

# Photogrammétrie, Reconstruction et Visu 3D, Stéréophotographie & Astronomie

GEMINI Pro-Am <https://proam-gemini.fr/> , École de photométrie 2024

Observatoire de Marseille – SF2A

**Présentation de David ROMEUF - 9 juin 2024**

**Équipe Pro-Am : Philippe Lamy, Guillaume Faury, David Romeuf, Olivier Groussin**

# Apport à l'astrophysique

Diapo de Philippe LAMY – Laboratoire Astrophysique Marseille & LATMOS / SOHO / ROSETTA

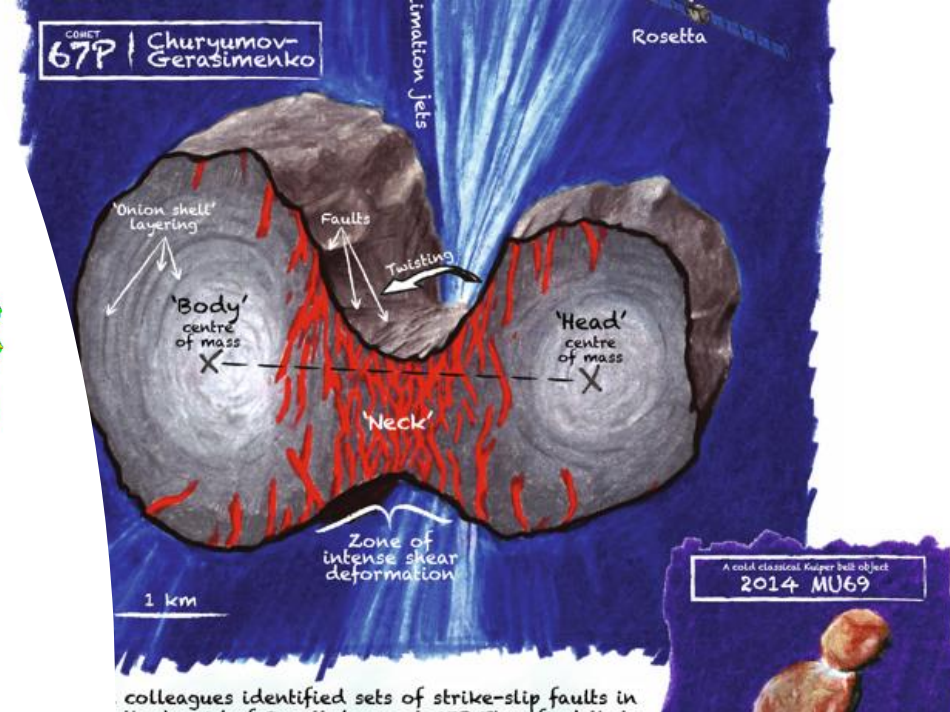
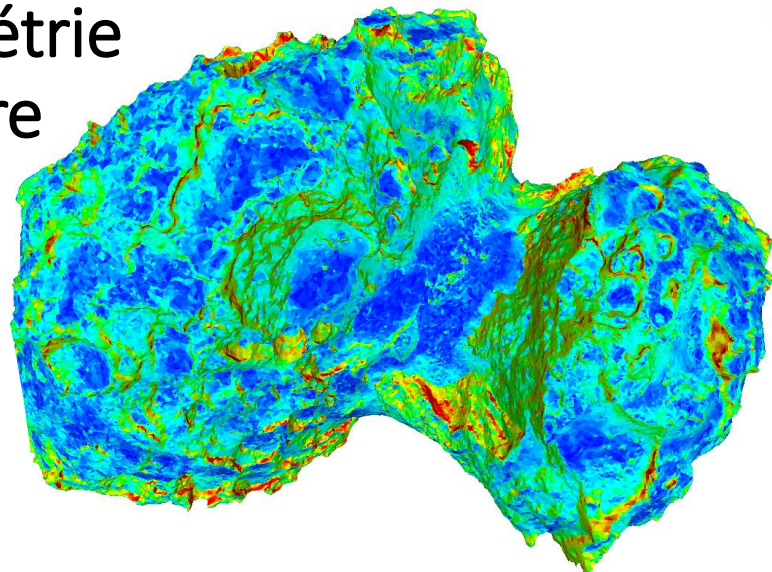
- La reconstruction 3D des petits corps est fondamentale pour l'étude de leurs propriétés physiques, à commencer par leur volume qui va donner accès à leur densité et donc aux processus de formation ;
- L'Étude de leur surface (et de celles des planètes) et des processus d'évolution requiert des données quantitatives (hauteur des falaises, profondeur des bassins, cratères, puits, etc.). C'est particulièrement le cas de la modélisation thermique afin de déterminer les conditions d'éclairement ;
- D'un point de vue opérationnel, poser un engin sur ces surfaces (choix des sites), opérer un rover requièrent une reconstruction 3D et une vision stéréo.

# Intérêt de la photogrammétrie (3D) pour le système solaire

Diapo: Olivier GROUSSIN  
Laboratoire Astrophysique de  
Marseille (LAM)

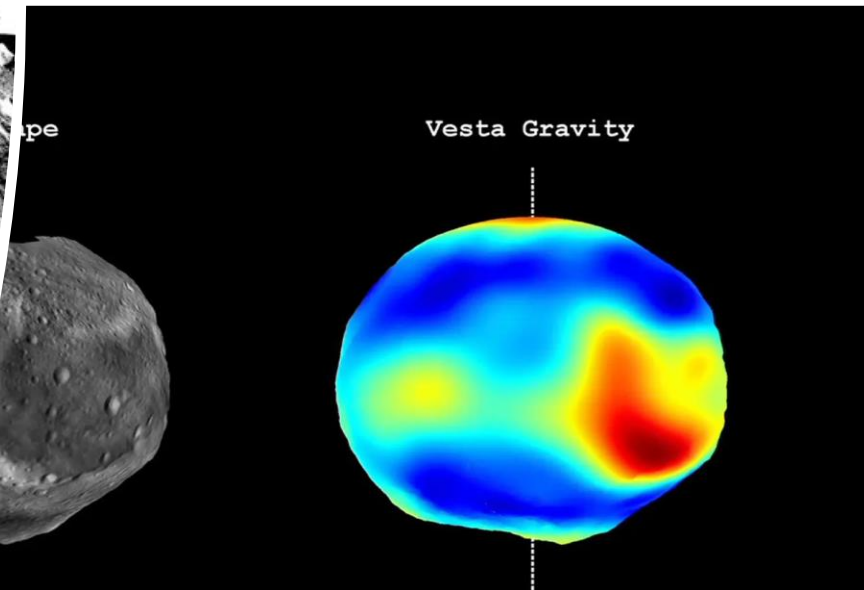
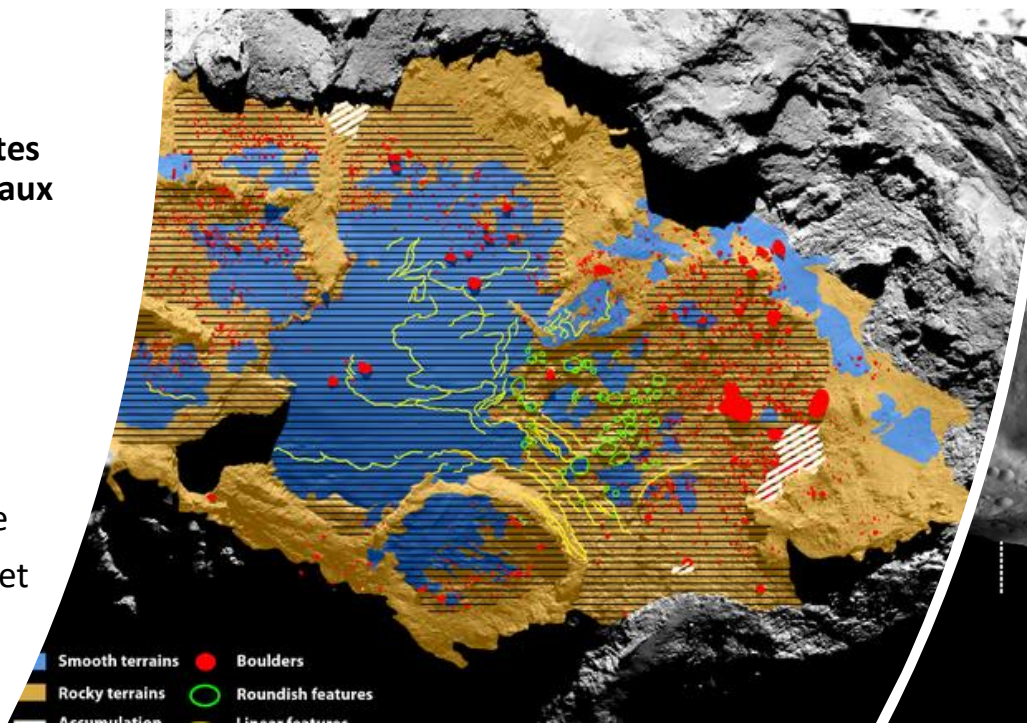
## Forme globale des petits corps:

- Comprendre les processus d'accrétion et d'évolution
- Connaître le champ de gravité (aide à la navigation)



## Etudes géomorphologiques des planètes telluriques, des astéroïdes, et des noyaux cométaires

- Mieux comprendre les processus géologiques en jeu
- Obtenir des renseignements sur la structure interne
- Réaliser des études morphologiques localisées à haute résolution spatiale
- Comprendre la topographie globale et locale, en particulier les pentes





2D : Voyez-vous des cavités ?

Où est la zone la plus haute, la plus basse ?

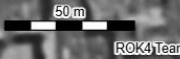






Où est la zone la plus haute ?  
(Question à ceux qui ne connaissent pas les lieux)  
Où est l'épave de « La Sartine » ?







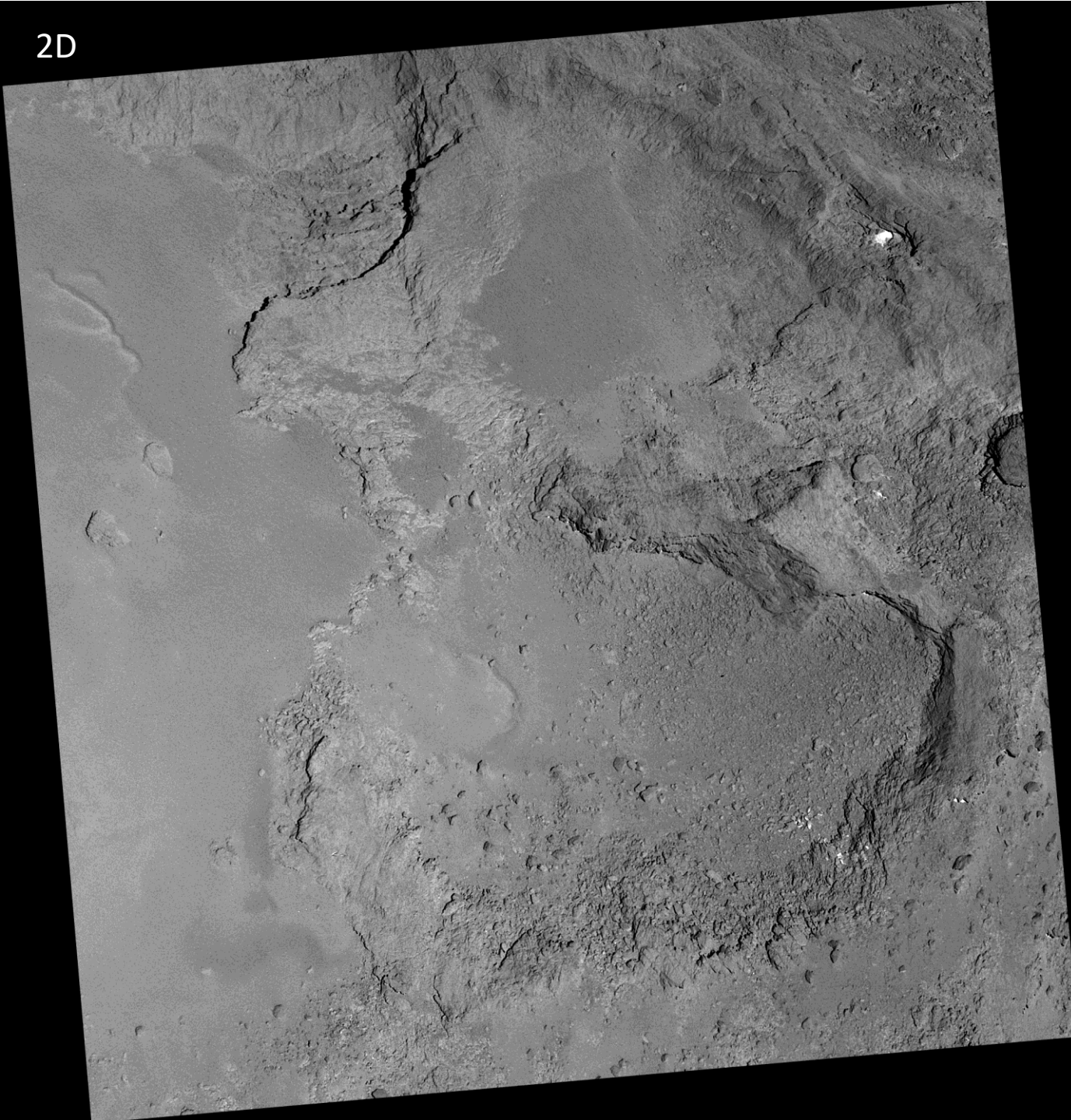
Échelle de 50 mètres bonne partout sur la photo ?  
Projection 2D des reliefs, angle de vue,  
Perspective de la prise de vue...



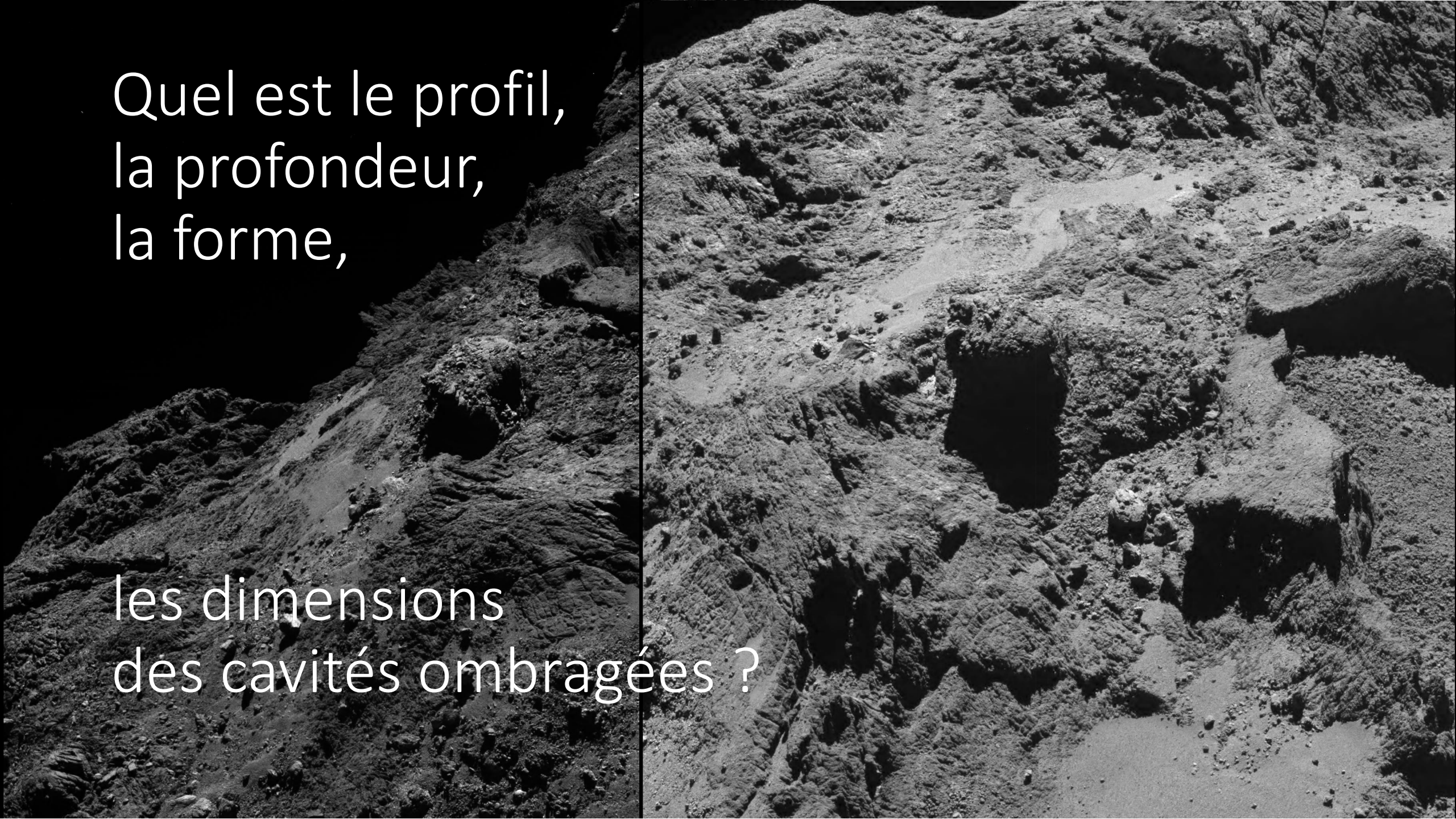


Des évidences

Mais notre réel grand problème !



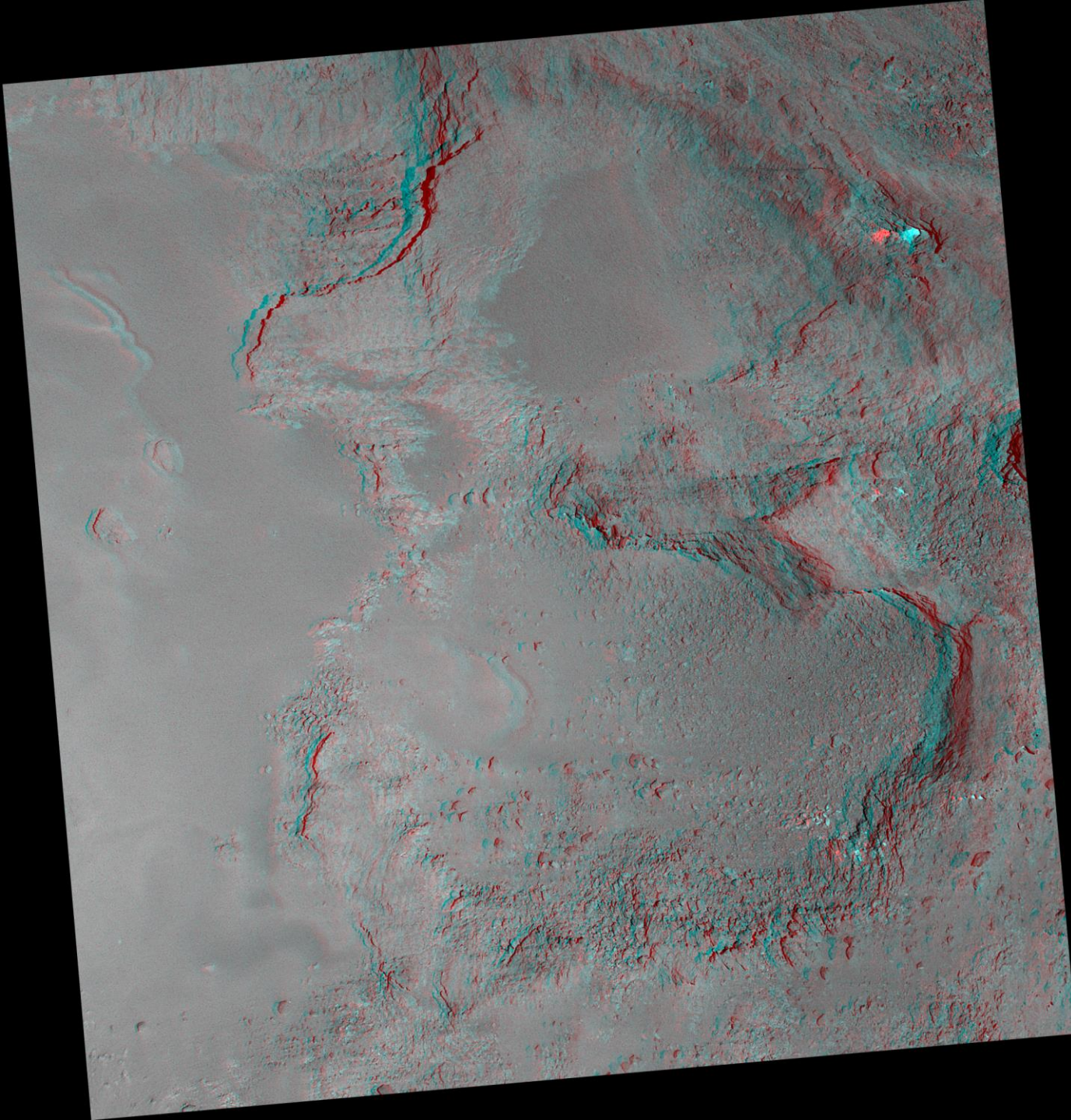
- Quelle est la zone la plus proche de nous ?
- Peut-on incruster une échelle sur une prise de vue qui est une image projection-perspective ?
- Voyez-vous des cavités ?
- Si oui, quelles sont leurs limites et leurs pourtours ?
- Si oui, quelles sont leur profondeur, leurs profils altimétriques ?
- Quelles sont les zones qui reçoivent le plus et le moins d'énergie solaire durant une journée, une période de l'orbite, la révolution ?



Quel est le profil,  
la profondeur,  
la forme,

les dimensions  
des cavités ombragées ?





- Vive la stéréophotographie !
- Chaussez les lunettes anaglyptiques rouge-cyan et cela devient évident.
- **Mais pour quantifier !!! ??? ...**
- <https://rosetta-3dcomet.cnes.fr/>

**cnes**  
CENTRE NATIONAL  
DES LOCS SPATIAUX

**LAM**  
LABORATOIRE  
D'ASTRONOMIE  
ET D'ASTROLOGIE

## 3D View of the Rosetta Comet

OSIRIS Stereo View  
of 67P/Churyumov-Gerasimenko

LATMOS

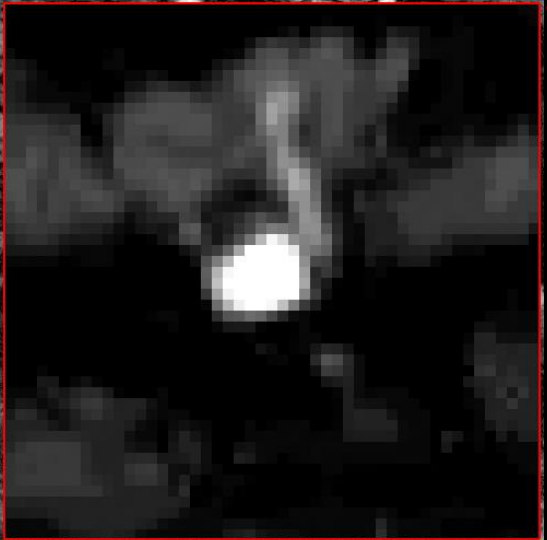
Home Albums Favorite Nucleus components Regions Features Search Stereo viewing Documentation The Team

Last update: 12/2020 (430 images added)

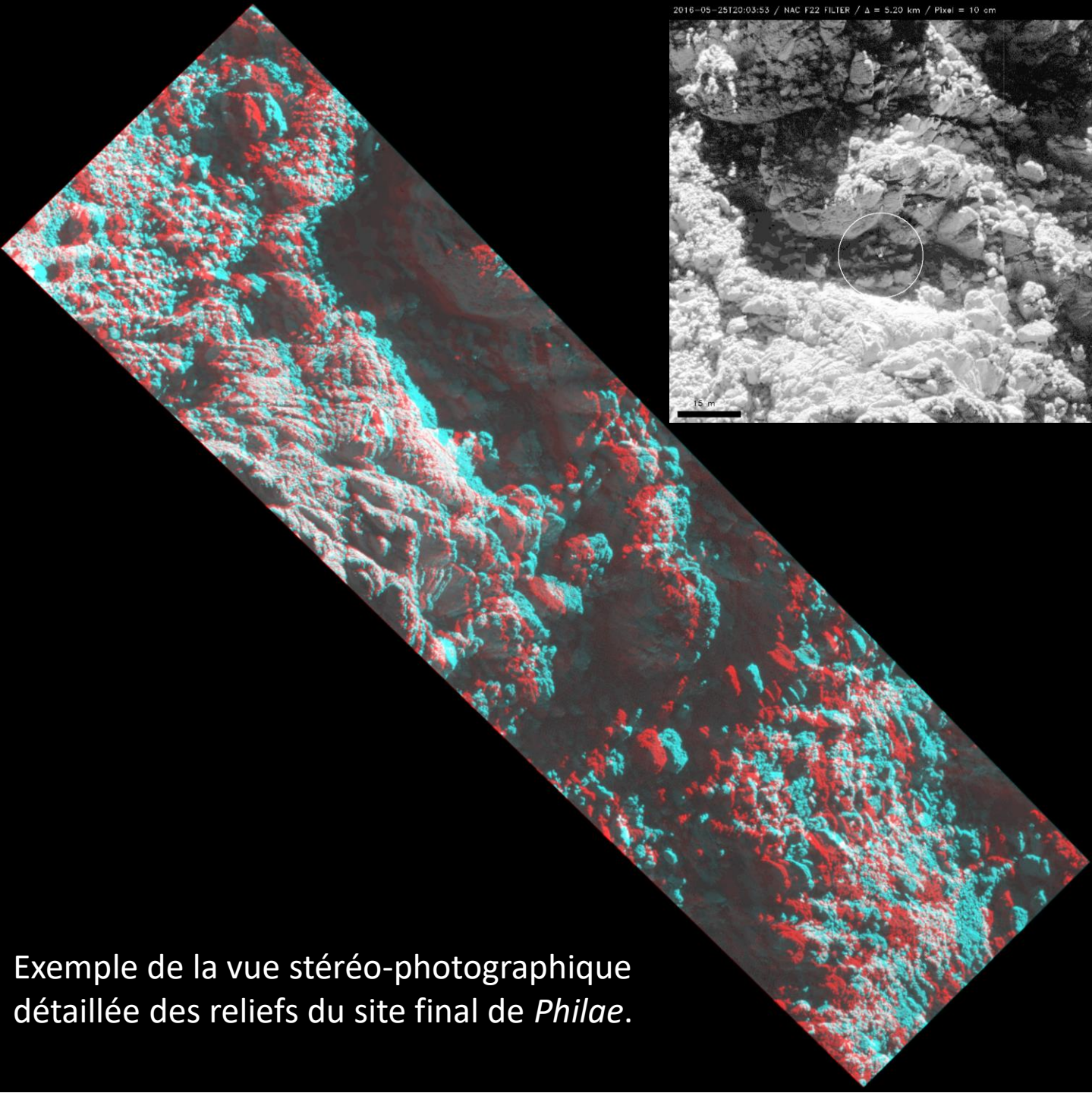
1 of 13 next



2016-05-25T20:00:13 / NAC F22 FILTER /  $\Delta = 5.15$  km / Pixel = 10 cm

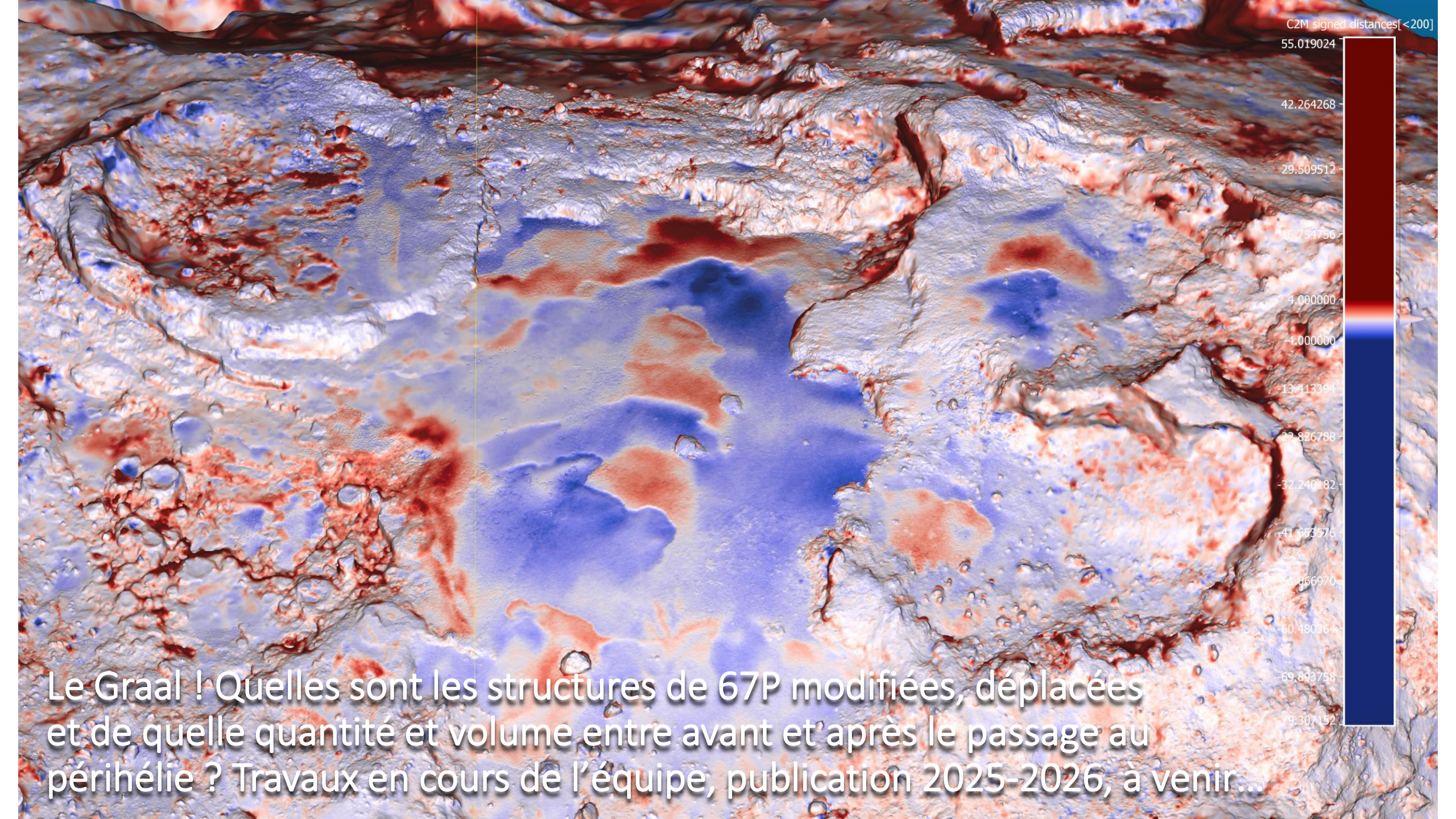


2016-05-25T20:03:53 / NAC F22 FILTER /  $\Delta = 5.20$  km / Pixel = 10 cm



Exemple de la vue stéréo-photographique détaillée des reliefs du site final de *Philae*.





Le Graal ! Quelles sont les structures de 67P modifiées, déplacées et de quelle quantité et volume entre avant et après le passage au périhélie ? Travaux en cours de l'équipe, publication 2025-2026, à venir...

