

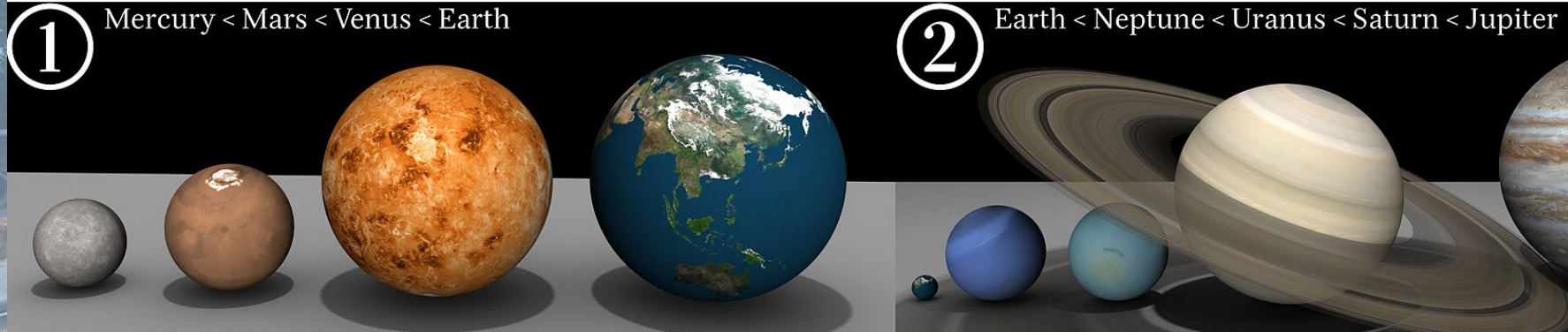


**Mesure d'un diamètre stellaire par
occultation lunaire :
Aldebaran 23/12/2015**

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Remettons les choses en perspective :

- A quoi correspondent les dimensions des étoiles connues ?



Partons des dimensions que nous sommes à même d'appréhender

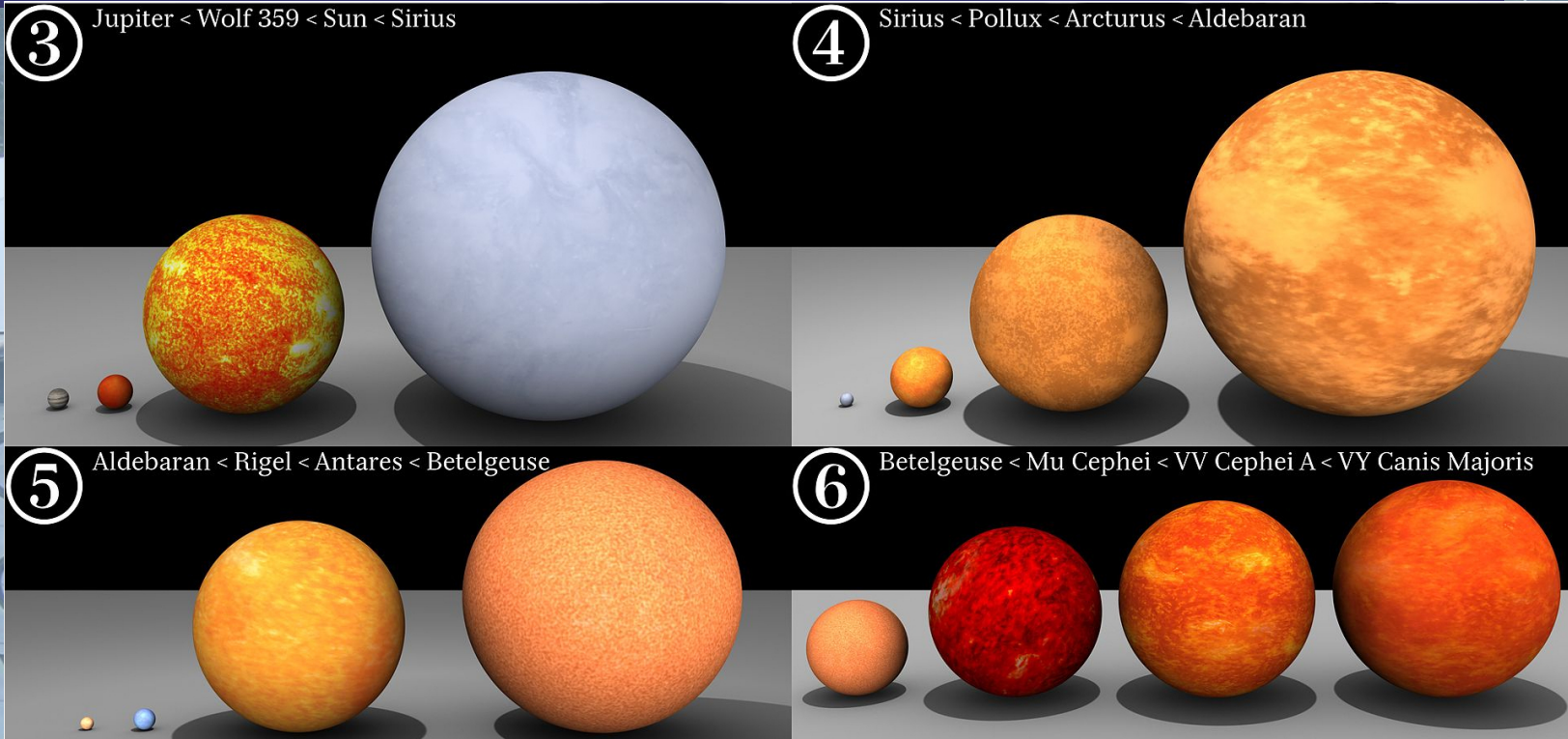
- La Terre 6371km de rayon (plus grosse planète tellurique)
- Jupiter 69911km de Rayon (Plus grosse planète gazeuse)

A priori facile depuis Kepler (connaissance des distances), et surtout ce sont des objets dont on observe la surface

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Remettons les choses en perspective :

- A quoi correspondent les dimensions des étoiles connues ?

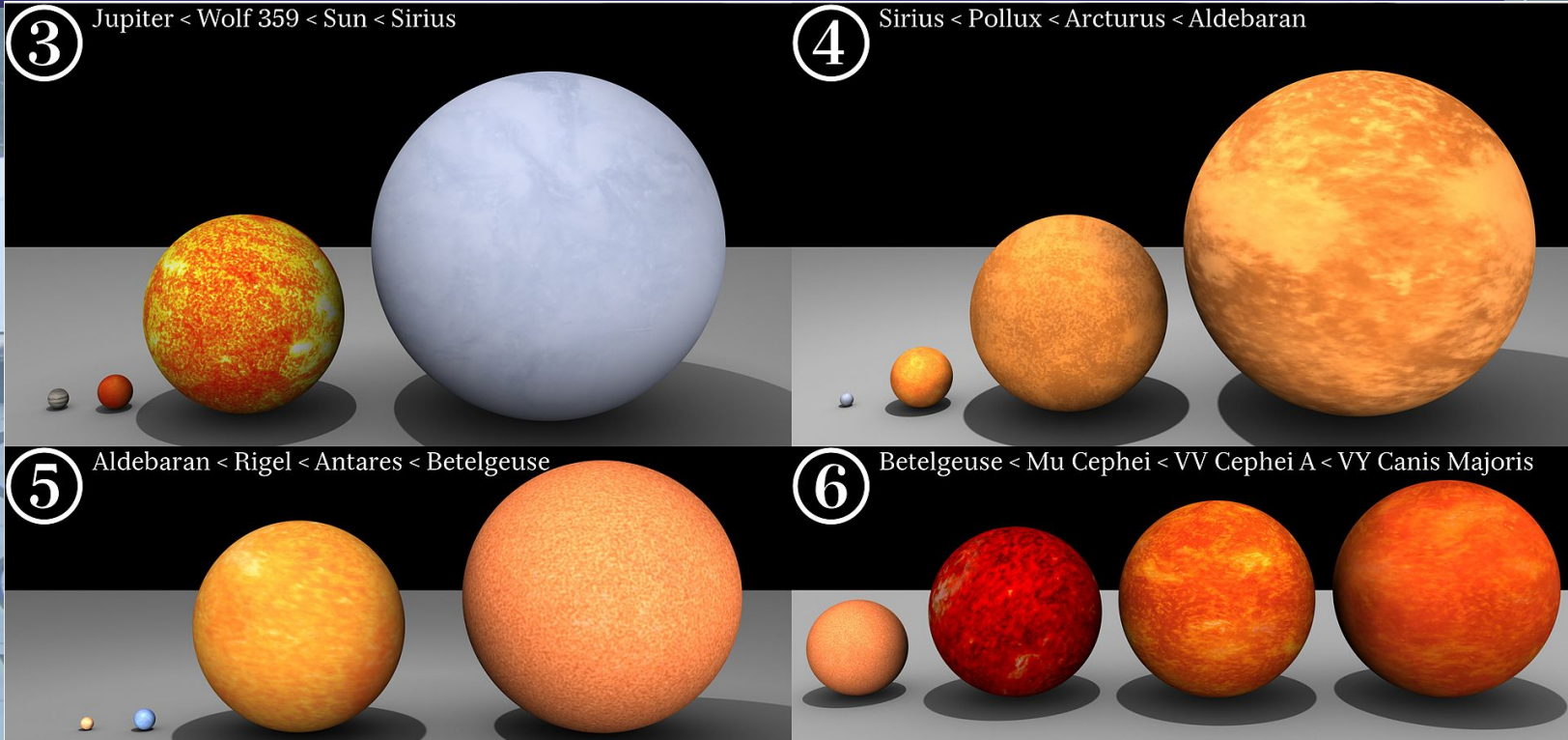


- Le Soleil : 695700km de rayon
- Sirius : 1,191 millions de km (1.711 R_☉)
- Aldebaran : 30.76 millions de km (44.2 R_☉)
- Betelgeuse : 821.3 millions de km (1180 R_☉)
- VY Canis Major : 988 millions de km (1420 R_☉)

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Remettons les choses en perspective :

- A quoi correspondent les dimensions des étoiles connues ?



Question :

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

3 méthodes de détermination :

- Photométrie (mesure indirecte)
- Interférométrie (mesure directe)
- Occultation pas un corps lointain (mesure directe)

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

- Photométrie (méthode indirecte) :

L'idée : Connaissant les caractéristiques d'émission de lumière de la source à étudier (l'étoile), ainsi que sa distance, en comparant avec une source connue (Soleil), on détermine le rapport de la surface de la source à étudier avec celle de la source connue.

Donnée d'entrée :

- Magnitude visuelle apparente de l'étoile
- Magnitude visuelle absolue du Soleil
- Corrections bolométrique des 2 astres
- Distance de l'étoile (Parallaxe)
- Diamètre du Soleil
- Température de surfaces (obtenue par Spectroscopie)
 - Du Soleil
 - De l'étoile



Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

- Photométrie (méthode indirecte) :

L'idée : Connaissant les caractéristiques d'émission de lumière de la source à étudier (l'étoile), ainsi que sa distance, en comparant avec une source connue (Soleil), on détermine le rapport de la surface de la source à étudier avec celle de la source connue.

