

Programme ROADIES

réseau coordonné français d'observateurs d'occultations

J.Desmars^{1,2}, A.Leroy³, F.Colas², T.Midavaine⁴,
G.Langin⁵, M.Grand⁵

¹IPSA

²IMCCE - Observatoire de Paris

³Uranoscope

⁴SAF

⁵AFA

École de Photométrie - 8 juin 2024

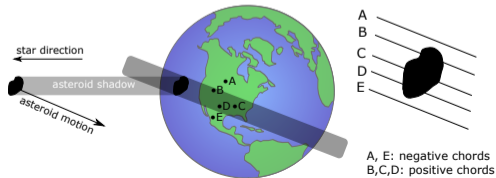


ROADIES (Réseau d'Observateurs d'Astéroïdes DispatchES)

- ▶ Les "roadies" : techniciens qui accompagnent les groupes de musique en tournée avec le matériel et des flight case (un peu comme nous)
- ▶ Notre slogan : *Sine Tempore*, locution latine qui veut dire "pile à l'heure" (littéralement "sans temps" de rab' avant que commence un événement)
- ▶ ROADIES s.t. est un anagramme de ASTEROIDS...

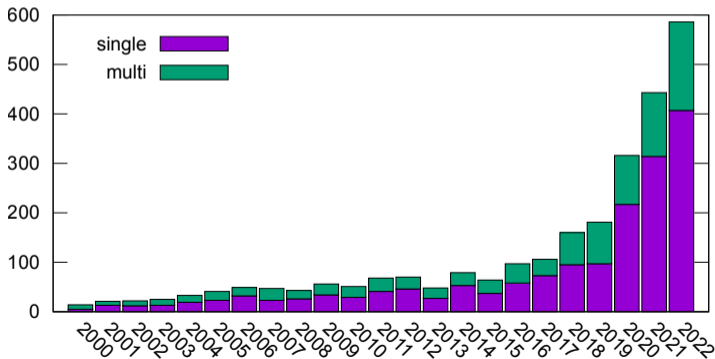
Rappel sur les occultations

- ▶ Passage d'un objet du système solaire (astéroïde, satellite, comète, etc...) devant une étoile lointaine
- ▶ Le phénomène est visible sur une portion seulement de la surface terrestre, pendant une courte durée.
- ▶ Il peut être observé avec un équipement modeste : télescope, caméra rapide, système de datation
- ▶ L'observation donne une courbe de lumière → temps d'immersion et d'émergence
- ▶ L'analyse globale de l'occultation permet de mesurer les caractéristiques physiques (taille, forme) avec précision au km, sonder l'environnement (satellite, anneaux), ou l'atmosphère (pression au nanobar)



Gaia

- ▶ L'arrivée du catalogue Gaia a changé la donne pour les occultations
- ▶ Meilleure position des étoiles (< 1 mas) et meilleure éphéméride (1-50 mas)
- ▶ Plus d'occultations positives, plus de multi-cordes positives, occultations par des objets plus petits

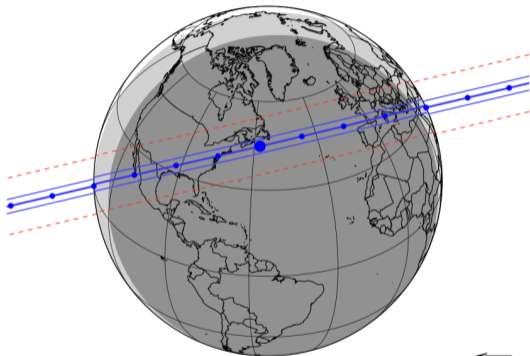


Exemple : occultation multi-corde 2002 TC302 (2021.11.11)

- ▶ Campagne Lucky Star
- ▶ 2002 TC302 : TNO (~ 530 km) à 43 au
- ▶ Occultation 2021.11.11
- ▶ 57 stations (19 pos, 25 neg)