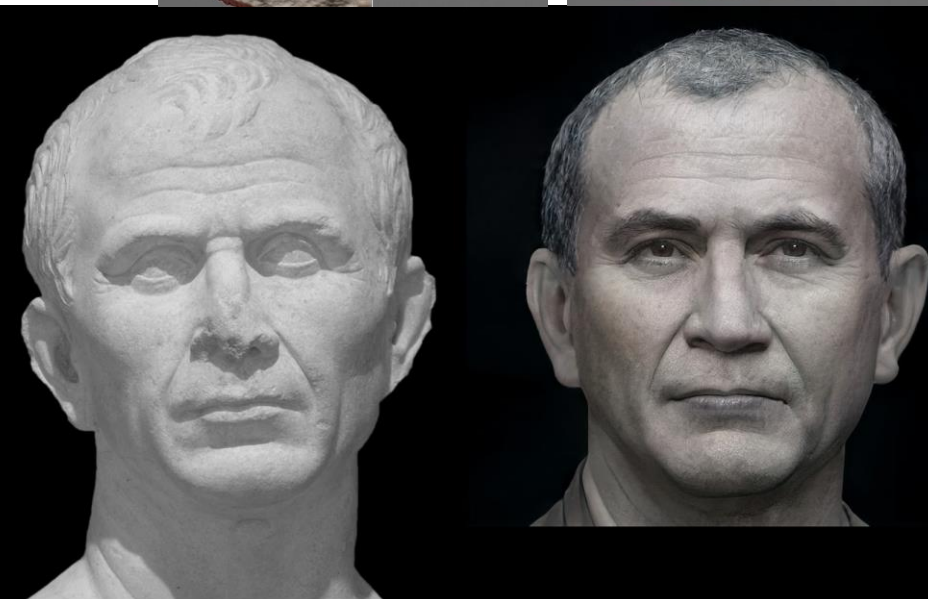
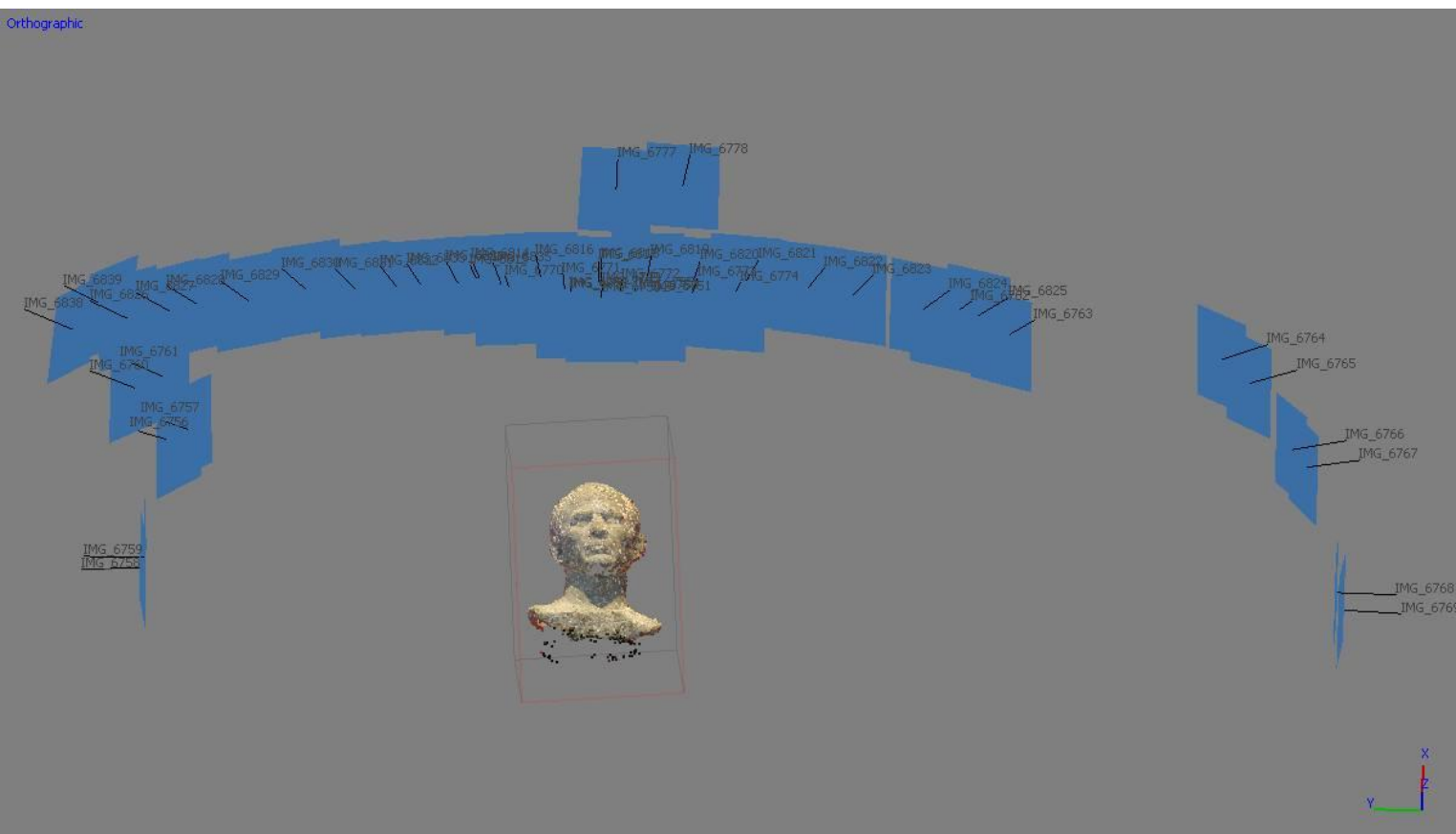


# Photogrammétrie

- Information 3D à partir de photos 2D prises sous différents angles et à différentes échelles ;
- La photogrammétrie est une méthode pour estimer les positions et les orientations des caméras ;
- Basée sur la détection de caractéristiques invariantes dans les images, telles que les coins, les bords ou les zones tâches ;
- Utilisée en cartographie terrestre, topographie, archéologie, médecine, robotique vision par ordinateur et astronomie !
- Best practice de la série d'images...

# Exemple sur la face du Jules César d'Arles

Orthographic



Importance de l'effet d'une texture ajoutée sur le modèle 3D du buste.  
Pour une texture au rendu photographique, il faut pouvoir la calculer avec  
une série de photos dont l'éclairage est cohérent, constant même phase...  
Nous développerons le cas problématique pour le modèle de 67P...

# Les meilleures pratiques pour la prise des vues

- Contrôle de l'éclairage. Jours nuageux pour éclairage diffus ;
- Pas d'ombres ;
- Variété d'angles et de vues avec chevauchement d'au moins 30% des images, séquençement logique dans le chemin de la trajectoire ;
- Haute résolution du capteur ;
- Proche et loin de l'objet (pyramide des prises de vue) ;
- Objectif photo sans trop de distorsion ;
- Marquage de point de repère sur le sol ;



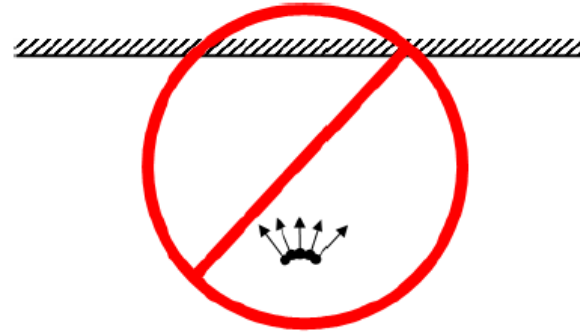
# Exemple de conseils en photo aérienne, & sur une comète active

- L'exigence de chevauchement peut être : 60 % de chevauchement latéral et plus de 80 % du chevauchement vers l'avant. Lors d'un relevé au-dessus d'une forêt, il est recommandé d'augmenter la valeur du chevauchement à 80 % et 90 % respectivement.
- Pour obtenir un meilleur chevauchement, il faut des itinéraires croisés ;
- Il est important de planifier un vol en tenant compte d'un modèle d'élévation approprié ;
- Pas de relevés aériens dans des zones forestières situées à moins de 300 mètres au-dessus du sol. Les couronnes des arbres sont déplacées par le vent et les résultats de la capture à basse altitude peuvent être problématiques pour le traitement, car le logiciel peut ne pas trouver de points communs sur les images ;
- Pas de relevé aérien des zones montagneuses à moins de 100 mètres au-dessus du sol. Il n'est pas recommandé d'effectuer un relevé aérien de la même zone pendant toute une journée. Les conditions d'éclairage changent au cours de la journée. Si les photos d'un même territoire sont prises avec des éclairages différents (par exemple, les ombres longues des mêmes structures pointant dans des directions complètement différentes et ayant des formes différentes), Metashape risque de ne pas trouver de points communs sur les photos qui se chevauchent ;
- Répartition homogène des points de contrôle au sol (GCP) (au moins 10 sur la zone à reconstruire) pour obtenir des résultats de la plus haute qualité, à la fois en termes de précision géométrique et de précision de géoréférencement.

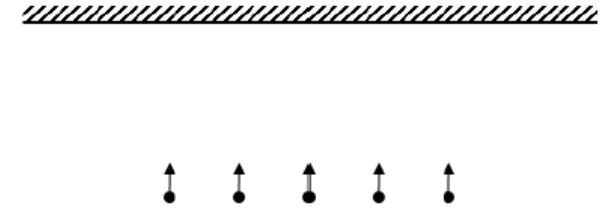
# Conseils méthodes et lieux de prise des vues

Source: documentation logiciel MetaShape

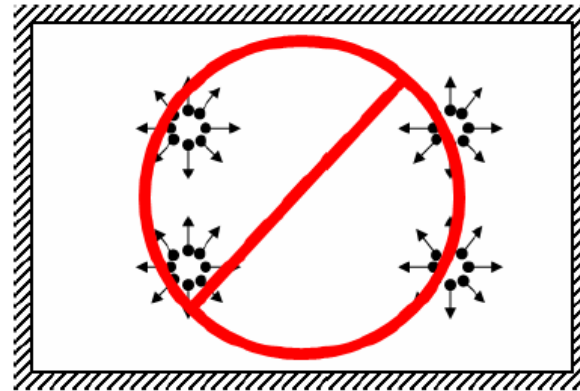
Facade (Incorrect)



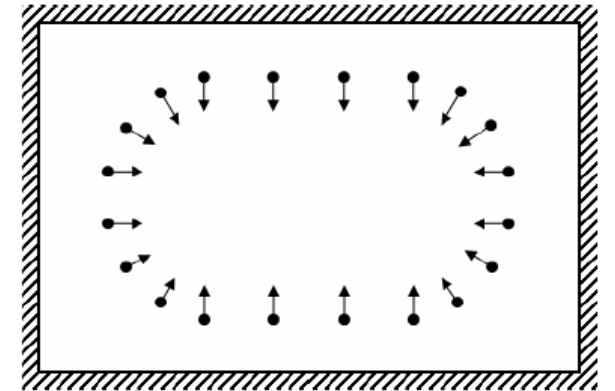
Facade (Correct)



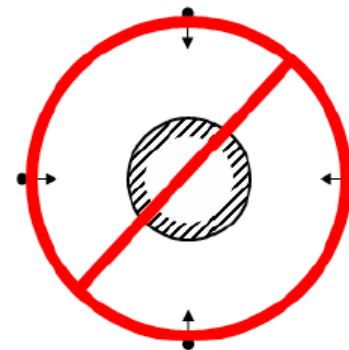
Interior (Incorrect)



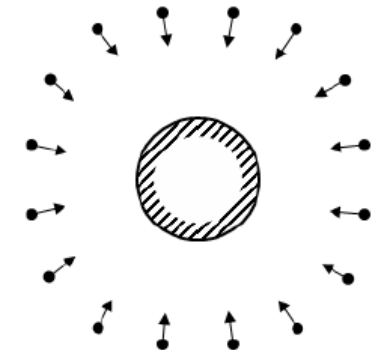
Interior (Correct)



Isolated Object (Incorrect)



Isolated Object (Correct)



# Caractéristiques des caméras OSIRIS/ROSETTA

## E2V Technologies

	NAC	WAC
Optical design	3-mirror off-axis	2-mirror off-axis
Detector type	2k × 2k CCD	2k × 2k CCD
Angular resolution ( $\mu\text{rad px}^{-1}$ )	18.6	101
Focal length (mm)	717.4	140 (sag)/131 (tan)
Field of view ( $^\circ$ )	$2.20 \times 2.22$	$11.35 \times 12.11$
Telescope aperture	$6.49 \times 10^{-3} \text{ m}^2$	$4.91 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
F-number	8	5.6
Spatial scale from 1km ( $\text{cm px}^{-1}$ )	1.86	10.1
NAC and WAC CCD		
Pixel size	$13.5 \times 13.5 \mu\text{m}^2$	
Full well	$>120\,000 \text{ e}^- \text{ px}^{-1}$	
System gain	$\approx 3.1 \text{ e}^-/\text{DU}$	
Readout noise (CCD)	$\approx 15 \text{ e}^- \text{ rms}$	
Dark charge generation	$<0.1 \text{ e}^- \text{ s}^{-1} \text{ px}^{-1} @ 180 \text{ K}$ $\approx 400 \text{ e}^- \text{ s}^{-1} \text{ px}^{-1} @ 293 \text{ K} - (\text{with dithering})$	
Readout rate	$1.3 \text{ Mpx s}^{-1}; 650 \text{ kpx s}^{-1} \text{ per channel}$	
Readout time (full frame)	3.4 s (2 channels)	

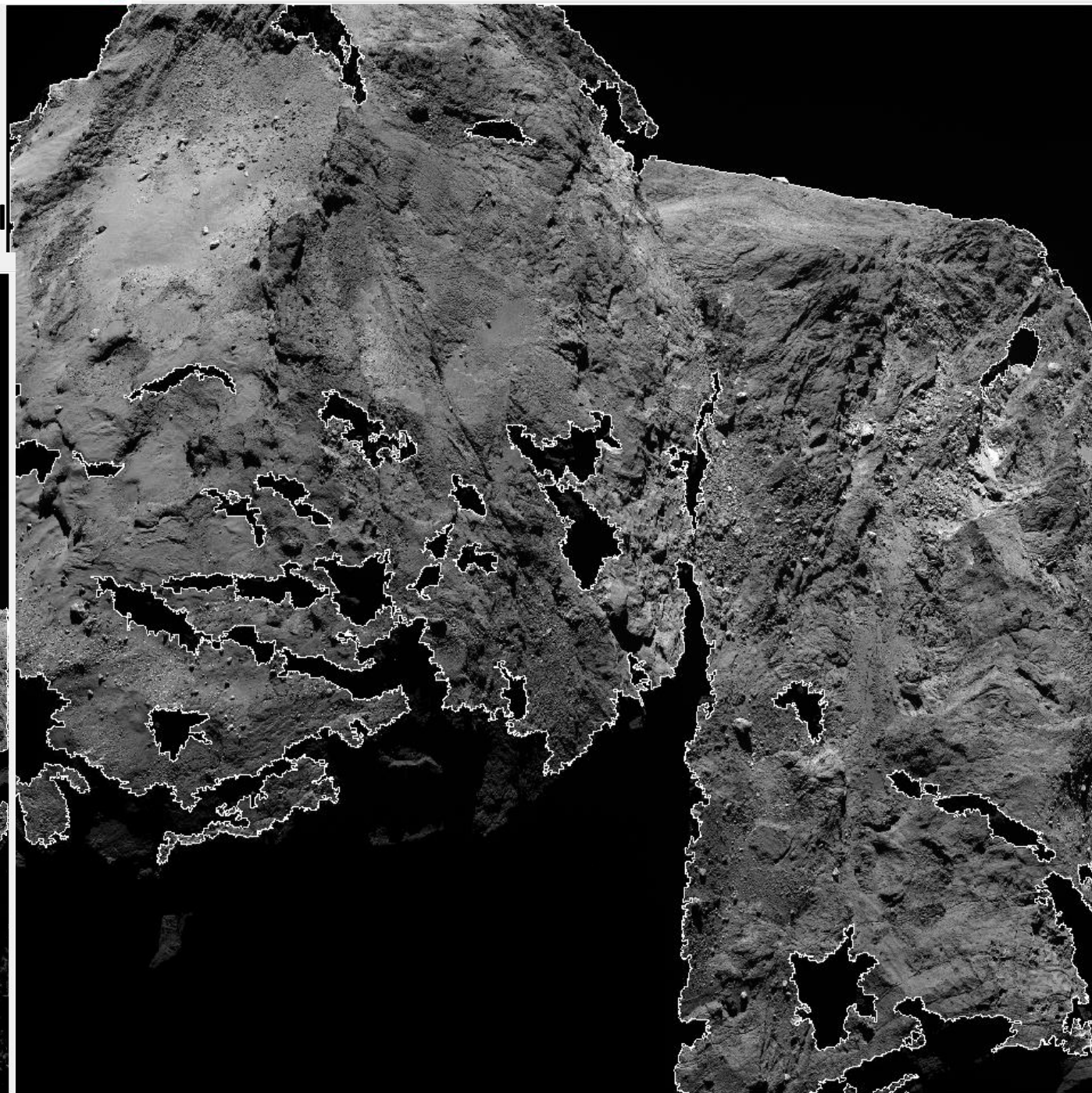
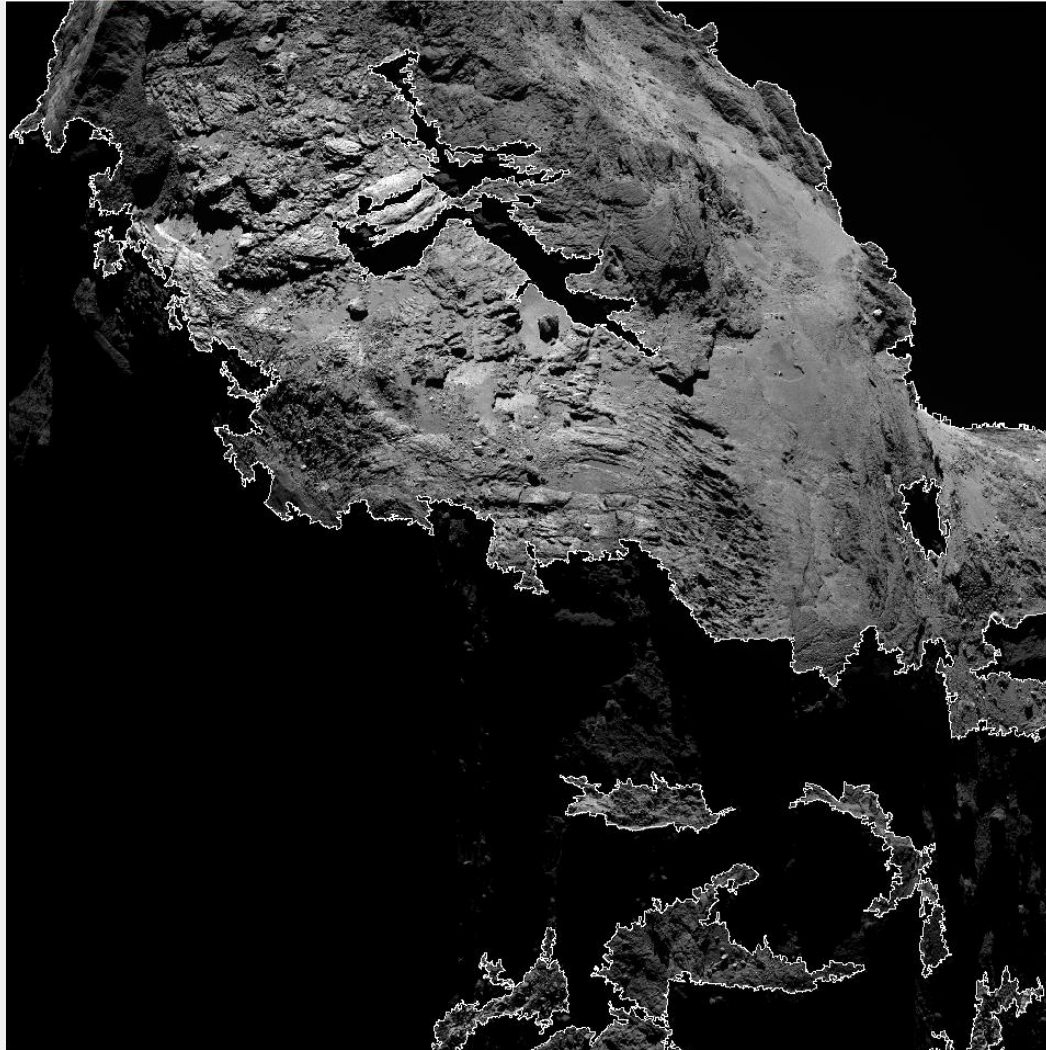
# Sélection des images et des périodes

- ▼ MASQUES 67P PRE Périhélie Modèle (9271 images, 2,595,442 tie points) [T]
  - ▼ Images (8553/9271 aligned)
    - > NAC\_F16\_2PN (569/569 aligned)
    - > NAC\_F22\_2PN (2247/2247 aligned)
    - > NAC\_F23\_2PN (882/882 aligned)
    - > NAC\_F24\_2PN (1042/1042 aligned)
    - > NAC\_F27\_2PN (471/471 aligned)
    - > NAC\_F28\_2PN (463/463 aligned)
    - > NAC\_F41\_2PN (902/902 aligned)
    - > NAC\_F51\_2PN (388/388 aligned)
    - > NAC\_F61\_2PN (365/365 aligned)
    - > NAC\_F71\_2PN (339/339 aligned)
    - > NAC\_F82\_2PN (98/98 aligned)
    - > NAC\_F83\_2PN (2/2 aligned)
    - > NAC\_F84\_2PN (39/39 aligned)
    - > NAC\_F88\_2PN (28/28 aligned)
    - > WAC\_F13\_2PN\_FLIP\_H (107/107 aligned)
    - > WAC\_F17\_2PN\_FLIP\_H (115/115 aligned)
    - > WAC\_F18\_2PN\_FLIP\_H (487/487 aligned)
    - > WAC\_F51\_2PN\_FLIP\_H (9/9 aligned)
    - > Non utilisable ou alignable (0/718 aligned)
  - > Components (1)
    - ☐ Tie Points (2,595,442 points)

- Workspace (8 chunks, 101816 images)
  - ▼ 67P POST Périhélie Modèle référence au 23-07-2023 rev Suppr Flotteurs 13-09-2023 (9238 images, 52 markers, 6,456,748 tie points) [R]
    - ▼ Images (9186/9238 aligned)
      - > NAC\_F15\_2PN (104/104 aligned)
      - > NAC\_F16\_2PN (276/276 aligned)
      - > NAC\_F22\_2PN (3514/3514 aligned)
      - > NAC\_F23\_2PN (270/270 aligned)
      - > NAC\_F24\_2PN (1403/1403 aligned)
      - > NAC\_F27\_2PN (191/191 aligned)
      - > NAC\_F28\_2PN (145/145 aligned)
      - > NAC\_F32\_2PN (17/17 aligned)
      - > NAC\_F41\_2PN (1184/1184 aligned)
      - > NAC\_F51\_2PN (113/113 aligned)
      - > NAC\_F61\_2PN (151/151 aligned)
      - > NAC\_F71\_2PN (186/186 aligned)
      - > NAC\_F82\_2PN (38/38 aligned)
      - > NAC\_F83\_2PN (2/2 aligned)
      - > NAC\_F84\_2PN (38/38 aligned)
      - > NAC\_F88\_2PN (38/38 aligned)
      - > WAC\_F16\_2PN\_FLIP\_H (24/24 aligned)
      - > WAC\_F12\_2PN\_FLIP\_H (1051/1051 aligned)
      - > WAC\_F18\_2PN\_FLIP\_H (95/95 aligned)
      - > WAC\_F21\_2PN\_FLIP\_H (334/334 aligned)
      - > NON ALIGNEES NON UTILISABLES (12/64 aligned)
    - > Components (1)
    - > Markers (52)
      - ☐ Tie Points (6,456,748 points)

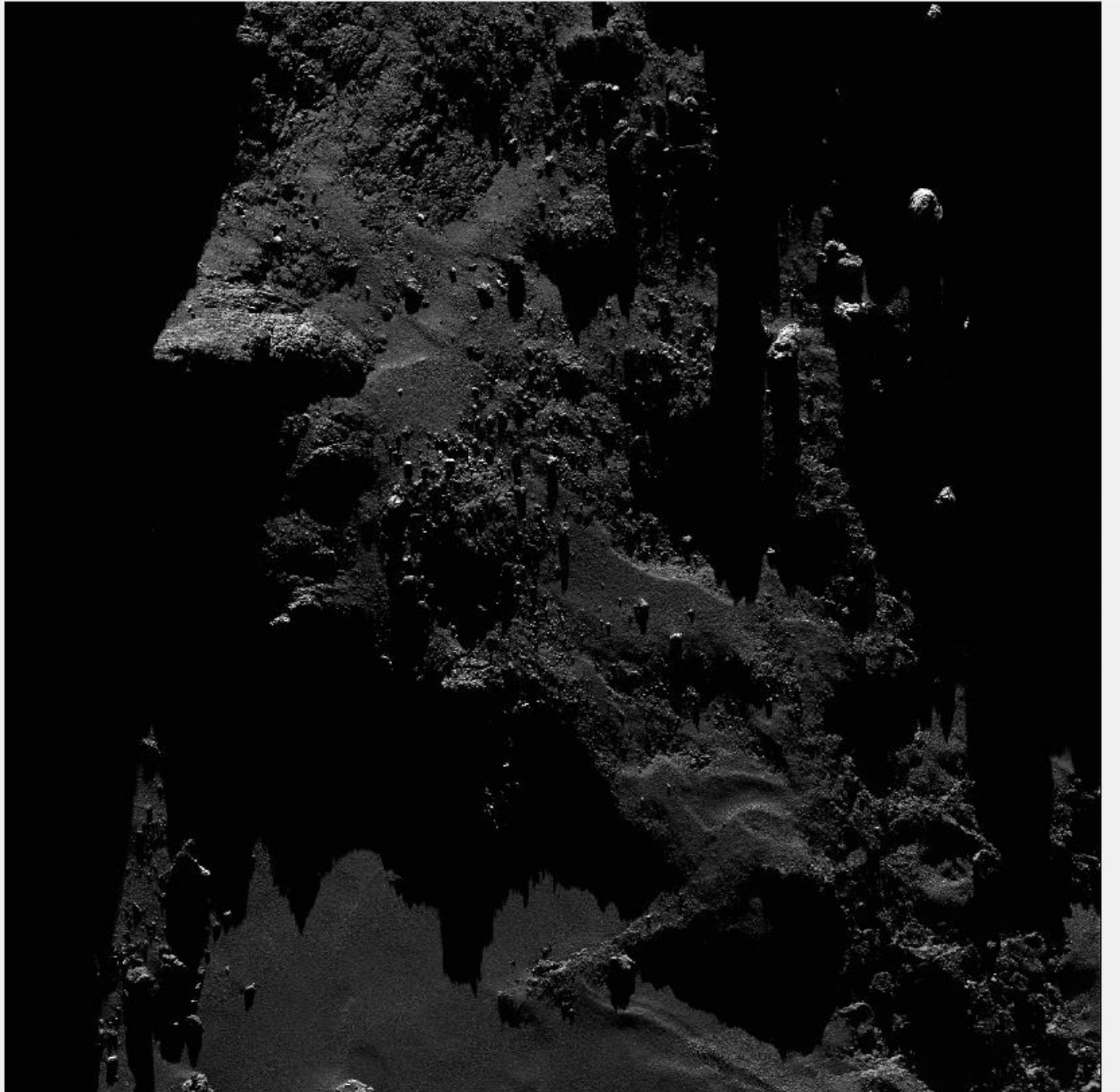


Le problème des ombres portées d'un lobe sur l'autre lobe, d'une structure sur la surface... déplacement des ombres par la rotation intrinsèque de la comète sur elle-même, déplacement de la sonde Rosetta...  
→ **Masquage/Zonage d'exclusion du calcul dans le logiciel**





Au passage : un visage  
en ombre et lumière,  
morphoimaginoïde,  
trouvé lors du tri des  
série d'images.



# Le problème de l'activité

Animation: Jacint Roger Perez

<https://apod.nasa.gov/apod/ap180426.html>





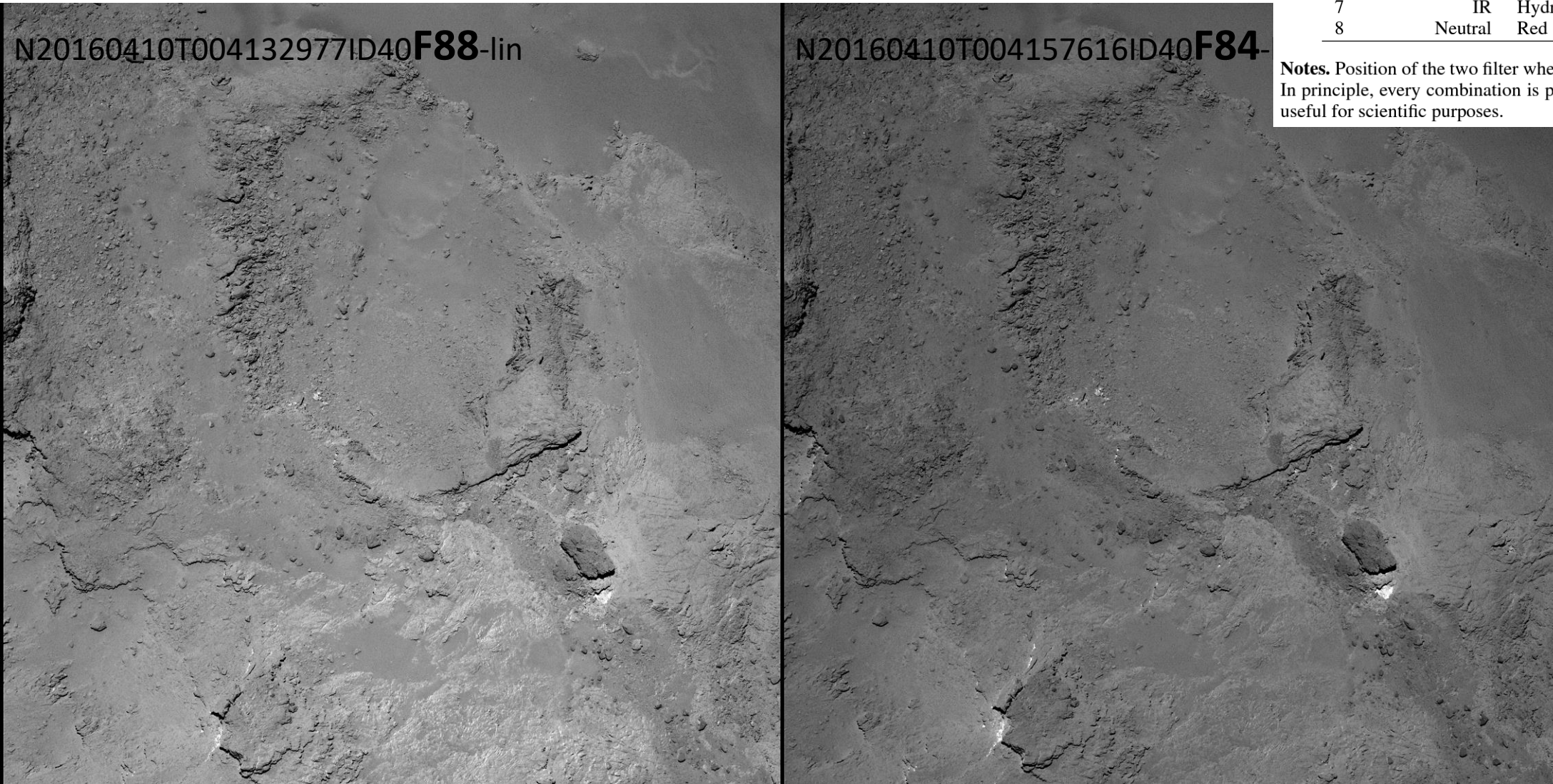
**Table 2.** NAC and WAC filter names and wheel positions.

Position	NAC		WAC	
	Wheel 1	Wheel 2	Wheel 1	Wheel 2
1	FFP_UV	FFP_IR	empty	empty
2	FFP_Vis	Orange	Green	Red
3	NFP_Vis	Green	UV 245	UV 375
4	Near-IR	Blue	CS	CN
5	Ortho	Far-UV	UV 295	NH2
6	Fe2O3	Near-UV	OH	Na
7	IR	Hydra	UV 325	OI
8	Neutral	Red	NH	Vis 610

**Notes.** Position of the two filter wheels of all filters for NAC and WAC. In principle, every combination is possible, but only some of them are useful for scientific purposes.

