Une histoire du premier interféromètre à plusieurs télescopes

Antoine Labeyrie
Collège de France

Premières interférences de lumière: Thomas Young (1804)

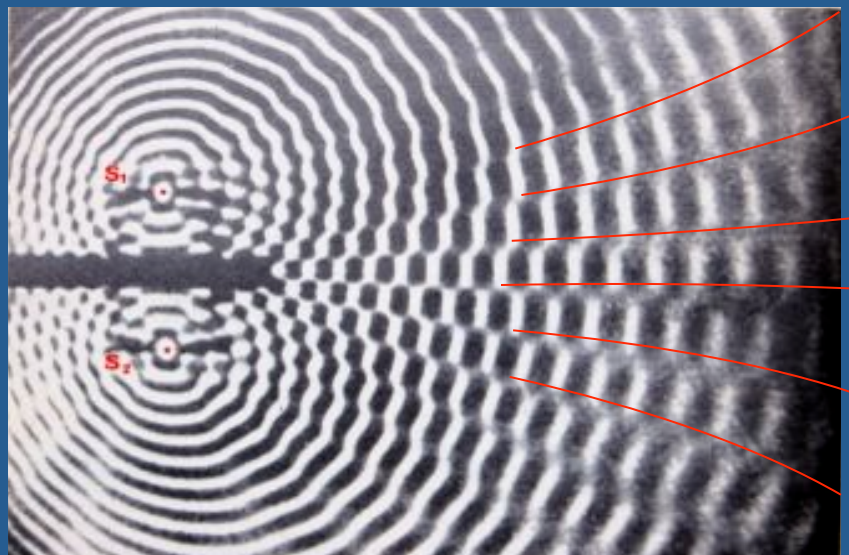
- intuitions de modèle ondulatoire de la lumière

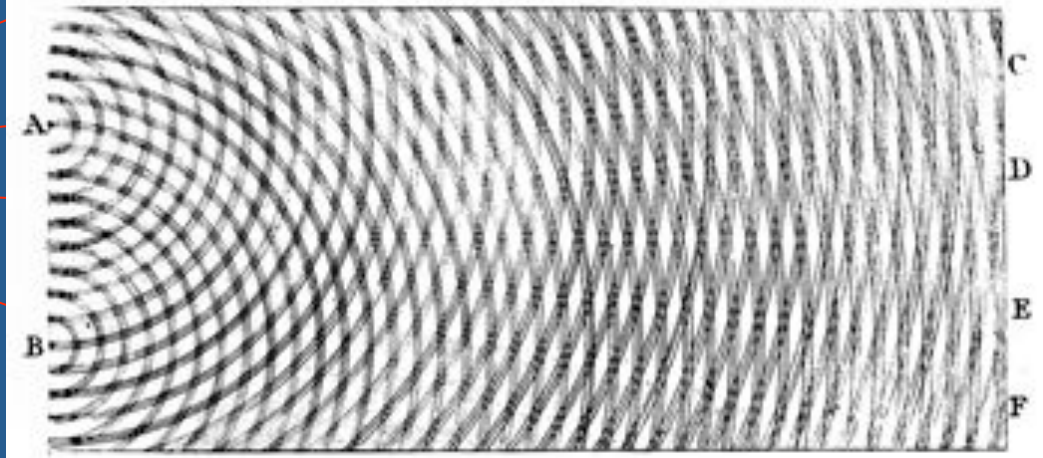
I. *The* Bakerian *Lecture. Experiments and Calculations relative to physical Optics. By* Thomas Young, *M. D. F. R. S.*

Read November 24, 1803.

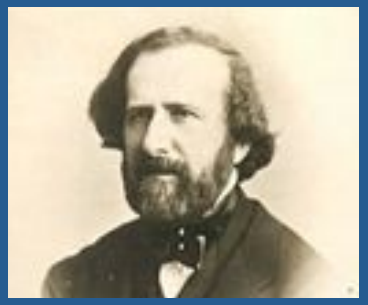
I. EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF THE GENERAL LAW OF THE INTERFERENCE OF LIGHT.

