

# *Explorer les astéroïdes binaires par occultation (Pro/Am)*

## *GaiaMoons*

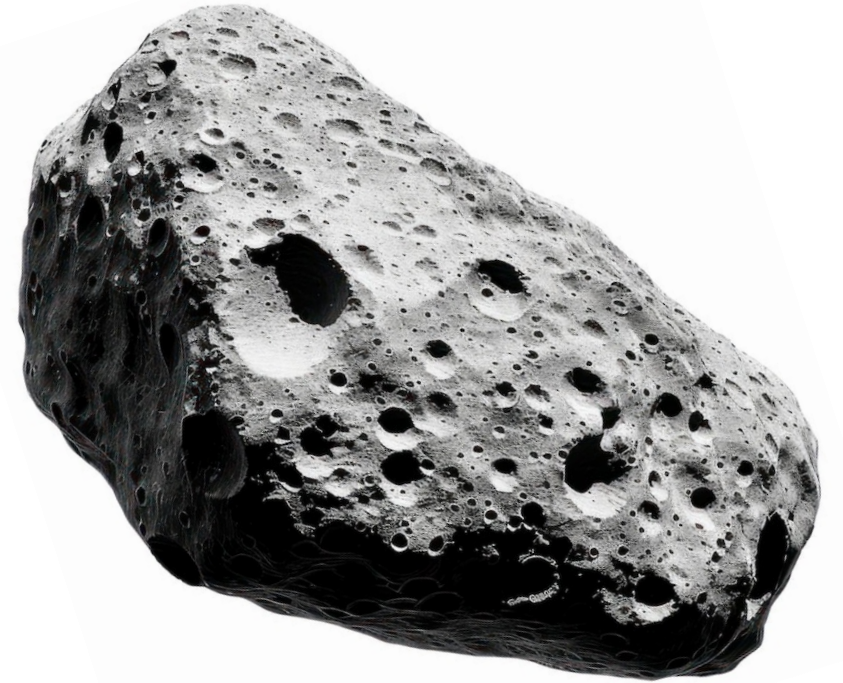
3<sup>e</sup> année doctorat



# LES ASTÉROÏDES : VESTIGES DU SYSTÈME SOLAIRE

Les astéroïdes sont des corps qui ont subi **peu d'altérations** depuis la formation du système solaire et qui contiennent des **informations essentielles pour retracer son histoire.**

Ces objets sont uniques car nous pouvons comprendre la formation et l'évolution du système solaire grâce à leur...

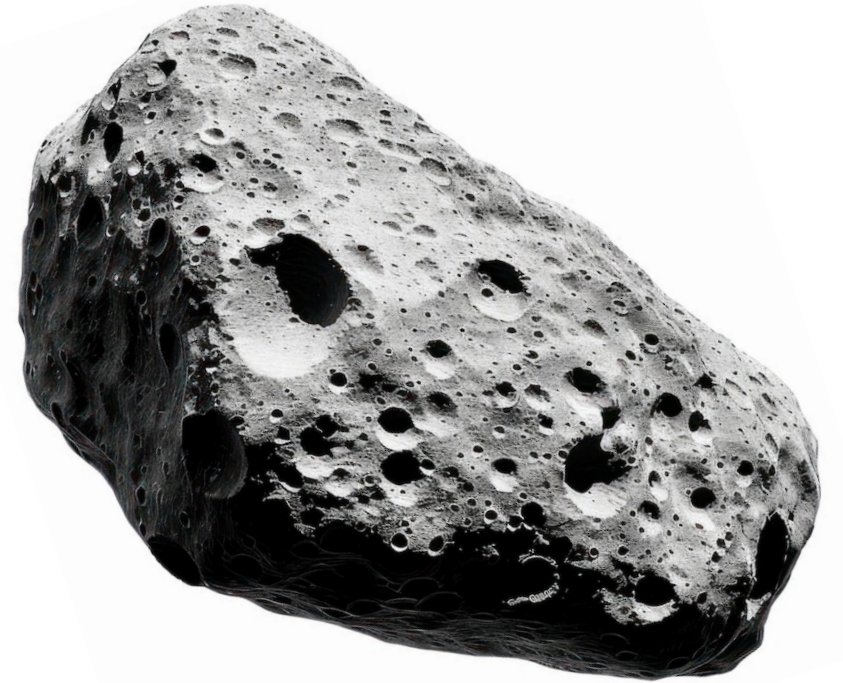


# LES ASTÉROÏDES : VESTIGES DU SYSTÈME SOLAIRE

Les astéroïdes sont des corps qui ont subi **peu d'altérations** depuis la formation du système solaire et qui contiennent des **informations essentielles pour retracer son histoire**.

Ces objets sont uniques car nous pouvons comprendre la formation et l'évolution du système solaire grâce à leur...

- *Composition*

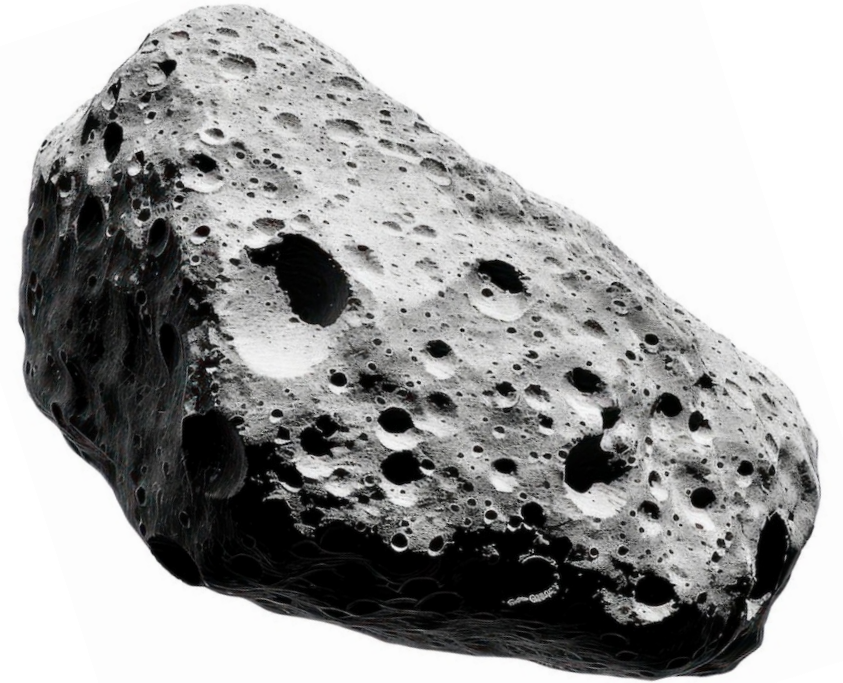


# LES ASTÉROÏDES : VESTIGES DU SYSTÈME SOLAIRE

Les astéroïdes sont des corps qui ont subi **peu d'altérations** depuis la formation du système solaire et qui contiennent des **informations essentielles pour retracer son histoire.**

Ces objets sont uniques car nous pouvons comprendre la formation et l'évolution du système solaire grâce à leur...

- *Composition*
- *Distribution*

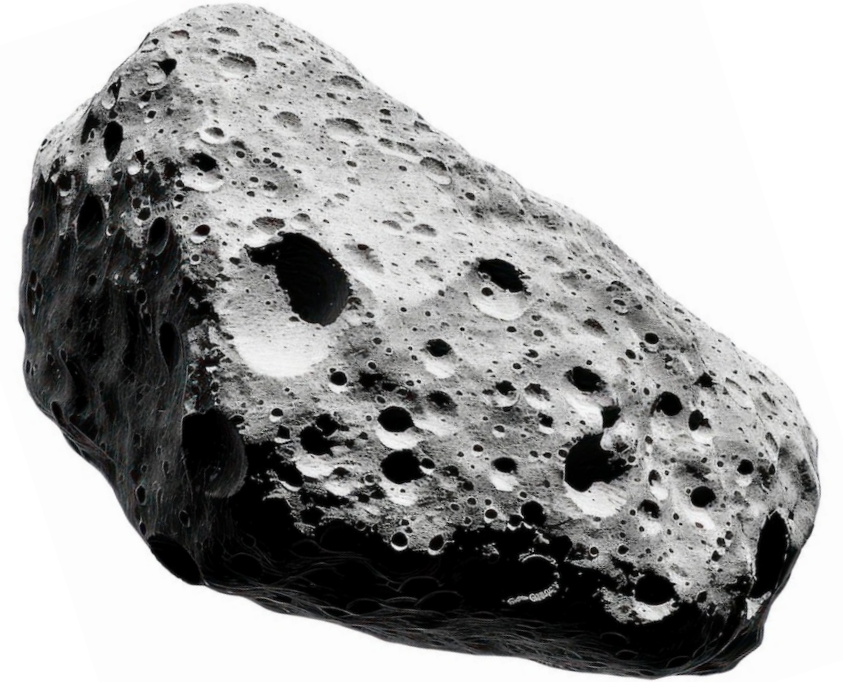


# LES ASTÉROÏDES : VESTIGES DU SYSTÈME SOLAIRE

Les astéroïdes sont des corps qui ont subi **peu d'altérations** depuis la formation du système solaire et qui contiennent des **informations essentielles pour retracer son histoire**.

Ces objets sont uniques car nous pouvons comprendre la formation et l'évolution du système solaire grâce à leur...

- *Composition*
- *Distribution*
- *Dynamique*

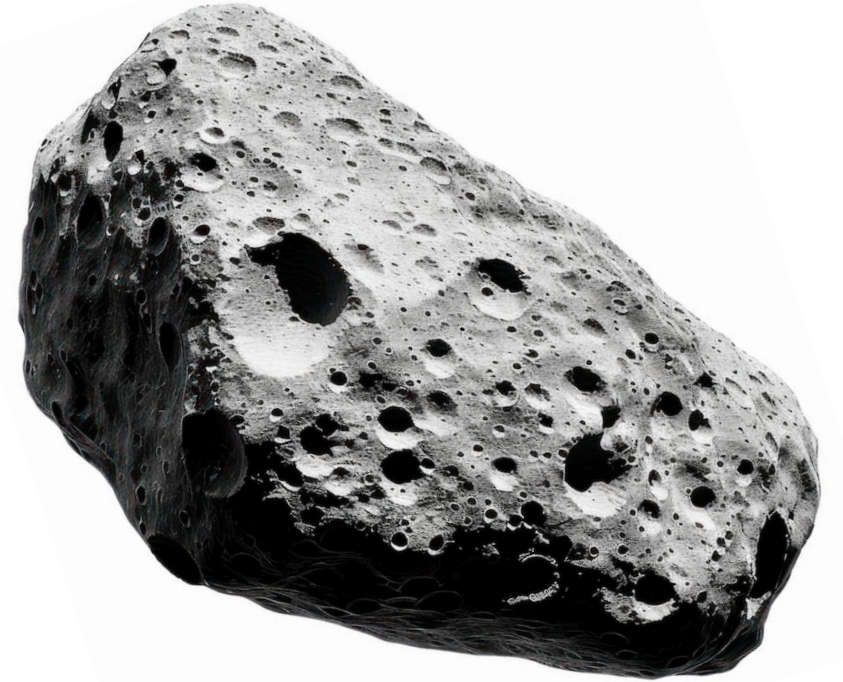


# LES ASTÉROÏDES : VESTIGES DU SYSTÈME SOLAIRE

Les astéroïdes sont des corps qui ont subi **peu d'altérations** depuis la formation du système solaire et qui contiennent des **informations essentielles pour retracer son histoire**.