# Prise des vues filtrées

peut jouer sur la reconnaissance/calcul zones

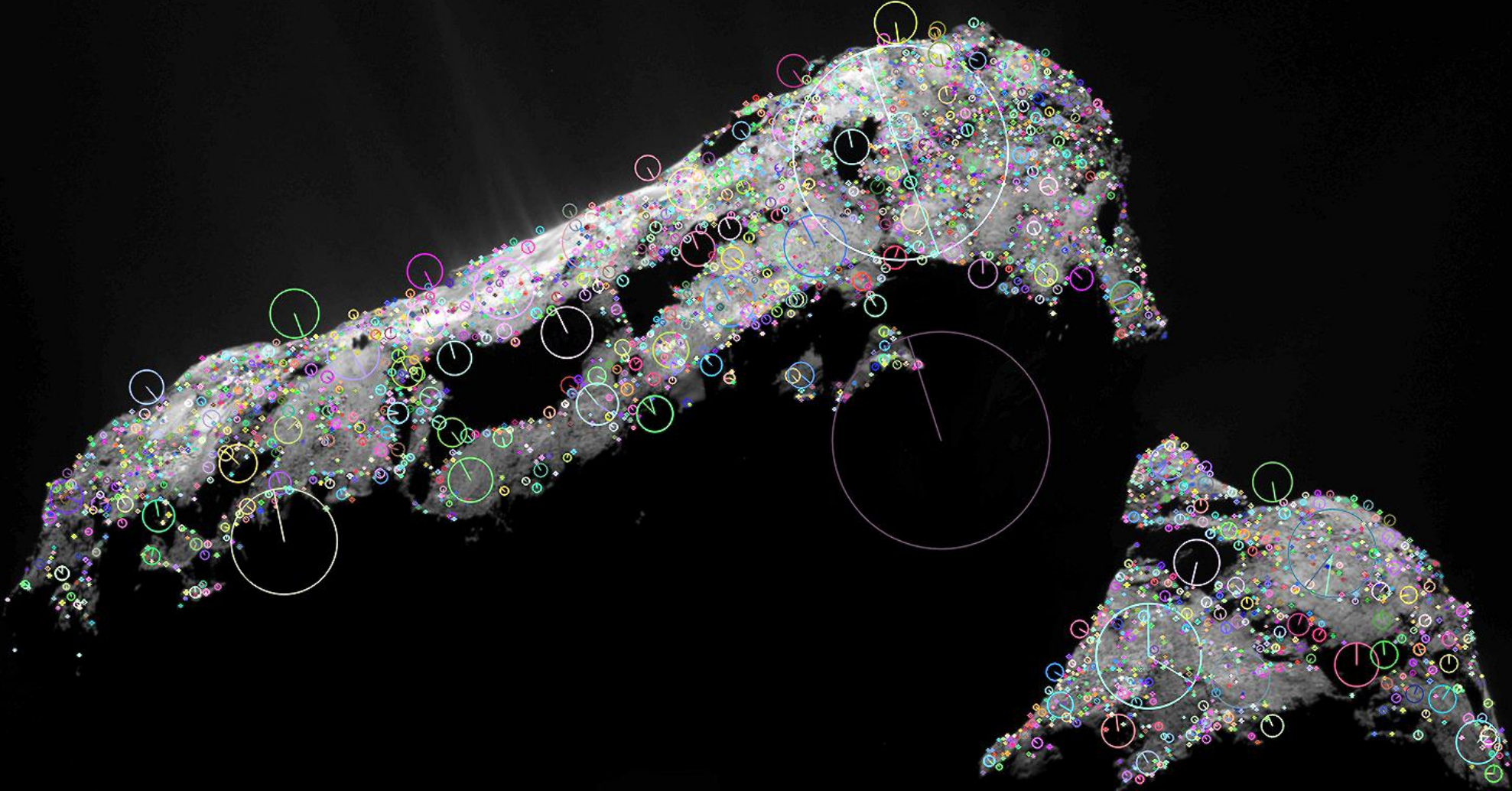




# Alignement des 18.000 images, **crucial**

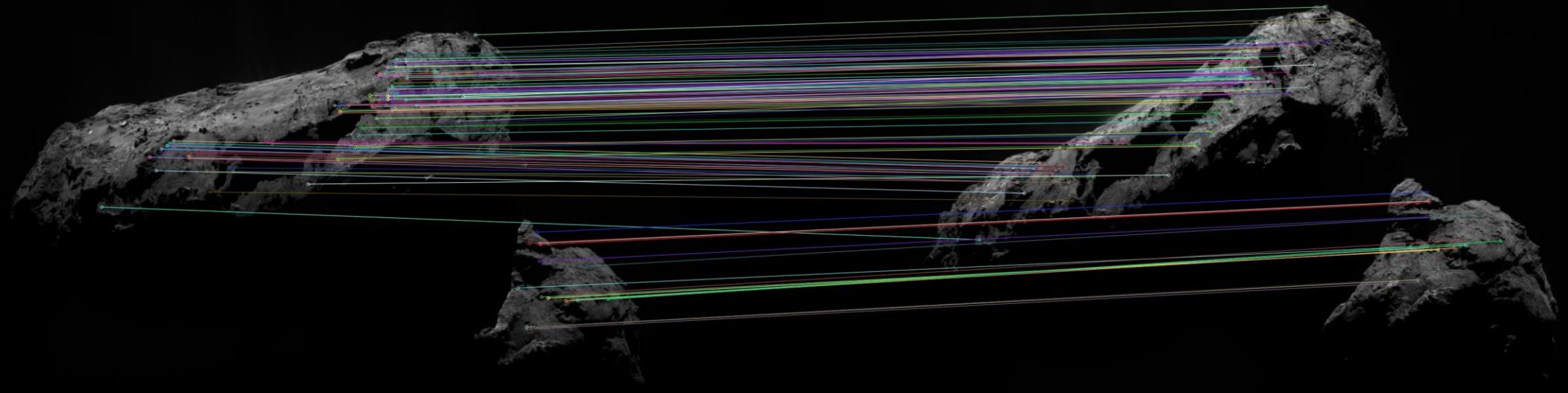
- Points clés SIFT (transformation de caractéristiques visuelles invariante à l'échelle), points homologues voir David G. Lowe <http://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf> ;
- Suppression des images qui posent problème, mauvaise qualité, mauvaise prise de vue, mauvais alignement, mauvais éclairage...
- Processus par itérations successives:
  - 1- calcul d'un alignement
  - 2- filtrage mathématique par confiance et erreur de rétroprojection
  - 3- filtrage manuel des points d'ancrage que l'on ne juge pas bon
  - 4- n fois... boucle en 1- recalcul de l'alignement des images

Points vecteurs SIFT

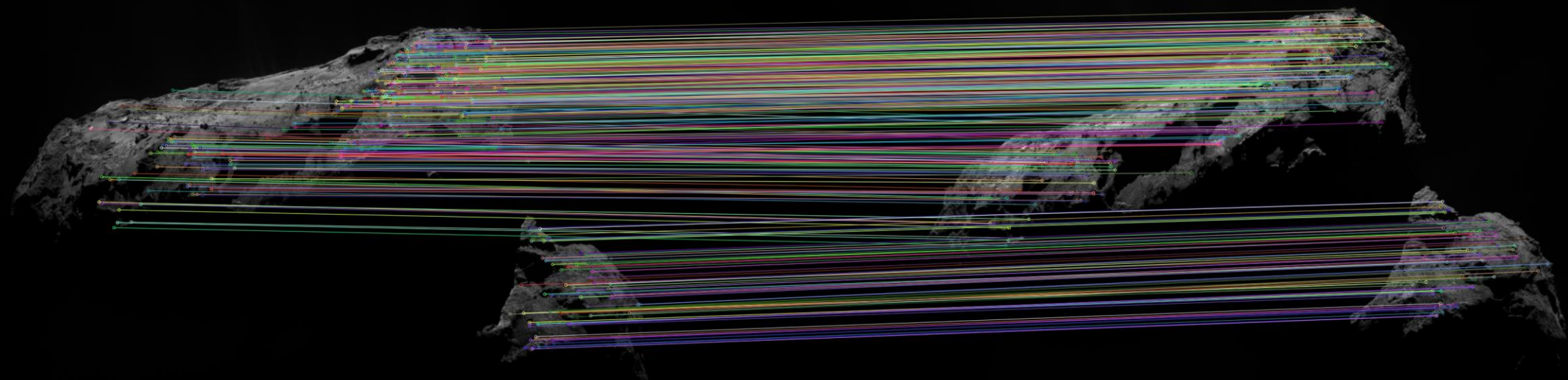




NB:min/max dist 138 : 60.0 / 182.1867



NB:min/max dist 396 : 44.06813 / 181.9093

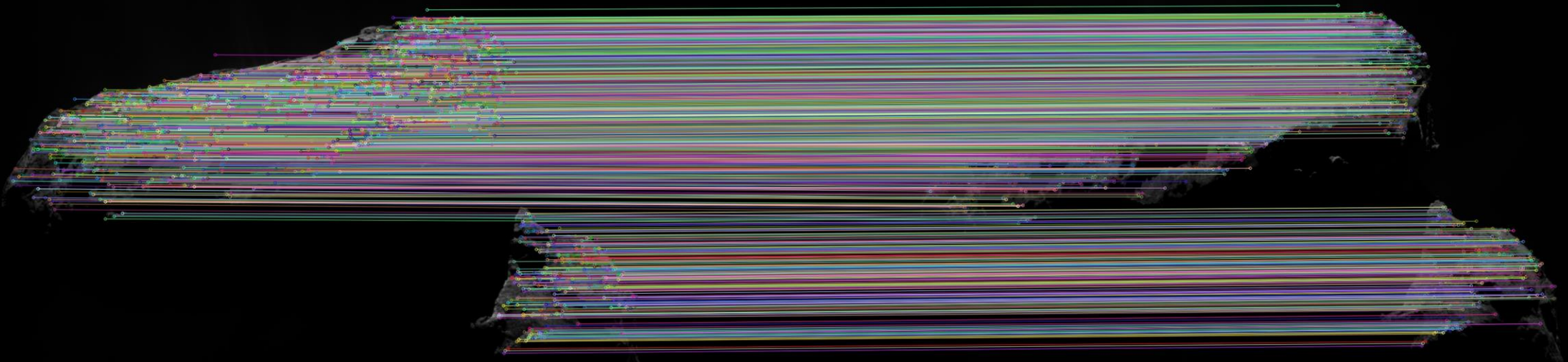




NB:min/max dist 749 : 35.91656 / 178.7400



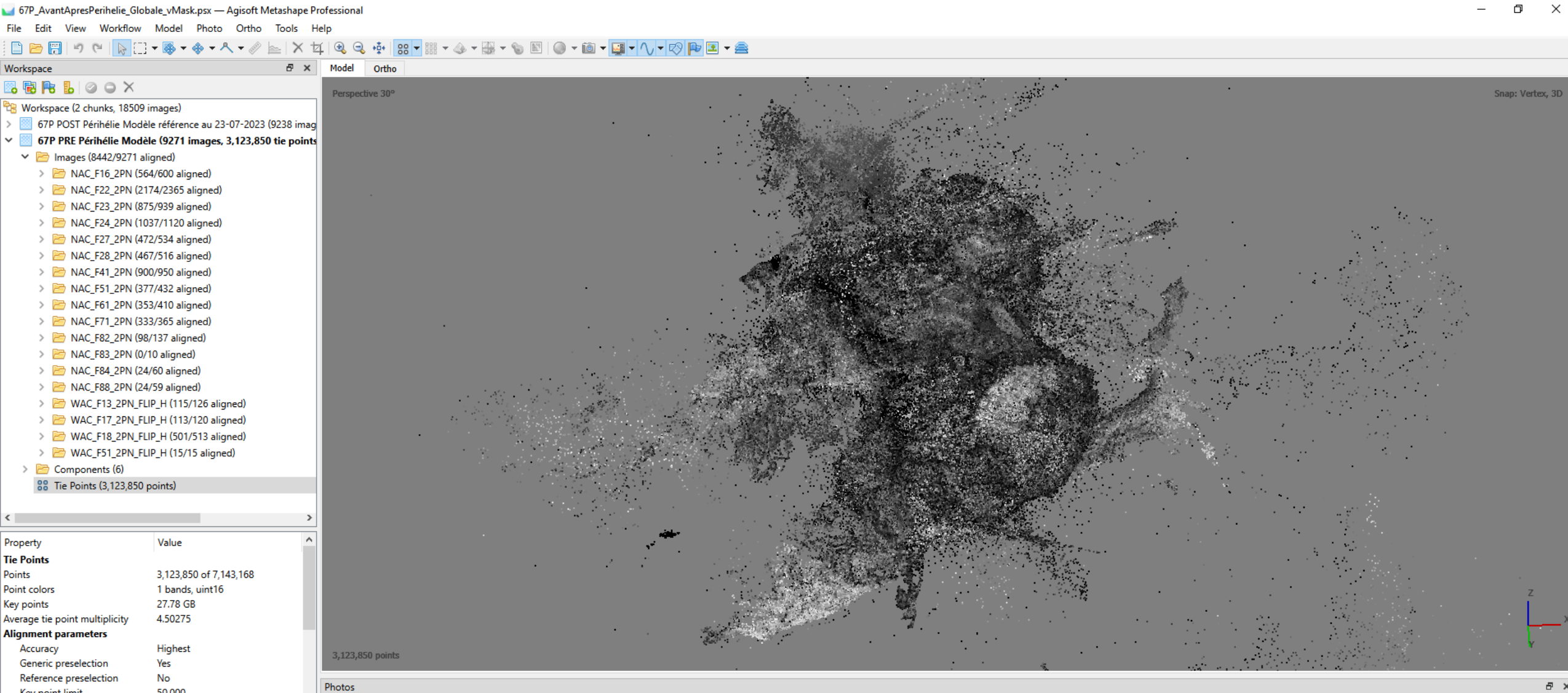
NB:min/max dist 1868 : 14.62873 / 174.2928



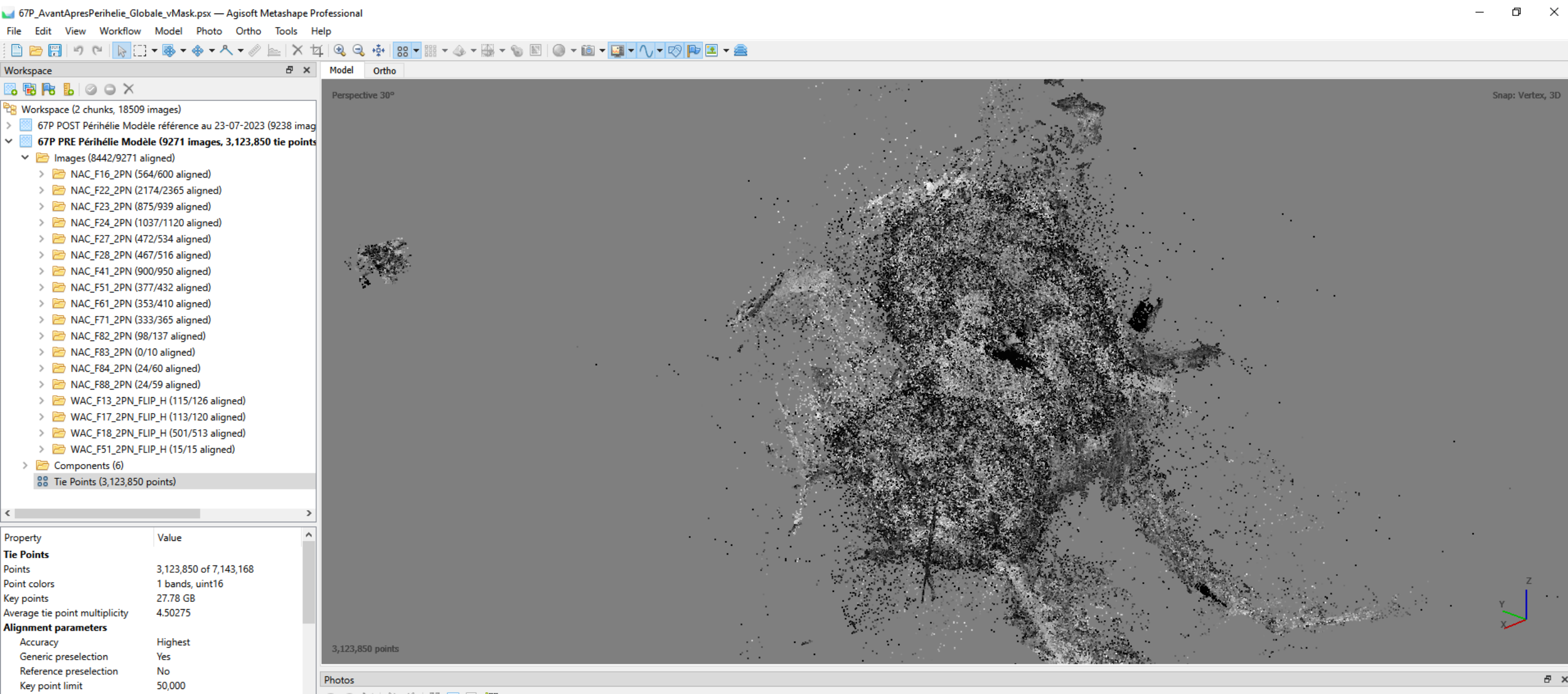


# On peut partir de très loin sur le 1<sup>er</sup> calcul d'alignement des images ...

## Filtrage et groupement en morceaux des séries d'images...



Sélection manuelle des différentes séries d'images qui s'ancrent bien entre elles et découpage des traitements dans des *chunks*... puis réassemblage/*merge* et regroupement dans 1 seul *chunk*.



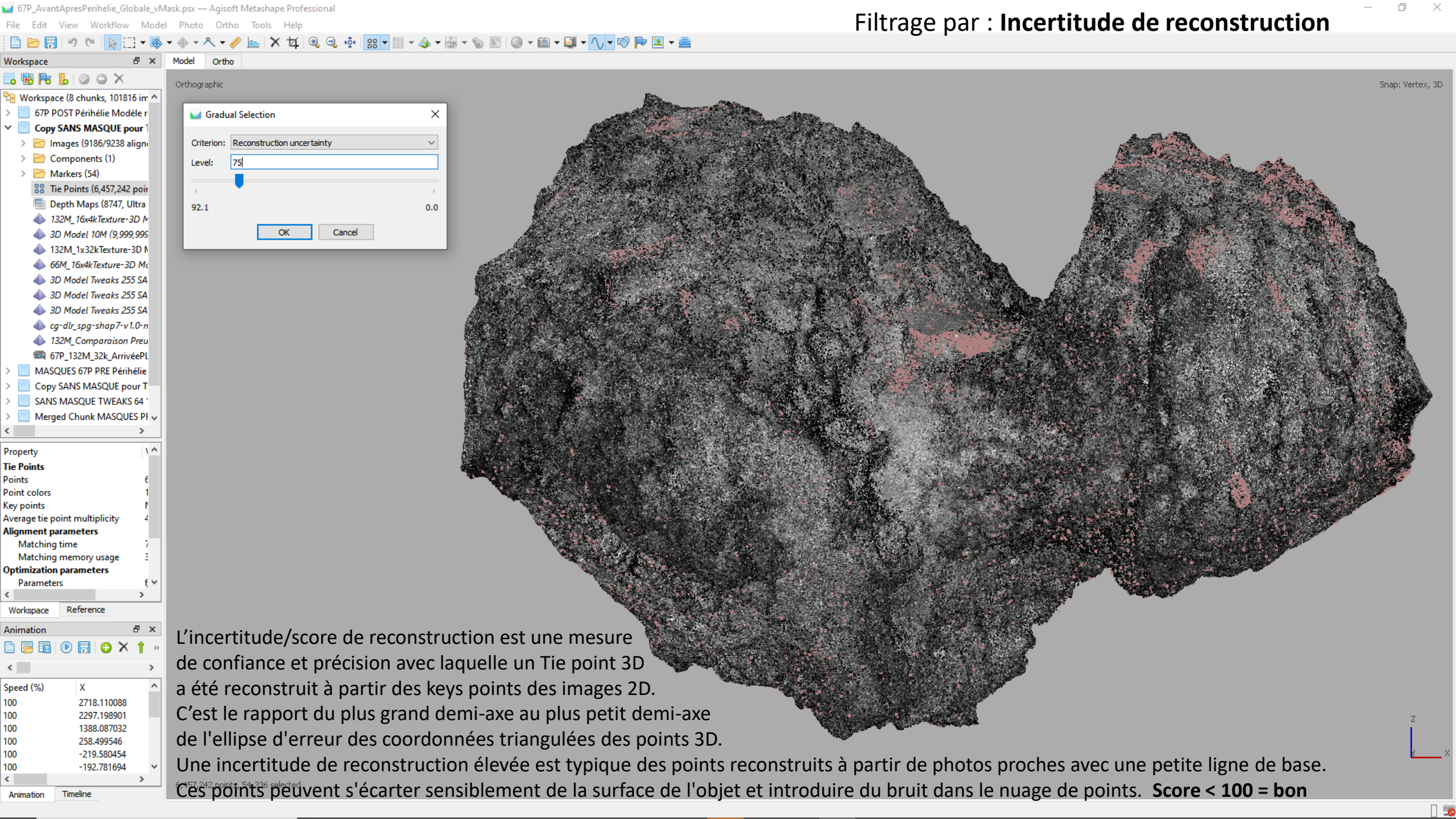


# Filtrage mathématique et manuel des points clés et d'ancrage, itérations

- **Key Point**, point clé SIFT 2D : Un point clé est une caractéristique distincte et unique dans une image qui peut être détectée et mise en correspondance de manière fiable dans plusieurs images. Les points clés sont généralement des coins, des bords ou des tâches dans une image qui sont invariants face aux changements de point de vue, d'éclairage et d'échelle ;
- **Tie Point**, point d'ancrage 3D constitué de plusieurs Key Point : Un point d'ancrage est un point 3D dans l'espace qui correspond à un point clé identique dans plusieurs images. En d'autres termes, un point d'ancrage est un point 3D qui est observé dans plusieurs images, et ses projections 2D dans chaque image sont les points clés. Les points d'ancrage sont la représentation 3D des points clés, et ils sont utilisés pour reconstruire le modèle 3D de la scène. Les points d'ancrage sont estimés en triangulant les points clés correspondants dans plusieurs images.

**Les points d'ancrage sont ensuite utilisés pour estimer les poses de caméra, la calibration de la caméra et le modèle 3D de la scène.**

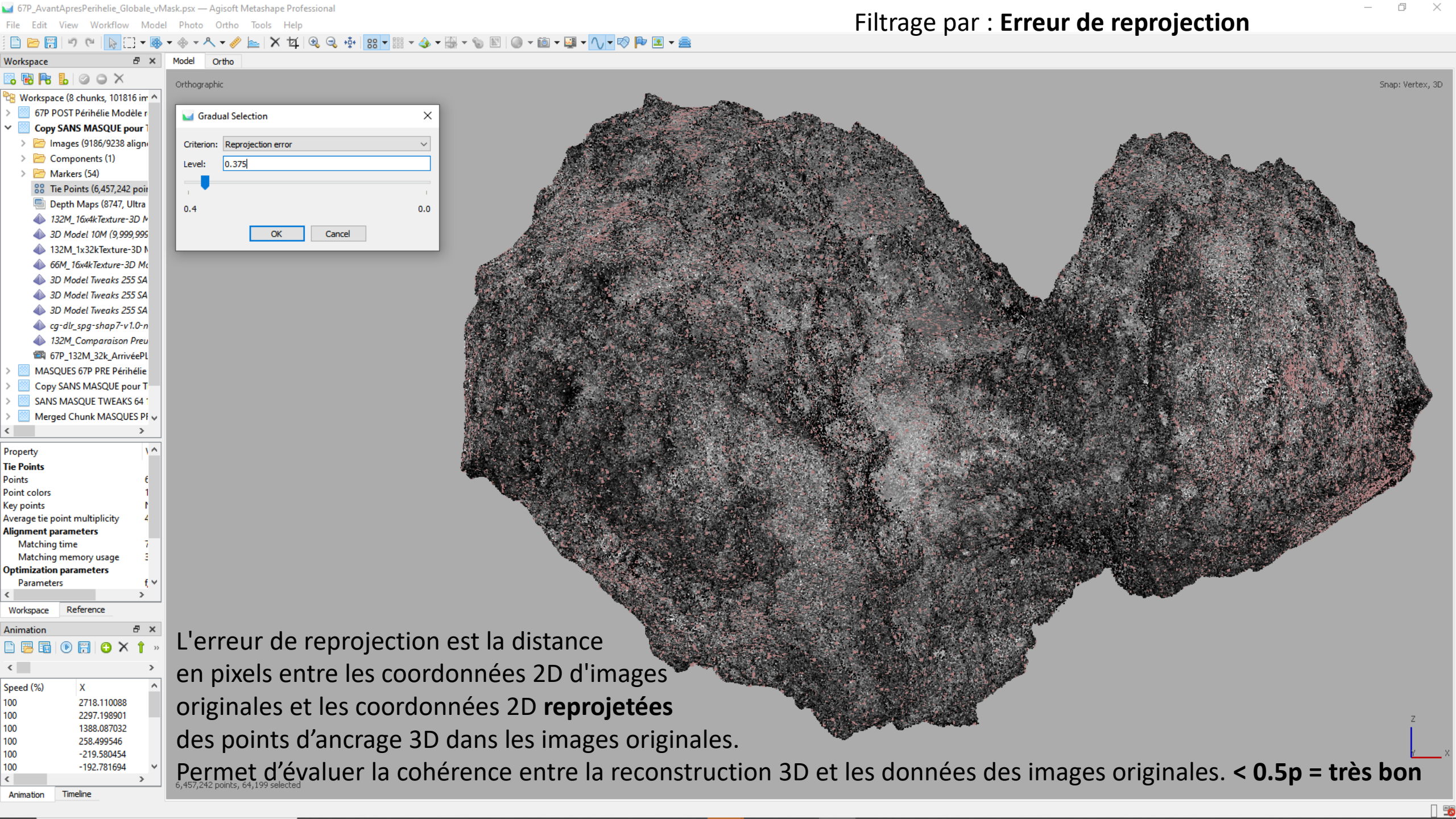
# Filtrage par : Incertitude de reconstruction



L'incertitude/score de reconstruction est une mesure de confiance et précision avec laquelle un Tie point 3D a été reconstruit à partir des keys points des images 2D. C'est le rapport du plus grand demi-axe au plus petit demi-axe de l'ellipse d'erreur des coordonnées triangulées des points 3D. Une incertitude de reconstruction élevée est typique des points reconstruits à partir de photos proches avec une petite ligne de base. Ces points peuvent s'écarter sensiblement de la surface de l'objet et introduire du bruit dans le nuage de points. **Score < 100 = bon**



# Filtrage par : Erreur de reprojection



L'erreur de reprojection est la distance en pixels entre les coordonnées 2D d'images originales et les coordonnées 2D **reprojetées** des points d'ancrage 3D dans les images originales.

Permet d'évaluer la cohérence entre la reconstruction 3D et les données des images originales. **< 0.5p = très bon**

Property	
<b>Tie Points</b>	
Points	6,457,242
Point colors	1
Key points	1
Average tie point multiplicity	4
<b>Alignment parameters</b>	
Matching time	7
Matching memory usage	3
<b>Optimization parameters</b>	
Parameters	f

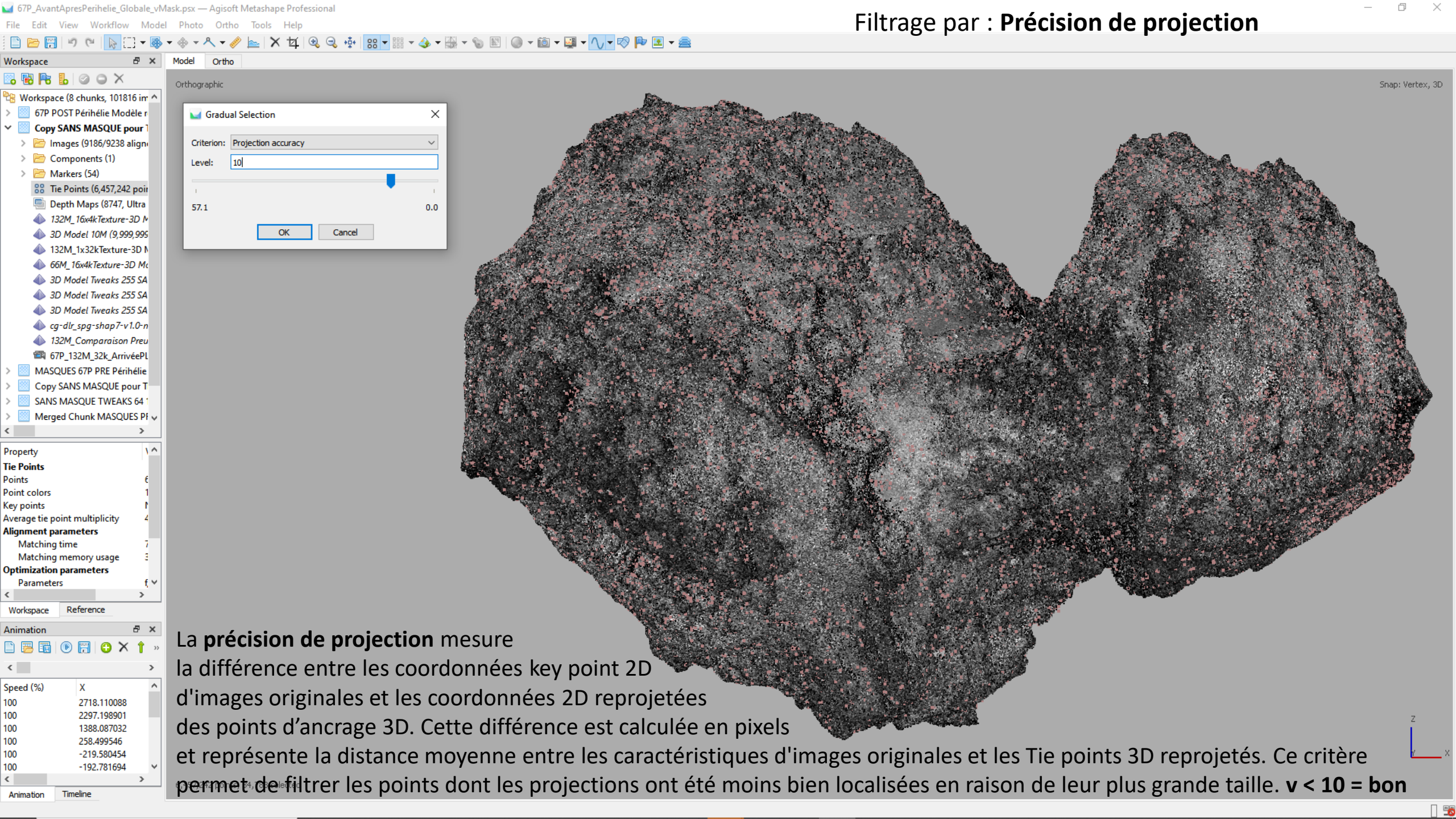
Workspace	
Reference	

Animation	
Speed (%)	X
100	2718.110088
100	2297.198901
100	1388.087032
100	258.499546
100	-219.580454
100	-192.781694



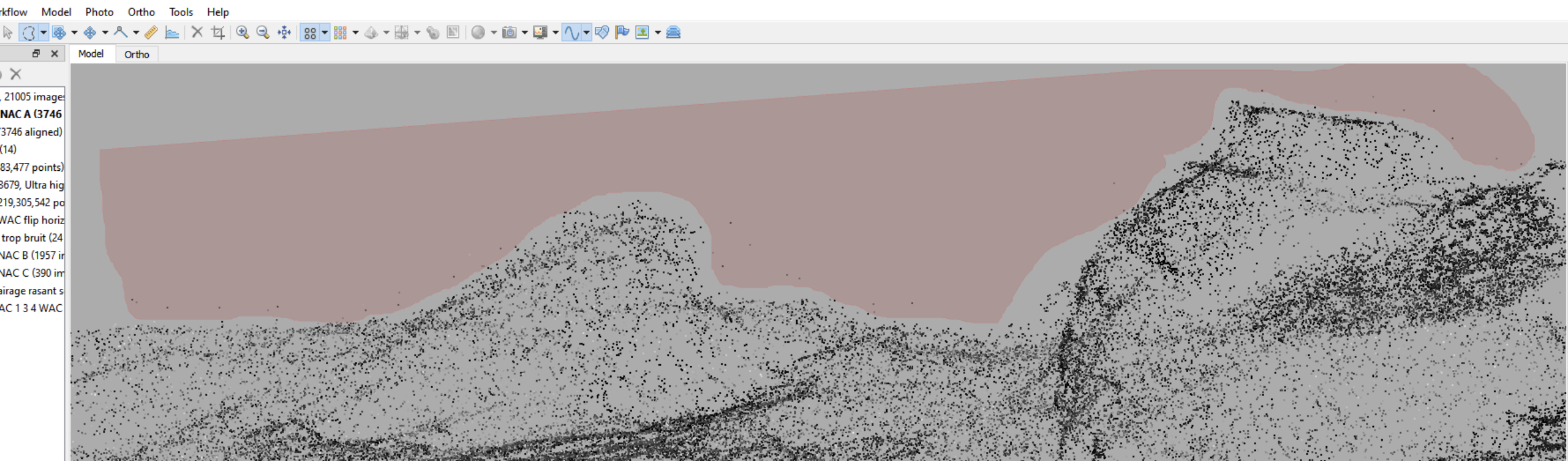
# Filtrage par : Précision de projection



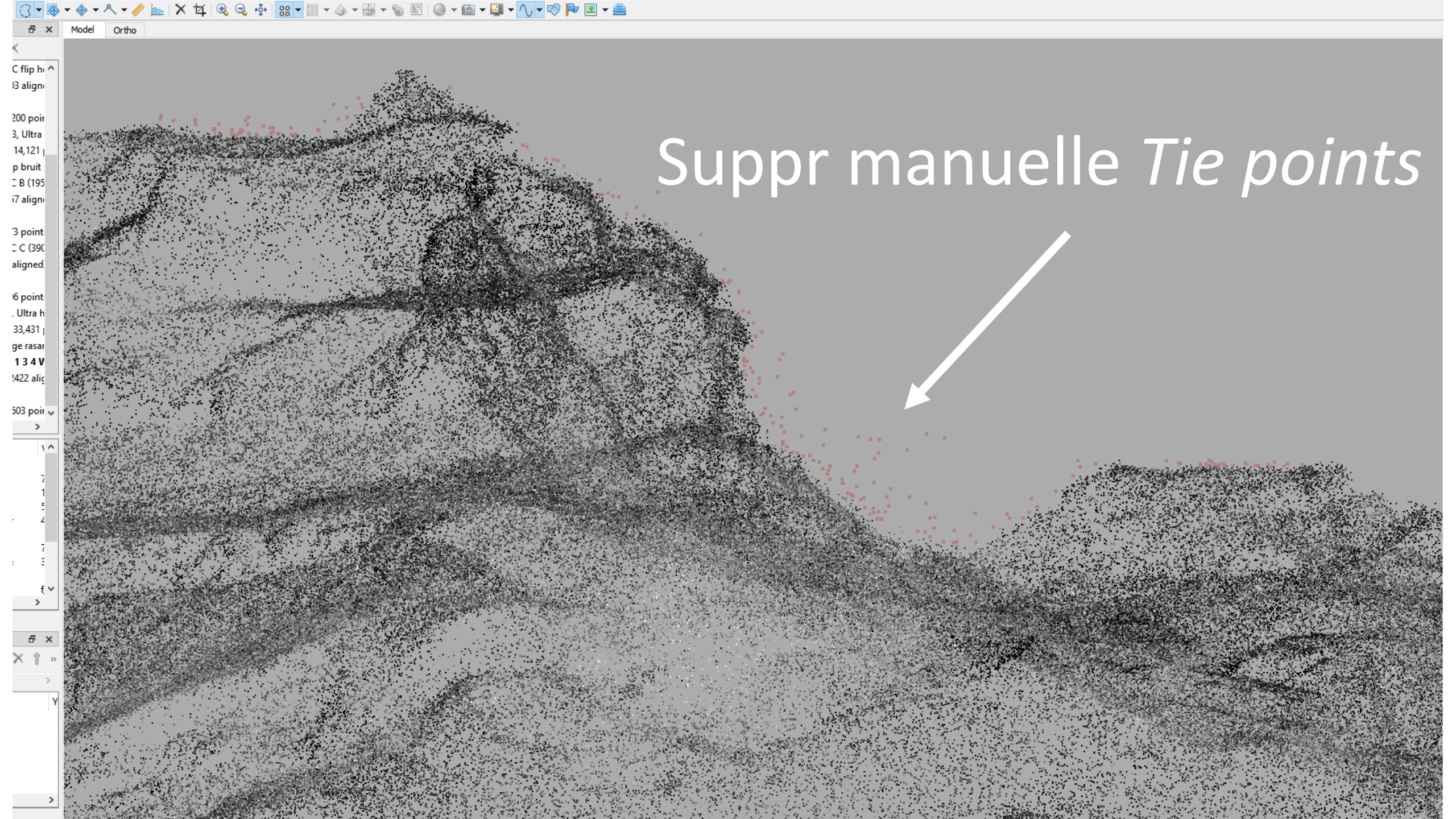
La **précision de projection** mesure la différence entre les coordonnées key point 2D d'images originales et les coordonnées 2D reprojetées des points d'ancrage 3D. Cette différence est calculée en pixels et représente la distance moyenne entre les caractéristiques d'images originales et les Tie points 3D reprojetés. Ce critère permet de filtrer les points dont les projections ont été moins bien localisées en raison de leur plus grande taille.  **$v < 10 = \text{bon}$**



Sélection manuelle et suppression avec l'outil «forme libre» des points d'ancrage (tie) que nous jugeons manifestement non fiables dans la coma.  
C'est l'opération cruciale avec itérations pour la qualité d'alignement, et la plus longue sur tout le pourtour de l'objet.







