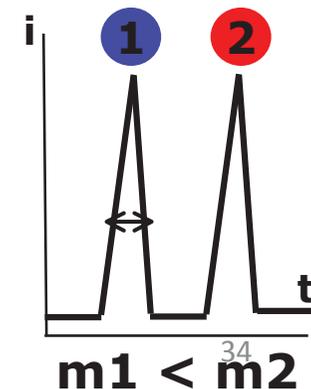
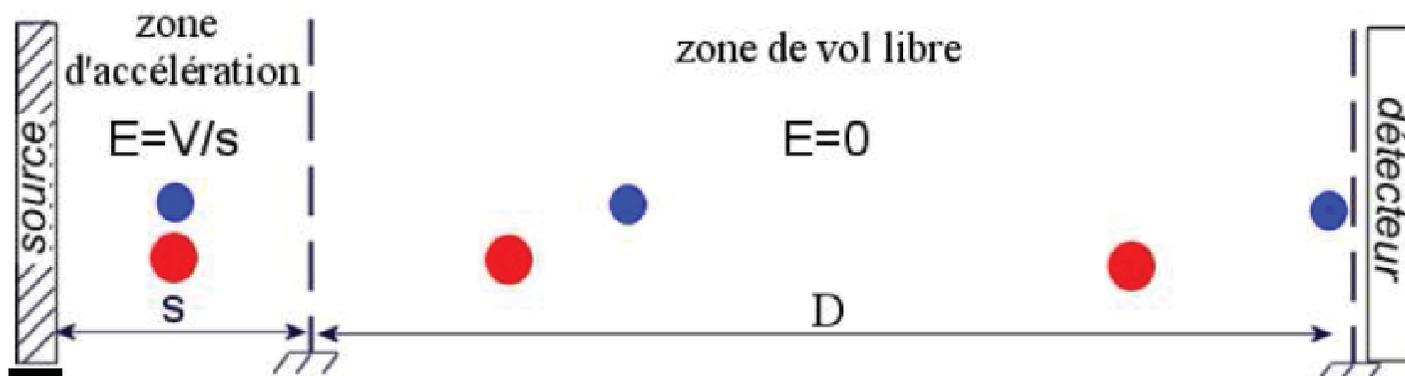


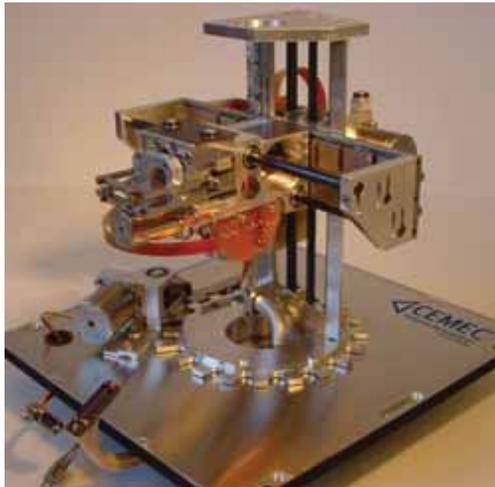
Technique de spectrométrie de masse d'ions secondaires à temps de vol (TOF-SIMS)

=> analyse des premières couches de la surface d'un échantillon **capté sur une cible**

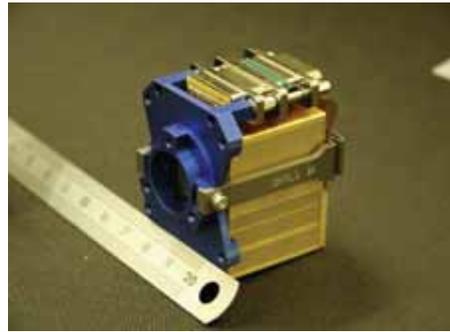
Temps de vol d'un ion

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





TMU : Unité manipulatrice des sets de cibles



COSISCOPE : mini-caméra

PIBS : système de faisceau d'ions primaires

Source d'Indium

Fil de Tungstène

CHOPPER

BUNCHER (3 électrodes)

Ions primaires d'Indium

Ions secondaires

Détecteur

Tube de vol

Réflectron

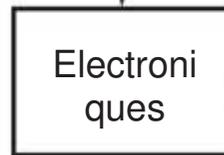
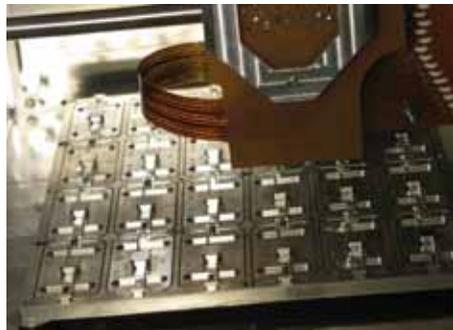
TOF : l'analyseur Temps de vol

Poussières cométaires



Set de 3 cibles collectrices des grains cométaires

Plateau de stockage des 24 sets de cibles



Flux de données du/vers Rosetta

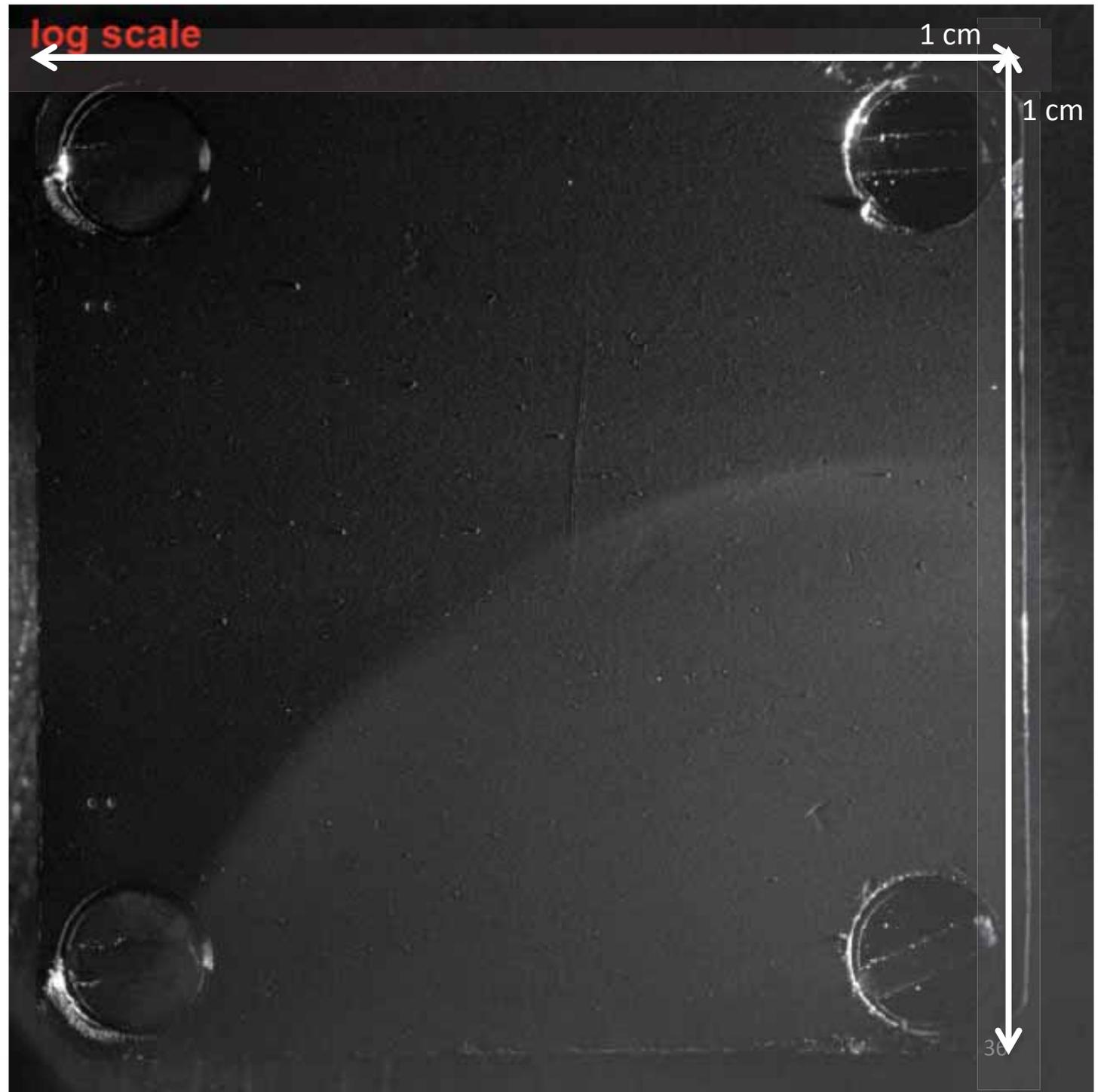


Cible 3D0

**Photo COSISCOPE :
7 Août 2014**

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

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



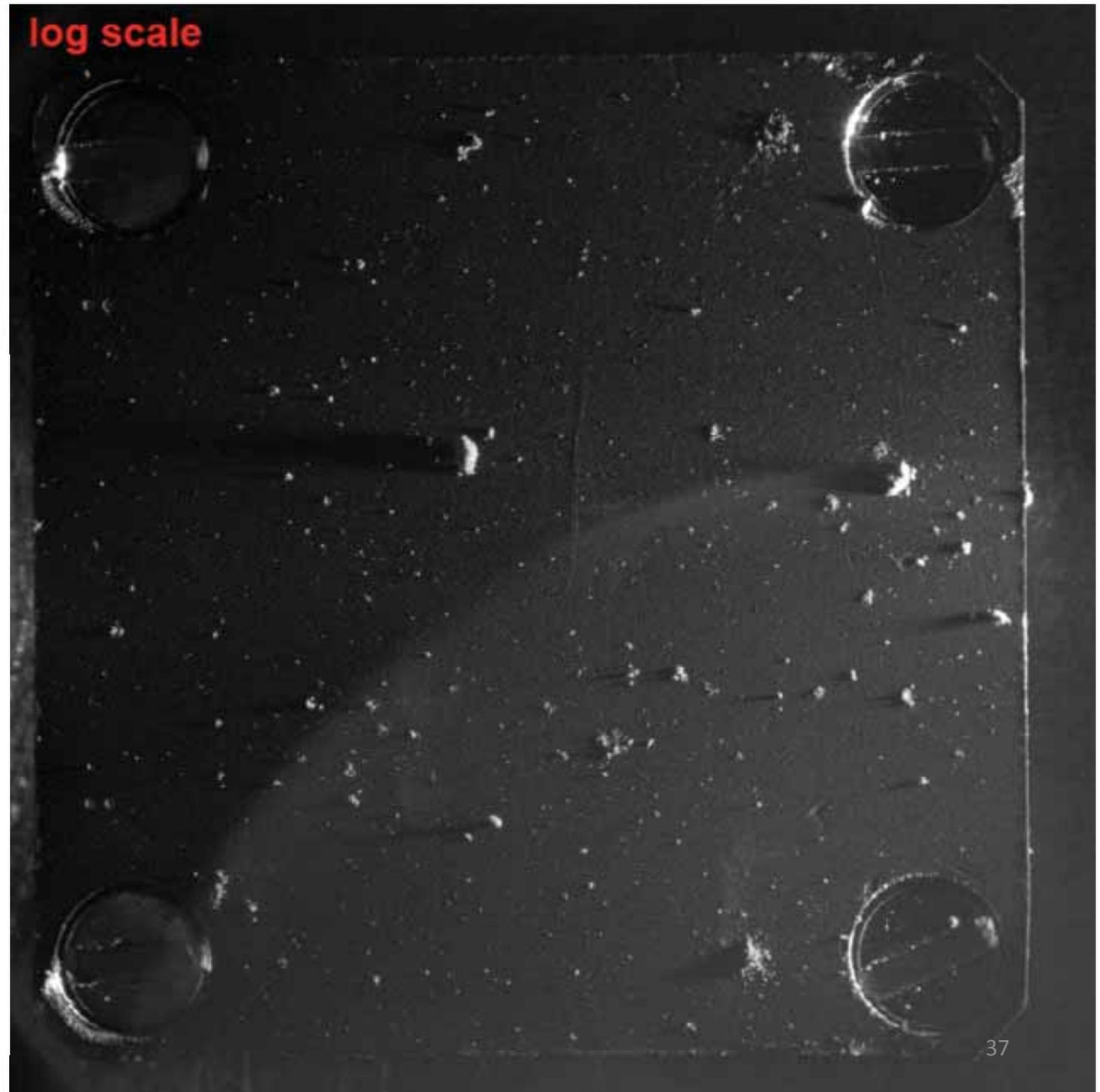


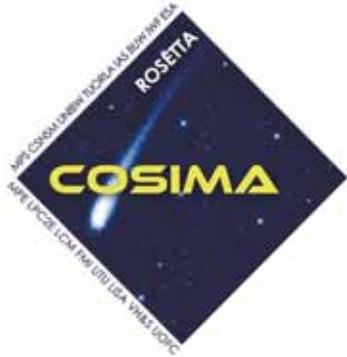
Cible 3D0

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.**



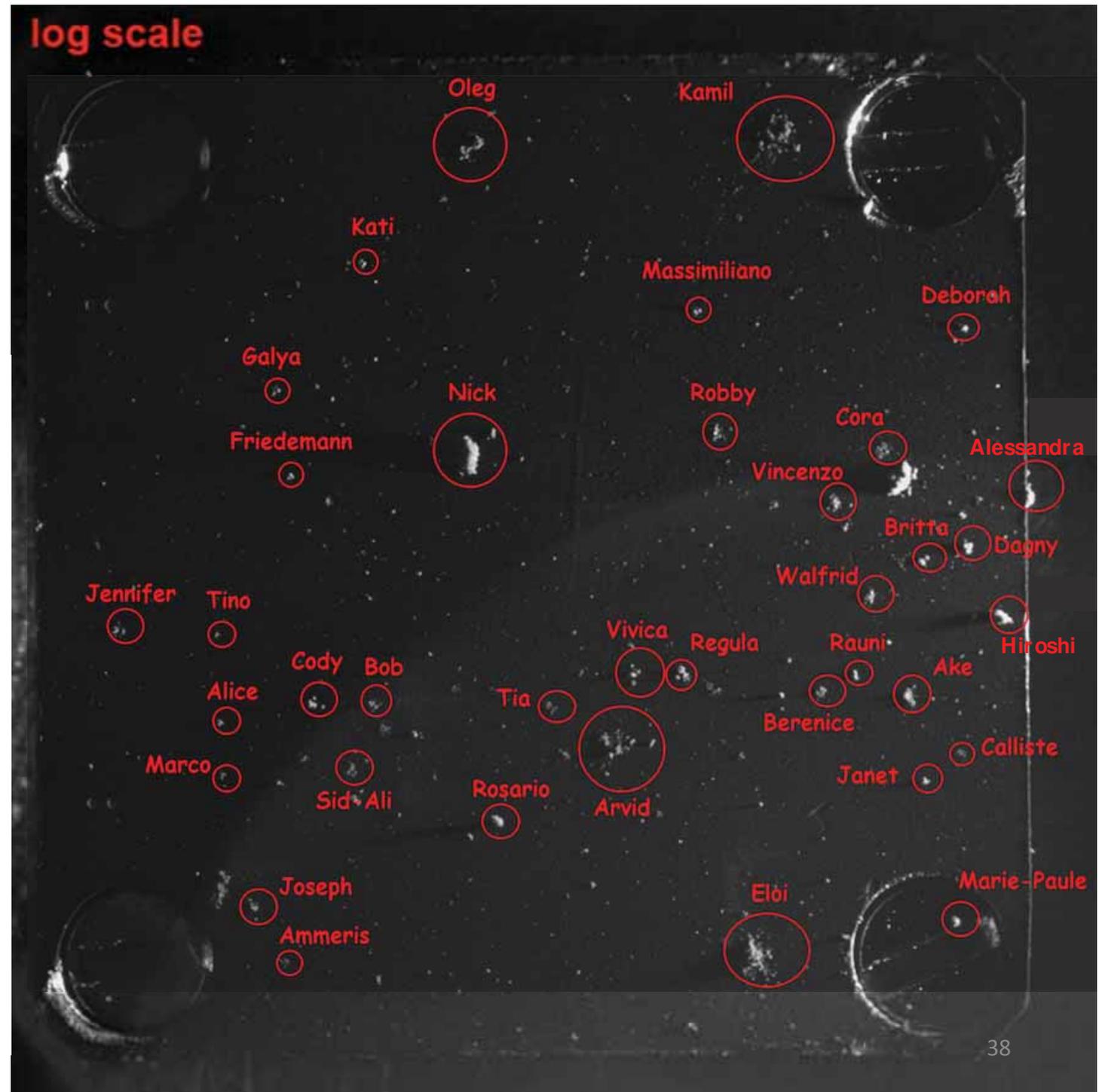


Cible 3D0

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.