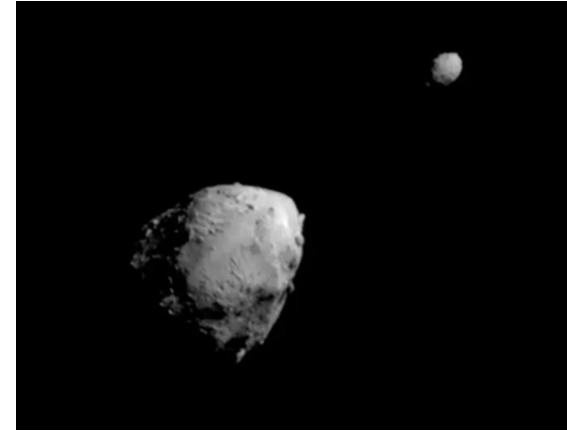
Ces objets sont uniques car nous pouvons comprendre la formation et l'évolution du système solaire grâce à leur...

- *Composition*
- *Distribution*
- *Dynamique*
- *Structure*



# LES ASTÉROÏDES BINAIRES

Les astéroïdes, comme tout corps en orbite, peuvent avoir un ou plusieurs satellites.



Didymos et Dimorphos, *DART* 2022



Dinkinesh et Selam, *Lucy* 2023

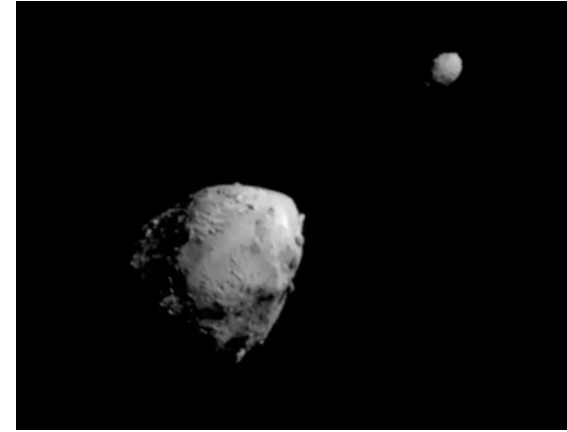


Elektra, *CNRS* 2022

# LES ASTÉROÏDES BINAIRES

Les astéroïdes, comme tout corps en orbite, peuvent avoir un ou plusieurs satellites.

Ces systèmes binaires (**607 connus aujourd'hui**) sont uniques car ils peuvent nous fournir des informations précises **leur masse**, autrement très difficile à mesurer.



Didymos et Dimorphos, *DART* 2022



Dinkinesh et Selam, *Lucy* 2023



Elektra, *CNRS* 2022

# LA POPULATION DES BINAIRES CONNUS

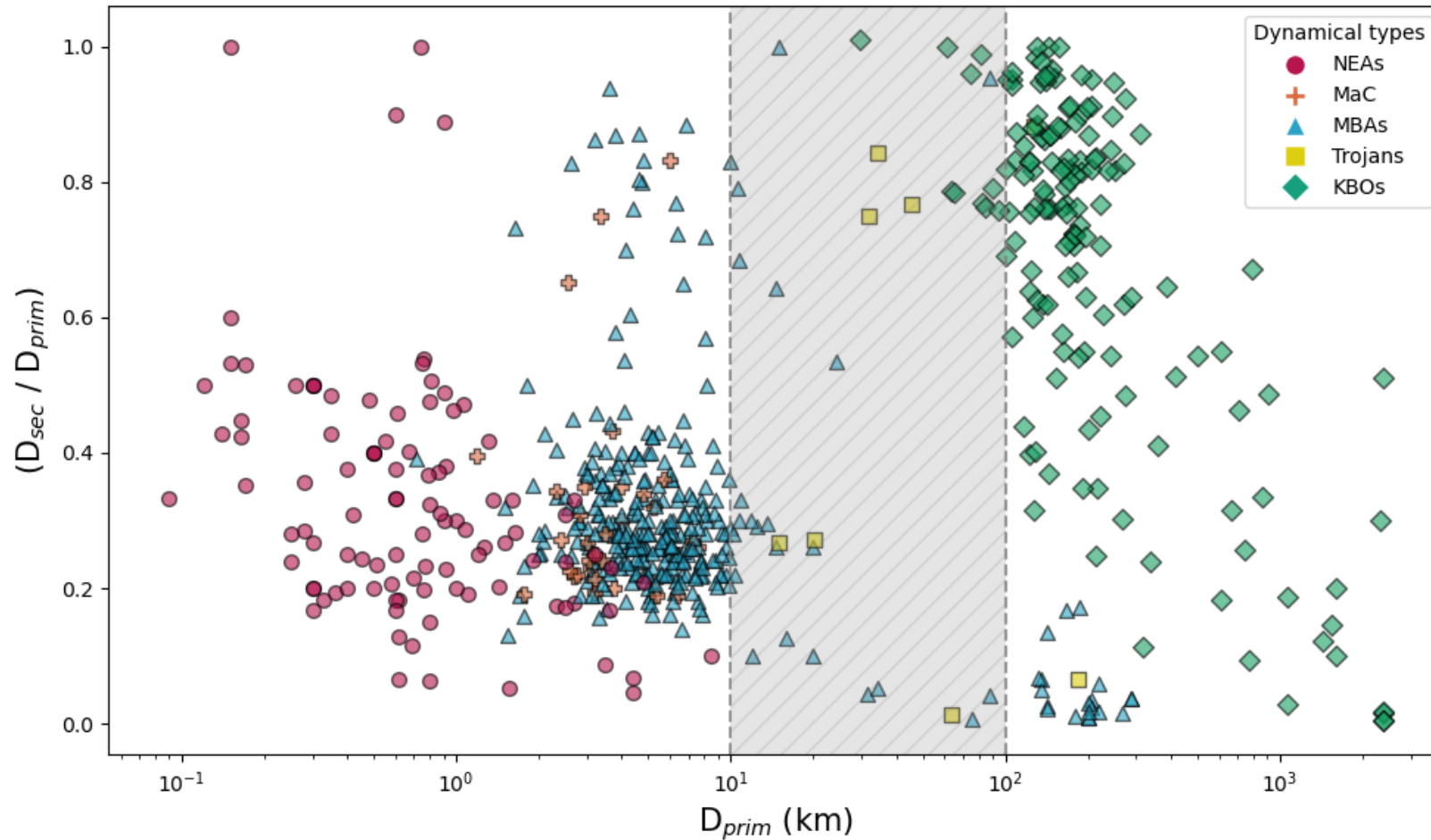
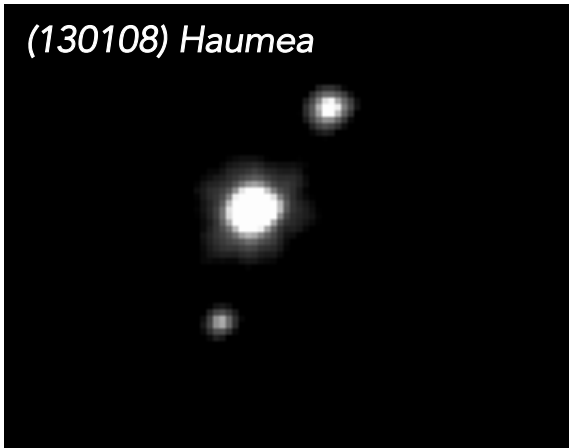


Figure – Distribution des astéroïdes binaires connus (607) en fonction de leur taille et du rapport de taille entre les composantes. Les populations sont classées par type dynamique; NEAs (géocroiseurs), MaC (aréocroiseurs), MBAs (ceinture d'astéroïde), Troyens, KBOs (ceinture de Kuiper). Source: [Johnston Archive](#).

# COMMENT ÉTUDIE-T-ON LES BINAIRES ?

(TNO – 2000 km)

(130108) Haumea



Imagerie directe

- Grand télescope
- Grands objets ( $D > 100$  km)
- Satellites éloignés

(NEA – 1.6 km)

Arecibo/GBO/JPL/NASA/NSF



Observations  
photométriques/radar

- Objets plus proches (NEAs)
- Petits objets ( $D < 10$  km)
- Géométrie particulière

(MBA – 800 m)

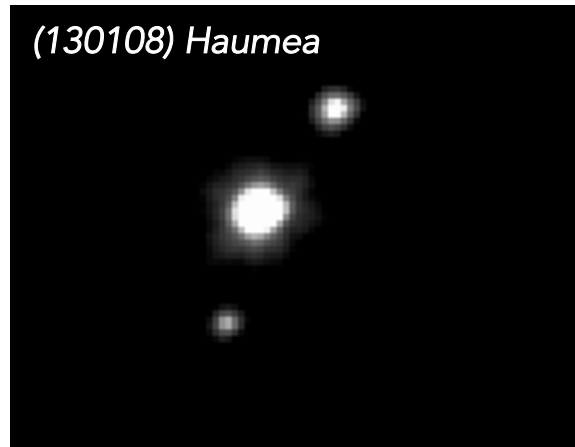


Missions spatiales

- Analyse complète
- Très coûteux
- Peu exhaustif

# COMMENT ÉTUDIE-T-ON LES BINAIRES ?

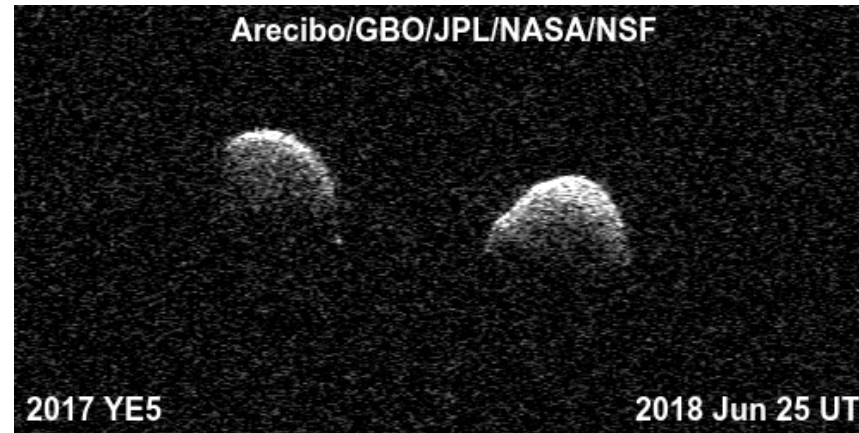
(TNO – 2000 km)



