

Occultations stellaires

Prédictions, Observations et Science

J. Berthier

IMCCE / CNRS / OBSPM

Méthodes observationnelles

Astrometry	Measure of positions on the celestial sphere w.r.t stars: orbits, dynamics	Since 1800
(Spectro) Photometry	Measure of the intensity of the received light: spin, period, size, shape, satellite, ...	Since 1800 → 1950, UBV filter, G. Kuiper
Closed approach	Direct measurement of the mass Estimation of the size and density	1802, C. F. Gauss
Polarimetry	Study of the surface, taxonomic class Measure of albedo, size	First measure: 1934, B. Lyot → 1968, Icarus & Flora, T. Gehrels and J. Veverka
Stellar occultations	Direct measurement of the size Estimation of the profile, shape, astrometry, satellite, ...	First successful obs.: 1958 → Juno (P. Bjorklund and S. Muller, Sweden)
Radar observation	Physical and chemical properties, albedo, size, shape, spin, ...	First app.: 1968, Icarus
Interferometry	Direct measurement of the size	1970, A. Labeyrie
Radiometry	Measure of the diameter (IR) and albedo (10 - 20 μm)	1970, Vesta, D. Allen
Adaptive optic	Estimation of the size, shape, spin, satellite, ...	Since 1990
Space probes	In situ study	Since 1990

Occultations stellaires

Science

- Mesure directe de la taille physique des Sso, sans hypothèse quant à leur nature
 - Modélisation du profil (grande échelle, concavité, ...)
 - Modélisation de la forme géométrique (sphère, ellipsoïde tri-axial, forme complexe)
 - Astrométrie et taille/forme des satellites d'astéroïdes

Occultations stellaires

1958 - 2008

- Number of occultations observed with success: **1417**
- Number of chords used to fit asteroid sizes: **3161**
 - Mean number of (positive) chords per event: **2.2**
- Max. number of (positive) chords for an occultation:
 - 133** (2) Pallas vs 1 Vulpeculae (1983)
 - 135** (420) Bertholda vs TYC 5757-00353-1 (2003)

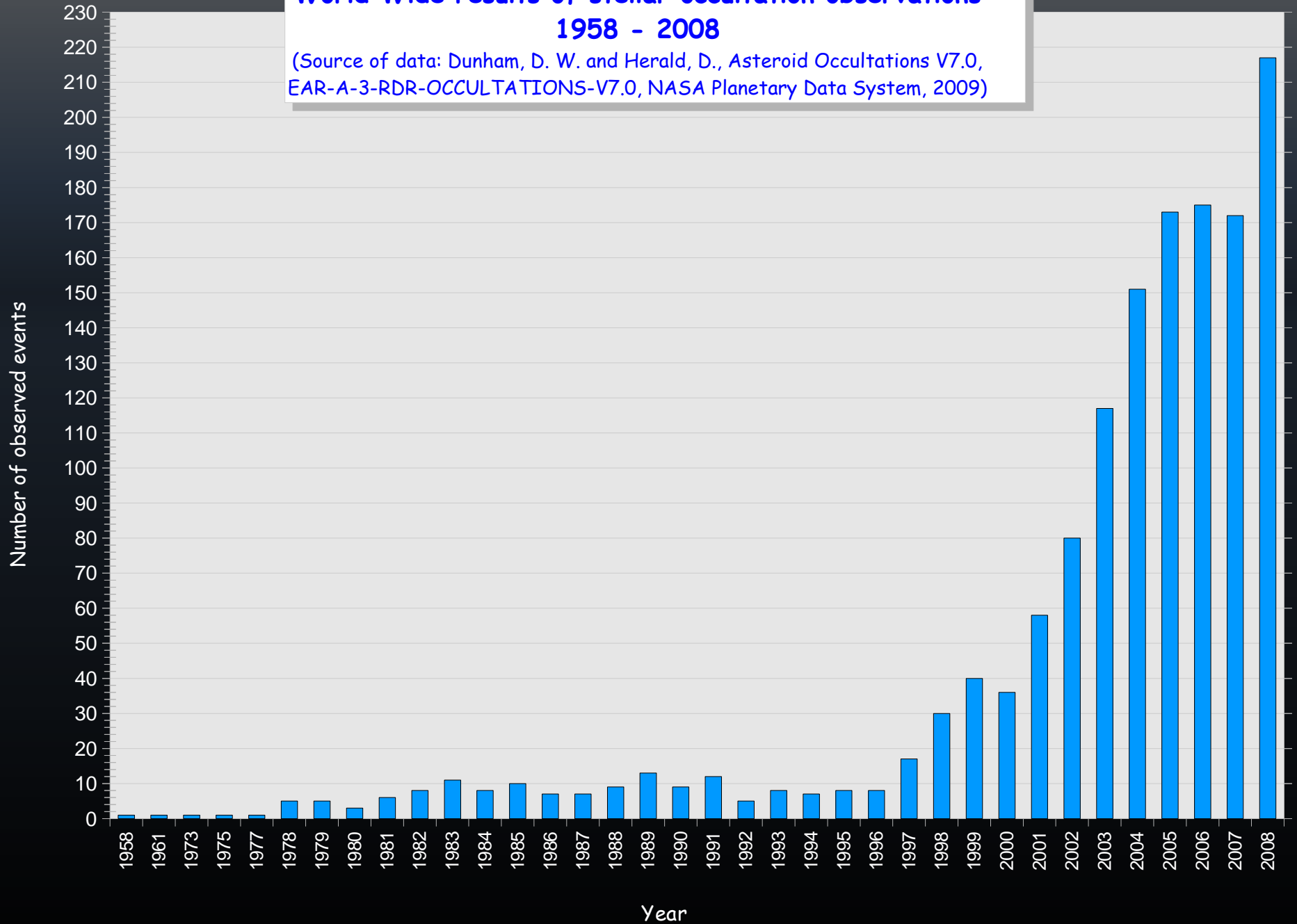
Source : Dunham, D. W. and Herald, D., Asteroid Occultations V7.0, NASA Planetary Data System, 2009

Occultations stellaires 1958 - 2008

- Events observed
 - With 1 chord: 47%
 - With 1 or 2 chords: 62%
 - With 1, 2 or 3 chords: 72%
 - With more than 5 chords: 21%
 - With more than 10 chords: 8%

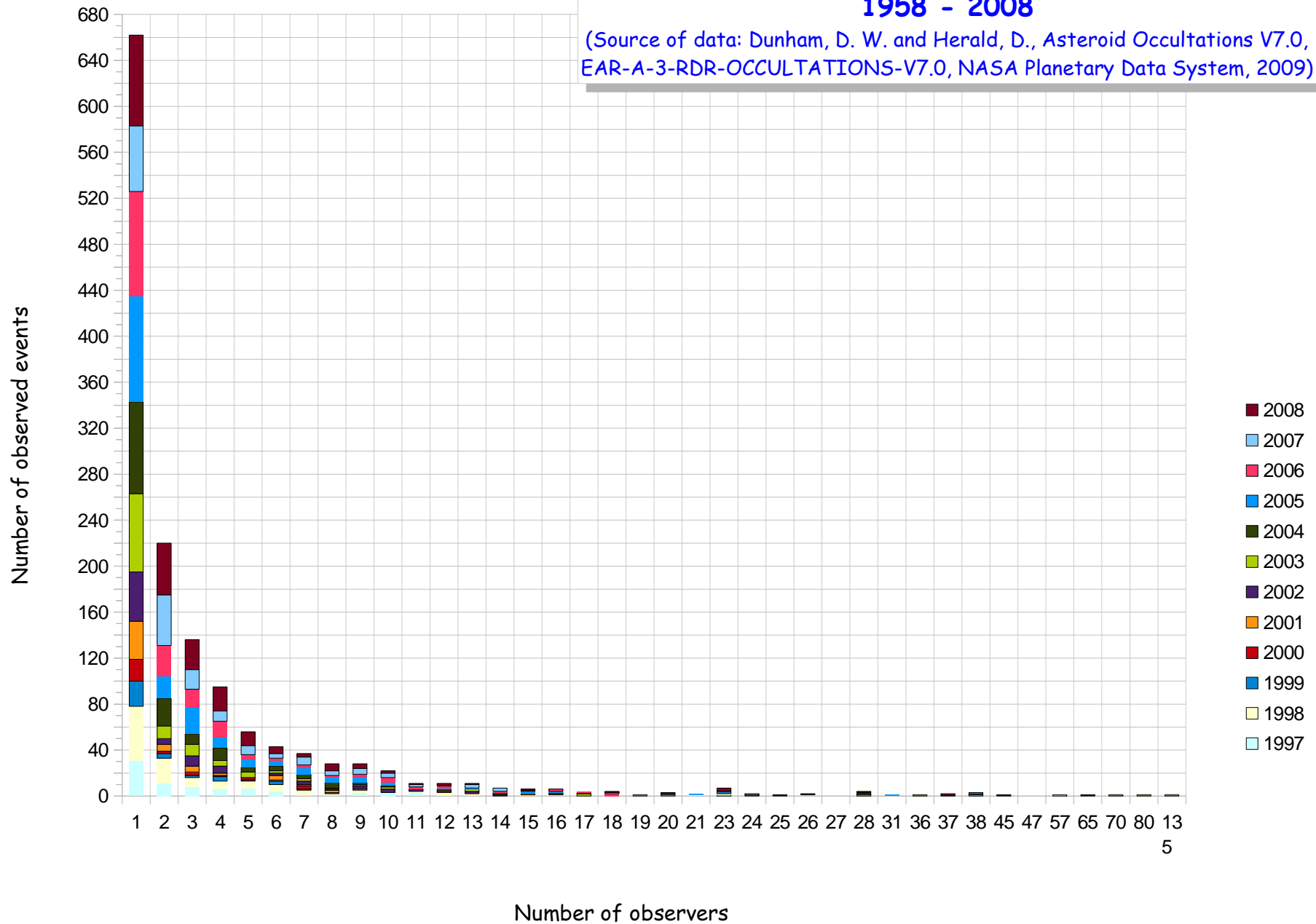
World Wide results of stellar occultation observations 1958 - 2008

(Source of data: Dunham, D. W. and Herald, D., Asteroid Occultations V7.0,
EAR-A-3-RDR-OCCULTATIONS-V7.0, NASA Planetary Data System, 2009)



