

LIGIER · Nicolas



## Présentation de stage

Direction : Bruno Sicardy

Analyse d'occultations stellaires :

- Varuna (8 Janvier 2013)
- Chariklo (3 Juin 2013)



# Plan de la présentation

## I.) Méthode : l'occultation stellaire

- A) Principe
- B) Prédiction et campagne

## II.) Le TNO Varuna, 8 Janvier 2013

- A) Contexte
- B) L'occultation
- C) Méthodologie
- D) Résultat et discussion

## III.) Le Centaure Chariklo, 3 Juin 2013

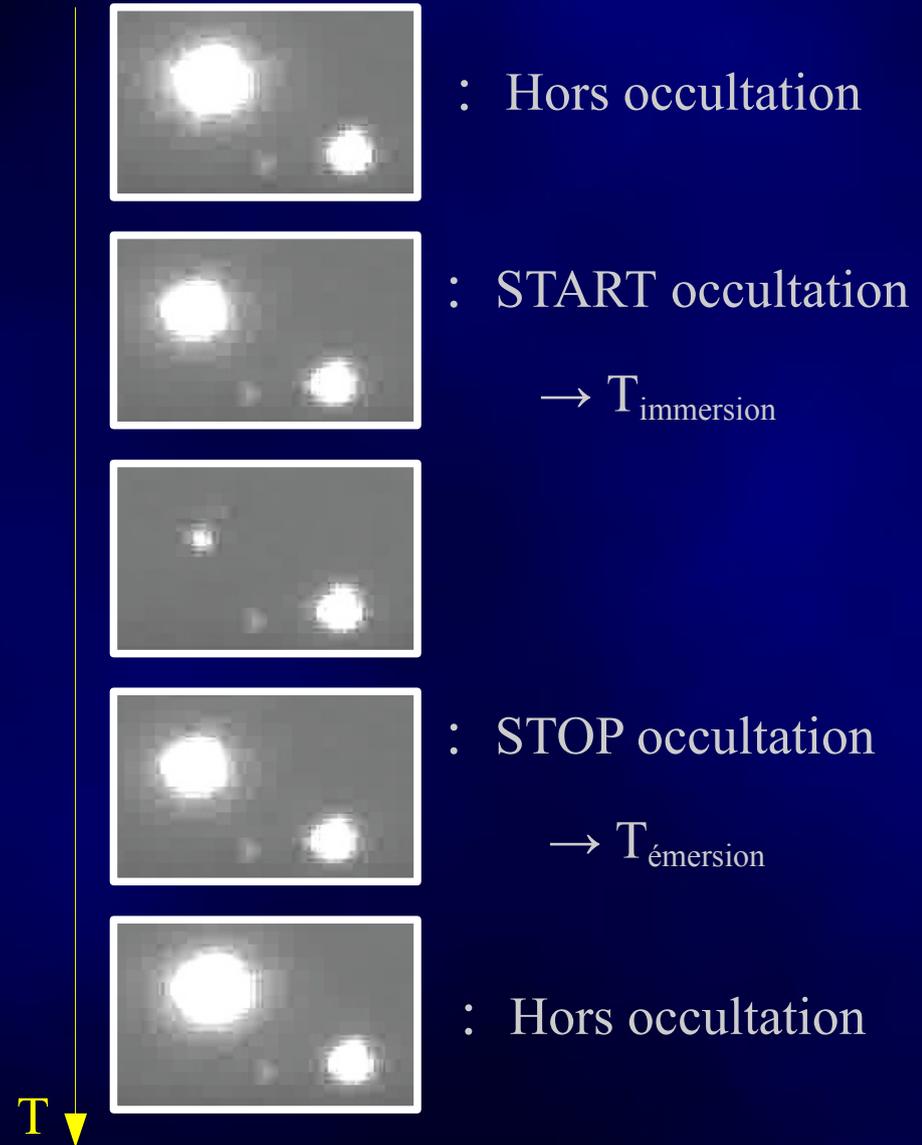
- A) Contexte
- B) L'occultation
- C) Résultats et discussion

# I.) Méthode : l'occultation stellaire

## A) Principe :

Occultation stellaire ~ éclipse solaire

→ Ombre projetée = forme du corps



→ Deux types d'informations :

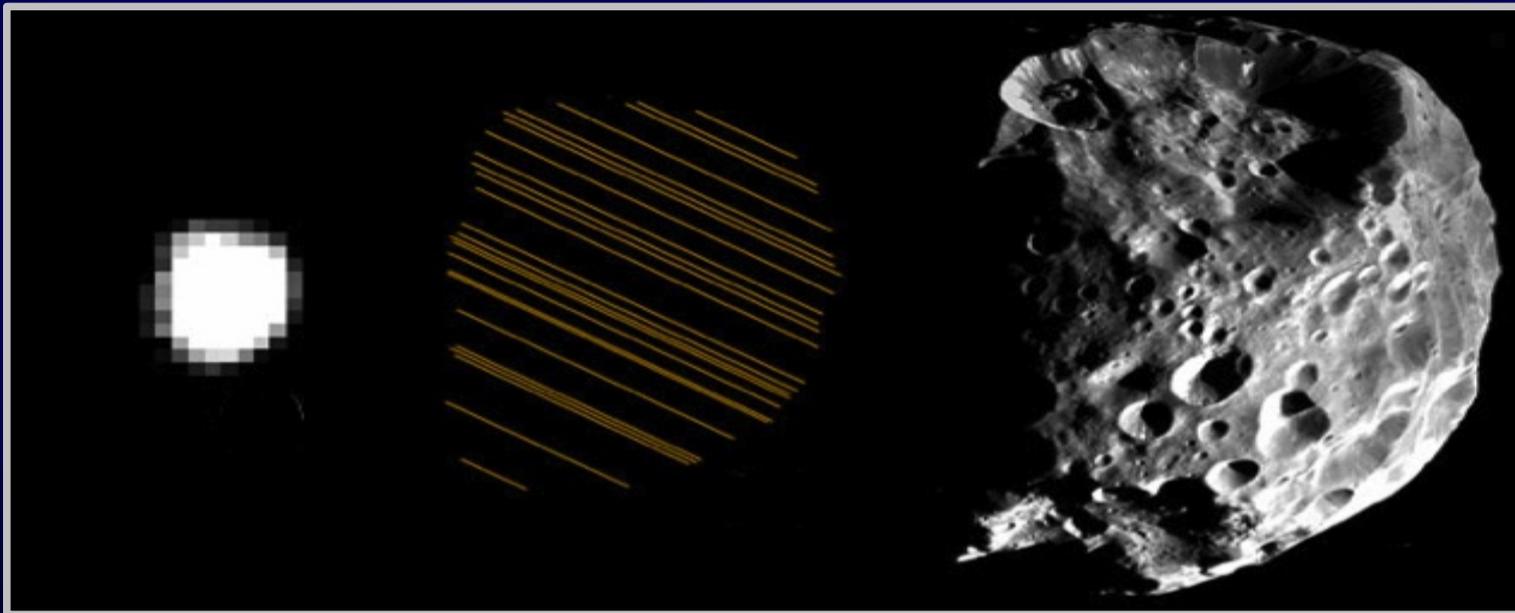
- Profil du flux lumineux

- Temps d'occultation :  $\Delta T = T_{\text{immersion}} - T_{\text{émersion}}$

- Avec  $v_{\text{objet}}$  → distance... = cordes d'occultation (CO)

- Accumulation CO → forme et dimension : précision km !

→ s'affranchir de l'hypothèse sur l'albédo...



## B.) Prédiction et campagne :

### 1) Prédiction : Ephéméride .vs. Catalogue stellaire

- Ephéméride = position prévue objet (JPL, IMCCE)
- Catalogues stellaires

Catalogue	Auteur (date)	Mag. limite	Préc. Astromét.	Nb. Etoiles
HIPPARCOS	Perryman et al. (1997)	9	1 mas	118218
TYCHO-2	Høg et al. (2000)	12	32 mas	$2,5 \cdot 10^6$
UCAC2	Zacharias et al. (2004a)	16	15 - 70 mas	$4,83 \cdot 10^7$
UCAC3	Zacharias et al. (2010)	16	15 - 100 mas	$1,0 \cdot 10^8$
USNO B1.0	Monet et al. (2003)	21	200 mas	$1,05 \cdot 10^9$

### 2) Sélection : - magnitude apparente étoile

- $v_{\text{objet}} : v_{\text{objet}} \text{ lent} \rightarrow \text{Intégration} + \text{grand... et vice versa}$

### 3) Événement sélectionné :

$\rightarrow$  Déterminer précisément où et quand...