2002TC302, GaiaER3+pmGaiaER3, NIMAv15
updated: 2021-11-08 by Lucky Star

Offset: 0.0mas 0.0mas

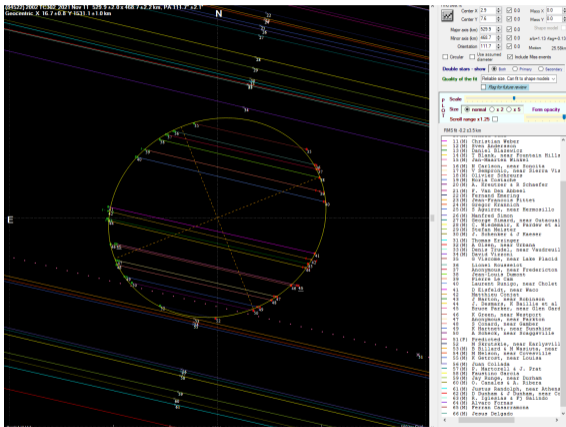


yyyy mm dd hh:mm:ss.s	RA_star_J2000	DE_star_J2000	C/A	P/A	vel	Delta	G*	RP*	H*
2021-11-11 02:54:11.4	02 41 17.3085	+33 00 00.155	0.041	346.88	-26.05	42.7608	12.0	11.2	9.7

Lucky Star

Exemple : occultation multi-corde 2002 TC302 (2021.11.11)

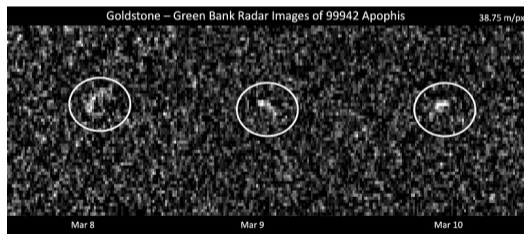
- ▶ Campagne Lucky Star
- ▶ 2002 TC302 : TNO (~ 530 km) à 43 au
- ▶ Occultation 2021.11.11
- ▶ 57 stations (19 pos, 25 neg)



Source : E.Frappa (Euraster)

Exemple : Apophis (Printemps 2021)

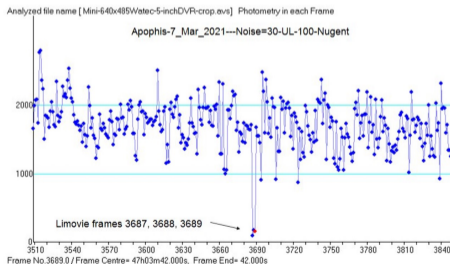
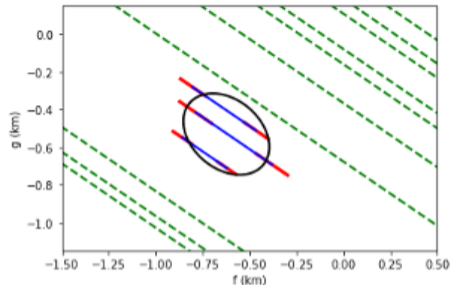
- ▶ Apophis est un astéroïde géocroiseur qui passe régulièrement à proximité de la Terre (2004, 2013, 2021, 2029, etc)
- ▶ Prédiction favorable pour Apophis en fev-mai 2021
- ▶ Apophis (~ 0.4 km) a une précision orbitale de qqs km en 2021
- ▶ Durée max d'occultation 0.1 sec
- ▶ Mesures radar les 3 et 5 mars \rightarrow prediction à 1-2 km pour le 7 mars