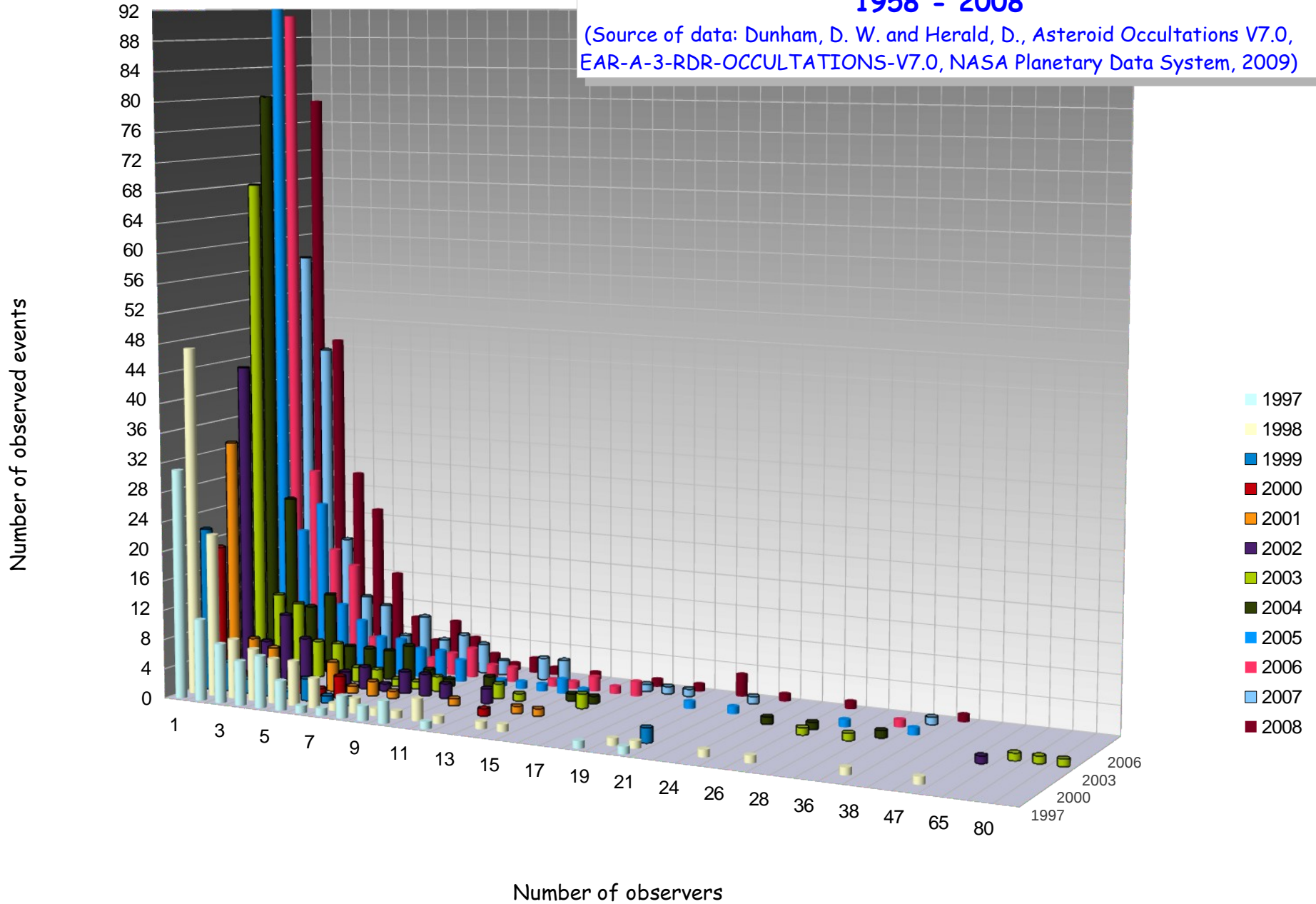
World Wide results of stellar occultation observations 1958 - 2008

(Source of data: Dunham, D. W. and Herald, D., Asteroid Occultations V7.0, EAR-A-3-RDR-OCCULTATIONS-V7.0, NASA Planetary Data System, 2009)



World Wide results of stellar occultation observations 1958 - 2008

(Source of data: Dunham, D. W. and Herald, D., Asteroid Occultations V7.0,
EAR-A-3-RDR-OCCULTATIONS-V7.0, NASA Planetary Data System, 2009)



De l'observation ...

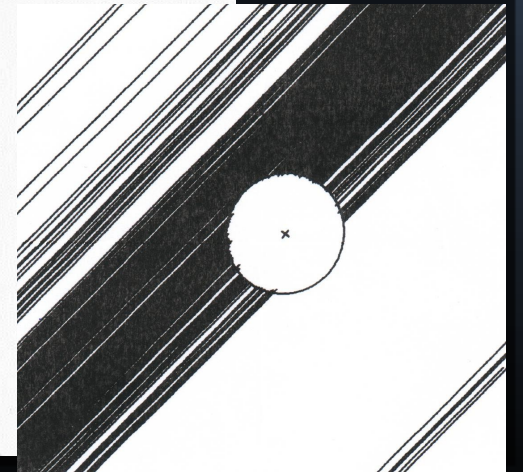
... à la science

(2) Pallas vs 1 Vulpeculae - 1983/05/29

135 positive + 111 negative observations

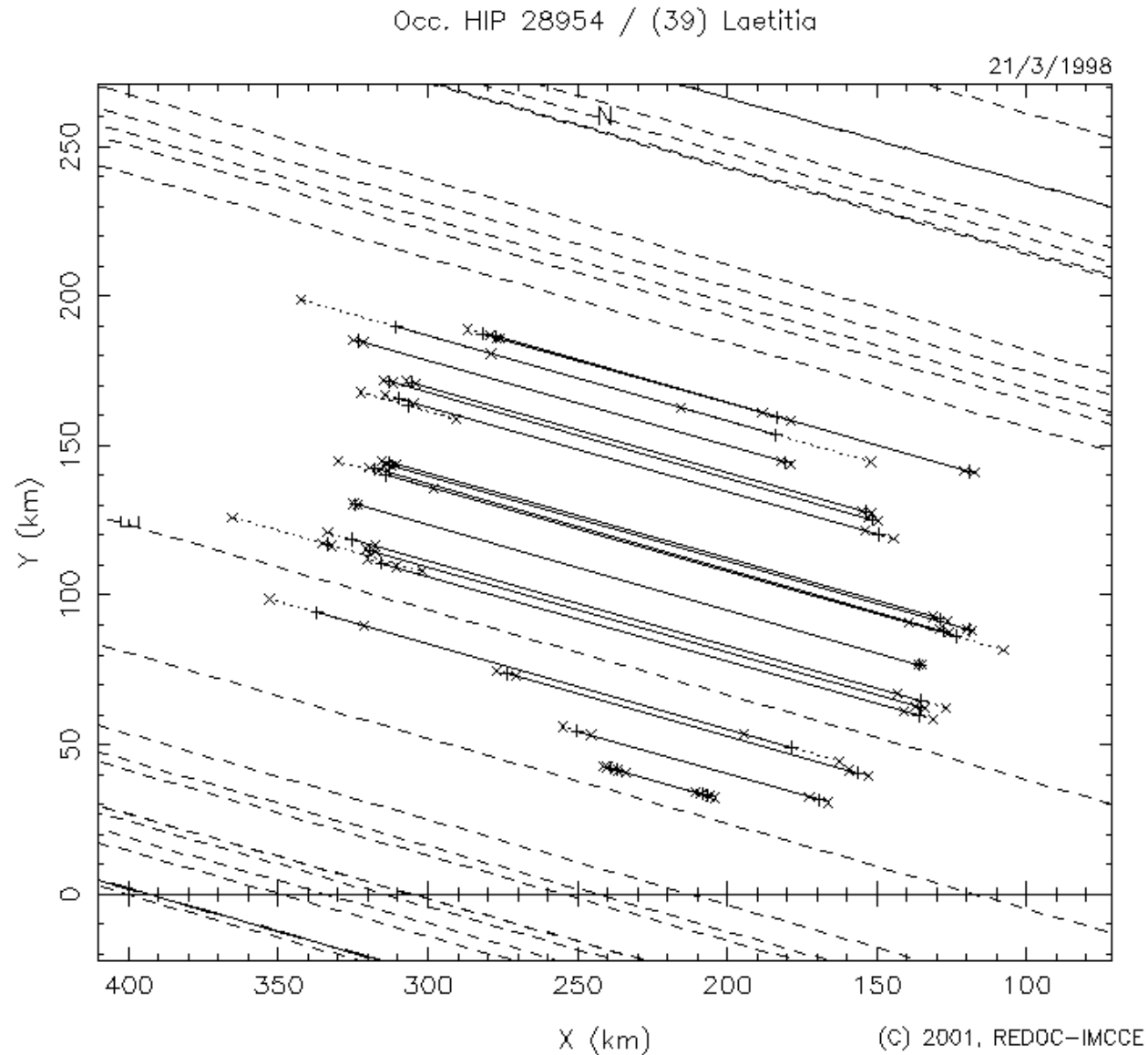


(Dunham et al., AJ 99, 1990)



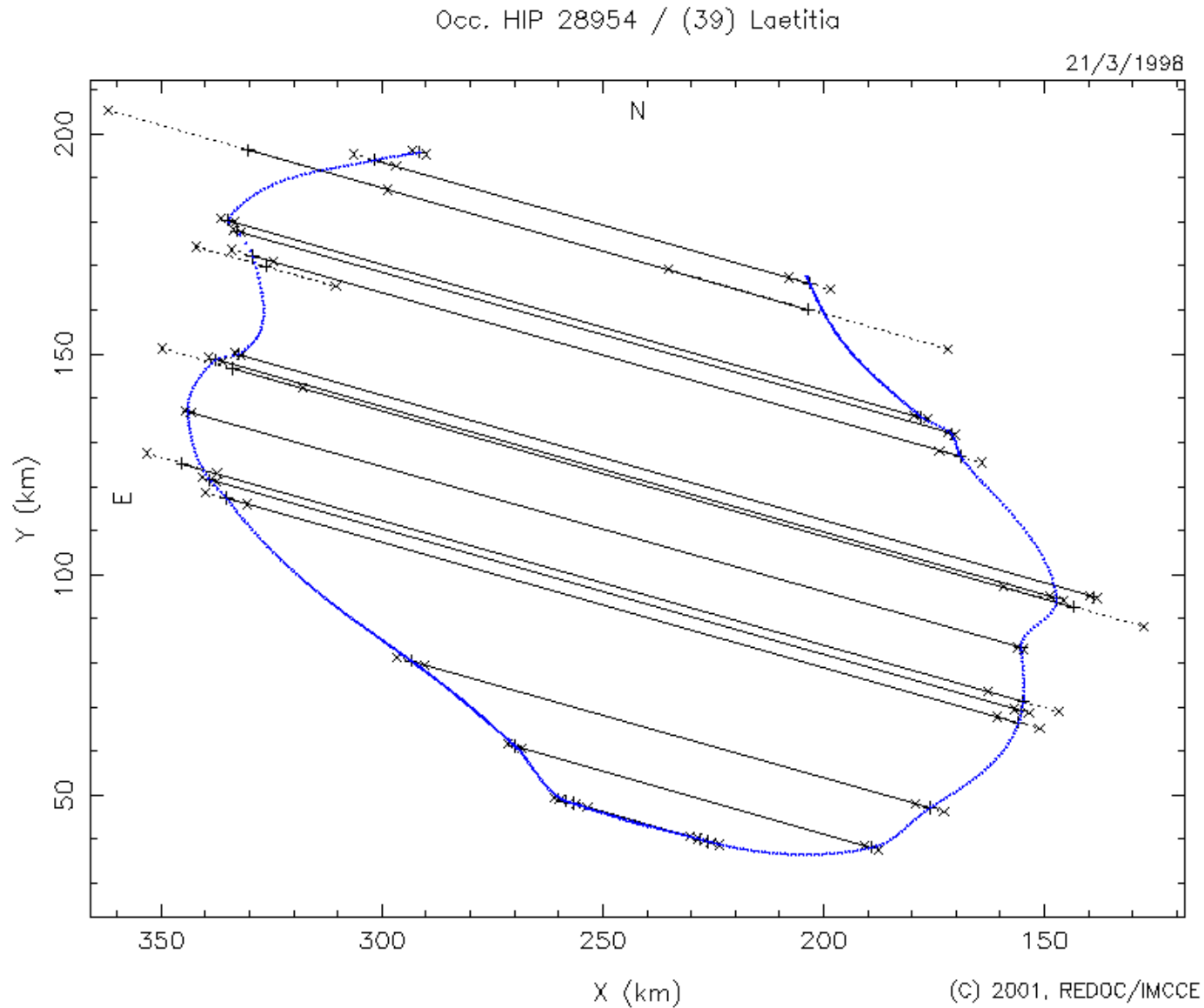
(39) Laetitia vs Gliese 227 - 1998/03/21