Imagerie directe

- Grand télescope
- Grands objets ( $D > 100$  km)
- Satellites éloignés

(NEA – 1.6 km)



Observations  
photométriques/radar

- Objets plus proches (NEAs)
- Petits objets ( $D < 10$  km)
- Objets brillants
- Géométrie particulière

(MBA – 800 m)

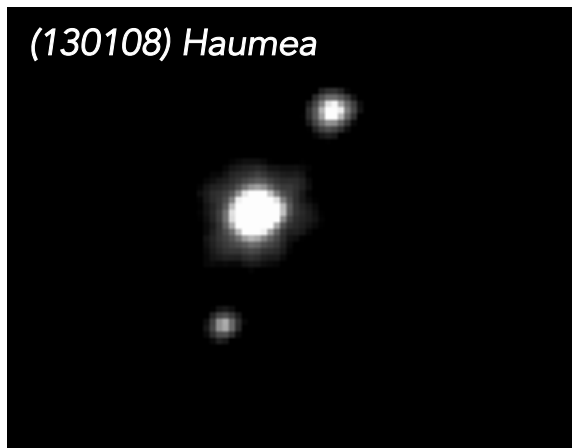


Missions spatiales

- Analyse complète
- Très coûteux
- Peu exhaustif

# COMMENT ÉTUDIE-T-ON LES BINAIRES ?

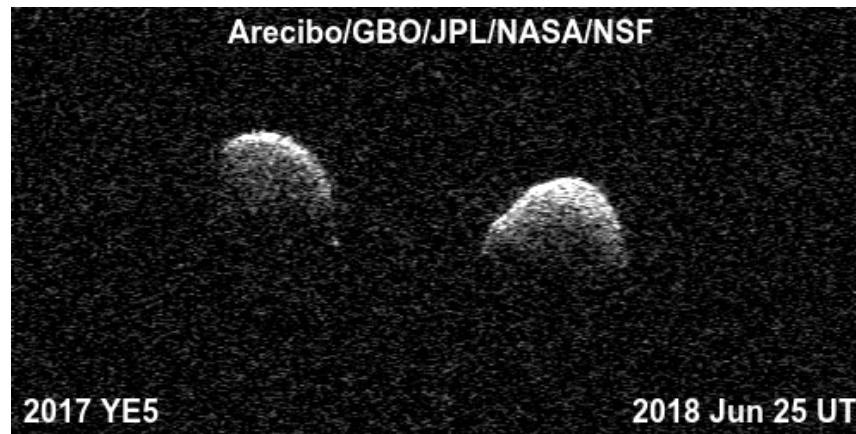
(TNO – 2000 km)



Imagerie directe

- Grand télescope
- Grands objets ( $D > 100$  km)
- Satellites éloignés

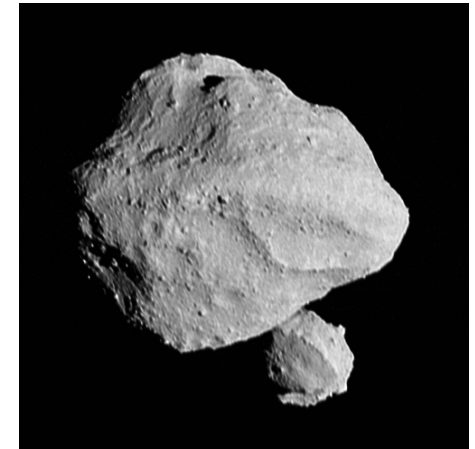
(NEA – 1.6 km)



Observations  
photométriques/radar

- Objets plus proches (NEAs)
- Petits objets ( $D < 10$  km)
- Géométrie particulière

(MBA – 800 m)



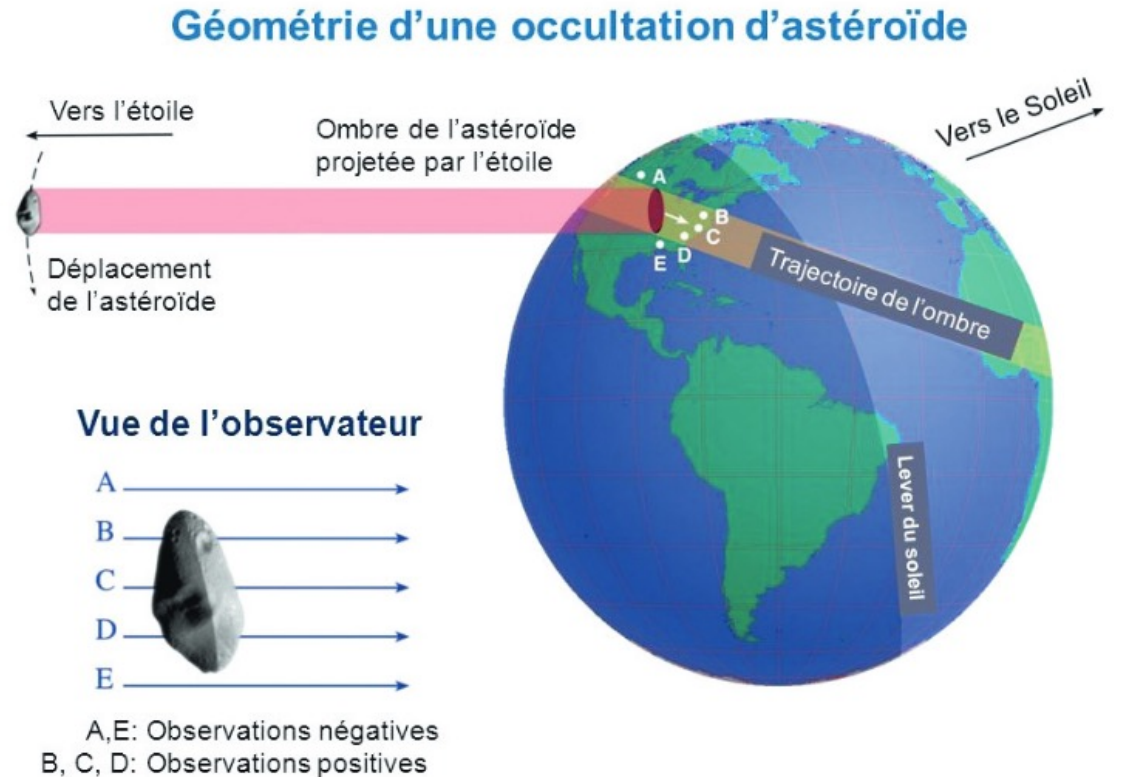
Missions spatiales

- Analyse complète
- Très coûteux
- Peu exhaustif

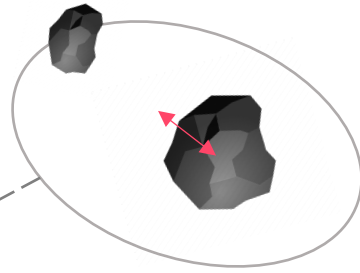
# COMMENT MARCHENT LES OCCULTATIONS ?

- Alignement de trois corps. **L'observateur**, **l'astéroïde** et une **étoile**.
- On mesure le flux provenant de l'étoile pour déterminer les **temps d'immersion et d'émergence**.
  - On observe depuis différentes stations (cordes)
  - Plus il y a de stations, plus il y a de détails.
  - Importance de la **collaboration Pro-Am**
  - Importance des **cordes négatives**.

→ Permet de contraindre la **taille** ( $< \text{km}$ ) et **l'astrométrie** ( $\sim \text{mas}$ ) avec une grande précision



# LE PROJET GAIA MOONS

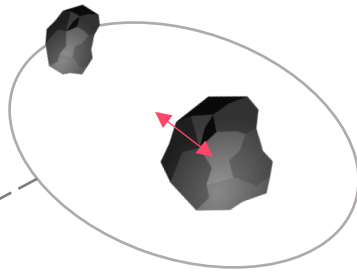


SYSTÈME BINAIRE

Grâce à l'observatoire Gaia (ESA), on peut mesurer les mouvements infimes de la trajectoire des astéroïdes (**précision  $\sim 1$  mas** pour les astéroïdes,  $G \sim 15$ ). On peut notamment mesurer le **décalage entre le photocentre et le centre de masse** des astéroïdes.

# LE PROJET GAIA MOONS

SYSTÈME BINAIRE



PÉRIODE DU « WOBBLE »

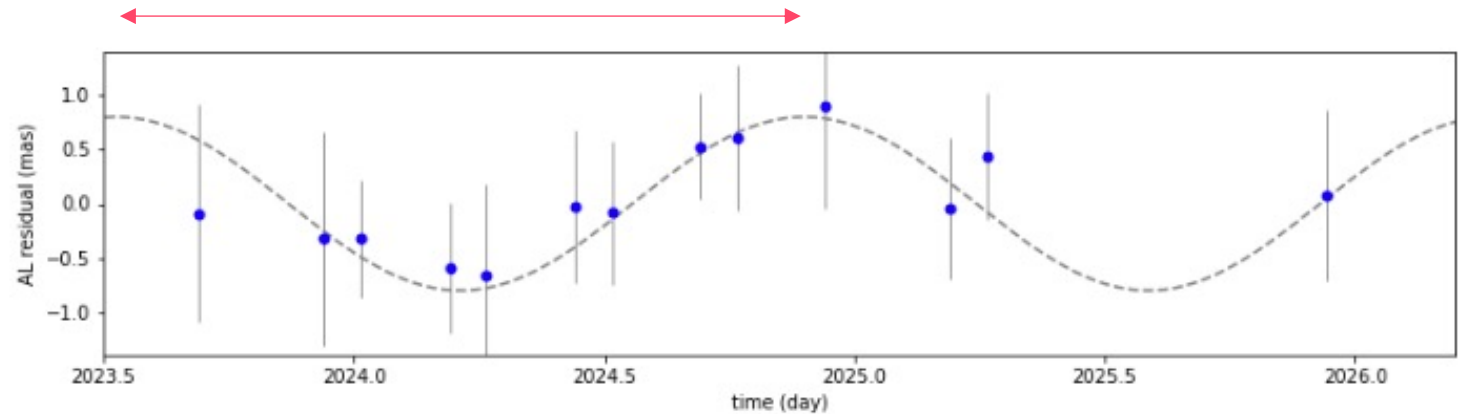
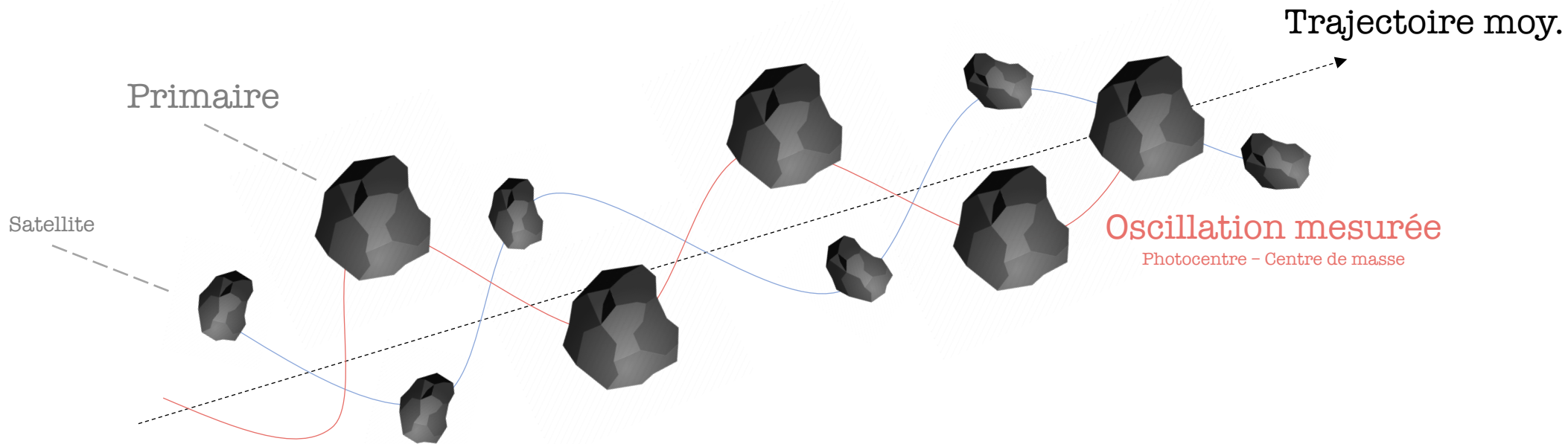