Suppr manuelle *Tie points*



- C flip h
- 13 align
- 200 poi
- 3, Ultra
- 14,121 p
- p bruit
- C B (195
- 17 align
- 3 point
- C C (390
- aligned
- 6 point
- , Ultra h
- 33,431 p
- ge rasar
- 134 V**
- 422 ali
- 503 poi
- >
- 7
- 1
- 5
- 4
- 7
- 3
- f
- >
- X
- ↑
- >
- Y
- >



Tie points :

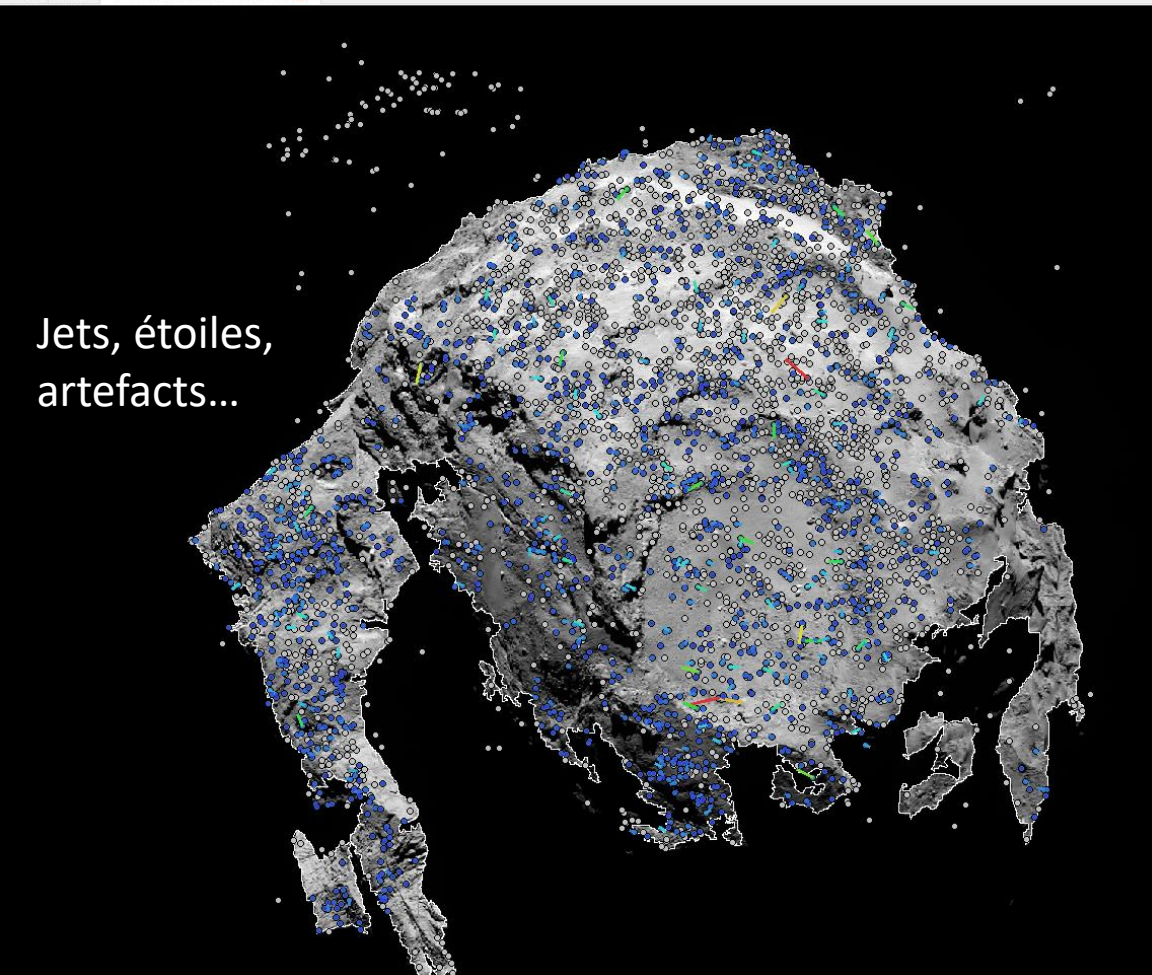
**Bleu** : Points d'ancrage qui relient deux images.

**Vert** : Points d'ancrage qui relient trois images ou plus.

**Rouge** : points d'ancrage marqués comme "mauvais" ou non fiables par l'algorithme de Metashape.

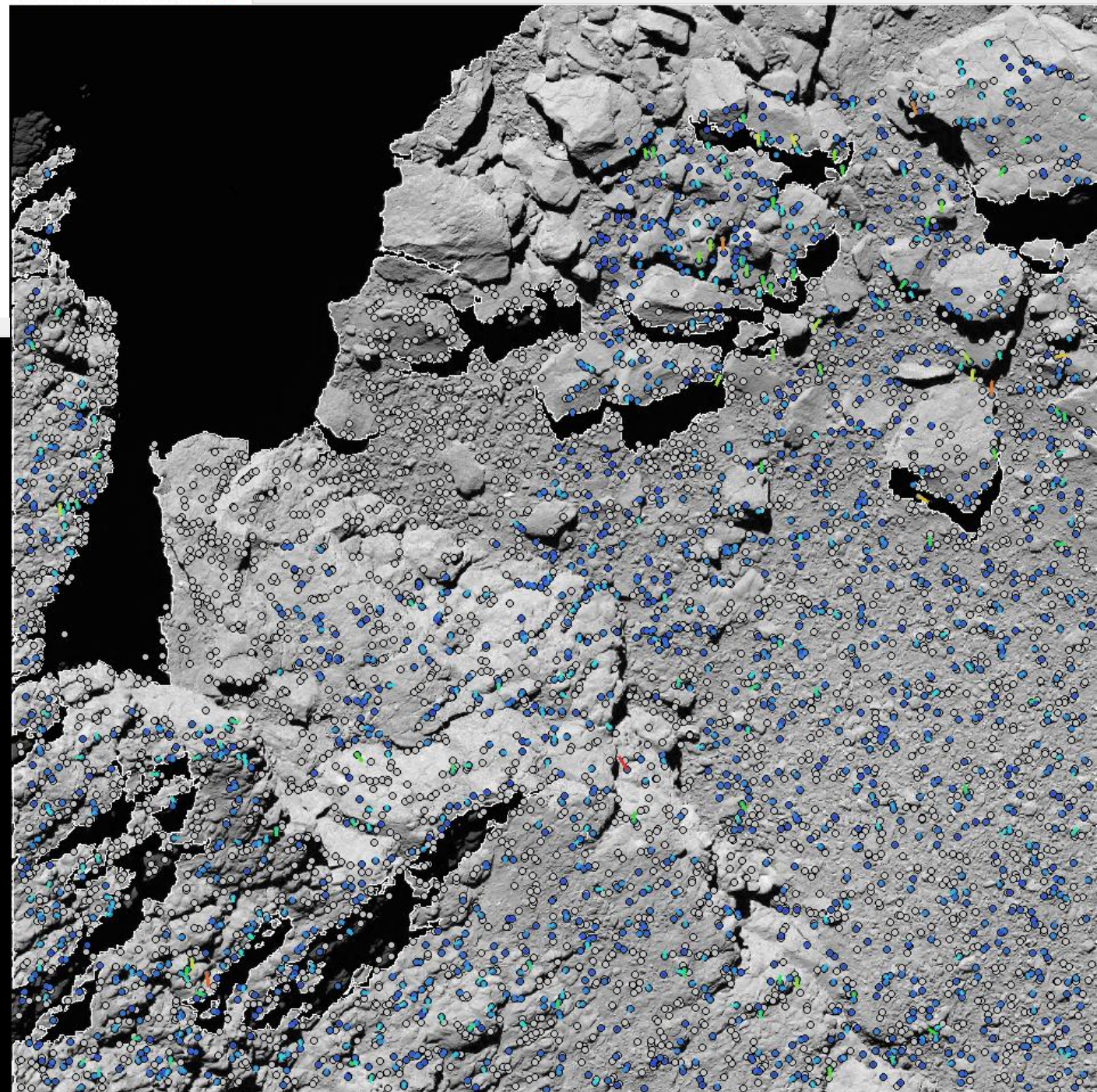
**Blanc** : non utilisé, isolé ou non reconnu autres images.

Model Ortho W20 160608T 12563971SID-40F 12-in

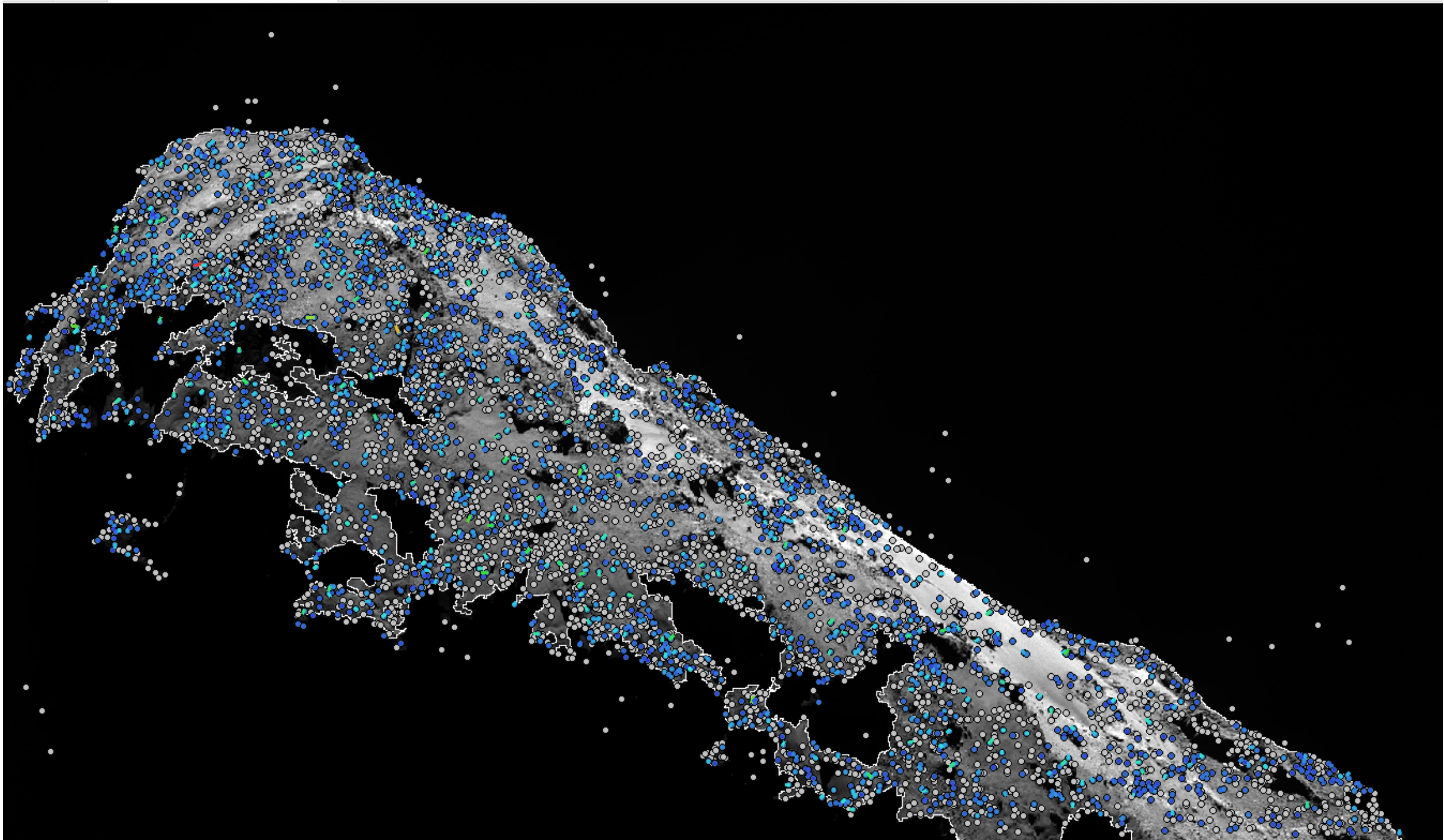


Jets, étoiles,  
artefacts...

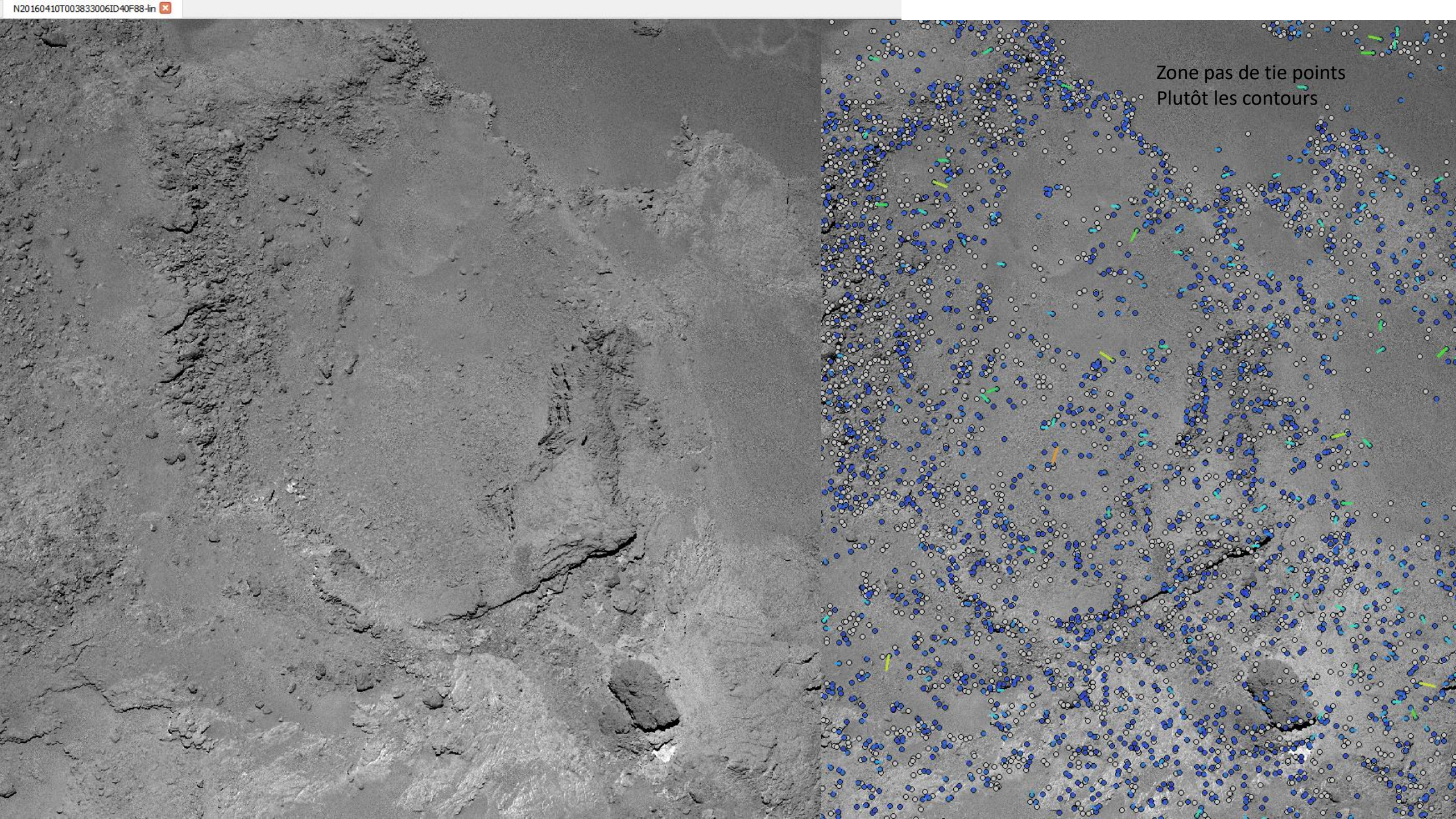
N20 160930T 100706777ID-40F32-in





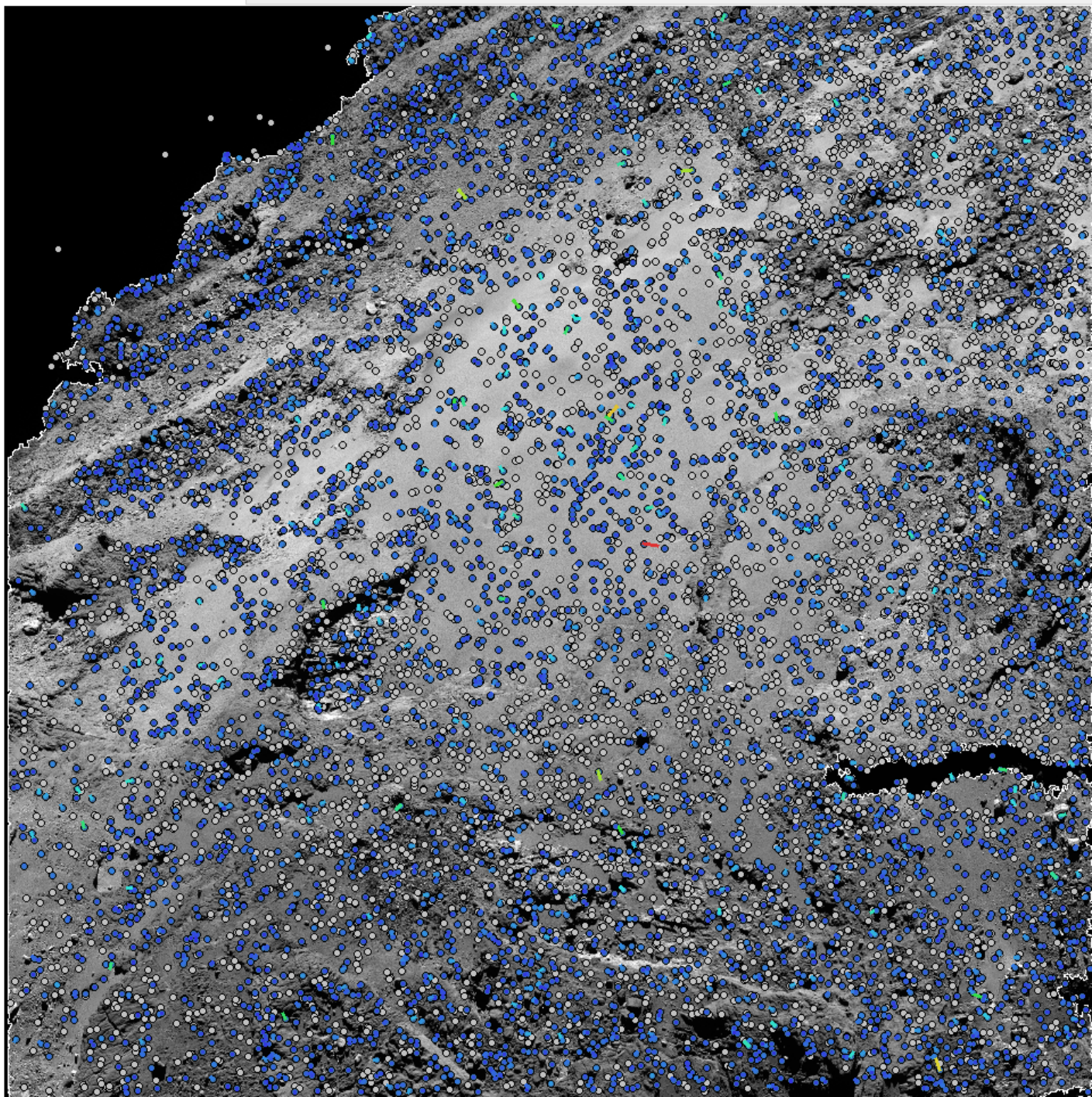






Zone pas de tie points  
Plutôt les contours







# Vidéo: Voyage dans les images OSIRIS alignées

The screenshot displays the Agisoft Metashape Professional interface. The main 3D view shows a perspective view of the asteroid 67P, with a 3D coordinate system (X, Y, Z) visible in the bottom right corner. The left sidebar contains a project tree with the following structure:

- 67P POST Périhélie Modèle référence au 23-07-2023 (9238 images, 51 mar ^
- 67P PRE Périhélie Modèle (8924 images, 2.723.492 tie points)
  - Images (8403/8924 aligned)
    - NAC\_F16\_2PN (415/435 aligned)
    - NAC\_F22\_2PN (1444/1505 aligned)
    - NAC\_F23\_2PN (577/606 aligned)
    - NAC\_F24\_2PN (675/709 aligned)
    - NAC\_F27\_2PN (276/313 aligned)
    - NAC\_F28\_2PN (264/291 aligned)
    - NAC\_F41\_2PN (609/639 aligned)
    - NAC\_F51\_2PN (243/276 aligned)
    - NAC\_F61\_2PN (214/246 aligned)
    - NAC\_F71\_2PN (208/233 aligned)
    - NAC\_F82\_2PN (42/72 aligned)
    - NAC\_F83\_2PN (0/6 aligned)
    - NAC\_F84\_2PN (16/41 aligned)
    - NAC\_F88\_2PN (16/41 aligned)
    - WAC\_F13\_2PN\_FLIP\_H (68/79 aligned)
    - WAC\_F17\_2PN\_FLIP\_H (95/100 aligned)
    - WAC\_F18\_2PN\_FLIP\_H (329/332 aligned)
    - WAC\_F51\_2PN\_FLIP\_H (8/8 aligned)
    - A REALIGNER (2904/2992 aligned)
  - Components (6)
    - Tie Points (2,723,492 points)
  - Chunk 1 (347 images)

The bottom-left pane shows the **Property** window for the selected **Tie Points** component:

Property	Value
<b>Tie Points</b>	
Points	2,723,492 of 7,916,812
Point colors	1 bands, uint16
Key points	37.61 GB
Average tie point multiplicity	4.20735
<b>Alignment parameters</b>	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	50,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	5,000

The bottom-right pane shows the **Photos** window with a table of image metadata:

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop
N20140802T232127311D40F23-lin	2048x2048		0.880008					

Workspace

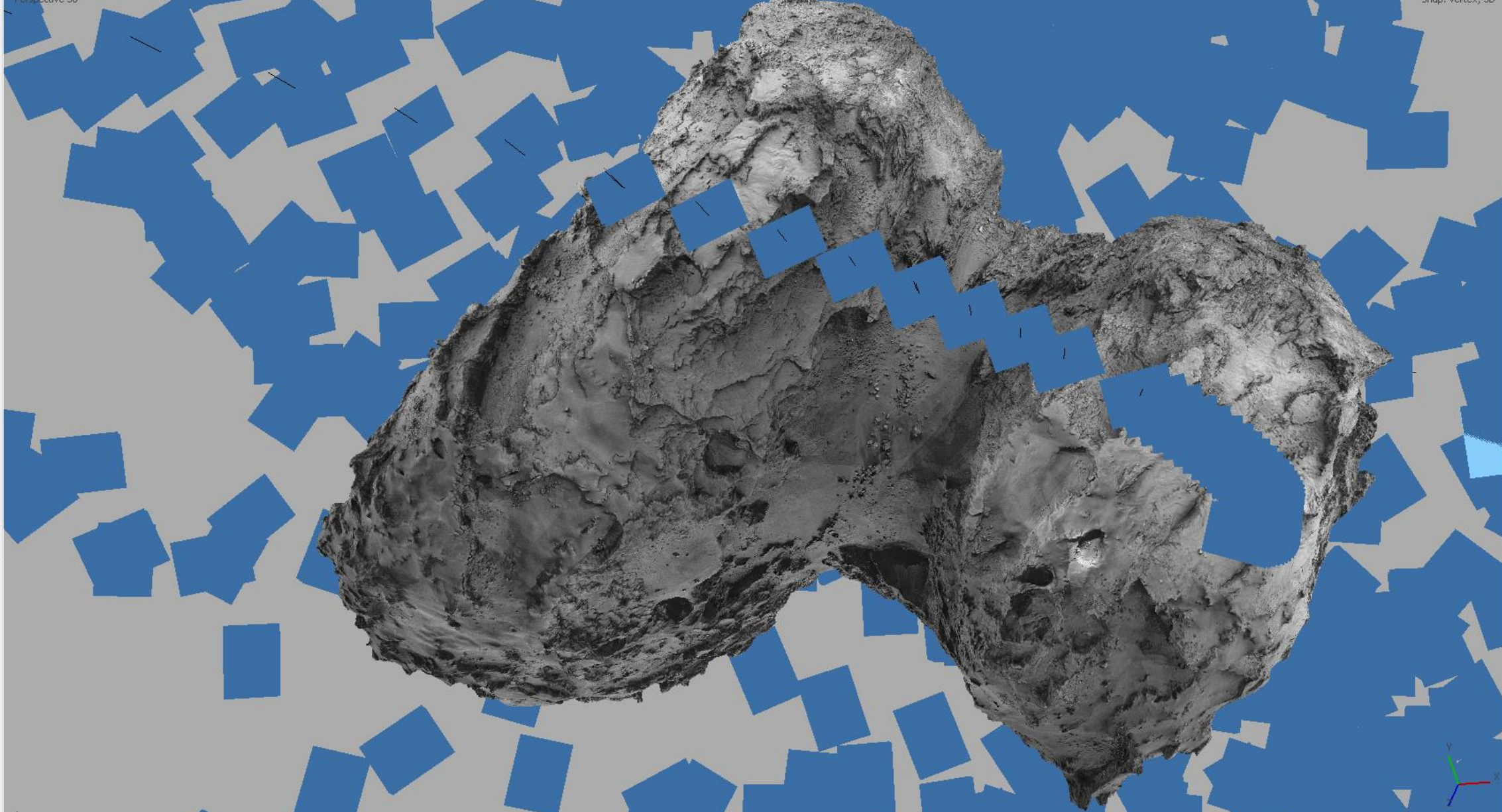
- Workspace (8 chunks, 101816 images)
- > 67P POST Périhélie Modèle réf
- > **Copy SANS MASQUE pour TEX**
  - > Images (9186/9238 aligned)
  - > Components (1)
  - > Markers (54)
  - > Tie Points (6,457,242 points)
  - > Depth Maps (8747, Ultra high)
  - > 132M\_16x4kTexture-3D Model
  - > **3D Model 10M (9,999,999 faces)**
  - > 132M\_1x32kTexture-3D Model
  - > 66M\_16x4kTexture-3D Model
  - > 3D Model Tweaks 255 SANS MASQUE
  - > 3D Model Tweaks 255 SANS MASQUE
  - > 3D Model Tweaks 255 SANS MASQUE
  - > cg\_dlr\_spg\_shap7-v1.0-met
  - > 132M\_Comparaison Preusk
  - > 67P\_132M\_32k\_ArrivéePLOB
- > MASQUES 67P PRE Périhélie M
- > Copy SANS MASQUE pour TEX
- > SANS MASQUE TWEAKS 64 100
- > Merged Chunk MASQUES PRE
- > Merged Chunk SANS MASQUE
- > Copy of Merged Chunk SANS M

Property

- 3D Model 10M**
- Faces
- Vertices
- Vertex colors
- Texture
- Depth maps generation parameters**
- Quality
- Filtering mode
- Max neighbors
- Processing time
- Memory usage
- Reconstruction parameters**
- Surface type
- Source data
- Interpolation

Model Ortho

Perspective 30°



Faces: 9,999,999 vertices: 4,999,808

Workspace Reference



Workspace (1 chunks, 225 images)

- Chunk 1 (225 images, 13,599 points)
  - Images (71/225 aligned)
    - N20100710T06184097
    - N20100710T06283900
    - N20100710T06383896
    - N20100710T06483896
    - N20100710T06583896
    - N20100710T07083904
    - N20100710T07183902
    - N20100710T07283904
    - N20100710T07383902
    - N20100710T07483901
    - N20100710T07583905
    - N20100710T08083905
    - N20100710T08183906
    - N20100710T08283905
    - N20100710T08383896
    - N20100710T08483896
    - N20100710T08583901
    - N20100710T09083905
    - N20100710T09183904

Property

**Tie Points**

- Points: 1
- Point colors: 1
- Key points: 1
- Average tie point multiplicity: 7

**Alignment parameters**

- Accuracy: f
- Generic preselection: f
- Reference preselection: f
- Key point limit: v

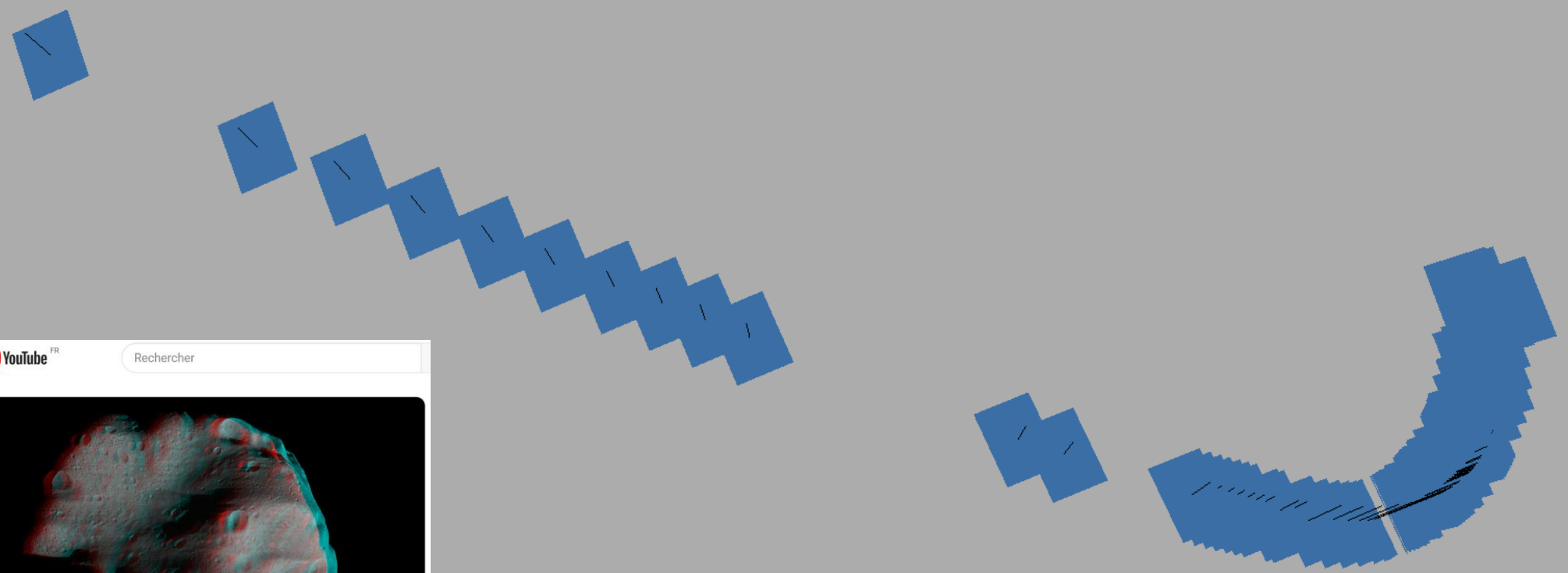
Workspace Reference

Animation

Speed (%)	X	Y
100	-0.202941	1.
100	-0.104554	0.
100	-0.129306	0.