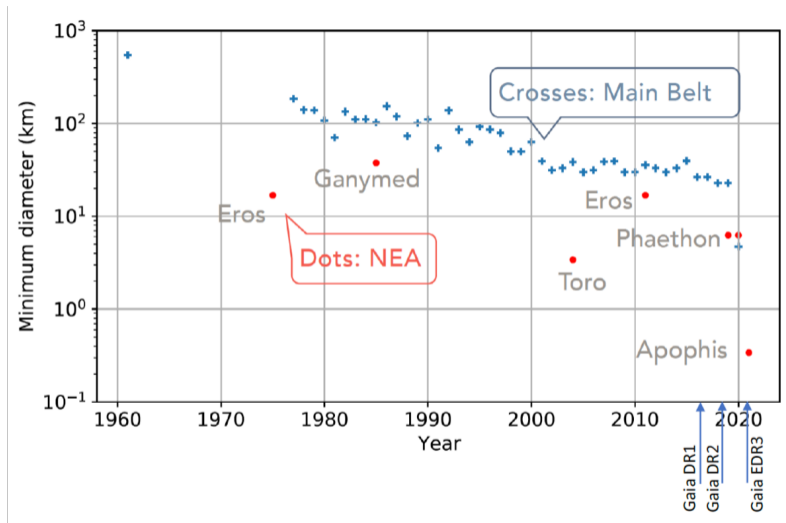
Source : NASA/JPL and NSF/AUI/GBO

Campagne d'occultation d'Apophis en 2021

- ▶ **07 mars** : 3 positives (US)
- ▶ **11 mars** : Grèce, 0 positive
- ▶ **22 mars (a)** : Brésil, 0 positive
- ▶ **22 mars (b)** : 1 positive (US)
- ▶ **04 avril** : 3 positives (US)
- ▶ **10 avril** : Japon (incertain)
- ▶ **11 avril** : 3 positives (US)
- ▶ **06 mai** : 2 positives (US)



Apophis unique ?



Source : P.Tanga et al. (PDC, 2021)

Apophis unique ?

- ▶ Ces observations ont été possibles :
 - ▶ catalogue Gaia
 - ▶ Données radar récentes
 - ▶ observateurs organisés et équipés
 - ▶ D'autres NEA : Didymos, 1994AW1, Phaeton
 - ▶ Les NEAs se déplacent rapidement et à parfois à proximité de la Terre
 - ▶ Les chances d'avoir une occultation sont multiples et aussi avec des étoiles brillantes
 - ▶ Pas besoin de gros télescopes mais un **nombre important et coordonné de stations** est nécessaire
- **ACROSS** Program <https://lagrange.oca.eu/fr/home-across>

Futur des occultations

- ▶ Programmes scientifiques d'occultations :
 - ▶ Lucky Star (TNOs, Centaures, Troyens)
 - ▶ Lucy occultation (troyens)
 - ▶ ACROSS (NEAs)
 - ▶ GaiaMoons (astéroïdes binaires)
 - ▶ campagnes ponctuelles (ex : satellite)
- ▶ Mode routinier : on observe depuis chez soi
- ▶ Cible d'intérêt scientifique → campagne spécifique
- ▶ Nécessité d'être organisé et équipé

Le réseau français d'observateurs

- ▶ Un des plus actifs d'Europe
- ▶ 30 à 40 observateurs différents chaque année, 60-130 cordes positives chaque année
- ▶ Équipement nécessaire : télescope, caméra rapide, système de datation précis
- ▶ Coordination au niveau européen :
 - ▶ IOTA-ES : mailing list, appel à observation
 - ▶ Euraster/SODIS : centralisation des résultats

Coordonner ce réseau

- ▶ Principalement pour des cibles d'intérêt scientifique et petits (NEAs, Troyens, TNOs, Centaures, astéroïdes binaires)
- ▶ Cibler les besoins/moyens pour le futur

API ProAm Observatoire de Paris



- ▶ Soutien de l'API ProAm depuis 2022
- ▶ Financement de matériel/mission :
 - ▶ Time-Box (système de datation précis)
 - ▶ caméra Basler
 - ▶ Filtres R et V
 - ▶ PC + Sac



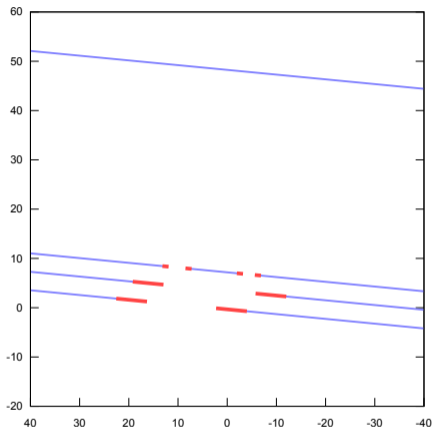
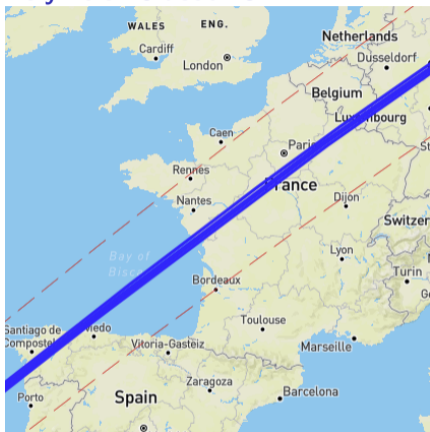
Occultations de troyens de la mission LUCY en 2022