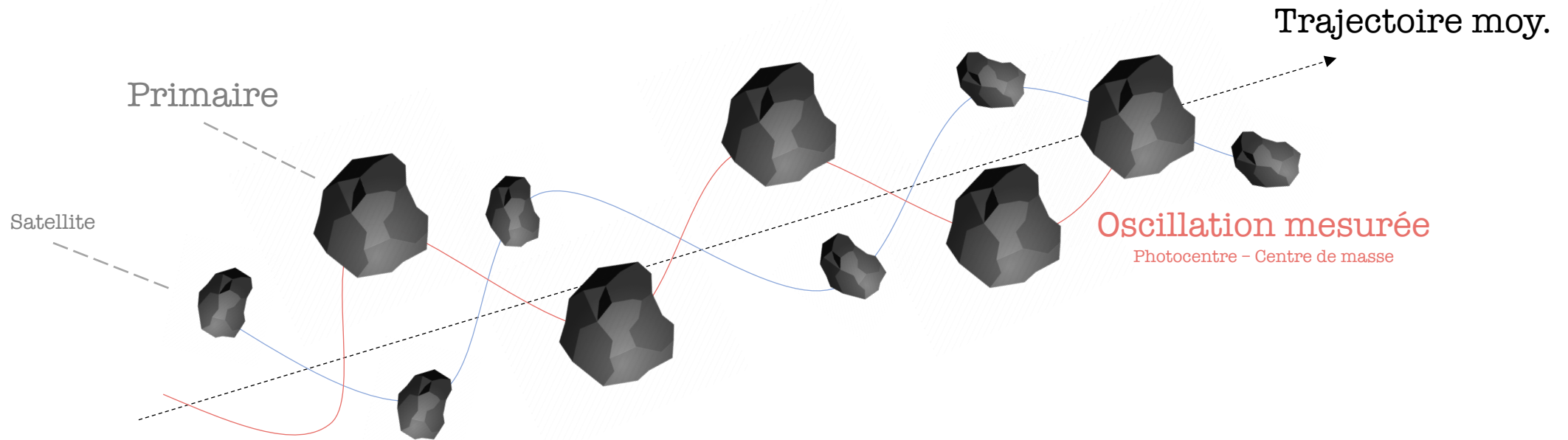
Figure - Résidu d'orbite de (4337) Arecibo (Tanga et al., 2023)

Grâce à l'observatoire Gaia (ESA), on peut mesurer les mouvements infimes de la trajectoire des astéroïdes (précision  $\sim 1$  mas pour les astéroïdes,  $G \sim 15$ ). On peut notamment mesurer le décalage entre le photocentre et le centre de masse des astéroïdes.

# LE PROJET GAIAMOONS



# LE PROJET GAIAMOONS



## Objectifs

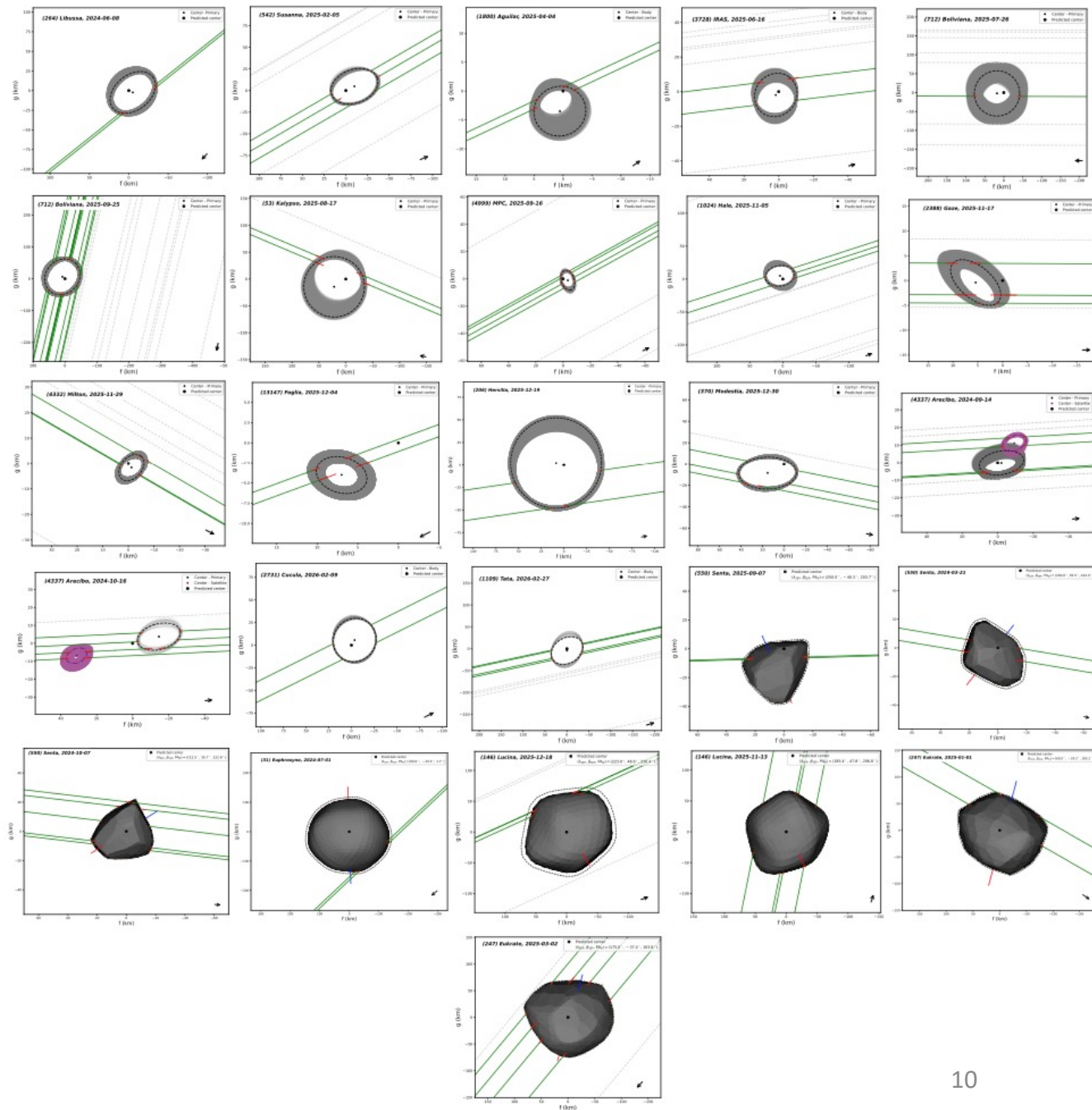
- Réaliser des observations des candidats binaires par **occultation stellaires**.  
→ 622 candidats binaires (357;343, Liberato+ 2024, 2026)
- Étudier leurs propriétés physiques et dynamiques
- Focus sur les objets de taille intermédiaire ( $10 \text{ km} \leq D \leq 100 \text{ km}$ )

# STATISTIQUES D'OBSERVATIONS

	Number
Occ. observations	268
Observed objects	159
Significant campaigns*	40

Table - Résumé des campagnes d'observation d'occultation stellaire par le projet Gaiamoons entre Octobre 2023 et Juin 2026

