

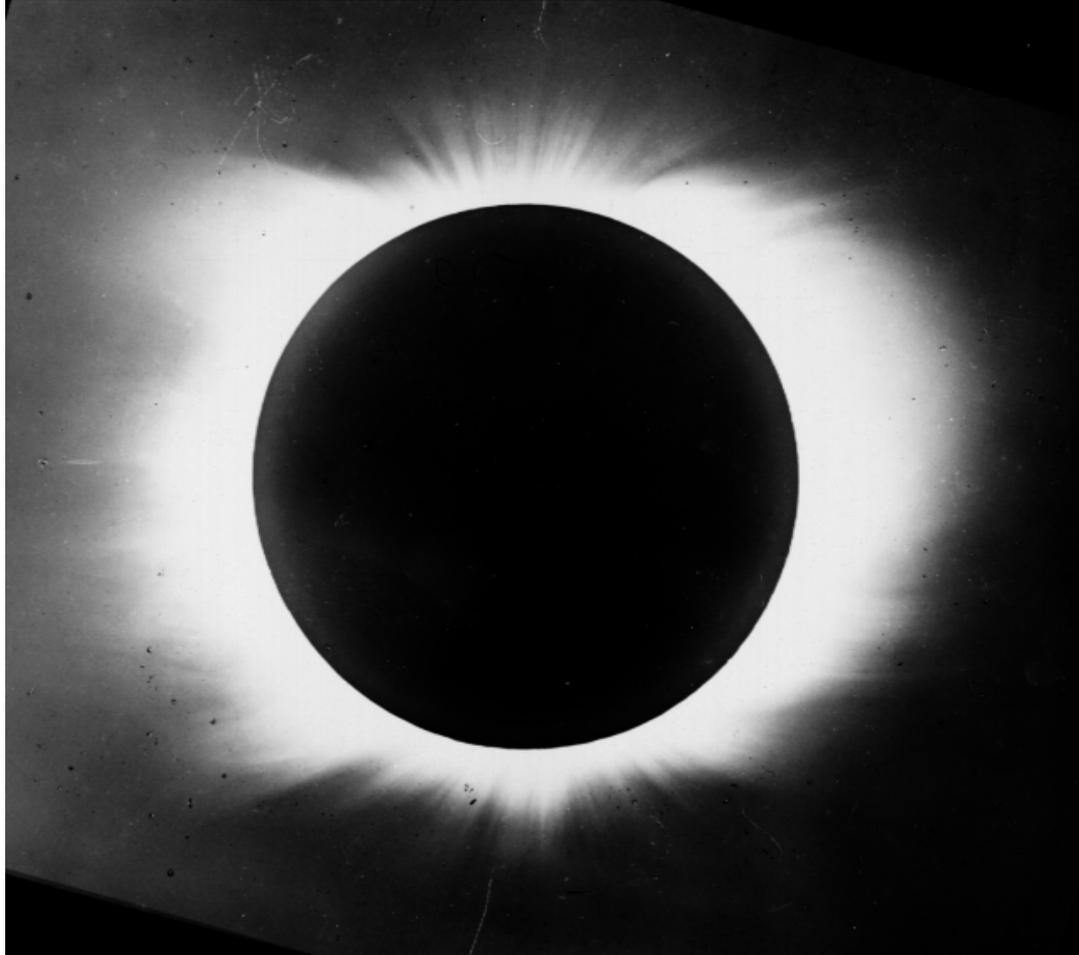
CORONOGRAPHIE  
SOLAIRE  
PAR APODISATION  
DE PUPILLE

Claude Aime  
Université de Nice  
Sophia Antipolis

# CORONOGRAPHIE,

ou l'étude de la couronne  
solaire en dehors des éclipses,  
une technique inventée par  
Bernard LYOT

# La couronne: on la voit lors d'éclipses ...



Eclipse, 28 May 1900 (Deslandres, D'Azambuja)

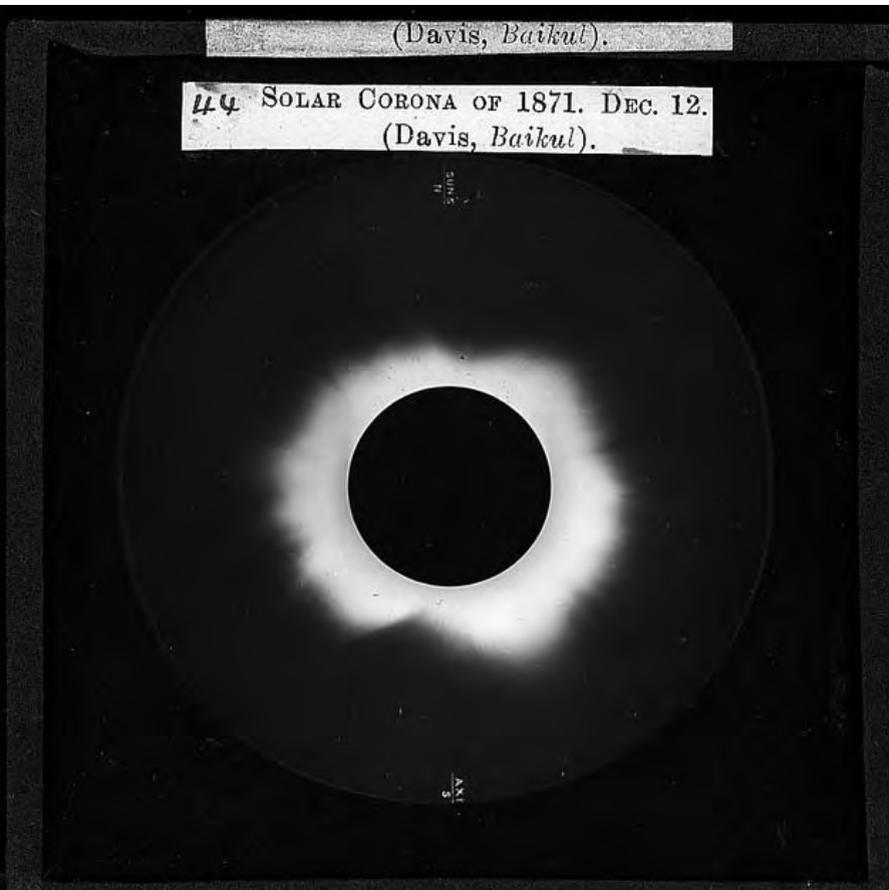
...si l'on est au bon endroit



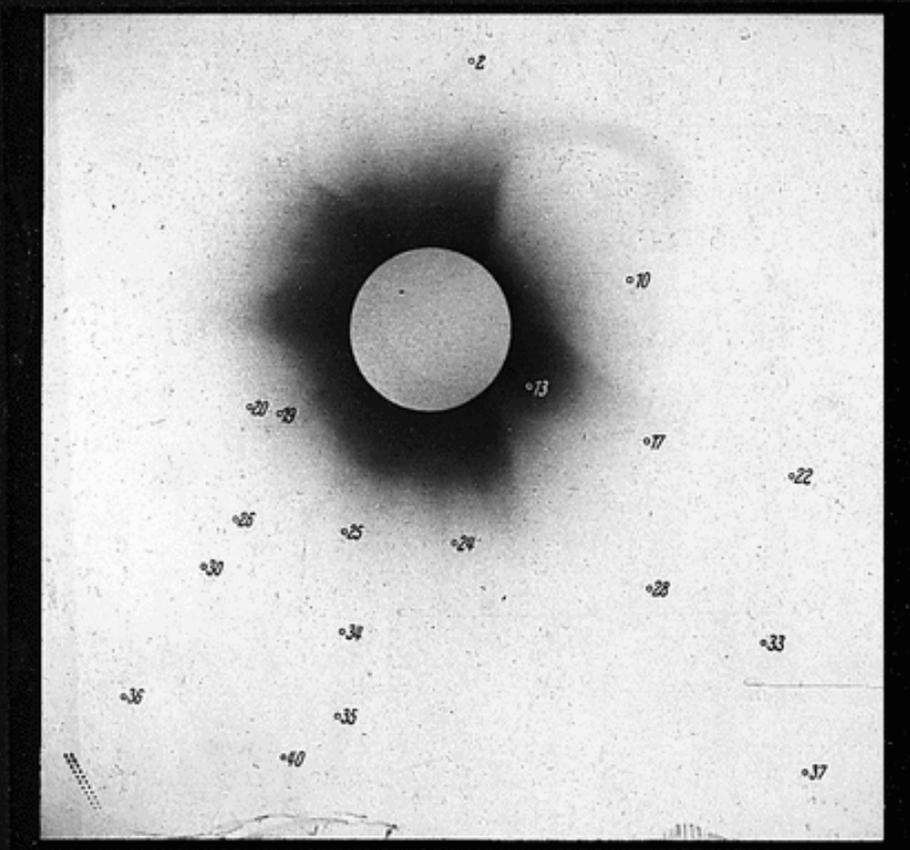
Image CNES

# Clichés de 1871 et 1875

(Documents BASS2000)

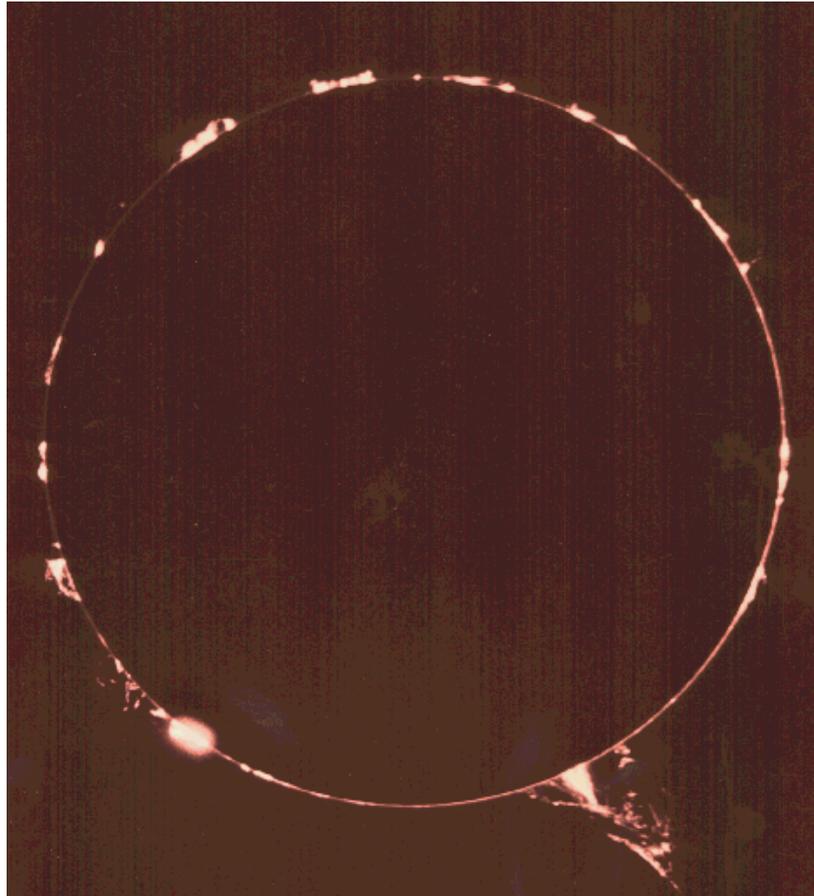


Eclipse du 9 mai 1929 - Takougon - Mission Pato d'au  
Comme et position des étoiles mesurées pour la  
détermination de l'effet Einstein, 2. für Astrophysik, vol. 3, p. 183

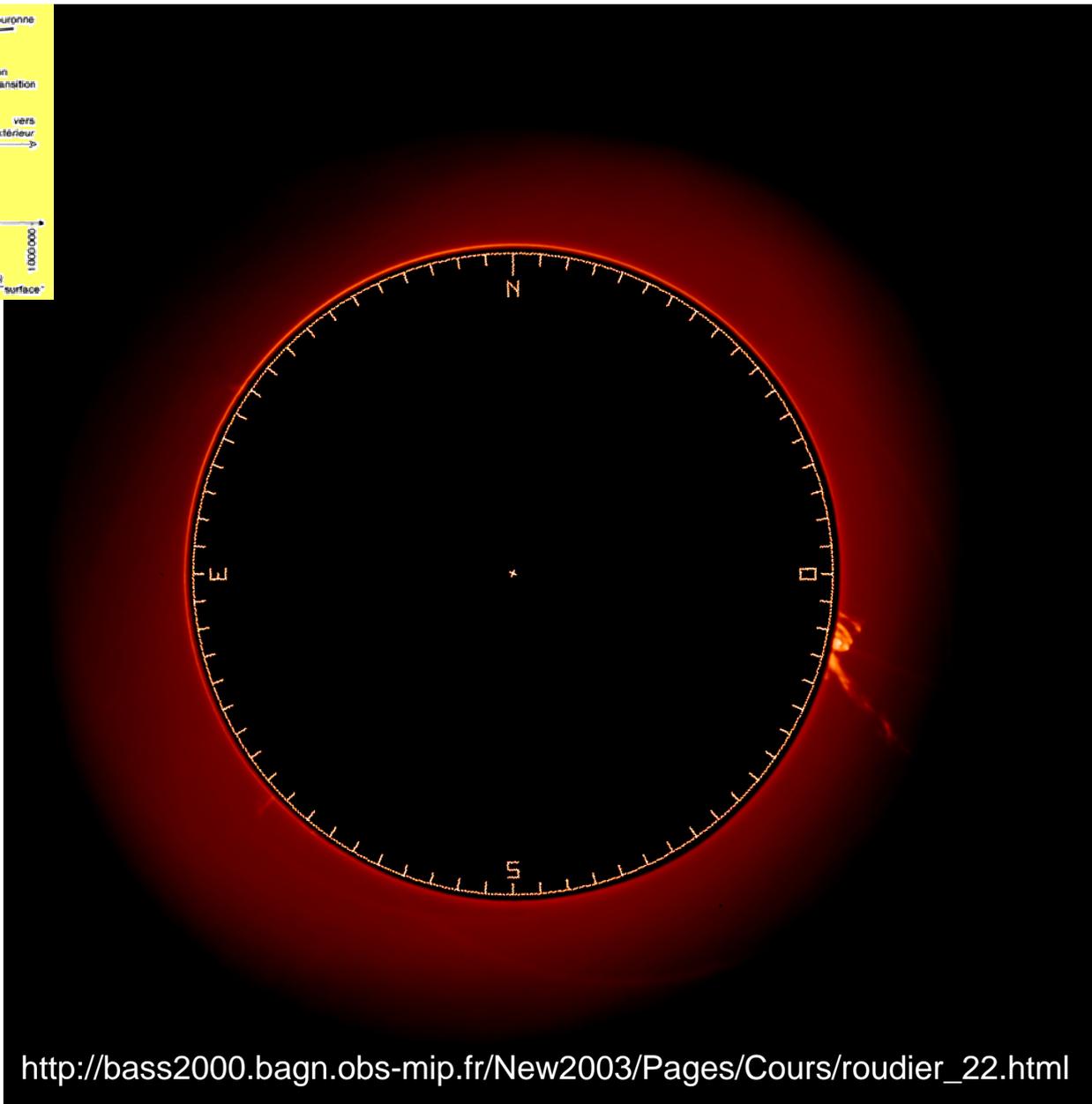
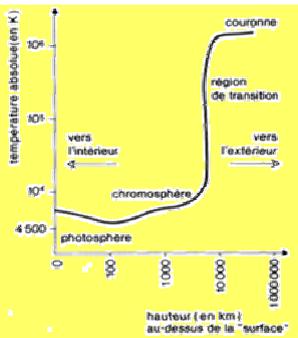