13,599 points

# Exemple alignement du survol de (21) Lutetia



YouTube FR Recherche

**Stereoscopic (21) Lutetia asteroid ROSETTA encounter from historic flyby (red-cyan anaglyph)**

<https://www.youtube.com/watch?v=aHaI2knmVHo>







# Alignment Hayabusa2 (162173) Ryugu

Workspace (6 chunks, 25201 images)

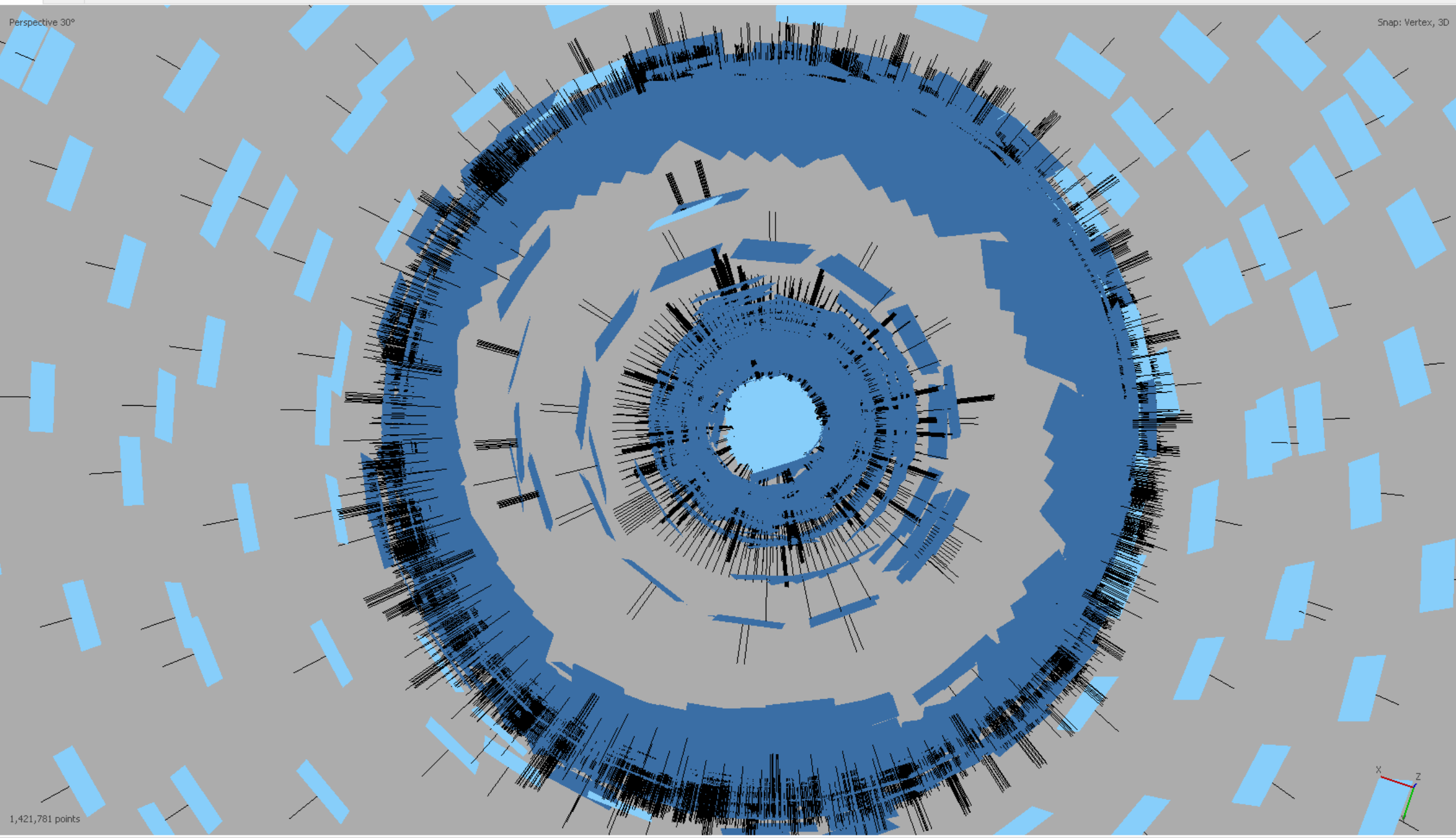
- Chunk 1 - Ryugu (8359 images, de
- Chunk 2 - Images impacts et de
- Chunk 3 - Images non utilisable
- Chunk 4 - JAXA 3D Model Wata
- Copy of Chunk 1 - Ryugu POUR
- Copy of Chunk 1 POUR TEXTU

Workspace Reference

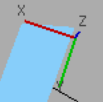
Animation

Speed (%)	X
100	0.232475
100	3.544227
100	6.855969
100	10.167690
100	13.479382
100	16.791033

Animation Timeline



1,421,781 points



# Alignment Hayabusa2 (162173) Ryugu

Workspace (6 chunks, 25201 images)

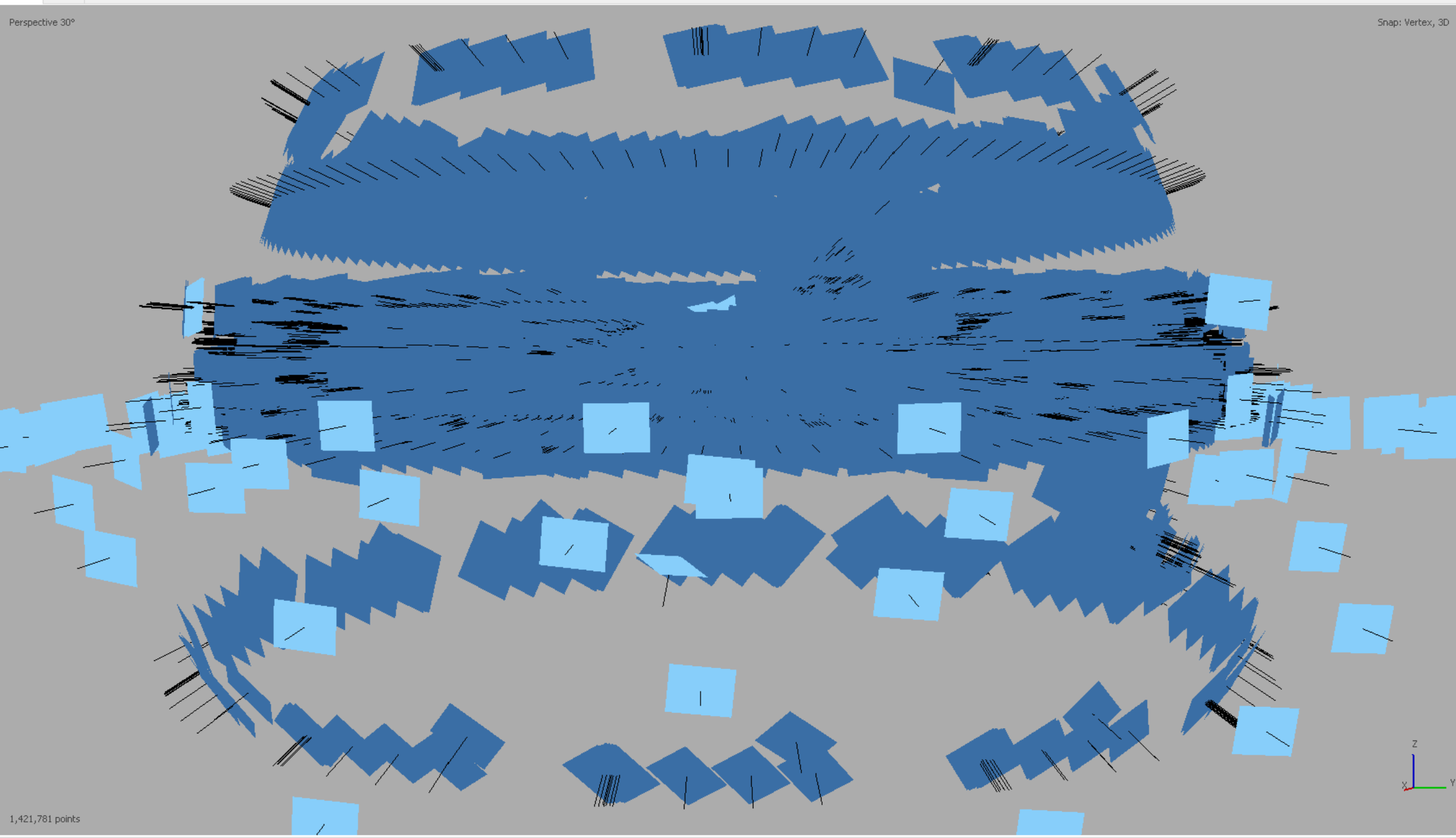
- Chunk 1 - Ryugu (8359 images)
- Chunk 2 - Images impacts et de
- Chunk 3 - Images non utilisable
- Chunk 4 - JAXA 3D Model Wata
- Copy of Chunk 1 - Ryugu POUR
- Copy of Chunk 1 POUR TEXTU

Workspace Reference

Animation

Speed (%)	X
100	0.232475
100	3.544227
100	6.855969
100	10.167690
100	13.479382
100	16.791033

Animation Timeline





# Une fois aligné, calcul du nuage dense de points et/ou la carte de profondeur

The screenshot displays the Autodesk Metashape Professional interface. The main workspace shows a 3D point cloud of a dark, textured object, possibly a rock or mineral specimen, with several feature points labeled (e.g., FN3, FN6, FN7, FN9, FN13, FN14, FN15, FN21, FN35, FN36). A 'Processing in progress...' dialog box is open in the foreground, showing the progress of 'Generating point cloud...'. The dialog includes a progress bar at 19% and a detailed log of processing steps for various chunks.

**Processing in progress... Details**

Chunk	Operation	Time	Load	Render	Filter
N20 160608T075106829ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 670.401 sec	(load: 11.452, render: 6.464)	filter: 652.485	
N20 160608T075835743ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 711.734 sec	(load: 3.935, render: 6.554)	filter: 701.244	
N20 160608T080606736ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 687.559 sec	(load: 3.833, render: 6.061)	filter: 677.665	
N20 160608T081336715ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 713.707 sec	(load: 4.177, render: 5.817)	filter: 703.66	
N20 160608T082106732ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 672.972 sec	(load: 4.765, render: 61.649)	filter: 606.558	
N20 160608T082835831ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 584.987 sec	(load: 3.876, render: 19.792)	filter: 561.319	
N20 160608T083606834ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 545.831 sec	(load: 4.179, render: 10.153)	filter: 531.498	
N20 160608T084335761ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 442.174 sec	(load: 4.256, render: 4.739)	filter: 433.179	
N20 160608T085105710ID40F22	lin using 1000 neighbors...	done in 382.482 sec	(load: 3.735, render: 4.757)	filter: 373.99	
N20 160227T104159529ID40F24	lin using 1000 neighbors...	done in 54.113 sec	(load: 10.544, render: 30.66)	filter: 12.909	
N20 160227T104223187ID40F41	lin using 1000 neighbors...	done in 25.413 sec	(load: 3.825, render: 4.587)	filter: 17.001	
W20 160608T081429752ID40F12	lin using 1000 neighbors...	done in 33.749 sec	(load: 16.535, render: 9.168)	filter: 8.046	
W20 160615T063034447ID40F18	lin using 1000 neighbors...	done in 24.551 sec	(load: 11.041, render: 6.91)	filter: 6.6	
N20 160409T232633001ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 329.656 sec	(load: 13.289, render: 11.281)	filter: 305.086	
N20 160409T232645267ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 299.967 sec	(load: 3.313, render: 7.895)	filter: 288.759	
N20 160409T232657629ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 283.744 sec	(load: 3.308, render: 13.63)	filter: 266.806	
N20 160409T232933012ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 329.458 sec	(load: 3.496, render: 7.748)	filter: 318.214	
N20 160409T232945297ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 336.051 sec	(load: 3.198, render: 11.589)	filter: 321.264	
N20 160409T232957661ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 289.49 sec	(load: 3.293, render: 7.055)	filter: 279.142	
N20 160409T233232986ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 348.827 sec	(load: 3.594, render: 6.375)	filter: 338.858	
N20 160409T233245258ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 360.819 sec	(load: 3.363, render: 6.711)	filter: 350.745	
N20 160409T233257622ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 317.76 sec	(load: 3.53, render: 7.256)	filter: 306.974	
N20 160409T233532970ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 377.605 sec	(load: 3.765, render: 6.681)	filter: 367.159	
N20 160409T233545238ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 370.637 sec	(load: 3.398, render: 6.606)	filter: 360.633	
N20 160409T233557666ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 328.4 sec	(load: 3.395, render: 6.38)	filter: 318.625	
N20 160409T233833011ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 382.119 sec	(load: 4.485, render: 6.531)	filter: 371.103	
N20 160409T233845281ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 374.388 sec	(load: 3.288, render: 6.362)	filter: 364.738	
N20 160409T233857683ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 323.791 sec	(load: 3.229, render: 6.441)	filter: 314.121	
N20 160409T234132968ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 387.34 sec	(load: 4.097, render: 6.537)	filter: 376.706	
N20 160409T234145238ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 399.43 sec	(load: 3.681, render: 6.57)	filter: 389.179	
N20 160409T234157603ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 331.326 sec	(load: 3.327, render: 6.04)	filter: 321.959	
N20 160409T234432985ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 395.554 sec	(load: 3.725, render: 6.187)	filter: 385.642	
N20 160409T234445255ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 394.081 sec	(load: 3.382, render: 6.229)	filter: 384.47	
N20 160409T234457621ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 342.584 sec	(load: 3.429, render: 6.073)	filter: 333.082	
N20 160409T234733064ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 359.982 sec	(load: 3.952, render: 5.813)	filter: 350.217	
N20 160409T234745336ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 364.324 sec	(load: 3.593, render: 6.001)	filter: 354.73	
N20 160409T23475705ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 308.806 sec	(load: 3.575, render: 6)	filter: 299.231	
N20 160409T235033090ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 374.825 sec	(load: 3.218, render: 5.853)	filter: 365.754	
N20 160409T235045359ID40F82	lin using 1000 neighbors...	done in 375.864 sec	(load: 3.317, render: 5.773)	filter: 366.774	
N20 160409T235057724ID40F84	lin using 1000 neighbors...	done in 334.87 sec	(load: 3.504, render: 5.789)	filter: 325.577	
N20 160409T235332995ID40F88	lin using 1000 neighbors...	done in 370.902 sec	(load: 3.588, render: 5.975)	filter: 361.339	
N20 160409T235345338ID40F82	lin using 1000 neighbors...				

The interface also shows a 'Workspace' panel on the left with a tree view of the project structure, including 'Chunk 1 Globale NAC A', 'Chunk 2 Globale WAC', 'Chunk 3 Globale NAC', 'Chunk 4 Globale NAC', 'Chunk 8 NAC Eclairage', and 'Merged Chunk NAC 1'. The 'Property' panel at the bottom left shows settings for 'Depth Maps generation parameters' such as 'Quality', 'Filtering mode', 'Max neighbors', 'Processing time', and 'Memory usage'. The 'File size' is indicated as 13.56 GB.



# Une fois aligné, calcul du nuage dense de points et/ou la carte de profondeur

The screenshot displays the Agisoft Metashape Professional interface. The main window shows a 3D point cloud of a rocky terrain, rendered in a dark gray color. The point cloud is composed of numerous points, with some points highlighted in yellow and labeled with identifiers such as FN1, FN3, FN6, FN7, FN13, FN14, FN16, FN26, FN27, FN29, FN35, FN18, FN19, FN20, and FN25. The interface includes a top menu bar with options like File, Edit, View, Workflow, Model, Photo, Ortho, Tools, and Help. Below the menu bar is a toolbar with various icons for navigation and editing. The left sidebar contains a 'Workspace' panel with a tree view showing the project structure, including several 'Chunk' objects and a 'Merged Chunk NAC 1 3 4 WAC 2 v2' containing 9238 images, 23 markers, 6,457,242 tie points, 8740 depth maps, and a point cloud of 207,281,066 points. The bottom-left panel shows the 'Property' window for the selected point cloud, detailing its generation parameters. The bottom-right panel is the 'Console' window, displaying a log of recent operations and processing times.

**Workspace (7 chunks, 17821 images)**

- Chunk 1 Globale NAC A (3746 images, 3,083,477 tie points) [T]
- Chunk 2 Globale WAC flip horizontal (1503 images, 2,151,200 tie points) [T]
- Chunk 2 bis WAC trop bruit (24 images)
- Chunk 3 Globale NAC B (1957 images, 951,673 tie points) [T]
- Chunk 4 Globale NAC C (390 images, 326,806 tie points) [T]
- Chunk 8 NAC Eclairage rasant sombre (963 images, 16,629 tie points)
- Merged Chunk NAC 1 3 4 WAC 2 v2 (9238 images, 23 markers, 6,457,242 tie points) [R]**
  - Images (9186/9238 aligned)
  - Components (1)
  - Markers (23)
  - Tie Points (6,457,242 points)
  - Depth Maps (8740, Ultra high quality, Aggressive filtering)
  - Point Cloud (207,281,066 points, Ultra high quality)**

**Property**

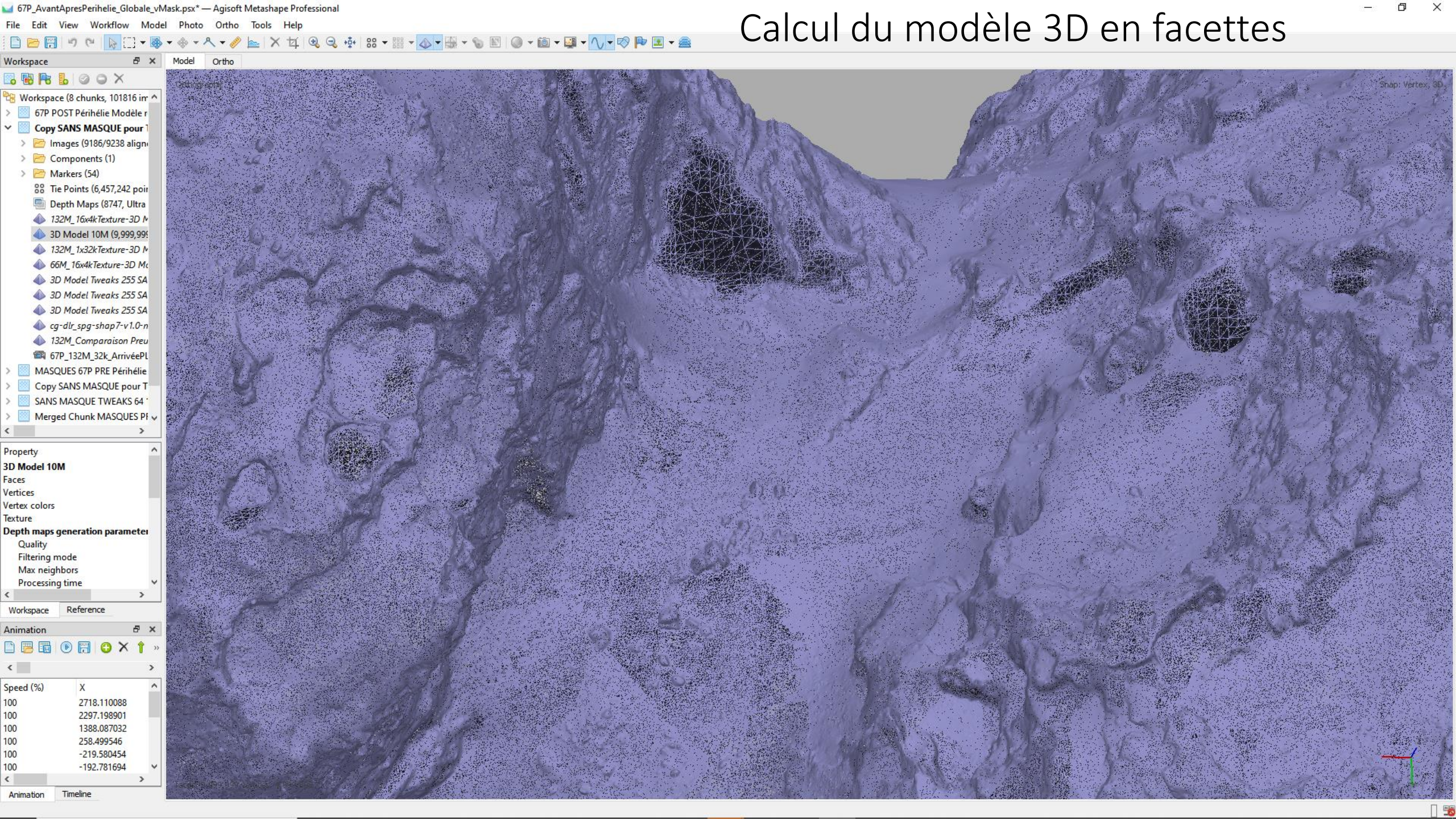
Property	Value
<b>Point classes</b>	
Created (never classified)	207,281,066
<b>Depth maps generation parameters</b>	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Aggressive
Max neighbors	32
Processing time	5 hours 2 minutes
Memory usage	6.19 GB
<b>Point cloud generation parameters</b>	
Max neighbors	1000
Processing time	13 days 19 hours
Memory usage	55.82 GB
Date created	2023:06:01 02:58:37
Software version	2.0.2.16261
File size	2.67 GB

**Console**

```
2023-06-01 09:29:13 Finished processing in 0.022 sec (exit code 1)
2023-06-01 09:29:16 SaveProject: path = K:/ROSETTA_ESA_PSA_APRES_PERIHILIE/METASHAPE/67P_ApresPerihelie_Globale/67P_ApresPerihelie_Globale_vMask.psx
2023-06-01 09:29:16 Saving project...
2023-06-01 09:29:16 saved project in 0.021 sec
2023-06-01 09:29:16 Finished processing in 0.022 sec (exit code 1)
2023-06-01 09:29:19 SaveProject: path = K:/ROSETTA_ESA_PSA_APRES_PERIHILIE/METASHAPE/67P_ApresPerihelie_Globale/67P_ApresPerihelie_Globale_vMask.psx
2023-06-01 09:29:19 Saving project...
2023-06-01 09:29:19 saved project in 0.02 sec
2023-06-01 09:29:19 Finished processing in 0.021 sec (exit code 1)
```



# Calcul du modèle 3D en facettes





# Mise à l'échelle et dans le repère SPG SHAP7 de 2017, Preusker & al.

077\_AvantApresPerihelie\_Globale\_vMask.psx\* — Agisoft Metashape

File Edit View Workflow Model Photo Ortho Tools Help

Reference Model Ortho

Cameras

Camera	X (m)	Y (m)	Z (m)
N20151026T172039128ID40F24-lin			
N20151026T172050523ID40F41-lin			
N20151026T175040174ID40F24-lin			
N20151026T175051583ID40F41-lin			
N20151026T182039088ID40F24-lin			
N20151026T182050487ID40F41-lin			
N20151026T185039253ID40F24-lin			
N20151026T185050653ID40F41-lin			
N20151026T192039092ID40F24-lin			
N20151026T192050492ID40F41-lin			
N20151026T195039181ID40F24-lin			
N20151026T195050582ID40F41-lin			
N20151026T202039163ID40F24-lin			

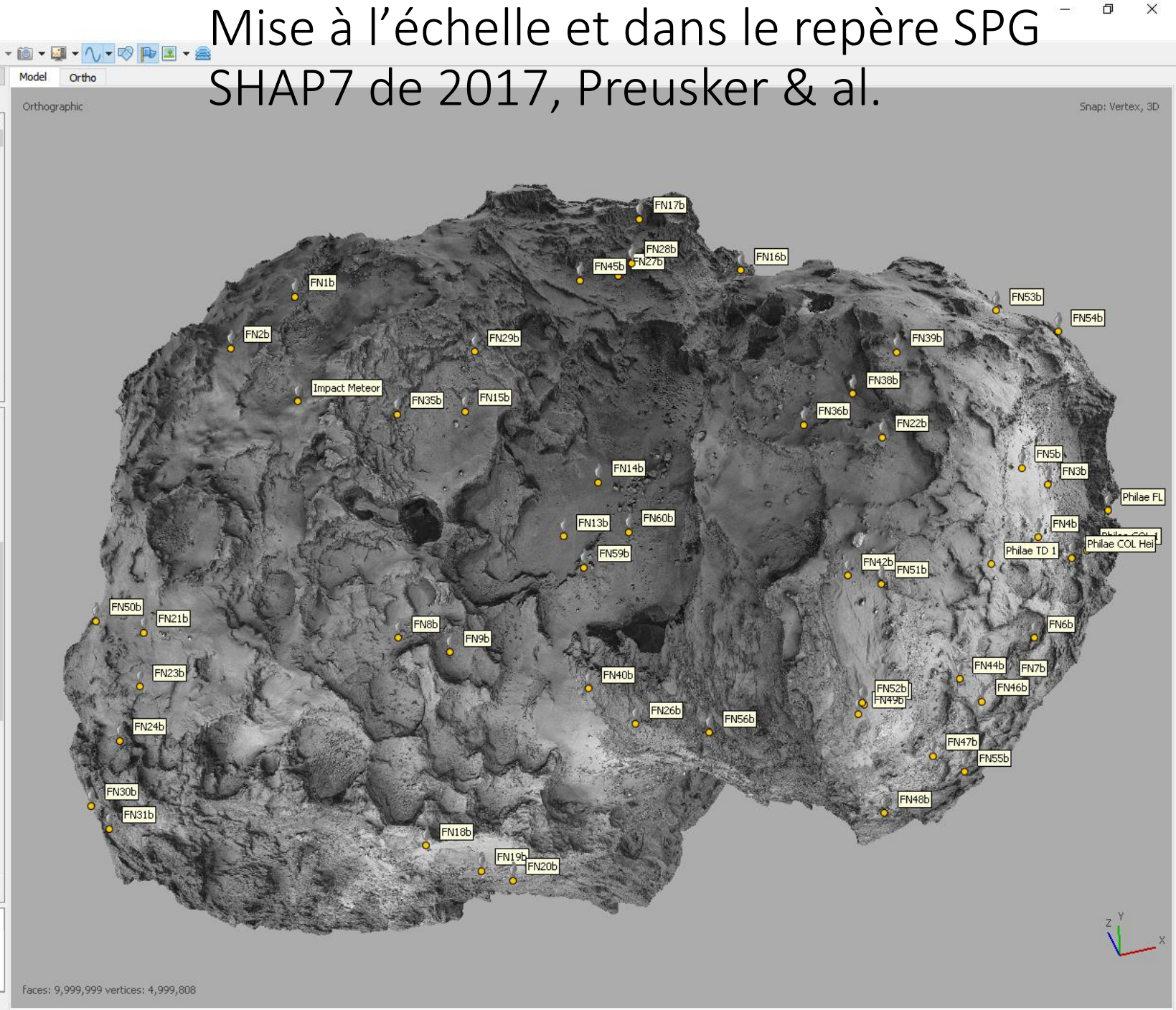
Markers

Marker	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)
FN42b	1553.990000	-1219.450000	930.701000	0.005000	0.225654
FN53b	2199.140000	505.442000	563.836000	0.005000	0.218009
FN60b	-158.658000	1156.410000	-1162.140000	0.005000	0.215635
FN55b	1672.360000	-1350.460000	-468.840000	0.005000	0.215414
FN20b	-677.048000	-1054.420000	-868.944000	0.005000	0.207356
FN21b	-1884.240000	-682.991000	1002.800000	0.005000	0.203112
FN2b	-1417.450000	908.850000	1019.950000	0.005000	0.199694
FN16b	766.052000	1621.170000	-43.909800	0.005000	0.198050
FN17b	333.687000	1900.010000	146.874000	0.005000	0.181178
FN24b	-2125.090000	-993.883000	642.537000	0.005000	0.170989
FN19b	-738.310000	-1209.430000	-575.189000	0.005000	0.164636
FN45b	13.687200	1666.140000	84.299300	0.005000	0.159899
FN7b	1790.950000	-590.834000	-783.422000	0.005000	0.157416
FN54b	2402.900000	574.904000	244.204000	0.005000	0.156737
FN51b	1690.730000	-1240.430000	845.397000	0.005000	0.155566
FN46b	1882.480000	-1274.570000	-92.405400	0.005000	0.144560
FN31b	-2425.150000	-836.537000	-136.639000	0.005000	0.142249
FN35b	-884.273000	1060.590000	126.769000	0.005000	0.140705
FN3b	2300.140000	-248.215000	139.318000	0.005000	0.139152
FN52b	1458.530000	-1589.350000	449.969000	0.005000	0.116618
FN36b	969.714000	845.858000	-326.499000	0.005000	0.113727
FN15b	-270.928000	193.886000	1040.810000	0.005000	0.112722
FN5b	2261.260000	-358.868000	422.784000	0.005000	0.110482
FN22b	1801.420000	-609.141000	1138.990000	0.005000	0.105658

Scale Bars

Distance (m)	Accuracy (m)	Error (m)
Total Error		
Control scale bars		
Check scale bars		

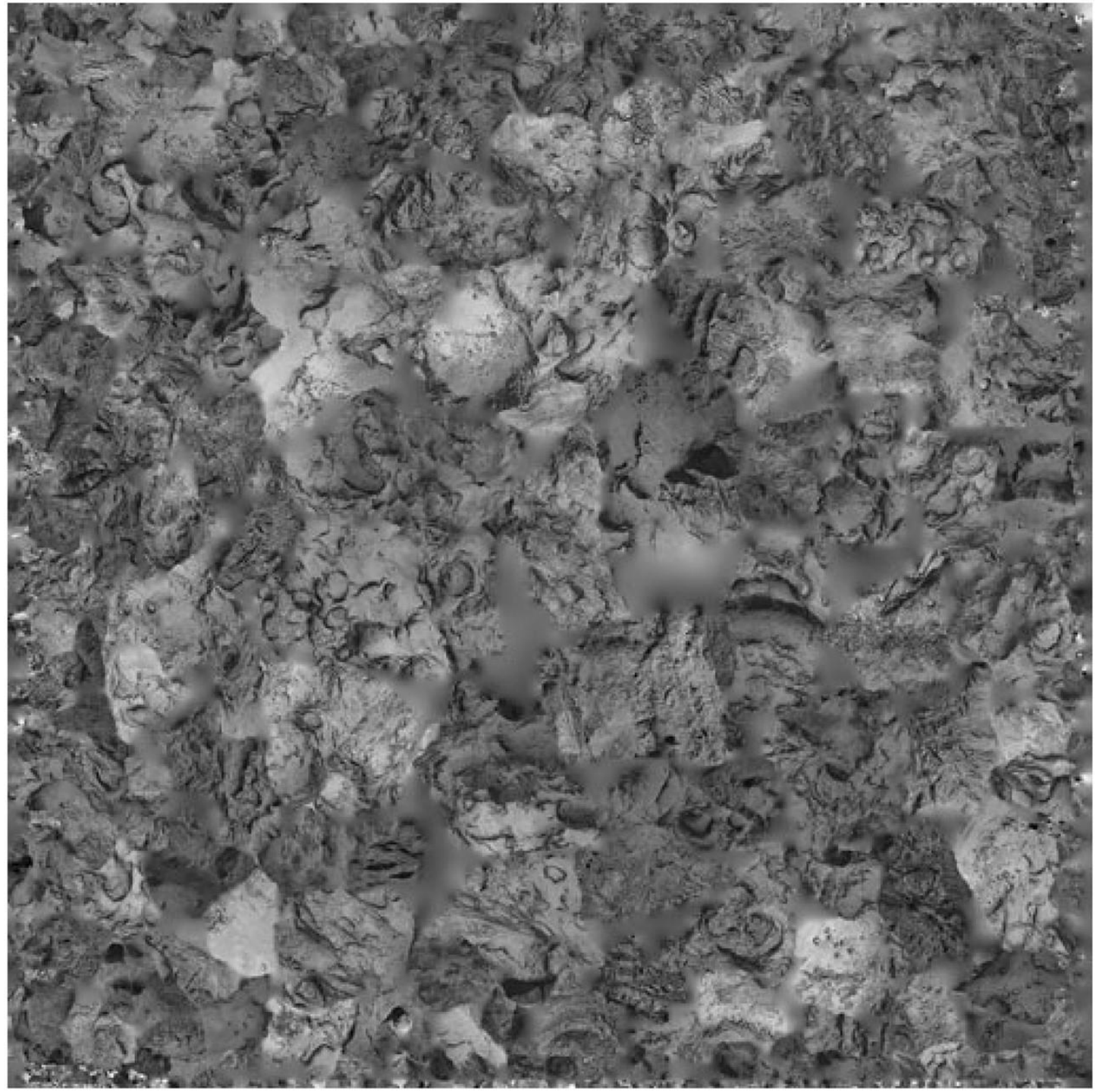
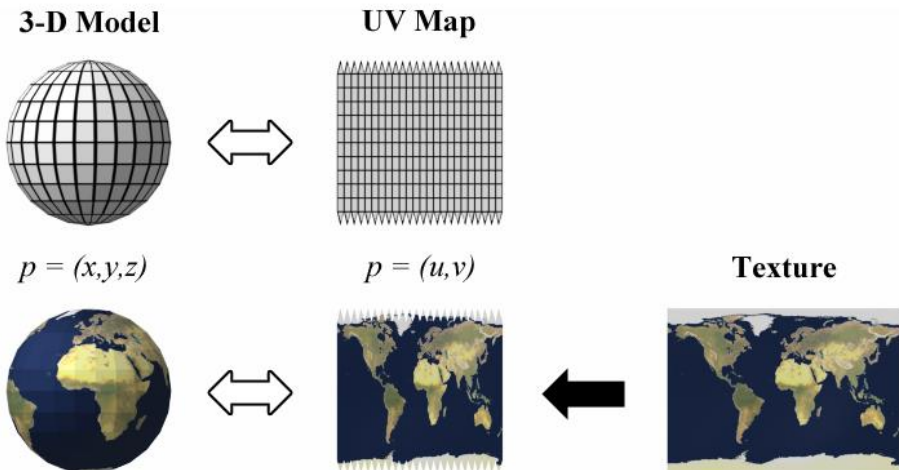
Workspace Reference





# Calcul de la texture

- Avec les ombres et les différentes conditions de prise des vues, problème pour obtenir un rendu photographique.
- Solution retenue : la moyenne des pixels de la pile d'images + harmonisation du résultat.
- UV map = 3D projeté en 2D





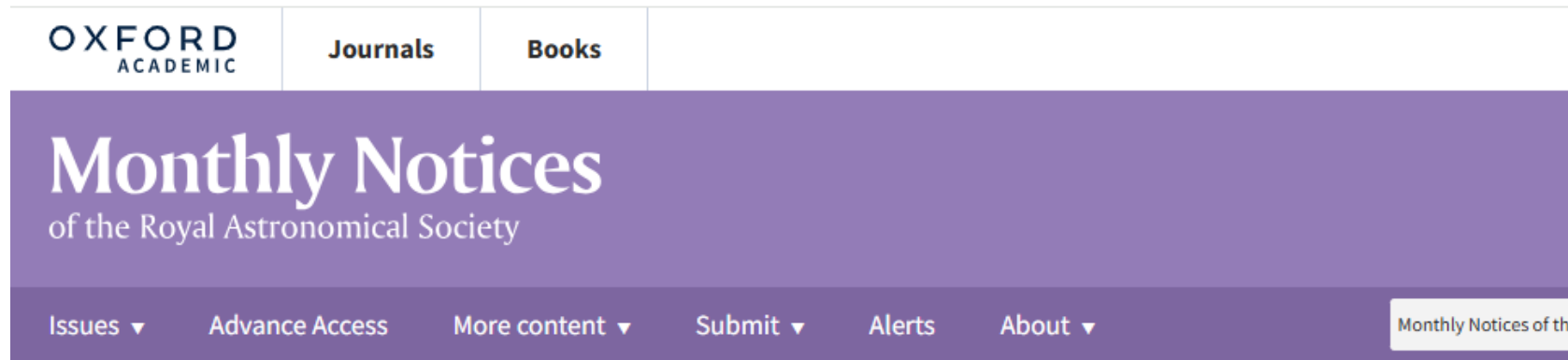
# Nos résultats publiés ProAm

- Archive stéréo-photographique de la mission ROSETTA  
<https://rosetta-3dcomet.cnes.fr/> , <https://arxiv.org/abs/1903.02324>
- **EPSC 2015 : The low strength of 67P: evidence for a primordial nucleus ?**
- **Identification and Characterization of the landing site of Philae from OSIRIS-NAC Images, EPSC2015-783, 2015 ;**
- **Morphology of the nucleus of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from stereo and high spatial resolution OSIRIS-NAC images , AGU FALL MEETING, 2015**



# Nos résultats publiés ProAm

- MNRAS, 22 mai 2024, Philippe Lamy & al. :  
<https://academic.oup.com/mnras/article/531/2/2494/7680008>



OXFORD  
ACADEMIC

Journals Books

## Monthly Notices

of the Royal Astronomical Society

Issues ▾ Advance Access More content ▾ Submit ▾ Alerts About ▾ Monthly Notices of th



Volume 531, Issue 2  
June 2024

### JOURNAL ARTICLE

## Detection and characterization of icy cavities on the nucleus of comet 67P/Churyumov–Gerasimenko

Philippe Lamy , Guillaume Faury , David Romeuf , Olivier Groussin

*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 531, Issue 2, June 2024, Pages 2494–2516, <https://doi.org/10.1093/mnras/stae1290>