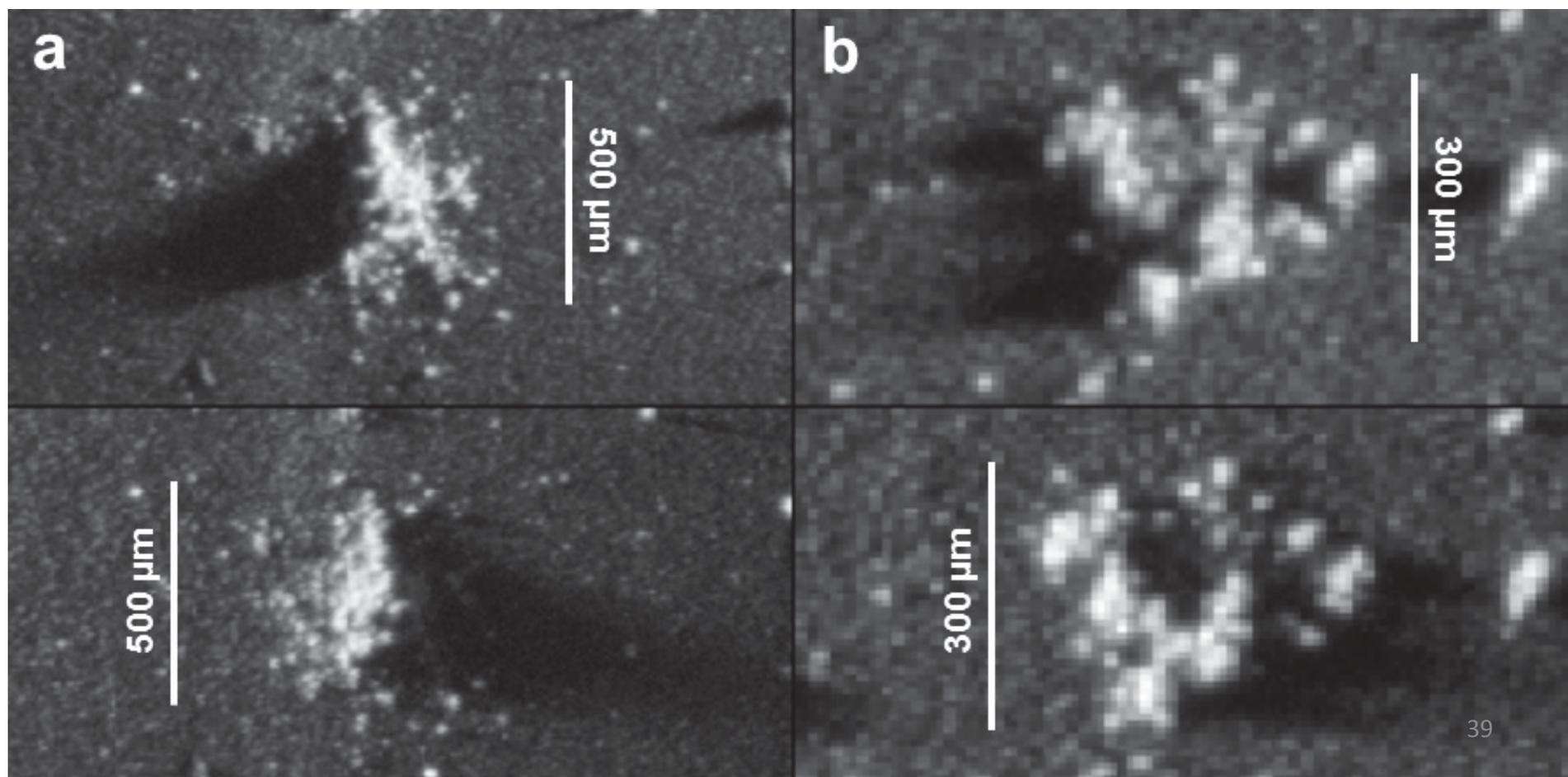




Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko sheds dust coat accumulated over the past four years

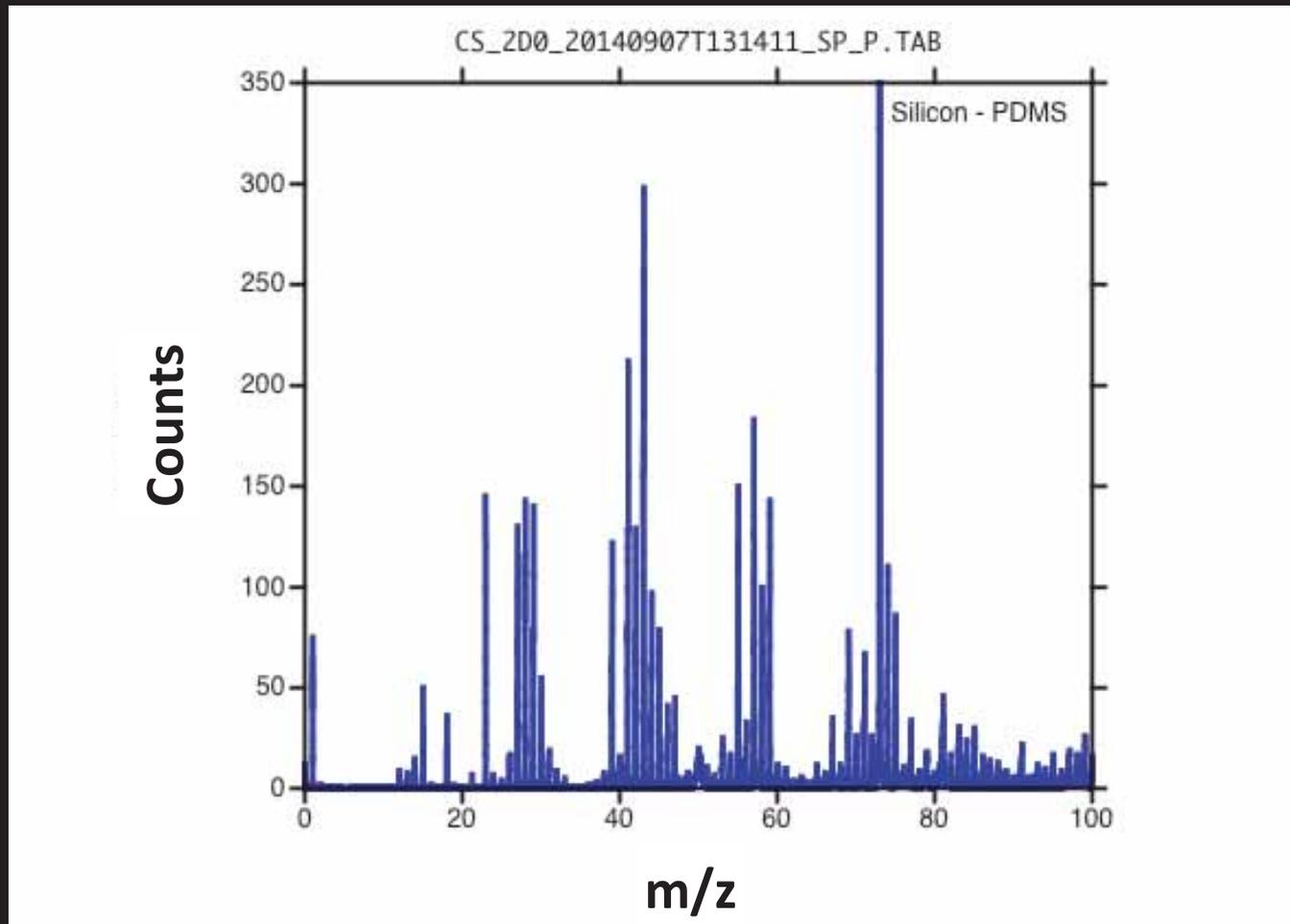
Rita Schulz¹, Martin Hilchenbach², Yves Langevin³, Jochen Kassel², Johan Silen⁴, Christelle Briois⁵, Cecile Engrand⁶, Klaus Hornung⁷, Donia Baklouti³, Anais Bardyn^{5,8}, Hervé Cottin⁸, Henning Fischer², Nicolas Fray⁸, Marie Godard⁶, Harry Lehto⁹, Léna Le Roy¹⁰, Sihane Merouane², François-Régis Orthous-Daunay¹¹, John Paquette², Jouni Rynö⁴, Sandra Siljeström¹², Oliver Stenzel², Laurent Thirkell⁵, Kurt Varmuza¹³ & Boris Zaprudin⁹

Photographies (sous 2 angles d'éclairage différents) de deux grains de poussière cométaire collectés par COSIMA entre le 25 et 31 octobre 2014



Quelques résultats de l'instrument COSIMA (*période de collecte du 11 Août au 24 Octobre 2014)

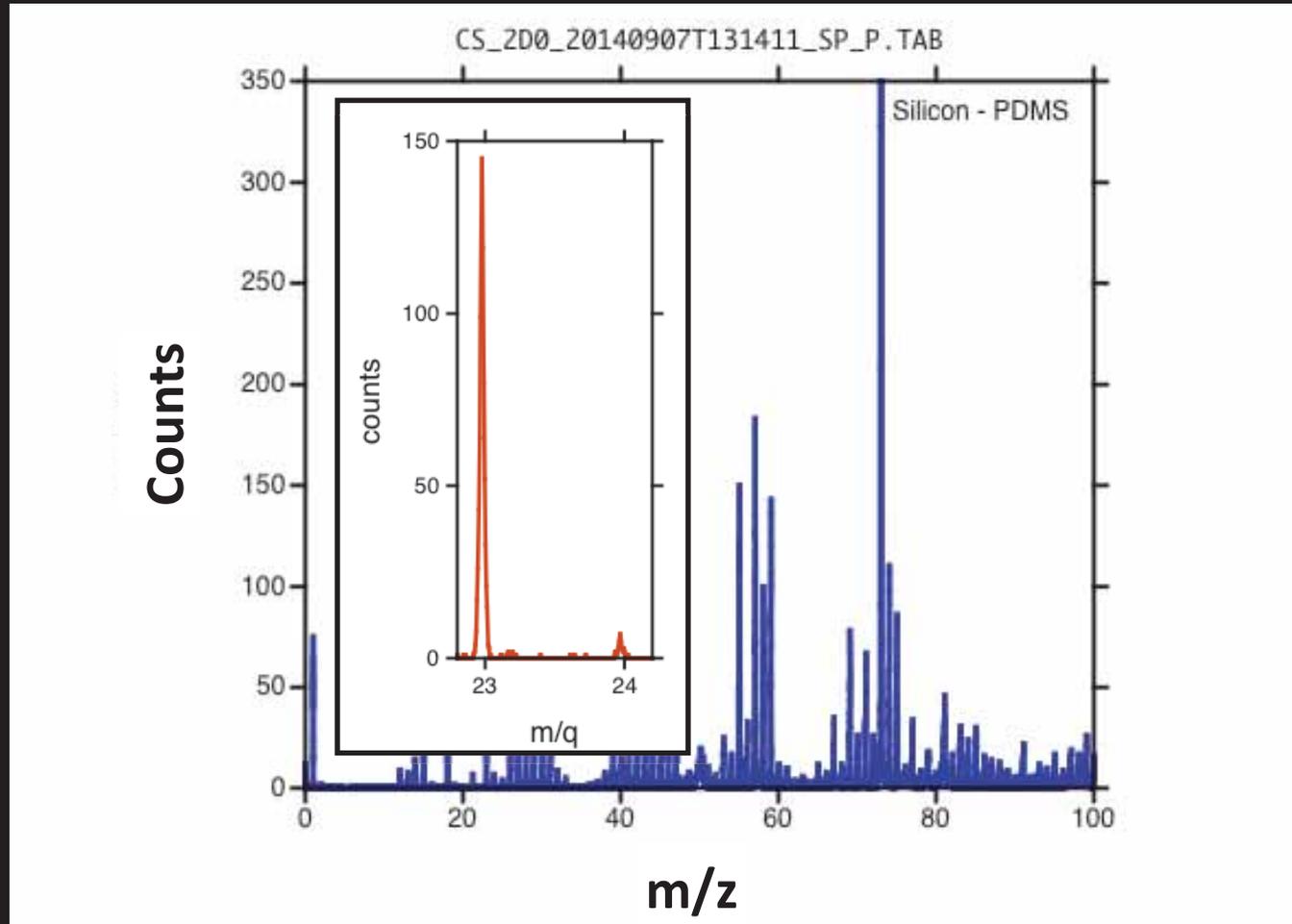
Spectre de masse d'ions secondaires (mode positif) d'un grain cométaire collecté sur une cible métallique de noir d'or



(Schulz et al., Science 2015)

Quelques résultats de l'instrument COSIMA (*période de collecte du 11 Août au 24 Octobre 2014)