OBSERVATOIRE DE MEUDON

# On peut aussi utiliser un coronographe



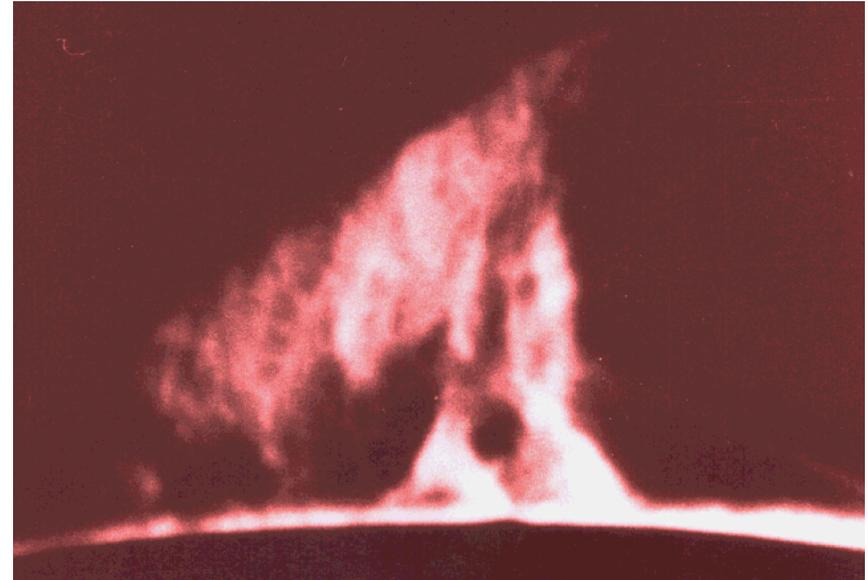
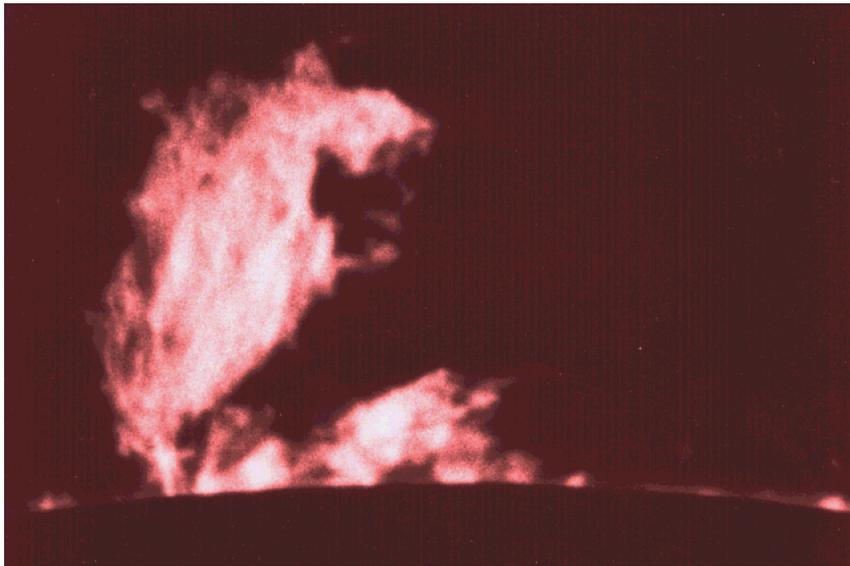
**Couronne Solaire Entière, protubérance éruptive**  
10 Juillet 1970, Pic du Midi, Coronographe de 26 cm  
(Document BASS2000)



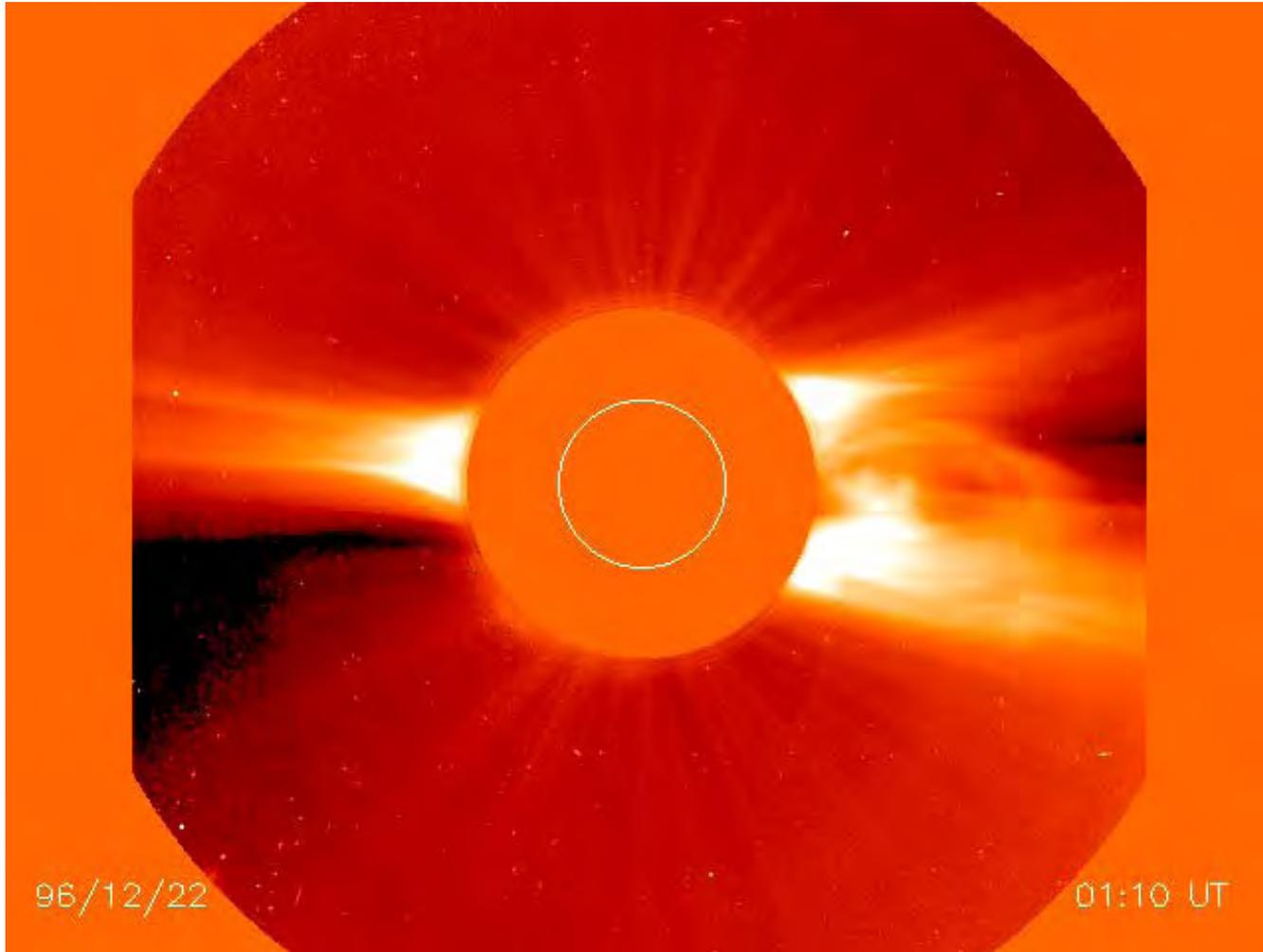
# Protubérances

Pic du Midi, Coronographe 20 cm

(BASS2000)



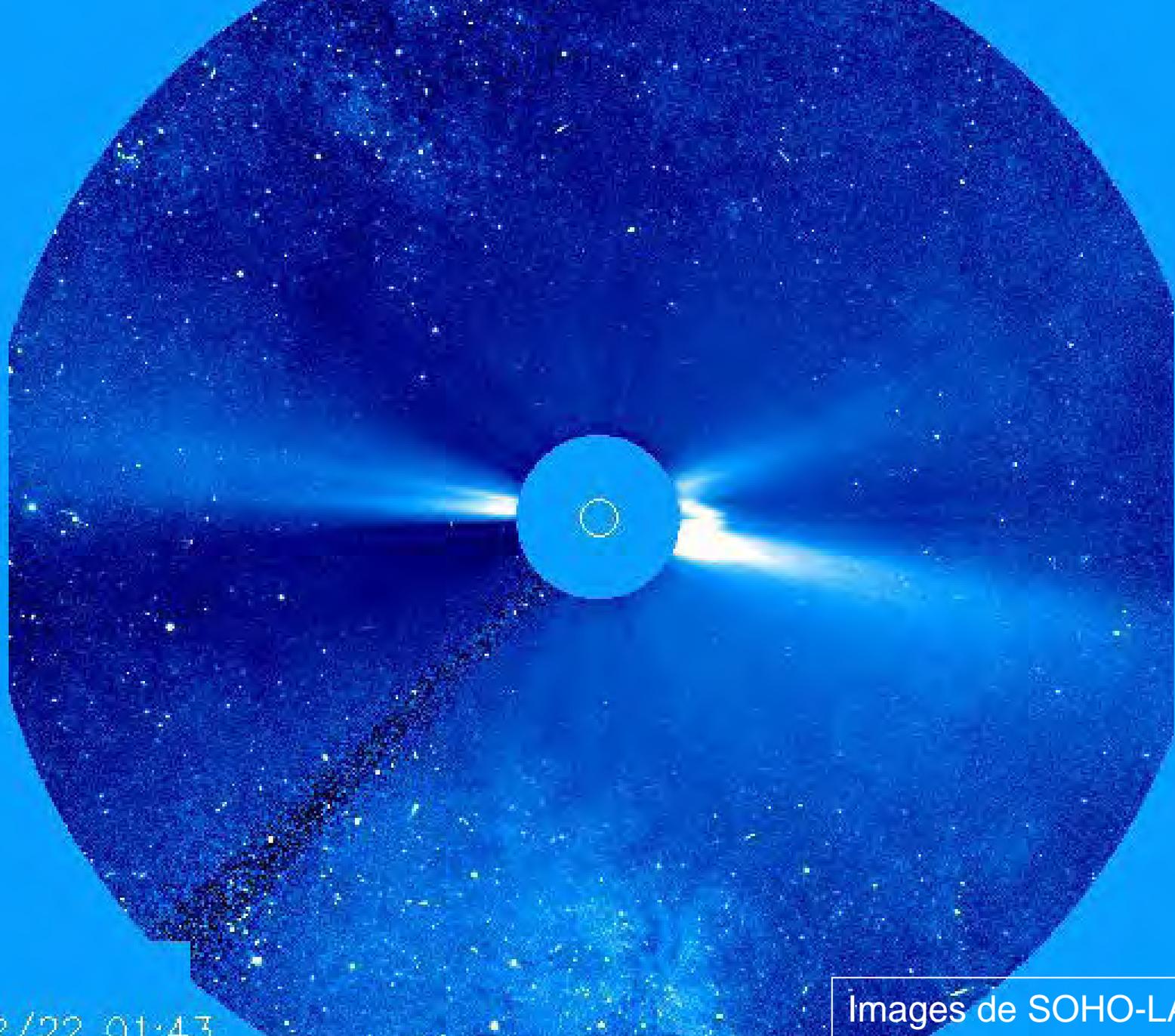
# Couronne



Images de SOHO-LASCO

16/12/22 01:43

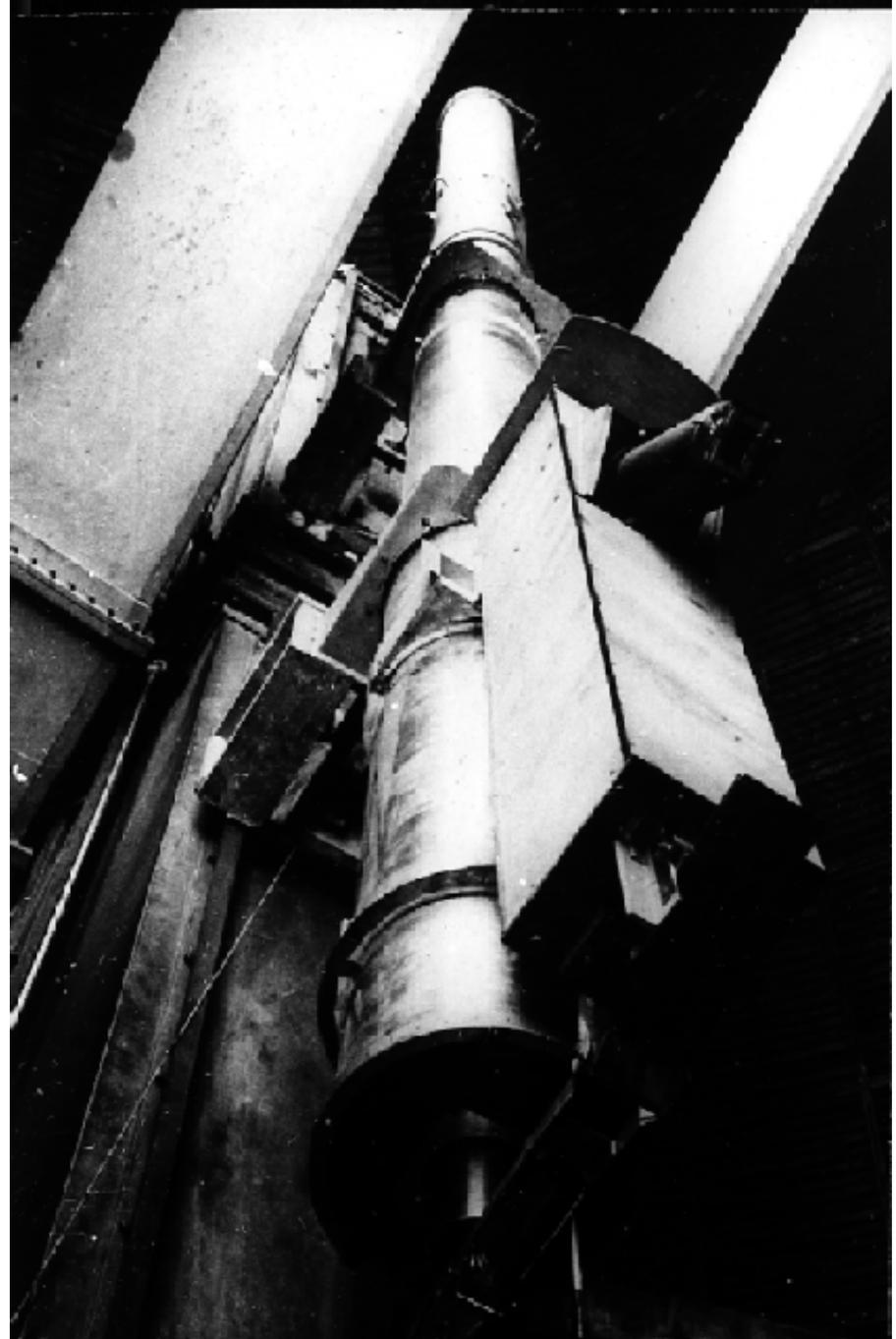
Images de SOHO-LASCO



# Retour à l'instrument original: le coronographe de Bernard Lyot



**Coronographe de B. Lyot à  
'Observatoire du Pic du Midi en 1935  
© Observatoire de Paris —  
Patrimoine Scientifique de  
'Observatoire de Meudon**



# Étude de la couronne solaire en dehors des éclipses.

Par **Bernard Lyot** à Paris.