**Published:** 22 May 2024 **Article history** ▾

# Nos résultats publiés ProAm

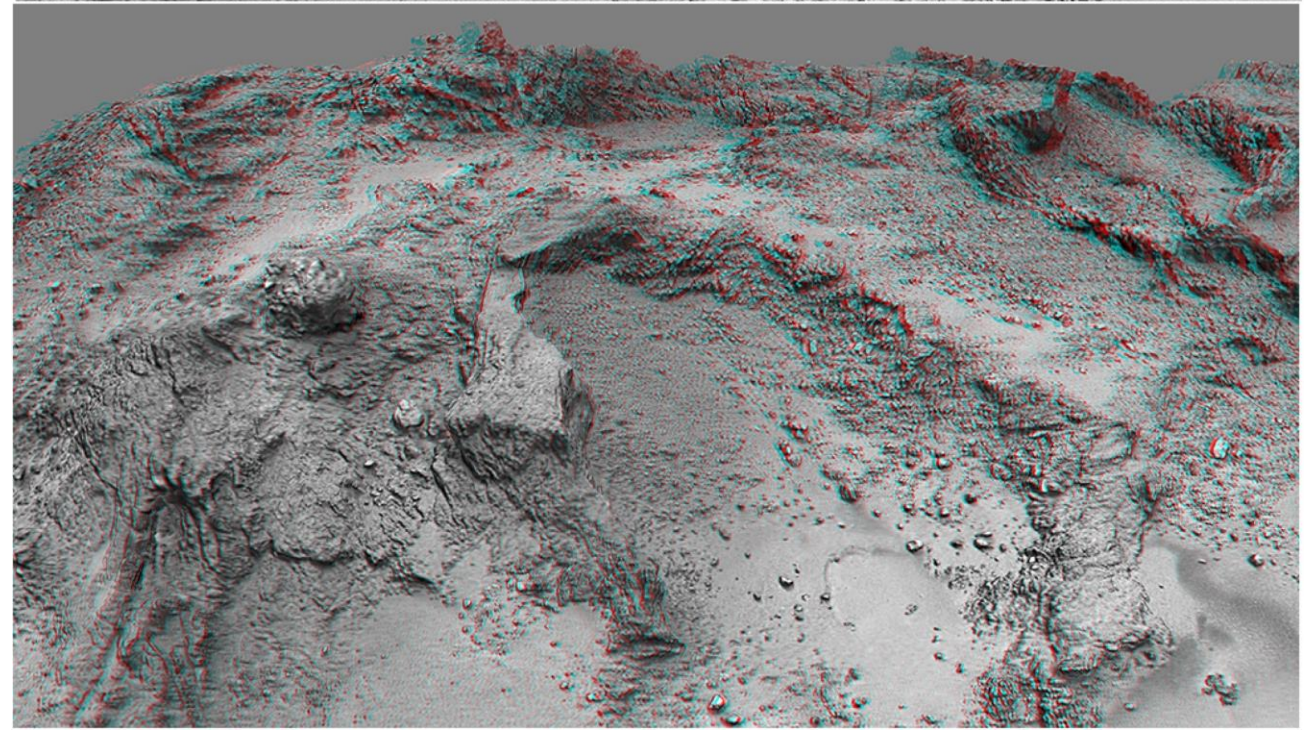
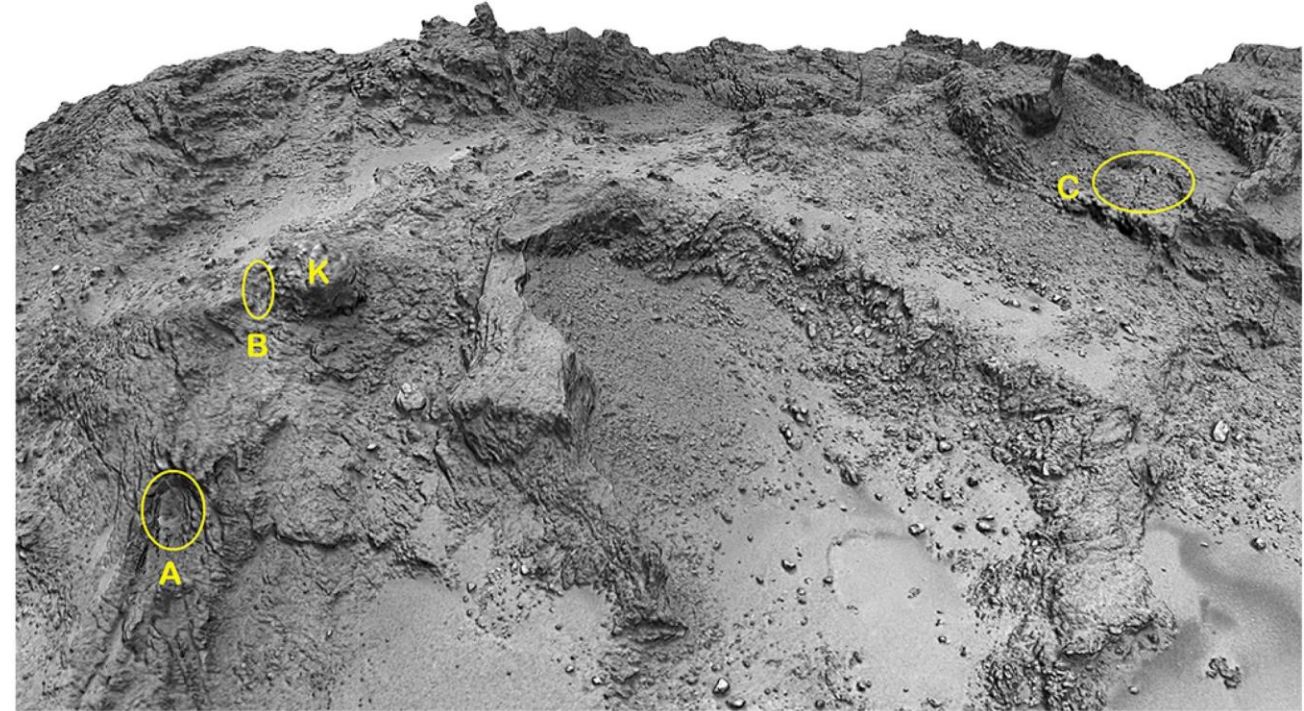
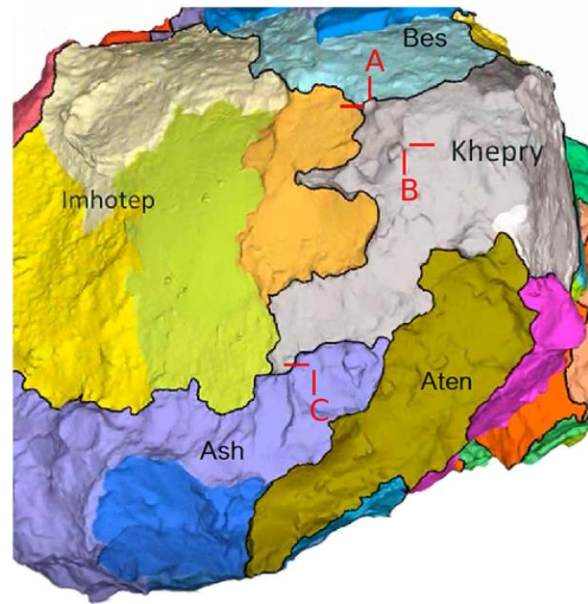
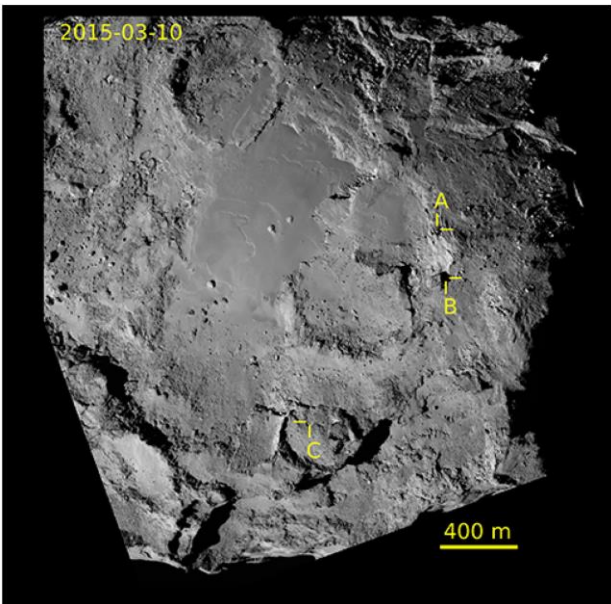
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 531, Issue 2, June 2024,  
Pages 2494–2516

- Nous rapportons la détection de 3 cavités glacées sur 67P. Nous prouvons que ces 3 cavités sont des points d'accès souterrains *Subsurface Access Points (SAPs)*, ce qui était supposé mais non encore prouvé, décrit et caractérisé sur une comète ;
- Nous réalisons un modèle 3D haute résolution de 67P avec 132 millions de facettes afin de déterminer la forme tridimensionnelle de ces *SAPs* ;
- 1<sup>er</sup> confirmation et caractérisation de *SAPs* (accès direct au sous-sol, cavité-grotte) sur une comète, 20 à 47 m de profondeur, preuve de la présence de glace d'eau ;
- 1<sup>er</sup> corrélation du départ d'un jet transitoire lié à l'insolation du fond d'une cavité glacée *SAP* (via un modèle thermique).



# 3x Subsurface Access Points (SAP)

- prouvés et caractérisés ;
- Cb corrélé isolation avec départ d'un jet transitoire.



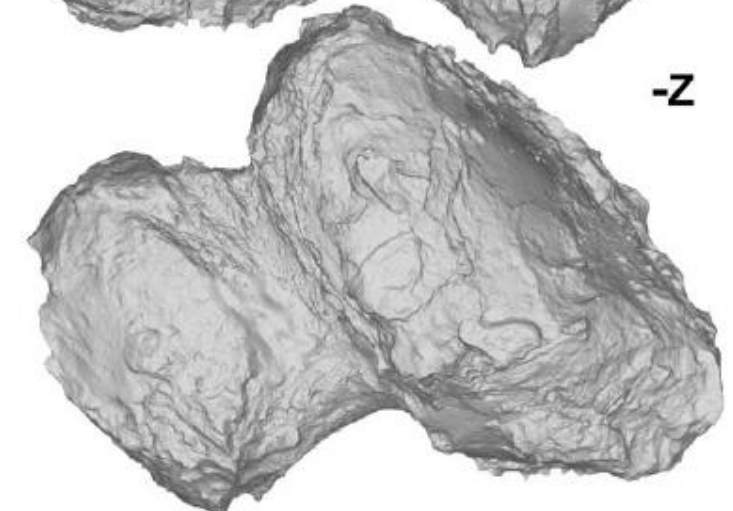
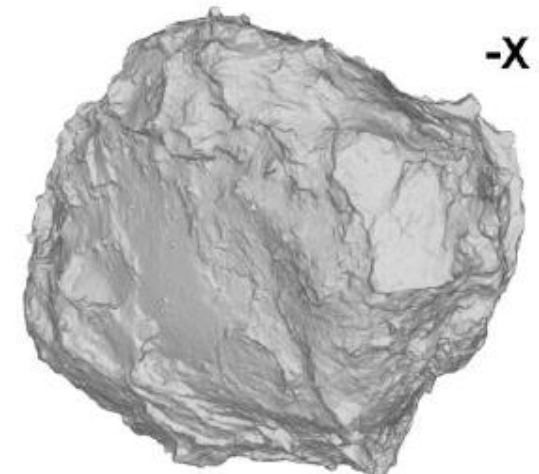
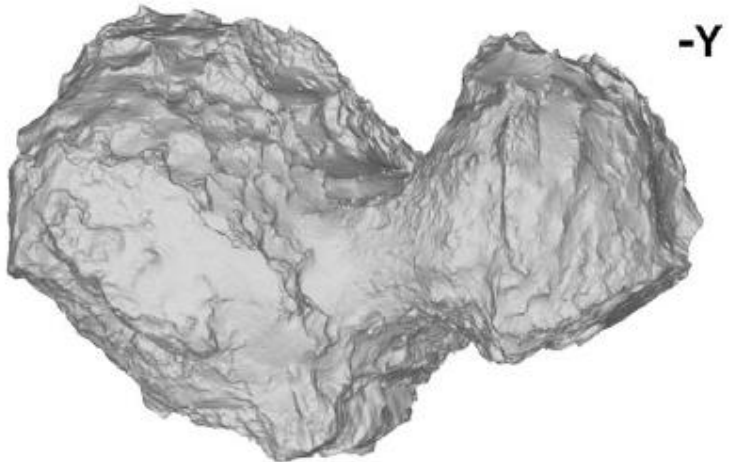
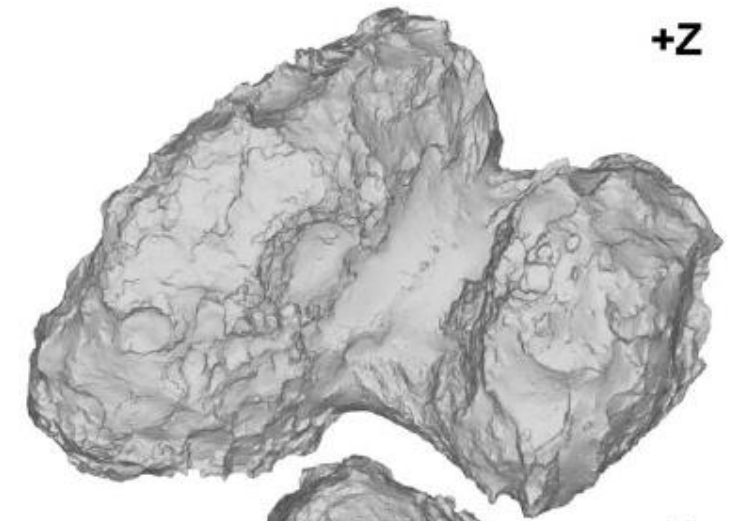
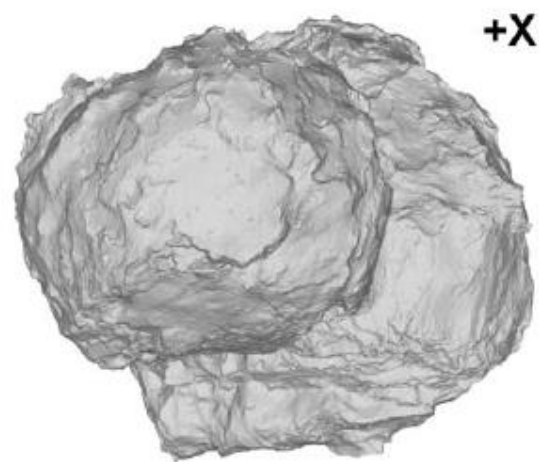
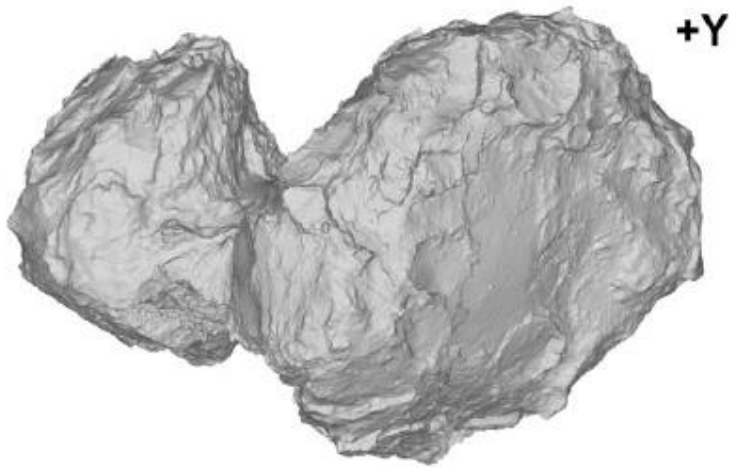
Cavity	Size (m)	Area (m <sup>2</sup> )	D (m)	d (m)	d/D
C <sub>A</sub>	18.4 × 16.2	181	15.2	47	3.1
C <sub>B</sub>	24.2 × 18.9	303	19.6	20	1.0
C <sub>C</sub>	35.0 × 32.5	804	32.0	20	0.6



# The global meter-level shape model of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

A&A 607, L1 (2017), F. Preusker & al.

- [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2017/11/aa31798-17/aa31798-17.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2017/11/aa31798-17/aa31798-17.html) 44M facets

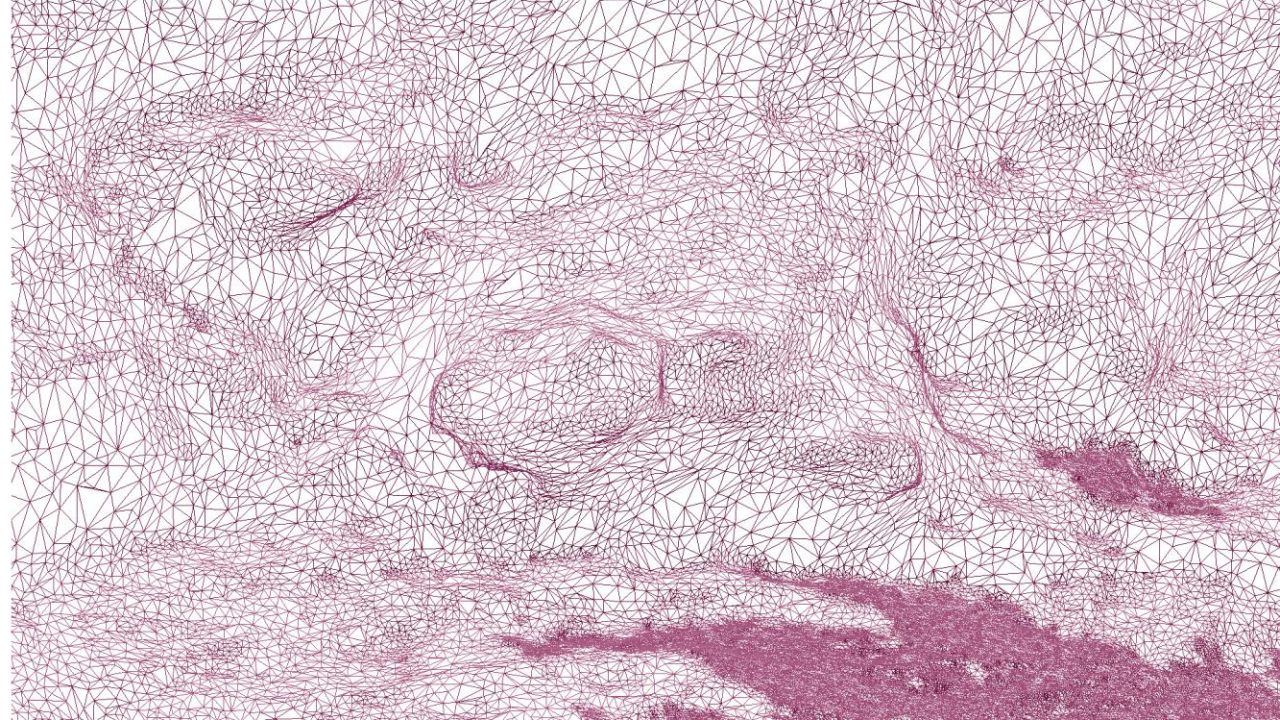
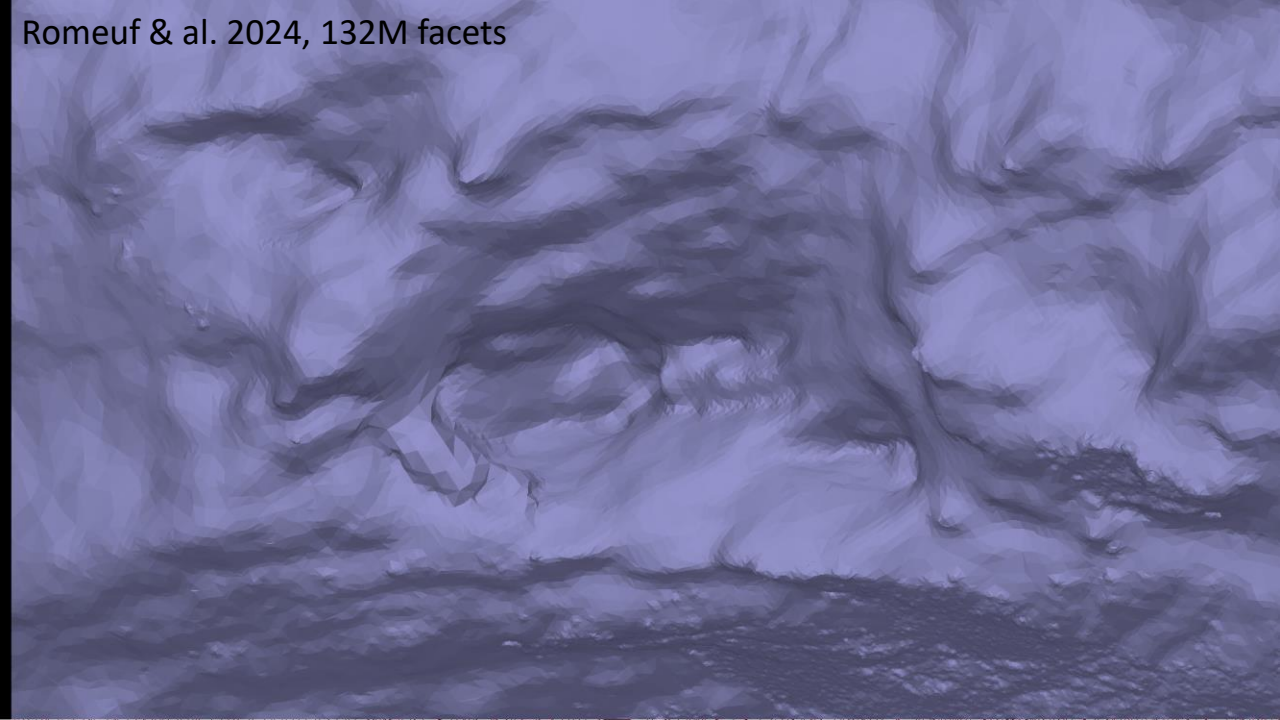




Preusker & al. 2017, 44M facets

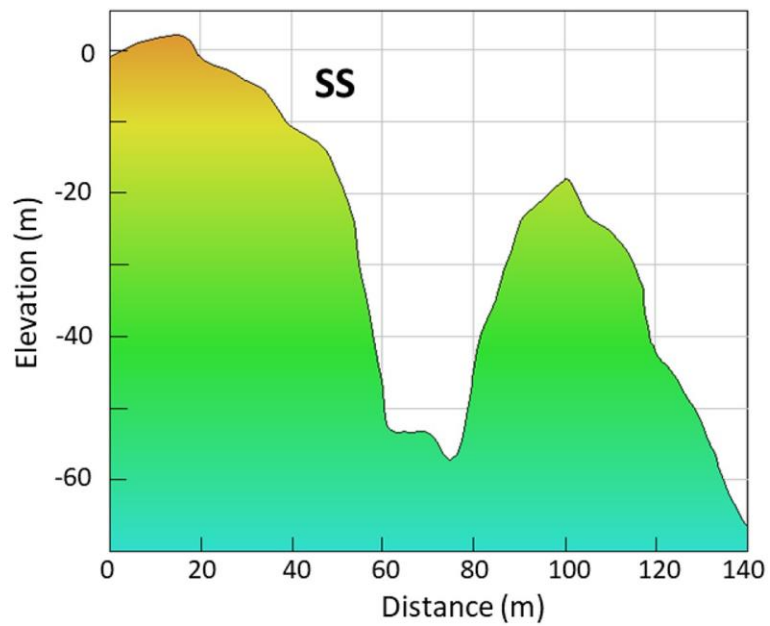
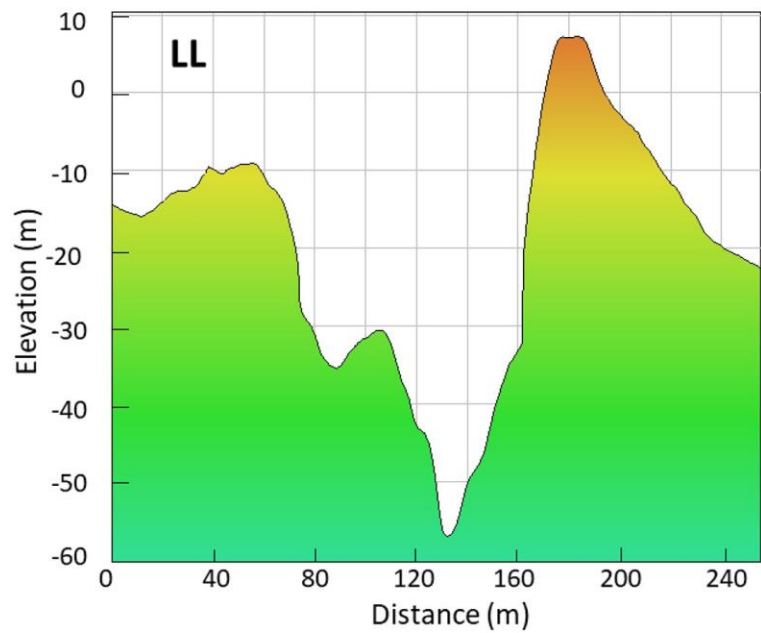
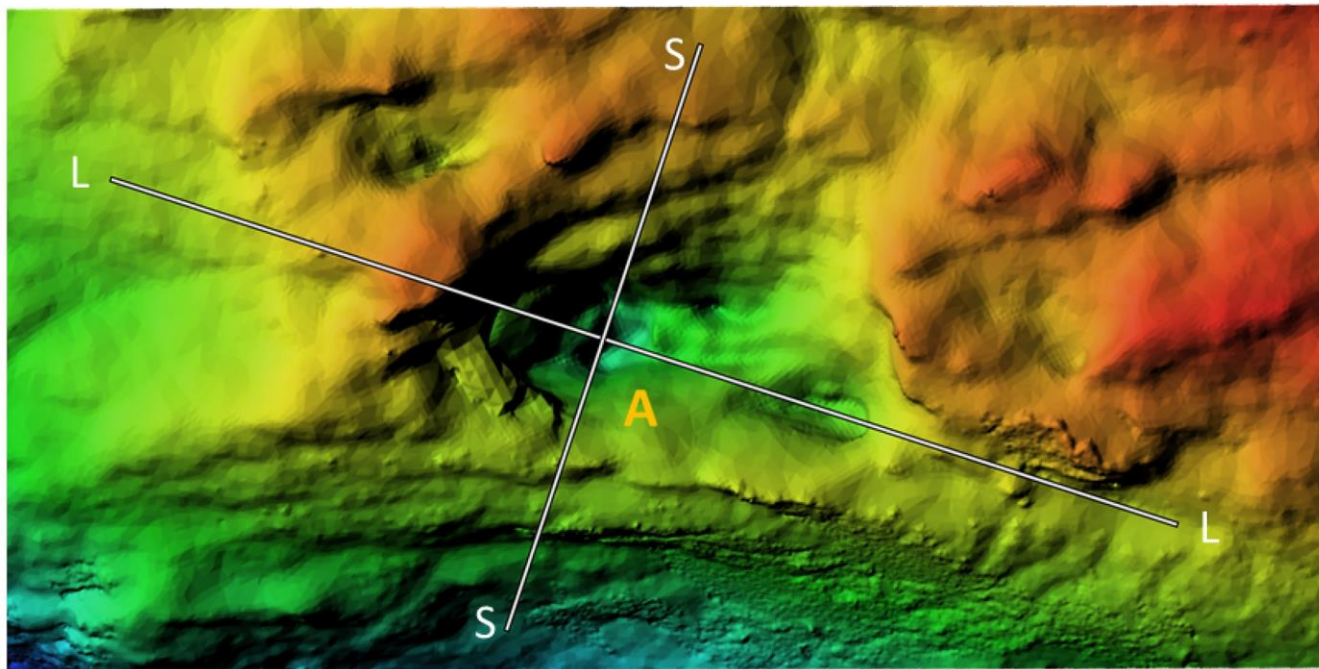


Romeuf & al. 2024, 132M facets



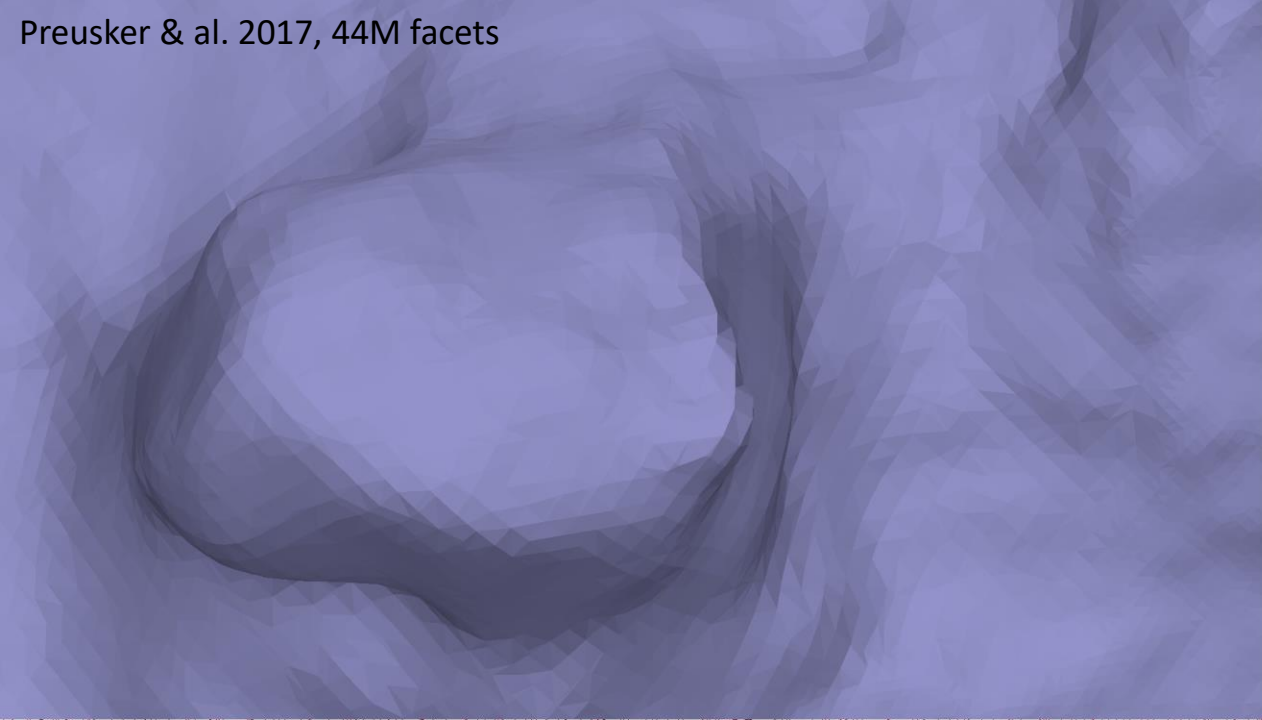


-104 m      42 m      21 m      50 m

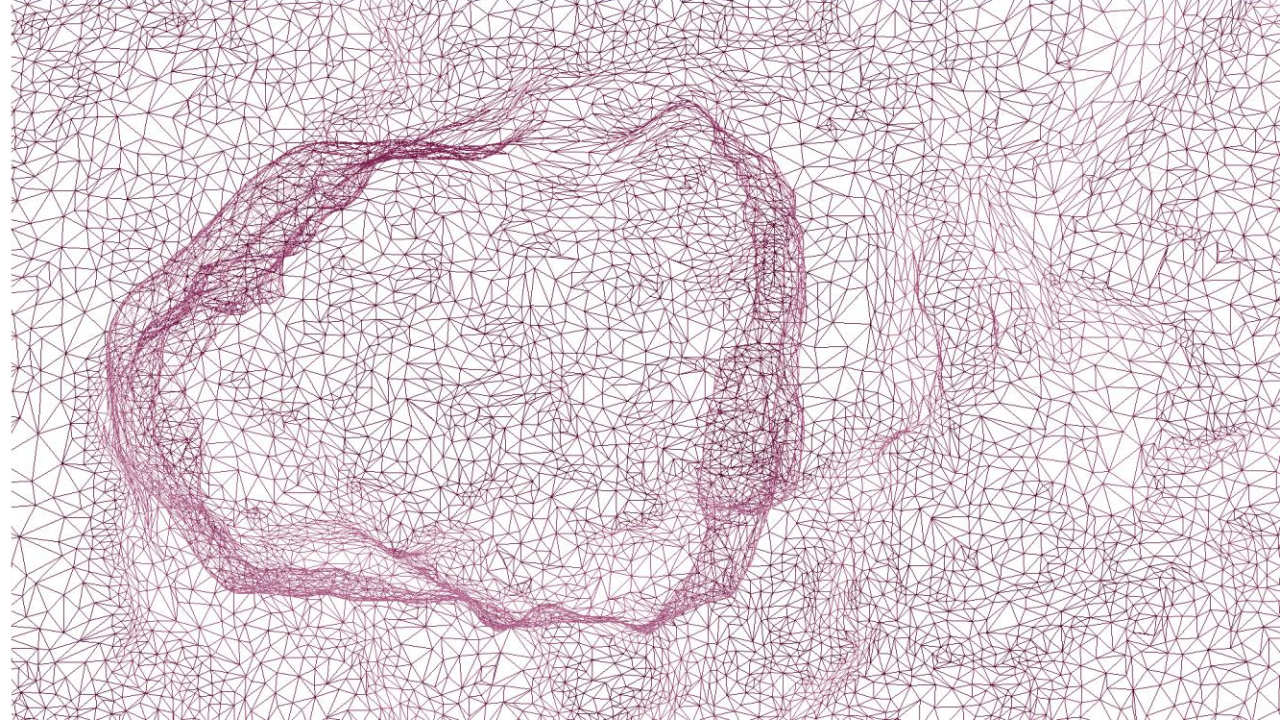
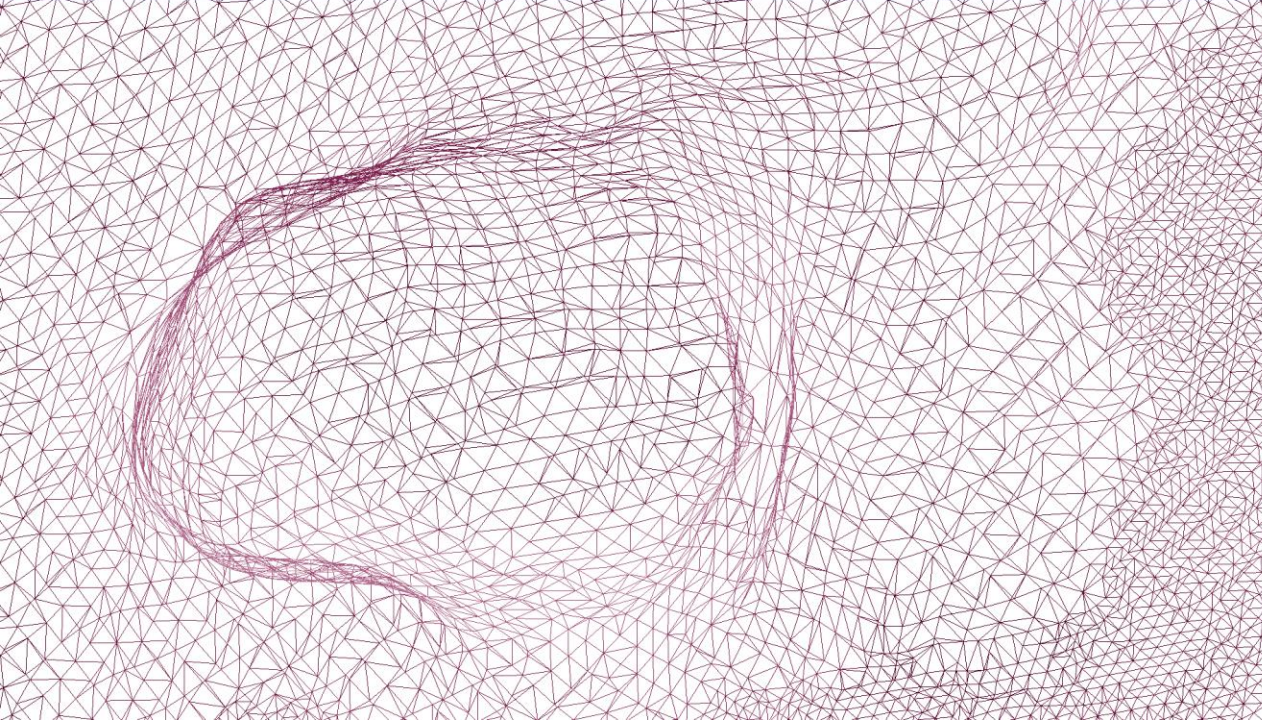
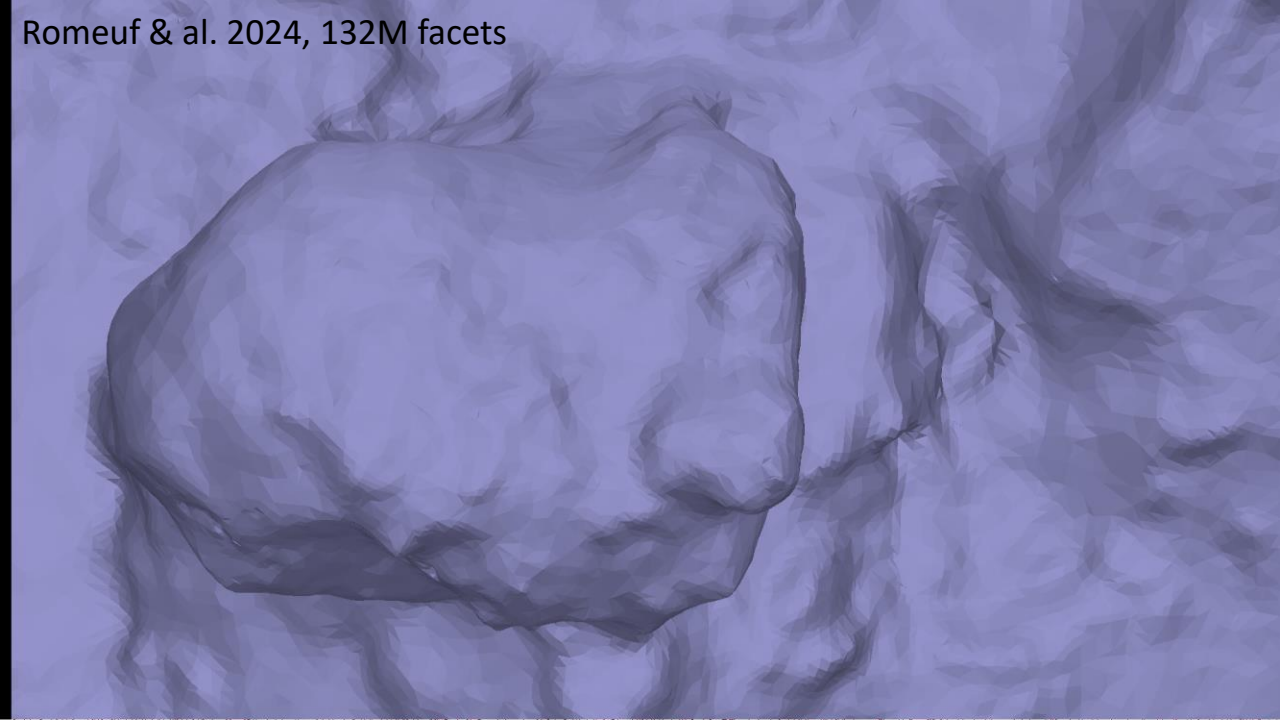