- ▶ Un premier test grandeur nature → prêt de Time-box
- ▶ 3 astéroïdes troyens cibles de la mission LUCY
- ▶ 4 occultations visibles à l'automne 2022 depuis la France
 - ▶ Polymele (26 août 2022)
 - ▶ Eurybates (23 octobre 2022)
 - ▶ Orus (16 décembre 2022)
 - ▶ Polymele (27 décembre 2022)



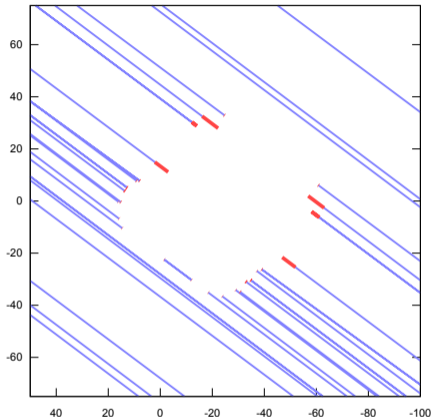
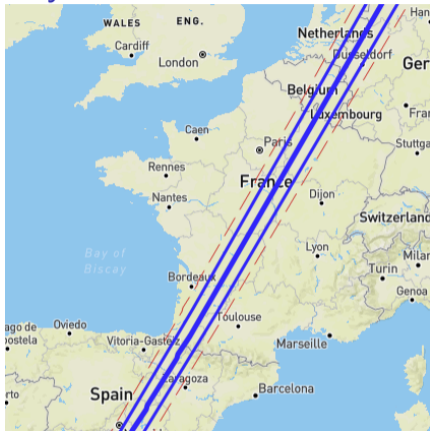
<http://lucy.swri.edu/occultations.html>

Polymele 26 août 2022



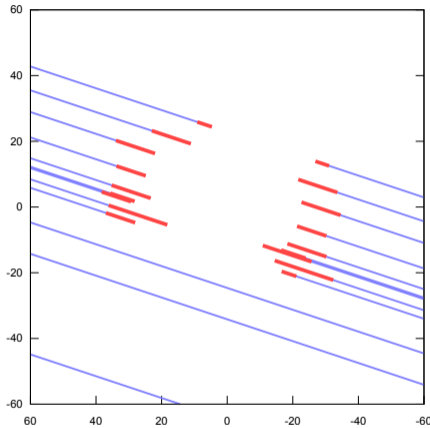
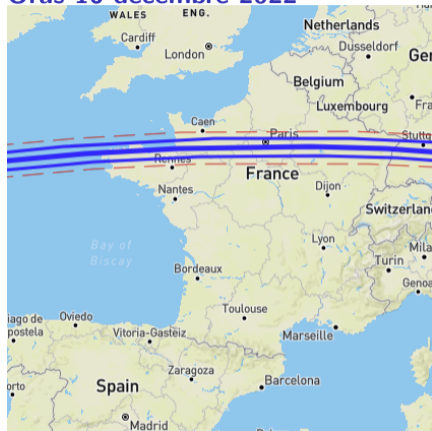
mag : 12.8, durée max : 0.9sec, faible hauteur + crépuscule
→ 7 stations, 2-3 positive, 1 negative