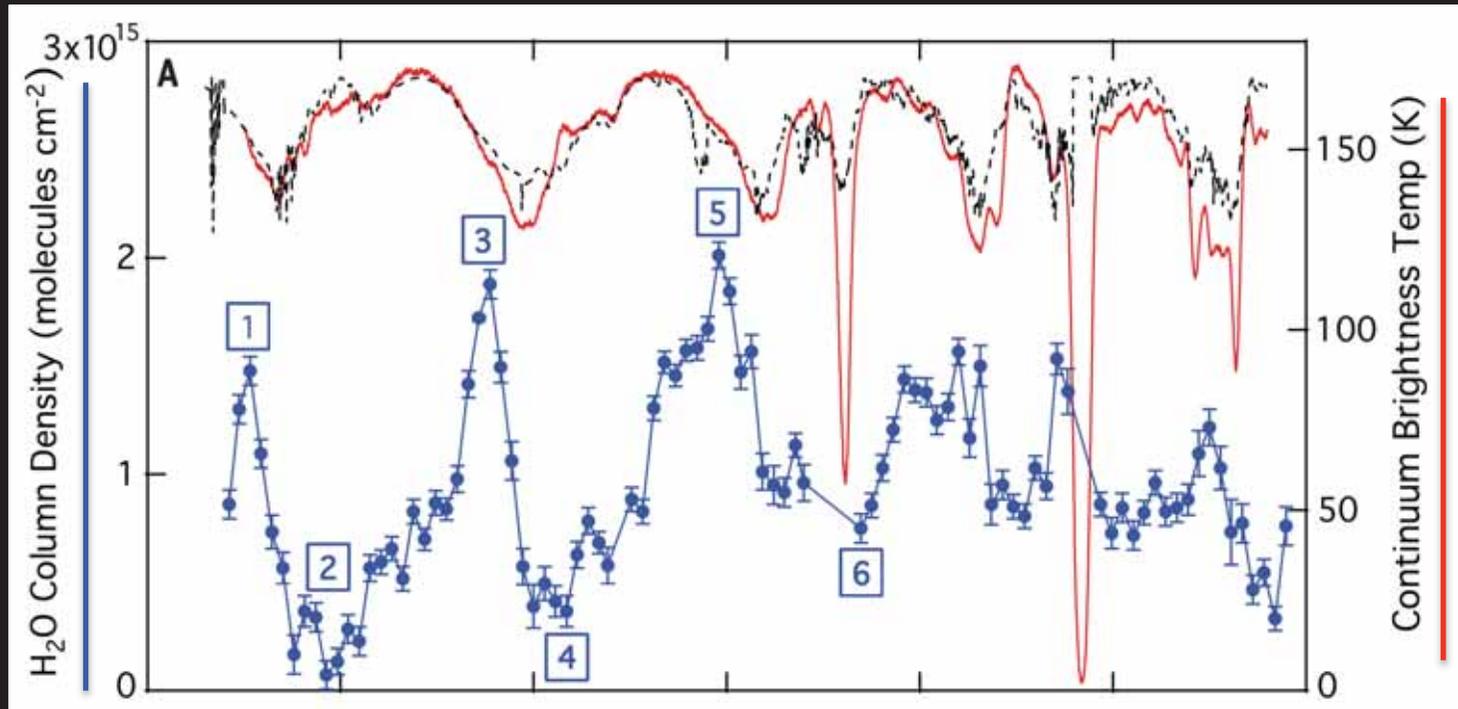
Spectre de masse d'ions secondaires (mode positif) d'un grain cométaire collecté sur une cible métallique de noir d'or



(Schulz et al., Science 2015)

Origine de l'eau terrestre ? Les mesures de l'instrument MIRO

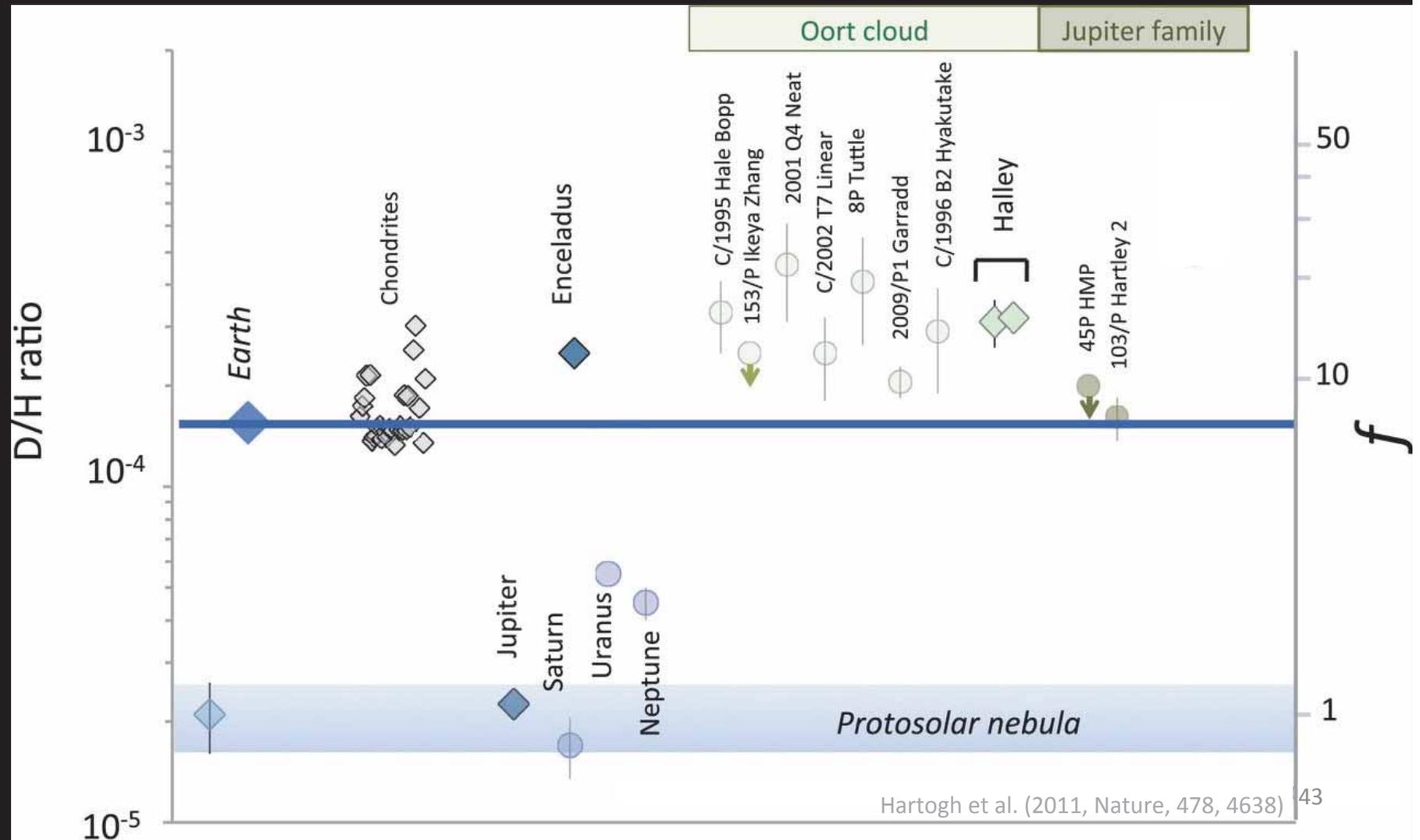
Taux de production d'eau



- Taux de production d'eau : de $0,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\approx 300 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$ soit 2 verres par seconde, le 6 Juin 2014) à $1,2 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ (4 fois plus, fin Août 2014)
- **Variations périodiques** liées à la rotation du noyau et sa forme.
- Dégazage d'eau localisé **autour de la région du "cou"** de la comète.

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

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



Origine de l'eau terrestre ?

L'expérience ROSINA ROSetta Ion and Neutral Analyser (Analyse gaz)



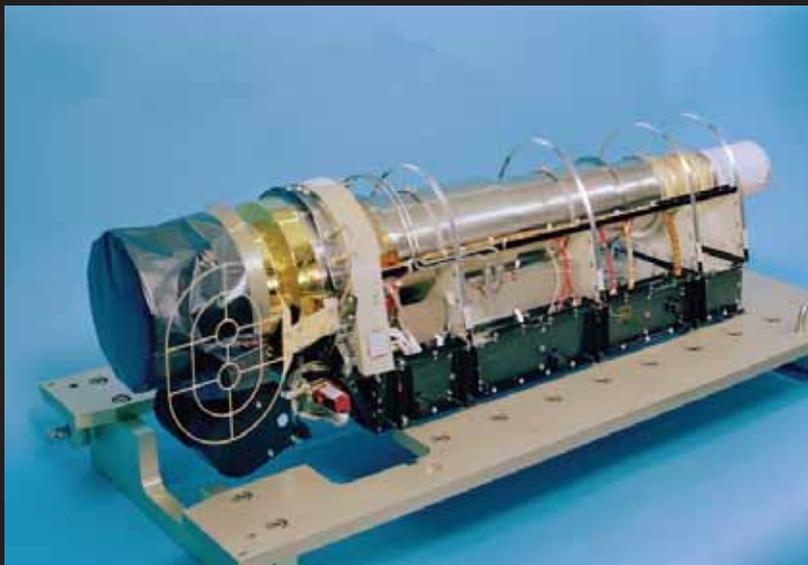
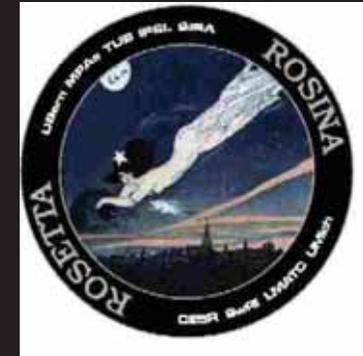
DFMS :

spectromètre de masse à secteur magnétique

=> **Pour les Détails**

Très haute résolution en masse: 9 000 (à $m/z=28u$ à 50% hauteur du pic)

16 kg, 22W



RTOF : spectromètre de masse à temps de vol; analyse de composés de haut poids moléculaires

=> **Le contexte et les espèces plus lourdes**

résolution en masse: 1 000 (à $m/z=28u$ à 50% hauteur du pic)

15 kg, 30W



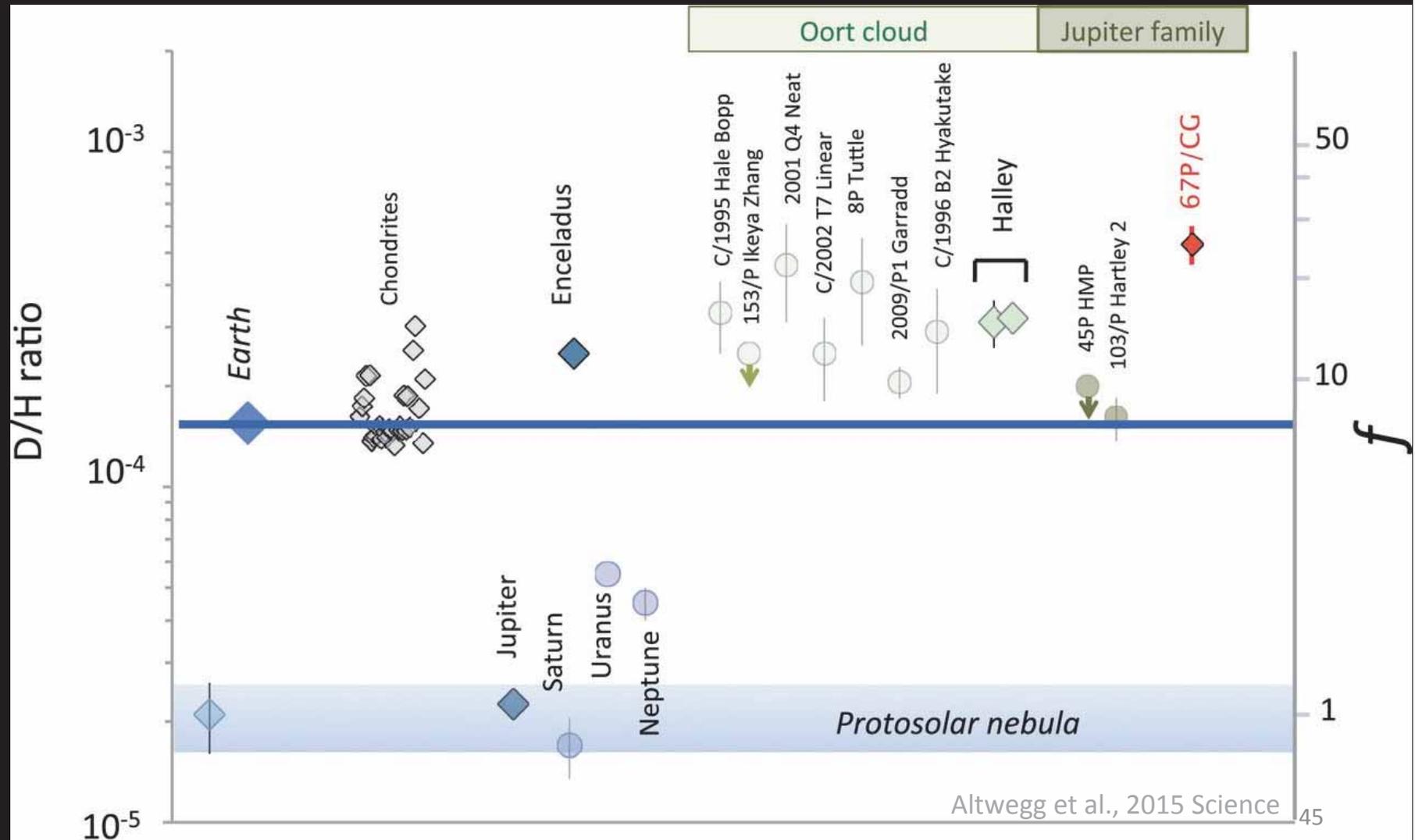
COPS : Jauge de pression
=> **Sécurité de ROSINA et de Rosetta**

1,7 kg, 7 W

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

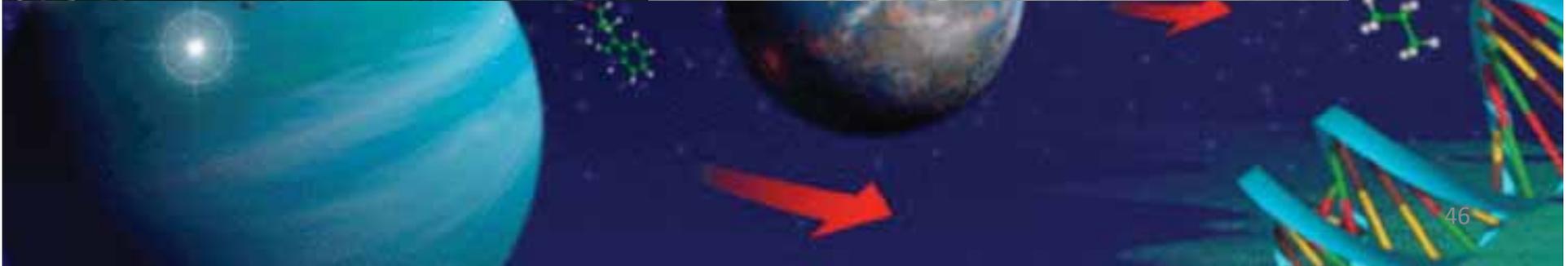
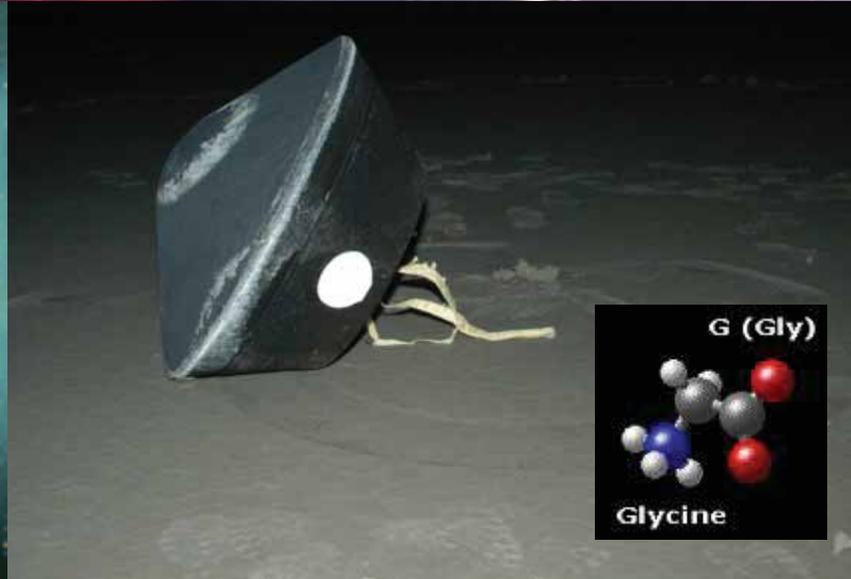
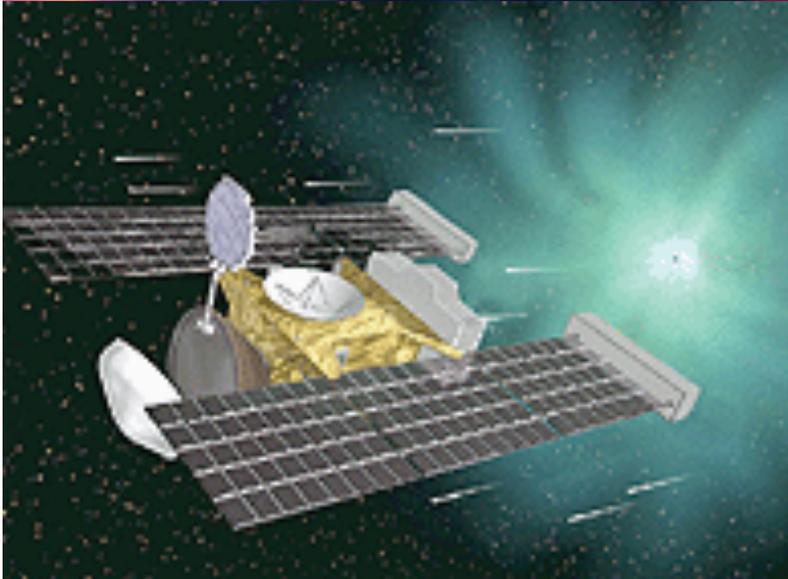