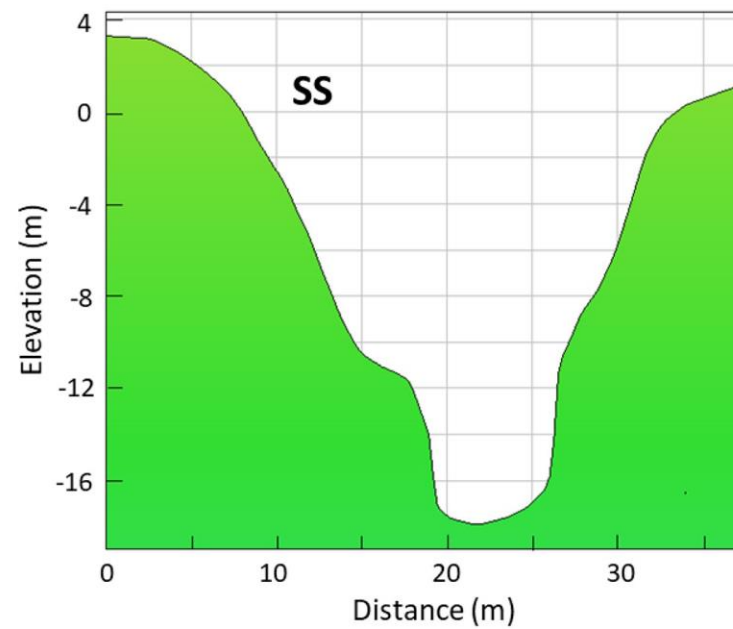
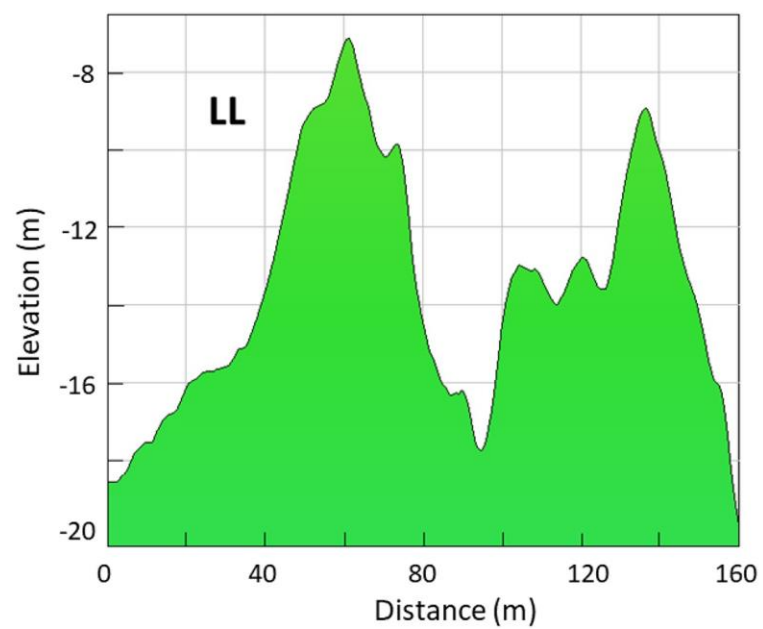
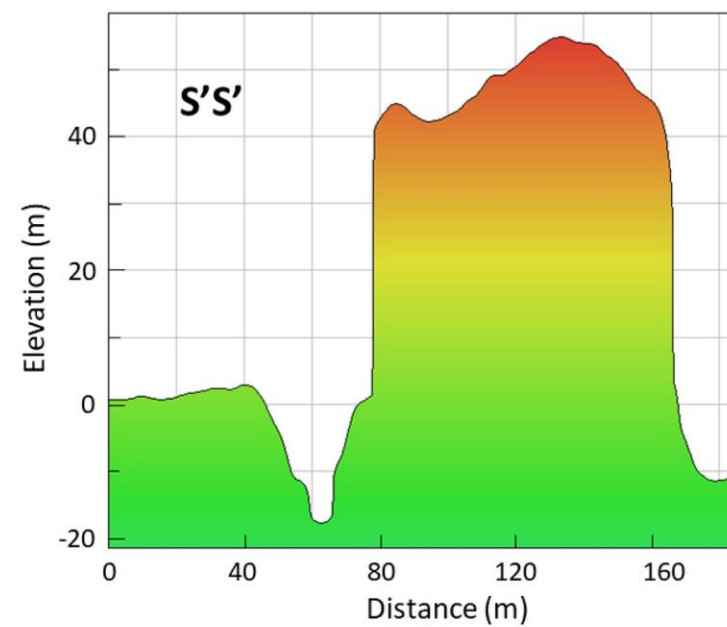
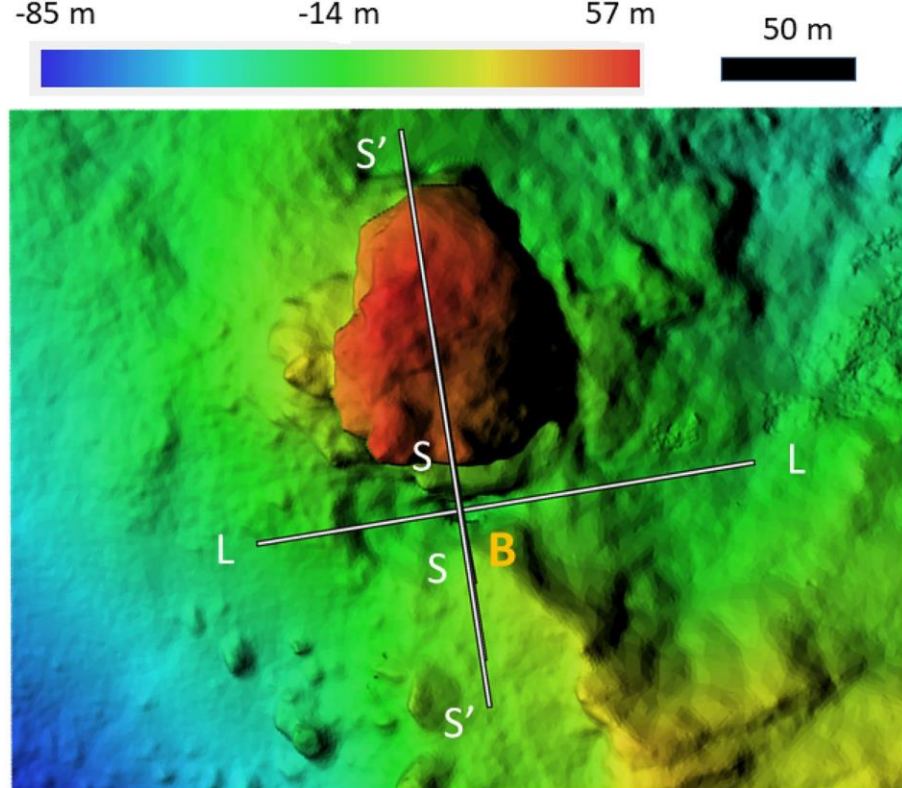
Preusker & al. 2017, 44M facets



Romeuf & al. 2024, 132M facets





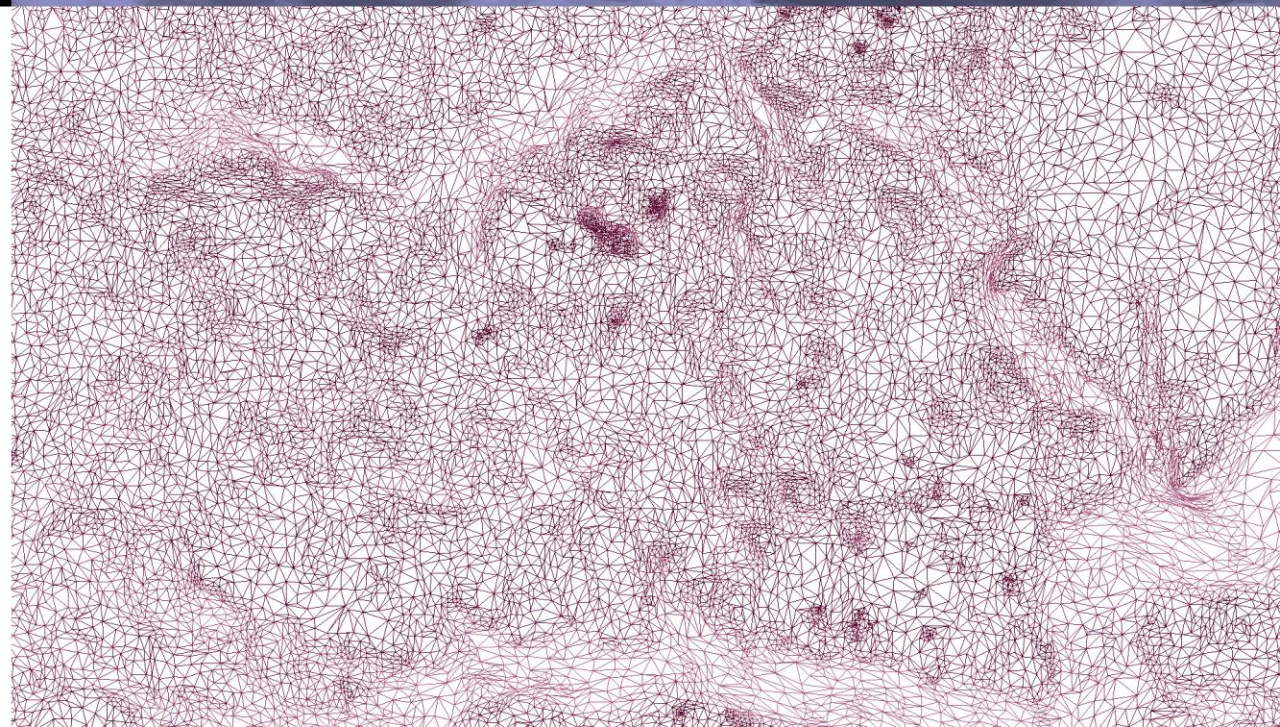
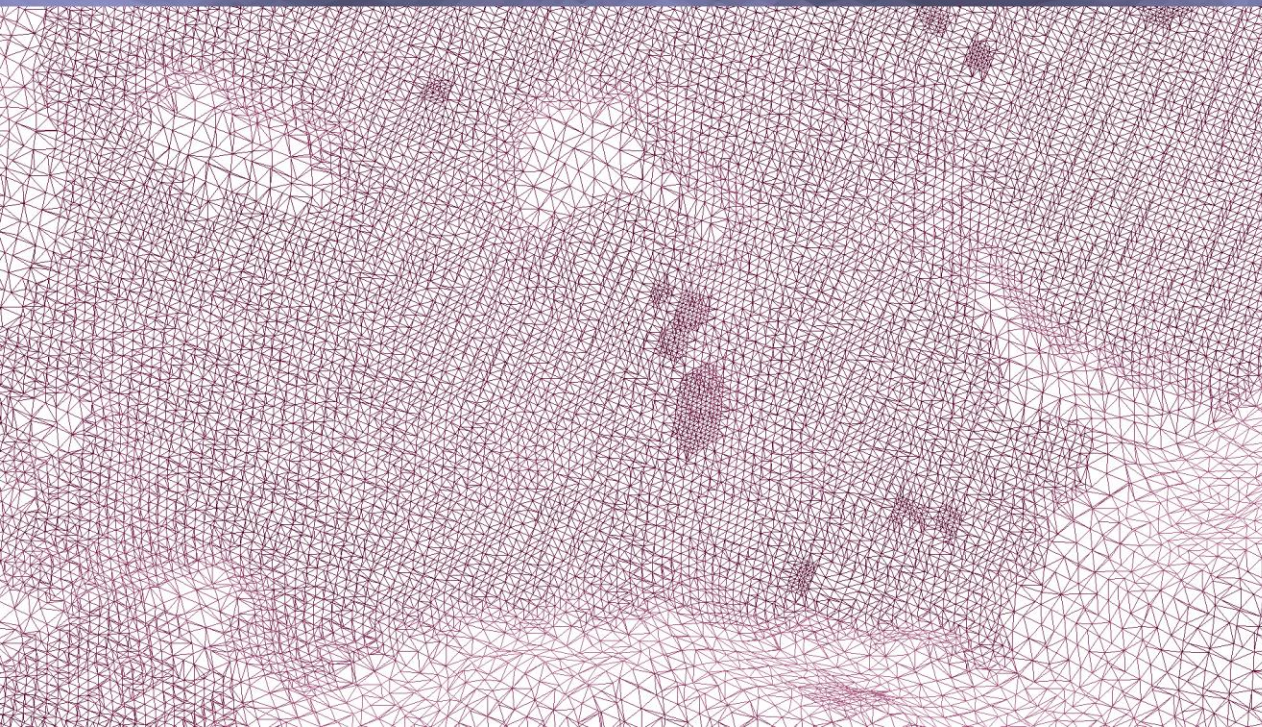
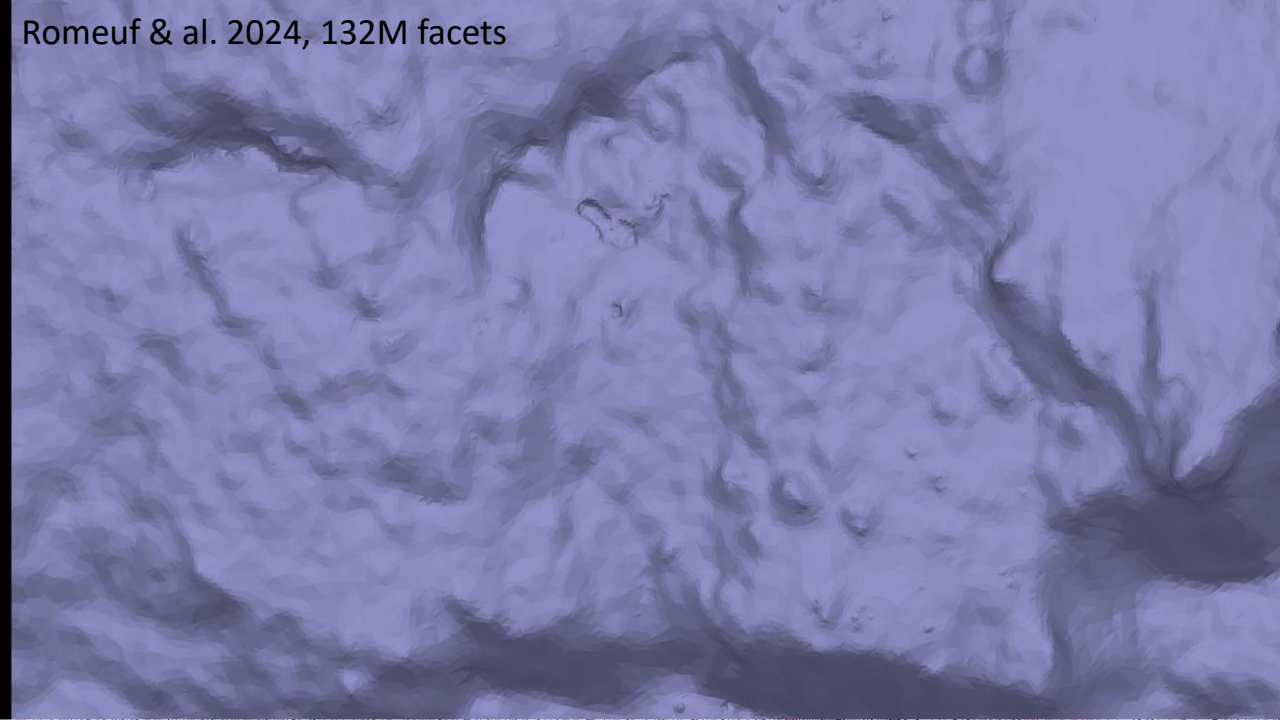




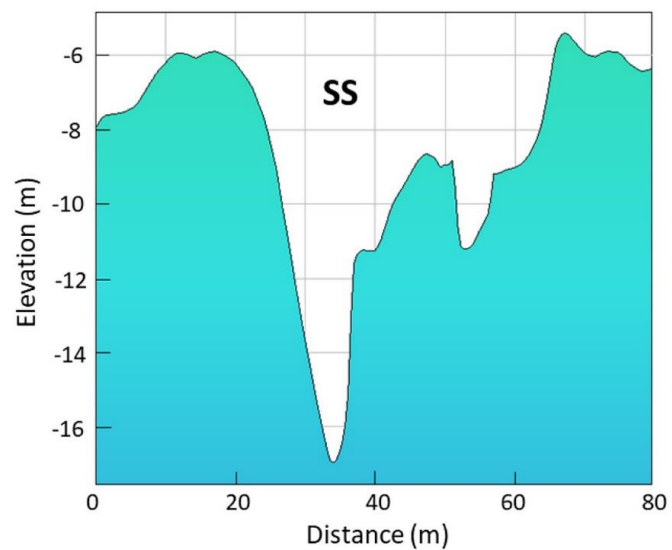
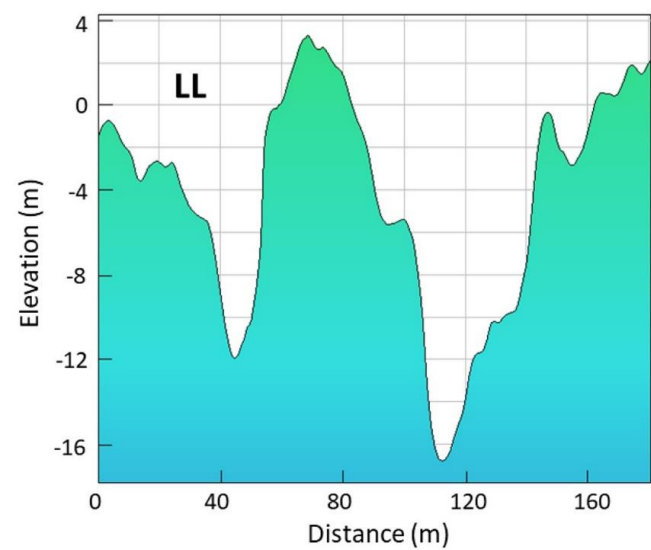
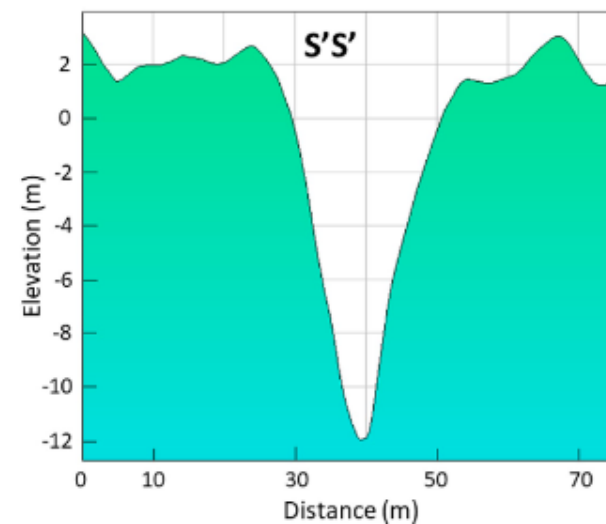
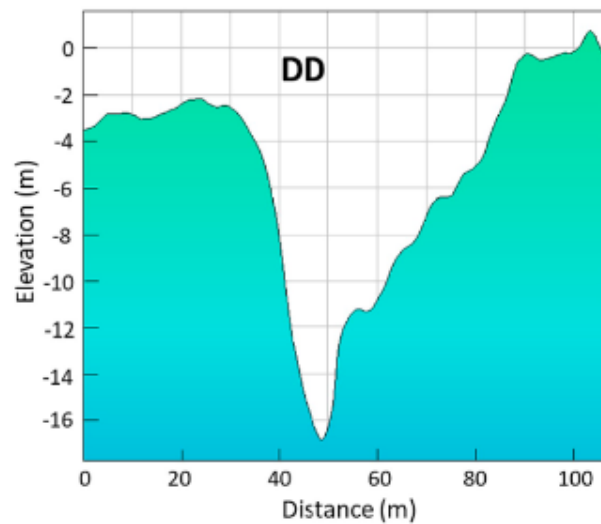
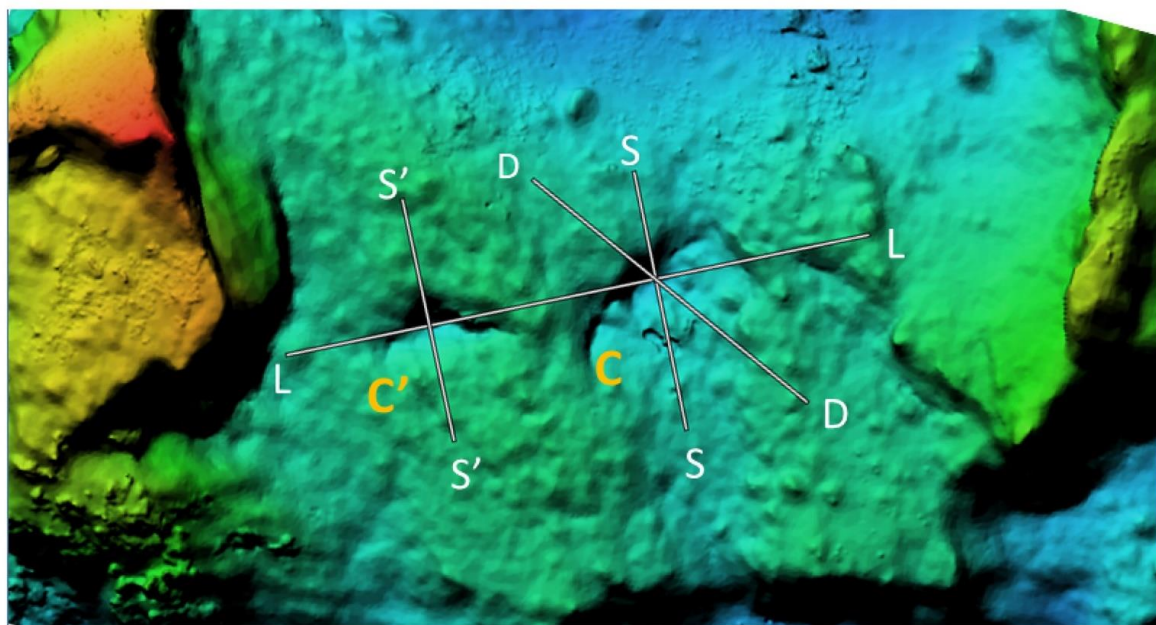
Preusker & al. 2017, 44M facets



Romeuf & al. 2024, 132M facets

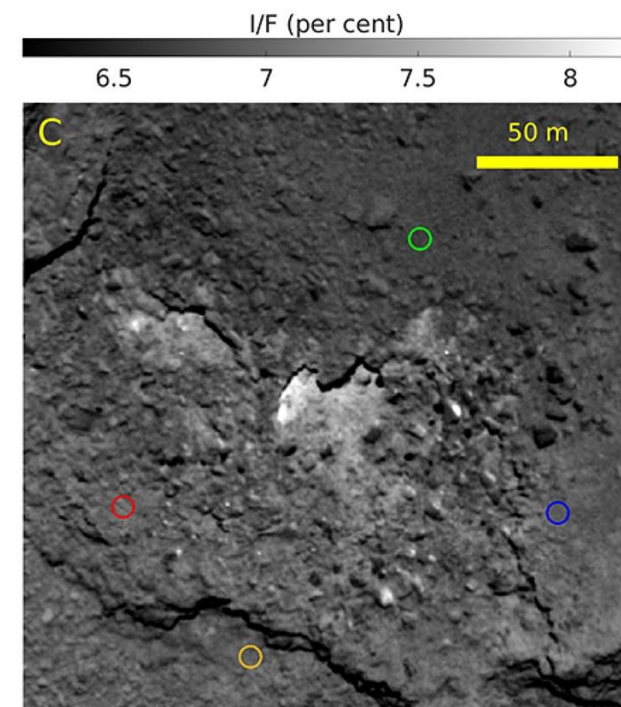
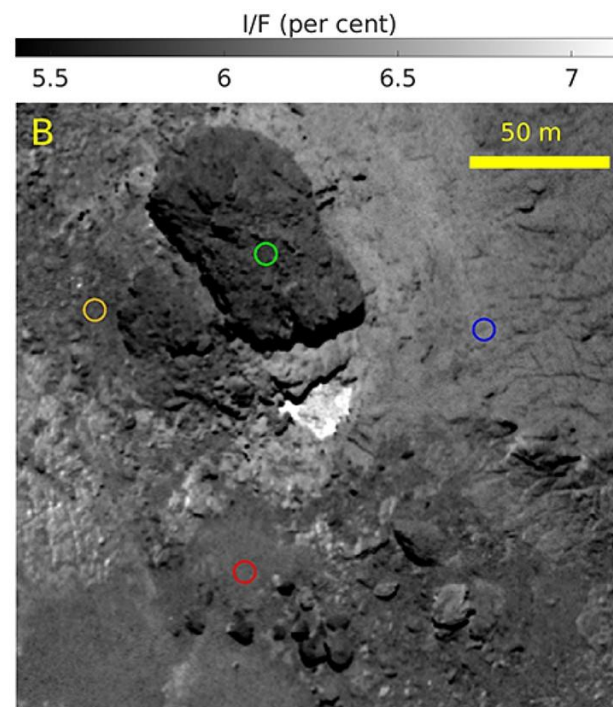
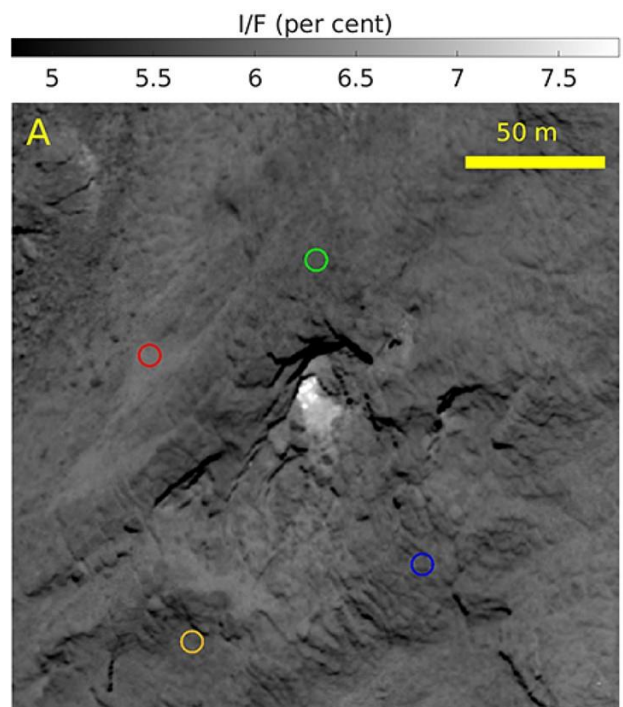






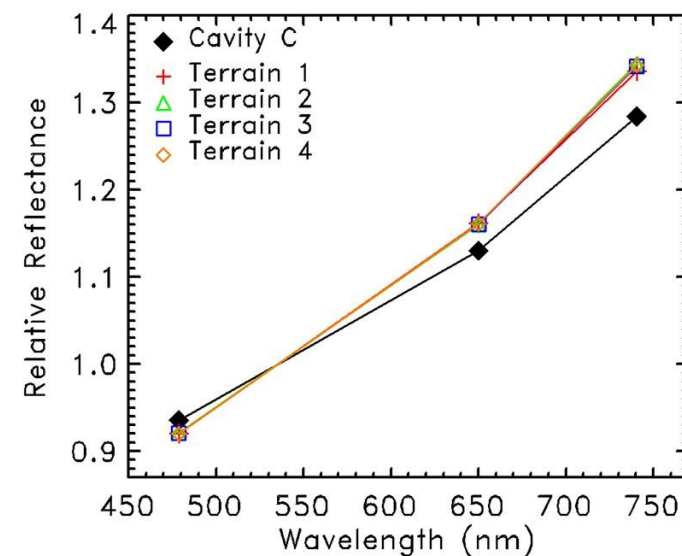
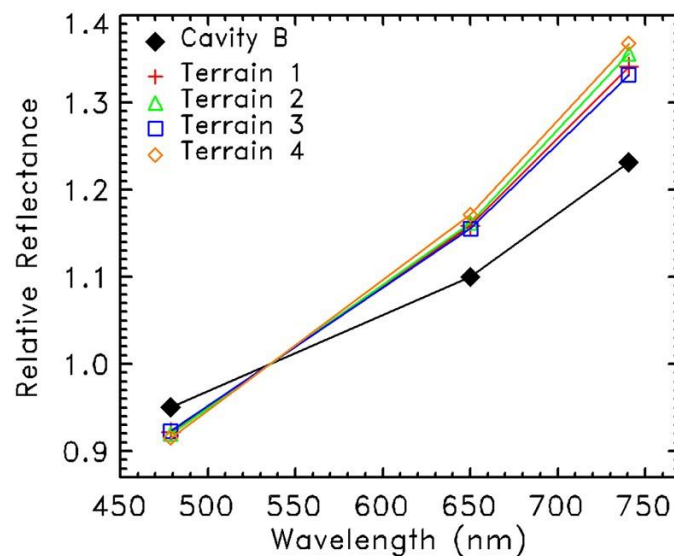
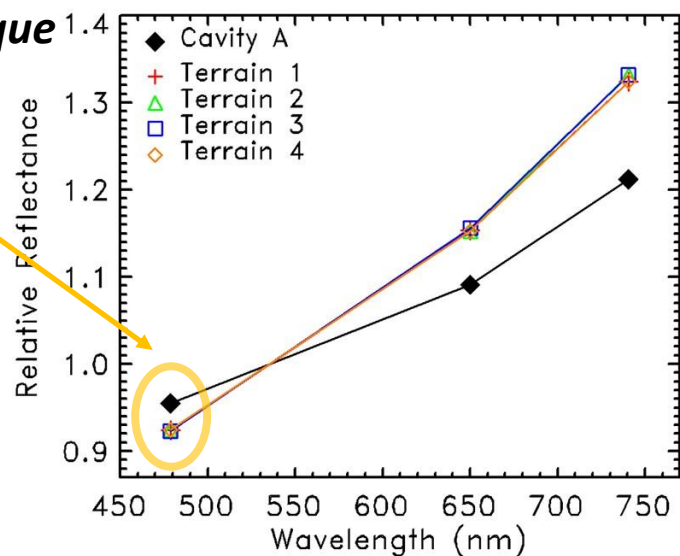


Spectrophotométrie, spectre de réflectance relative normalisée à 550 nm : Guillaume FAURY & al.