Exemple d'Aldébaran

Step 1 : Magnitude absolue de l'étoile

Parallaxe Aldébaran = 0.04894" d'arc

Soit $d = 1/0.04894 = 20.43$ parsec = 65 AL

La magnitude visuelle d'Aldébaran

$$m_v = +0.87$$

Donc avec **$m - M = 5 \log d - 5$**

$$M_{\text{Aldébaran}} = -0.65$$

$$\text{or } M_{\odot} = 4.83$$

Exemple d'Aldébaran

Step 1 : Corrections bolométrique

$$M_{\text{bol}}(\odot) = M_{\odot} + BC = 4.83 - 0.11 = 4.72$$

$$\begin{aligned} M_{\text{bol}}(\text{Aldébaran}) &= M_v(\text{Aldébaran}) + BC \\ &= -0.65 - 1.20 \\ &= -1.85 \end{aligned}$$

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

- Photométrie (méthode indirecte) :

L'idée : Connaissant les caractéristiques d'émission de lumière de la source à étudier (l'étoile), ainsi que sa distance, en comparant avec une source connue (Soleil), on détermine le rapport de la surface de la source à étudier avec celle de la source connue.

Exemple d'Aldébaran

Step 2 : Comparaison de la luminosité intégrée des 2 astres

$$M(A) - M(B) = -2,5 \log (E(A) / E(B))$$

On en déduit (en notant A Aldébaran et B le Soleil) :

$$E(\text{Aldébaran}) = 425 * E(\odot)$$

Donc la surface totale d'Aldébaran émet 425 fois plus de lumière que la surface du Soleil

Exemple d'Aldébaran

Step 3 : Luminosité par unité de surface

On déduit des spectres

$$T(\text{Aldébaran}) = 4055^\circ\text{K} \text{ et } T(\odot) = 5750^\circ\text{K}$$

Or par la loi de Stefan Boltzman :

$$M^o(T) = \sigma T^4$$

Le flux par unité de surface dépend de la température à la puissance 4

Donc 1m² de surface d'Aldébaran émet donc $(4055/5750)^4 = 0.247$ fois le flux émis par 1m² de surface Solaire

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

- Photométrie (méthode indirecte) :

L'idée : Connaissant les caractéristiques d'émission de lumière de la source à étudier (l'étoile), ainsi que sa distance, en comparant avec une source connue (Soleil), on détermine le rapport de la surface de la source à étudier avec celle de la source connue.

Exemple d'Aldébaran

Step 4 : Diamètre d'Aldébaran

Donc la surface totale d'Aldébaran émet 425 fois plus de lumière que la surface du Soleil
Et 1m² de surface d'Aldébaran émet 0.247 fois le flux émis par 1m² de surface Solaire.
Donc la surface d'Aldébaran fait
 $425/0.247=1718$ fois la surface du Soleil.

Exemple d'Aldébaran

Step 4 : Diamètre d'Aldébaran

Le rapport des surfaces étant proportionnel au carré des diamètres :

$$D(\text{Aldébaran})/D(\odot) = \text{racine}(S_{\text{Aldébaran}}/S_{\odot}) \\ = \text{racine}(1718) = 41.45$$

Sachant que le Soleil fait 1392684km, Aldébaran fait donc 57729929km environ

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment fait on pour savoir cela sur des objets que l'on est incapable de résoudre ???!!!

- Photométrie (méthode indirecte) :

Conclusion pour Aldébaran :

Diamètre 58millions de km à 65 Années Lumière

Angle sous tendu par le disque stellaire : 0.0194 " d'arc
(19.4milliArcSeconde)

Mais l'incertitude est grande sur :

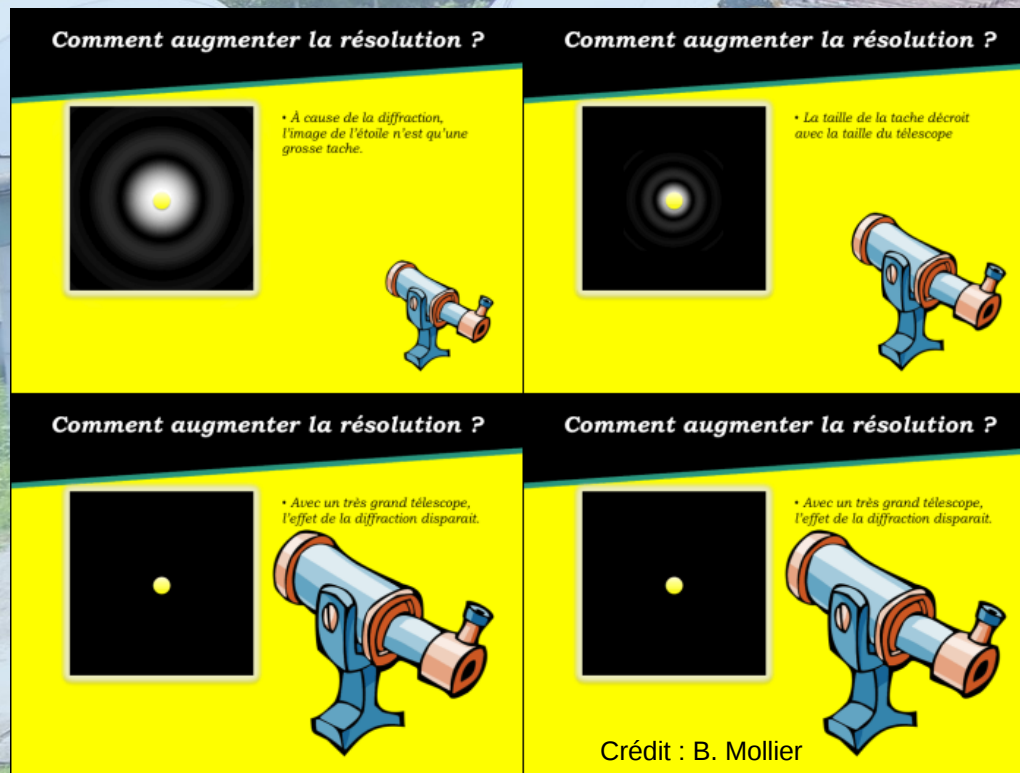
- Corrections bolométrique des 2 astres (Les échelles diffèrent chez les pro)
- Distance de l'étoile (Parallaxe très faible au delà de 100AL)
- Sensibilité du calcul aux Température de surfaces (puissance 4)

20 % d'erreur sur le diamètre est une marge basse...

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment peut on faire pour essayer de résoudre ces objets ???!!!

- Interférométrie (méthode directe) :



Pour accroître la résolution, on augmente le diamètre du télescope jusqu'à ce que la tache de diffraction devienne plus petite que l'image de l'étoile donnée par l'optique géométrique.

Problème : pour atteindre 20mas, dans le visible il faut 5.67m de diamètre.
10 fois plus si on veut du détail de surface

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment peut-on faire pour essayer de résoudre ces objets ???!!!

- Interférométrie (méthode directe) :

Pour accroître la résolution, on écarte les télescopes jusqu'à ce que la largeur de la frange centrale devienne plus petite que l'image de l'étoile donnée par l'optique géométrique.

Utilisons deux télescopes

- La largeur des franges diminue avec l'écartement des télescopes

Use two telescopes

- L'étoile bave sur les franges sombres.
- Le contraste baisse.

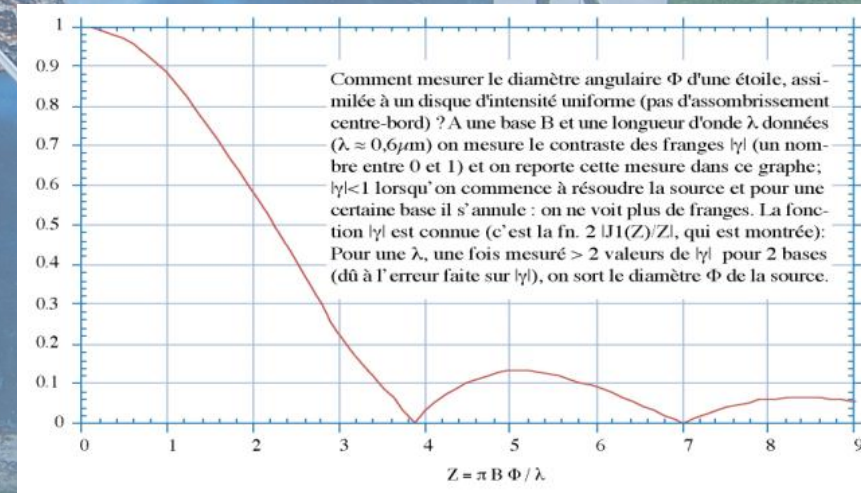
Use two telescopes

- Les franges disparaissent, le contraste est nul, l'étoile est résolue !

Use two telescopes

- Les franges disparaissent, le contraste est nul, l'étoile est résolue !