Eurybates 23 octobre 2022



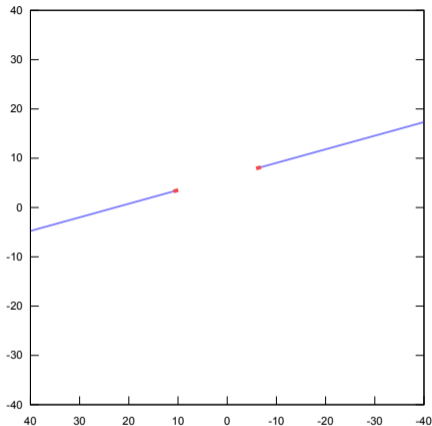
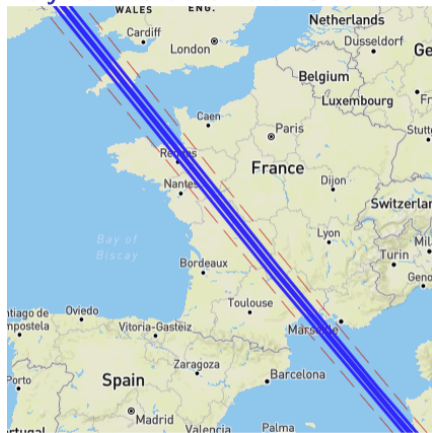
mag : 8.7, durée max : 10sec, grosse campagne (AFA, SAF)
→ ~320 stations, 17 positive, 44 negative

Orus 16 décembre 2022



mag : 14.8, durée max : 3.3sec
→ 12 stations, 9 positive, 3 negative

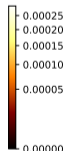
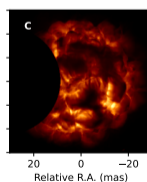
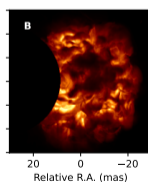
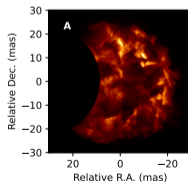
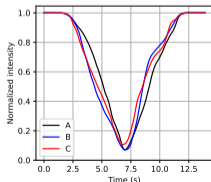
Polymele 27 décembre 2022



mag : 14.4, durée max : 1.7sec
→ 1 station, 1 positive

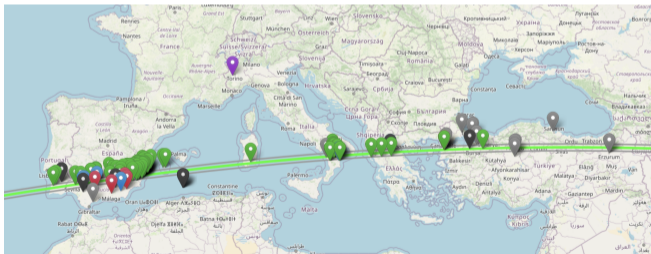
Occultation de Bételgeuse par Léona (12 décembre 2023)

- ▶ Événement rare et unique
- ▶ Objectif : sonder la surface de Bételgeuse dans différentes longueurs d'onde
- ▶ Soutien de l'API ProAm



Occultation de Bételgeuse par Léona (12 décembre 2023)

- ▶ Événement rare et unique
- ▶ Objectif : sonder la surface de Bételgeuse dans différentes longueurs d'onde
- ▶ Soutien de l'API ProAm
- ▶ Large collaboration : Plus de 100 stations, données hétérogènes
- ▶ Analyse en cours



Projet GaiaMoons

- ▶ Caractérisation d'astéroïdes binaires par astrométrie Gaia → Thèse R.Lallemand



Figure 1 - Schematics of the astrometric method to detect moons around asteroids. The red trajectory is the « signature » of the satellite presence, relative to the unperturbed trajectory (white) that would be followed by the asteroid in the sky.

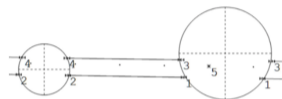


Figure 3. Occultation chords by two independent observers of a stellar occultation by (4337) Arecibo on June 9, 2021. The double extinction of the star light correspond to the interruption of the segments, to which a preliminary model of the two components of the binary is fitted (D. Gault, D. Herald, private comm.).

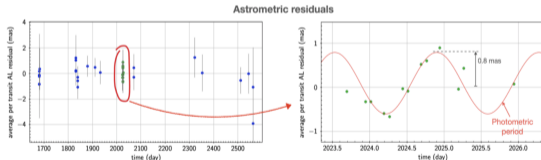
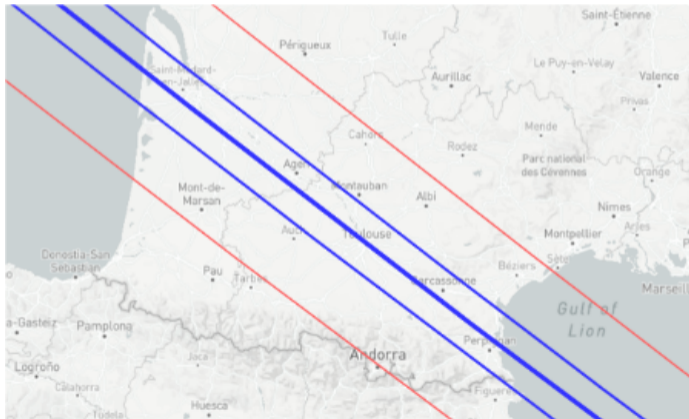