\*Plus de deux cordes positives  $\geq 2$



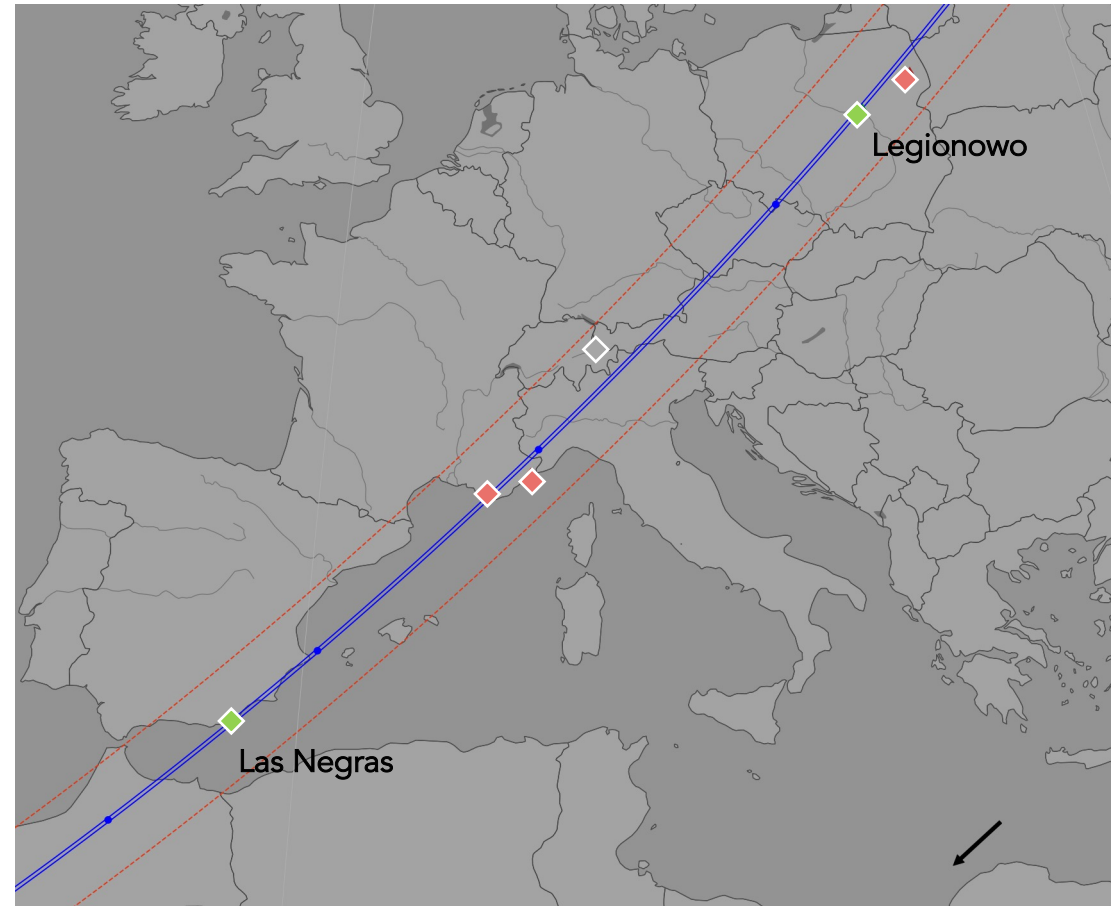
# FOCUS SUR QUELQUES CAMPAGNES

## (36882) 2000 SW155

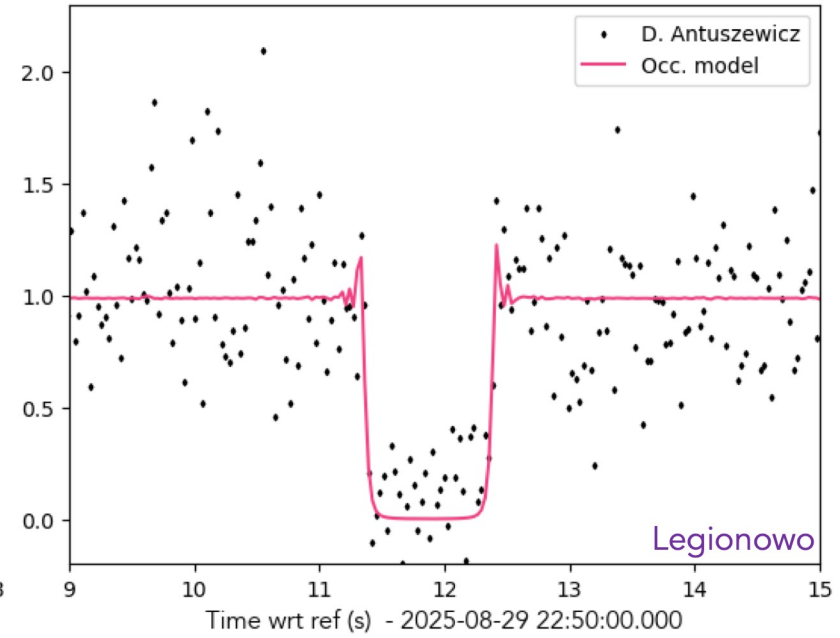
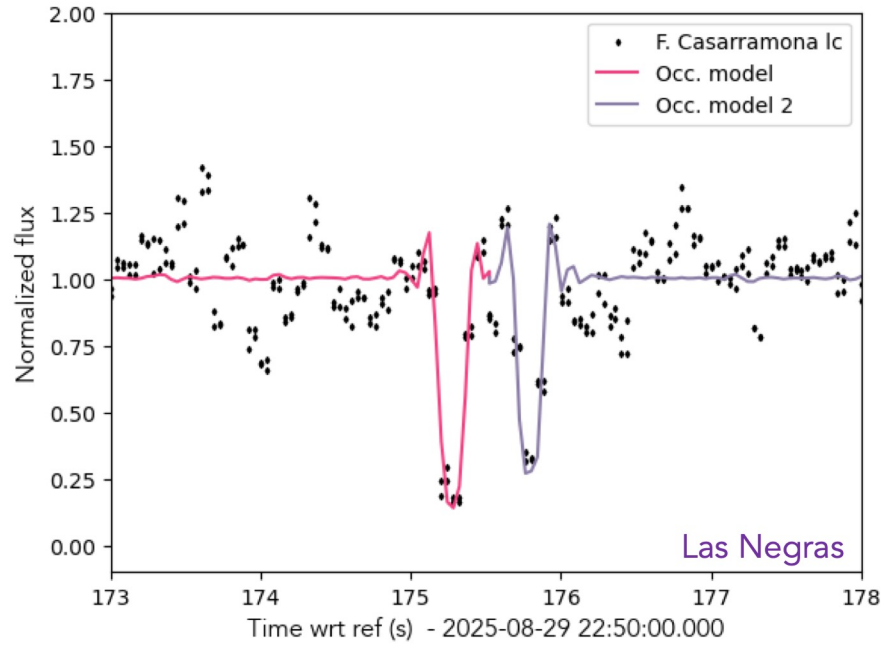
■

### 2025-08-29

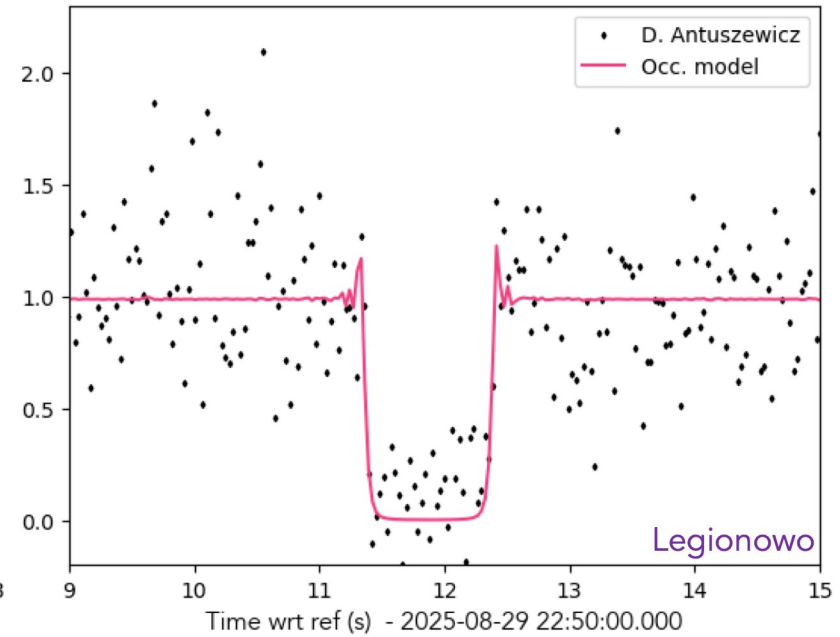
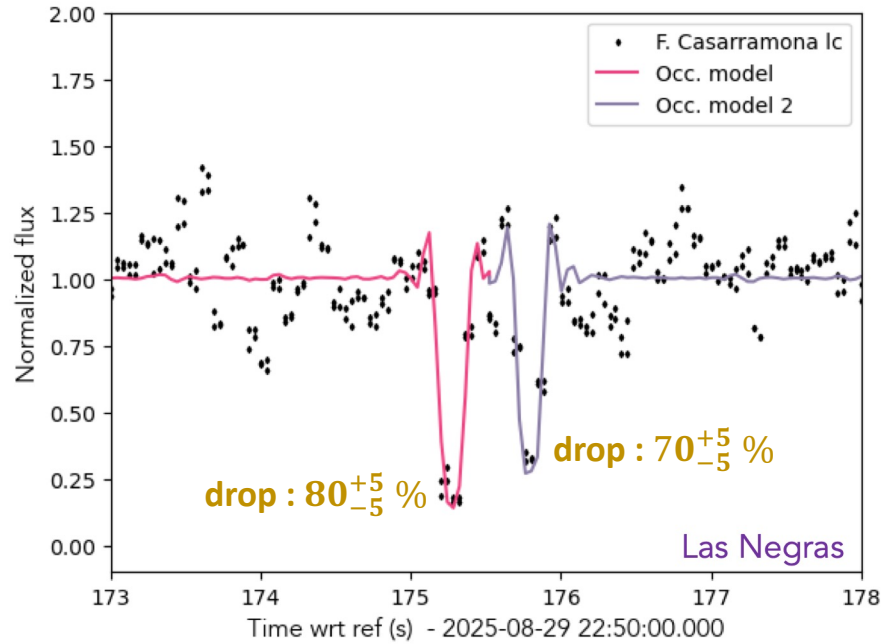
- Diamètre de 9.2 km (WISE)
- Magnitude de l'étoile 11.2
- 6 stations
  - 2 positives
  - 3 négatives
  - 1 overcast