22 positive + 34 negative observations

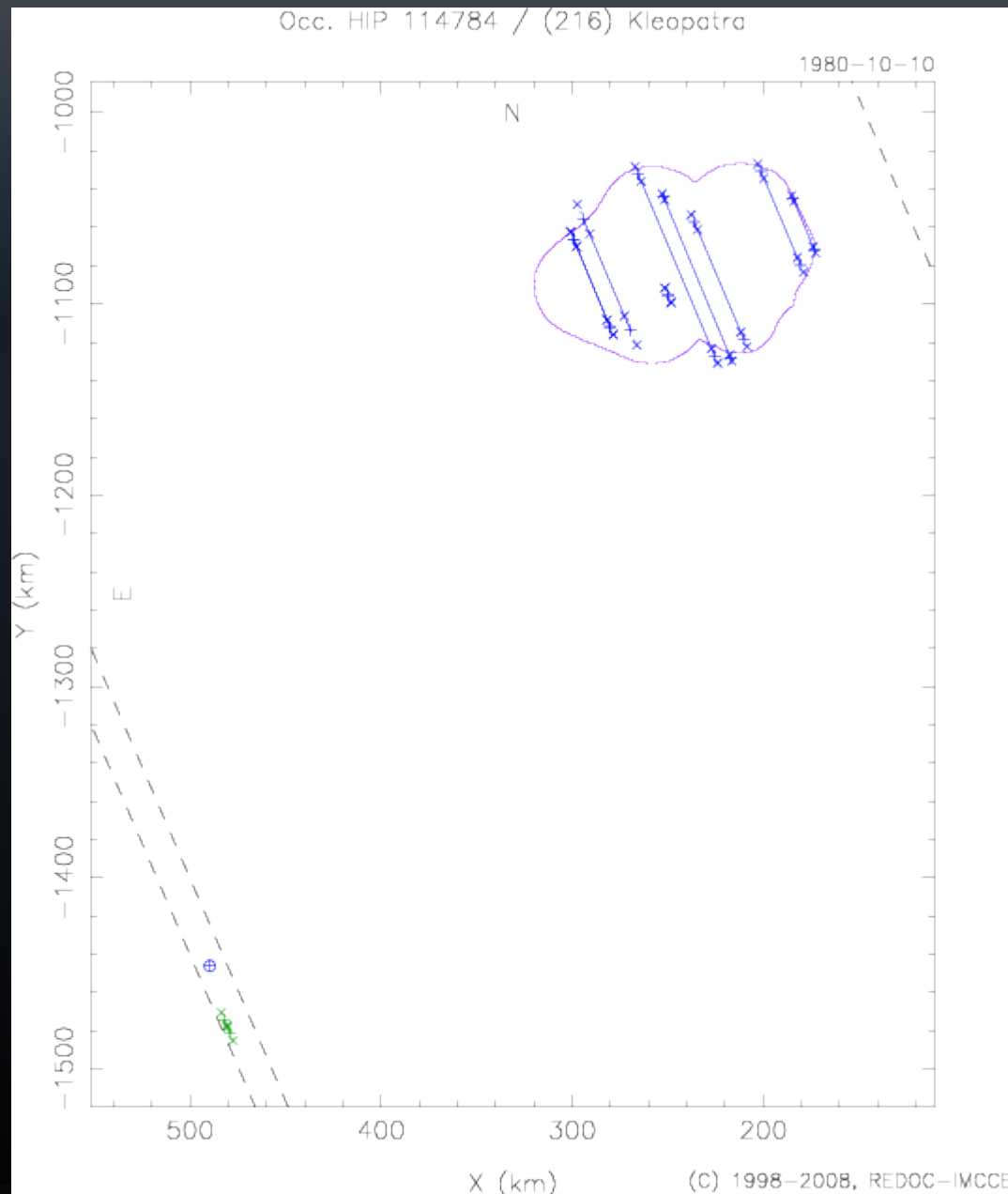


(39) Laetitia vs Gliese 227 - 1998/03/21

Modeling the profile

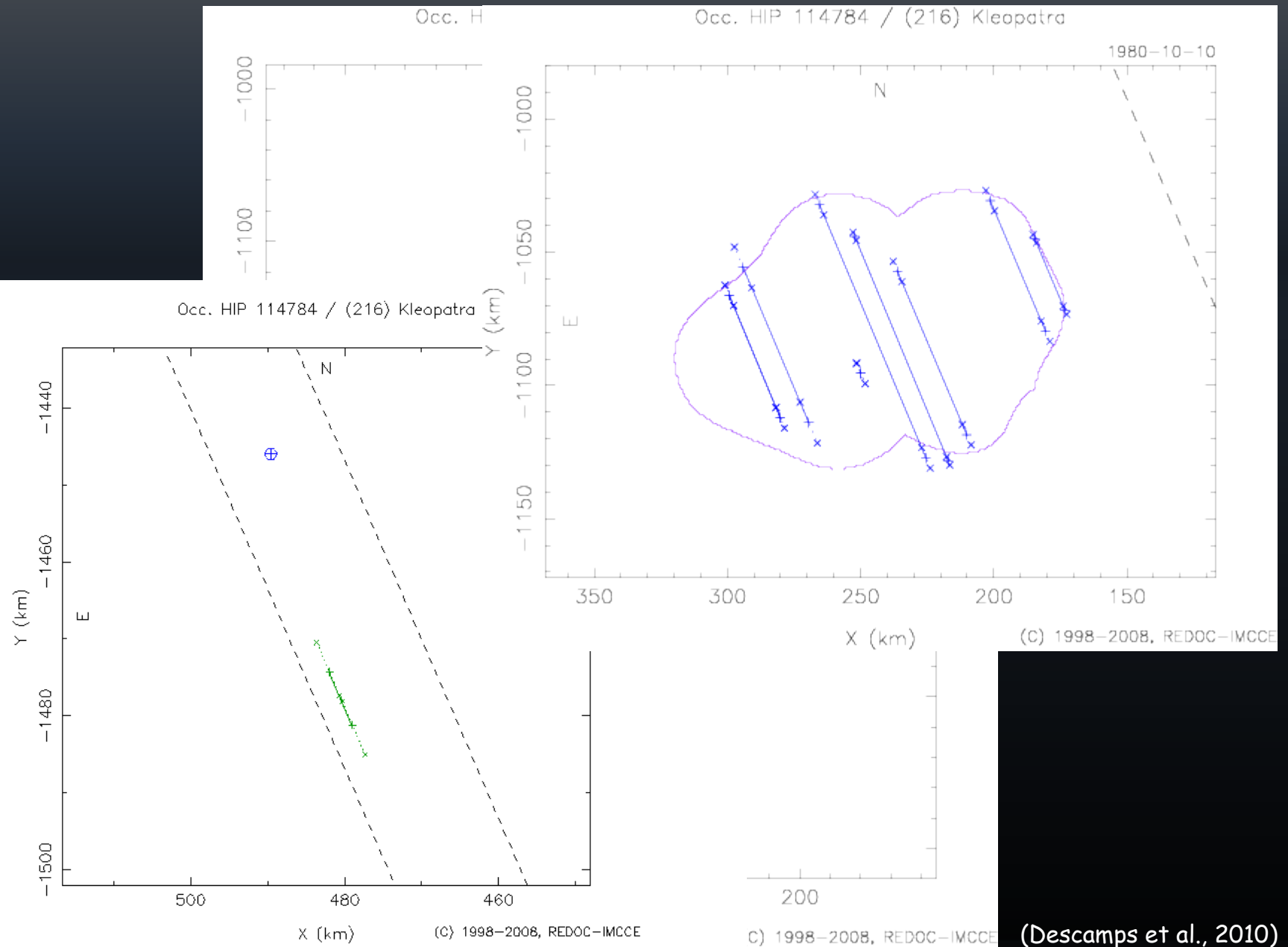


(216) Kleopatra vs HIP 114784 - 1980/10/10

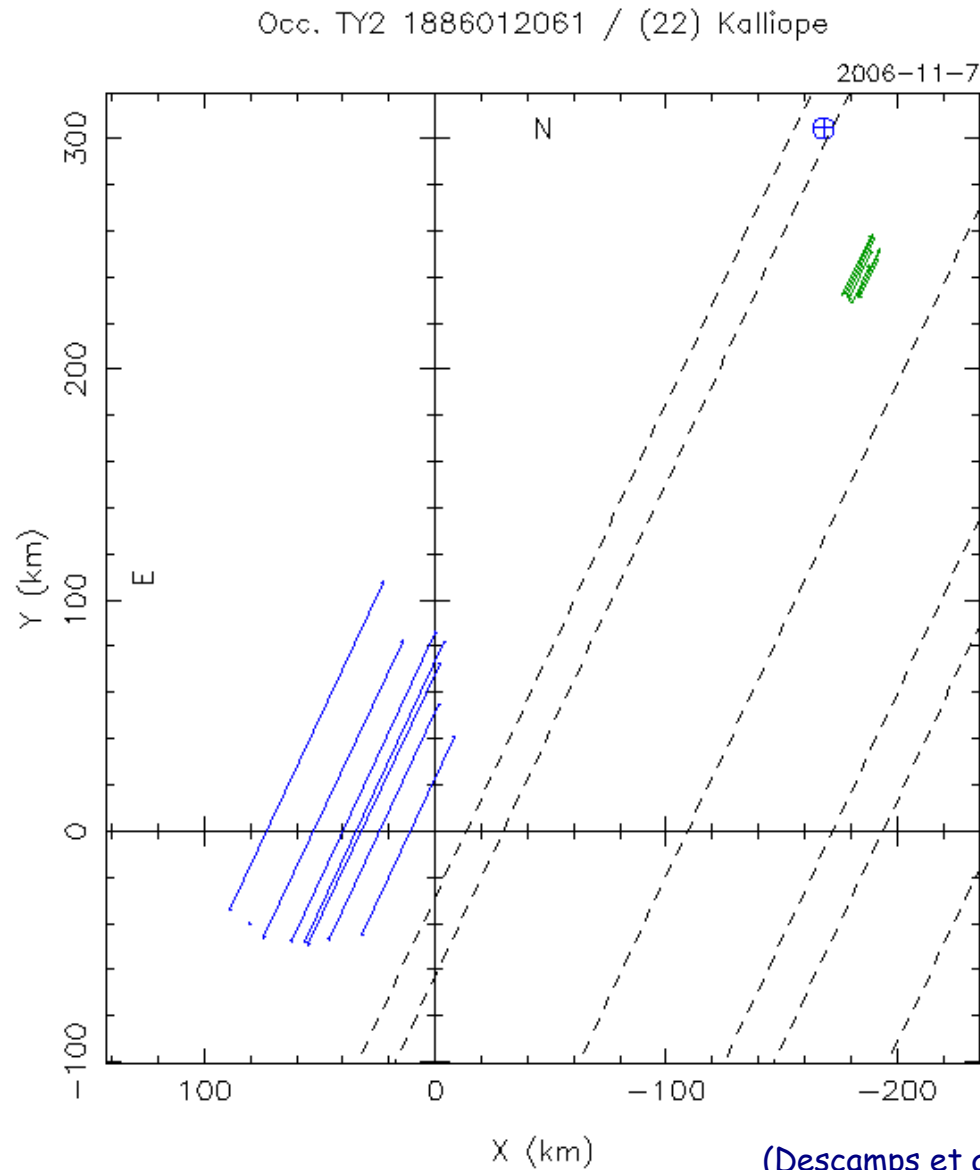


(Descamps et al., 2010)