Fig. 4. The first astrometric wobbling detected during the validation of DR3 astrometry of asteroids, for the recently discovered binary 4337 Arecibo. The plot on the right is a zoom on the longest sequence of data, which shows the astrometric signature . The vertical scale is in milli-arcsec (P. Tanga, Gaia DPAC/ESA).

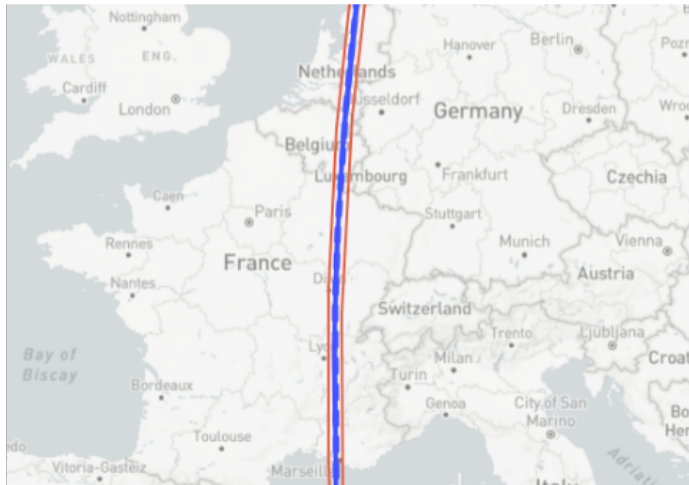
(550) Senta 2024.07.06 23h10 (UT)

- ▶ Etoile mag 12.5
- ▶ Asteroïde $\sim 38\text{km}$
- ▶ Satellite $\sim 8 - 34\text{km}$



(3800) Karayusuf 2024.07.27 20h50 (UT)

- ▶ Etoile mag 12.3
- ▶ Asteroïde $\sim 2\text{km}$
- ▶ Satellite $\sim 1\text{km}$

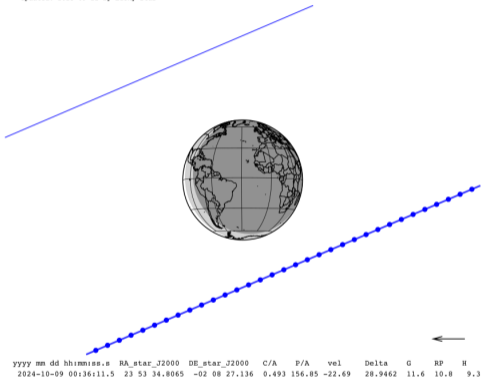




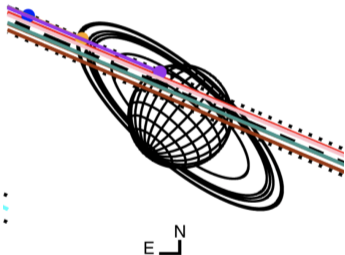
Neptune 2024.10.09

Neptune, GaiaDR3+pmGaiaDR3, DE440NEP095
updated: 2023-09-22 by Lucky Star

Offset: 0.0mas 0.0mas



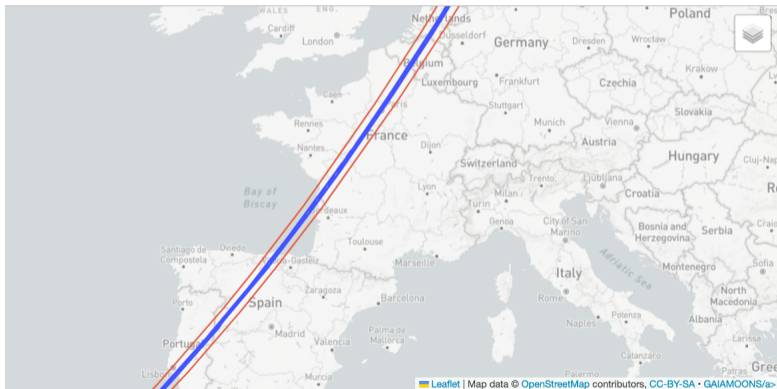
T2024-10-09 00:36:23 K9.07 G11.43



French & Souami (2023)