# (36882) 2000 SW155 - 2025-08-29



# (36882) 2000 SW155 – 2025-08-29



## Effets de diffractions

Echelle de Fresnel : 305 m

Diamètre de l'étoile : 106 m

# (36882) 2000 SW155 – 2025-08-29

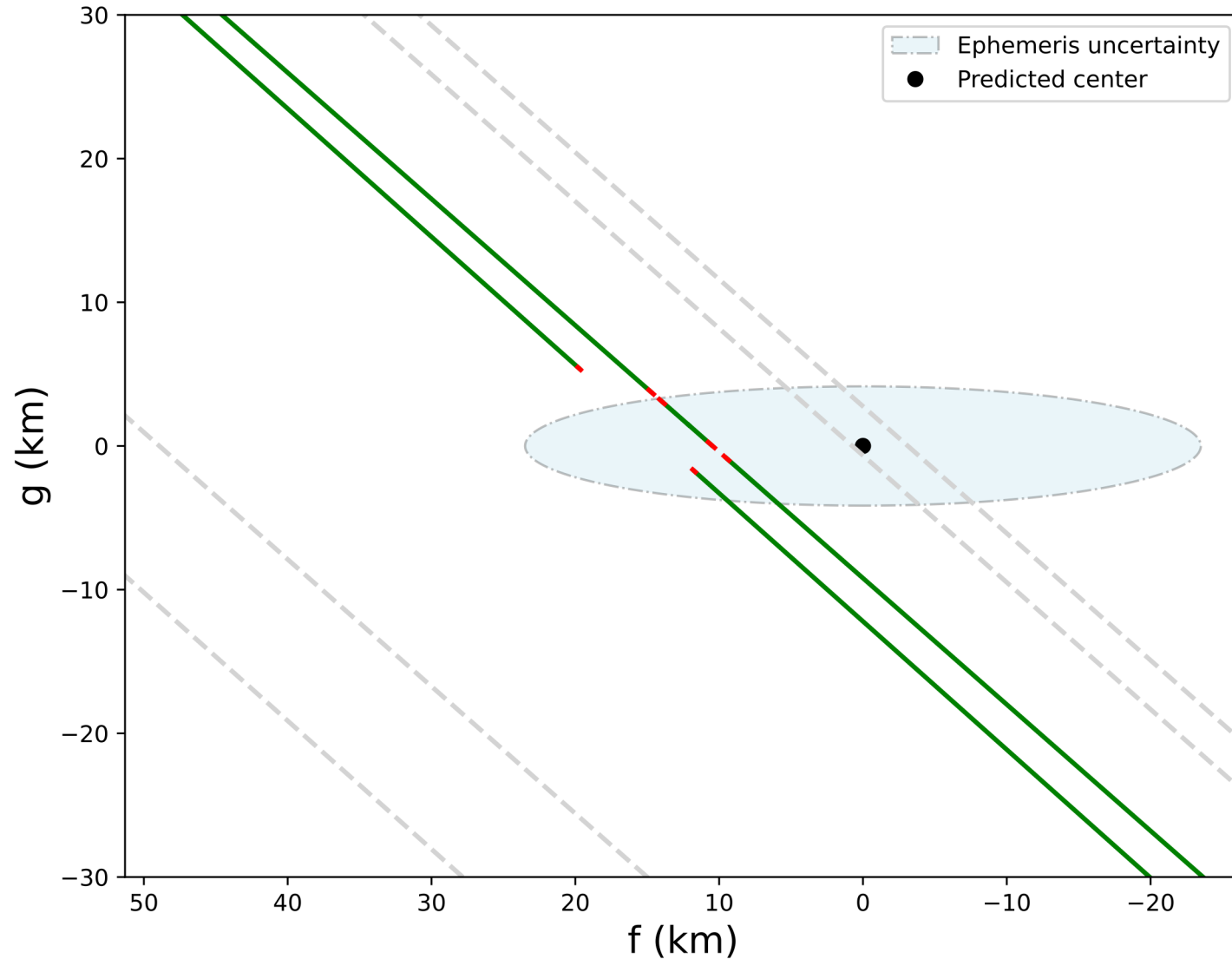


Figure - Résultat de l'occultation de (36882) 2000 SW155 dans le plan céleste à l'heure de l'occultation



# (36882) 2000 SW155 – 2025-08-29

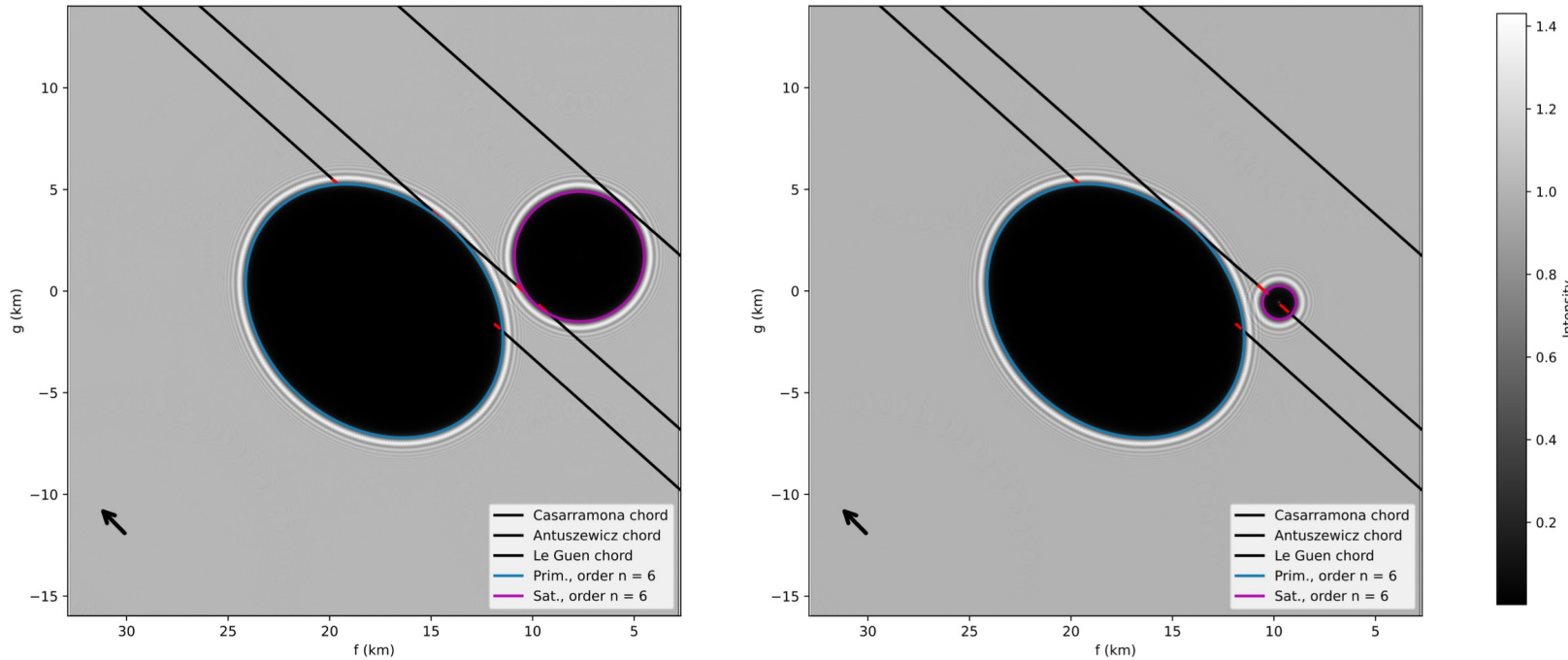


Figure – Etude de la diffraction lors de l'occultation par (36882) 2000 SW155

Plusieurs possibilités, avec deux extrêmes:

$$D_{min} = 700 \text{ m} / q_{min} * = 0.0021$$

$$D_{max} = 3.2 \text{ km} / q_{max} = 0.1970$$

En comparant avec les ratios de masse Liberato+ 2024,2026

$$q_1 = 0.0032 \pm 0.0022$$

$$q_2 = 0.884 \pm 0.115$$

Impossible !

$$* q = (D_{sat}/D_{prim})^3$$

# (36882) 2000 SW155 – 2025-08-29

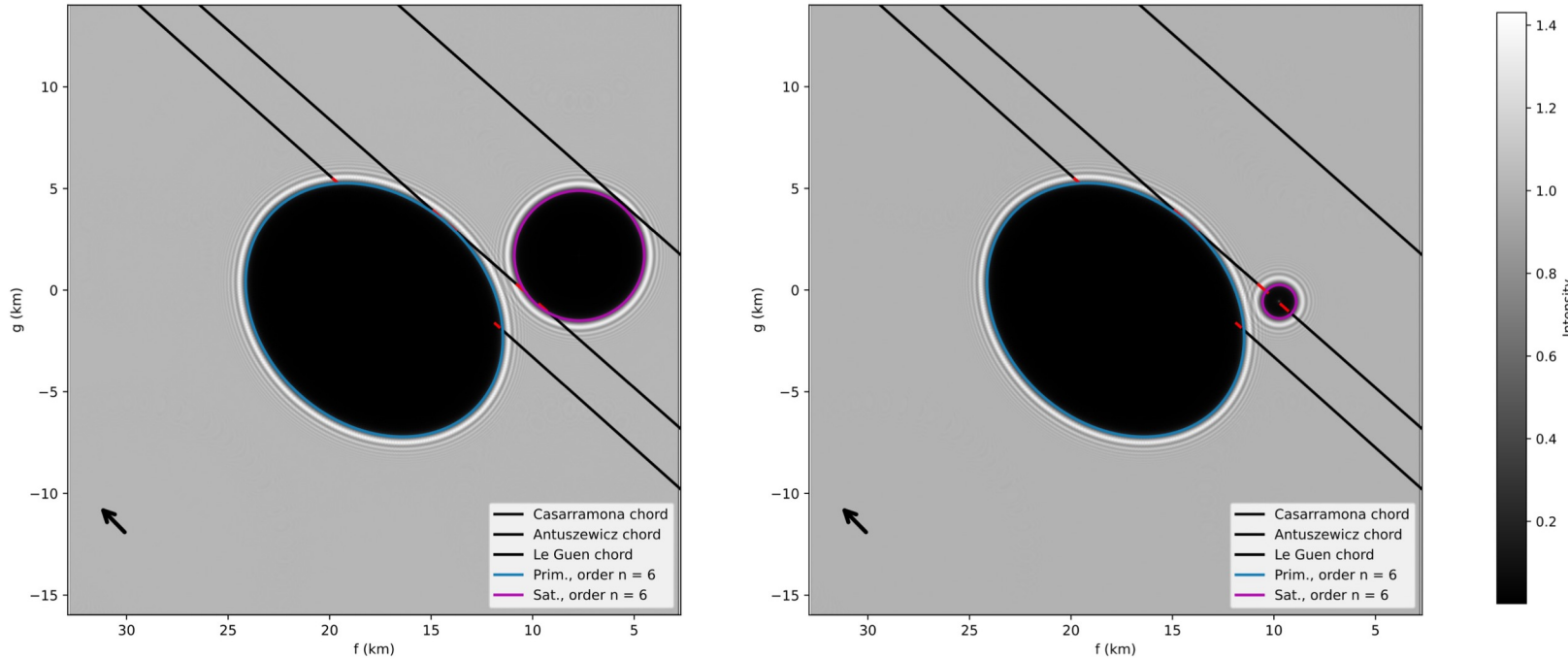


Figure – Etude de la diffraction lors de l'occultation par (36882) 2000 SW155

Plusieurs possibilités, avec deux extrêmes:

$$D_{min} = 700 \text{ m} / q_{min} * = 0.0021$$

$$D_{max} = 3.2 \text{ km} / q_{max} = 0.1970$$

En comparant avec les ratios de masse Liberato+ 2024,2026

$$q_1 = 0.0032 \pm 0.0022$$

$$* q = (D_{sat}/D_{prim})^3$$

# (36882) 2000 SW155 – 2025-08-29

## Solution privilégiée

Primaire :  $R_{eq} = 6.2 \pm 0.4$  km

Satellite :  $R_{eq} = 0.7 \pm 2.6$  km

→ Très probablement un binaire ! À vérifier avec d'autres occultations dans le futur.