- Glace d'eau cométaire : source de l'eau terrestre?
- **Après Rosetta:**



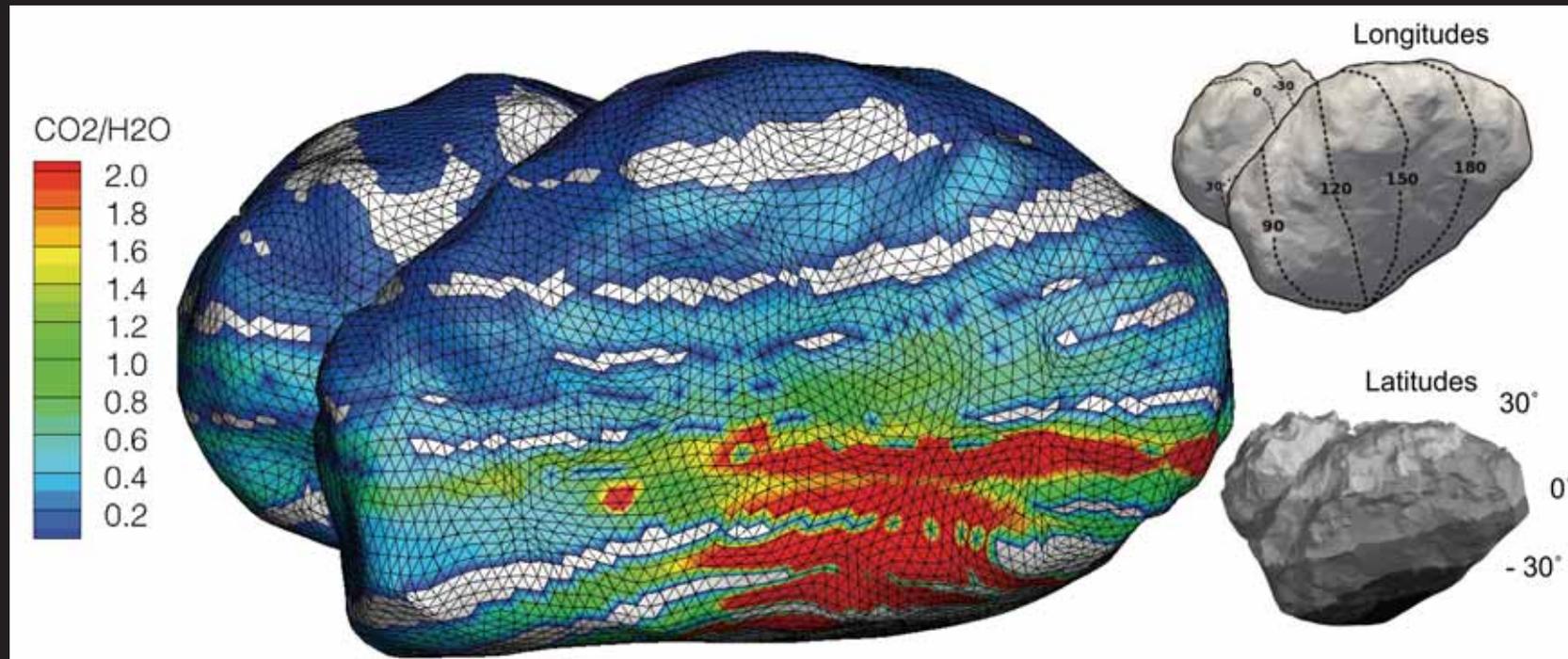
Aide à l'émergence de la vie sur Terre ?

Apport éléments volatils & composés prébiotiques?





Rapport $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ (Haessig et al., Science 2015)

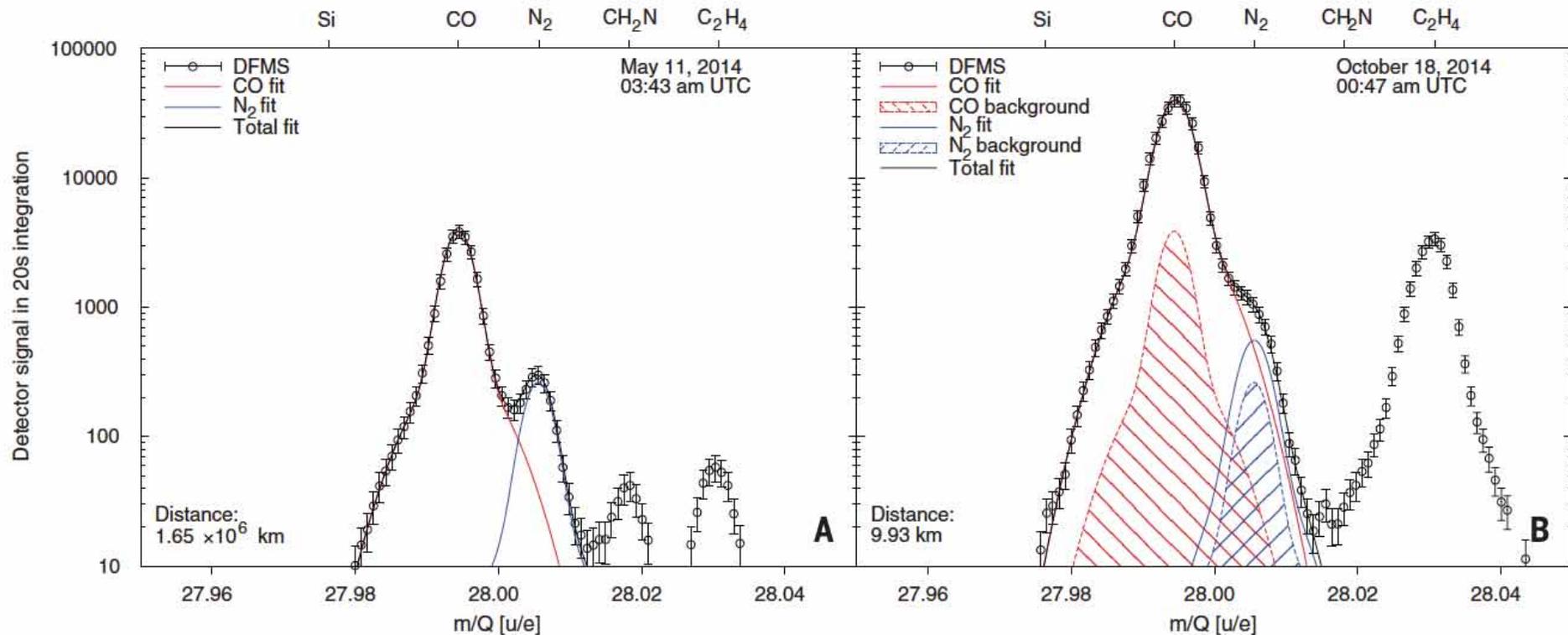


- $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ le plus souvent voisin de 0,5
 - $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ atteint 2 à l'aplomb du "sommet" du lobe principal.
- => hétérogénéité chimique à cet endroit-là, car cet excès de CO_2 ne provient pas d'un excès d'insolation (peu d'insolation)



1^{ère} détection de l'azote moléculaire (N₂) dans une comète

(Rubin et al., 2015 Science) => analyse de 138 mesures collectées par ROSINA, sur la période du 17 au 23 octobre 2014.



Avant : détection de N toujours en liaison avec d'autres composés comme HCN ou NH₃

Pourquoi est-ce important ? N₂ est le type d'azote le plus courant lors de la formation du Système Solaire. Dans les régions extérieures plus froides, il a probablement fourni la source principale d'azote incorporé dans les planètes gazeuses.

(Domine l'atmosphère de Titan, présence dans les atmosphères et glaces de surface de Pluton et de Triton (lune de Neptune))

Apport éléments volatils : Mesures par le DFMS de ROSINA



Détection de l'azote moléculaire (N_2) => Très basses T de formation de la comète pour que N_2 soit piégé dans la glace

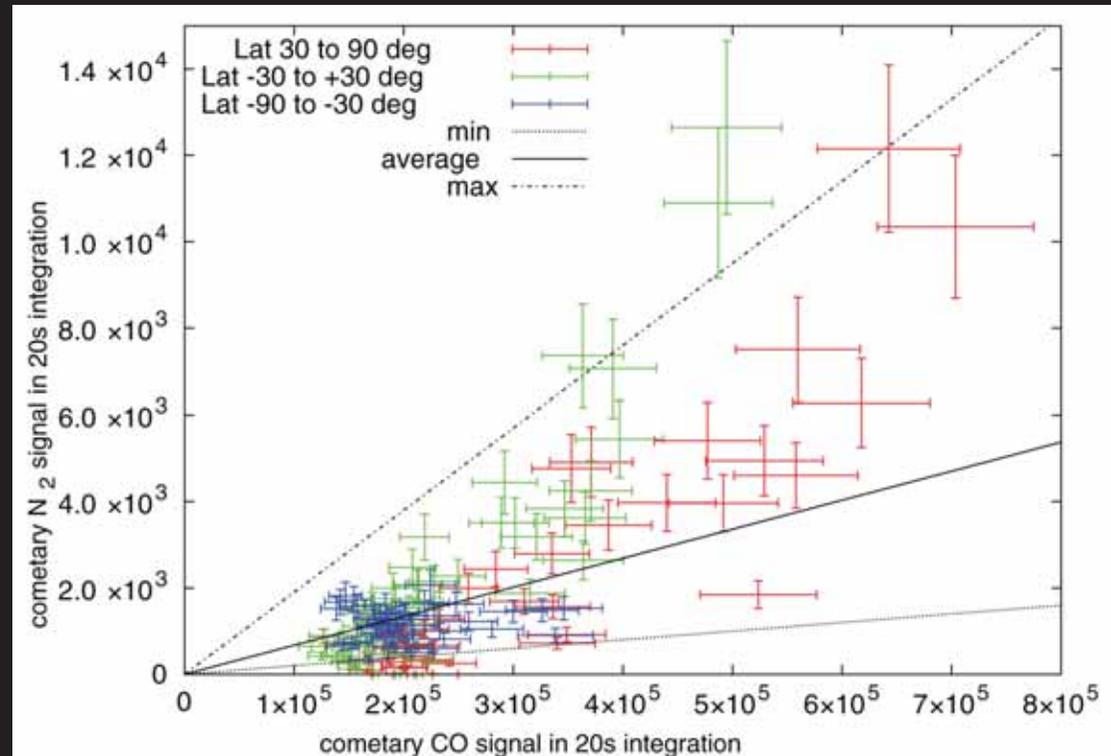
Hypothèse:

Capture N_2 dans la glace de la PSN (nébuleuse ProtoSolaire) T similaires à celles pour capturer CO

=> Mesure N_2/CO

- PSN: $N_2/CO = 0,145 \pm 0,048$
 - 67P/CG: $N_2/CO = (5,7 \pm 0,66) \times 10^{-3}$
- => déplétion x 25

=> T formation $\sim 30K$ (? question dégazage par réchauffement post évolution par décroissance des noyaux radio-actifs, ou après son rapprochement)



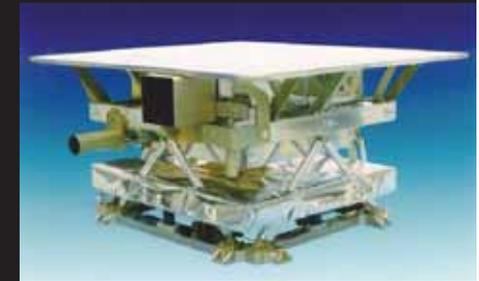
(Rubin et al., 2015 Science)

◆ Contribution au N_2 de la Terre ? NON significative ($^{14}N/^{15}N$ de N_2 de 67P (= celui PSN) > $^{14}N/^{15}N$ de la Terre > $^{14}N/^{15}N$ de NH_3 et HCN de 67P)

VIRTIS (Visible InfraRed and Thermal Imaging Spectrometer) :

un spectro-imageur Vis (0,25-1 μm) -proche IR (1-5,2 μm) (VIRTIS-M)
& un spectromètre IR (2-5 μm) à dispersion croisée (VIRTIS-H)

=> Etude de la variabilité de la surface et les signatures subtiles de l'atmosphère et des glaces.