(5044) Shestaka 2024.10.23 18h55 (TU)

- ▶ Etoile mag 10.5
- ▶ Asteroïde $\sim 6.4\text{km}$
- ▶ Satellite $\sim 2.2 - 4.7\text{km}$



2013 LU28 2025.01.30



- ▶ Etoile mag 12.0
- ▶ Centaur

2013LU28, GaiaDR3+pmGaiaDR3, NIMAv9
updated: 2024-01-19 by Lucky Star

Offset: 0.0mas 0.0mas



yyyy mm dd hh:mm:ss.s	RA_star_J2000	DE_star_J2000	C/A	P/A	vel	Delta	G*	RP*	H*
2025-01-30 01:52:48.7	06 57 35.6965	+36 31 56.132	0.222	343.00	-37.76	7.9769	12.7	12.2	11.1



29P/Schwassmann-Wachmann 2025.02.05



- ▶ Etoile mag 13.0
- ▶ Comète/centaure

29P, GaiaDR3+pmGaiaDR3, NIMAv4
updated: 2024-06-06 by Lucky Star

Offset: 0.0mas 0.0mas



yyyy mm dd hh:mm:ss.s	RA_star_J2000	DE_star_J2000	C/A	P/A	vel	Delta	G*	RP*	H*
2025-02-05 23:08:56.4	09 58 49.6645	+09 23 41.899	0.861	13.48	-18.13	5.2916	13.0	12.5	11.6

(1800) Aguilar 2025.04.04 20h30 (TU)

- ▶ Etoile mag 10.1
- ▶ Asteroide $\sim 7.5\text{km}$
- ▶ Satellite $\sim 2 - 6\text{km}$



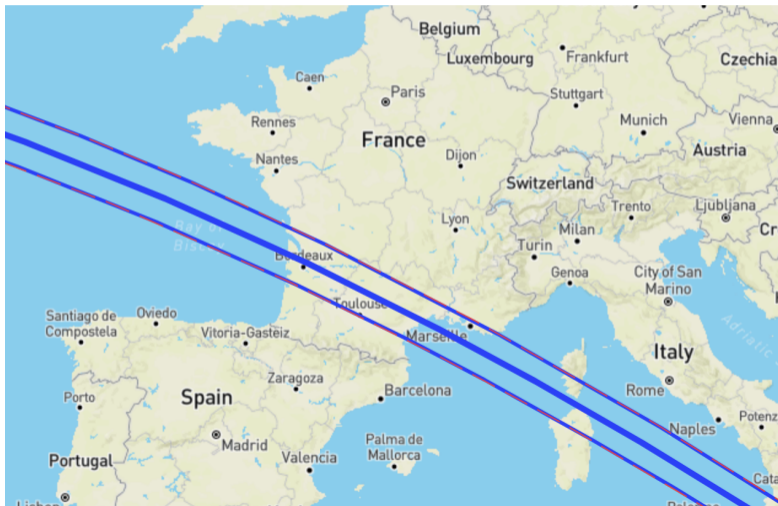
(542) Susanna 2025.05.02 0h10 (TU)

- ▶ Etoile mag 10.1
- ▶ Asteroïde $\sim 48.5\text{km}$
- ▶ Satellite $\sim 6 - 45\text{km}$



(146) Lucina 2025.12.18 1h10 (TU)

- ▶ Etoile mag 11.8
- ▶ possible satellite (detecté en 1982)



Programme ROADIES

- ▶ Permettre une couverture assez large pour des campagnes d'occultations à fort intérêt scientifique (Programme Lucky Star, GaiaMoons, ACROSS, autre)
- ▶ Prêt de matériel :
 - ▶ 5 packs : Camera + Time-box + PC + Sac
 - ▶ 5 autres Time-box
 - ▶ 5 autres caméras
 - ▶ 5 filtres R + 5 filtres V