Avec 16 figures dans le texte. (Reçu le 29 Juillet 1932.)

La couronne solaire est un des objets célestes les plus intéressants, non seulement pour les astronomes mais surtout pour les physiciens, car la matière dont elle est constituée se trouve soumise à des conditions très différentes de celles que nous pouvons réaliser en laboratoire. Malheureusement, c'est aussi un des objets que l'on peut étudier le plus rarement. Jusqu'à maintenant, la couronne n'avait pu être observée que pendant les éclipses totales soit, environ, pendant une minute par an, en moyenne. Son étude a nécessité de longues et coûteuses expéditions. Son éclat peu élevé et la brièveté des éclipses ont limité la dispersion des spectrographes et ont empêché d'utiliser le spectrohéliographe.

En présence de conditions aussi défavorables, un grand nombre d'astronomes et de physiciens ont cherché sans relâche, pendant un demi-siècle, une méthode permettant d'étudier la couronne en dehors des éclipses.

Aucune de ces tentatives n'a permis de déceler la couronne avec certitude: la lumière coronale était toujours complètement noyée dans une lumière beaucoup plus intense qui provenait de la diffusion des rayons solaires par notre atmosphère, par les particules que celle-ci contient en suspension et par les pièces optiques des instruments d'observation.

Nous allons d'abord examiner ces diverses causes de lumière parasite et nous indiquerons les précautions qui ont été prises pour les éliminer. Nous décrirons ensuite les appareils installés à l'Observatoire du Pic du Midi. Nous exposerons enfin les résultats relatifs à la photographie directe des protubérances et de la couronne, à la polarisation de la couronne et aux raies brillantes de son spectre, obtenus pendant les étés 1930 et 1931.

Chacune des sources de lumière parasite qui apparaissent sur ces clichés suffirait, à elle seule, pour masquer entièrement la couronne. Un objectif à plusieurs verres ou le miroir d'un télescope diffuserait encore plus de lumière.

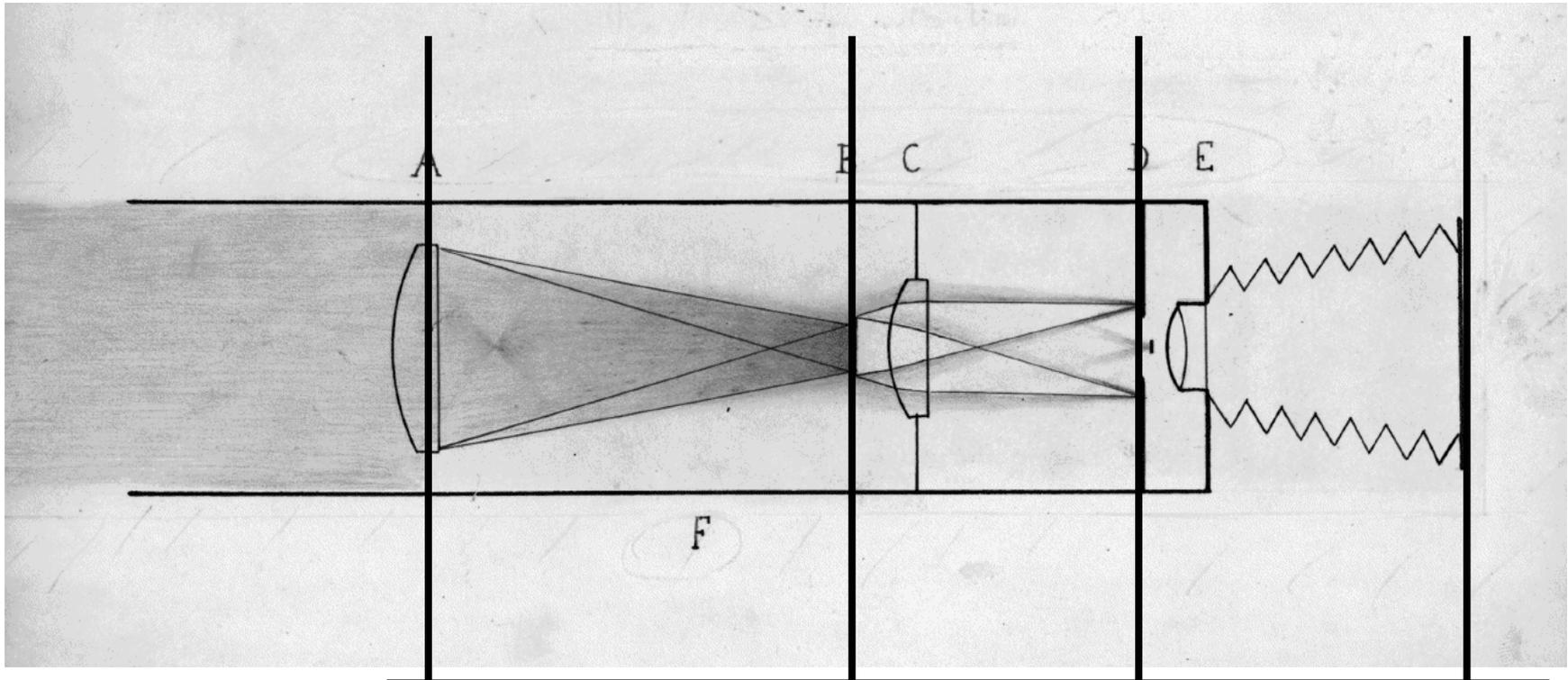
*Coronographe.* J'ai cherché à réaliser un coronographe qui élimine toutes ces lumières parasites<sup>1)</sup>.

La pièce principale de l'appareil est une lentille plan-convexe de 13 cm de diamètre et de 3,15 m de distance focale. Elle a été taillée à l'Institut

---

<sup>1)</sup> Comptes Rendus des réunions de l'Institut d'Optique — 4<sup>e</sup> réunion — 6 Avril 1931.

# Schéma de principe du coronographe (de la main de B. Lyot)



Plans: Pupille

Focal

Pupille

Focal

# Réalisation

Coronographe de B. Lyot à  
l'Observatoire du Pic du Midi en 1935  
© Observatoire de Paris —  
Patrimoine Scientifique de  
l'Observatoire de Meudon

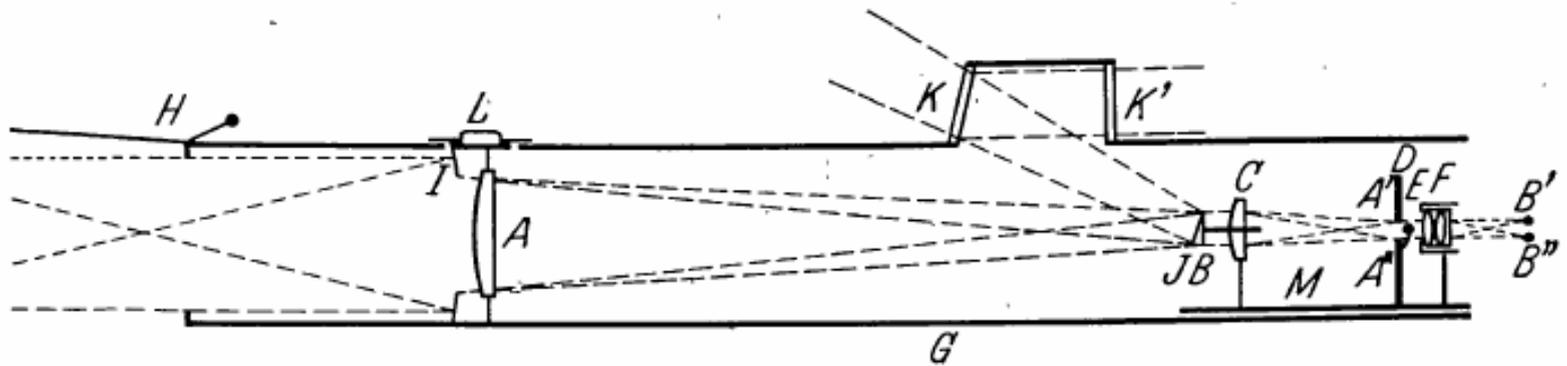
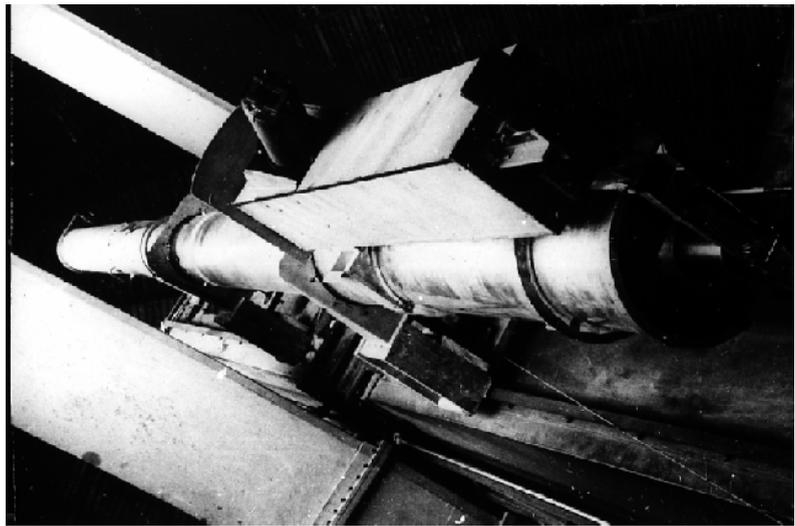
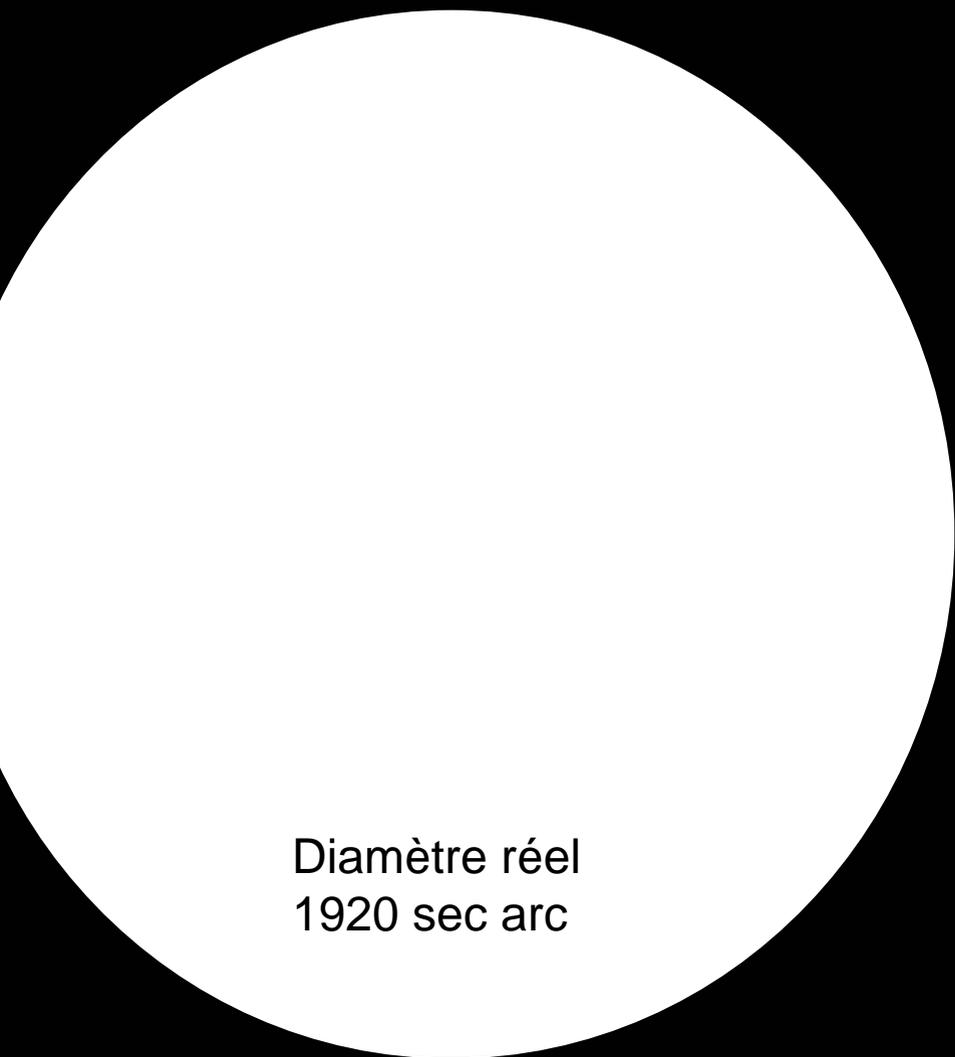


Fig. 2. Schéma du coronographe.

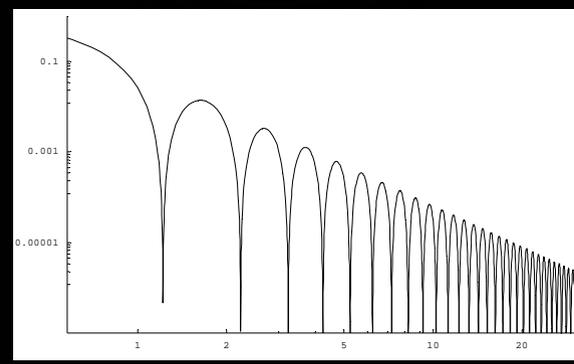
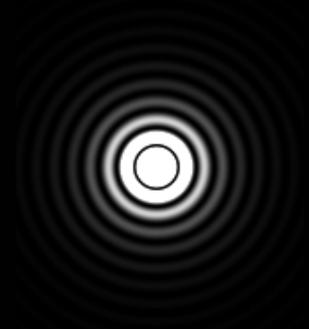
# Que fait le coronographe de Lyot pour la lumière parasite?