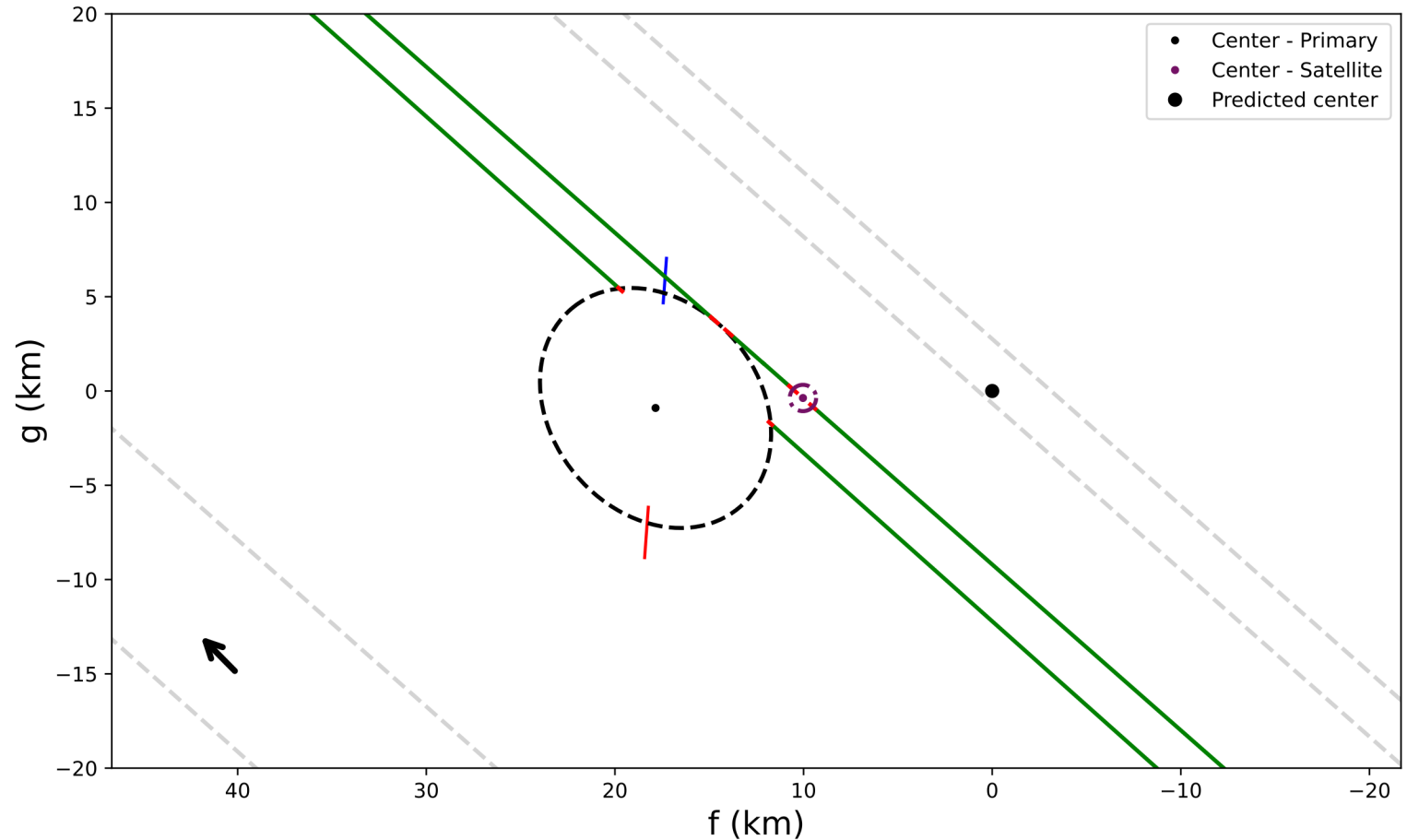


Figure – Ellipses finales de (36882) 2000 SW155 dans le plan céleste à l'heure de l'occultation

# STATISTIQUES D'OBSERVATIONS

## *Binaires à contact*

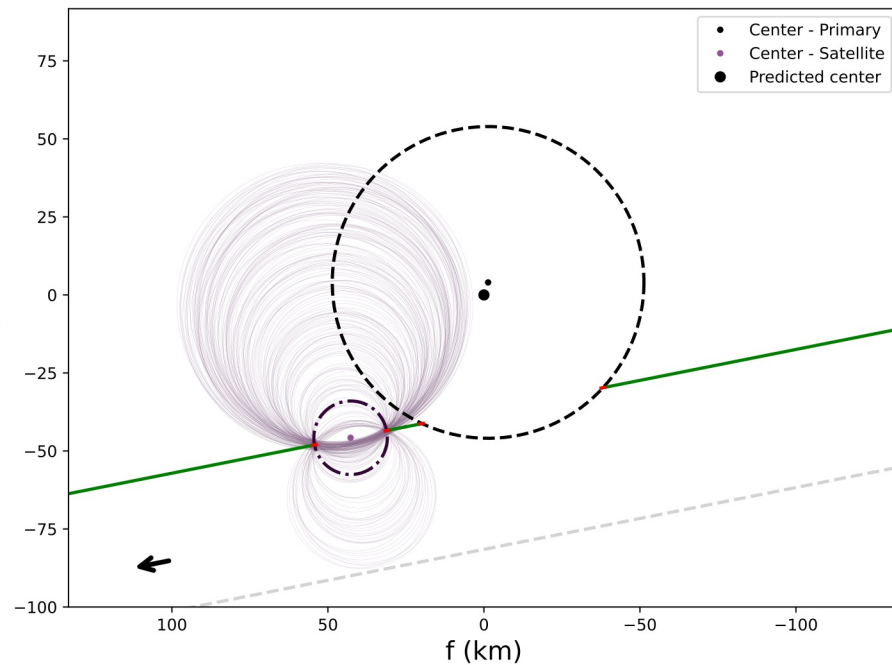


Figure : Occultation par (206) Hersilia – 2026-01-12

- Une seule positive
- Satellite ou forme ~Arrokoth

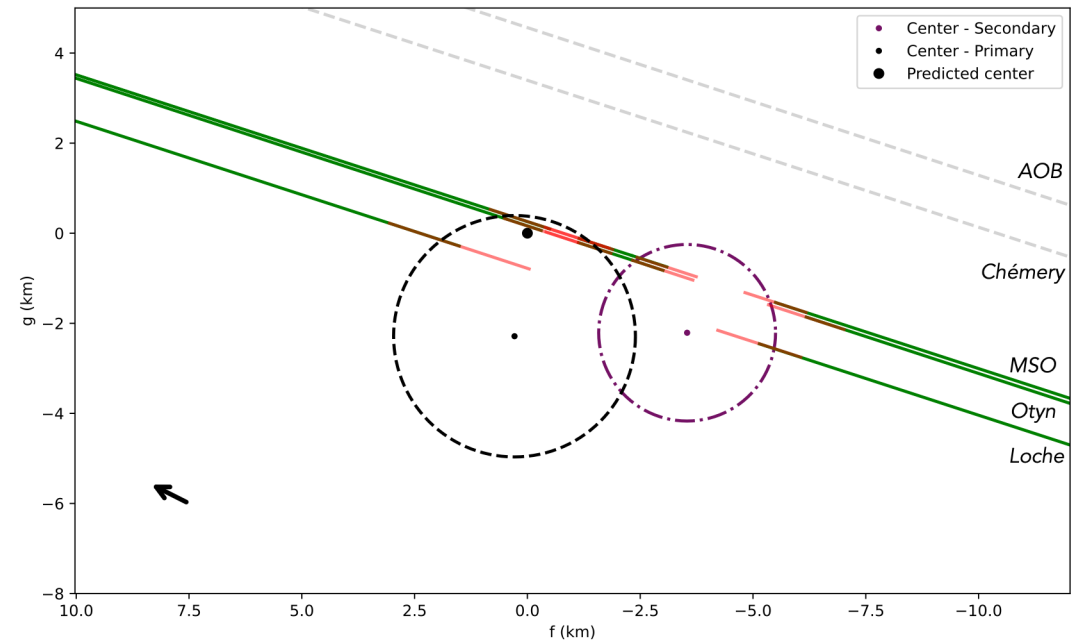


Figure : Occultation par (35420) 1998 AG6 – 2024-07-17

- Observation rasante
- Rapports de masses peu contraints

# STATISTIQUES D'OBSERVATIONS

## *Objets allongés*

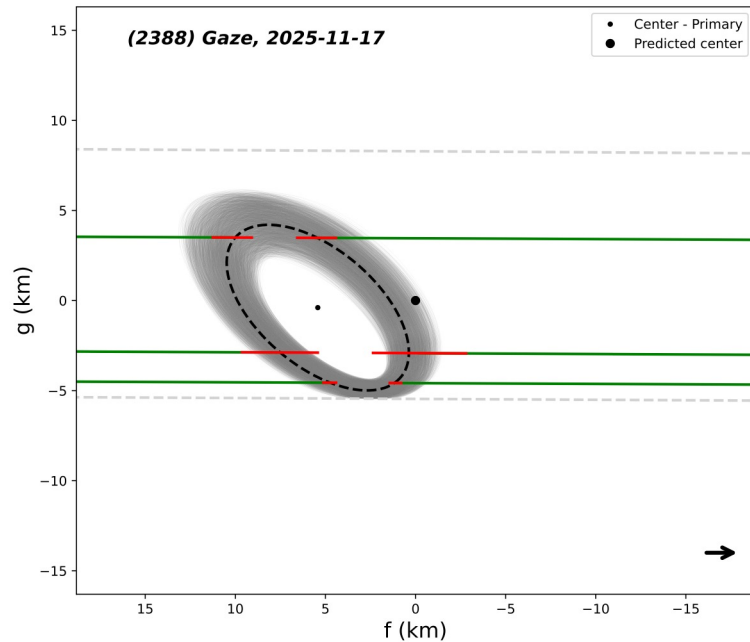


Figure : Occultation par (2388) Gaze– 2025-11-17

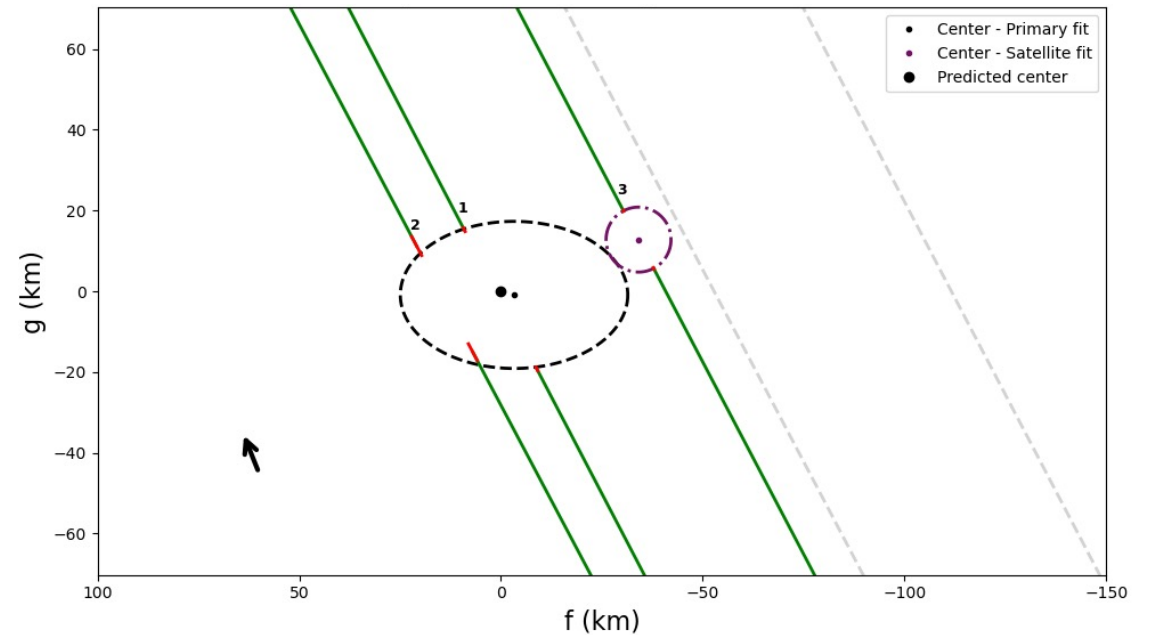


Figure : Occultation par (1127) Mimi– 2025-02-26

- Objets plus allongés que prévu
- Modèles de forme invalides
- Observations ambiguës