Pour cela : étude astrométrique approfondie :

- amélioration catalogue stellaire : incertitude  $< 50$  mas
- Calcul « offset » = la dérive des éphémérides

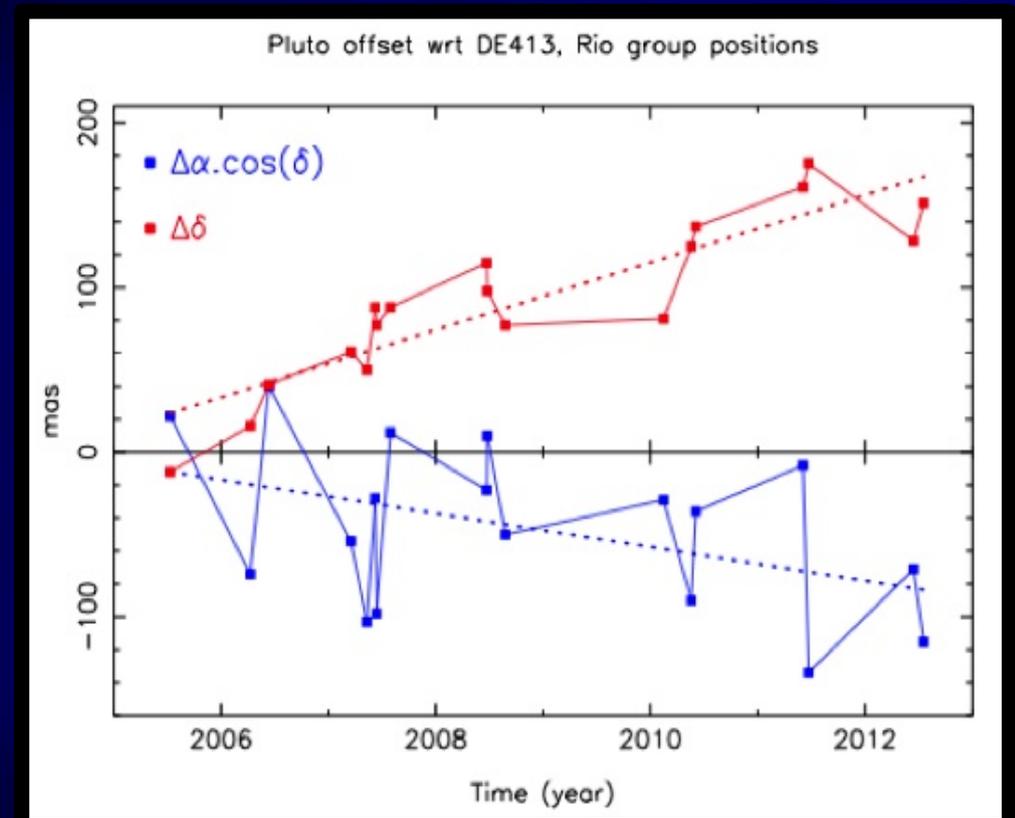
Offset évolue + ou – linéairement

→ Mesure juste avant occultation

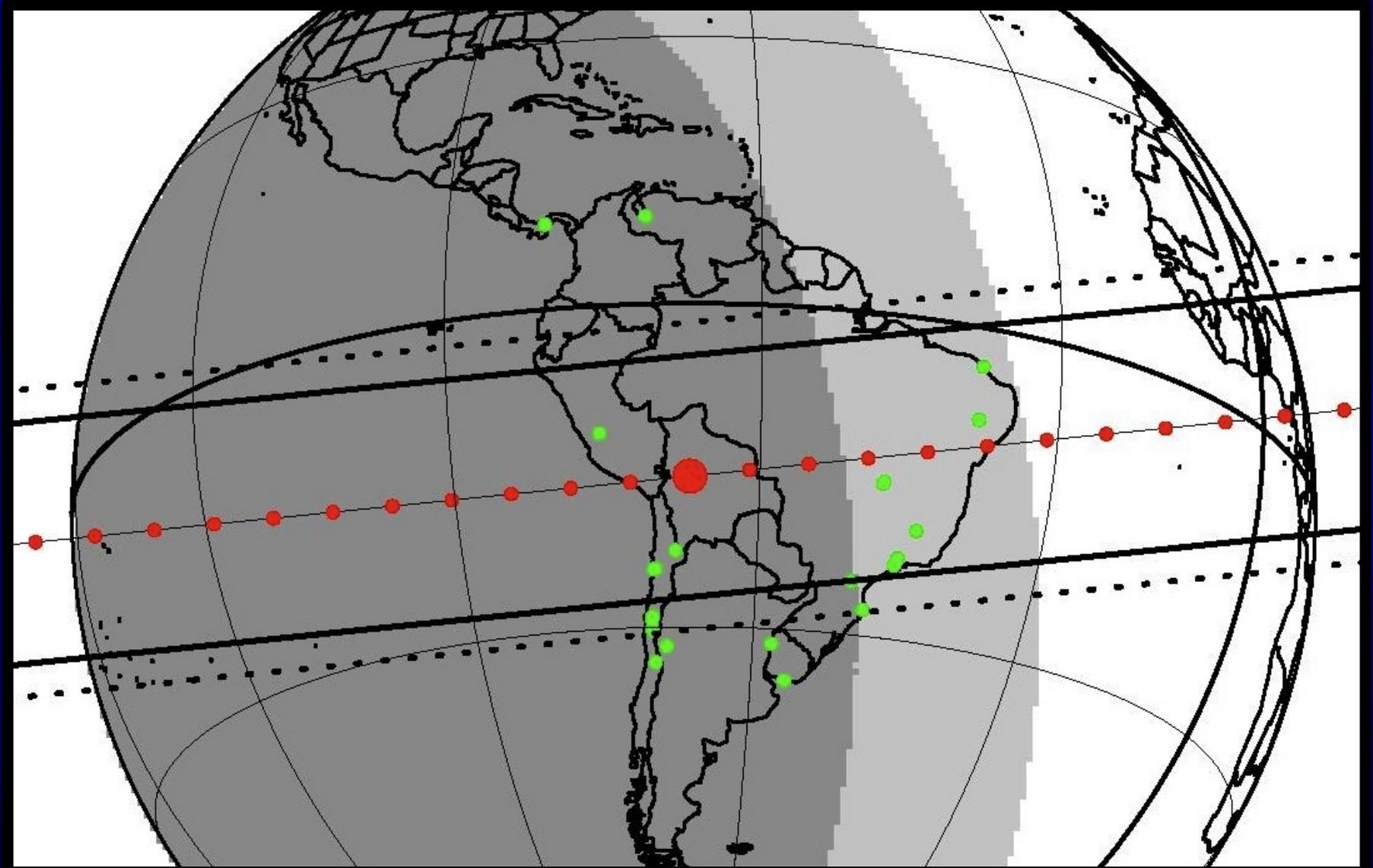
Plusieurs groupes :

- Mr Camargo (Bresil)
- Mr Vachier (France)
- Mr Behrend (Suisse)

...



... le résultat d'une telle étude :



Prédiction du 2 Mai 2013 pour occultation par Pluton le 4 Mai 2013

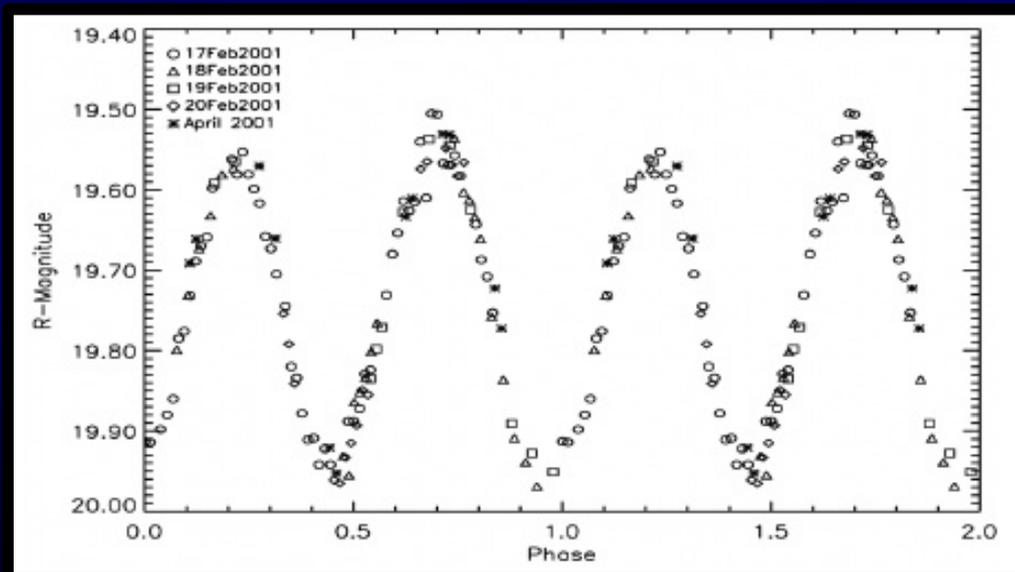
## II.) Varuna : l'occultation du 8 Janvier 2013

### A) Contexte :

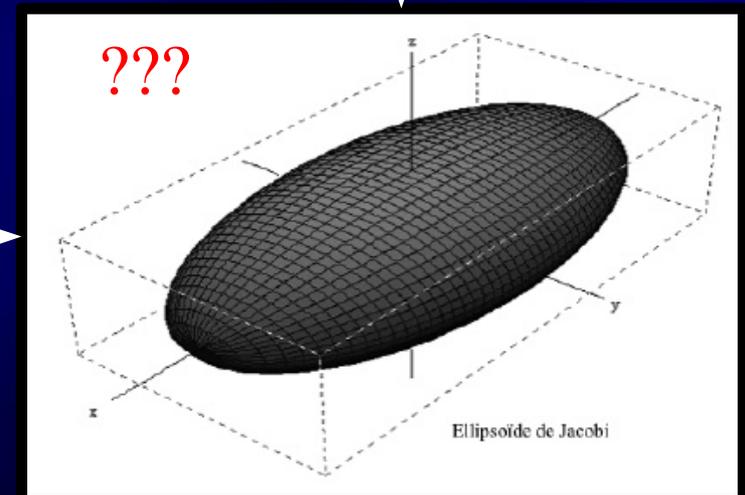
- Varuna = TNO dimensions mal contraintes :
- Une occultation précédente (2009)
  - mais 1 seule corde d'occultation...
- Grande variation du flux lumineux :
  - avec Période = 6,34 heures !

Size estimates for Varuna:

Year	Diameter (km)	Notes
2001	900 <sup>[14]</sup>	Jewitt
2002	1060 <sup>[15]</sup>	Lellouch
2005	936 <sup>[16]</sup>	Grundy
2005	>621 <sup>[5]</sup>	Spitzer 2-Band
2007	502 <sup>[5]</sup>	Spitzer 1-Band



???