- Diffusion atmosphérique
- Diffraction par les particules en suspension dans l'air
- Diffusion instrumentale:
  - Défauts du verre, réflexions internes
  - Diffraction des bords de la lentille



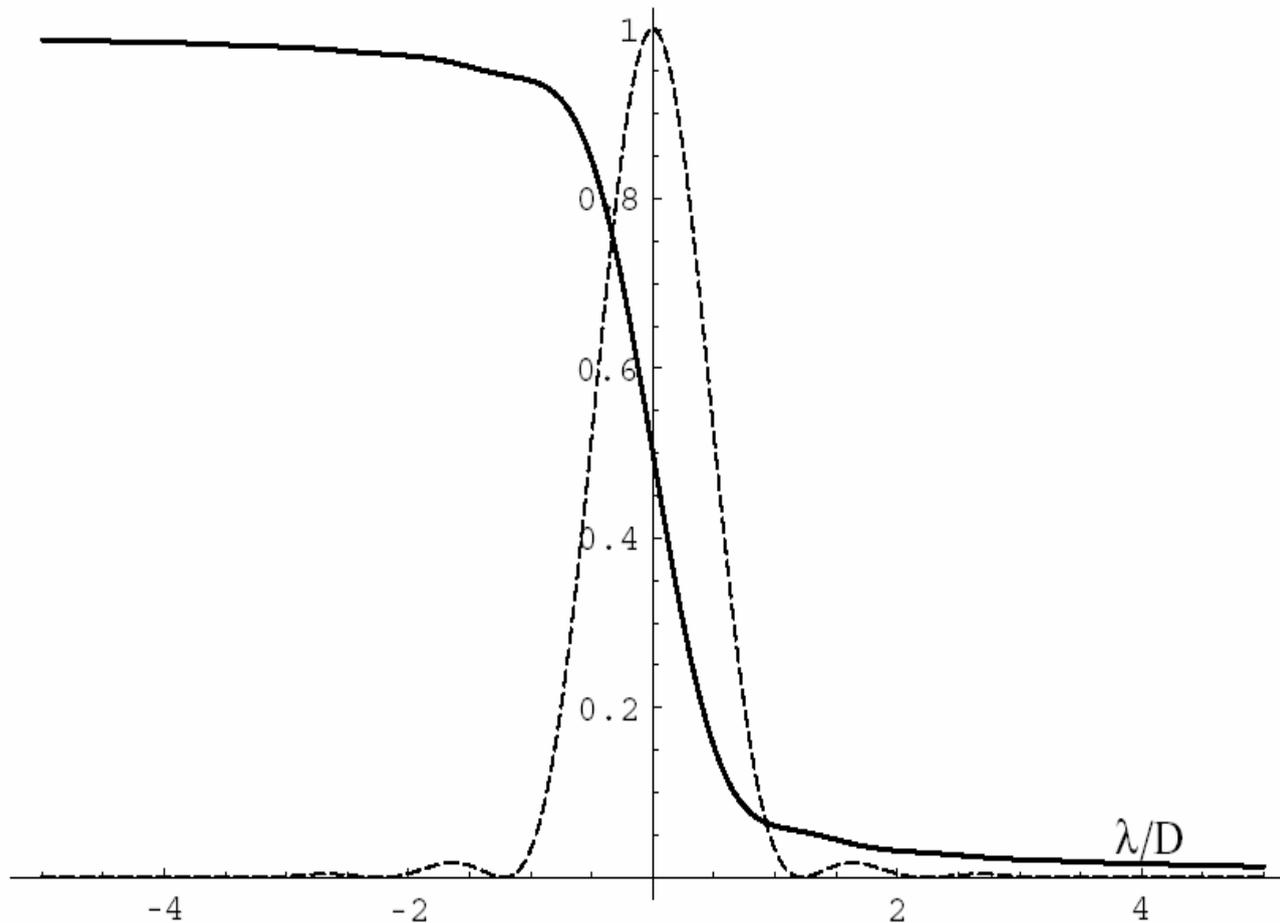
Diamètre réel  
1920 sec arc

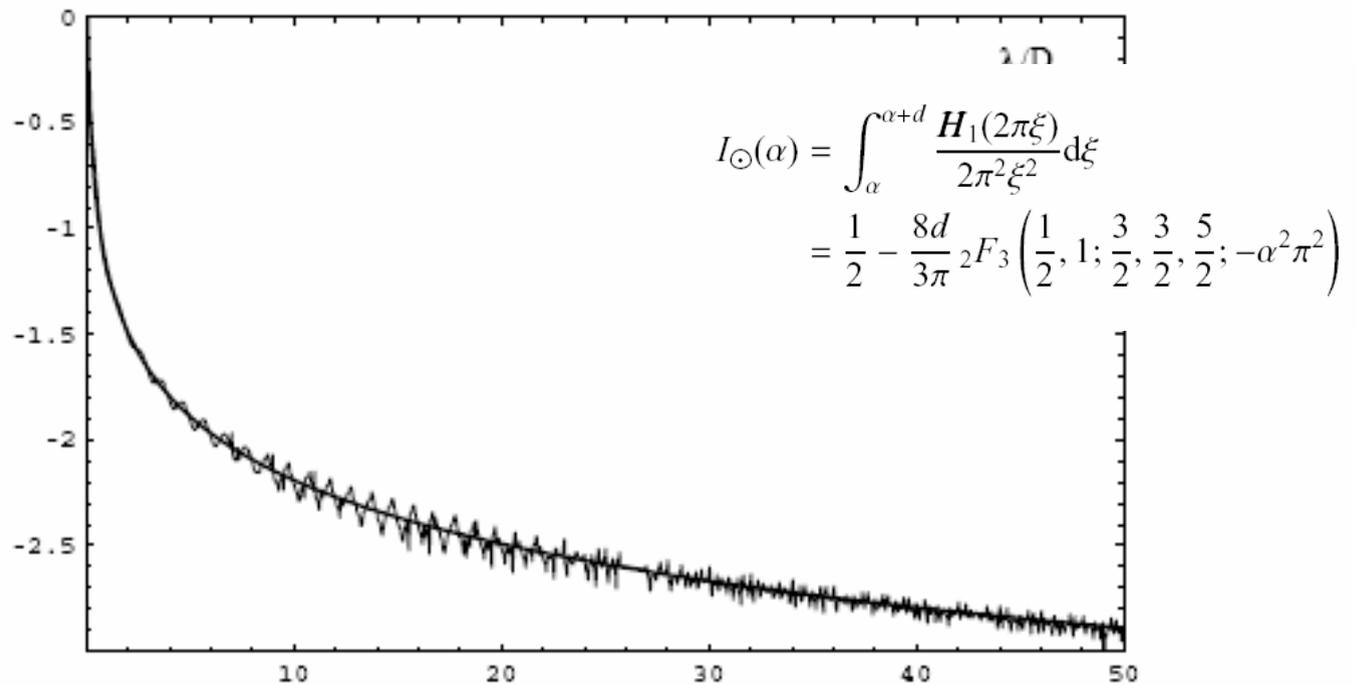
Convolution par:



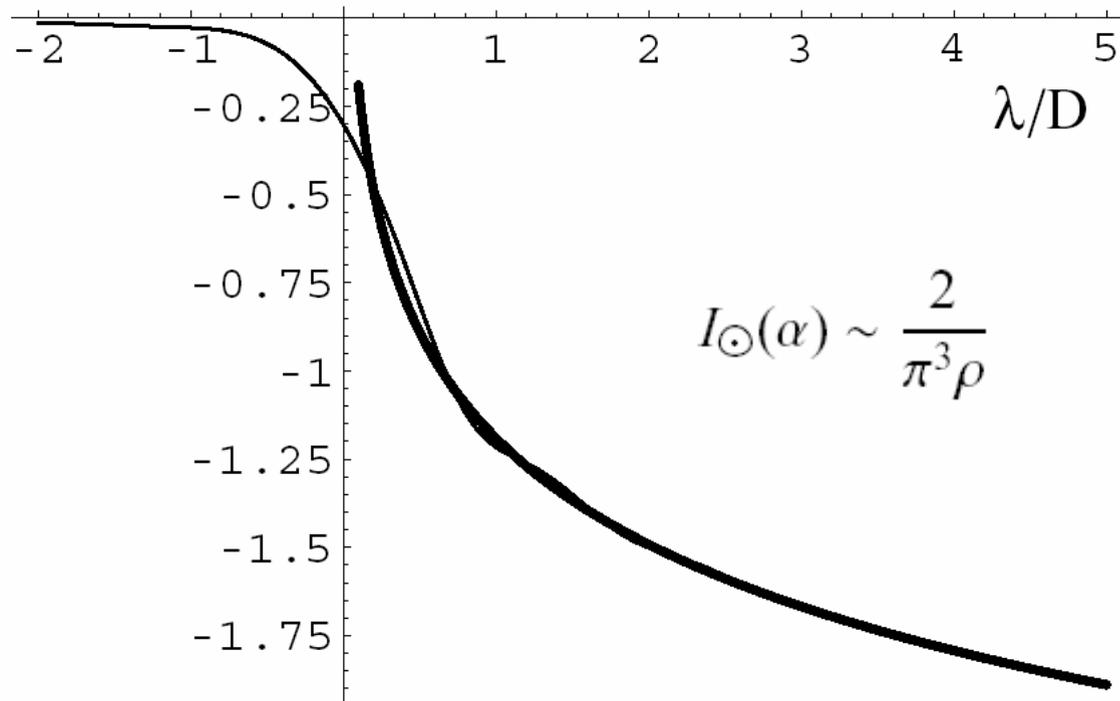
# et après quelques calculs...

Claude Aime: Apodized apertures for solar coronagraphy





**Fig. 10.** Numerical vs analytical curves of the halo. The analytic curve is drawn using Eq. 22. The noisy curve corresponds to a numerical computation of Eq. 13.



**Fig. 11.** Representation of the diffracted halo given in Eq. (21) with its simple approximation in  $\alpha^{-1}$  of Eq. (23). The approximation, which is fair even for  $\alpha$  values of a few  $\lambda/D$ , becomes very good for large values.

(NB:ces calculs ont peut être déjà été faits par H.Nagaoka)

A STUDY OF THE SOLAR CORONA AND PROMINENCES  
WITHOUT ECLIPSES

*(George Darwin Lecture, delivered by M. Bernard Lyot, Assoc.R.A.S.,  
on 1939 May 12)*

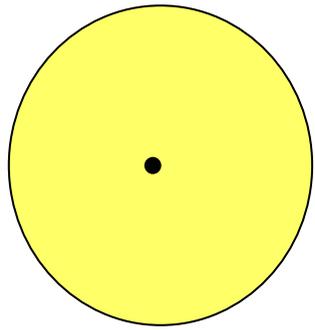
exterior. This halo is very strong ; according to a more recent calculation of Nagaoka, at 2' from the edge of the image, its brightness is 3000 times less strong than the Sun's—that is to say, about 350 times stronger than the corona's. At any distance the halo is more than 200 times stronger than the corona, which renders observations impossible.

DIFFRACTION OF A TELESCOPIC OBJECTIVE IN THE  
CASE OF A CIRCULAR SOURCE OF LIGHT

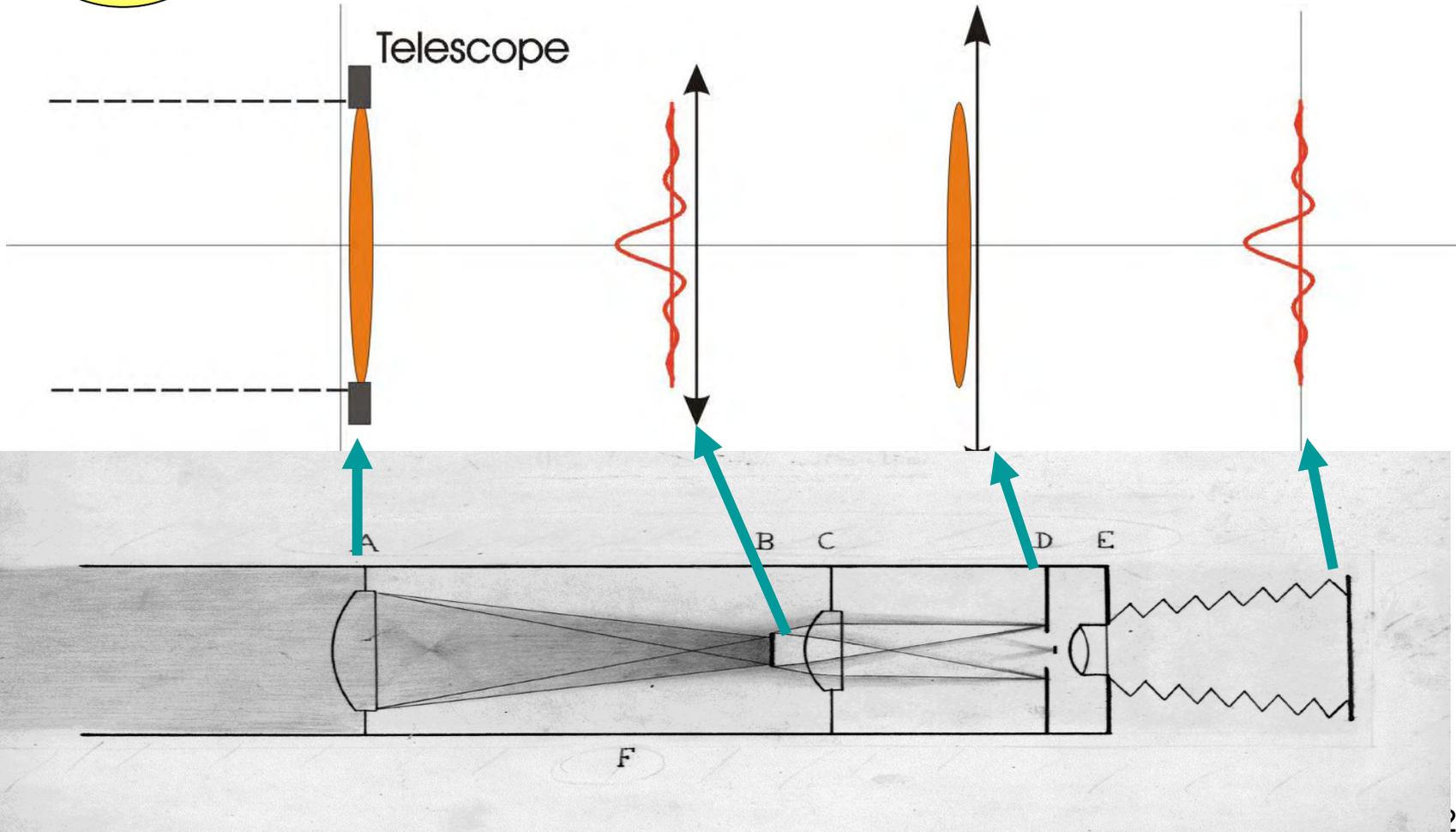
By H. NAGAOKA (ApJ 1920 vol. 51, p.73 )

Lyot, pour réduire cet effet de diffraction, construit un système complexe qui effectue un « filtrage optique »