(216) Kleopatra vs HIP 114784 - 1980/10/10

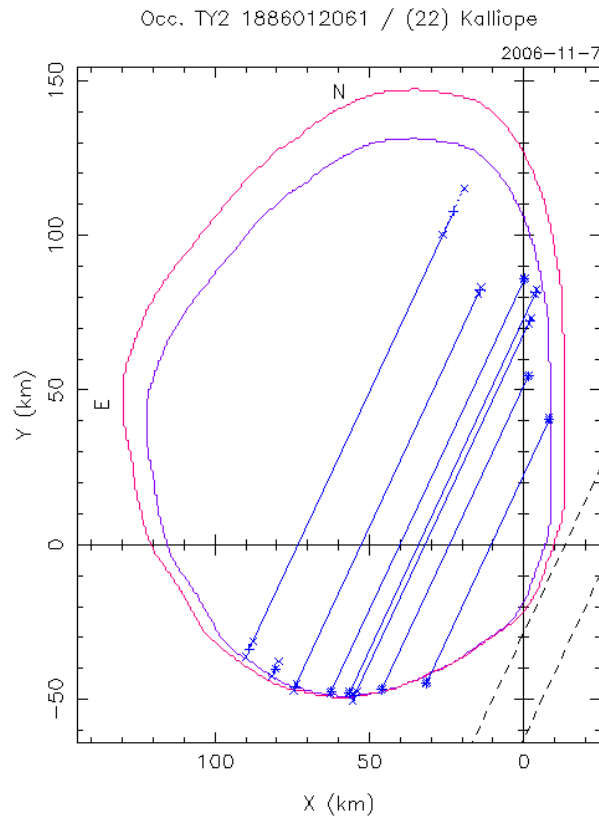


(22) Kalliope vs TY2 1886012061 - 2006/11/07



(Descamps et al., Icarus 196, 2008)

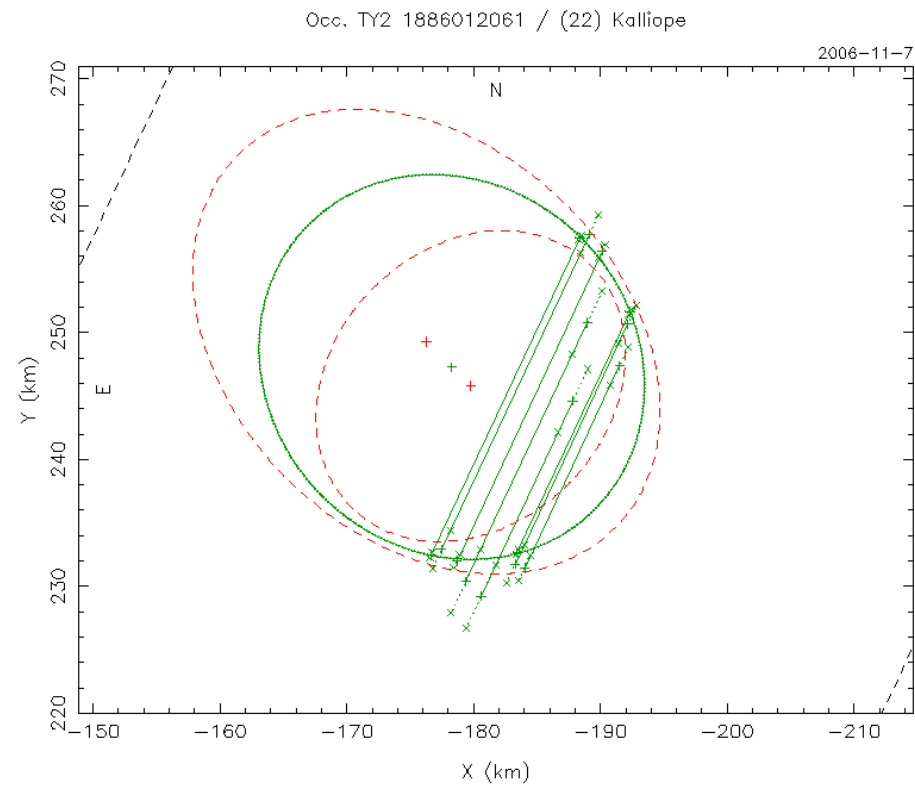
(22) Kalliope vs TY2 1886012061 - 2006/11/07



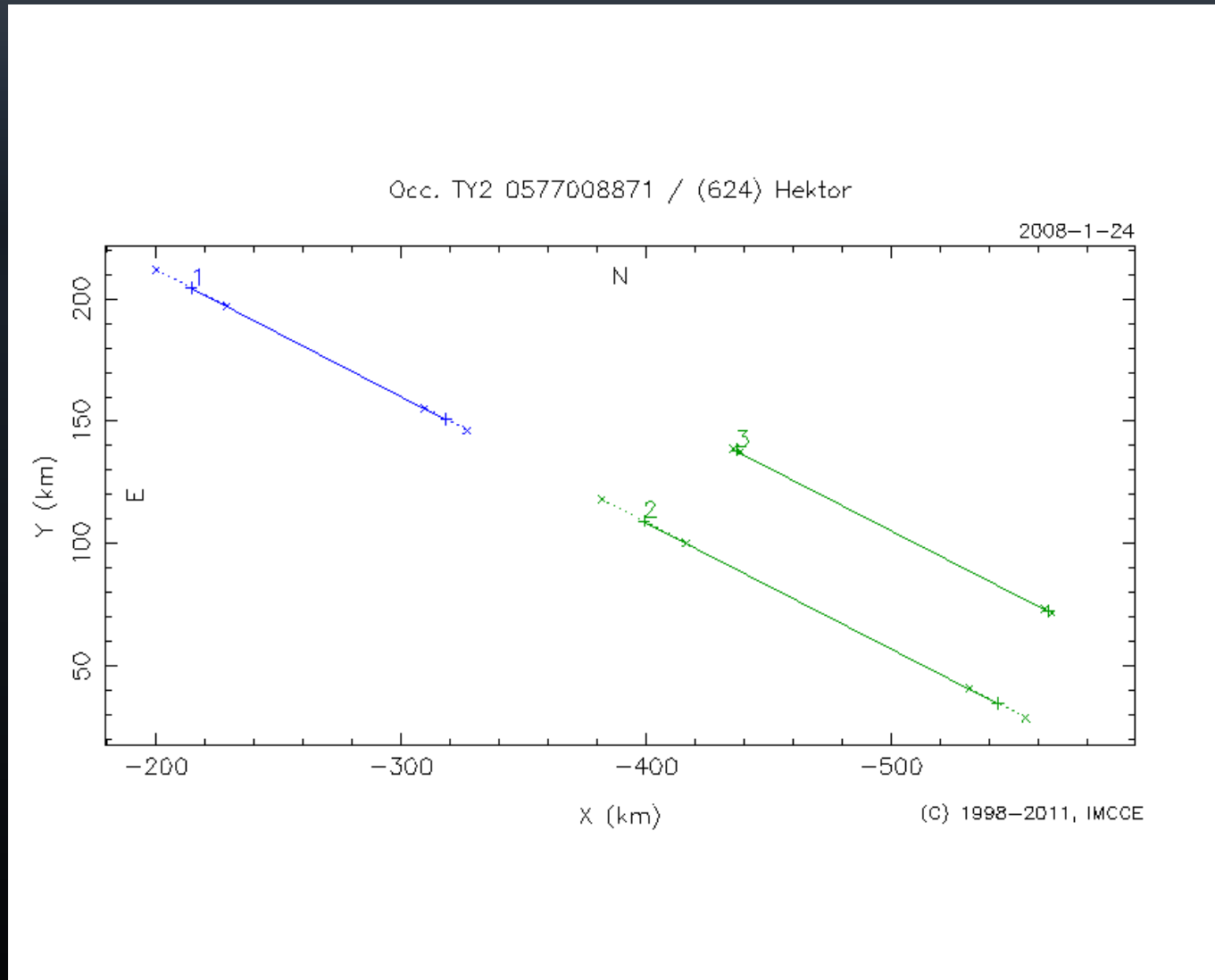
Kalliope's shape

(Descamps et al., Icarus 196, 2008)