Crédit : B. Mollier

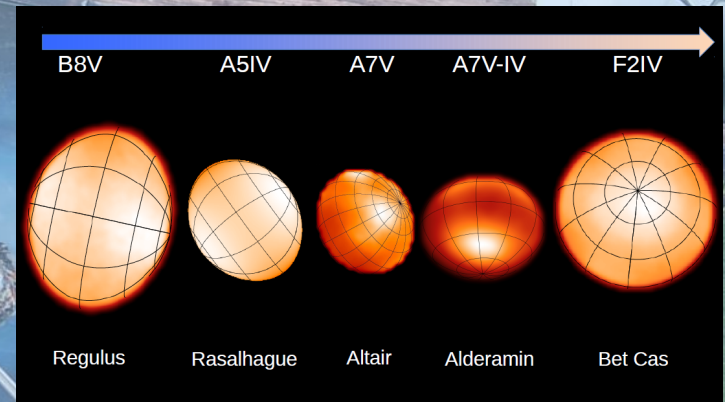
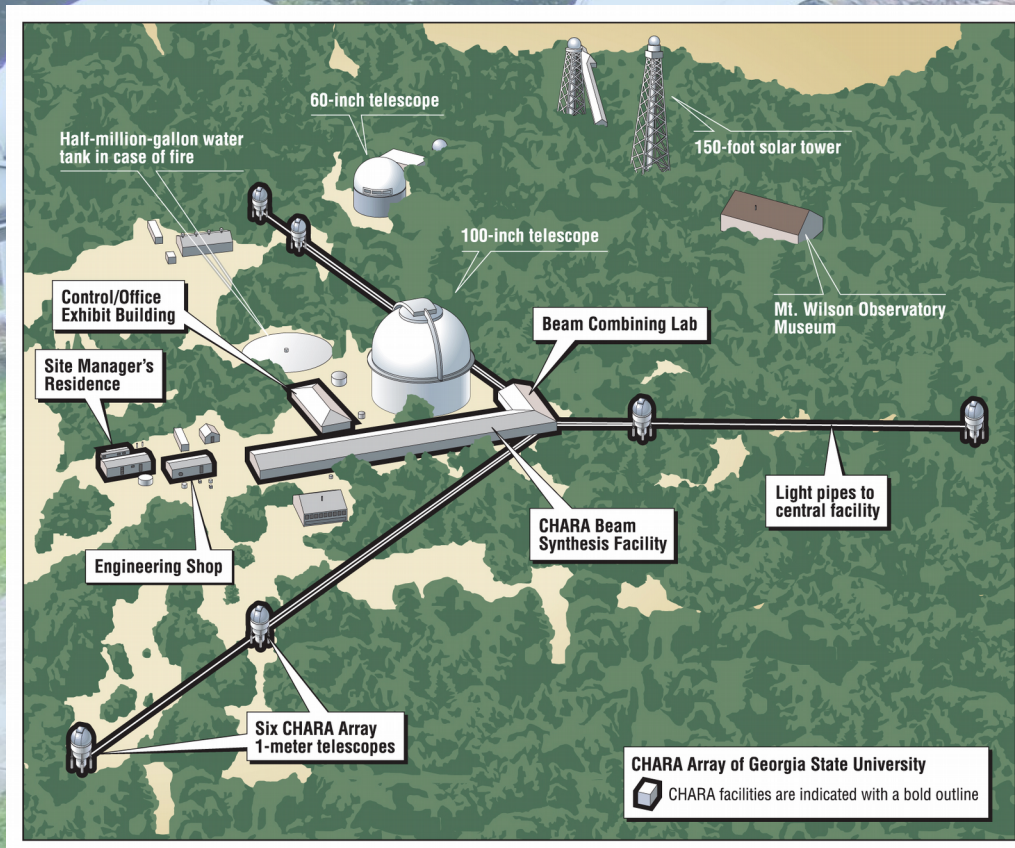


Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment peut on faire pour essayer de résoudre ces objets ???!!!

- Interférométrie (méthode directe) :

Interferomètre Chara
Base 350m, 6 télescopes de 1m



Mesure sur Aldébaran :
21mas

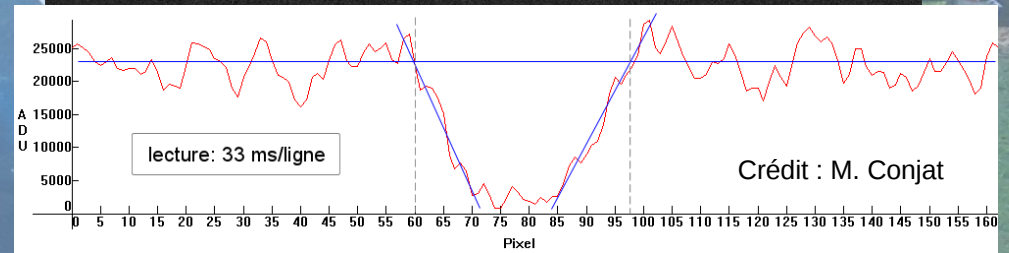
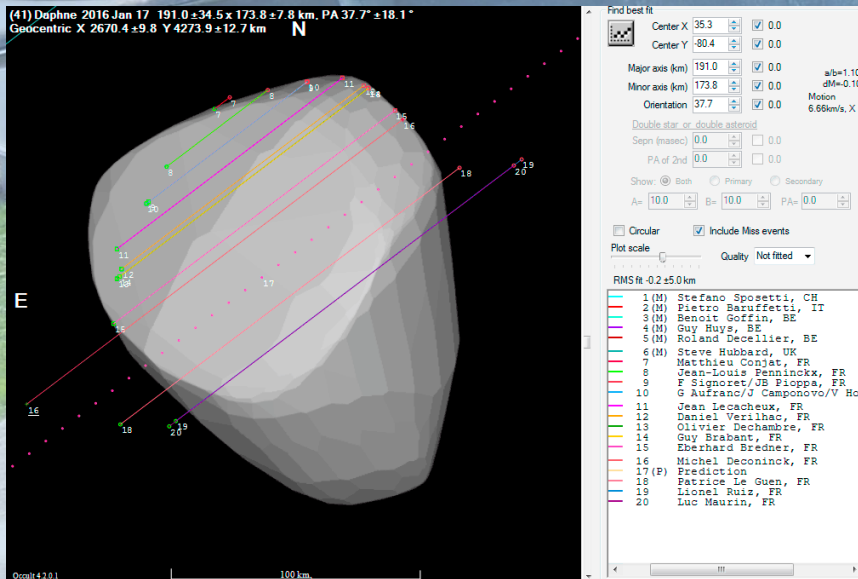
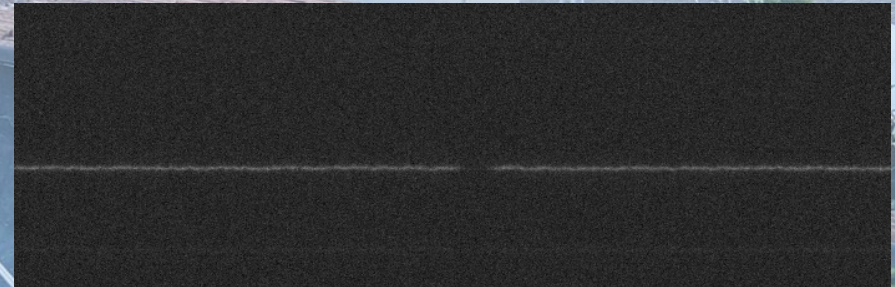
Bien, mais dur à mettre en œuvre en amateur...

Comment mesure-t-on le diamètre d'une étoile ?

Comment peut on faire pour essayer de résoudre ces objets ???!!!

- Occultation par un corps lointain (méthode directe) :

Astéroïdes passant devant une étoile :

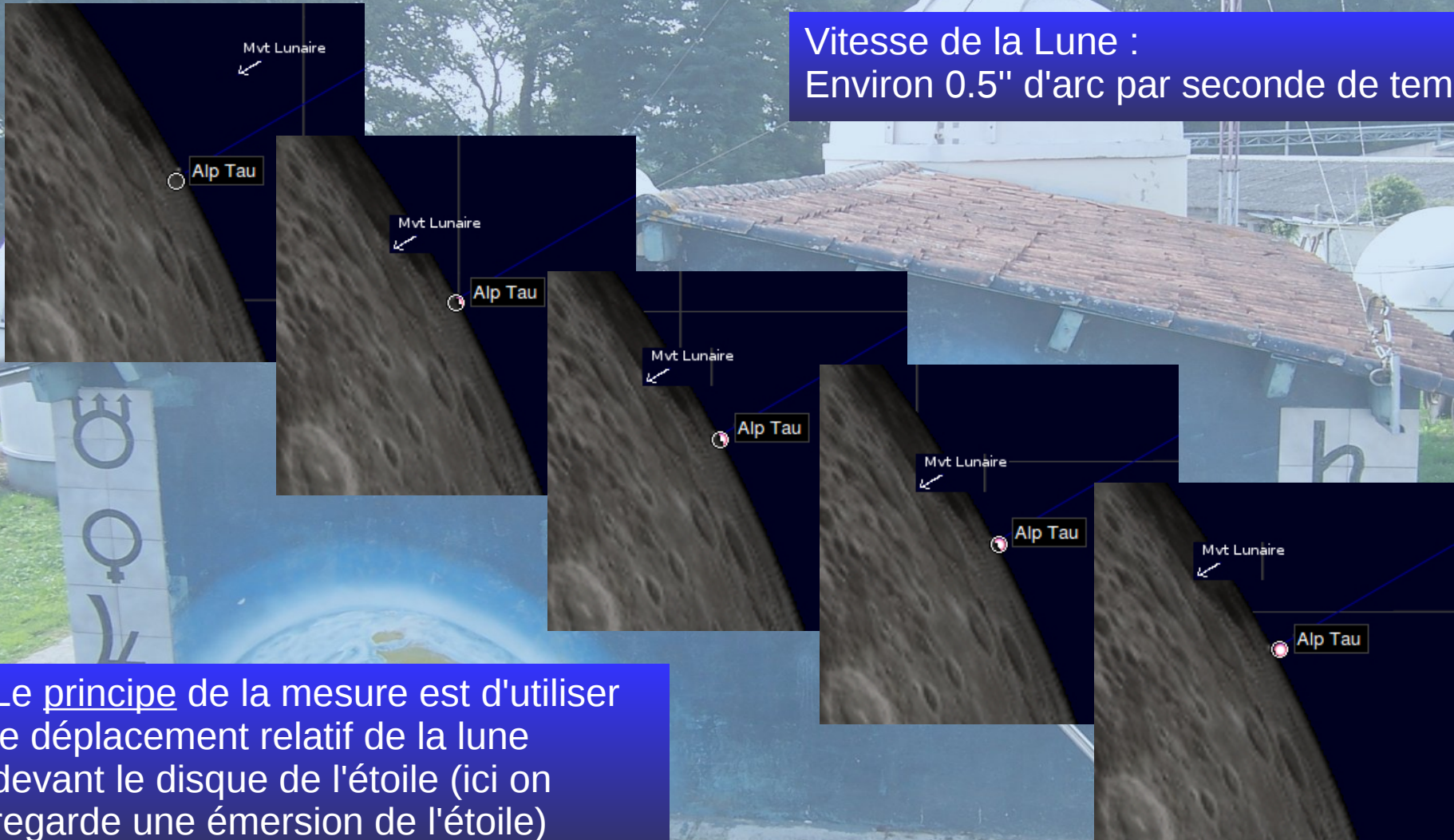


Problèmes :

- Difficile à prévoir (incertitude sur la zone d'ombre)
- Peu d'étoiles facilement accessibles ou de taille mesurable

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire :

Vitesse de la Lune :
Environ 0.5" d'arc par seconde de temps



Le principe de la mesure est d'utiliser le déplacement relatif de la lune devant le disque de l'étoile (ici on regarde une émergence de l'étoile)

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire :

Comment peut on faire pour essayer de résoudre ces objets ???!!!

- Occultation par la Lune (méthode directe) :

Chez les professionnels :

- Utilisation de Photomultiplicateurs
- Enregistreurs analogiques
- Calculateurs pour la déconvolution

DETERMINATION DES DIAMETRES STELLAIRES PAR OCCULTATIONS. TECHNIQUE DE REDUCTION.

Michel Froeschlé
C. E. R. G. A.
Georges Helmer
Nice Observatory
Claude Meyer
C. E. R. G. A.