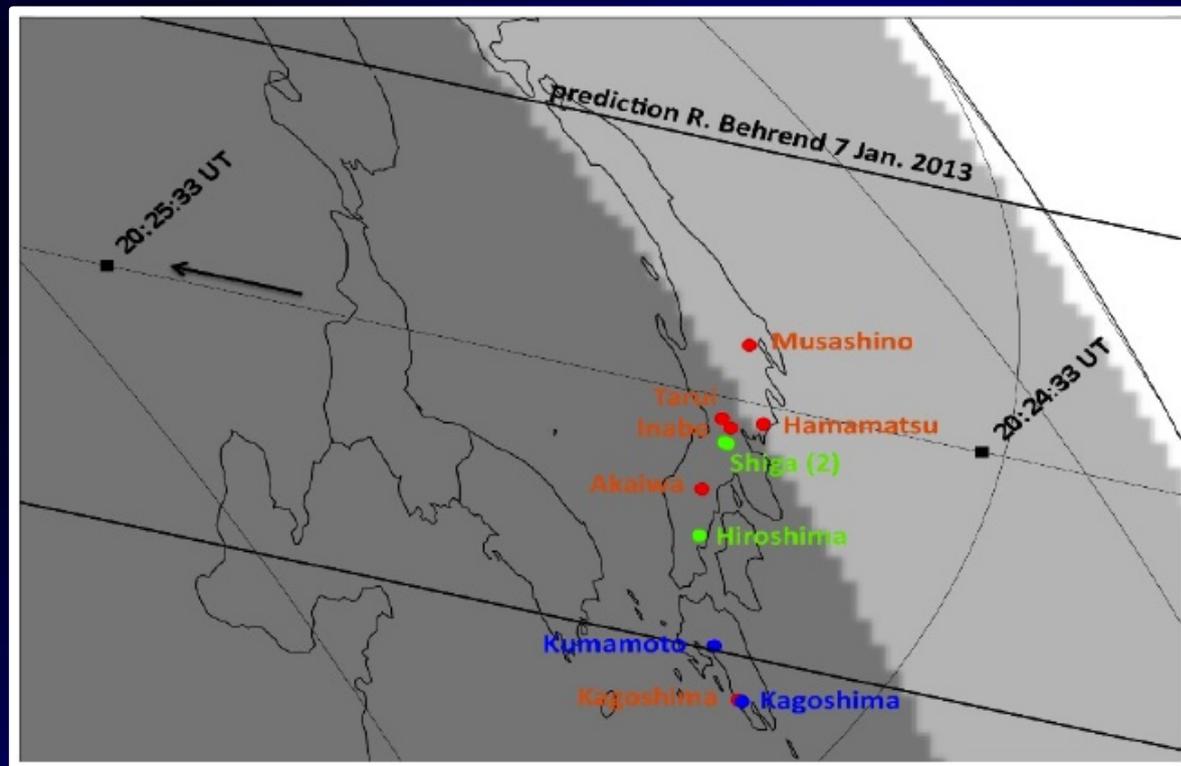


## B) L'occultation :

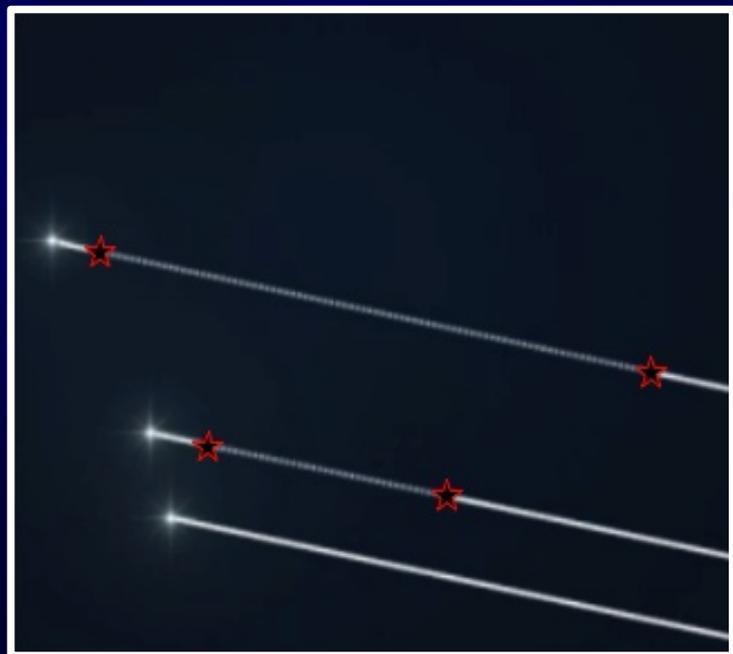
8 Janvier 2013 : au Japon

→ À deux endroits :

- Shiga
- Hiroshima



→ Donc 2 cordes d'occultation :



Shiga

Hiroshima  
Kumamoto

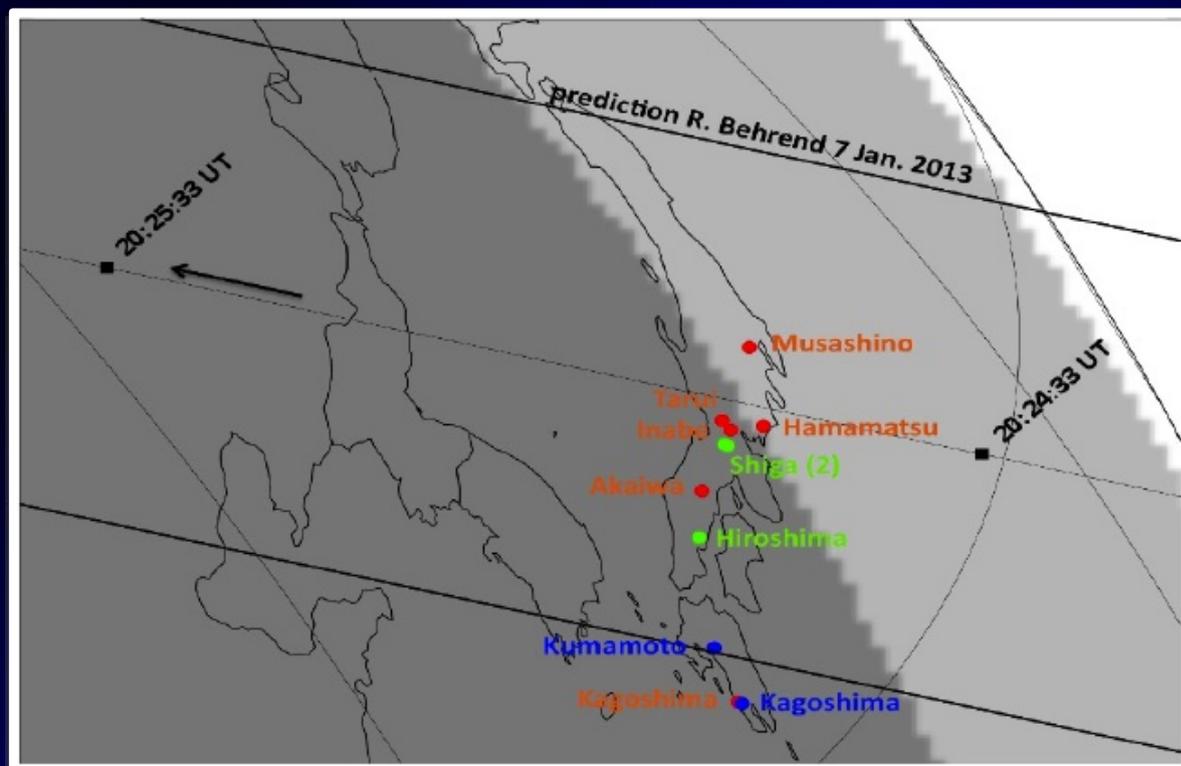
Bien mais...

## B) L'occultation :

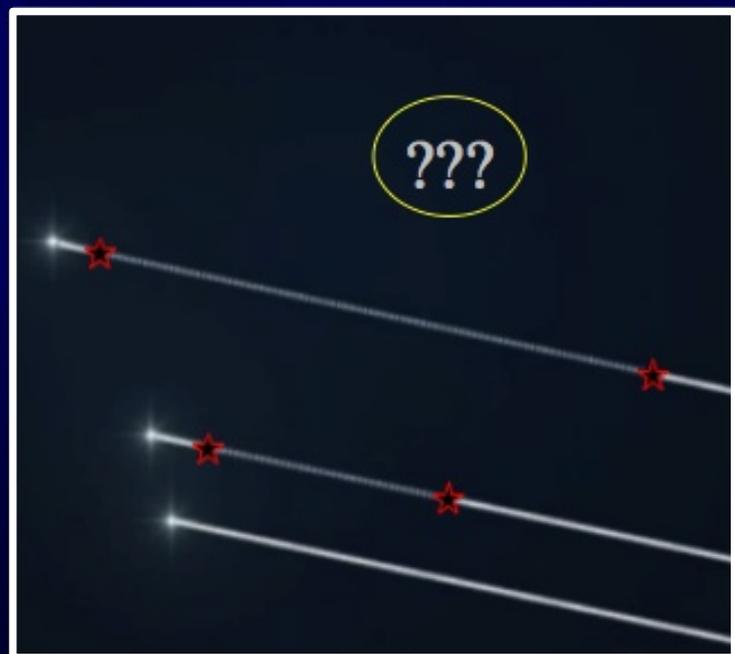
8 Janvier 2013 : au Japon

→ À deux endroits :

- Shiga
- Hiroshima



→ Donc 2 cordes d'occultation :