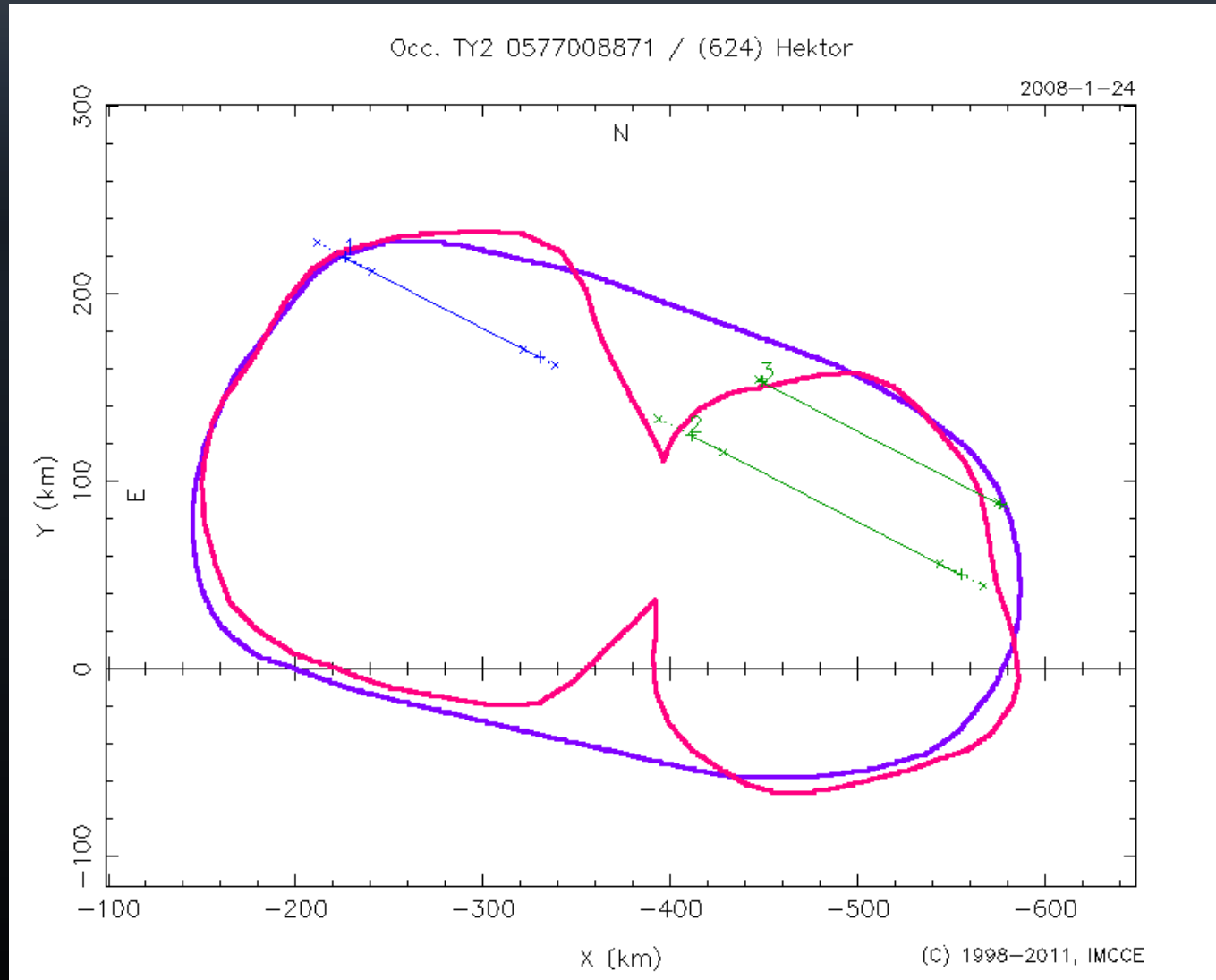
Linus' shape



(624) Hektor vs TY2 0577008871 - 2008/01/24

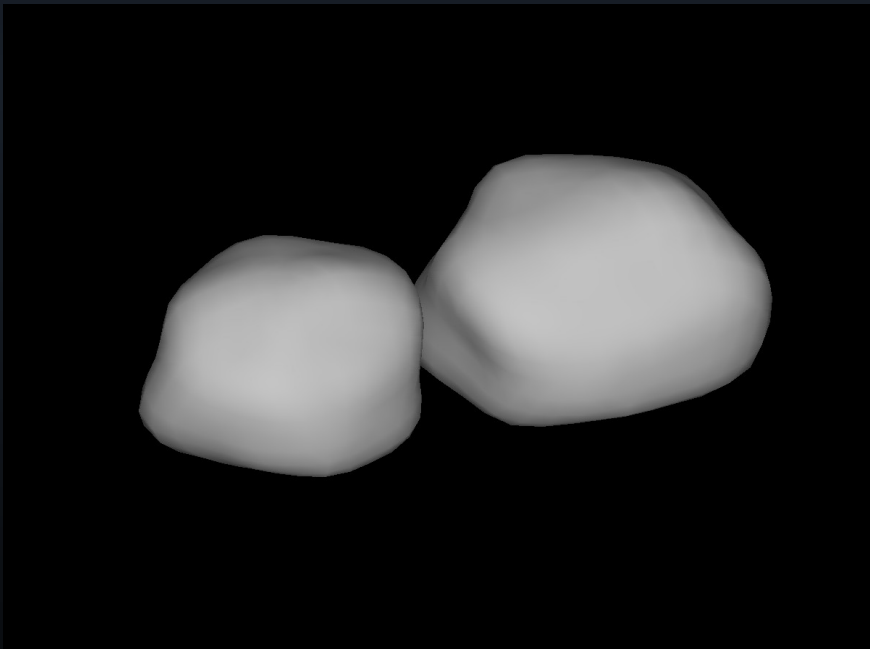


(624) Hektor vs TY2 0577008871 - 2008/01/24

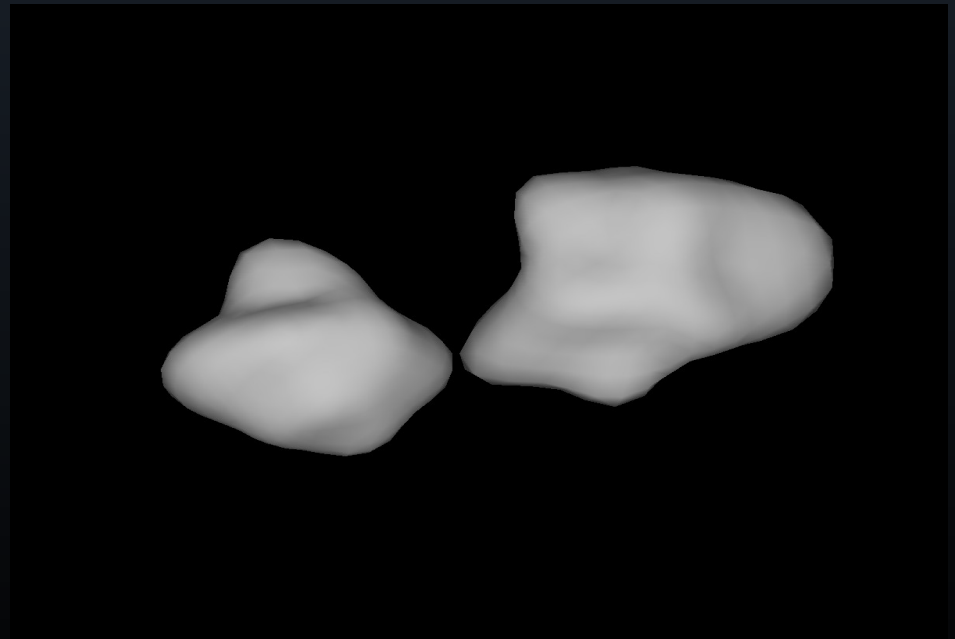


Modèle de forme de (624) Hektor

Photométrie + AO

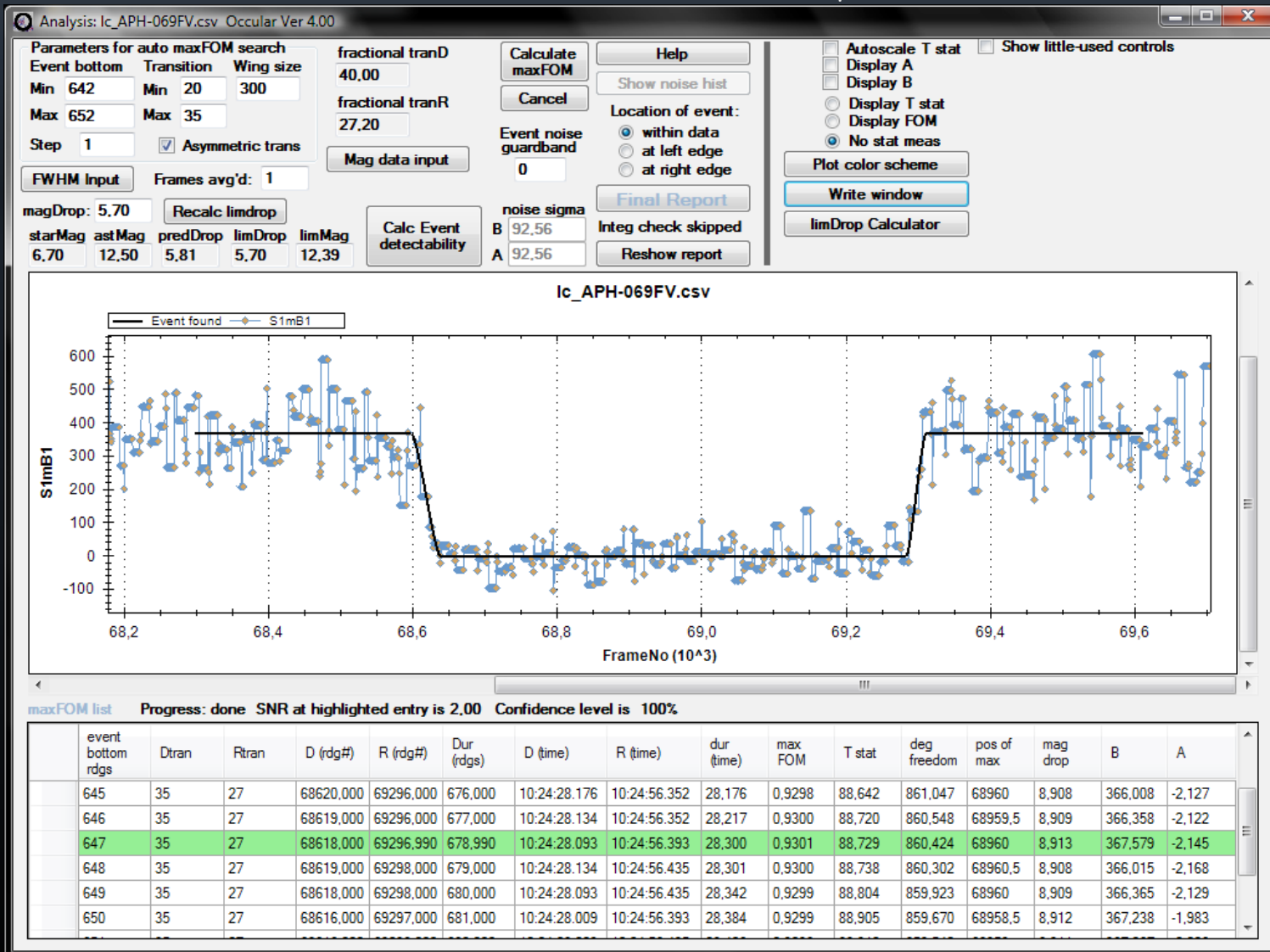


Photométrie + AO + **occultation**

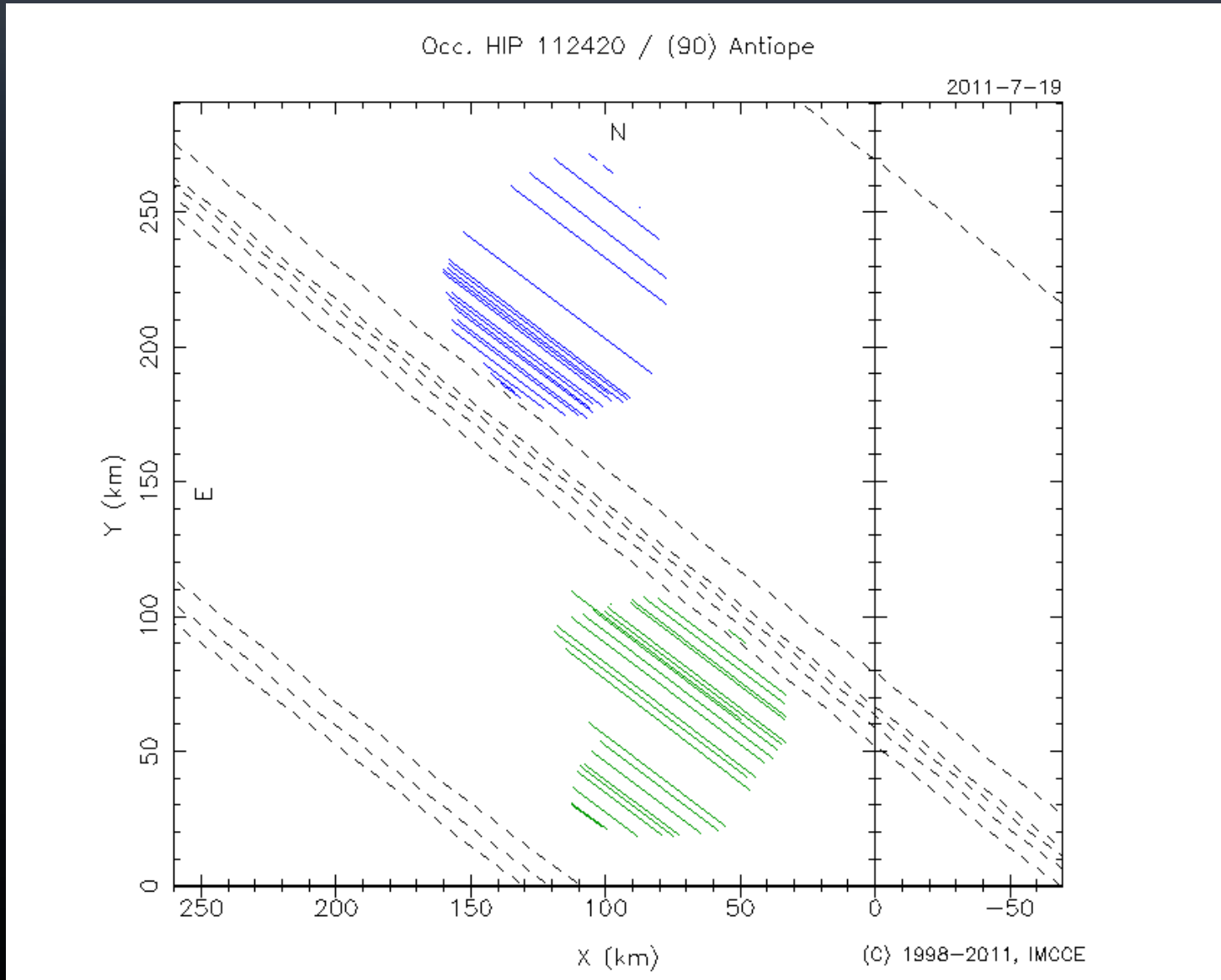


(90) Antiope vs HIP 112420 - 2011/07/19

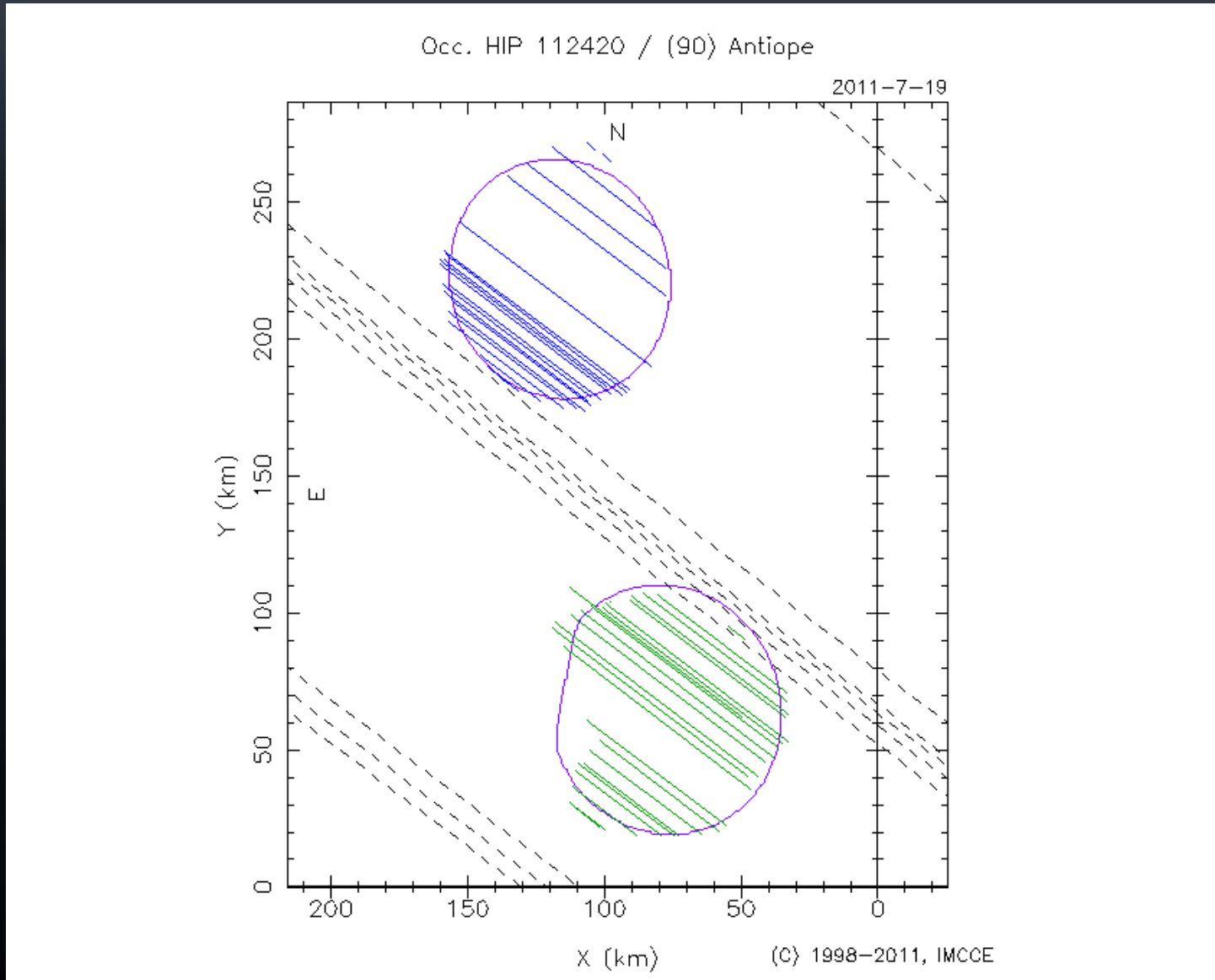
<http://www.asteroidoccultation.com/observations/>



(90) Antiope vs HIP 112420 - 2011/07/19



(90) Antiope vs HIP 112420 - 2011/07/19



Données complémentaires utiles

- **Photométrie**
 - Orientation du corps à l'époque de l'occultation
 - Apporte des contraintes supplémentaires sur la forme
- **Astrométrie**
 - Distance minimum entre l'astéroïde et l'étoile
 - Contribution à l'amélioration des orbites

Problèmes à résoudre

- Stratégie d'observation
 - Priorités dans le choix des phénomènes
 - ✗ Trop de prédictions par rapport à l'impact scientifique
 - ✓ Campagnes dédiées sont généralement efficaces
 - Mobilisation des observateurs et distribution géographique
 - ✗ Pas tous les jours !