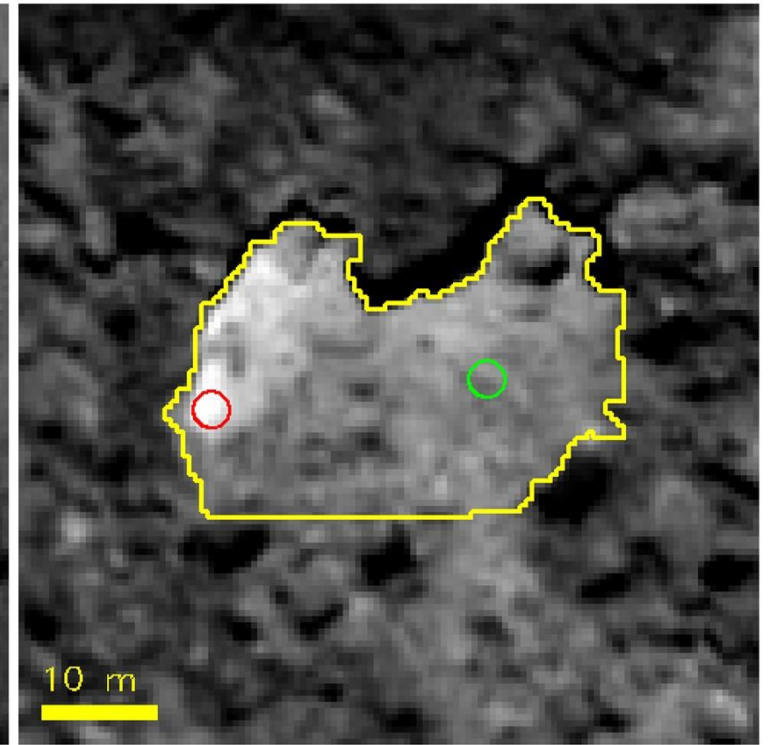
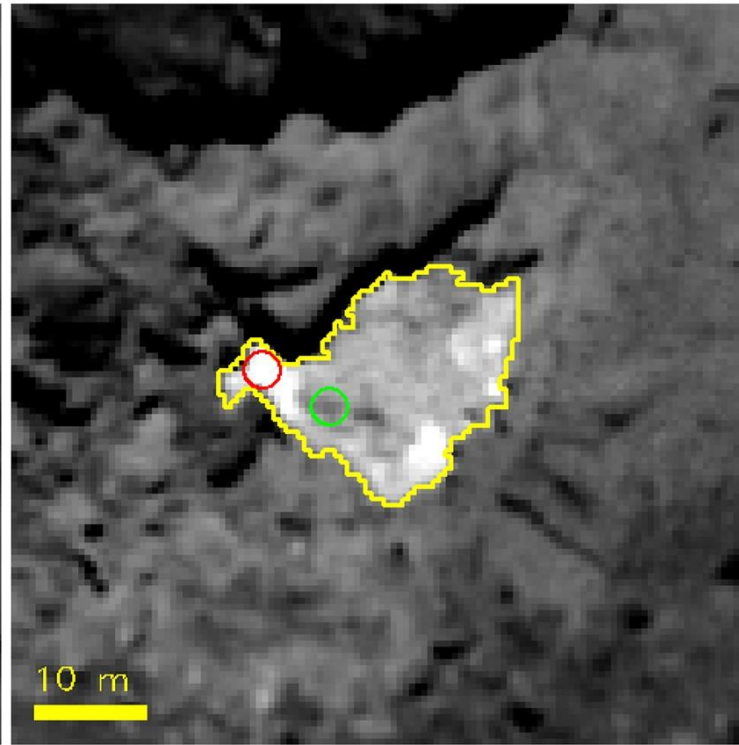
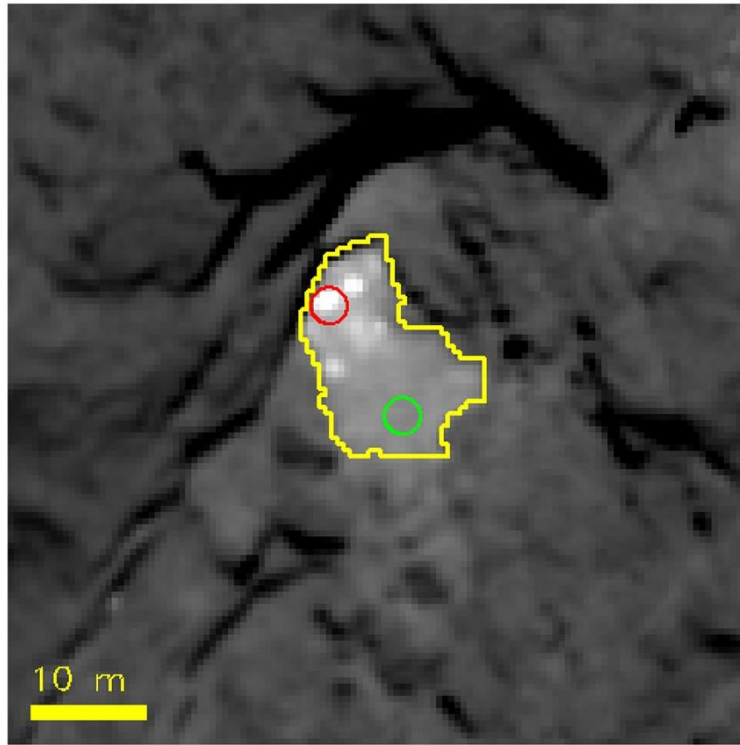


*Ca Cb Cc*  
*au-dessus courbe dans le bleu*

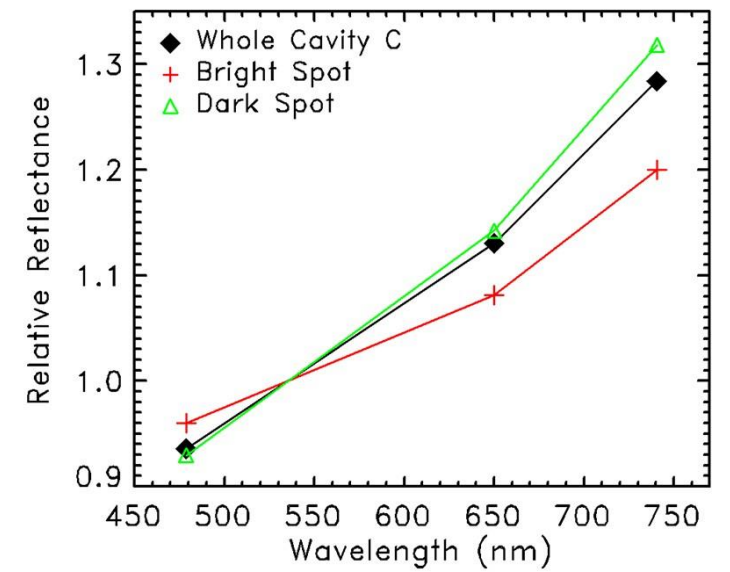
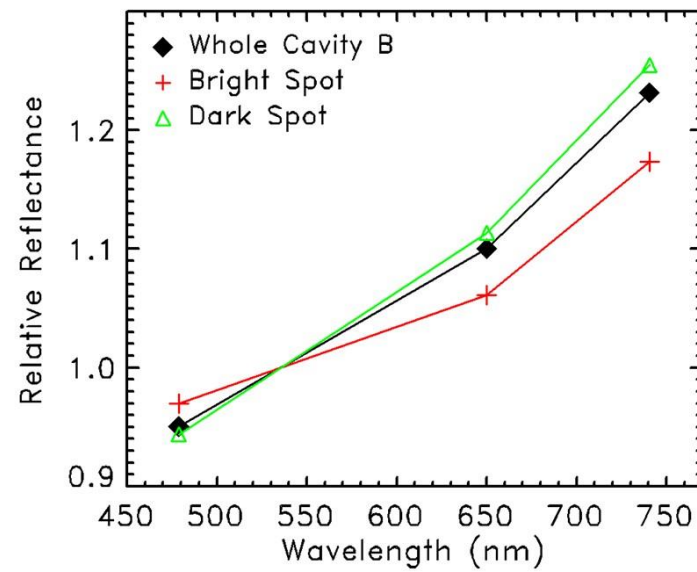
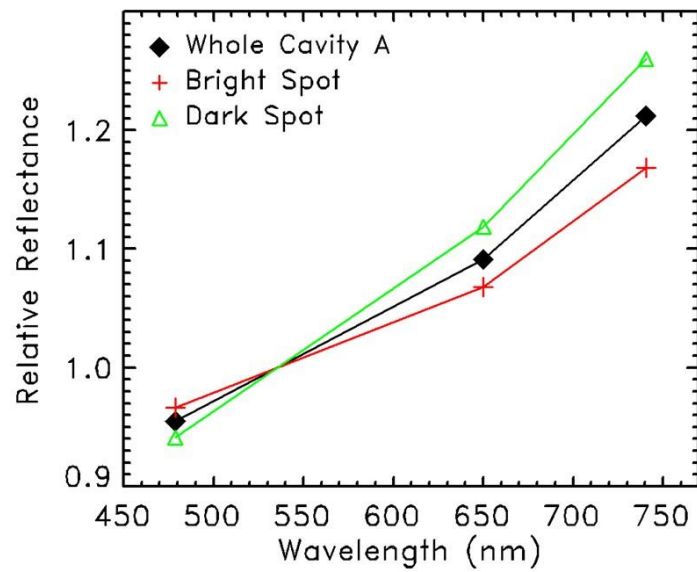
*caractéristique*  
*présence*  
*glace*







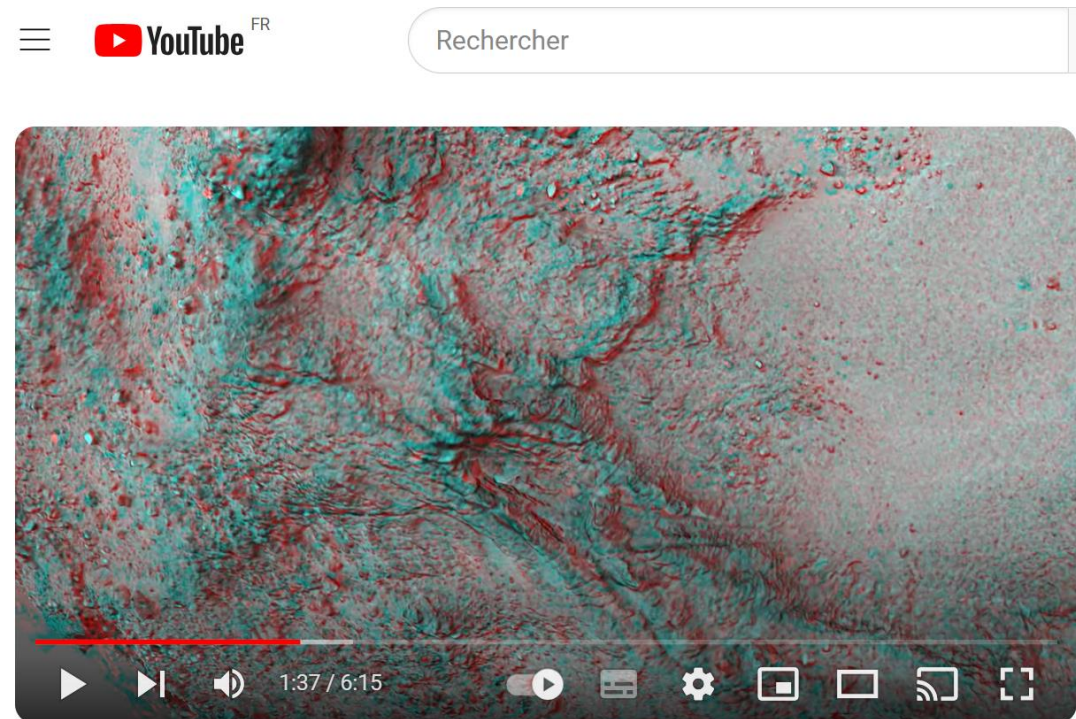
**Lieux plus de glace que d'autres dans la SAP**





# Visite des 4 cavités SAPs – Vidéos sur YouTube

- <https://www.youtube.com/watch?v=twsfRI52HZw> , 3D  
<https://www.youtube.com/watch?v=ADDyB76qmBI> , 2D



**Stereoscopic visit of four cavities on the nucleus of comet  
67P/Churyumov-Gerasimenko**



**(2D B&W version) Visit of four cavities on the nucleus of comet  
67P/Churyumov-Gerasimenko**



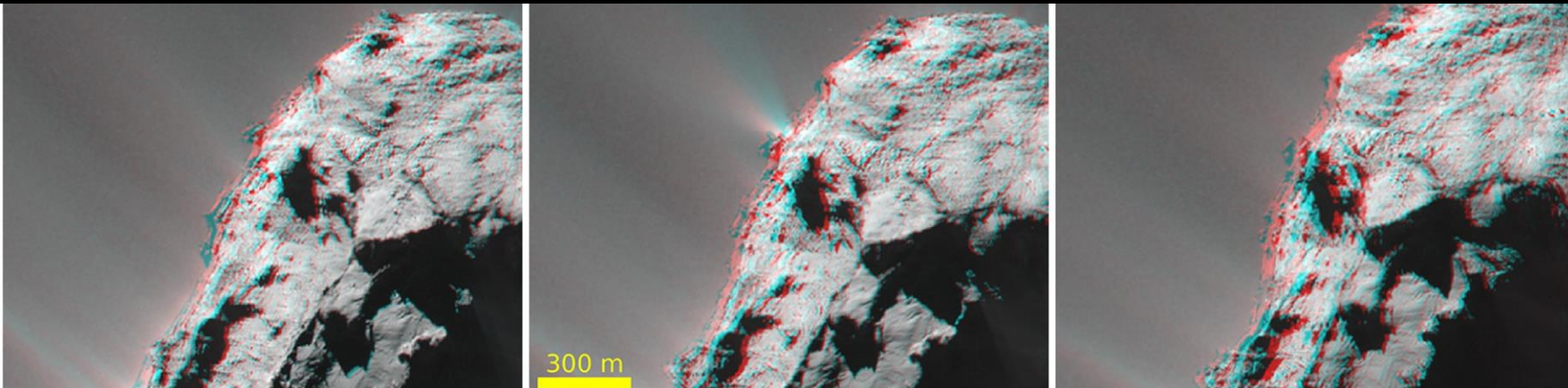
# CB

## Stereoscopic visualization of the jet activity of the nucleus of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko

The 16 anaglyphs comprising this movie were constructed from 25 OSIRIS-NAC images obtained on 2015-07-18 from 21:00:05 to 23:00:05.

Romeuf D.<sup>1</sup>, Faury G.<sup>2</sup>, Lamy P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université Lyon I, <sup>2</sup> IRAP, <sup>3</sup> LATMOS



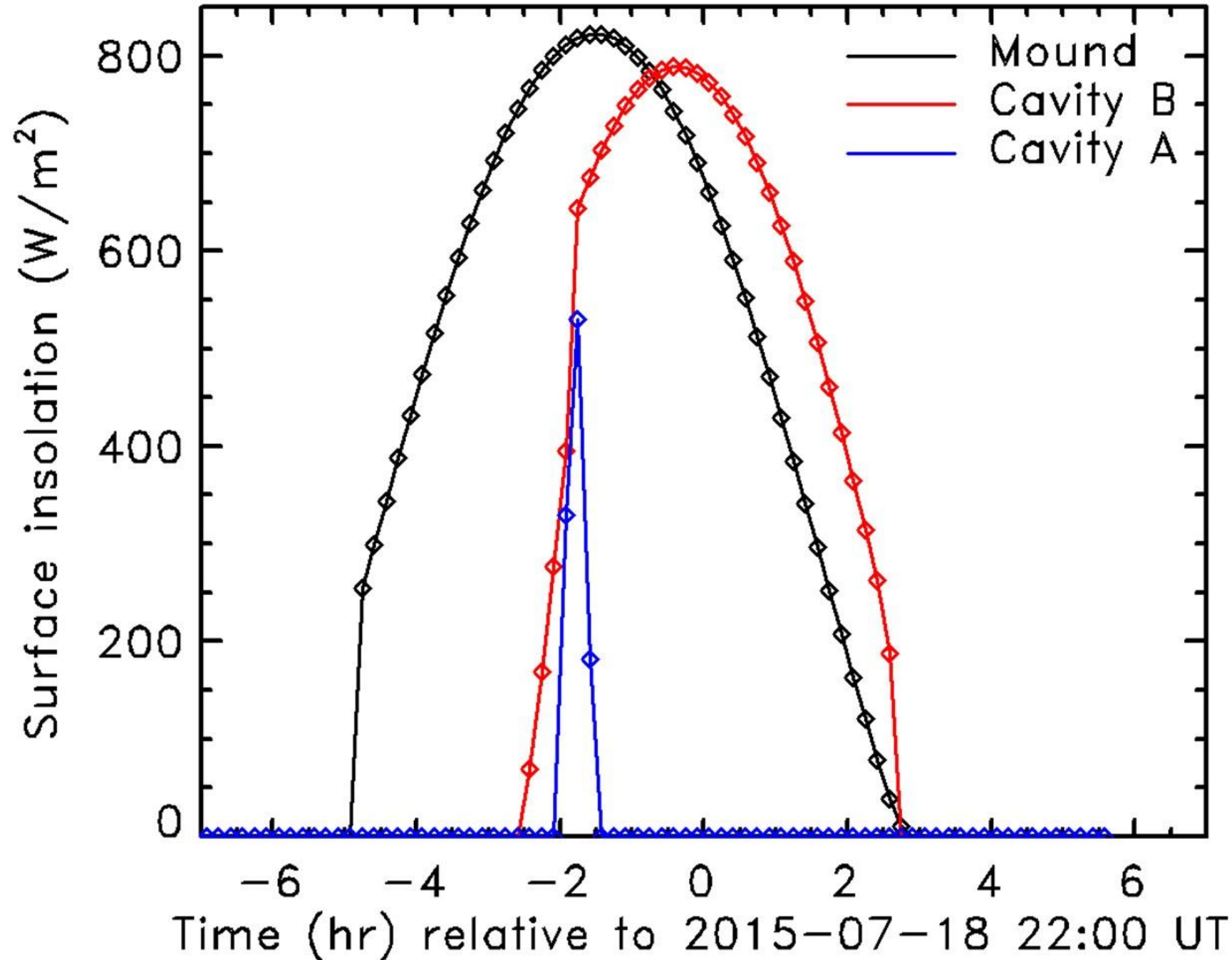


# CB

Le jet transitoire se déclenche au moment où l'énergie reçue cumulée atteint un seuil.

Courbes et preuve obtenue avec le modèle thermique ci-après.

Nous avons beaucoup de facettes sur notre modèle 132M qui décrivent l'intérieur de la cavité *SAP*.





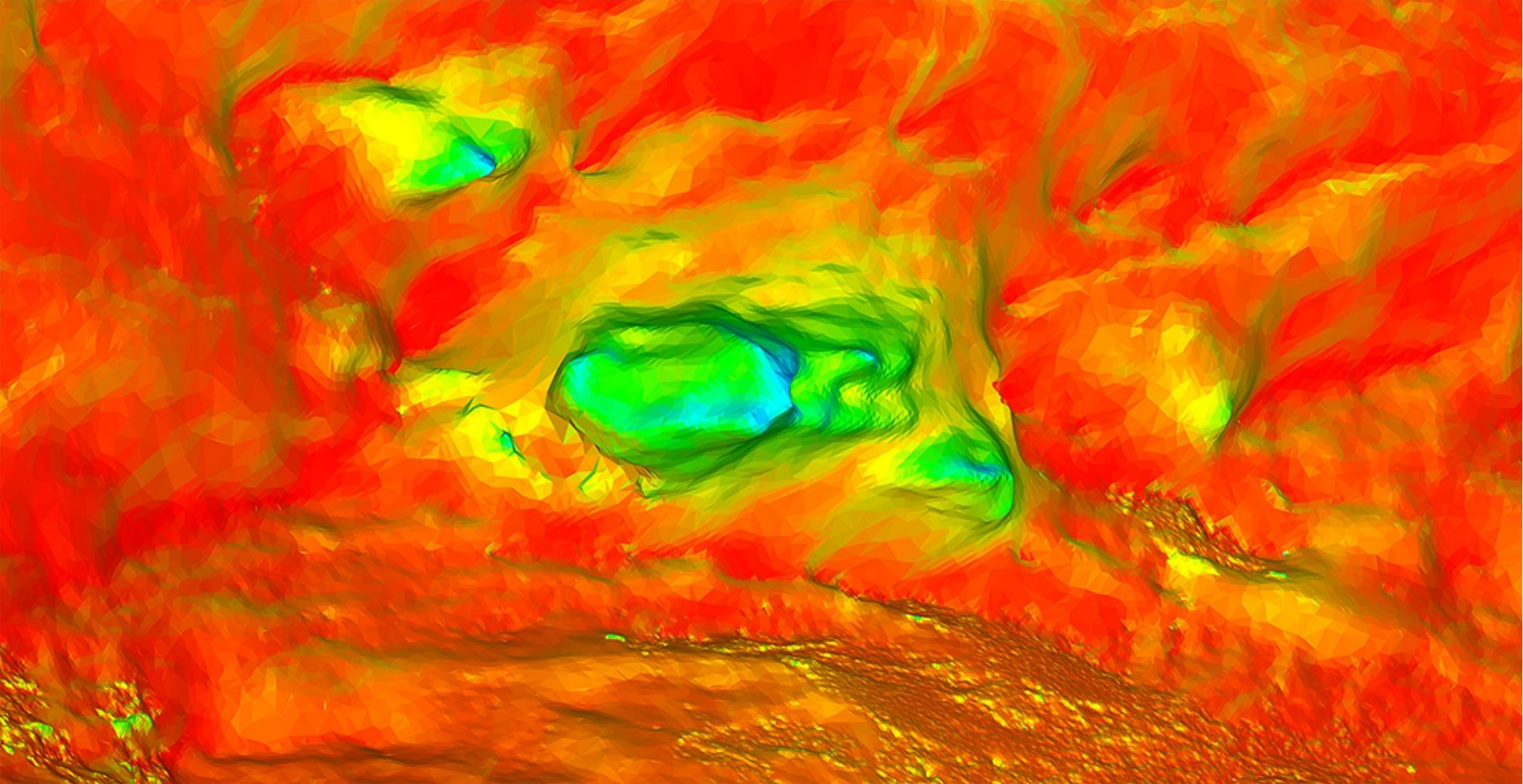
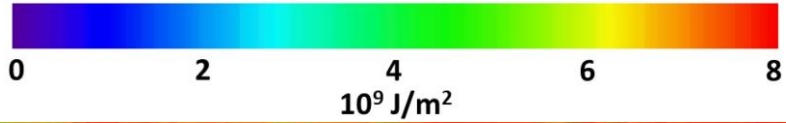
# Modèle thermique, bilan insolation solaire

Olivier GROUSSIN & al.

- étudier et quantifier les contraintes thermiques sur les cavités ;
- Prise en compte que l'insolation solaire, l'émission thermique de surface et les ombres projetées ;
- L'énergie accumulée sur une révolution orbitale complète de la comète reçue par chaque facette des trois cavités et des terrains environnants a été calculée 36 fois par rotation (toutes les 1240 s) pour suivre les variations diurnes à court terme et à 35 moments différents sur l'orbite séparés par un intervalle de temps variable (de 100 jours à l'aphélie à 15 jours au périhélie) pour suivre les variations saisonnières à long terme.
- À chaque pas de temps, la distance au Soleil, l'orientation de chaque facette par rapport au Soleil et les ombres projetées ont été calculées à l'aide du logiciel OASIS (Jorda et al. 2010). L'insolation solaire étant indépendante de la composition de la surface, la sublimation de la glace d'eau a été négligée dans ce modèle.

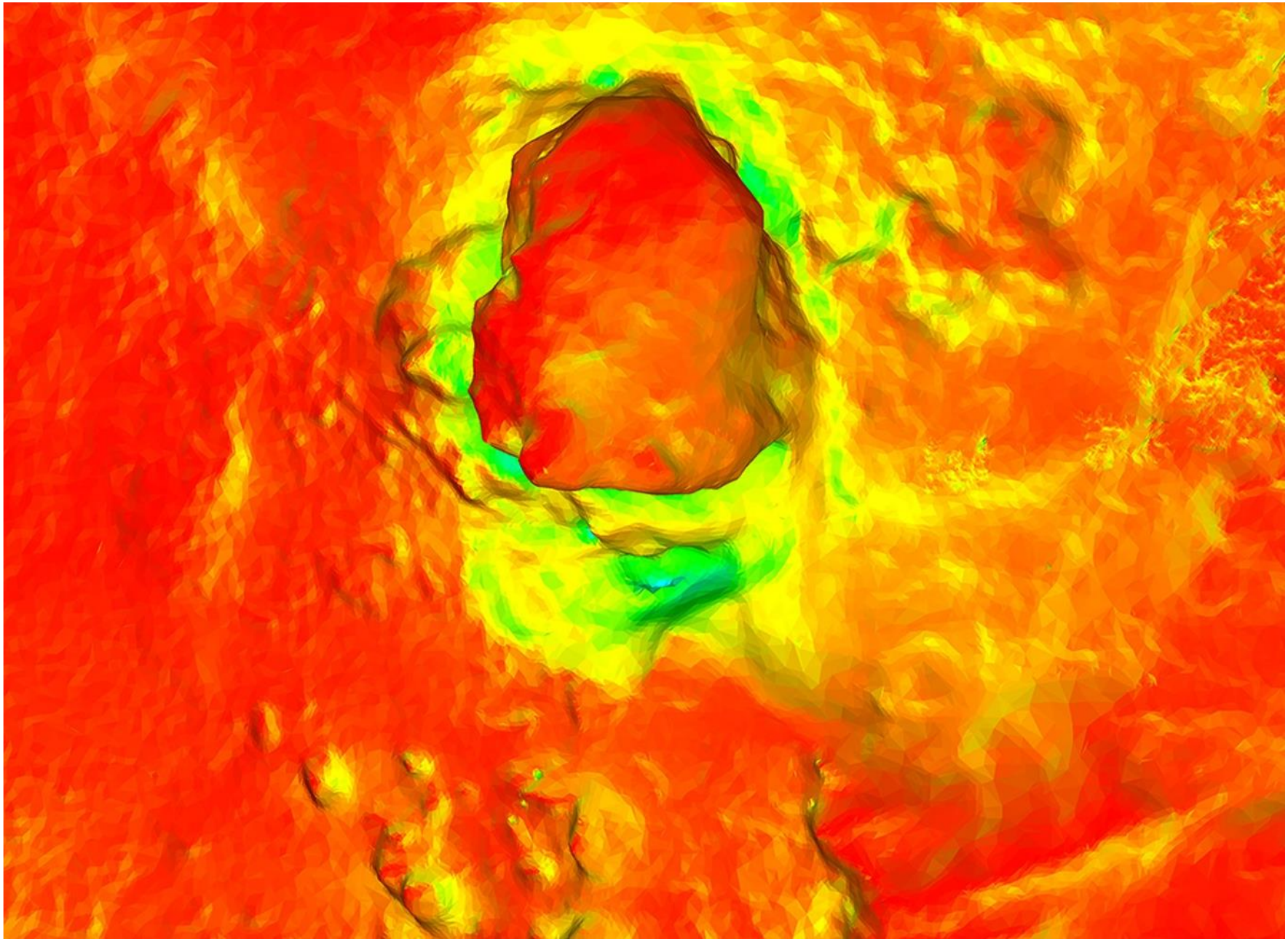
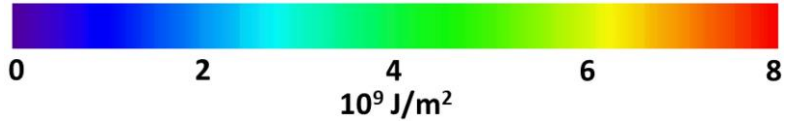


Modèle thermique : Olivier GROUSSIN & al. sur facettes de notre modèle 67P 132M



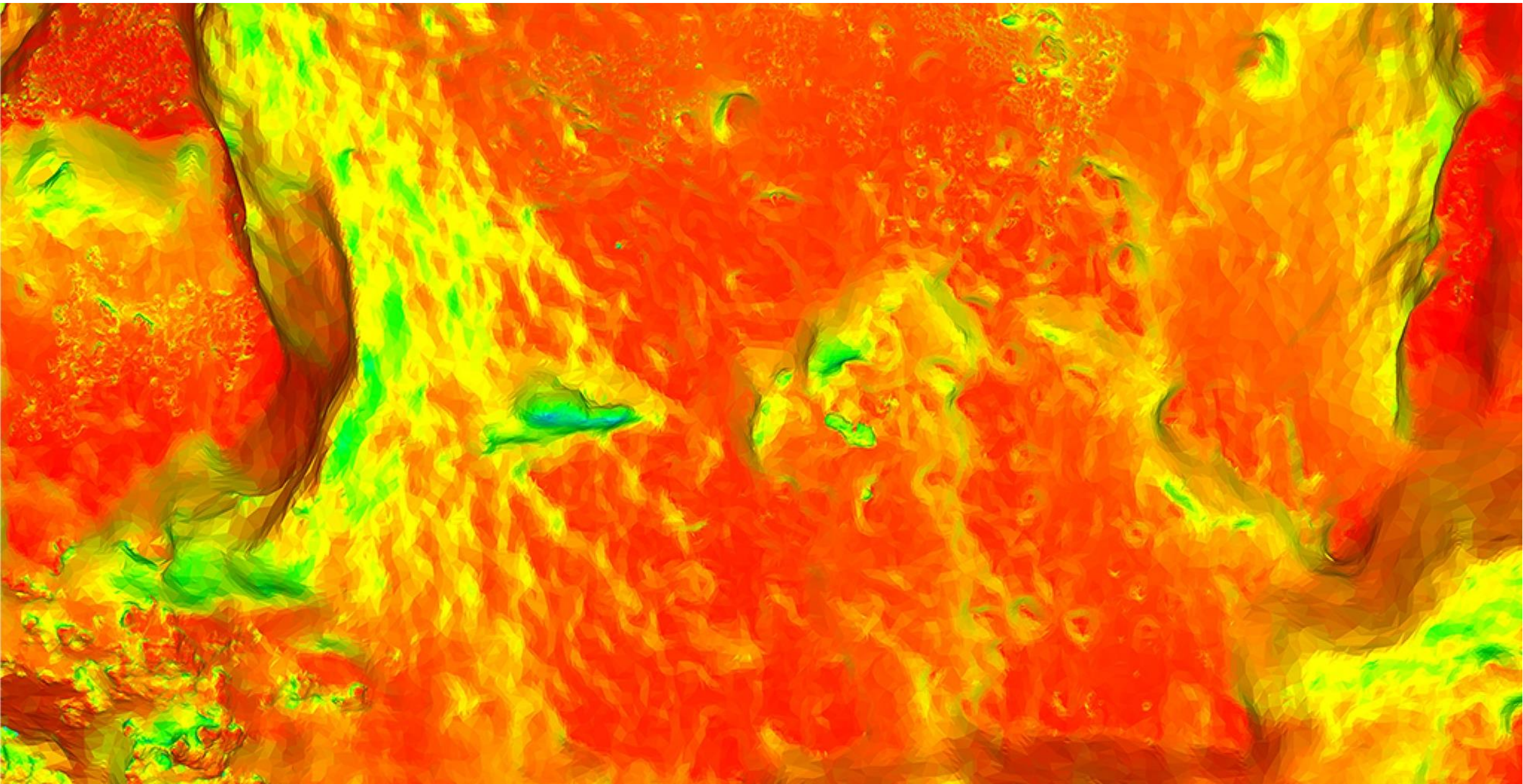
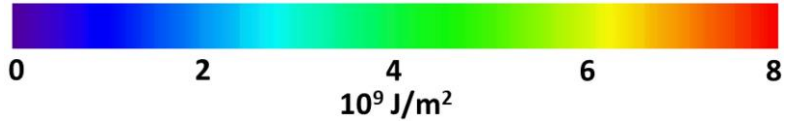


Modèle thermique : Olivier GROUSSIN & al. sur facettes de notre modèle 67P 132M





Modèle thermique : Olivier GROUSSIN & al. sur facettes de notre modèle 67P 132M





# Conclusion

- Notre recherche s'inscrit dans le cadre des efforts récents qui reconnaissent la valeur de la stéréophotographie comme outil de visualisation et de caractérisation de la surface des corps du système solaire à des échelles spatiales qui ne sont généralement pas atteintes par les modèles numériques de terrain. Elle s'inscrit en outre dans le cadre de l'intérêt croissant pour les points d'accès souterrains et leur utilisation comme moyen de sonder l'intérieur de ces corps. Nous avons montré pour la première fois qu'un noyau cométaire, à savoir celui de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, présente des cavités qui répondent sans aucun doute aux critères des *SAPs* (*Subsurface Access Points*). De même, nous montrons pour la première fois un lien entre la brève insolation du fond d'une cavité glacée et le départ d'un grand jet transitoire.