Shiga

Hiroshima

Kumamoto

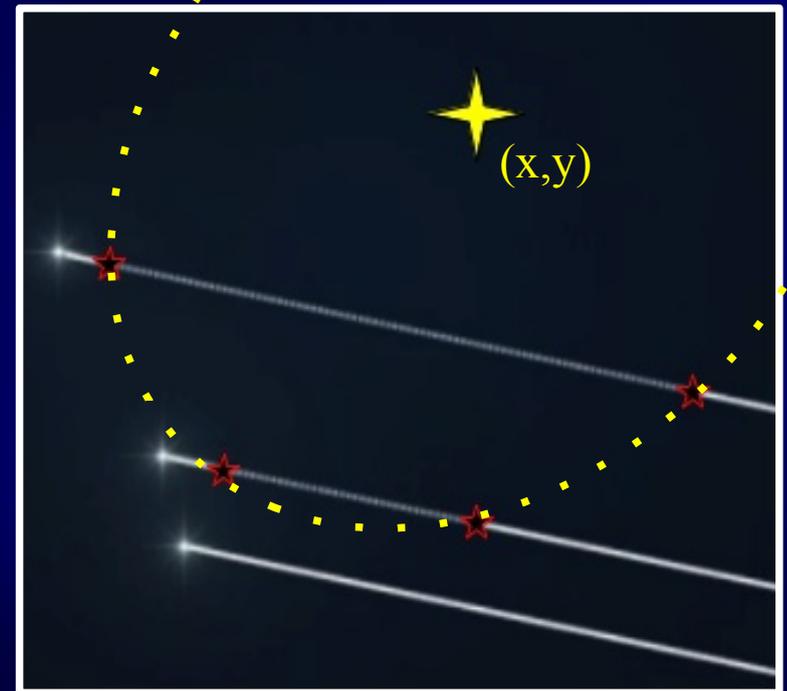
Pas suffisant pour tracer une ellipse !

Ellipse = 5 paramètres

- a : demi-grand axe de l'ellipse
- b : demi-petit axe de l'ellipse
- p : l'angle entre direction Nord et demi-petit axe b
- (x,y) : coordonnées du centre de l'ellipse

Objectif n°1 : Déterminer (x,y)

Objectif n°2 : Caractériser  $T_{imm}$  et  $T_{éme}$



## C) Méthodologie :

- Objectif n°1 → Offset du centre :

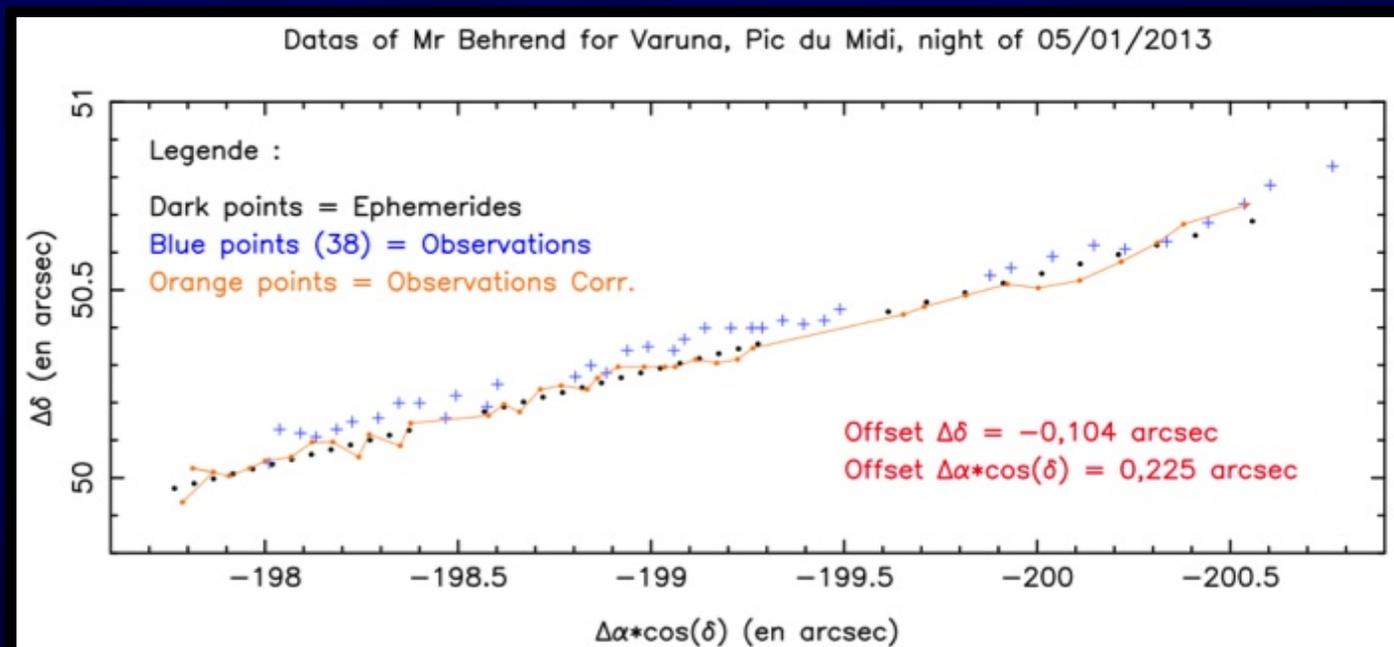
Données : Observations juste avant (5, 6, 7 Janvier) et juste après (8 Janvier)

Ephéméride : JPL (<http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>)

Code : retourne  $(\Delta X ; \Delta Y)$  pour le meilleur fit ( $RMS_{\min}$ )

avec :  $\Delta X = \text{Offset}_{(\text{DEC})} = (\alpha_{\text{eph}} - \alpha_{\text{obs}}) \times \cos(\delta_{\text{eph}}) = \Delta\alpha \times \cos(\delta_{\text{eph}})$

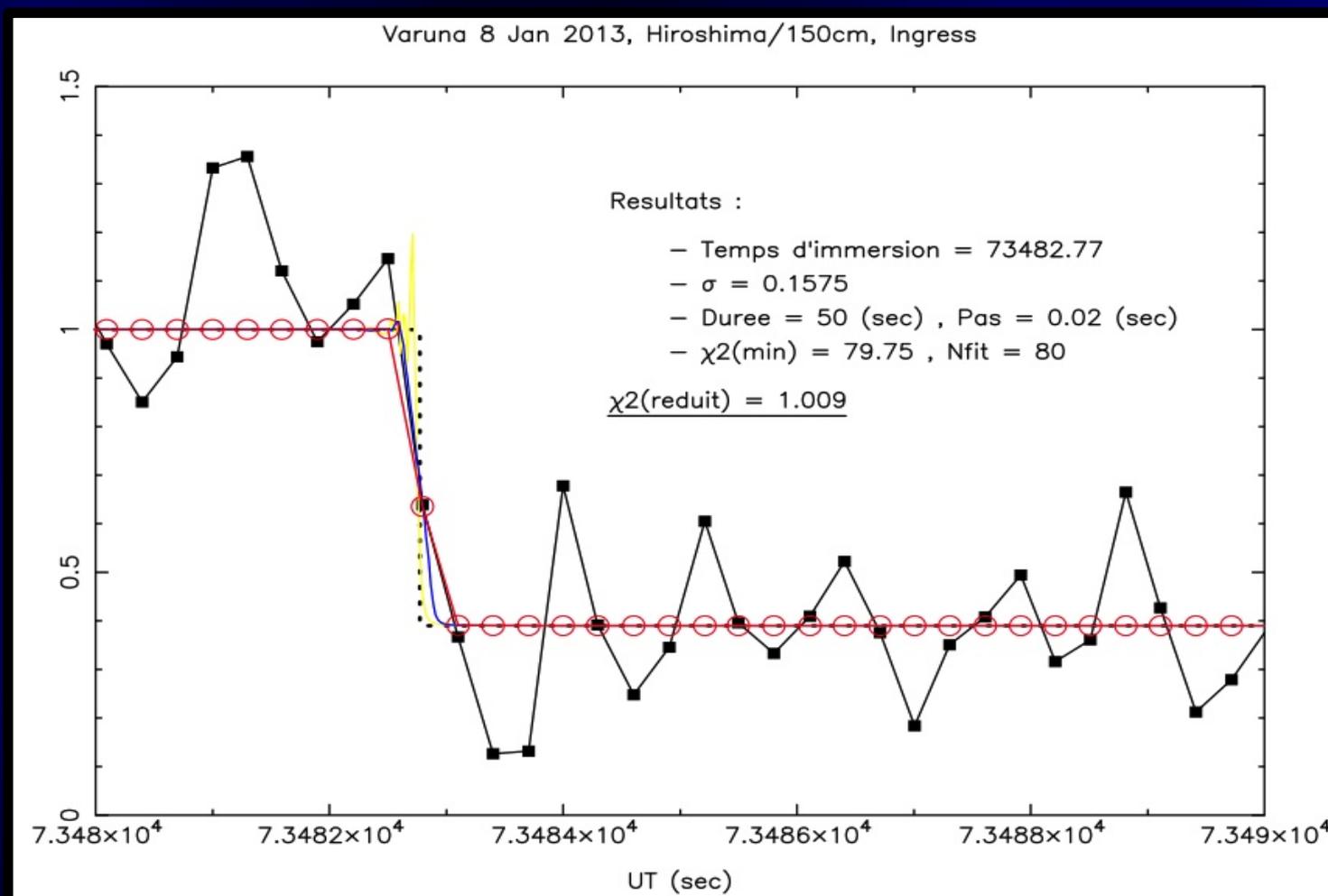
$\Delta Y = \text{Offset}_{(\text{RA})} = \delta_{\text{eph}} - \delta_{\text{obs}} = \Delta\delta$