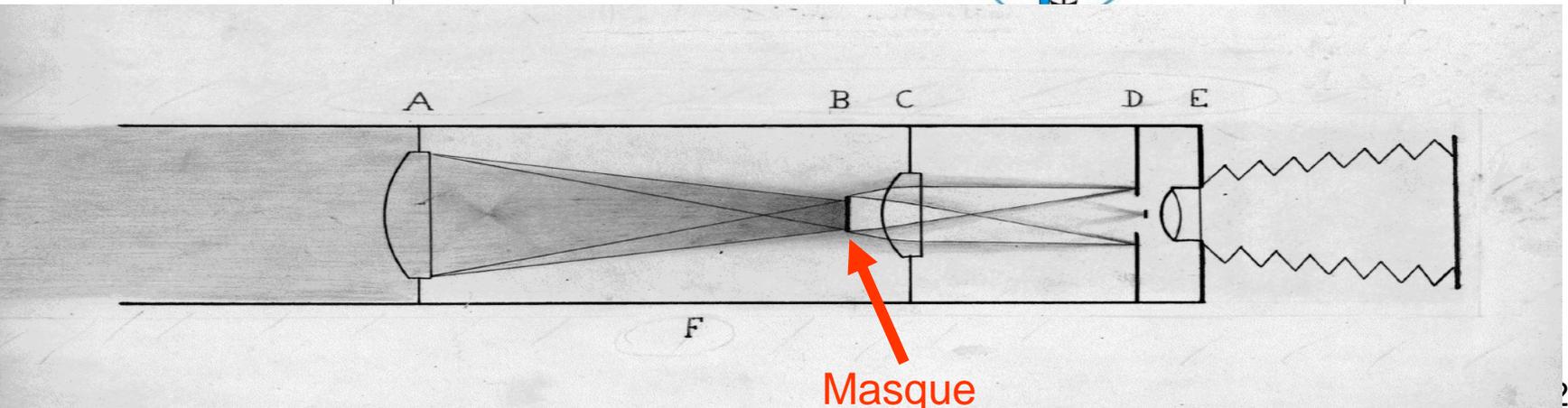
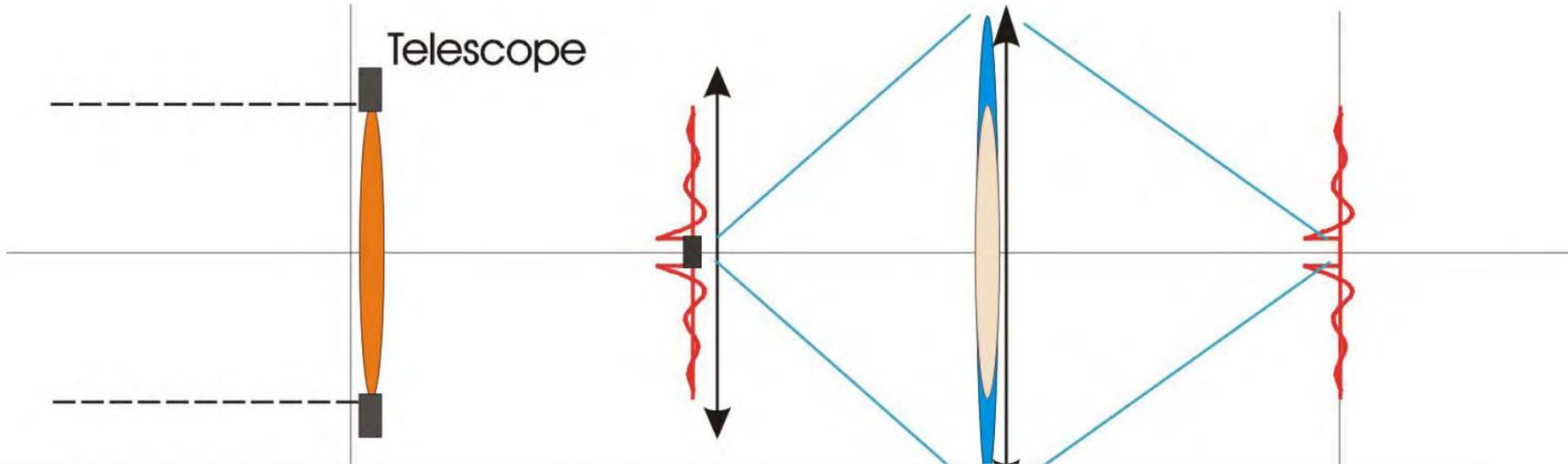
Présentation simplifiée avec les diapos suivantes



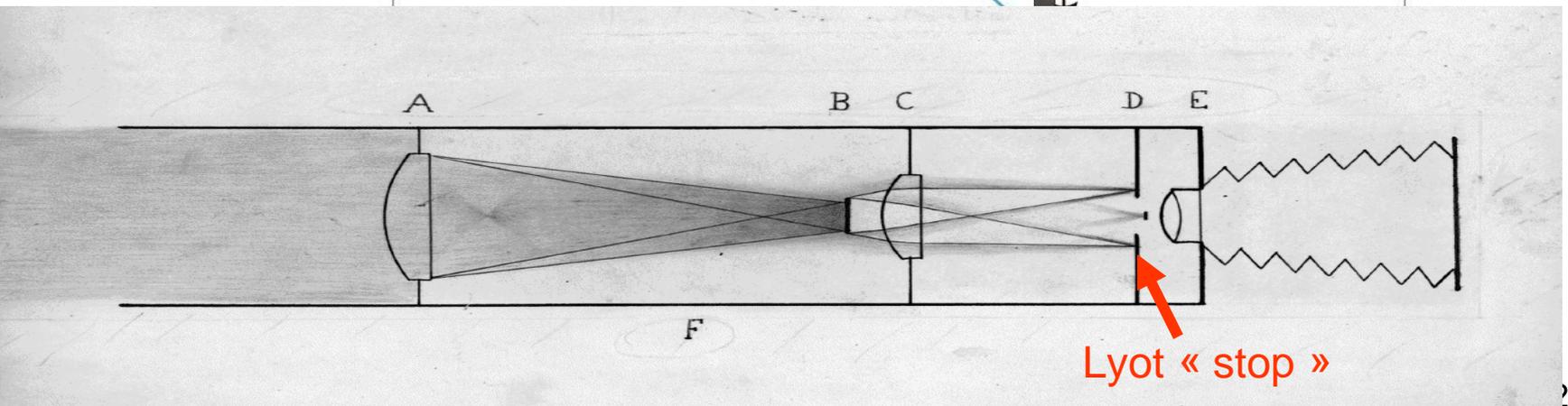
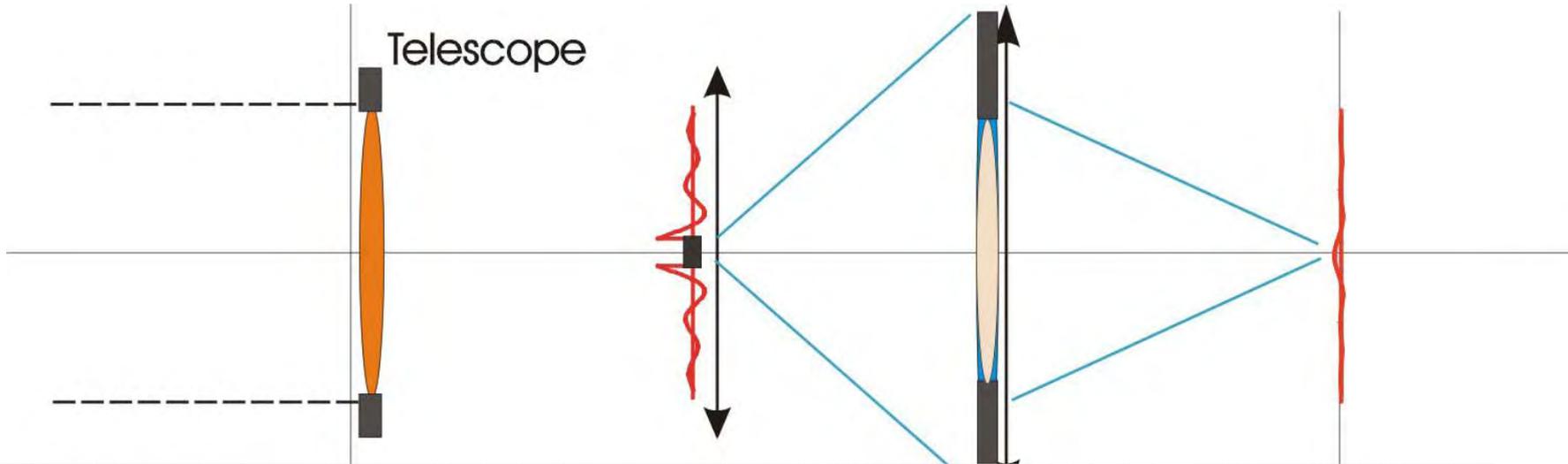
Pour chaque point du disque solaire  
Tout d'abord un transport d'image

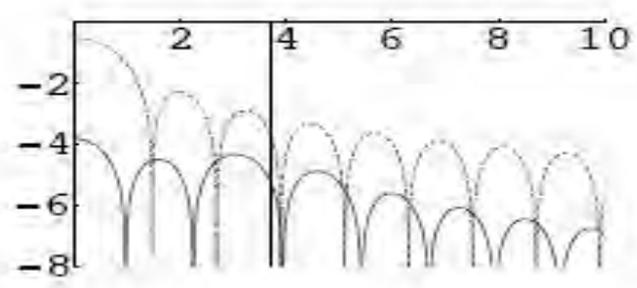
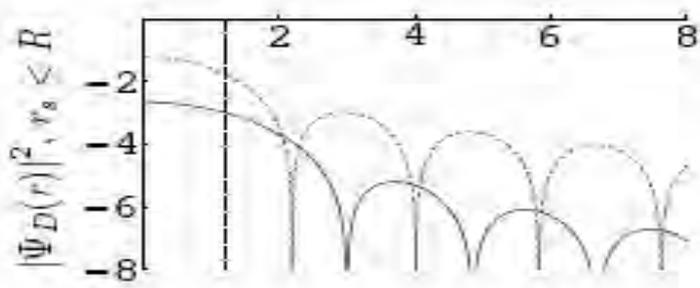
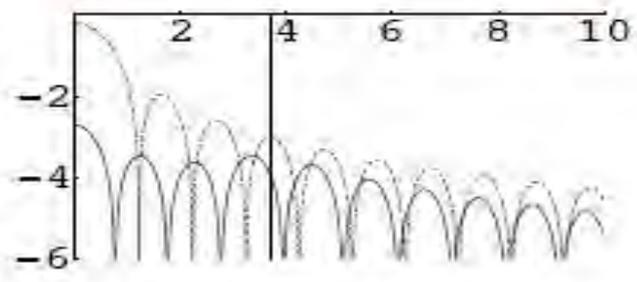
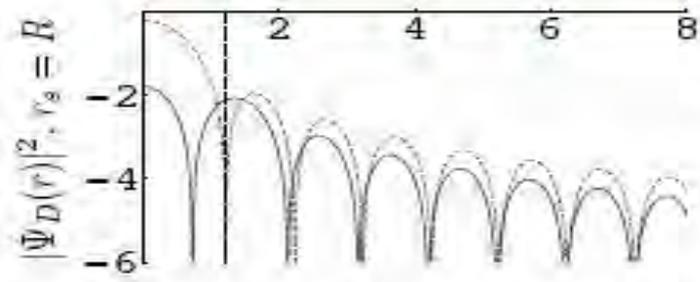
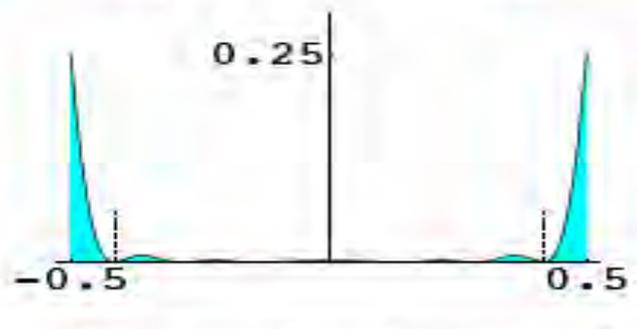
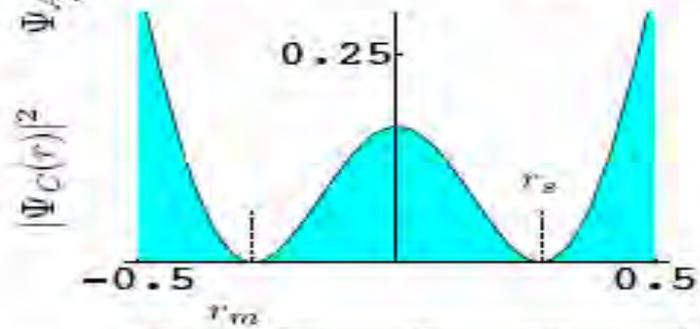
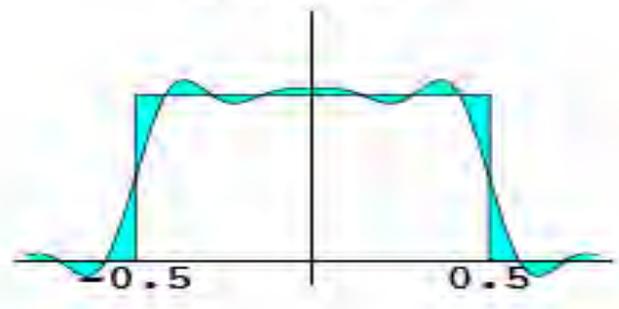
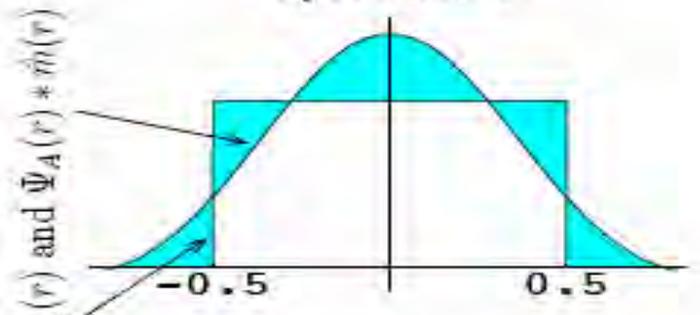


Masque de Lyot (immense pour le soleil), cette illustration correspond au coronographe de Lyot « stellaire »