- Très faible albedo: 0,06 @ 0,55 μm (similaire OSIRIS)

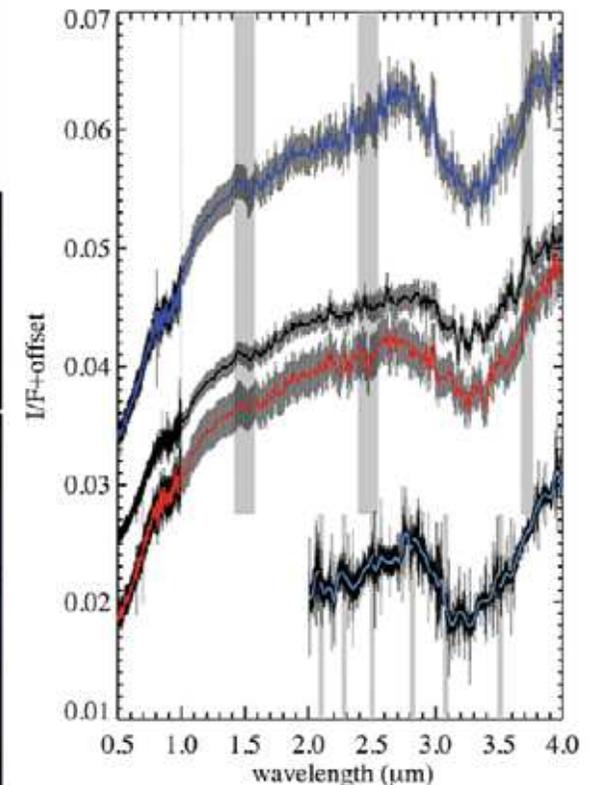
- 2,9-3,6 μm : imp. Absorption

- T de surface : de 180 à 230 K (daytime)

COMETARY SCIENCE

The organic-rich surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as seen by VIRTIS/Rosetta

F. Capaccioni,^{1,2} A. Coradini,^{1,3} G. Filari M. C. De Sanctis,² D. Bochelee-Morvas E. Quirico,⁴ P. Cerroni,¹ V. Mennella,² / E. Palomba,¹ E. Ammannito,⁷ M. A. Bar A. Blanco,¹⁰ M. Blecka,¹¹ R. Carlson,¹² M. Combi,¹³ J. Crovisier,³ T. Encrenaz P. Irwin,¹⁷ R. Jaumann,^{14,18} E. Kuehrt,⁵ P. Palumbo,¹⁹ G. Piccioni,¹ U. Schade,²⁰ N. Biver,² L. Borsari,⁴ J.-Ph. Combe,⁶ D. D. Grassi,¹ M. Gudipati,^{12,21} A. Longoba G. Rinaldi,¹ K. Stephan,²² M. Cartacci,¹ / S. Jacquinet,² R. Noschese,¹ G. Peter,²³

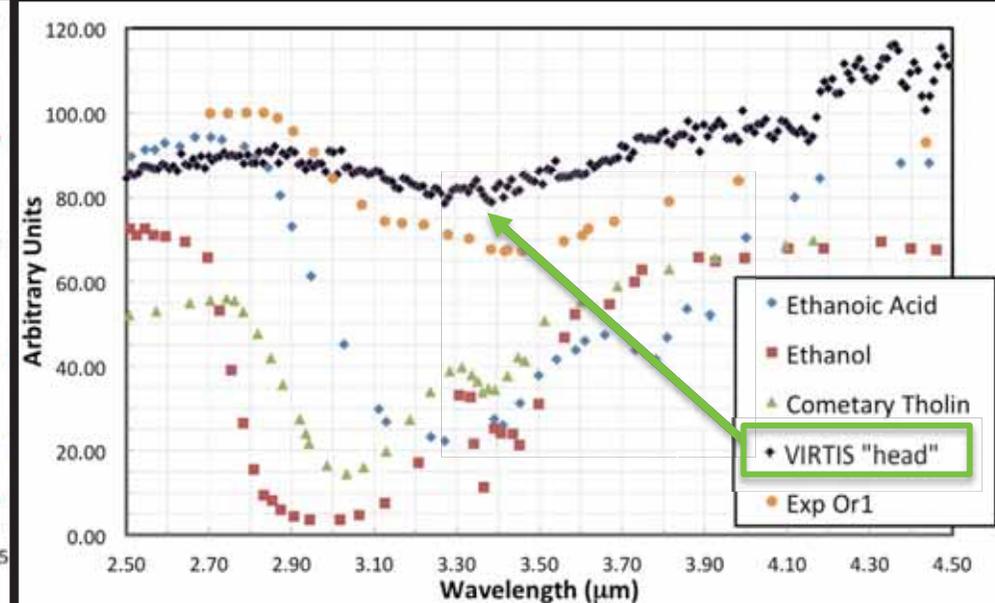
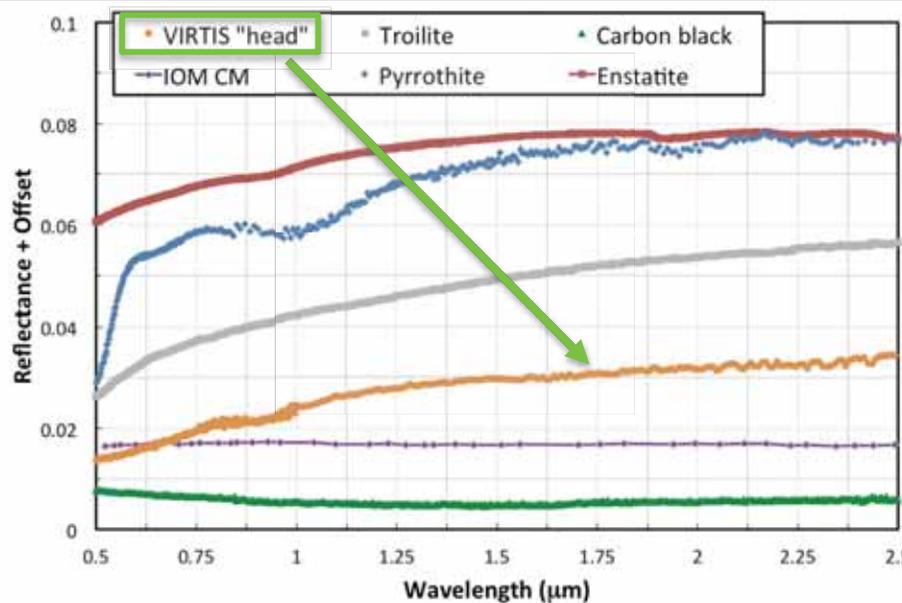


Apport éléments volatils : Mesures par VIRTIS (7 août au 2 Sept.)



Spectres Enstatite, Pyrrhothite, Troilite réduits resp. de 100 75 et 50%

- Tholins cométaires (irr. Ion. 80% H₂O, 16% CH₃OH, 3.2% CO₂, 0.8% C₂H₆)
- Résidu réfractaire (Exp Or1) ap. irr. UV de H₂O:CH₃OH:NH₃:CO:CO₂ 2:1:1:1:1



Faible albedo ($6 \pm 0,3\%$ @ $0,55 \mu\text{m}$; similaire OSIRIS), pente positive dans le proche-IR puis spectre plat; large absorption $\sim 3.2 \mu\text{m}$:

- T de Surface (couche supérieure ie 100aine μm) : **T noyau $\sim 180-230\text{K}$**
- **Pas de signature de glace d'eau** (pas de bandes 1,5; 2 et 3 μm) en top-surface
- \Rightarrow **matériel réfractaire sombre déshydraté:**
 - **alliages de sulfures et Fe-Ni**
 - **Organiques solides polyaromatiques**
- 3,2 μm : X-H vibrations \Rightarrow probablement groupements OH (ROH ou ROOH); ou C-H aliphatiques ou aromatiques. \Rightarrow NH/NH₂? Peu probable car N composé rare; peut être des sels NH₄⁺?

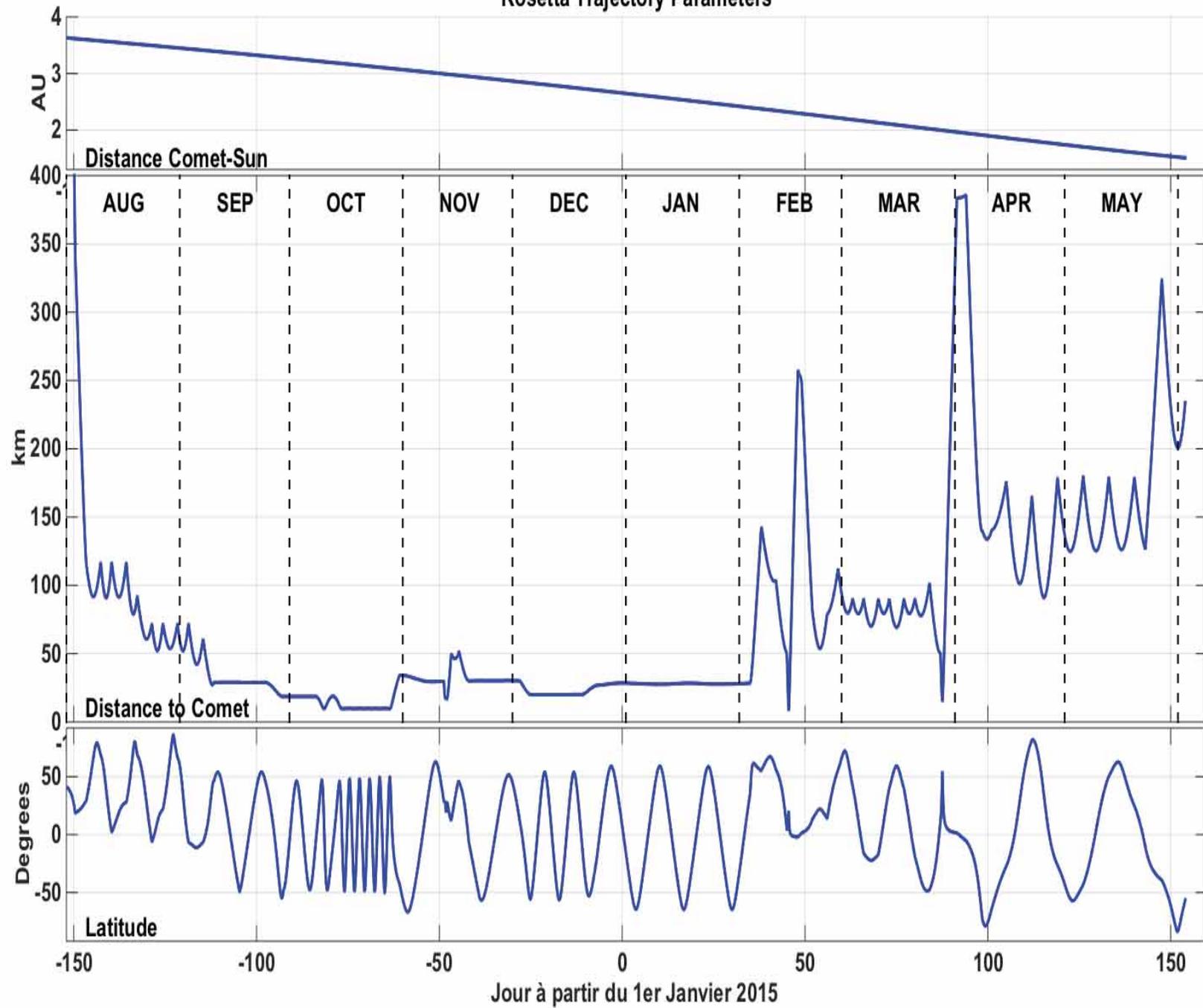


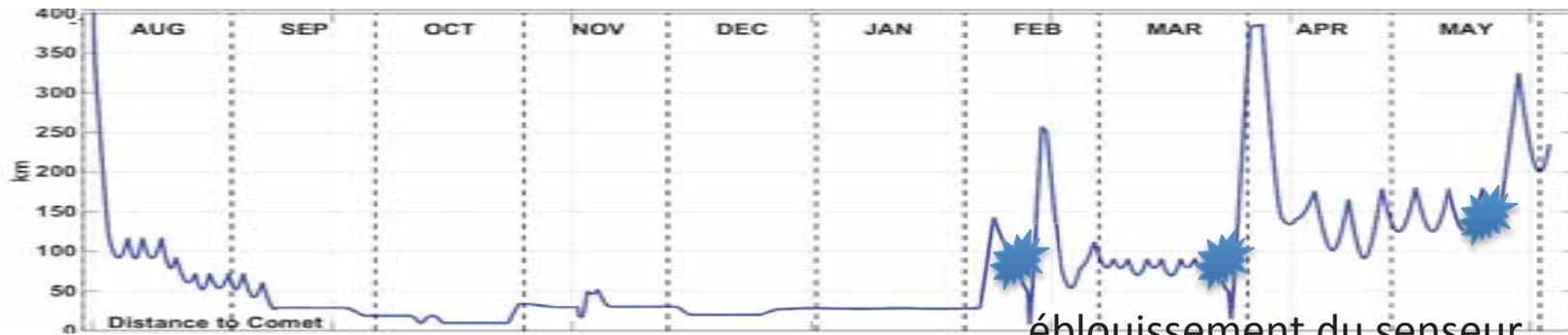
Résumé



- Les instruments poussières: plus de 12 000 particules collectées/déteectées allant de $<1 \mu\text{m}$ (MIDAS) à $> 500 \mu\text{m}$ (COSIMA, GIADA)
 - Particules flocculantes (de toutes tailles), composition inorganique compatible avec la présence de minéraux anhydres (Ol, Px, Fe-sulfures)
 - Glace d'eau rare à la surface. Organiques réfractaires avec des minéraux (silicates, Fe-sulfures)
 - Origine de l'eau et de l'atmosphère terrestre :
 - 67P : D/H non compatible avec une origine cométaire des océans terrestres
 - 67P : N_2/CO non compatible avec une contribution significative au N_2 terrestre
 - Apport prébiotique :
 - Détection des composés de la phase gazeuse
 - Organiques dans les poussières : pas évidente (faible N), peut être des groupements COOH (VIRTIS)
- ⇒ Restez à l'écoute ...
- ⇒ Bientôt les résultats de Philae