- Objectif n°2 → Timing des évènements :

Utilisation code existant → Meilleur fit + Test du  $\chi^2$  pour barres d'erreurs

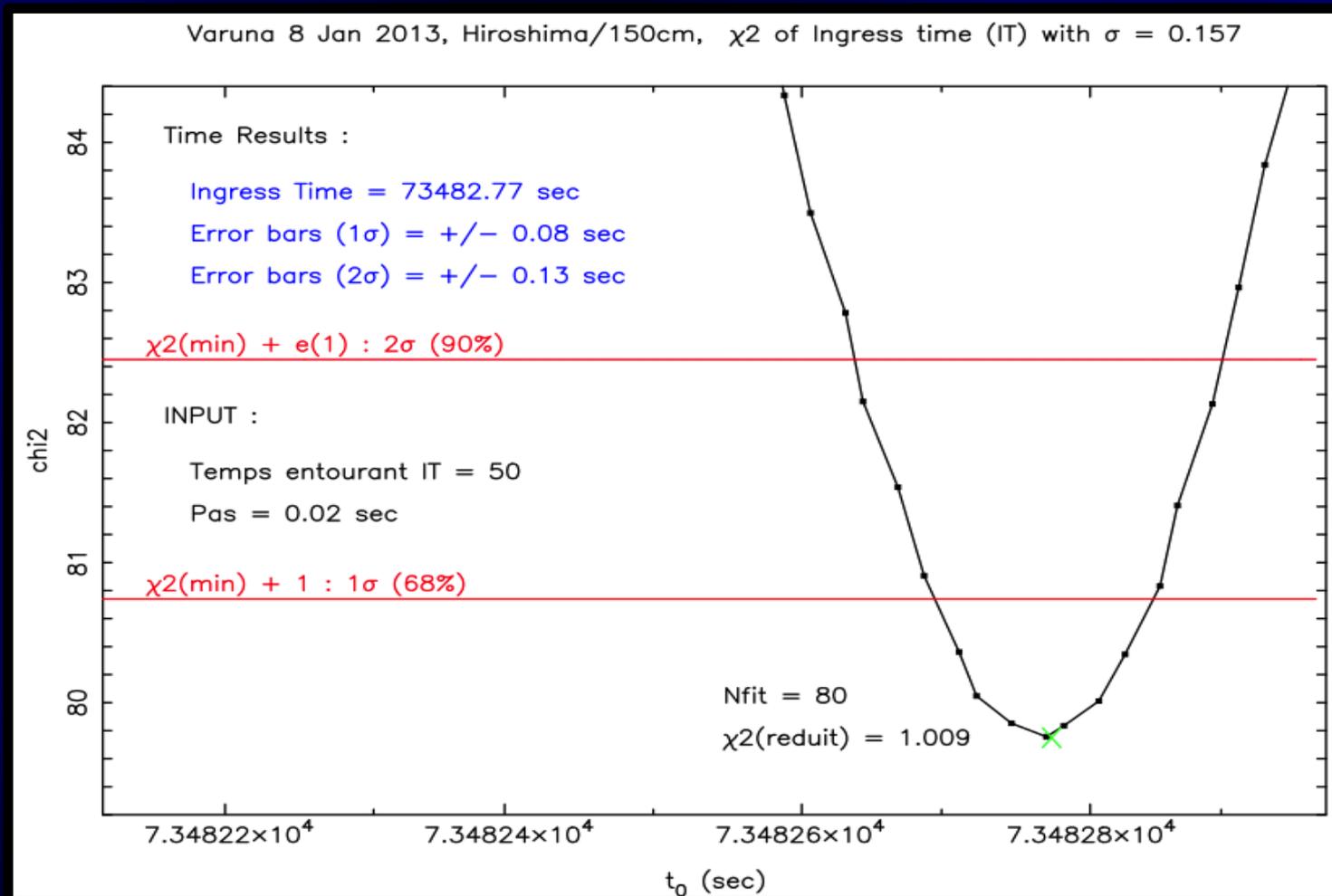
ex :  $T_{imm}$  Hiroshima



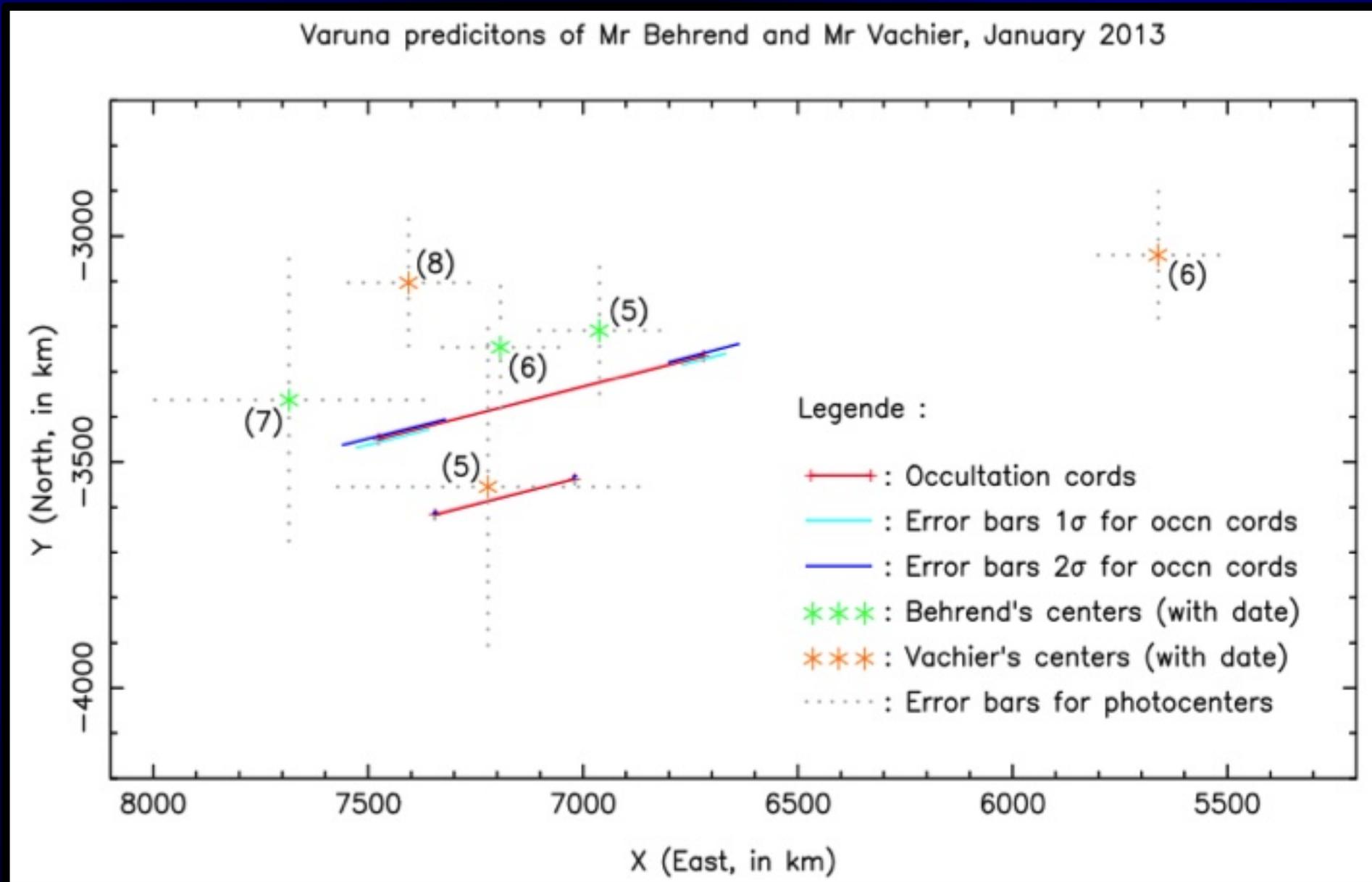
- Objectif n°2 → Timing des évènements :

Utilisation code existant → Meilleur fit + Test du  $\chi^2$  pour barres d'erreurs