ABSTRACT. Lunar occultations provide measurements of stellar angular diameters, leading thus to a determination of their effective temperatures. Basically, the data reduction process relies on two methods: model fitting and deconvolution. "Integrated deconvolution", presented here, is a derived method of deconvolution and its results can compare with the two methods. The purpose is to determine the variation of the uncovered surface of the source throughout the occultation instead of extracting the brightness profile of the source. The main advantage provided is that computing the signal derivative is no longer necessary. In addition to saving a lot of computing time, the method affords a good estimate of the apparent speed, precise dating, and the angular separation of double stars down to 0.002 arcsec. After being tested against the usual methods, "integrated deconvolution" is now currently used. Some results are presented here.

THE ASTRONOMICAL JOURNAL

VOLUME 94, NUMBER 3

SEPTEMBER 1987

A CATALOG OF STELLAR ANGULAR DIAMETERS MEASURED BY LUNAR OCCULTATION

NATHANIEL M. WHITE
Lowell Observatory, Mars Hill Road, 1400 West, Flagstaff, Arizona 86001

BARRY H. FEIERMAN
Westtown School, Westtown, Pennsylvania 19395
Received 9 April 1987; revised 4 June 1987

ABSTRACT

A catalog of 348 published measurements (124 stars) of stellar angular diameters by the lunar-occultation method is presented. The overall precision and accuracy are discussed.

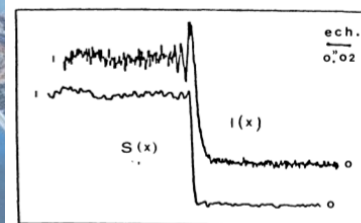


Fig. 3
I(x) : signal observé de SAO 93954
S(x) : déconvolution intégrée

Tableau I. Diamètres mesurés au CERGA et à l'observatoire de Nice.

SAO	m	Sp	date	diamètre télescope (μm) (m)	λ	bande passante (μm)	diamètre x 10 ⁻³ arcsec (disque uniforme)
78297	3,2	MO	09.10.82	1.50	0,77	0.05	14.89 ± 1.14
93954	3,6	KO	24.01.83	1.50	0,77	0.04	3.35 ± 0.30
94027	1,1	K5	30.09.80	0.40	0,52	0.04	18.77 ± 0.70
94027	1,1	K5	30.09.80	0.40	0,433	0.05	19.51 ± 0.78
119035	4,2	MO	31.01.83	1.50	0,77	0.04	7.03 ± 0.56
158427	4,3	KO	17.07.83	1.50	0,77	0.05	3.15 ± 0.22

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire :

- Occultation par la Lune (méthode directe) :

Chez les amateurs :

- Soit on reproduit la manip des professionnels (Faut être un bon bricoleur.....)
- Soit on profite de l'augmentation des vitesses et des sensibilité des caméras CMOS du marché

Il faut aussi que la configuration soit favorable pour les étoiles de diamètre accessibles.

Or les cycles d'occultations d'étoiles brillantes (conditions nécessaire a un bon rapport S/N) dépendent des caractéristiques de l'orbite Lunaire)

Actuellement nous sommes dans l'un des cycles d'occultation de l'étoile Aldébaran (2015-2018)

Source :

<http://www.sat.tn/calculs-astronomiques/serie-des-occultations-daldebaran-2015-2018/>

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

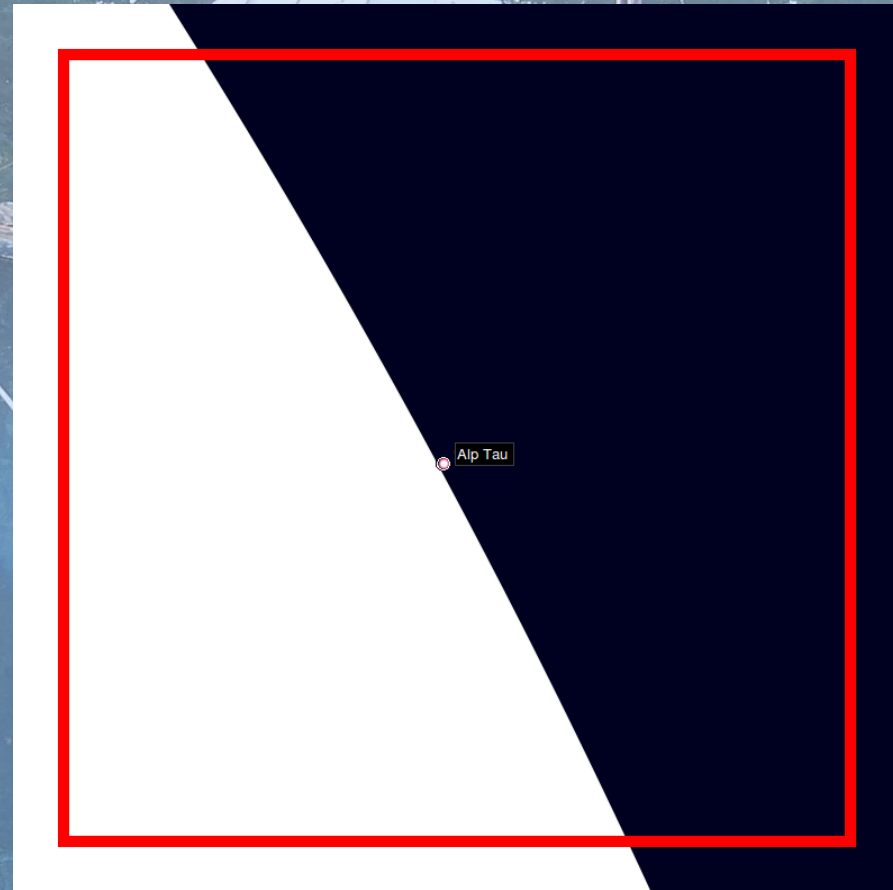
Deux contraintes fortes :

-Taille de l'étoile

Le diamètre de l'étoile mesuré par l'interféromètre Chara est de 21mas (21 millisecondes d'arc)
Sur l'image de droite, le cercle rose autour de la position d'Aldebaran fait 21 pixels.
L'échantillonnage de la camera est d'environ 0.7" d'arc par pixels soit 700 pixels sur l'image.

Le carré rouge représente donc 1 pixel (élément imageur) de la camera, par rapport au bord lunaire (en blanc) et la taille de l'étoile (en rose)

Il n'est donc possible de mesurer que la quantité de lumière sur 1 pixel (éventuellement en incluant quelques pixels adjacents) au cours du phénomène



Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Deux contraintes fortes :

-Vitesse du phénomène : $0.5''/s \Rightarrow 42$ millisecondes vu la taille de l'étoile



Modèle de la camera : Basler acA1920-150um

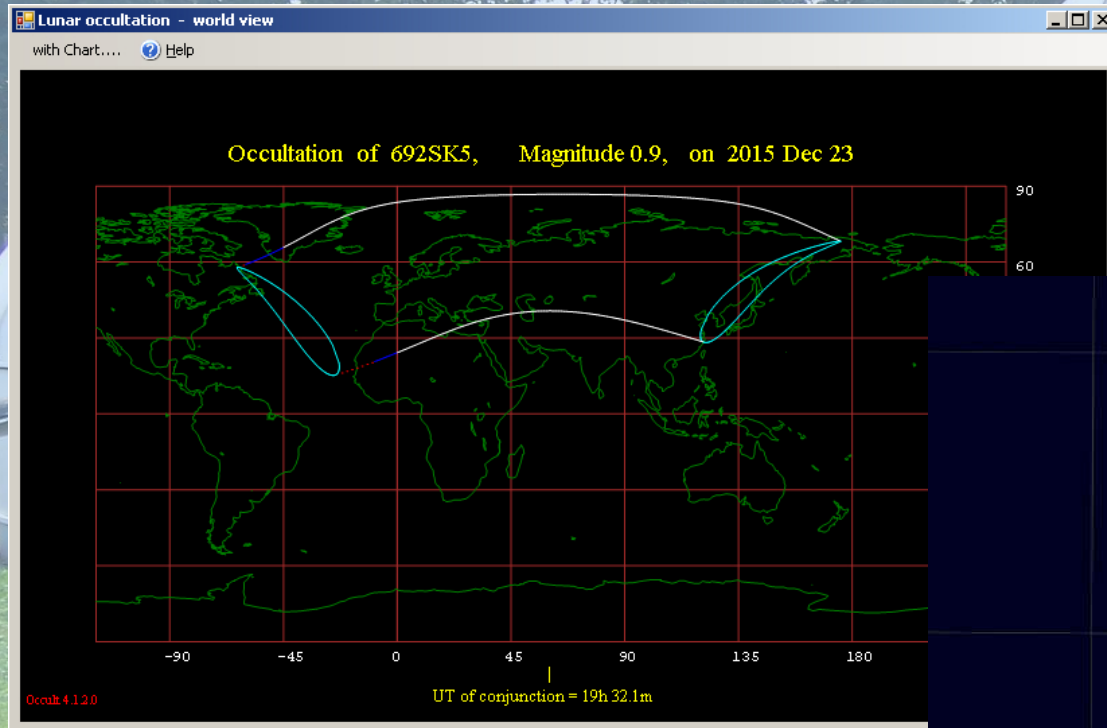
Resolution (H x V pixels)	1920 px x 1200 px
Pixel Size horizontal/vertical	4.8 μm x 4.8 μm
Frame Rate	150 fps
Mono/Color	Mono
Interface	USB 3.0

Le système d'acquisition doit à minima permettre d'obtenir une mesure toutes les 21ms si l'on veut avoir la pente de l'émerison.

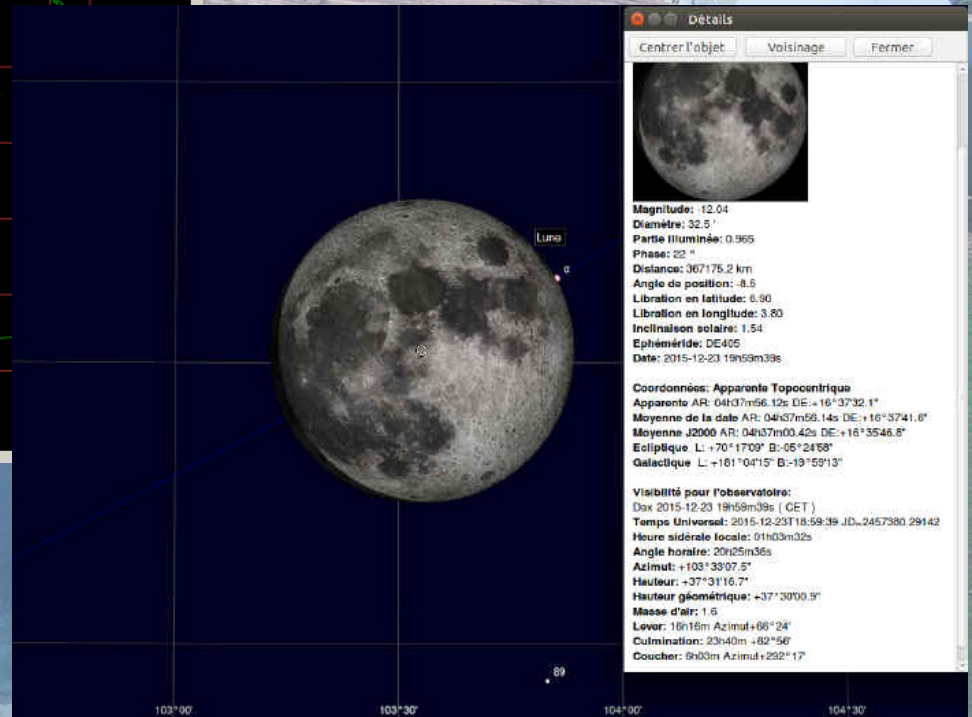
150 images par secondes en full frames
Après test, cette caméra atteint 480 images par seconde en 320x200
En figeant le débit à 330ips et la pose à 1ms, on doit obtenir environ 14 images

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

La préparation :



Des logiciels comme Prism ou Skychart ne sont pas assez précis pour avoir des éphémérides fiables à la seconde près.



Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

The screenshot shows the Occult4 software interface. The title bar reads "Lunar occultation predictions". The interface includes several configuration panels:

- 1. Specify a single site location:** Site name: Dax, Lon: -1 01 49, Lat: 43 41 36, Apert(cm): 15, Altitude (m): 35.
- 2. Star cat:** XZ < mag 9, XZ < mag 7, XZ < mag 4, ZC.
- 3. Objects:** Stars, Planets, Asteroids, Grazes only, Doubles only.
- 4. Set UT dates:** Start: 2015 Dec 23, End: 2015 Dec 23.
- 5. Events for Site:** Occultations, Grazes, World map.
- 6. Events anywhere:** Occultations, Grazes, World map.

Below the configuration panels, there is a section for "Right-click on prediction for further options" and a table of predictions. The table has columns for day, time, phase, star name, magnitude, and various astronomical parameters. Two specific predictions for Aldebaran are highlighted:

R692 = Aldebaran = alpha Tauri
692 is multiple: AE 0.9 12.0 31" 331.0, dT = -21sec : AB 0.9 13.5 32" 113.3, dT = +51sec : AC 0.9 11.3 130" 31.9, dT = +156sec : AF 0.9 13.6 308" 121.7, dT = +449sec
692 = alf Tau, 0.86 to 0.89, V, Type LB:

R692 = Aldebaran = alpha Tauri
692 is multiple: AE 0.9 12.0 31" 331.0, dT = -11sec : AB 0.9 13.5 32" 113.3, dT = +48sec : AC 0.9 11.3 130" 31.9, dT = +208sec : AF 0.9 13.6 308" 121.7, dT = +404sec
692 = alf Tau, 0.86 to 0.89, V, Type LB:

Le logiciel dédié aux occultations lunaires : Occult4

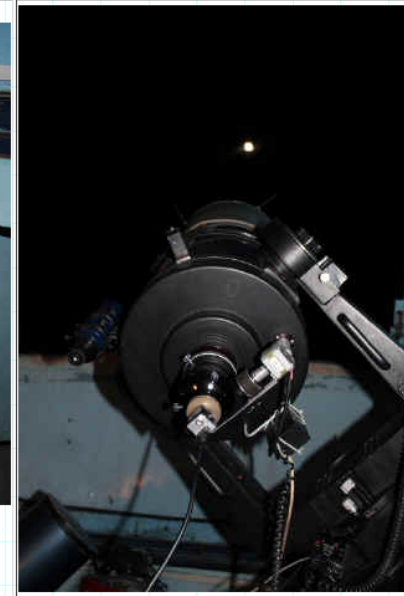
<http://www.lunar-occultations.com/iota/occult4.htm>

Testé au cours de l'occultation d'Aldébéran par la Lune du 29 octobre, la précision de ce logiciel gratuit est de l'ordre de la seconde !!

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015



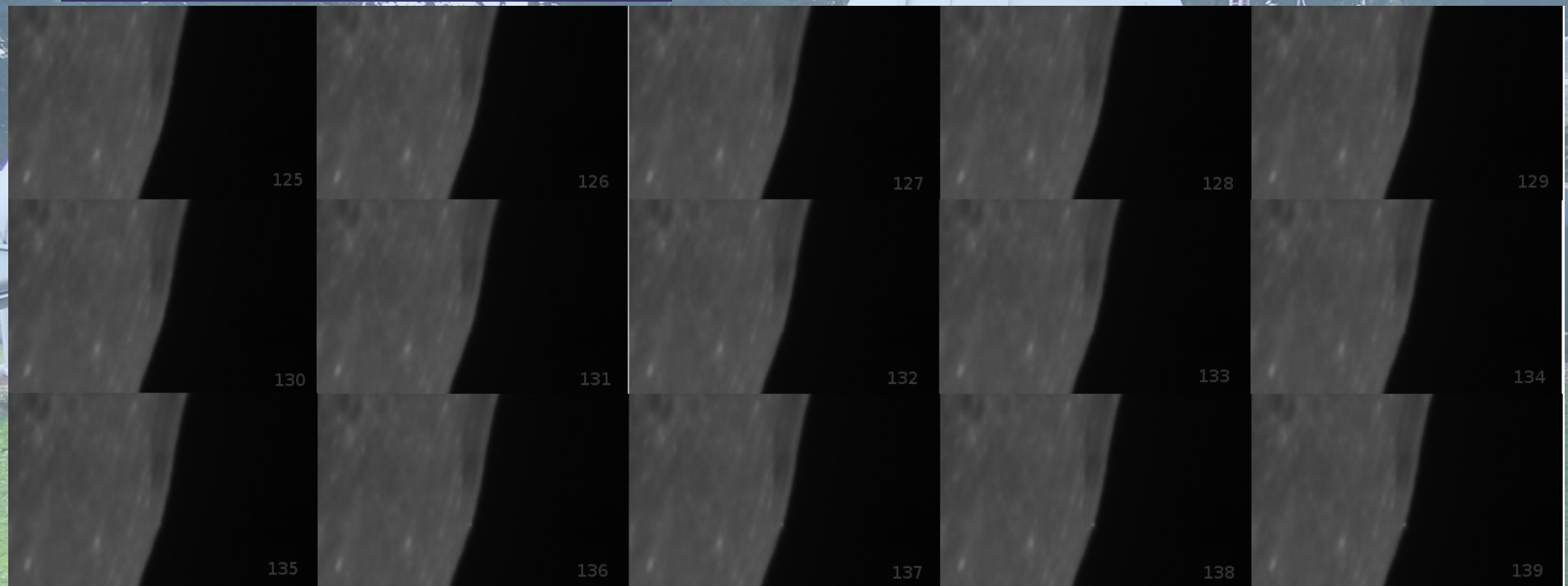
Philippe Dupouy aux manettes



Les conditions de l'expérience : Télescope SC de 12 pouces, réducteur de focale permettant d'obtenir un échantillonnage de 0.72" d'arc par pixels, Et un opérateur hors pair (Philippe Dupouy) à l'observatoire de Dax

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Le résultat images par images...

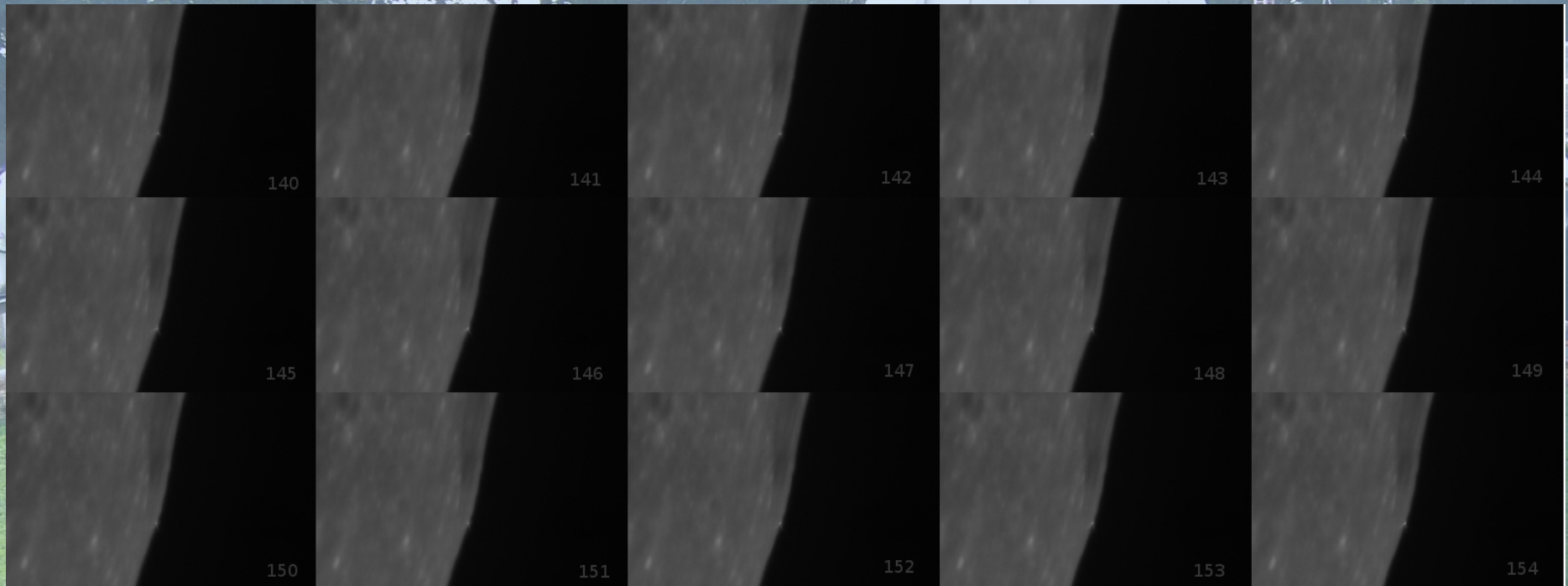


Temps de pose = 1ms

Temps entre chaque pose : 3ms

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Le résultat :