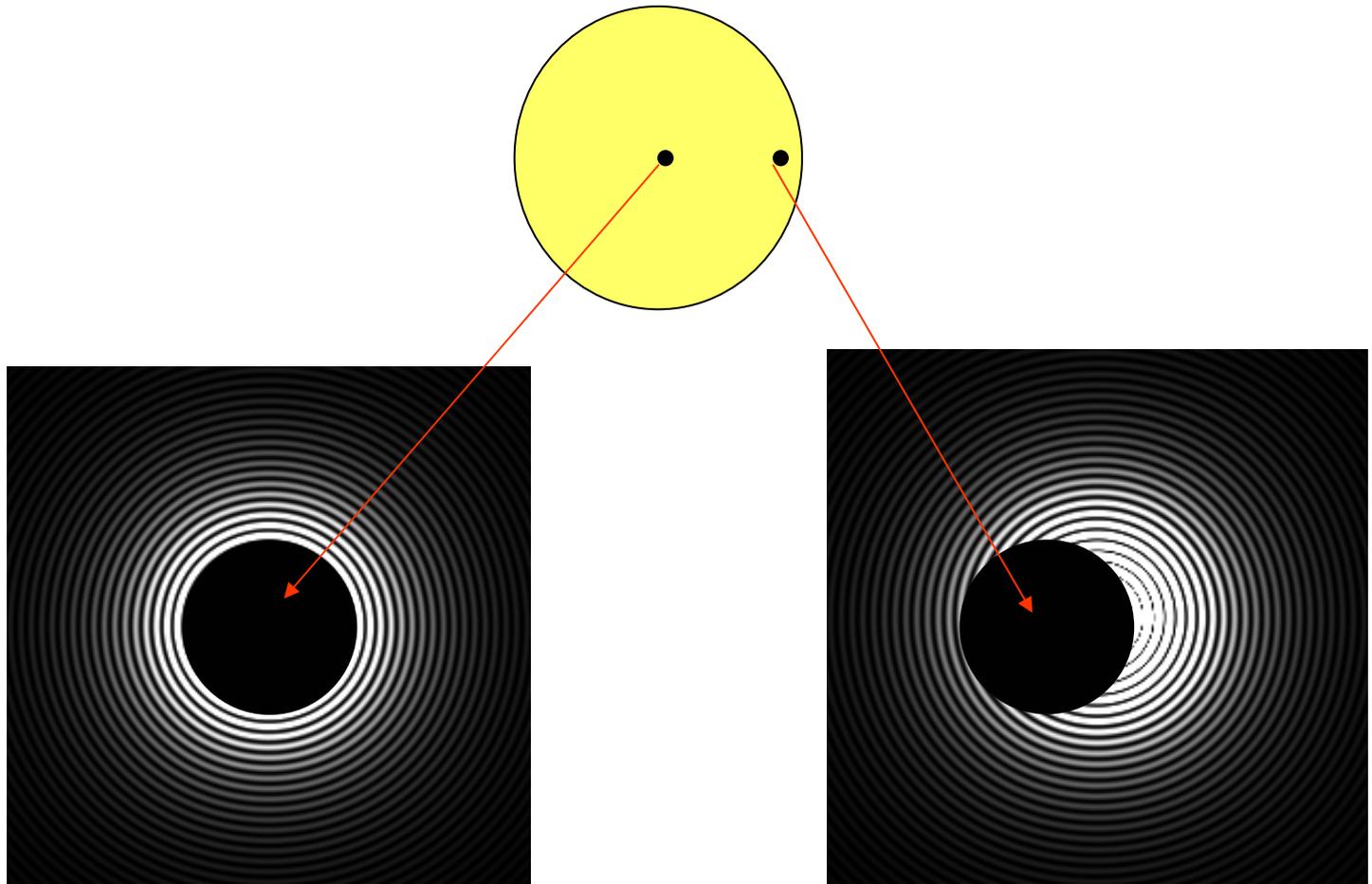


# Coronographe de Lyot



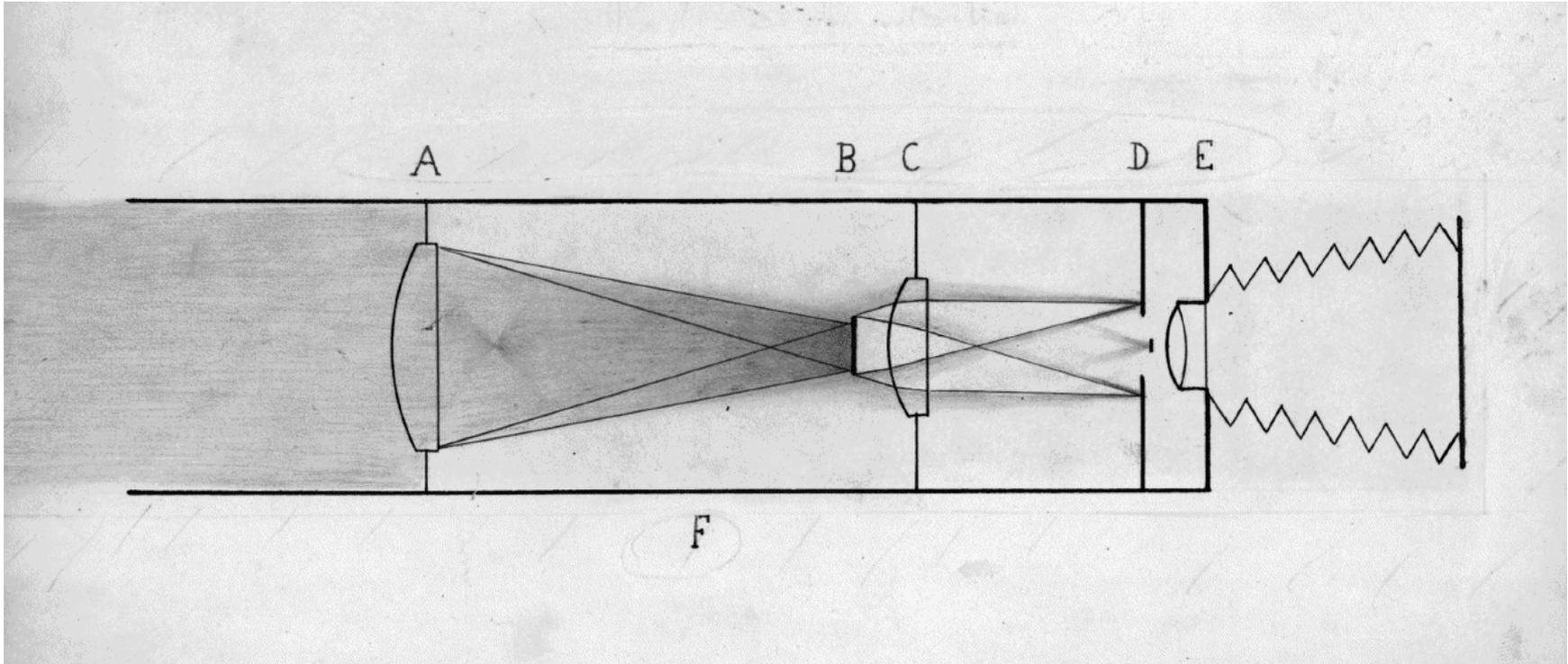
Lyot mask *a*Lyot mask *b*

# Effet du Lyot sur tous les points du Soleil, non dans l'axe: (plus difficile, travail en cours avec A. Ferrari)



NB: Schéma pour un soleil centré sur l'axe de l'instrument. Les échelles ne sont toujours pas respectées

# Alternative au coronographe de Lyot ?



# Quelle est la fonction fondamentale du coronographe de Lyot ?

- Diffusion atmosphérique
- Diffraction par les particules en suspension dans l'air
- Effets instrumentaux:
  - Défauts du verre, réflexions internes

– Diffraction des bords de la lentille

Réduisons la diffraction par apodisation

# DETECTION OF EARTH-LIKE PLANETS USING APODIZED TELESCOPES

PETER NISENSEN AND COSTAS PAPALIOIOS<sup>1</sup>

Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138;

[pnisenenson@cfa.harvard.edu](mailto:pnisenson@cfa.harvard.edu), [cpapaliolios@cfa.harvard.edu](mailto:cpapaliolios@cfa.harvard.edu)

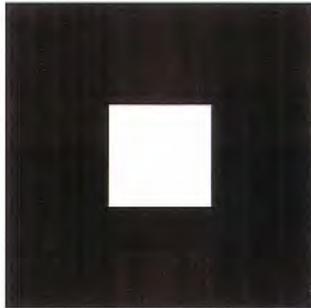
*Received 2000 October 20; accepted 2000 December 1; published 2001 February 20*

1. INTRODUCTION

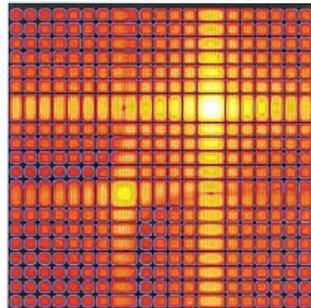
L202

DETECTION OF EARTH-LIKE PLANETS

Vol. 548



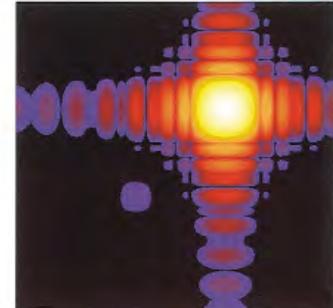
Square Aperture, No Apodization



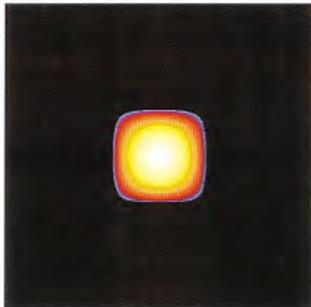
100:1 Star to Planet Ratio  
No Apodization



10<sup>6</sup>:1 Star to Planet Ratio



10<sup>9</sup>:1 Star to Planet Ratio



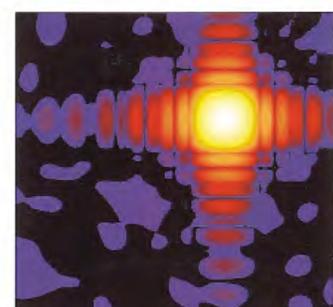
Apodized Square Aperture



100:1 Star to Planet Ratio  
Apodization

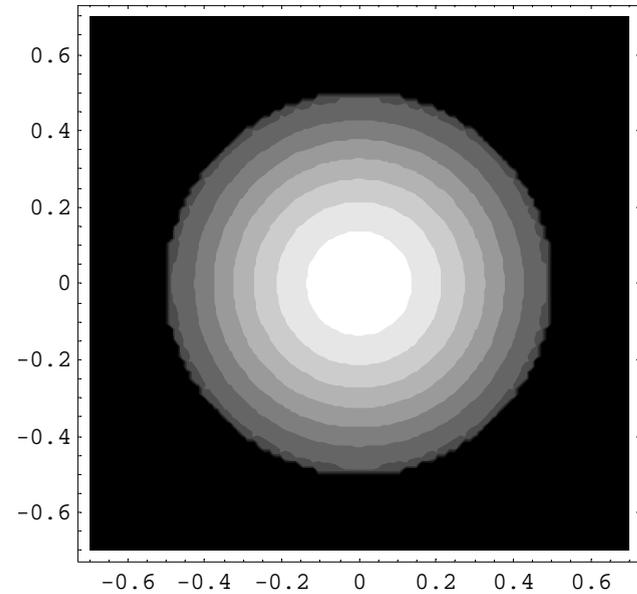
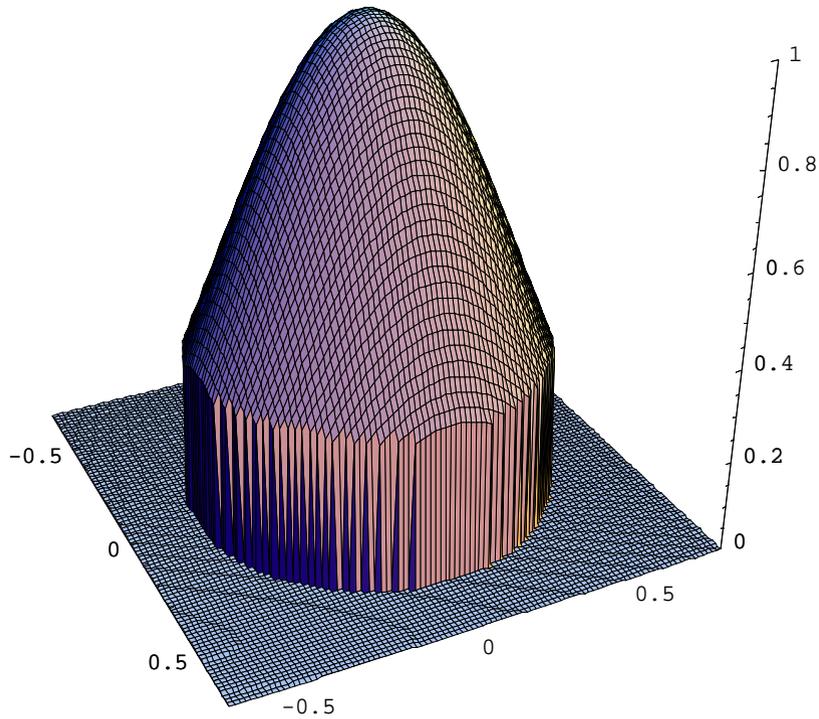


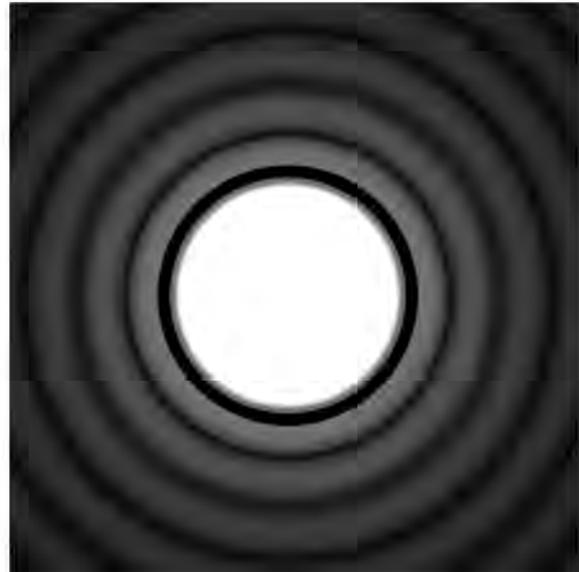
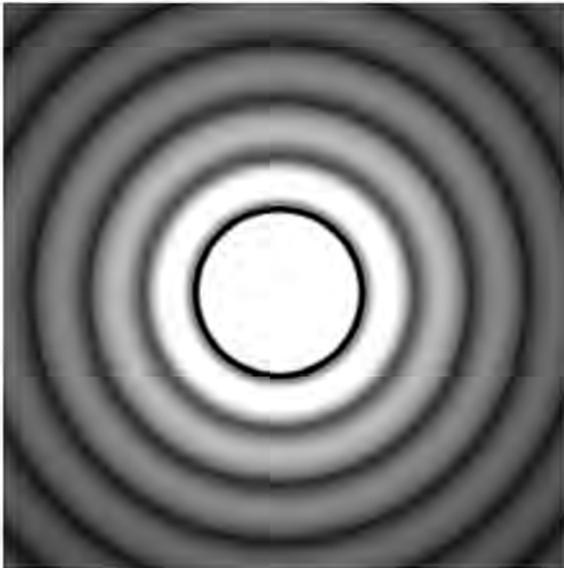
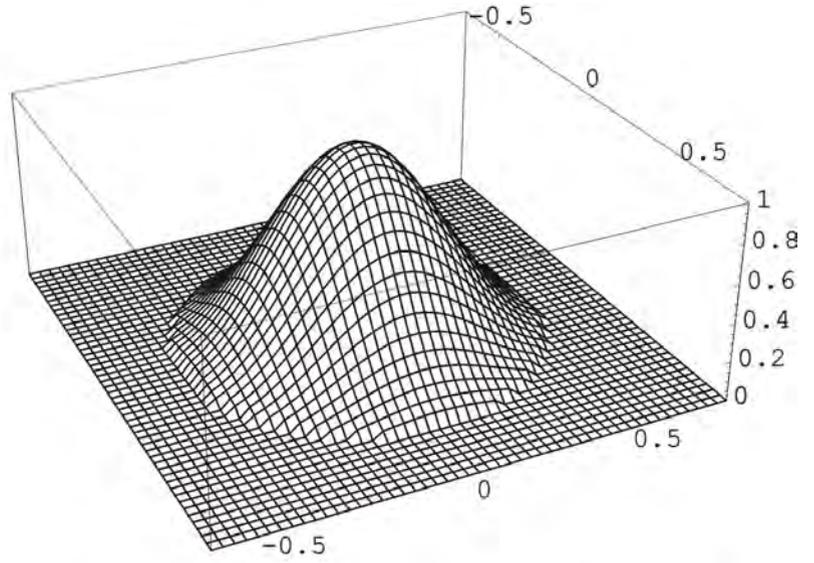
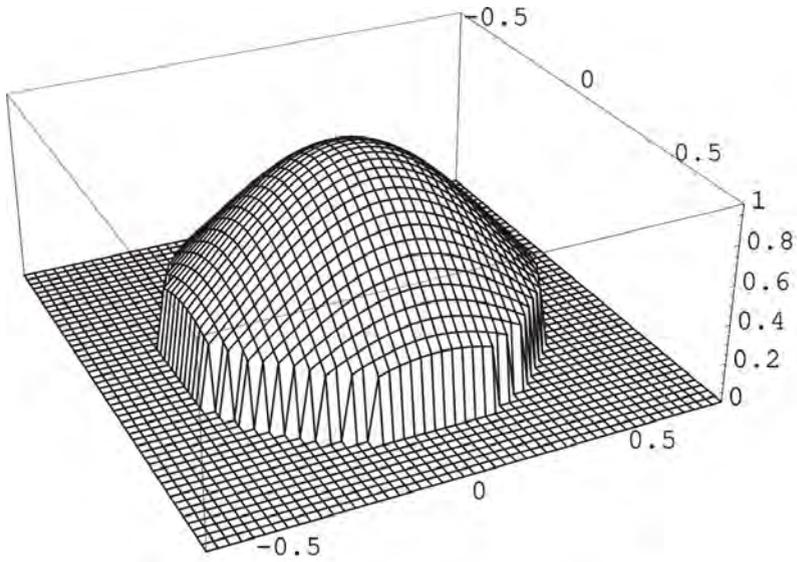
10<sup>9</sup>:1 Star to Planet Ratio  
1/72 Wave Random Wavefront Error