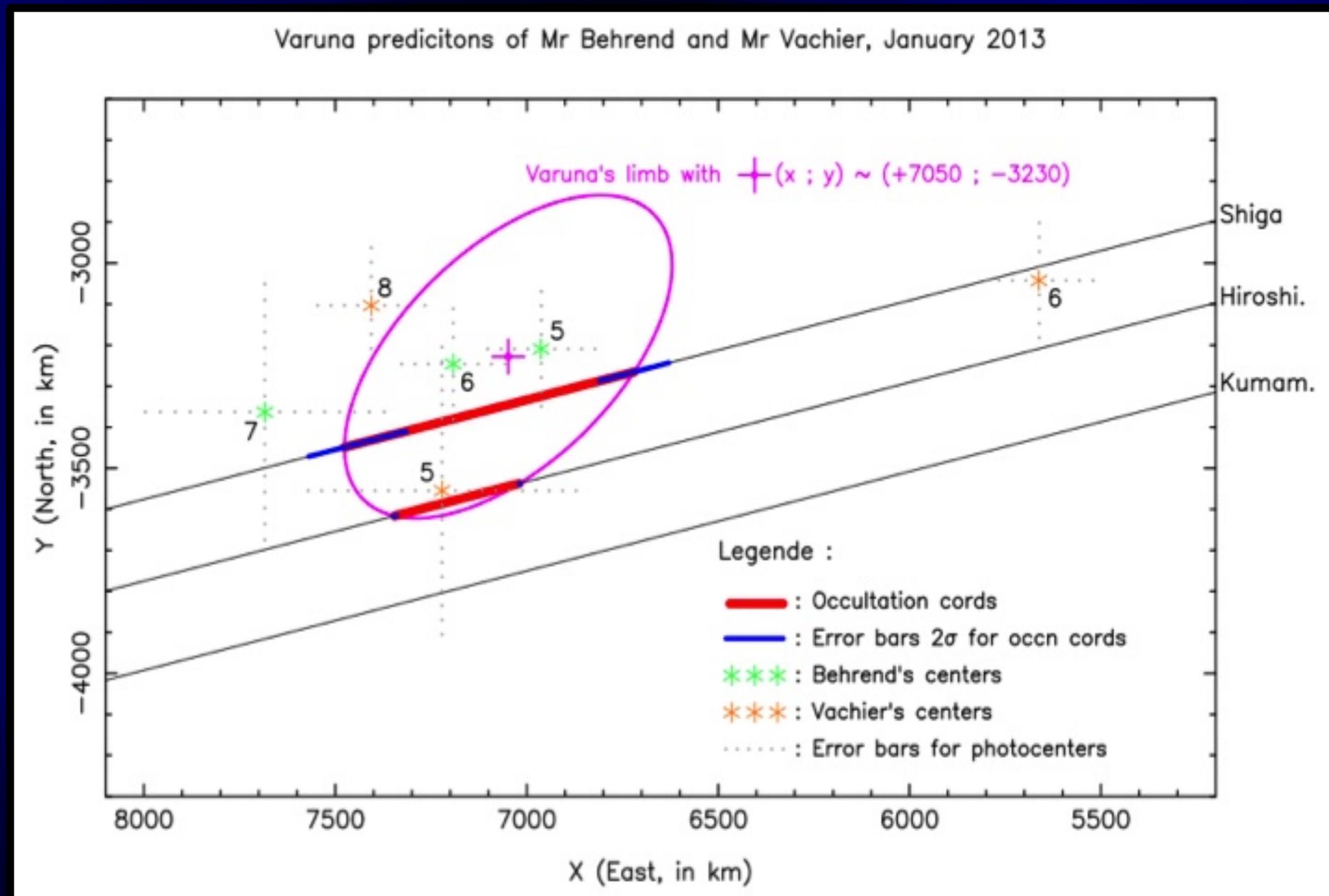
ex :  $T_{imm}$  Hiroshima



D) Résultat et discussion :



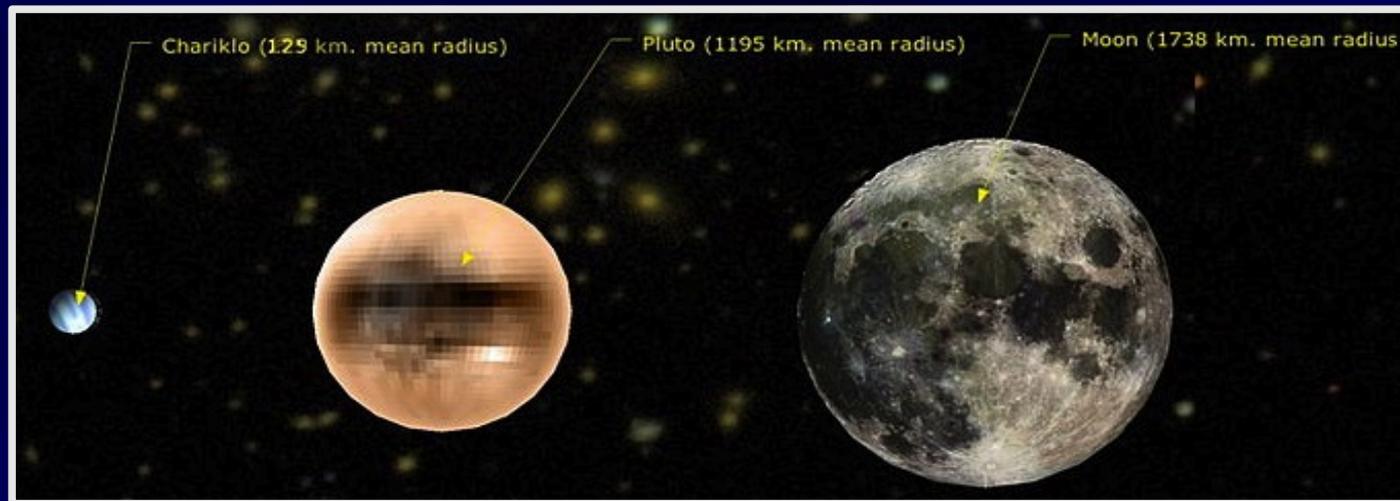
Fit elliptique → algorithme "simplexe" :



## III.) Chariklo : l'occultation du 3 Juin 2013

### A) Contexte :

- Chariklo (1997CU<sub>26</sub>) = Plus grand représentant Centaure

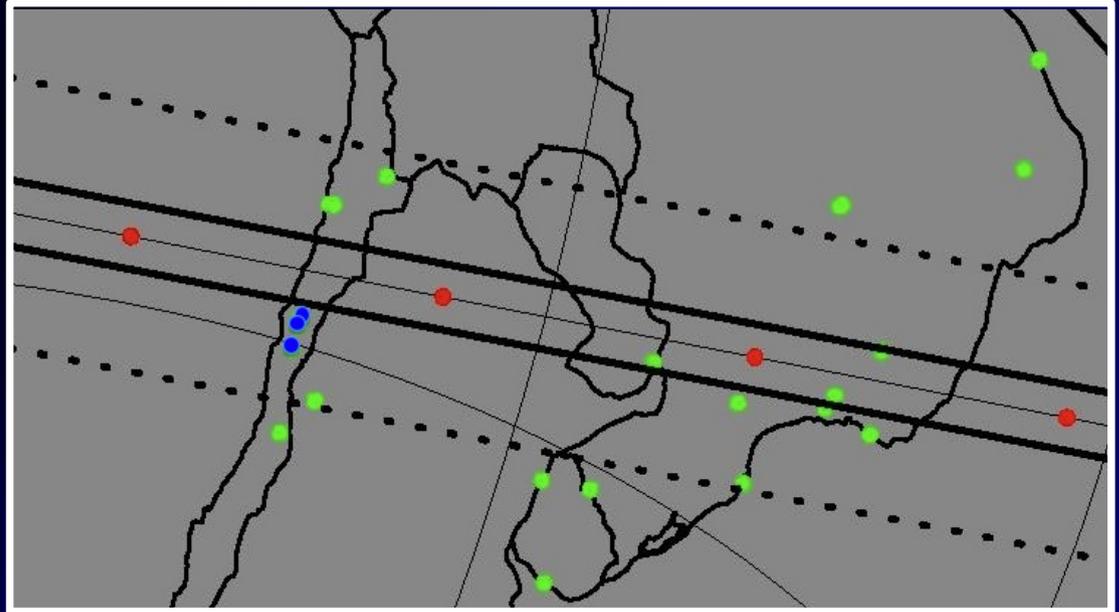


- Orbite : entre Saturne et Uranus :  $p = 13,08$  UA et  $q = 18,66$  UA
- Activité cométaire ? → Non... (Guilbert-Lepoutre 2011 ; Fornasier 2013)
- Flux lumineux  $\sim$  constant (Peixinho 2001)
- Première occultation stellaire pour Chariklo !

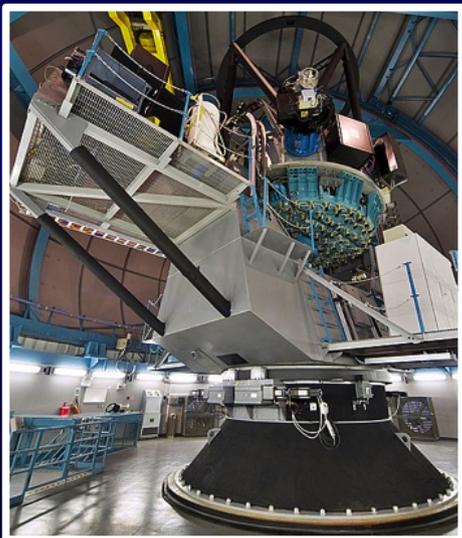
## B) L'occultation :

- Matin du 3 Juin
- Amérique du Sud

3 endroits différents :  
→ Observatoires Chili



Cerro Pachon : SOAR



Cerro Tololo : PROMPT



La Silla : Danish Telesc. & TRAPPIST Telesc.