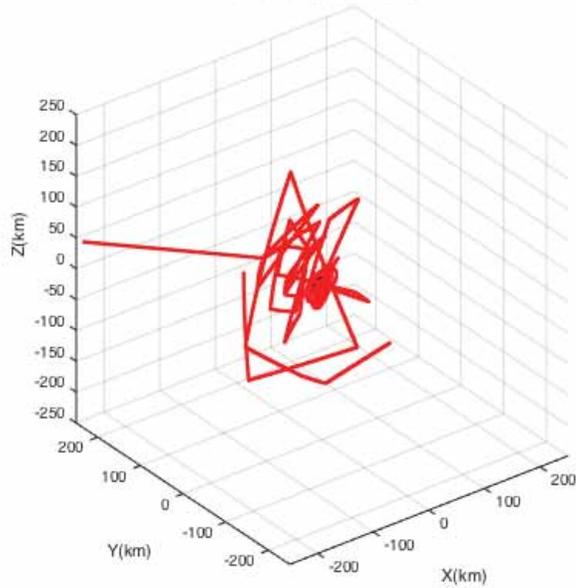
Rosetta Trajectory Parameters



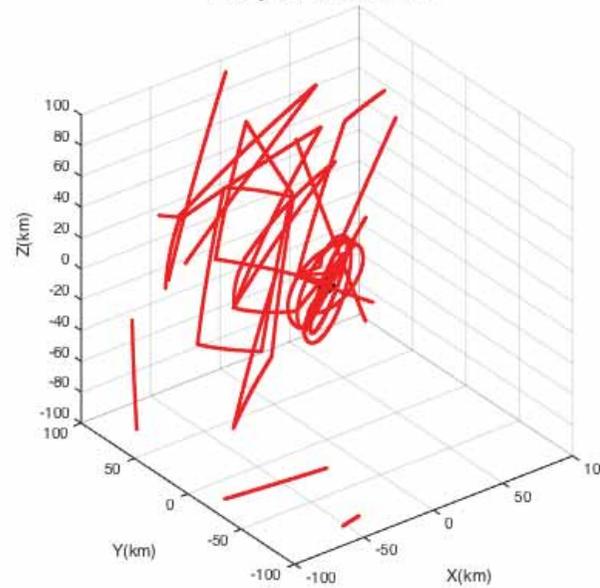


éblouissement du senseur d'étoiles

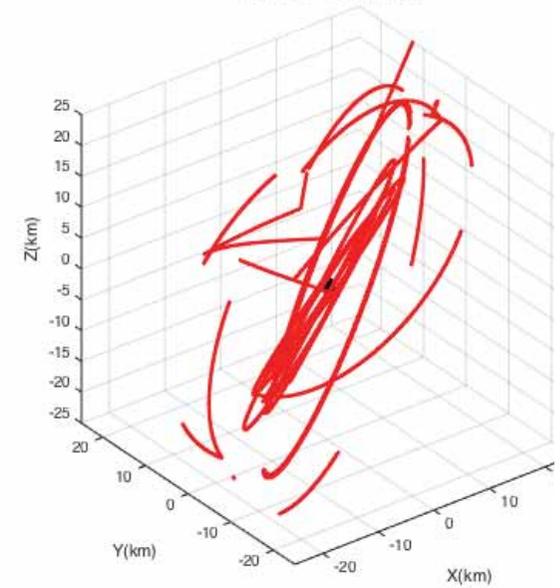
Grande échelle

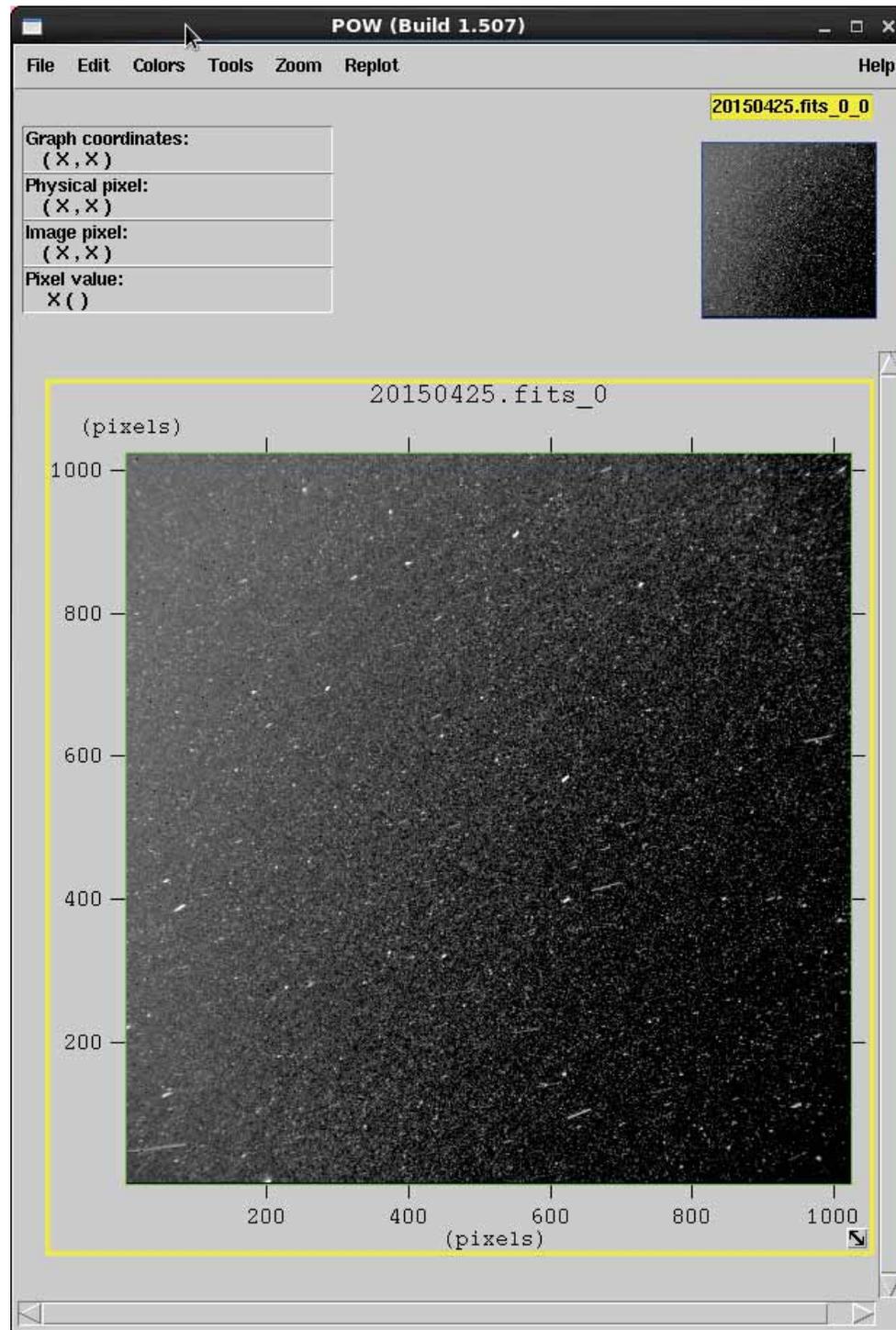


Moyenne échelle

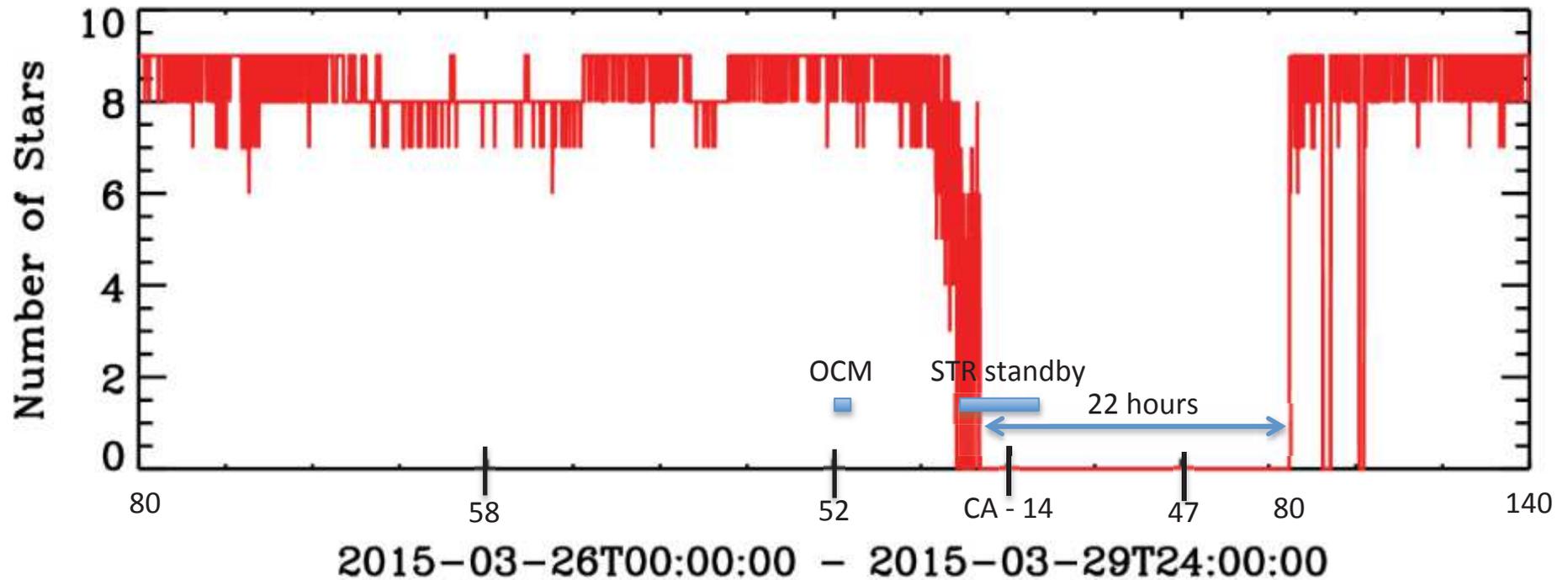


Petite échelle





Stellar Estimator: Number of Tracked Stars



STR standby -3 hours to CA to +2,5 hours after CA

STR tracking lost at 23 km (before STR was switched to standby) – meaning more than 10.000 false stars

STR tracking started again around 75 km – meaning less than 1000 false stars

After STR standby the STR needed to reacquire stars again from the initial status co-called “lost in space”. From this state the STR has clearly more difficulty re-acquiring and only reacquires again around 75 km.

Therefore the spacecraft was flying without star tracker information for almost 22 hours resulting in a attitude error of about 0,8 deg.

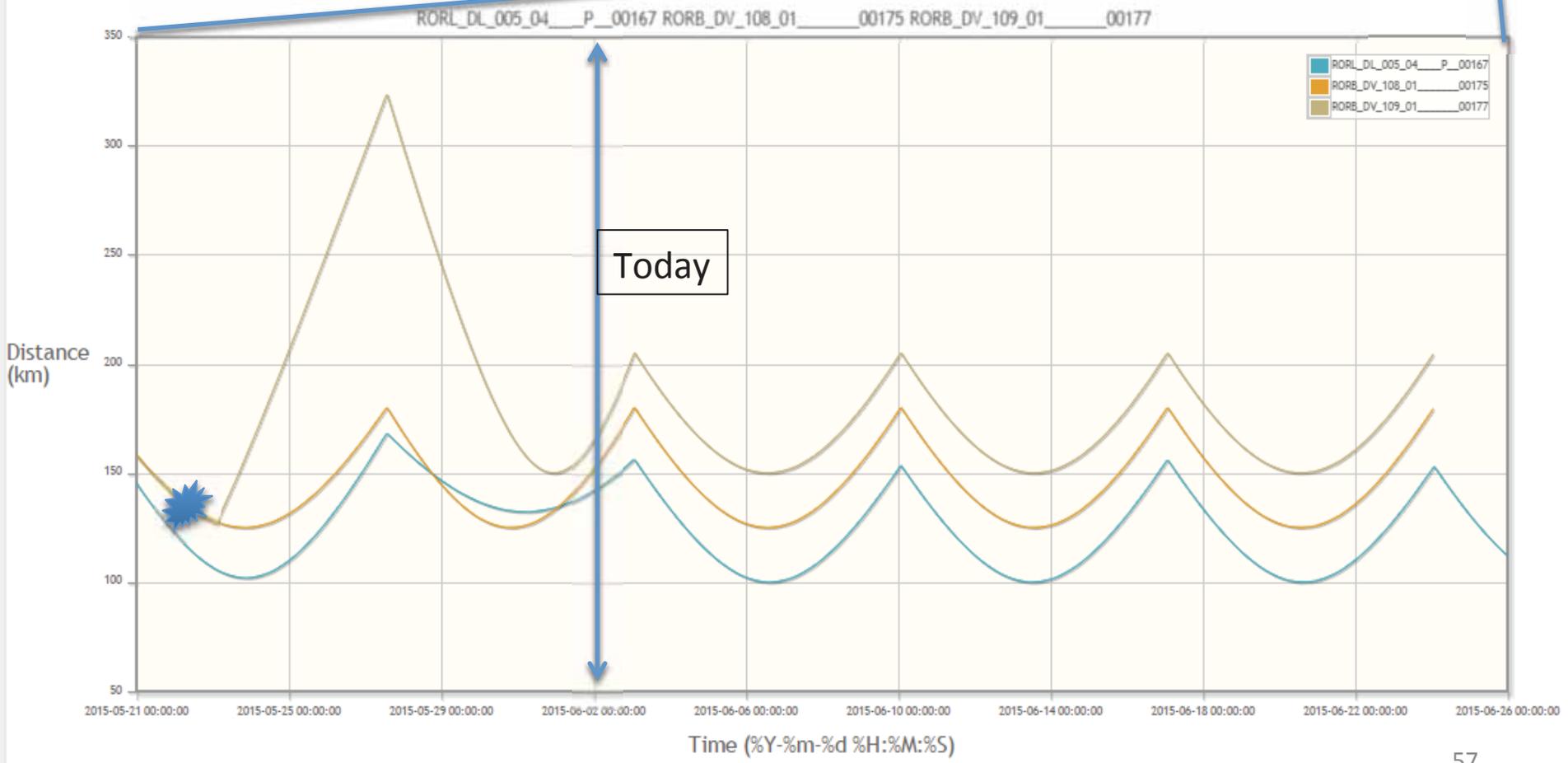
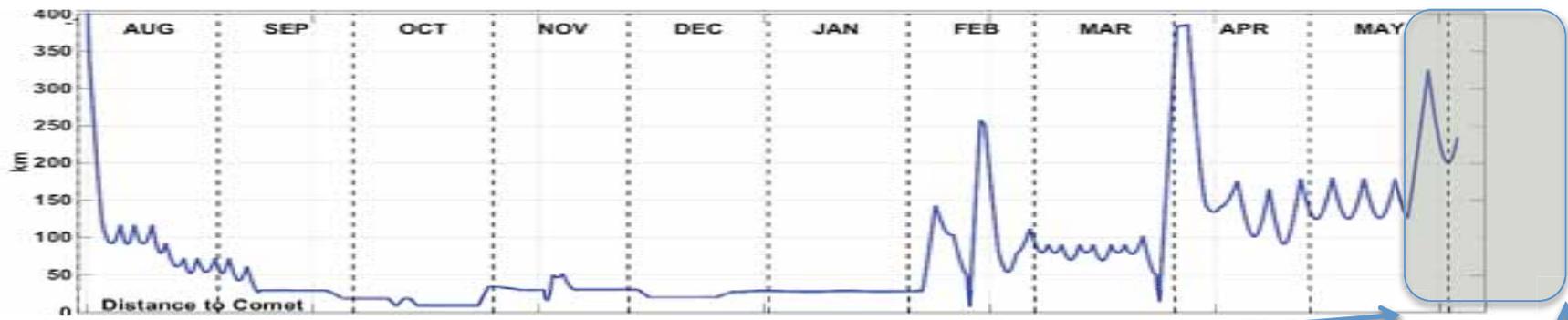


Illustration de l'interaction entre le vent solaire et "Chury"

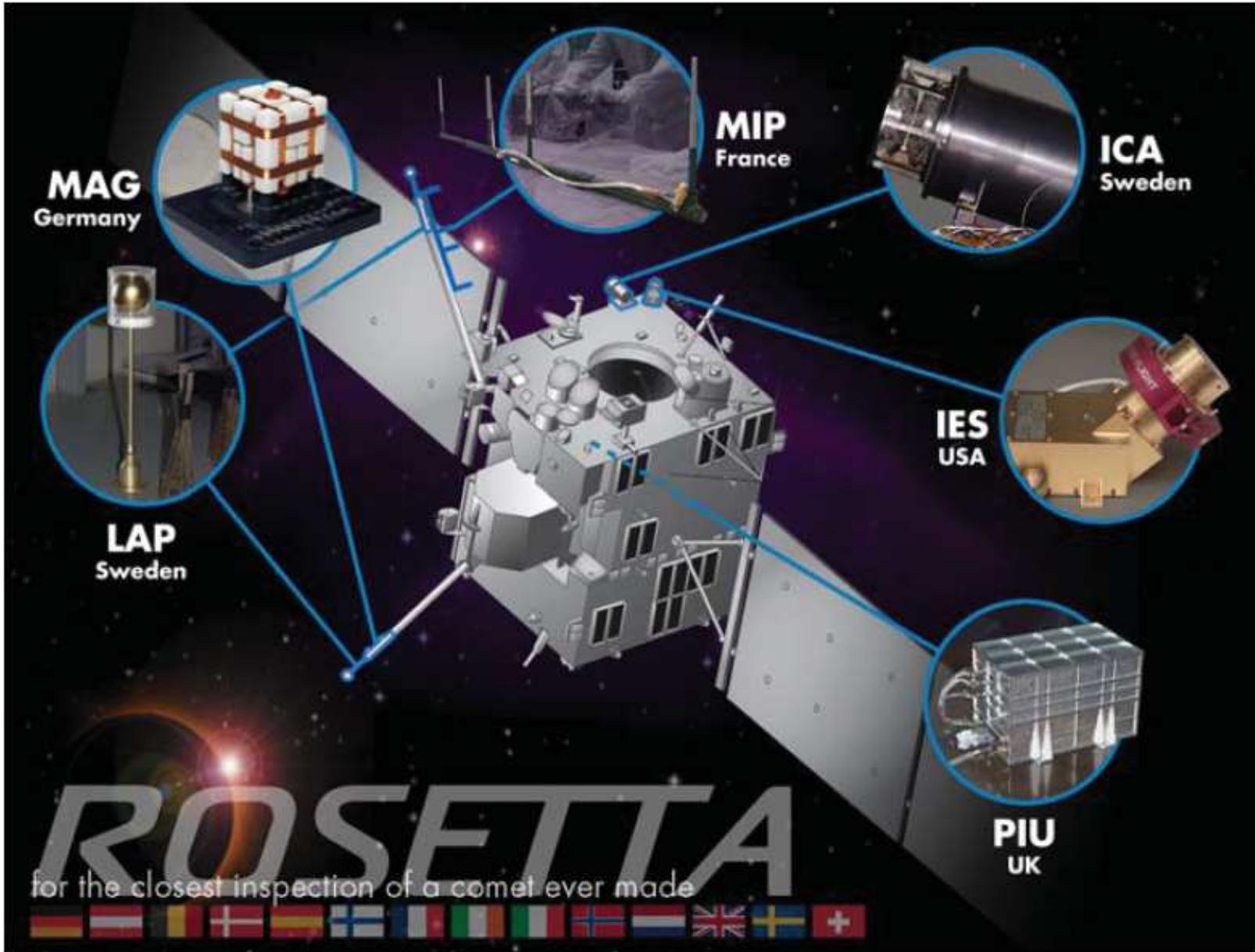
La Coma de la comète est un obstacle pour le vent solaire