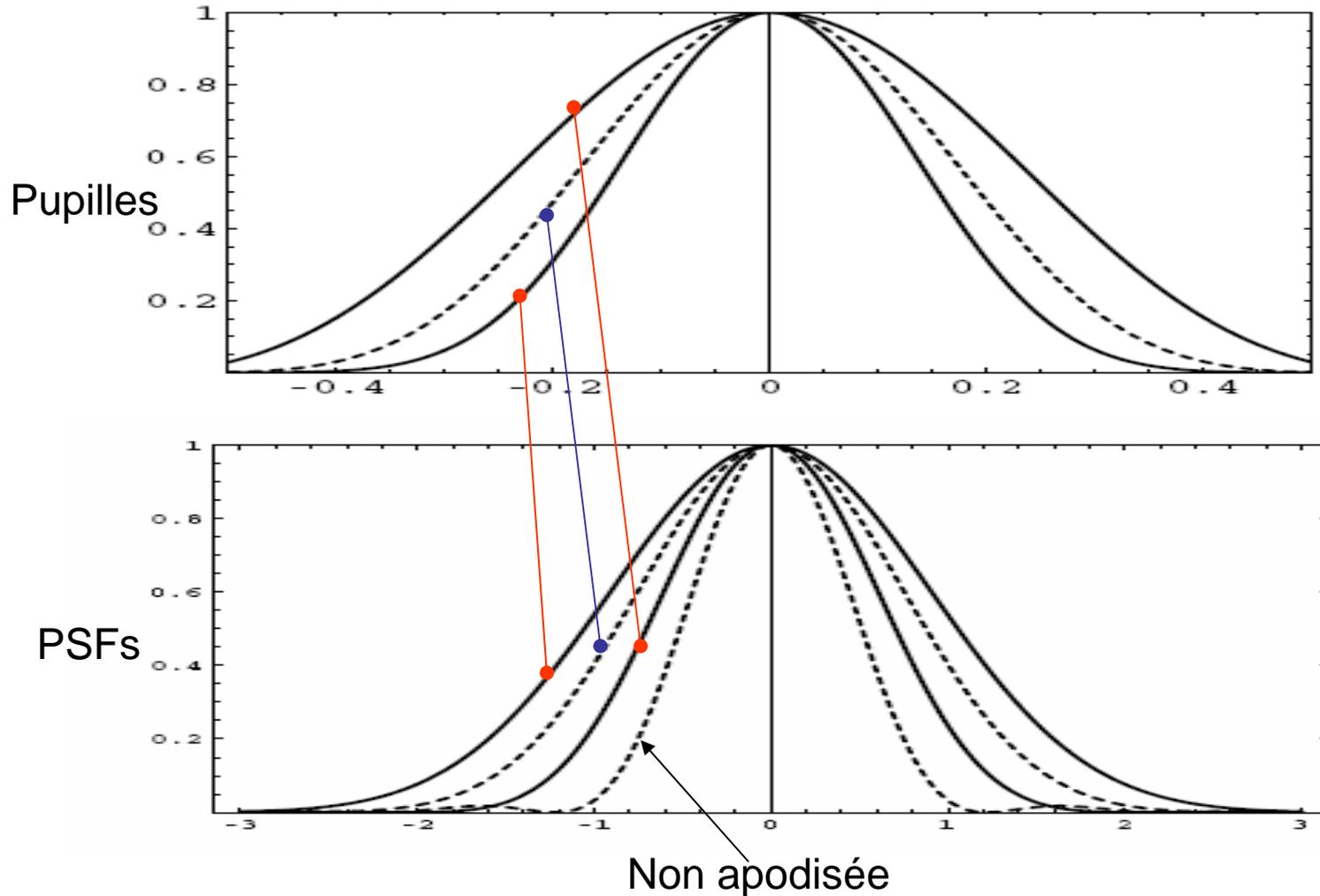
10<sup>9</sup>:1 Star to Planet Ratio  
1/50 Wave Random Wavefront Error