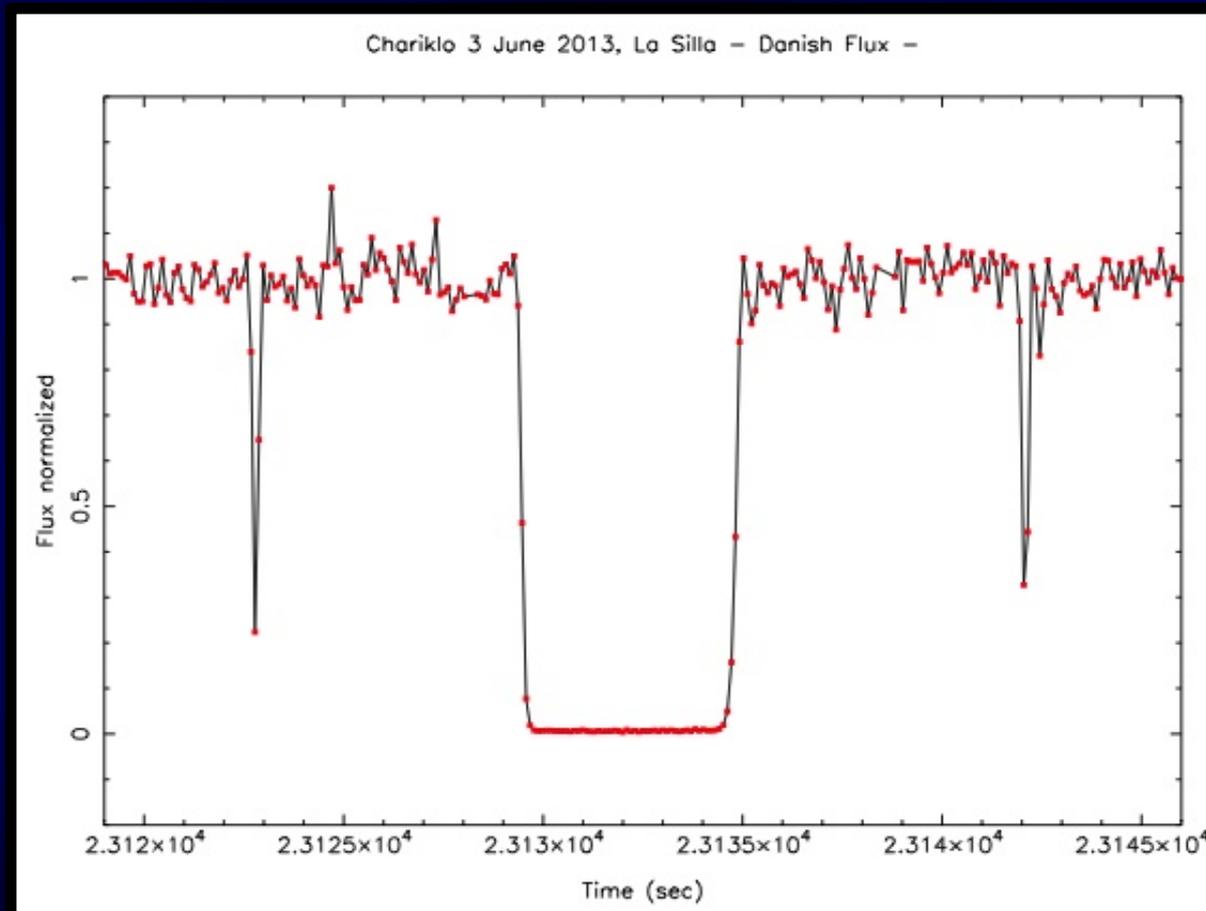


## C) Résultats et discussion :

### 1. Des évènements « secondaires »

→ Baisses du flux lumineux  $\geq 5\sigma$  qui « encerclent » l'occultation...

Télescopes avec occultation positive ET avec occultation négative !



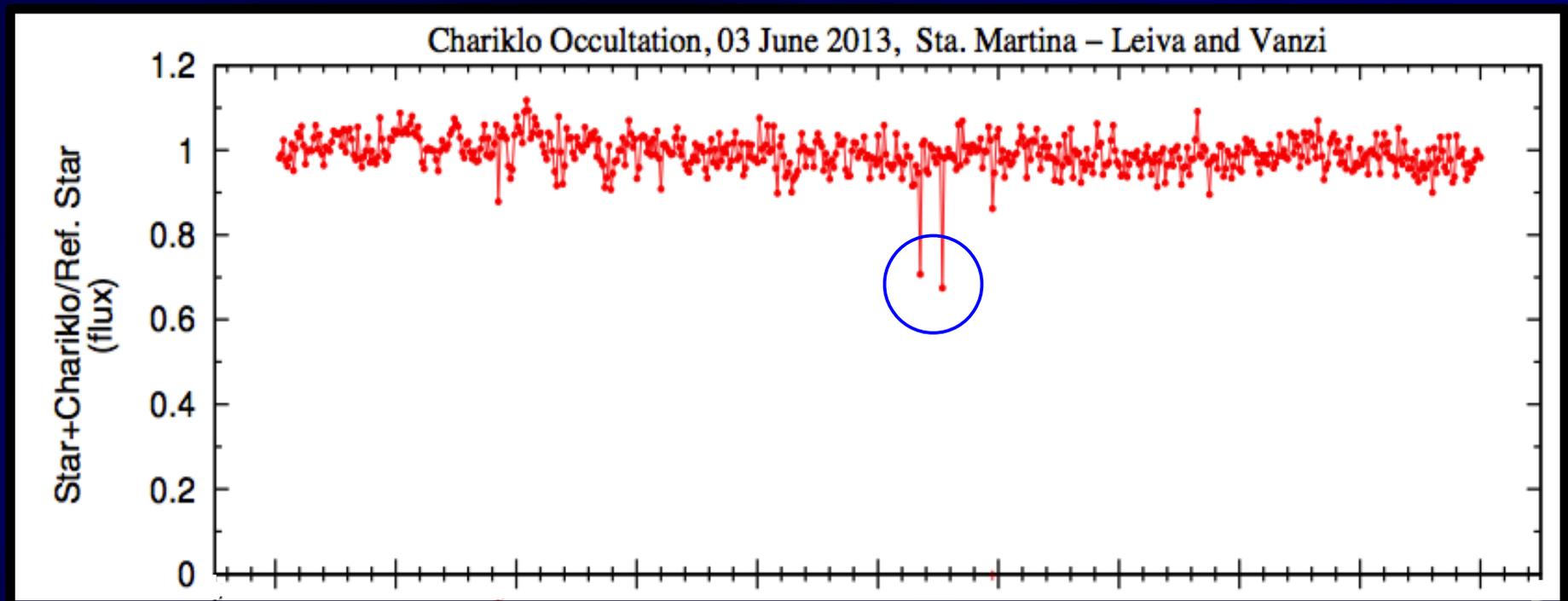
Exemple : La Silla

Danish Telescope  
avec  $T_{\text{pose}} = 0.1$  sec

## 1. Des évènements « secondaires »

→ Baisses du flux lumineux  $\geq 5\sigma$  qui « encerclent » l'occultation...

Télescopes avec occultation positive ET avec occultation négative !



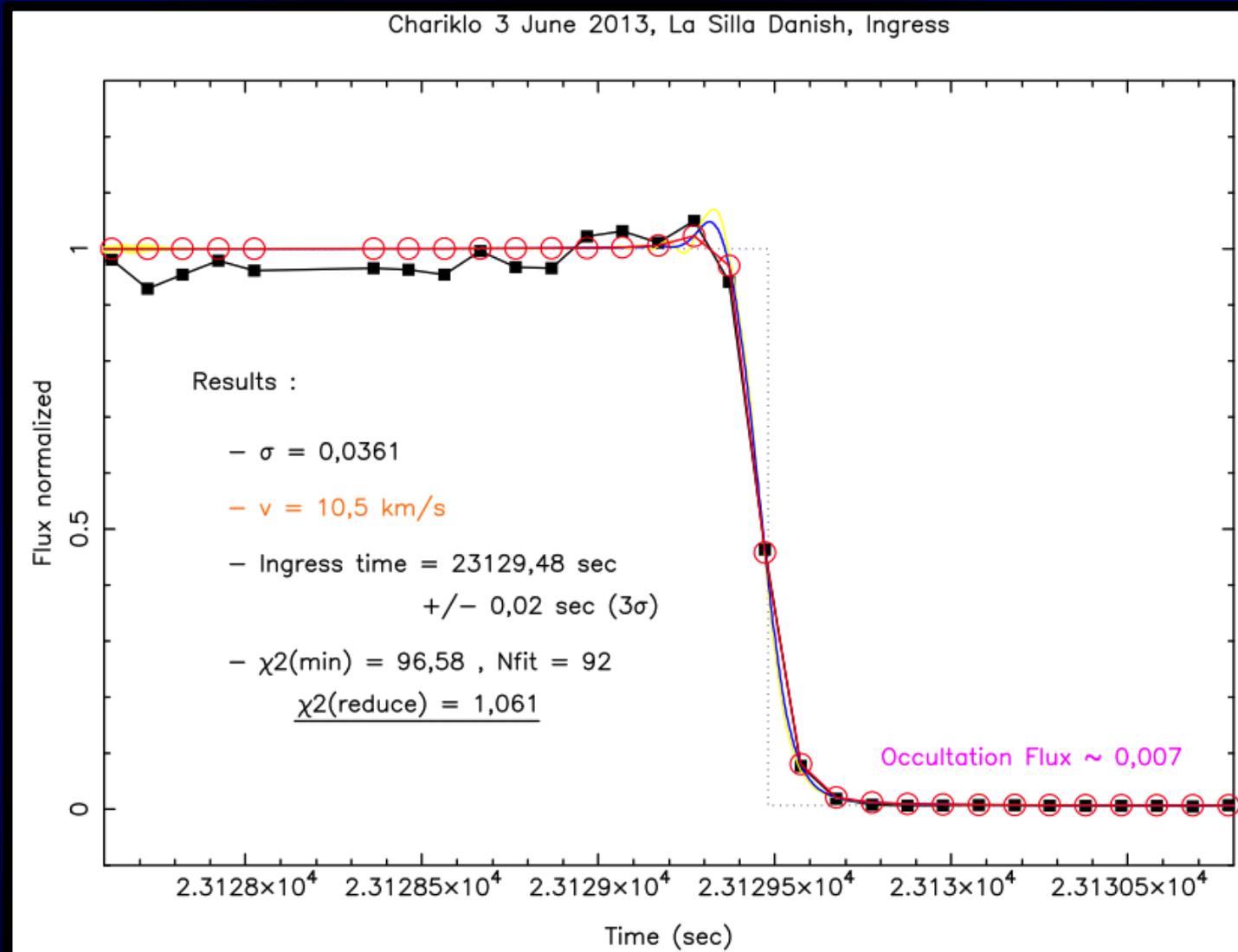
Exemple : Santa Martina (Chili),  $T_{\text{pose}} = 1.0$  sec, à 300km au Sud