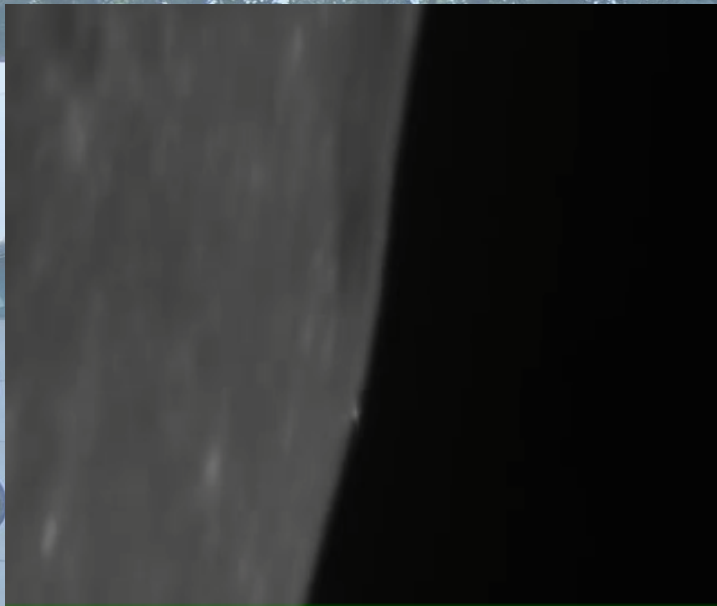
Temps de pose = 1ms

Temps entre chaque pose : 3ms

L'émergence complète prend environ 15 images

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Le résultat :

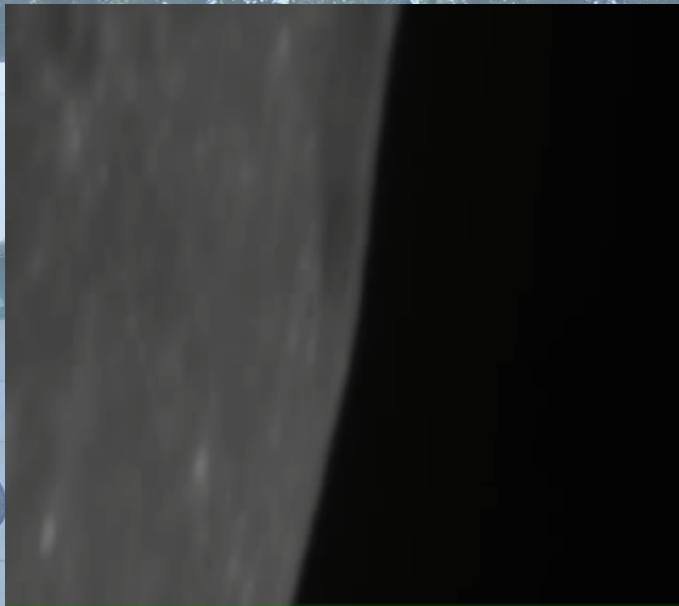


L'émergence complète vue à
25 images/secondes



Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

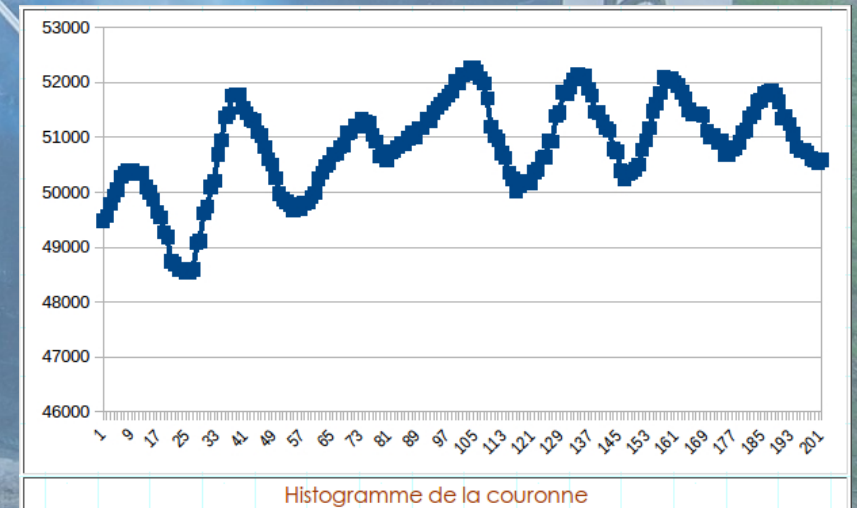
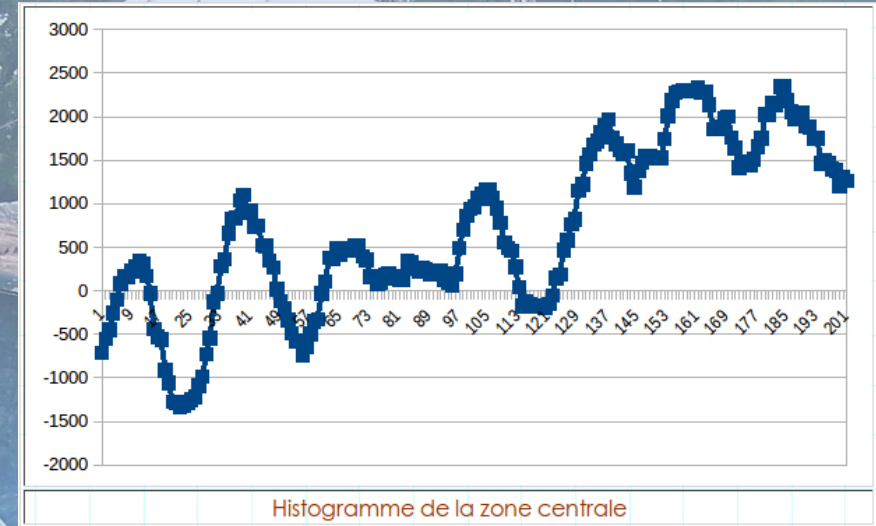
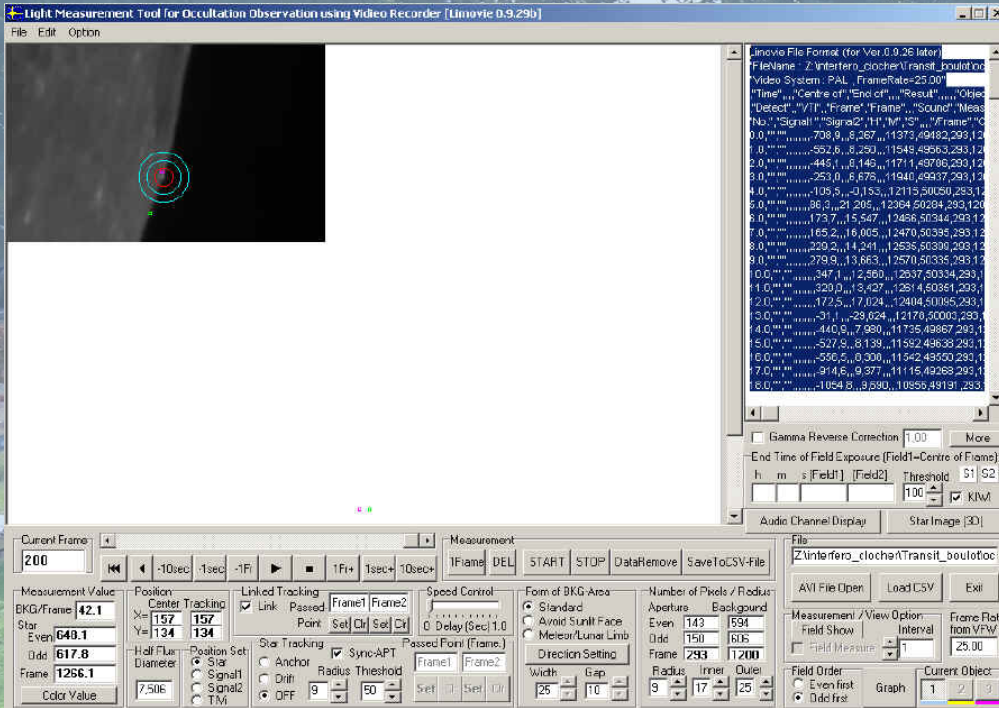
Le résultat :



L'émergence complète vue à
330 images/secondes
ramenée à 25ips



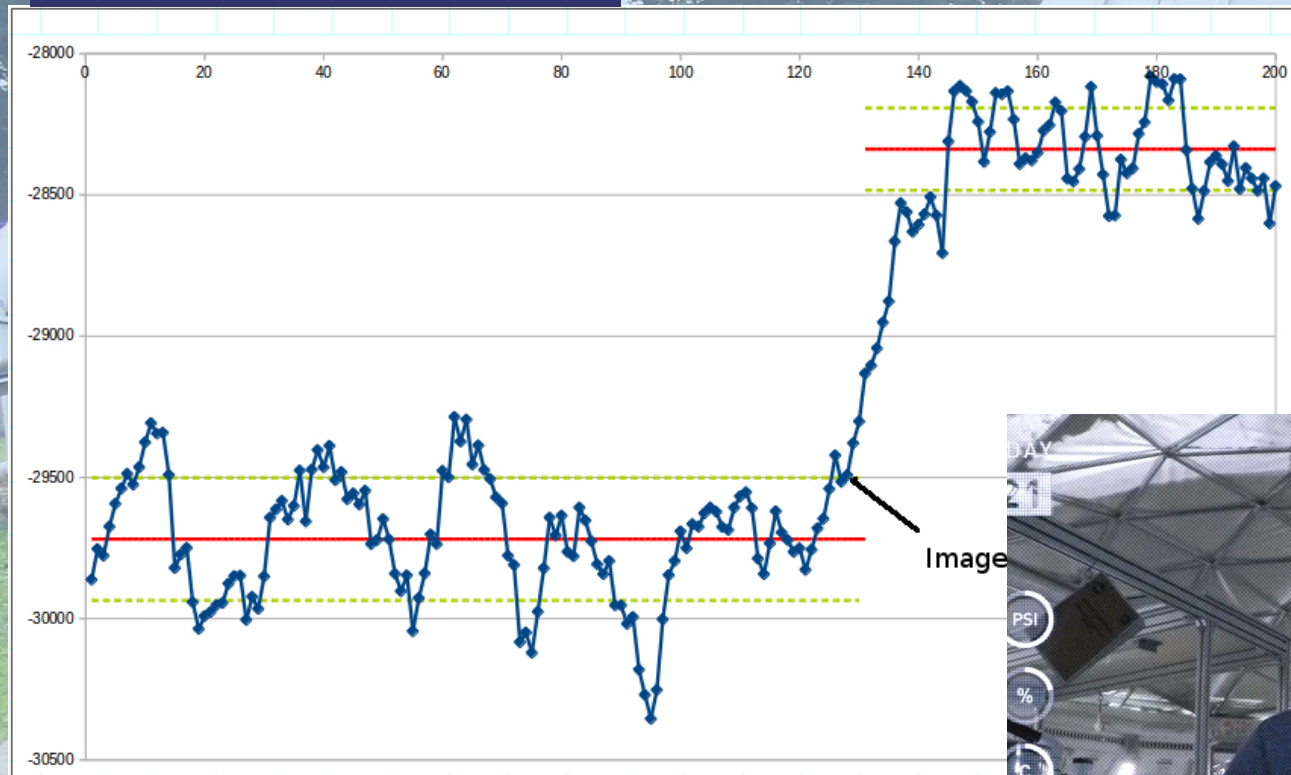
Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015