In making some experiments on the fringes of colours accompanying shadows, I have found so simple and so demonstrative a proof of the general law of the interference of two portions of





Etapes de l'interféromètrie stellaire



1873 H.Fizeau suggère de masquer un télescope

1874 E.Stephan: essai à Marseille

1891 A.A.Michelson: satellites de Jupiter a Yerkes

1920 Anderson: Capella A et B résolus: orbite, masses

1920 Michelson and Pease : poutre de 20 puis 50 pieds

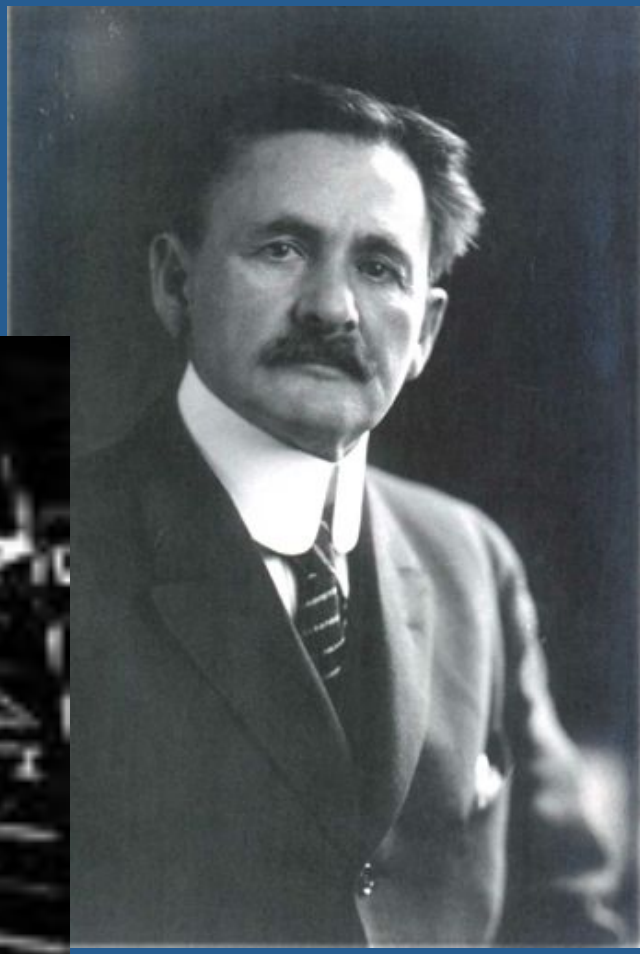
1974 Interferomètre à 2 télescopes , Nice (Labeyrie, Ap.J. 1975)

1990 GI2T à Calern

2002 ESO VLTI et Keck Interferometer

2012 essais d'hypertélescopes

Michelson et sa poutre de 20 pieds (6m)



Avaient-ils envisagé les perspectives de l'interféromètrie ?

- ... centaines d'ouvertures
- ... imagerie directe

- il manquait les moyens techniques:

  - mise en phase adaptative, caméras, asservissements, ordinateurs, etc...

Renaissance moderne

- stimulée par l'évolution technique: caméras, ordinateur, etc...

Ce qui m'a aidé:

- un passion précoce pour le bricolage, héritée du paléolithique
- une formation de physicien et d'ingénieur opticien :
  - optique théorique
  - technique opto-mécanique
- ... sans oublier le livre de J.Texereau « La construction du télescope d'amateur* » qui m'a appris à polir et observer quand j'étais étudiant