 - ✓ Coordination des observations

Problèmes à résoudre

- Publication des données observationnelles
 - Collecte des rapports
 - ✗ Dépend des observateurs et de quelques volontaires
 - ✓ Toutes les observations (soumises) sont publiées
 - Format des données
 - ✗ Nombreux, pas vraiment prêt à l'emploi (IOTA, EAON, Euraster, PDS, ...)
 - ✓ Un format moderne et pratique devrait être envisagé

Problèmes à résoudre

- Amélioration des méthodes de datation
 - Précision des techniques
 - ✗ Facteur humain ! Difficile à calibrer
 - ✓ Techniques très précises de datation
 - Précision des mesures
 - ✗ Analyse des observations
 - ✓ Des outils existent et doivent être encore améliorés

Occultations stellaires

Prédictions

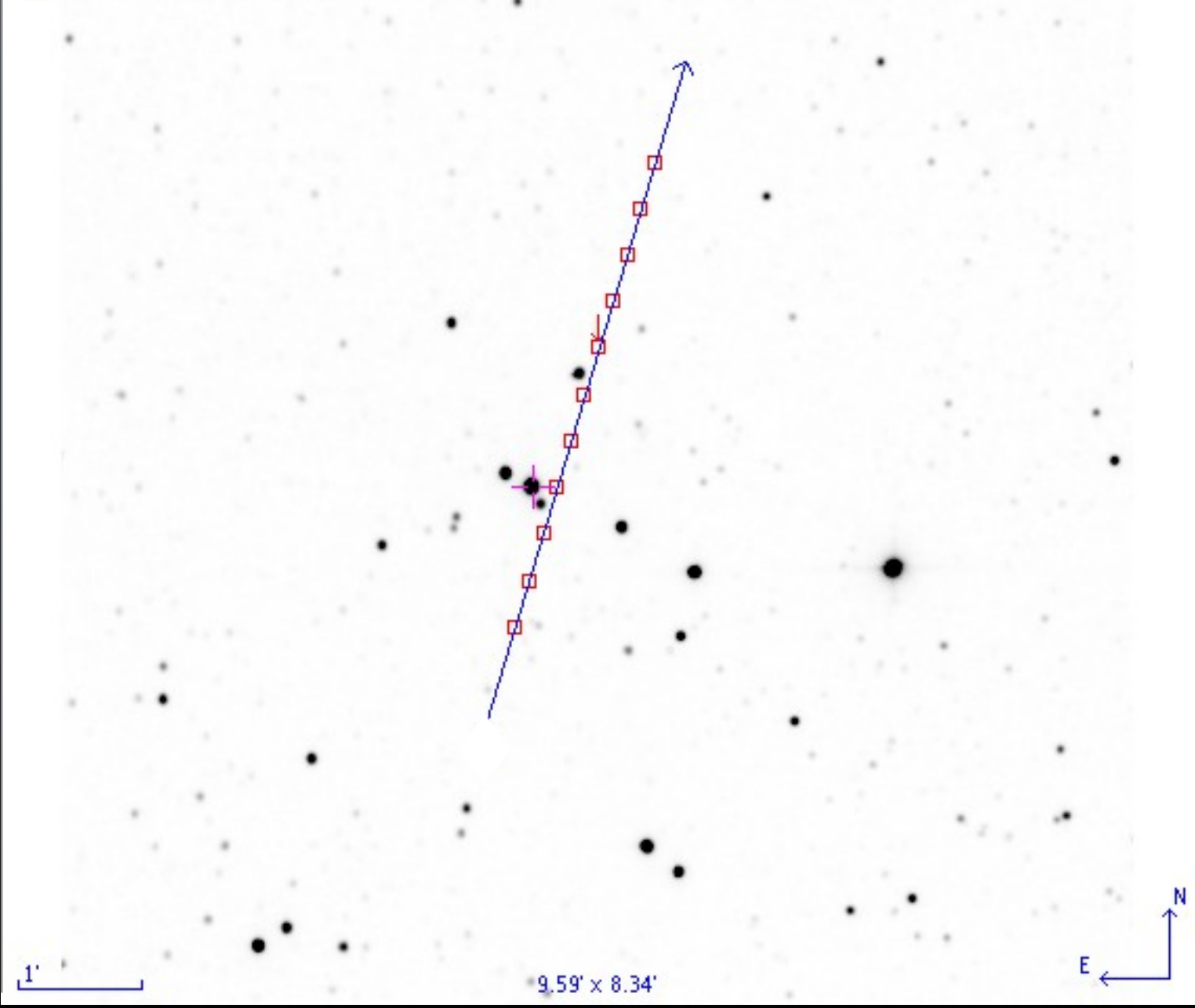
- Recherche systématique des phénomènes
 - Passage apparent d'un corps du système solaire devant une étoile
- Calcul des circonstances générales
 - Calcul des lieux sur Terre d'où sont observables les occultations
- Estimation des incertitudes
 - Détermination et calcul des erreurs

Prédictions

Recherche systématique

- Plusieurs approches :
 - Tracer la trajectoire de l'astéroïde sur une carte céleste, et regarder si elle croise une étoile