# QUELQUES STATISTIQUES

Près de 40 ans d'observations  
vs  
GaiaMoons (3 ans)

→ Focus sur les objets :  $D \in [1, 100]$  km

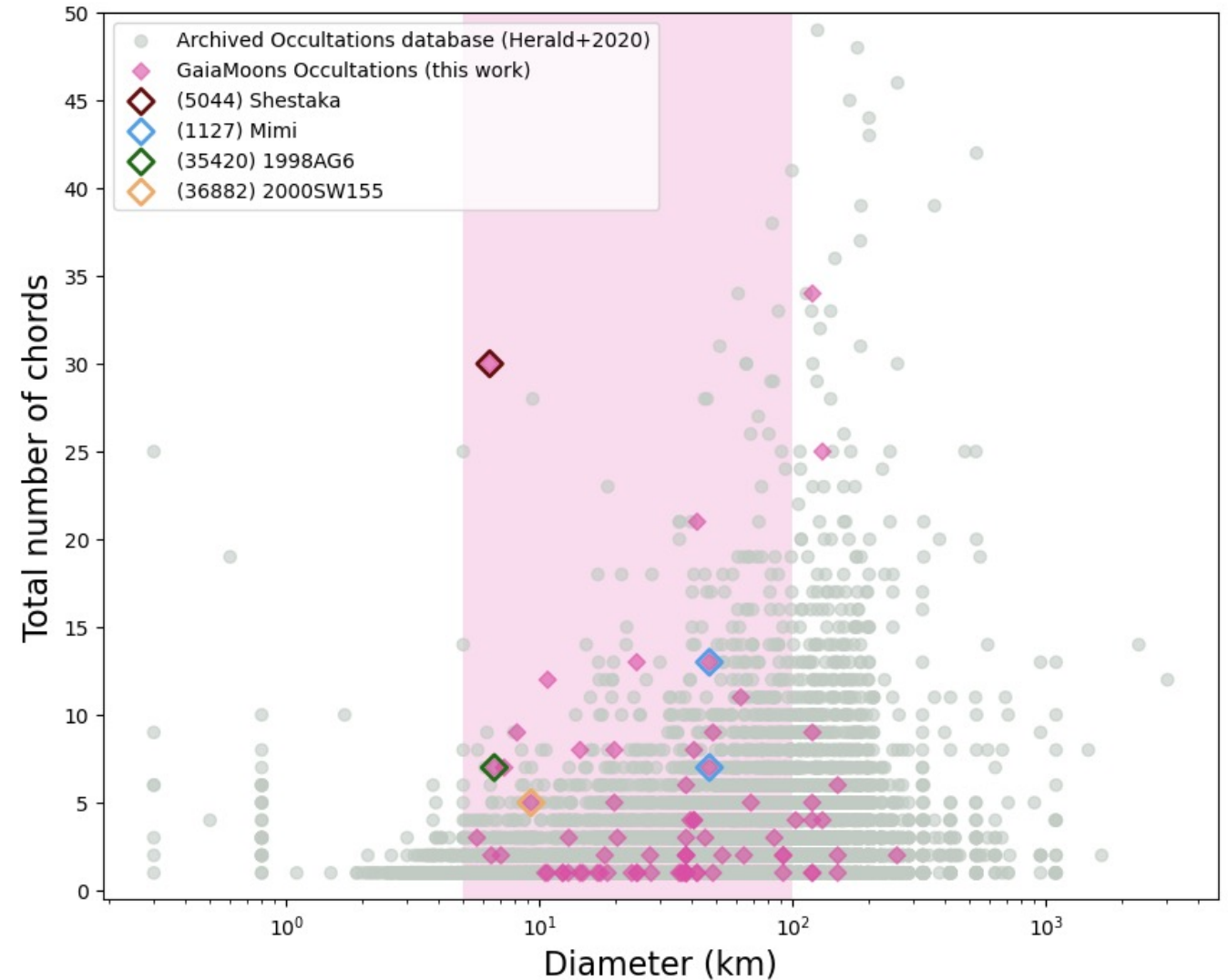


Figure - Distribution du nombre de cordes en fonction du diamètre des cibles

# Detection and characterisation of binary asteroid candidates through stellar occultations

R. Lallemand, J. Desmars, B. Sicardy, Z. Liu, P. Tanga, L. Liberato, B. Carry, A. Leroy, et al.

(Full author list and affiliations details can be found after the references)

Received 27 March 2026 / Accepted 1 June 2026

## ABSTRACT

*Context.* Binary asteroids provide key access to fundamental parameters of Solar System remnants and planetary formations. However, the current knowledge of binary asteroids remains strongly biased by observational limitations, and main belt binary systems are still poorly characterised since current techniques preferentially detect either widely separated binaries through direct imaging or close and bright systems via photometry and radar for near-Earth asteroids. In this context, the high-precision astrometry of the Gaia mission has revealed a new population of candidate binaries exhibiting dynamical signatures consistent with unresolved companions. Stellar occultations have therefore emerged as one of the most effective methods to confirm the binary nature of a candidate and improve the current census of intermediate-size systems.

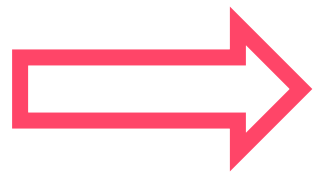
*Aims.* This work is part of the GaiaMoons program, and our aim with it was to characterise a sample of 357 potential binary asteroid targets and confirm or refute their binary nature. The properties of these candidates were derived from the high-precision photometric and astrometric observations provided by the Gaia satellite.

*Methods.* We adopted stellar occultation as the observational method to study these targets. Between October 2023 and February 2026, we successfully carried out 165 observations for 101 targets. We subsequently analysed these events in the context of the available literature and previously reported observations.

*Results.* Out of the 165 observations, 76 led at least to one positive observation. Among these, 33 had at least two positives for 24 objects that have undergone unprecedented occultation observation campaigns, with four objects showing indications of binary or contact binary features, namely (1127) Mimi, (35420) 1998 AG<sub>6</sub>, (206) Hersilia, and (36882) 2000 SW<sub>155</sub>. For the vast majority of these objects, the resulting dataset from all reduced observations provides unique physical and astrometric constraints, as they had never been observed through stellar occultations before. In addition, 89 observations with only negatives allowed the near environment of the targets to be probed.

*Conclusions.* GaiaMoons illustrates how stellar occultation campaigns associated with Gaia observations generate a self-improving cycle to find new binary, thereby probing size and shape to constrain future observations. By standardising this approach, we deliver critical data in unexplored parameter spaces, resolving long-standing observational ambiguities.

**Key words.** methods: observational – minor planets, asteroids: general – planets and satellites: detection – planets and satellites: fundamental parameters



Pour le reste...

# À VOS AGENDAS !



(29514) Karatsu – 2026-09-15

Magnitude 8.8  
Diamètre 10.4 km

# À VOS AGENDAS !



(712) Boliviana – 2026-09-08

Magnitude 11.0  
Diamètre 119.6 km

# Merci de votre attention !

*Et merci à tous les observateurs*



Lien d'inscription pour rentrer dans le  
réseau ROADIES !



*Guillaume Langin, Jean-Luc Dauvergne, Melaine Saillenfest, Adrien Stachowicz, Arnaud Leroy, Ryan Dahoumane, Aisha Ashimbekova, Ziyu Liu, Pierre-Louis Phan, Carole Lavault, Gilles Vanwalleghem, Rui Gonçalves, Daniel Hestroffer, Jeremie Vaubailon, Vincent Lapeyrère, Miguel Montargès, Jordan Raffard, Karim Hussein, Olivier Schreurs, Manon Lecoissois, Frederic Denjean, Thomas Salomon, Joel Souchu, Alain Vienne, Frédéric Vachier, Stéfan Renner, Jean-Pierre Masini, Lionel Rousselot, Benoit Lott, Stephane Kindt, Philippe Lemoine, Yueh-Ning Lee, Zhong-Yi Lin, Serge Quinet, Henk de Groot, Thierry Legault, Jean-Louis Dumont, Pierre-Jean Mercier, Pierre Le Cam, Eric Vauthrin, Isabelle Auvray, Jean-Paul Arnoud, Pierre Barroy, Alex Siakas, Rodrigo Leiva, Stefano Sposetti, Philip Stuart, Carsten Ziolk, Jean-François Counhil Oscar Canales, Christophe Rizan, Estéban Jacquet, Anna Marciniak, Deborah Smith, Eric Smith, S. Chairetas, Philip Denyer, Philippe Couvée, Jean-Paul Nombret, Paolo Fini, Stefan Meister, Albert Ossola, Wolfgagn Beisker, Roland Boninsegna, Ferrando Casarramona, Bruno Guillet, Karl-Ludwig Bath, Didier Walliang, Régine Hoffmann, Matthieu Conjat, Patrice Le Guen, Javier Prat, Jean Bourgeois, Philippe Henarejos, Corine Yahia, Denirs Bourdens, Eric Barbotin, Carles Schnabel, R. Szakats, A. Pal, N. Takács, Á. Sódor, Cs. Kiss, Julio Spagnotto, Yanzhe Liu, Rick Liu, W. Hanna, Michel Turchenko. Katsumasa Hosoi, Katsuhiko Kitazaki, Hiraku Togashi, Ken Nemoto, Asumi Takimoto, Hidehito Yamamura, Akira Asai, Miyoshi Ida, Jean-Baptiste Marquette*