Analyse en photométrie d'ouverture LIMOVIE :
<http://britastro.org/asteroids/Limovie.htm>
 On récupère la somme des intensités à l'intérieur du
 cercle ou apparaît l'étoile, et la somme des intensités dans
 un couronne entourant l'objet d'étude

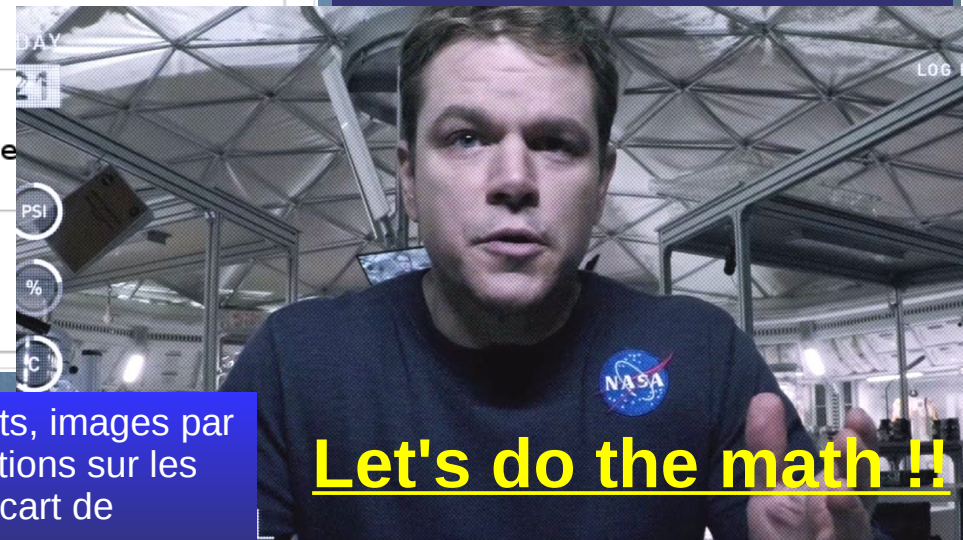
Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Analyse photométrique :



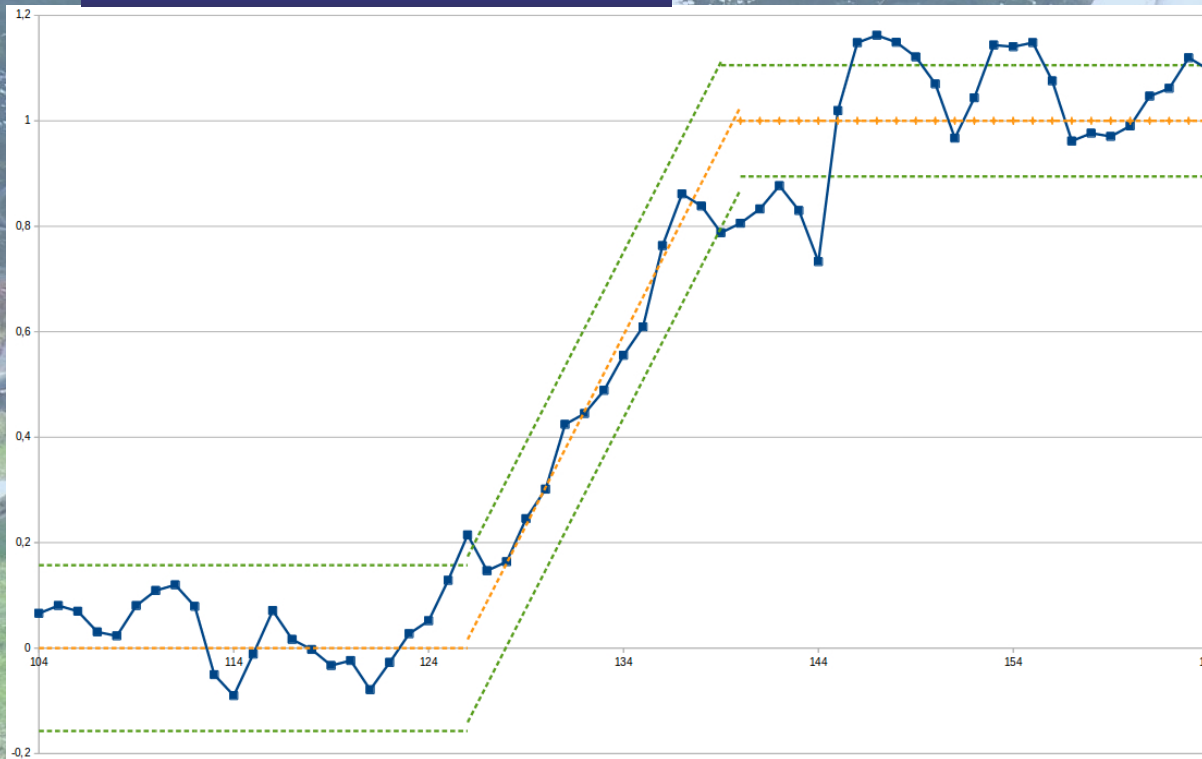
Environ 16 images au total en tenant compte de la fluctuation de turbulence. Les pointillés verts représentent 1 sigma d'incertitude sur les paliers...

La différence entre les deux histogrammes cumulés précédents, images par image est l'évolution photométrique de l'émergence. Les fluctuations sur les paliers avant et après le phénomène sont représentatifs de l'écart de turbulence sur l'objet et sur la couronne de mesure externe.



Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Analyse photométrique :

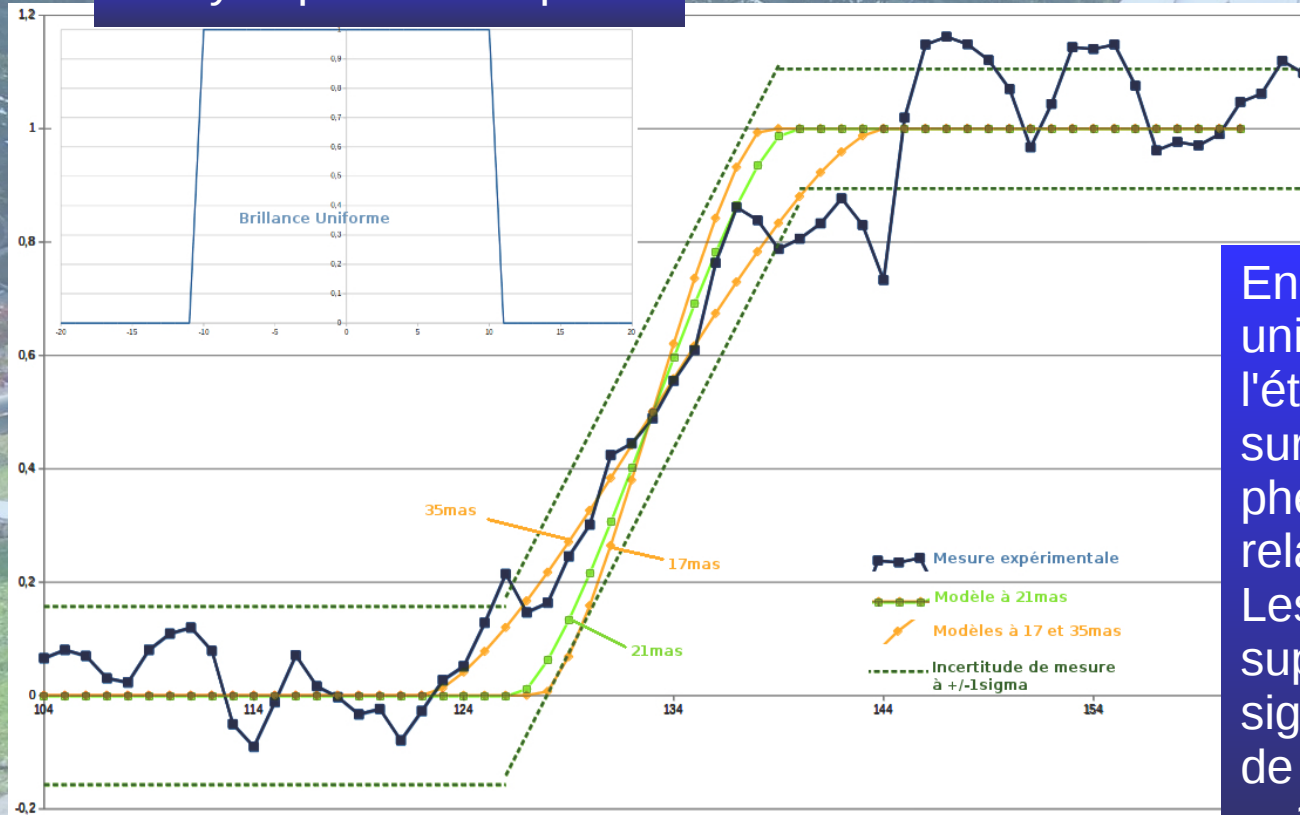


Les pointillés verts représentent 1 sigma d'incertitude sur les paliers ainsi que sur la pente de montée. La pente a été obtenue par régression linéaire sur les 14 points correspondant l'augmentation de flux

Le gabarit en pointillé vert représente l'intervalle limite à l'intérieur duquel une mesure de la vitesse de montée permet de remonter au diamètre du disque stellaire réel.

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Analyse photométrique :



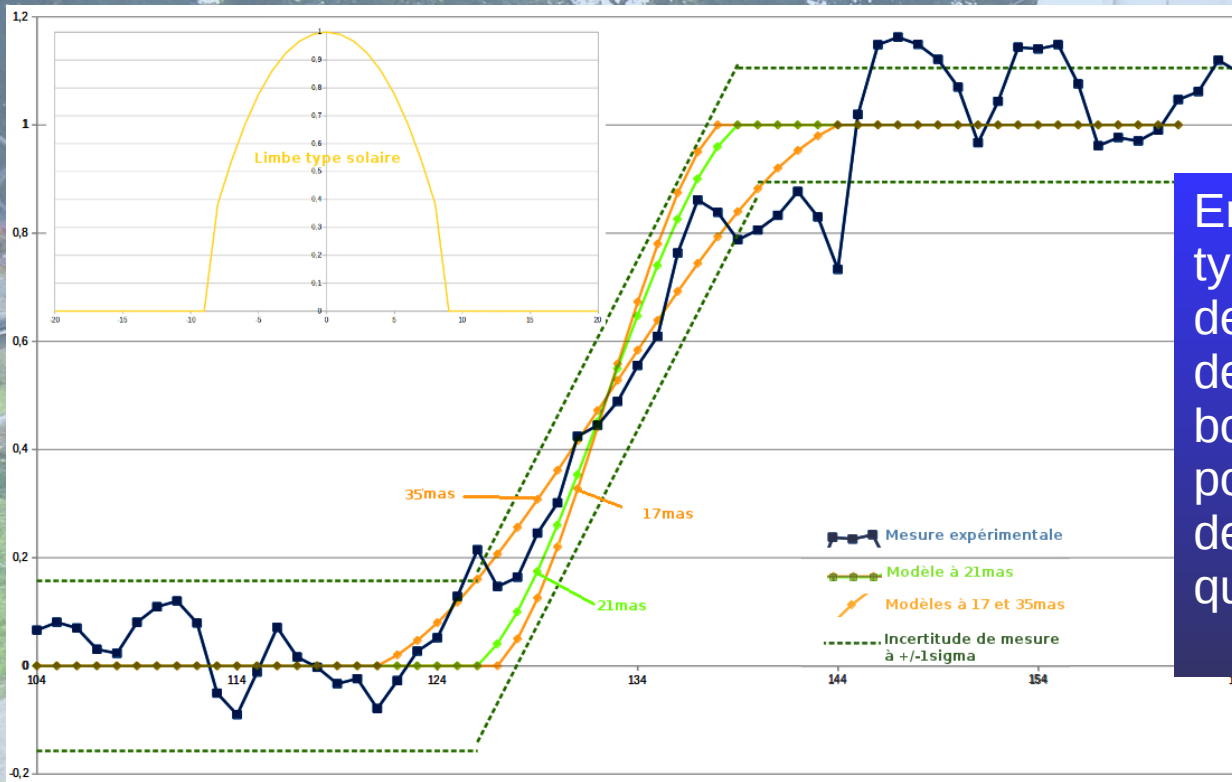
En supposant une brillance uniforme pour le disque de l'étoile, la fonction de variation de surface éclairante, au cours du phénomène est donné par la relation $A(x,r)$
Les bornes inférieures et supérieures pour une mesure à 1 sigma donnent pour une diamètre de $2r$:

$$17\text{mas} < 2r < 35\text{mas}$$

$$A(x) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{x}{r} \left(1 - \frac{x^2}{r^2} \right)^{1/2} + \arcsin \frac{x}{r} + \frac{\pi}{2} \right) \quad \text{pour } -r \leq x \leq r$$

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

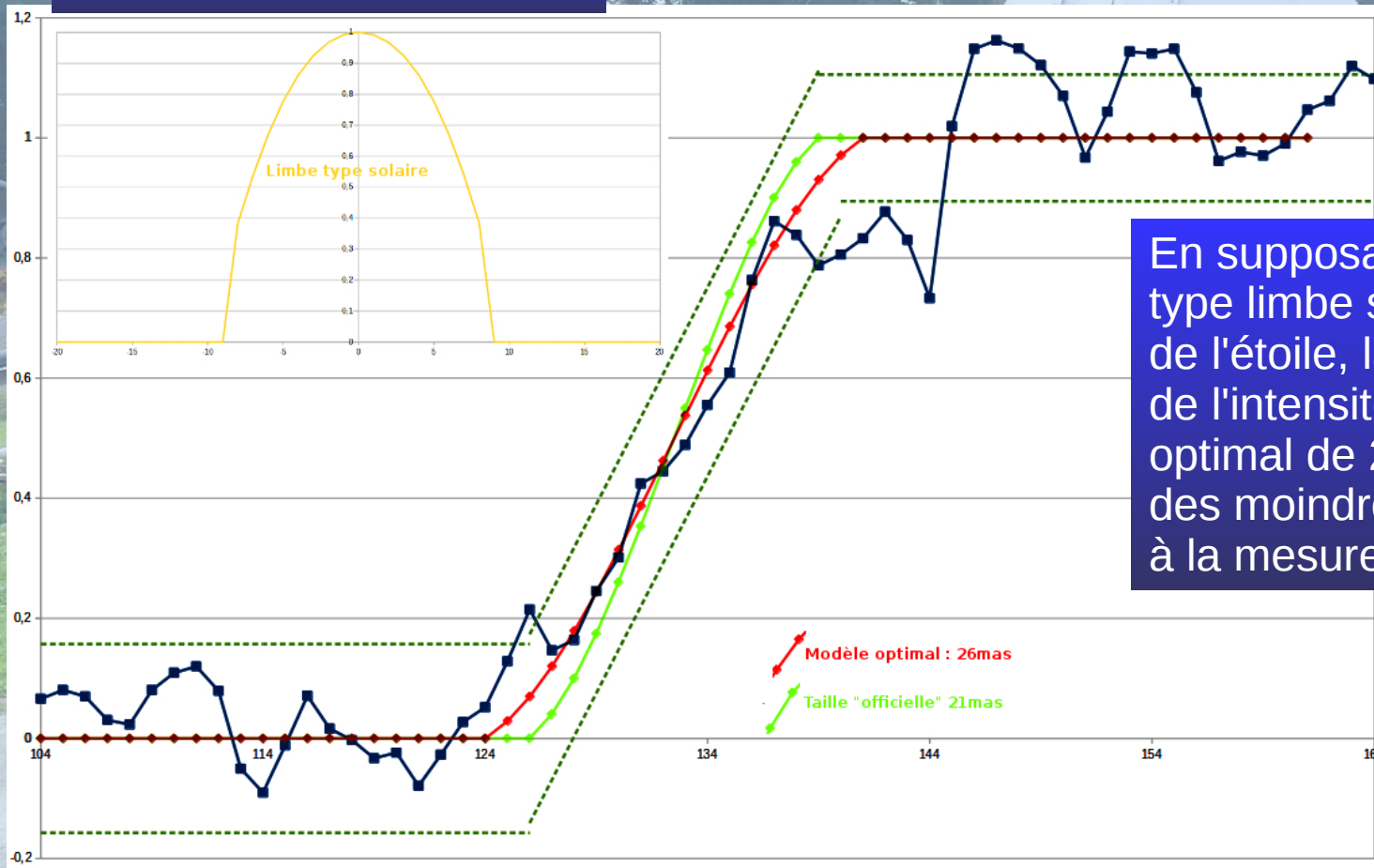
Analyse photométrique :



En supposant une brillance de type limbe solaire pour le disque de l'étoile, la fonction de variation de l'intensité donne pour les bornes inférieures et supérieures pour une mesure à 1 sigma a peu de chose près les même valeurs que précédemment :
 $17\text{mas} < 2r < 35\text{mas}$

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Analyse photométrique :



En supposant une brillance de type limbe solaire pour le disque de l'étoile, la fonction de variation de l'intensité donne un diamètre optimal de 26mas par la méthode des moindres carrés, à comparer à la mesure officielle de 21mas

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Conclusion : en notant d le diamètre de l'étoile

Brillance de type limbe solaire pour le disque de l'étoile :

- la fonction de variation de l'intensité donne un diamètre optimal de 26mas par la méthode des moindres carrés appliquée à la mesure expérimentale. C'est à comparer à la mesure officielle de 21mas
- pour les bornes inférieures et supérieures pour une mesure à 1 sigma sur la turbulence :

$$17\text{mas} < d < 35\text{mas}$$

On démontre parfaitement le fait que l'étoile n'est pas ponctuelle, et le résultat obtenu de 26 milliarcsecondes, est près de 45 fois meilleurs que le pouvoir résolvant théorique d'un télescope de 12 pouces !!!

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Conclusion : pour les étoiles doubles

Les occultations Lunaire ont été abondamment utilisées pour la mesure d'étoiles doubles.

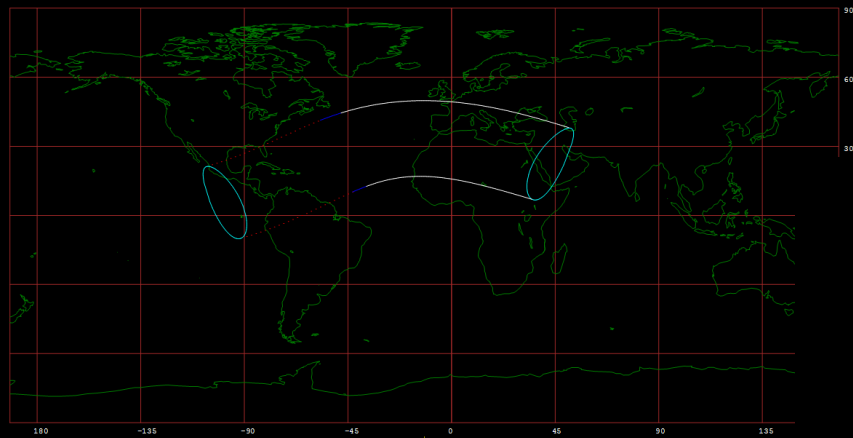
On peut citer les remarquables travaux de Jean Bourgeois, dont le dossier technique complet sur la méthode est disponible sur le site de Futura-sciences.

Toutefois, les opportunités de mesure directe d'un diamètre d'étoiles sont plutôt rare, et la disponibilité actuelle de caméras extrêmement rapides et sensibles permettent maintenant d'envisager ce type de mesure, sans passer par un photomètre dédié.

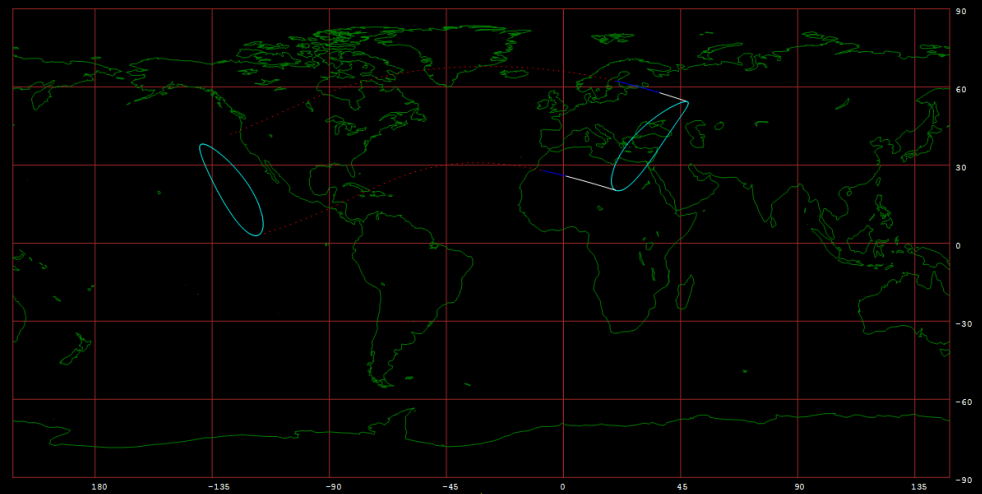
Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire : Aldebaran 23/12/2015

Perspectives : Encore 2 occultations visibles
sur ce cycle

Occultation of Aldebaran, Magnitude 0.9, on 2017 Feb 5



Occultation of Aldebaran, Magnitude 0.9, on 2017 Apr 28



Après il va falloir
attendre ... 18 ans
(pour Aldébaran)

Mesure d'un diamètre stellaire par occultation lunaire :
Aldebaran 23/12/2015

Merci de votre attention

http://brizhell.org/partie_experimentale.htm