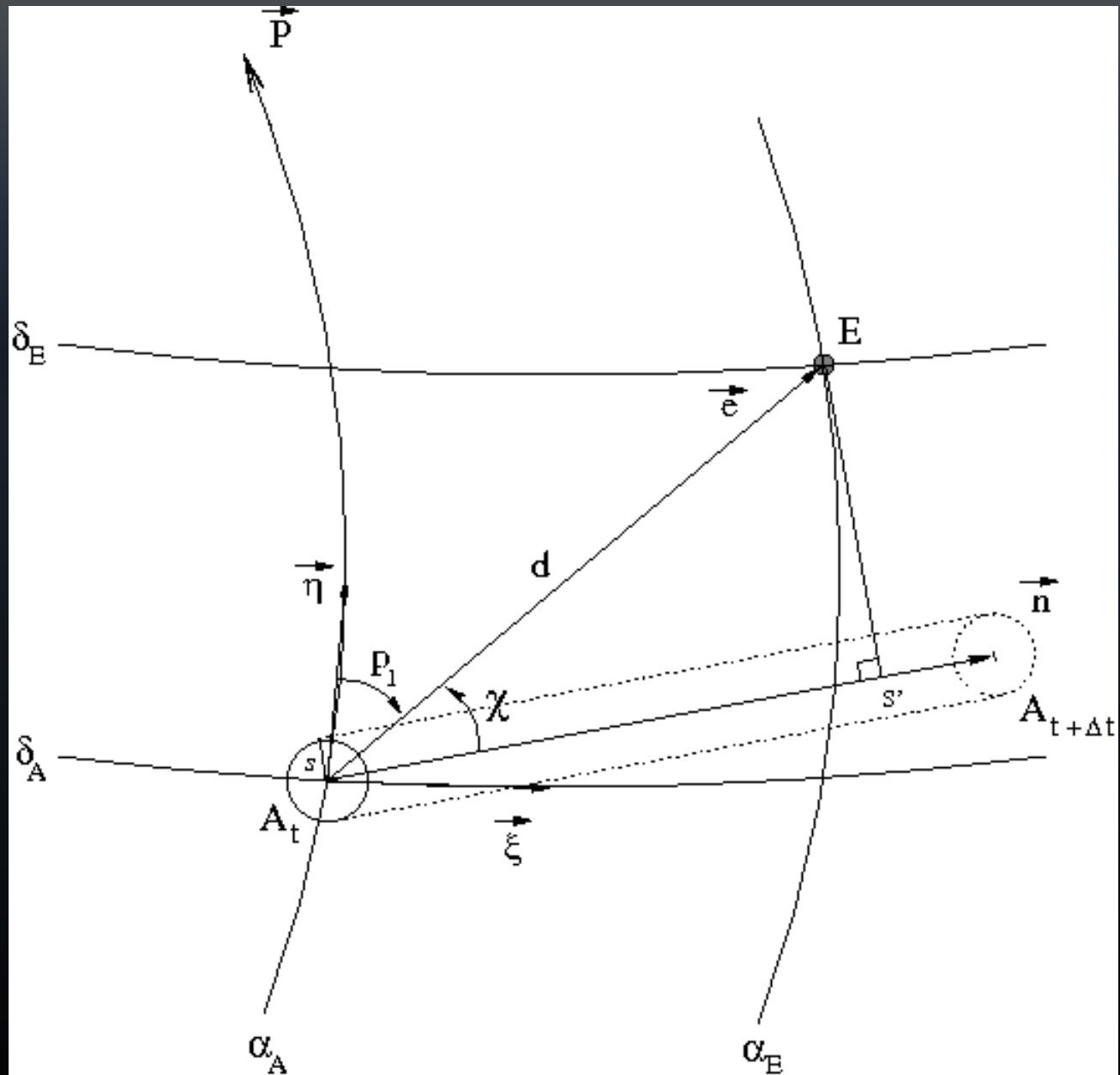
2MASS.H..970610N_HI1100162



Prédictions

Recherche systématique

- Plusieurs approches :
 - Tracer la trajectoire de l'astéroïde sur une carte céleste, et regarder si elle croise une étoile
 - Procéder par calcul des éphémérides des corps célestes
 - Calcul systématique de la distance angulaire entre l'astéroïde et les étoiles
 - Occultation potentielle si cette distance est inférieure au rayon apparent de l'astéroïde
 - Visibilité quelque part sur Terre ?



Prédictions

Recherche systématique

- **Alternative** : Ne pas prédire les occultations, mais observer le ciel en permanence pour détecter les occultations qui s'y produisent
 - Exemple : avec un télescope de 2 mètres, le taux d'occultations attendu est compris entre 0.3 et 2 occultations par nuit pour une étoile de l'écliptique (cf. Roques et Moncuquet, Icarus, 2000).
 - Application : sondage systématique de la ceinture de Kuiper (extension azimuthale, où la densité de matière attendue est plus faible), distribution de la taille des objets de Kuiper sub-kilométriques, sondage des objets du nuage de Oort, ...

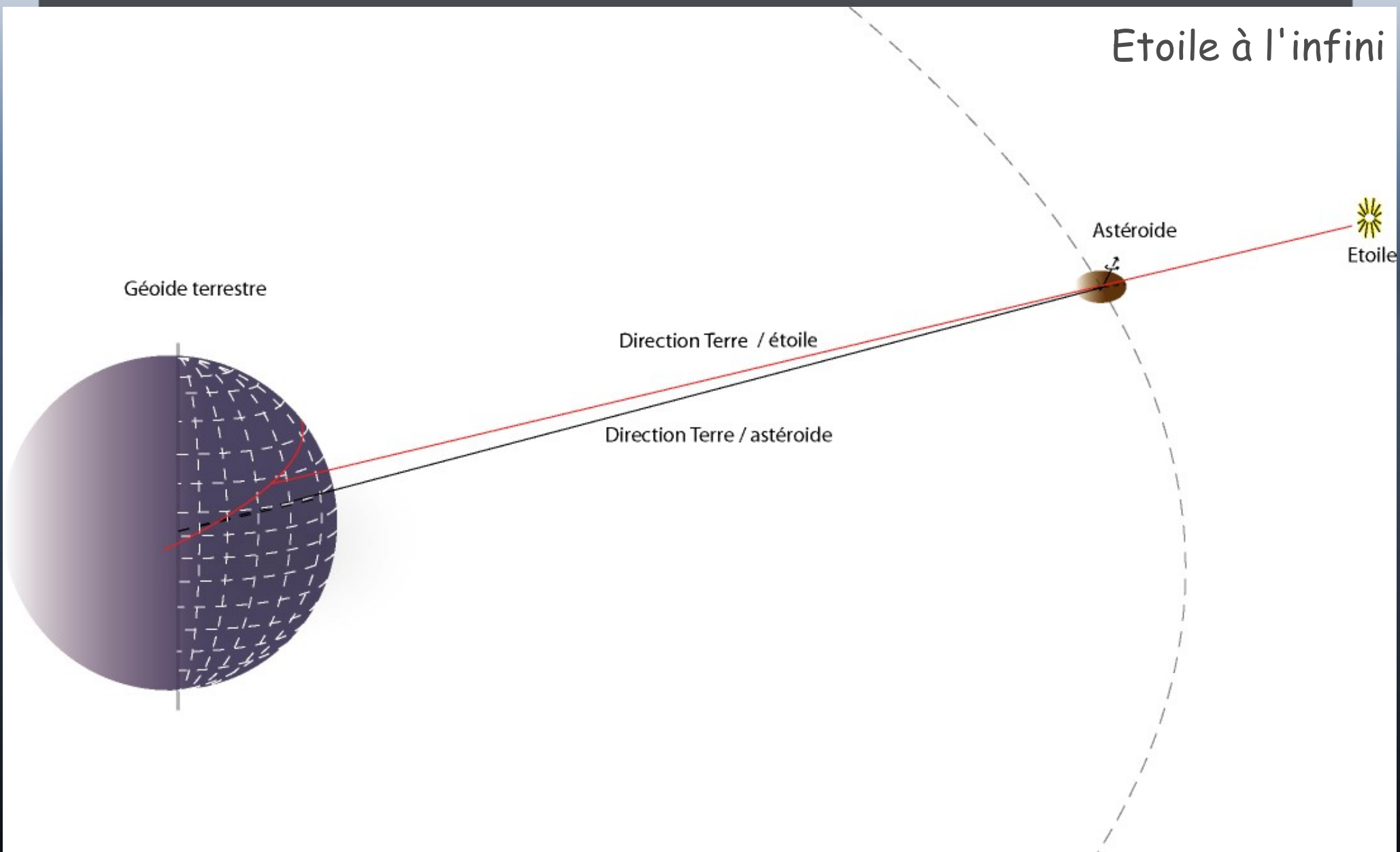
Prédictions

Circonstances générales

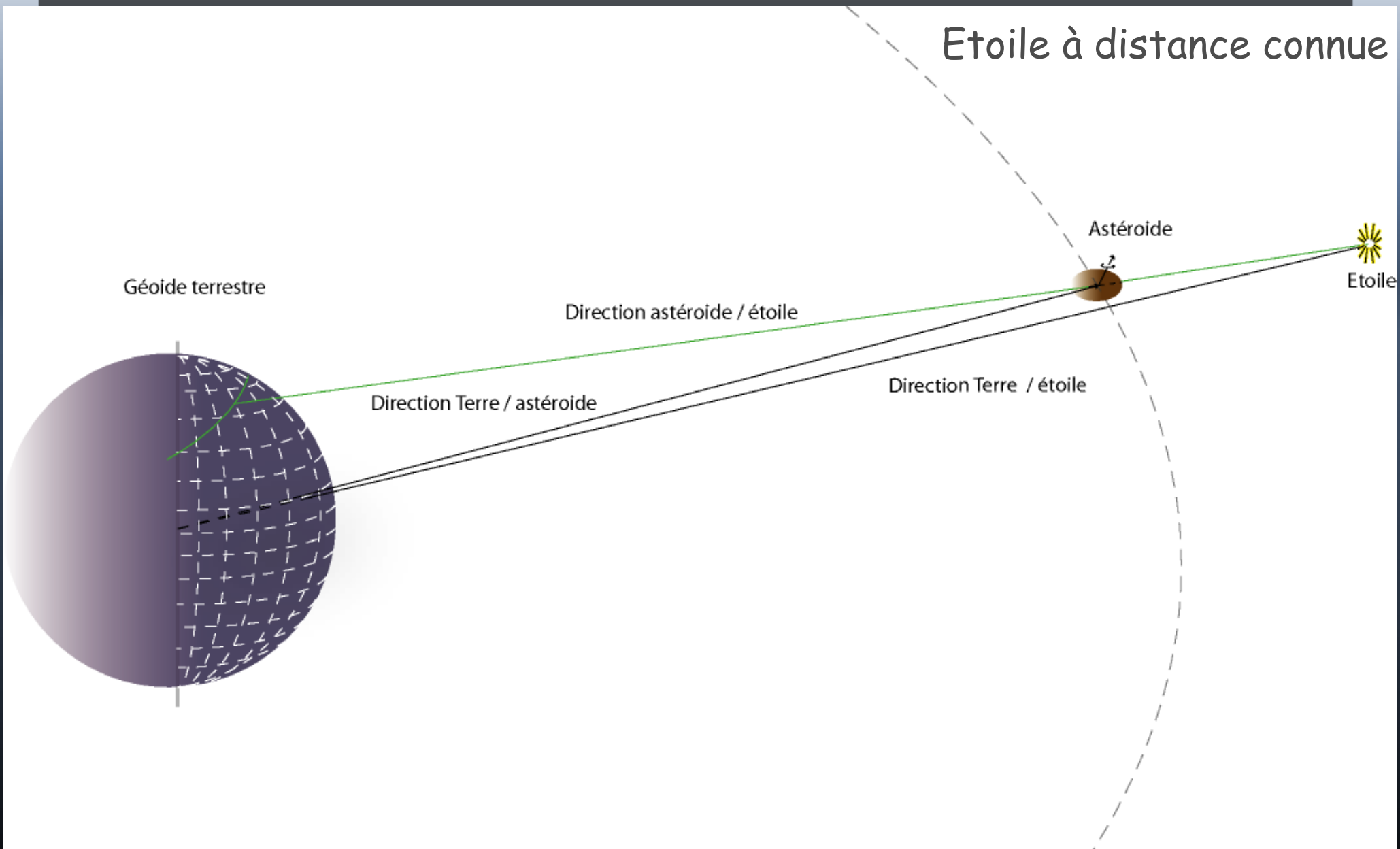
- Approche géométrique :

Lieux de visibilité = intersection entre la direction de l'étoile
vue depuis l'astéroïde et le géoïde terrestre