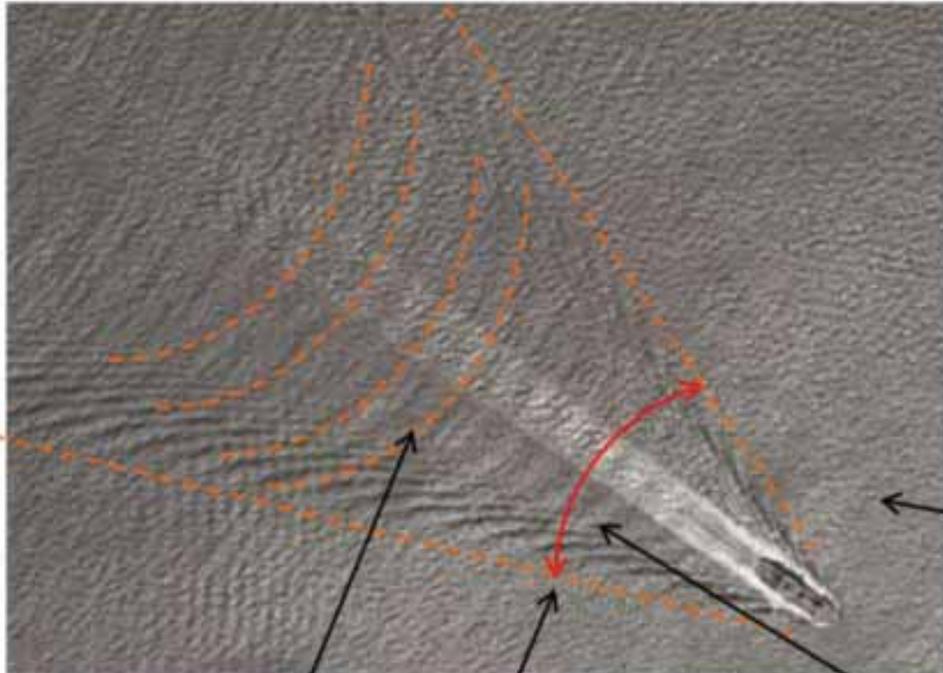
Vitesse du vent solaire: 400 km/s

Vitesse d'un bateau: 36 km/h (10 m/s)

Vitesse d'un canard sur l'eau: 0.36 km/h (10 cm/s)

Accommodation of the RPC Instruments





En se déplaçant à vitesse constante, un canard comme un navire génère un sillage d'une forme très spécifique qui semble suivre le mouvement

Et des ondes sur les bords externes du sillage

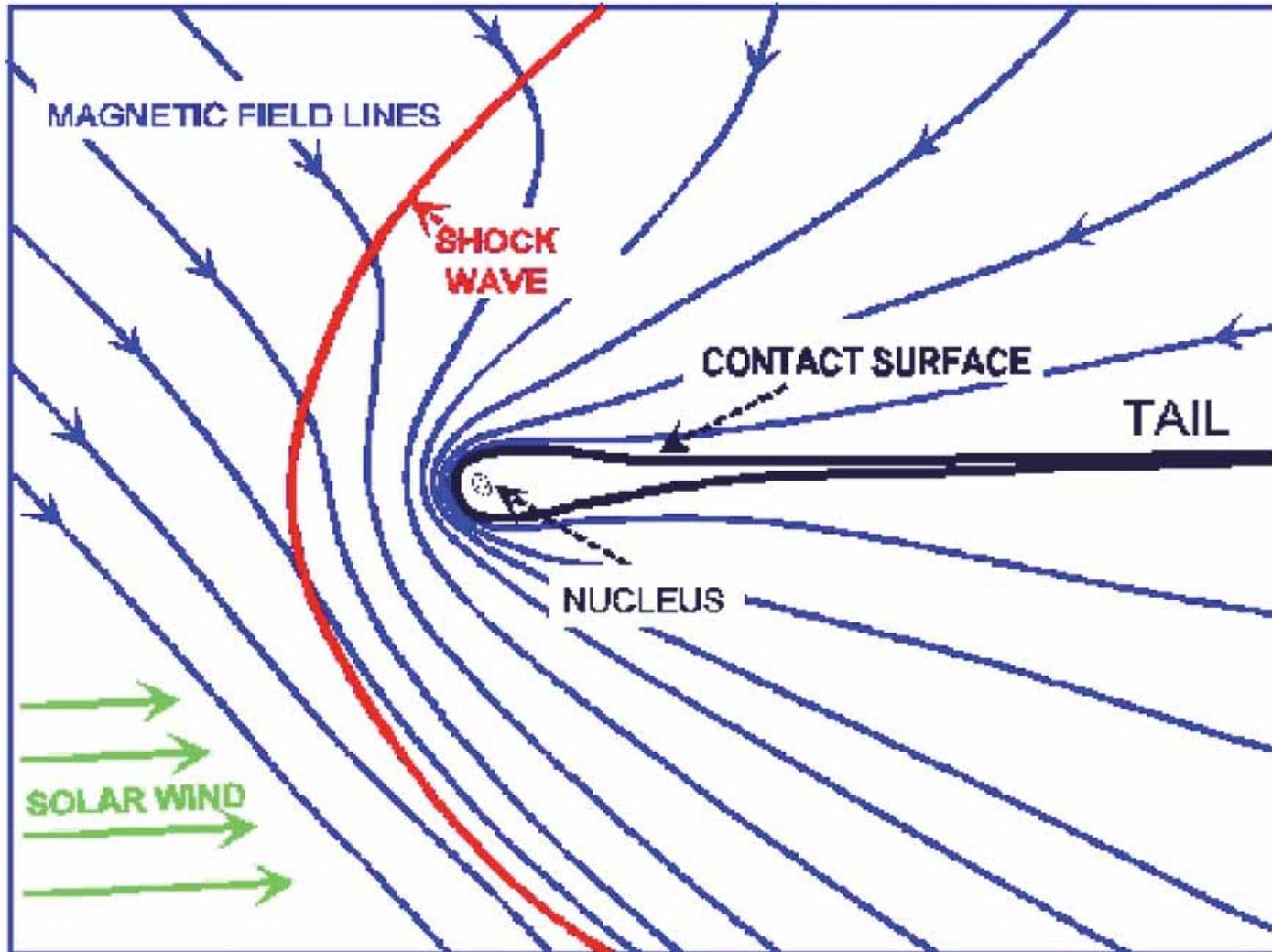
Avec des ondes transversales à la direction du déplacement...

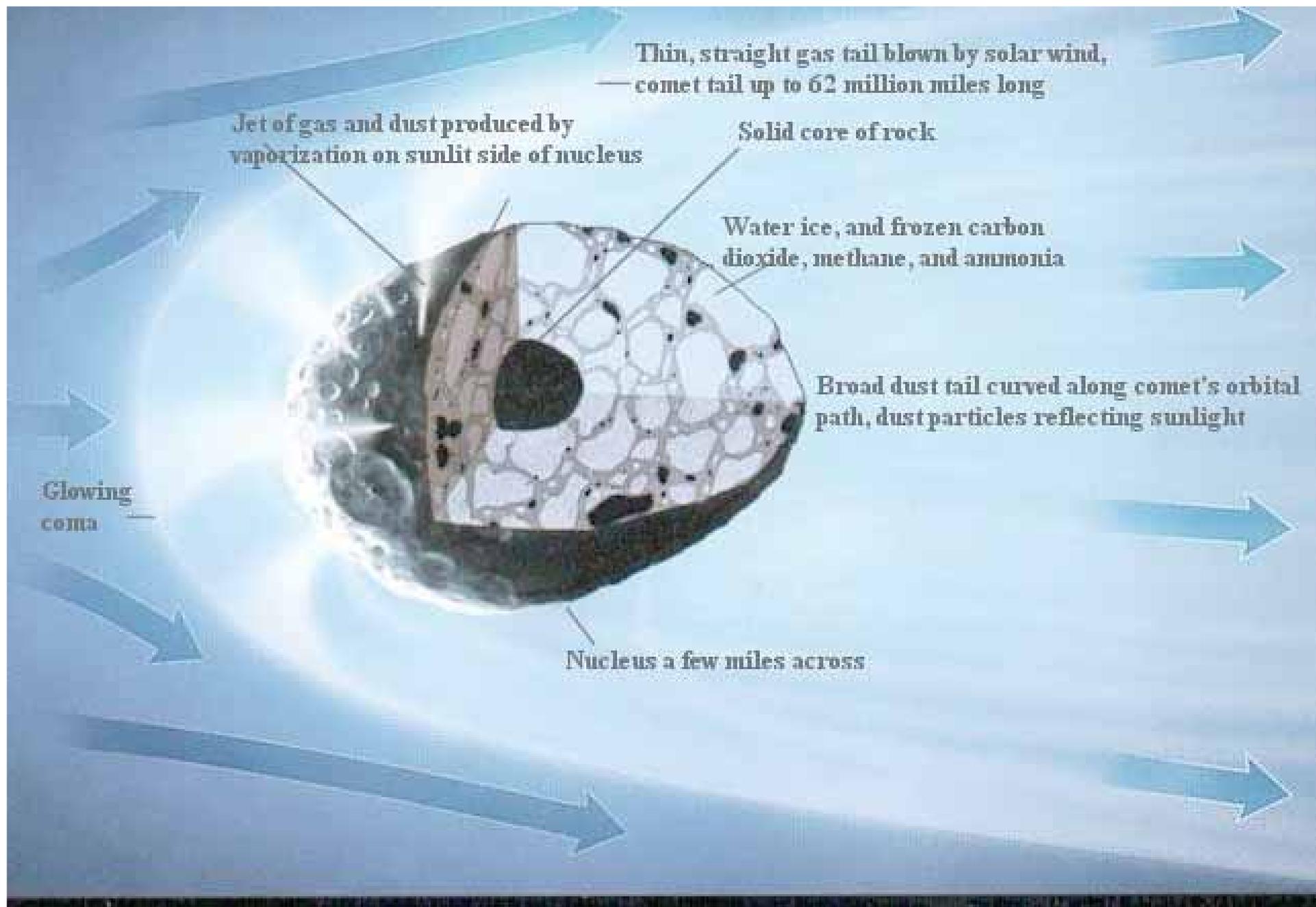
Que ce soit pour un bateau ou un canard, l'angle formé par le sillage est de 39° ... mais la hauteur des crêtes des vagues seront bien plus petites pour un canard que pour un bateau



Interaction Vent Solaire-Comète

Big & Small





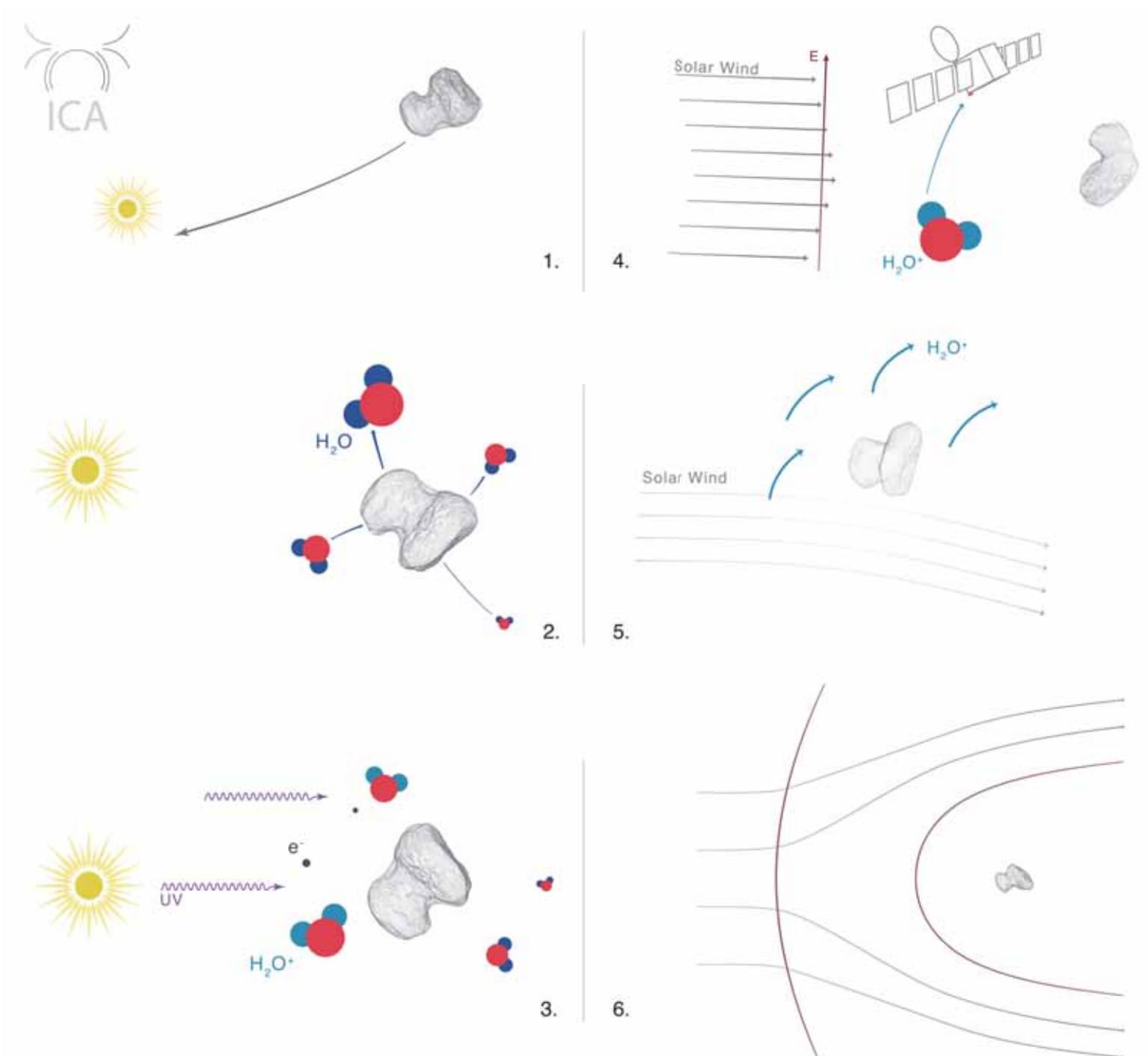
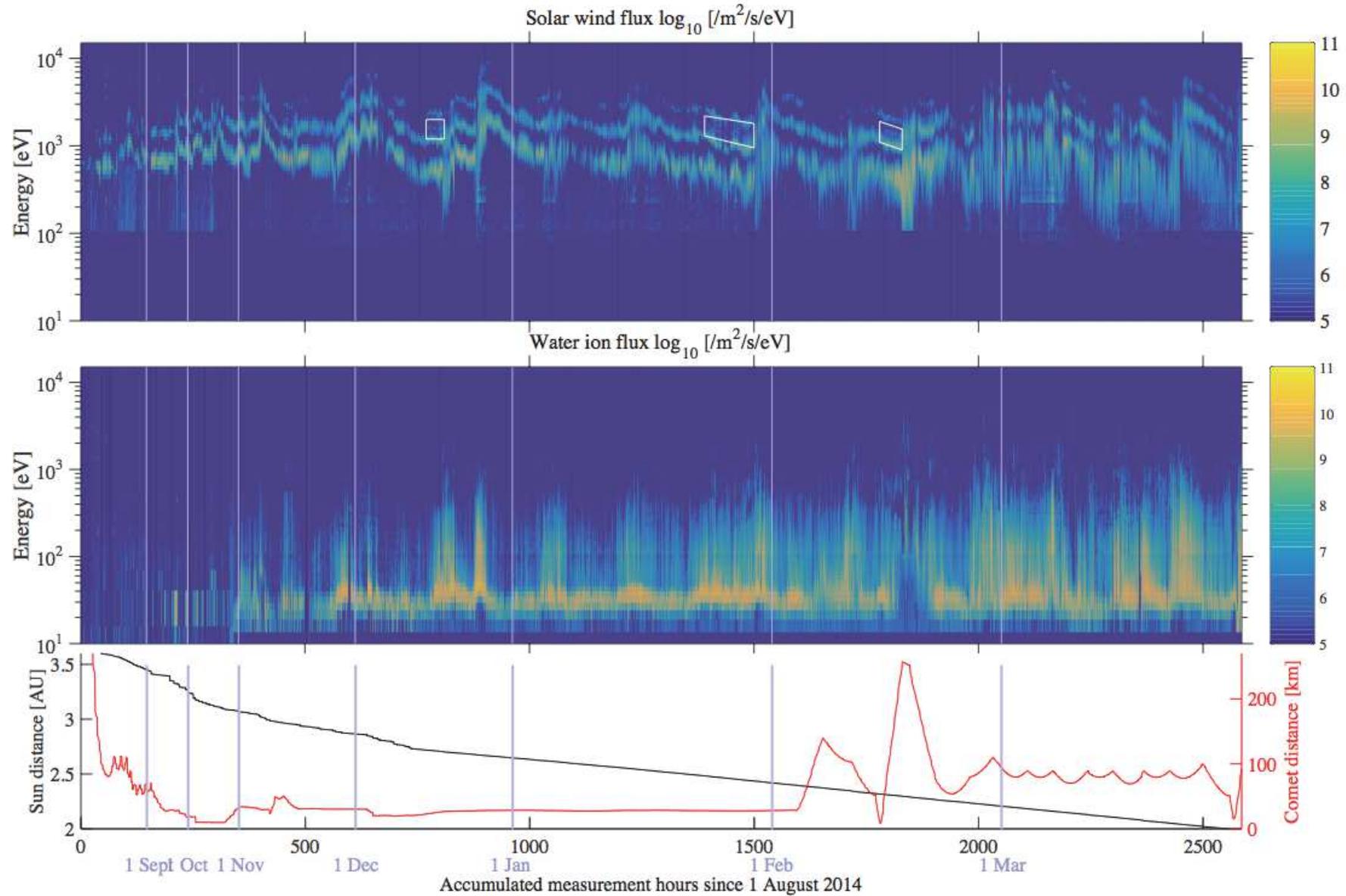