Répertorier l'ensemble de ces évènements secondaires :

Nom de l'observatoire	Temps
Foz do Iguacù (Brésil) : → 2 évènements	$T_1 = 23057,2s \pm 2s$ $T_2 = 23074,2s \pm 2s$
Ponta Grossa (Brésil) : → 1 évènement	$T_1 = 23038,5s \pm 2,5s$
La Silla, deux télescopes (Chili) : - Danish : → 2 évènements : - TRAPPIST : → non concluant ( $T_{\text{Exposition}}$ trop grand)...	$T_1 = 23122,8s \pm 0,1s$ $T_2 = 23142,1s \pm 0,1s$
Cerro Tololo, télescope PROMPT (Chili) : → 1 évènement	$T_1 = 23120,0s \pm 1,0s$
Cerro Pachon, télescope SOAR (Chili) : → 2 évènements	$T_1 = 23117,1s \pm 1,5s$ $T_2 = 23138,4s \pm 1,5s$
Bosque Alegre (Argentine) : → 1 évènement	$T_1 = 23109,5s \pm 1,5s$
Santa Martina : → 2 évènements	$T_1 = 23121,6s \pm 0,5s$ $T_2 = 23131,6s \pm 0,5s$

## 2. Fit des temps d'occultation

→ exemple :  $T_{imm}$  Danish Telescope



Ensemble des  $T_{imm}$  et  $T_{éme}$  des 4 sites ( $3\sigma$ ) :

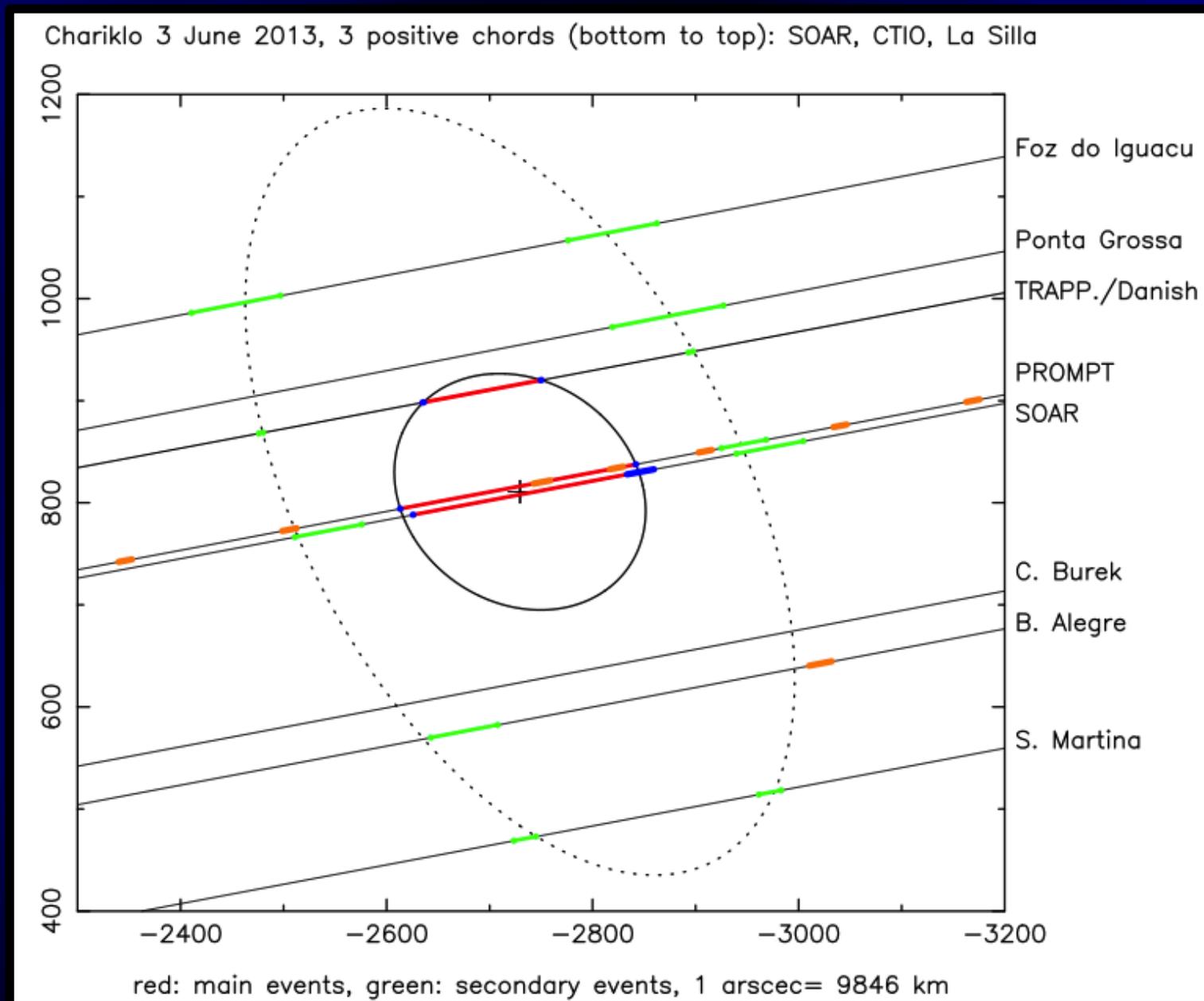
Nom de l'observatoire	Temps d'immersion $T_{imm}$ ( $3\sigma$ )	Temps d'émersion $T_{éme}$ ( $3\sigma$ )
La Silla :		
- Télescope Danish :	$T_{imm} = 23129,48s \pm 0,02s$	$T_{éme} = 23134,81s \pm 0,02s$
- Télescope TRAPPIST :	$T_{imm} = 23127,91s \pm 0,08s$	$T_{éme} = 23133,17s \pm 0,08s$
Cerro Tololo :		
- Télescope PROMPT :	$T_{imm} = 23124,84s \pm 0,03s$	$T_{éme} = 23135,41s \pm 0,02s$
Cerro Pachon :		
- Télescope SOAR	$T_{imm} = 23124,40s \pm 0,60s$ (DT)	$T_{éme} = 23134,60s \pm 0,13s$

Remarque :

Temps bien contraints ( $V_{Chariklo} = 21.6km \rightarrow$  erreurs  $\leq \pm 3km$ ), mais :

- $T_{imm}$  SOAR : Dead Time
- Décalage Danish .vs. TRAPPIST :  $\Delta T_{imm} \sim \Delta T_{éme} \sim 1.6$  sec  
 $\rightarrow$  Problème : Synchronisation UY du Danish Telescope

### 3. Plot général



#### 4. Discussion sur la forme et dimensions de Chariklo

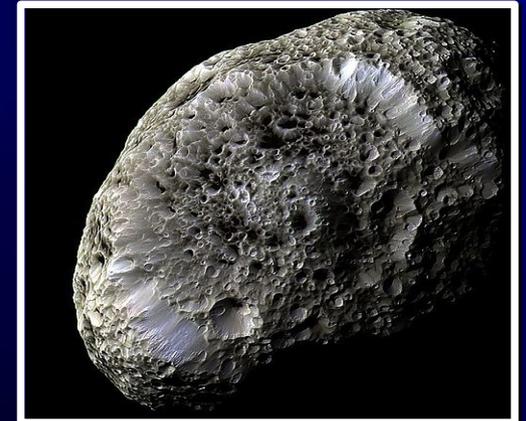
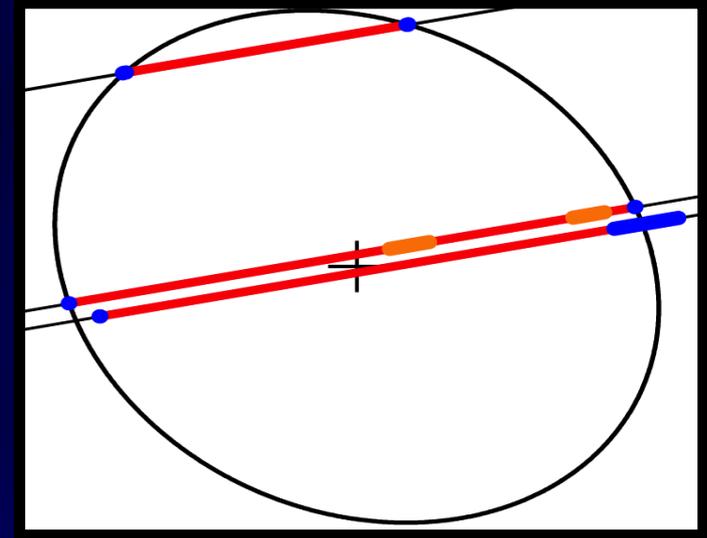
1) Dimensions :  $a \approx 130\text{km}$ ,  $b \approx 105\text{km}$

→ Forme elliptique :  $\varepsilon \approx 0.19$

2) Albédo :  $p_{\text{visible}} \approx 0.06 - 0.07$

Remarques :

- Dimensions + petites et donc albédo + grand (Stansbery et al. 2007)
- Ellipse alors que flux lumineux  $\sim$  constant (Peixinho 2001)
  - Rotation très lente ?
  - Surface non homogène ?
- Léger décalage ( $\approx 7\text{km}$ ) pour émergence à SOAR
  - Synchronisation UT ?
  - Topographie accidentée (Hypérion, Vesta...)







"Rien n'est occulté, sinon pour être dévoilé,  
et rien ne se cache, sinon pour être révélé."

**E. Larcenet**, *Le combat ordinaire*

Merci de votre attention...