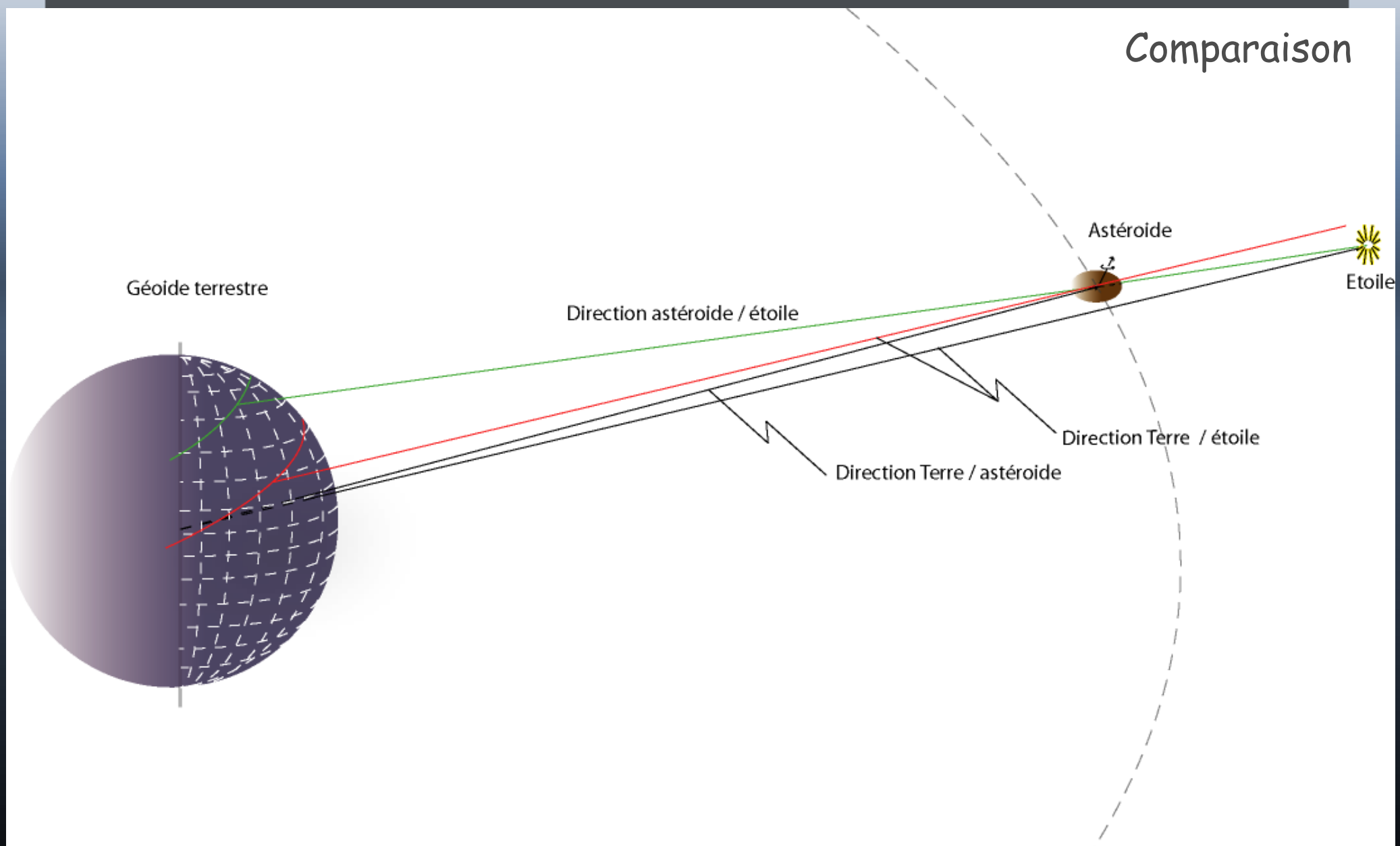
Etoile à l'infini



Etoile à distance connue



Comparaison



Prédictions

Incertitudes

- Sources des erreurs rendant imprécises les prédictions d'occultation :
 - Ephémérides des corps célestes : données orbitales et catalogues stellaires
 - Approximations dans les calculs (système de référence, aberrations de la lumière, parallaxe, etc.)
 - Méthode de calcul des circonstances générales

Prédictions

Incertitudes

Sources	Erreur angulaire	Erreur sur la prédiction
Ephémérides des astéroïdes	50 mas à 1000 mas	75 km à 3625 km (*)
Ephémérides des étoiles	50 mas à 300 mas	35 km à 215 km
Parallaxe des étoiles	1 mas à 100 mas	1 km à 400 km
Ellipsoïde de révolution	1 mas à 70 mas	1 km à 50 km
Atmosphère terrestre	< 0.7 mas	< 0.5 km

mas = milliseconde de degré

(*) pour des astéroïdes situés entre 2 et 5 UA de la Terre

Prédictions

Incertitudes

Ok pour la ceinture principale :

les nombreux succès valident les méthodes de prédiction

Moyennement bon pour les NEAs et certaines catégories d'astéroïdes

Pas bon pour la ceinture de Kuiper :

incertitudes trop grandes sur les orbites des corps

Prédictions

Améliorations

- Poursuivre les campagnes d'observations astrométrique et photométrique des astéroïdes
- Réaliser des observations astrométriques de dernière minute si nécessaire (essentiel pour les TNOs)
- Valider la position catalogue de l'étoile occultée
- Prendre en compte la géométrie complète de l'occultation

- Protocole d'observation bien rodé
- Ne pas négliger l'analyse

Occultation du Soleil par Vénus, 2012

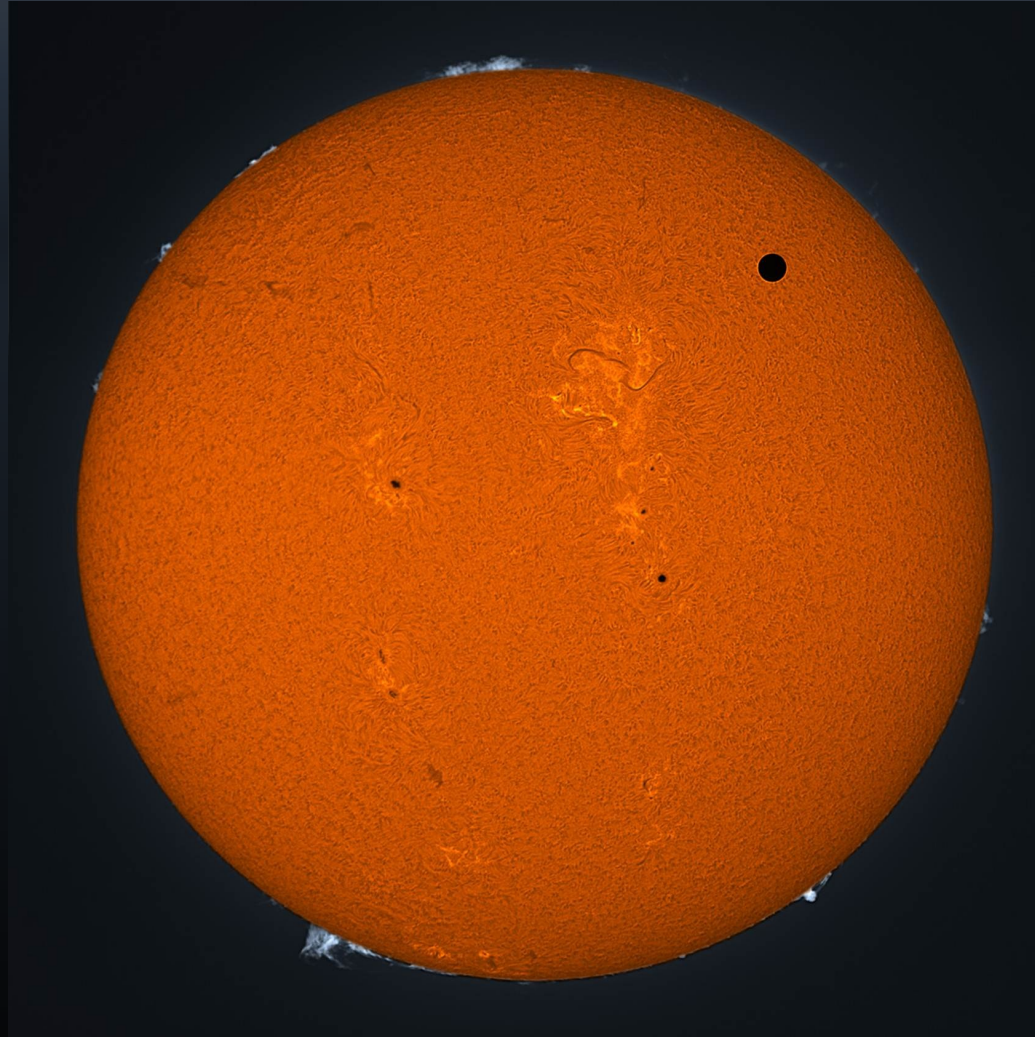


Image Credit & Copyright: Chris Hetlage
Source : APOD 7 juin 2012

WETO 2012 - Observatoire de Paris, 8-10 juin 2012

Occultation du Soleil par Vénus, 2012

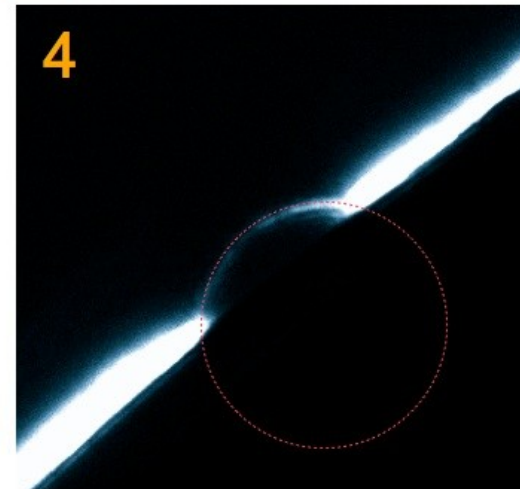
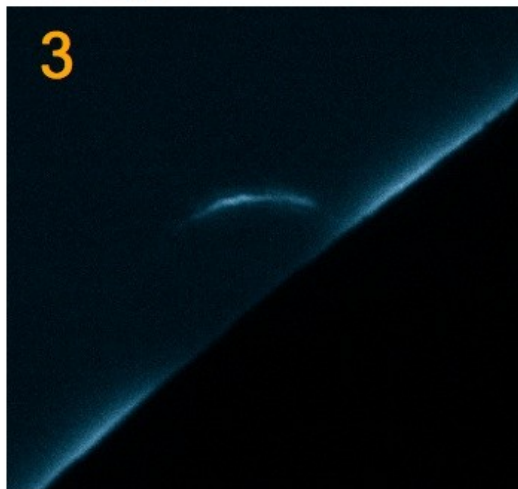
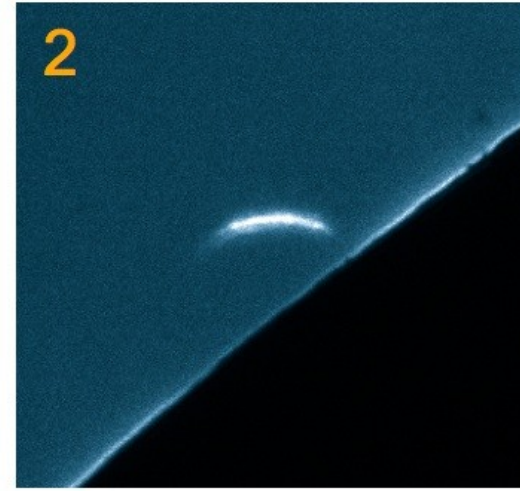
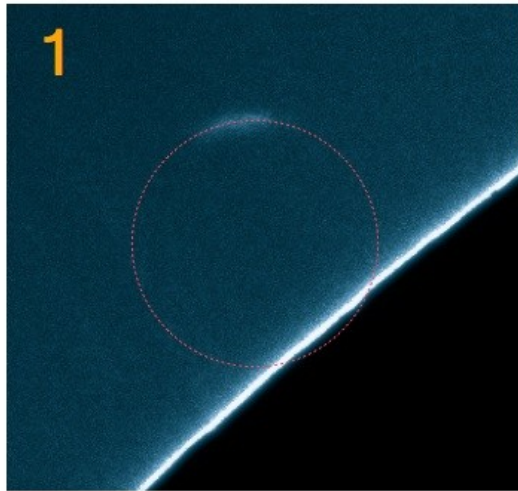
Station de Longyearbyen, Svalbard
E15°33' N78°13'



Occultation du Soleil par Vénus, 2012


Venus Twilight Experiment

Aureole at ingress, on June 5, 2012



P. Tanga, Laboratoire Lagrange, Obs. de la Côte d'Azur; Th. Widemann, LESIA, Obs. de Paris - Venus Twilight Experiment

P. Tanga, Venus Twilight Coronagraph at Lowell Observatory, Arizona, USA

A wide-angle photograph of a snowy, mountainous landscape under a bright sun with a lens flare. The foreground shows a body of water with ice floes.

Questions ?