# Apodisation

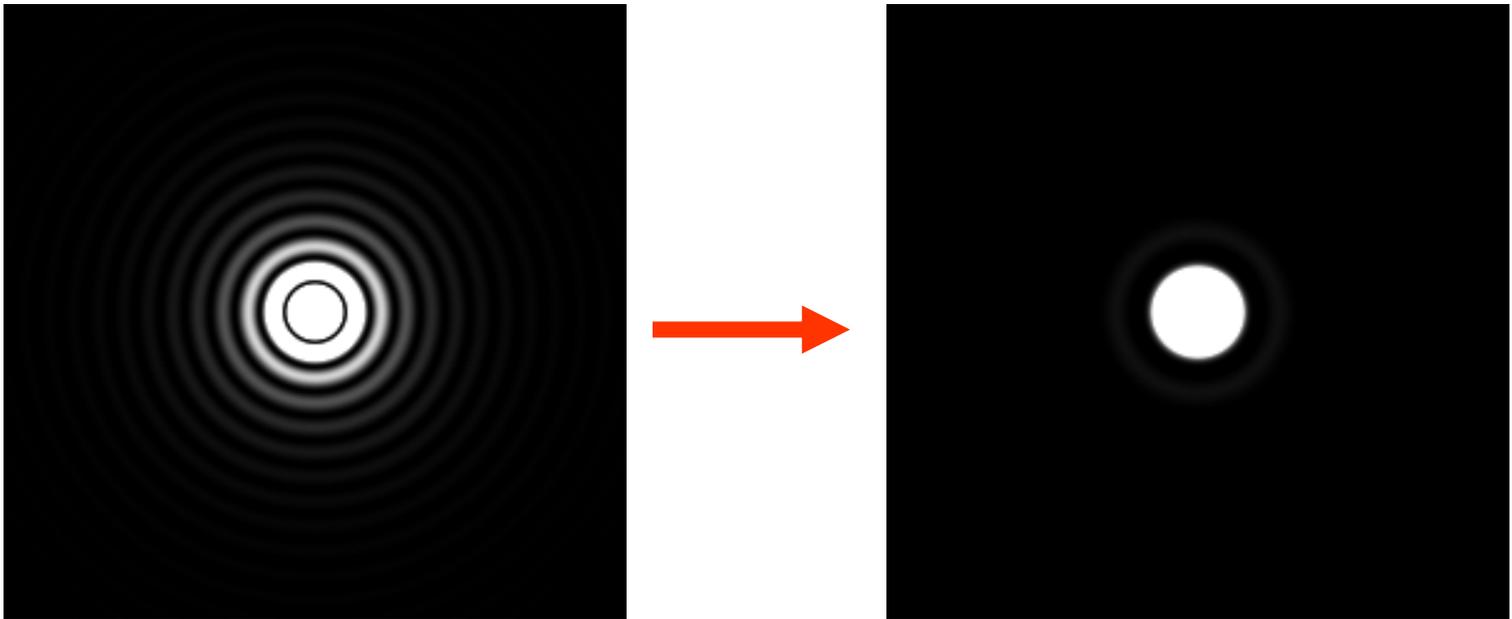


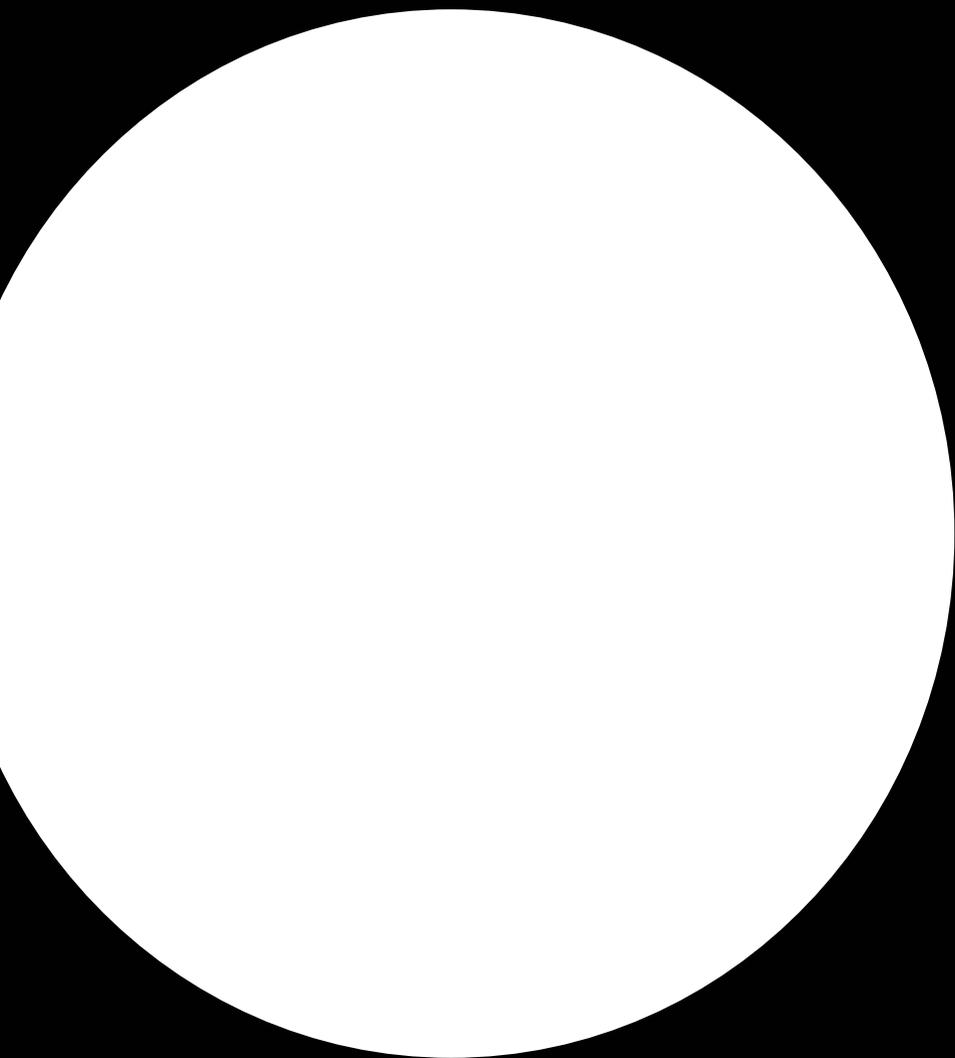


# Pupilles fortement apodisées



# Effet d'apodisation

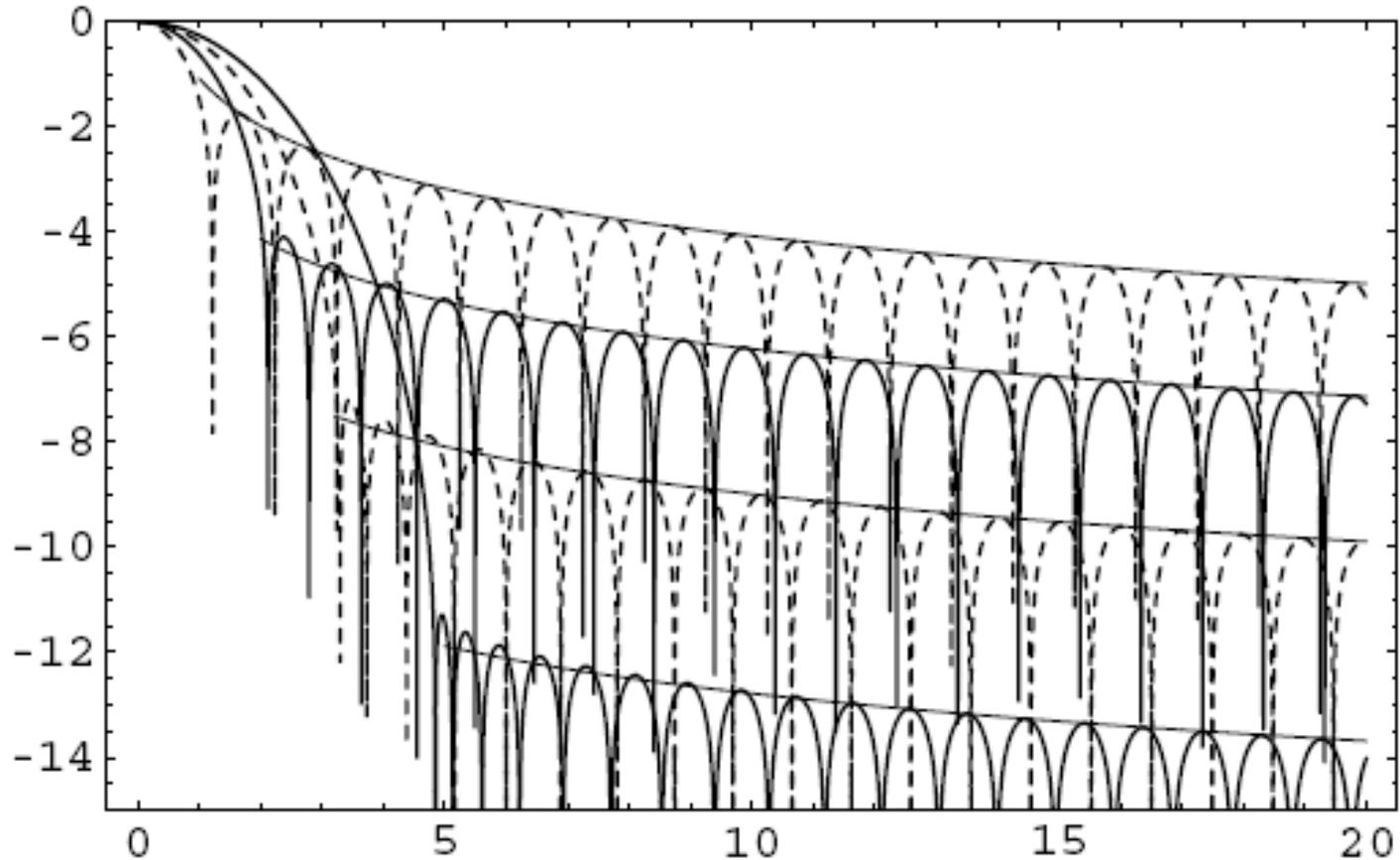




Convolution

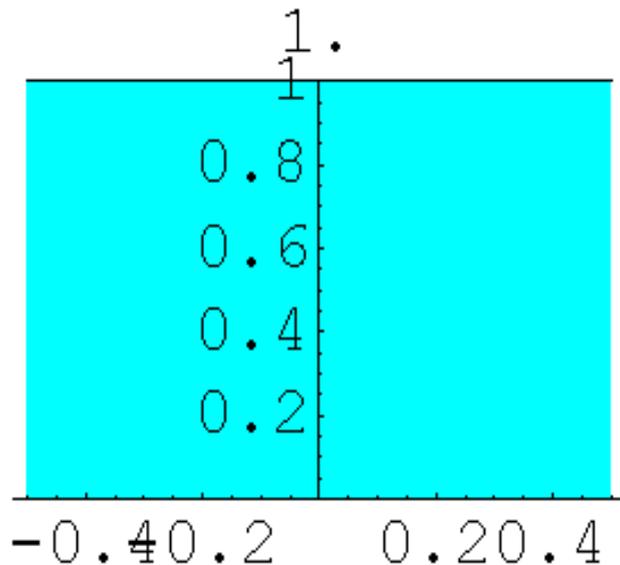


# Exemple pour les fonctions prolate sphéroïdales

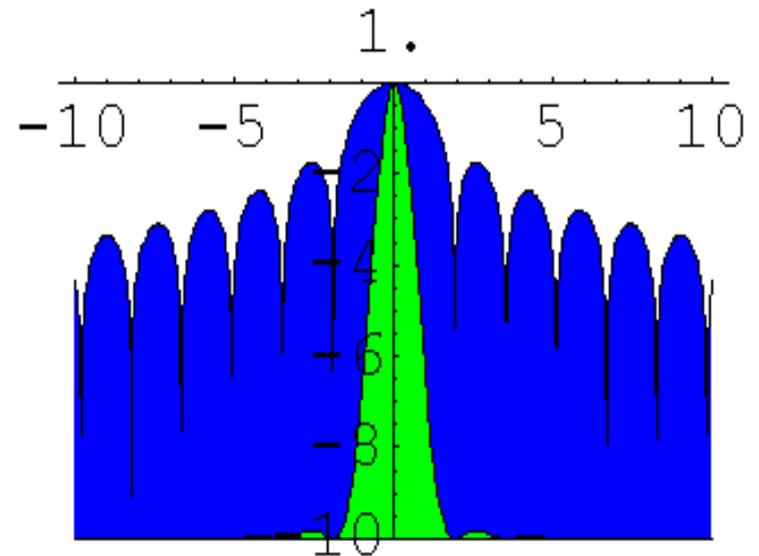


L'apodisation se « paye » en élargissement du pic central et en perte de flux

Flux transmis :



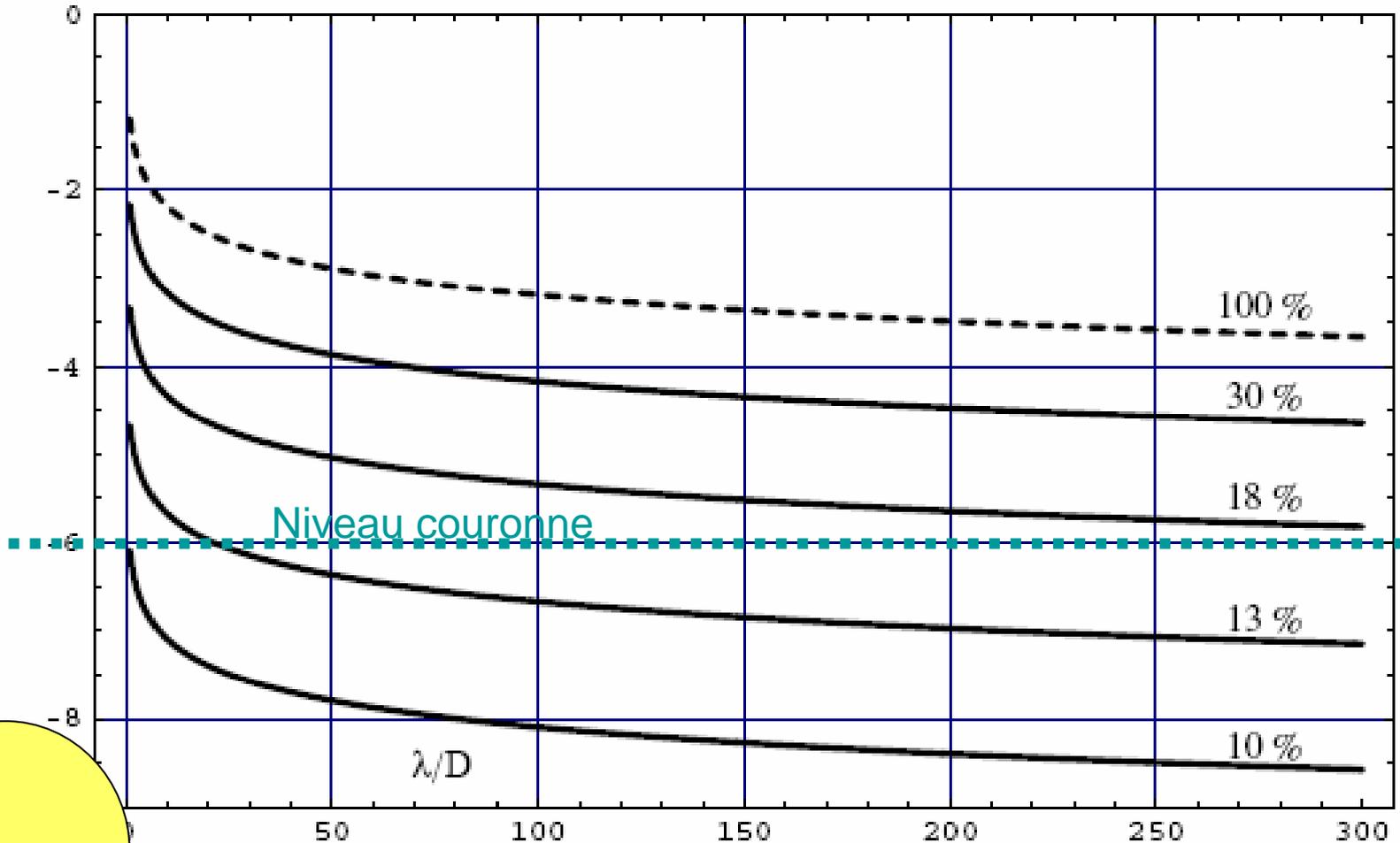
Surface équivalente :



PSF en log et linéaire

# Résultat pour le halo de diffraction du soleil

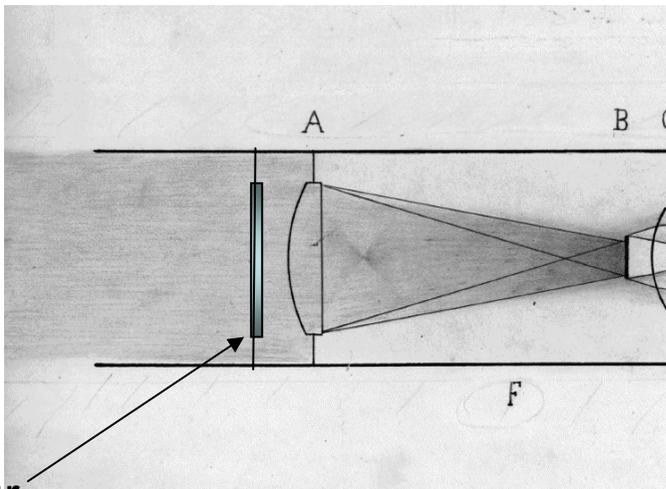
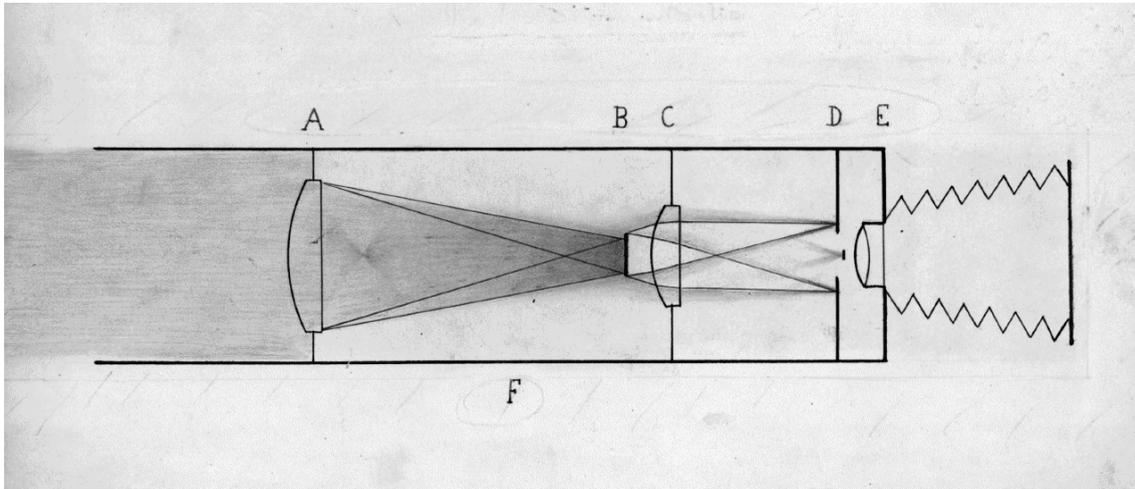
# Niveau halo pour différentes apodisations



Distance à partir du bord solaire en unités de résolution

Il faut une  
Pupille fortement apodisée

# Coronographe apodisé (principe)



Apodiseur

Il faut construire  
un prototype !

Difficile ?

# Jacquinet, P., & Roizen-Dossier, B., 1964, in Progress in Optics 3, 31

The results are confirmed by a work of Sinton, who has used an apodiser in actual observations; SINTON [1952] made an apodiser  $T(r) = 1 - 4r^2$  for use with a 9 inch refractor by evaporating aluminium on to an optical flat. This apodiser is reported to have noticeably improved the contrast of certain planetary images; by means of it the companion of Sirius was observed and this has a relative luminosity of  $10^{-4}$  and an angular distance from Sirius of 5 seconds of arc. With the same objective, but not apodised, the diffracted intensity due to Sirius at the place where the image of the companion is formed is 3.7 times

II, § 9]

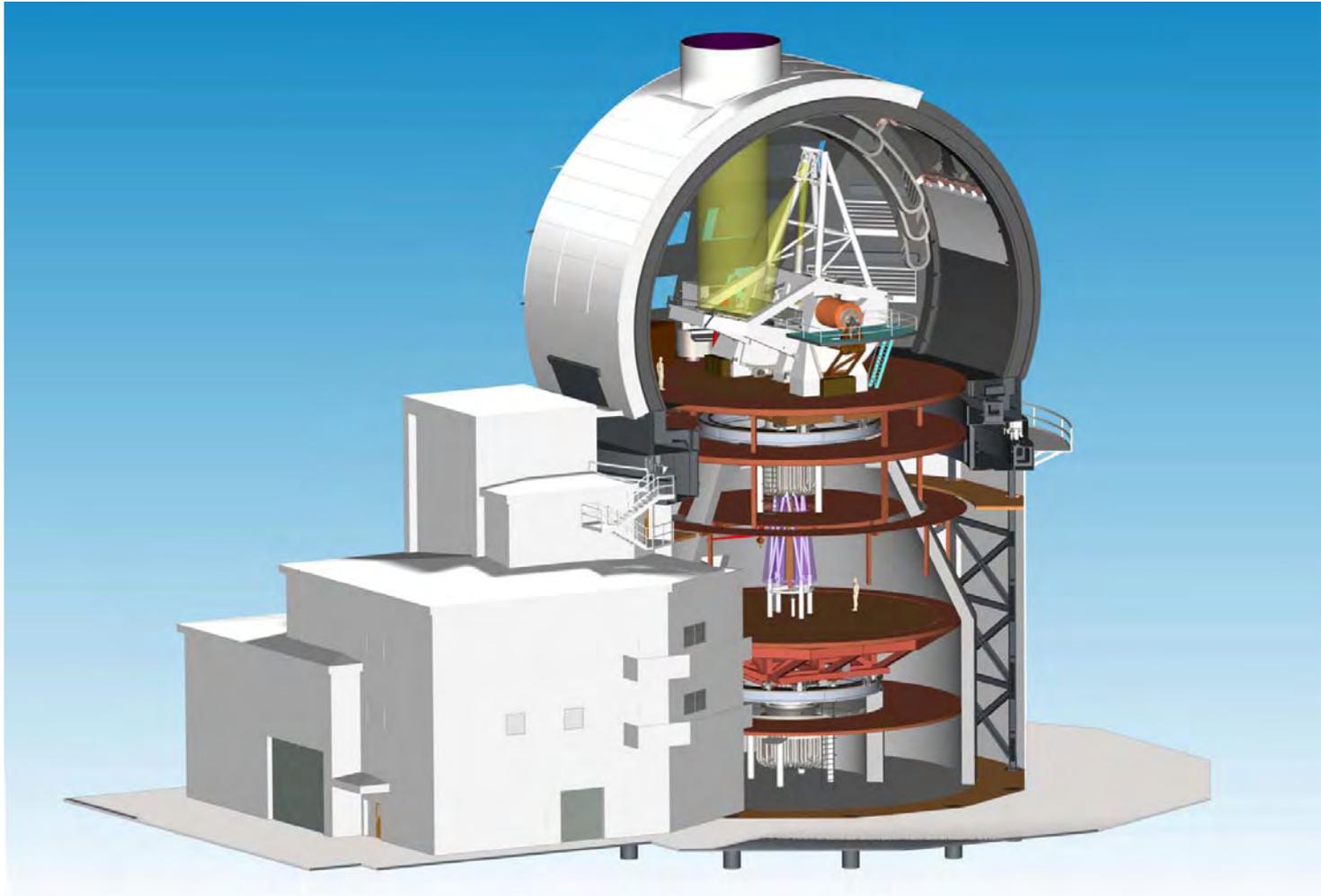
PRODUCTION AND APPLICATIONS OF APODISERS

135

$I_c$ , the intensity of the latter. With the apodiser in position the diffracted intensity at this point is only 1.6 % of  $I_c$ . Thus the companion is clearly resolved.

Il faut vraiment construire  
un prototype de  
coronographe  
par pupille apodisée !

# À proposer à l'ATST ensuite!



Lame de  
passage  
apodisante  
par réflexion