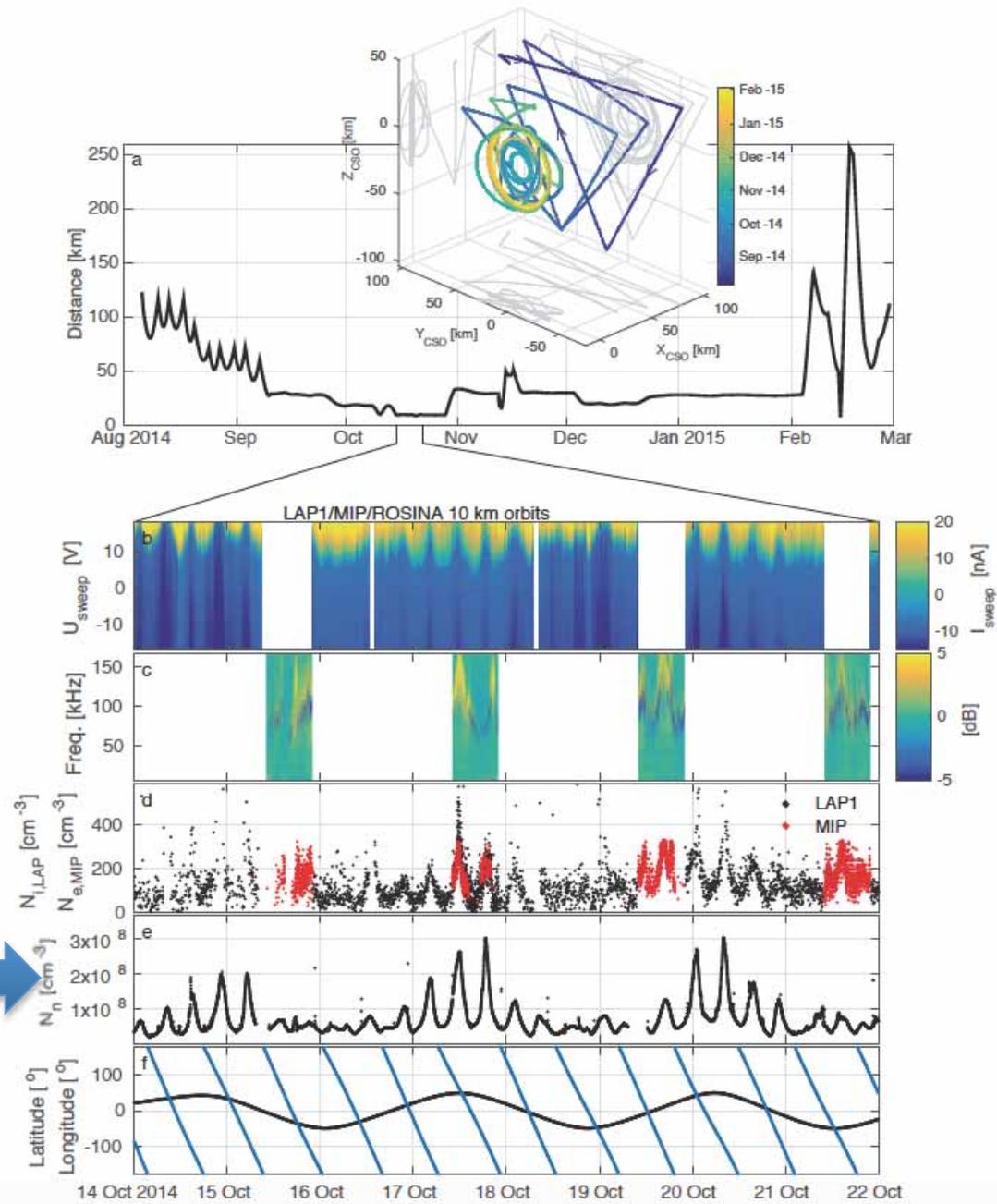
Illustration de la vie des molécules d'eau du gaz cométaire. E. Béhar/RPC-ICA, IRF Kiruna, Suède.



Evolution of the comet ion environment



Nilsson et al., submitted to Astronomy and Astrophysics

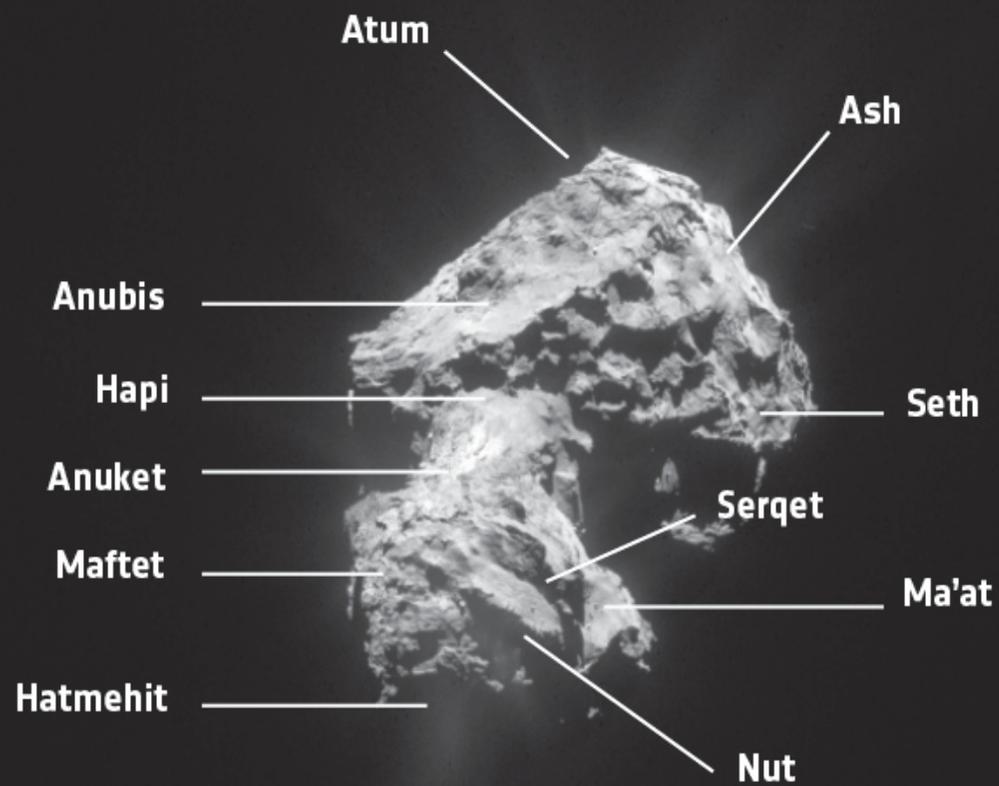


Courtesy
Rosina Team; 
K. Altwegg

Figure 1. Time series of Rosetta RPC-LAP/MIP data

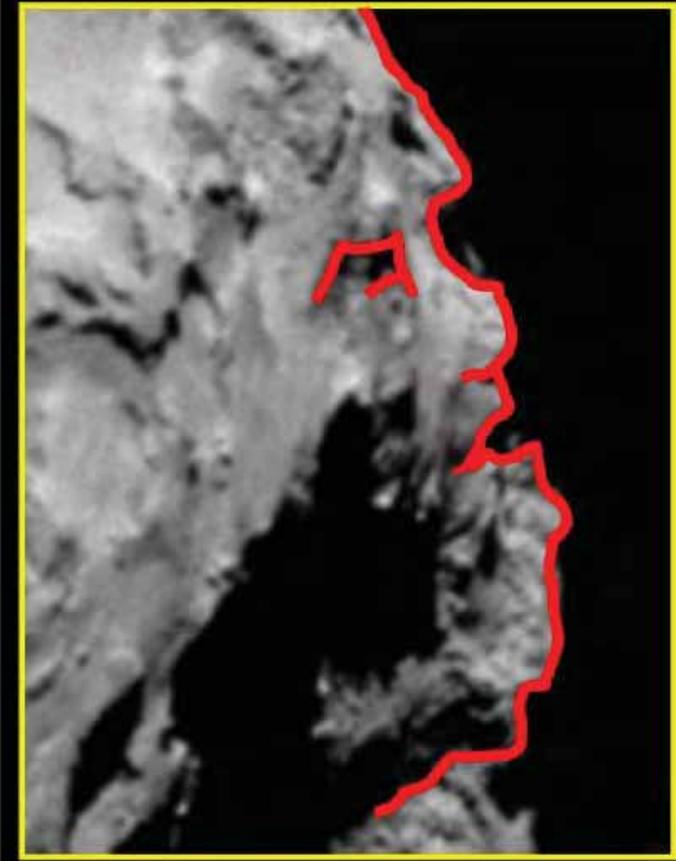
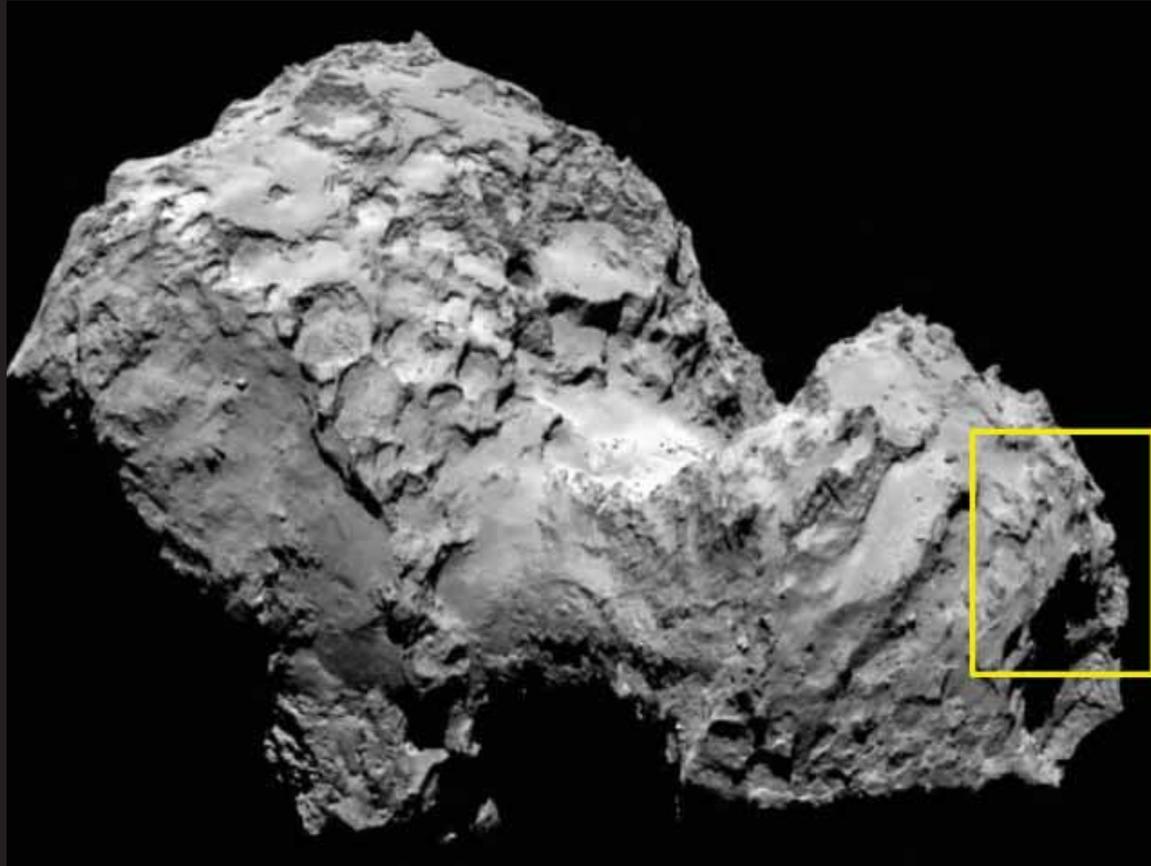


Processed image of Comet 67P/C-G taken by Rosetta's NAVCAM on 20 May 2015.
Credits: ESA/Rosetta/NavCam – CC BY-SA IGO 3.0



Processed image of Comet 67P/C-G taken by Rosetta's NAVCAM on 20 May 2015.
Credits: ESA/Rosetta/NavCam – CC BY-SA IGO 3.0

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>