* contient un dessin de speckles , première description publiée

Difficultés rencontrées

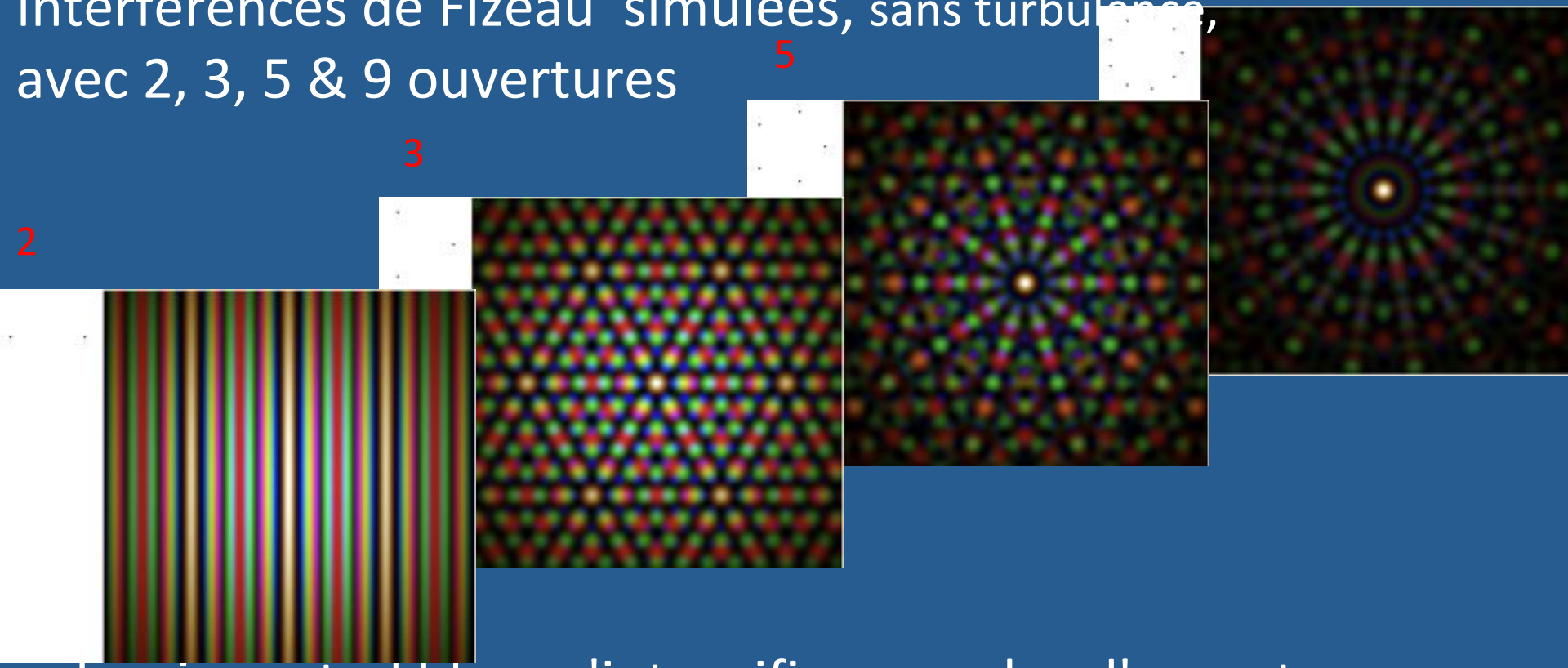
- grande sensibilité des interféromètres aux vibrations : 0,1 micron
- support technique insuffisant pour construire

les nouveaux types de montures pour I2T et GI2T

surmontées grâce à une équipe formidable !

Etapes: des franges aux images directes espérées... en passant par les speckles

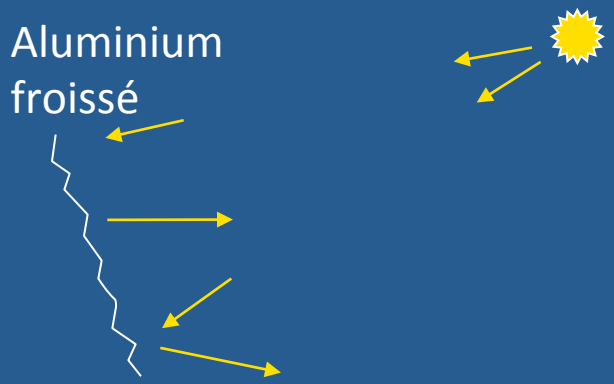
Interférences de Fizeau simulées, sans turbulence, avec 2, 3, 5 & 9 ouvertures

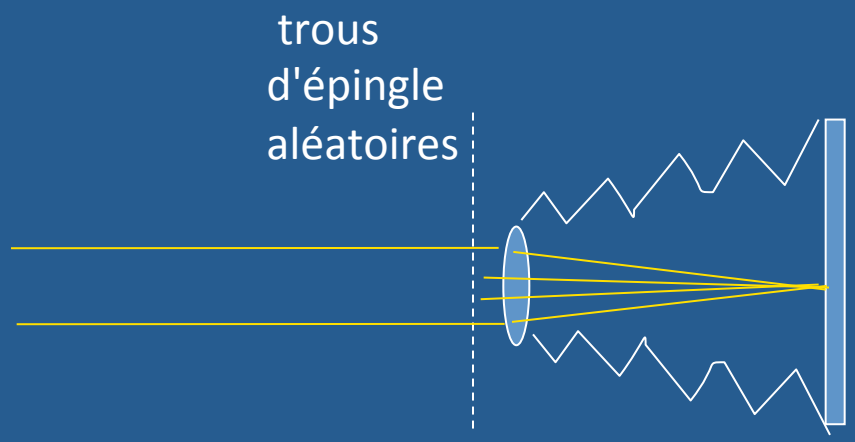


- Le pic central blanc s'intensifie avec plus d'ouvertures

Petite expérience pour bricoleurs:

Imagerie Fizeau d'un objet étendu sans turbulence





15 ouvertures

50 ouvertures

235 ouvertures

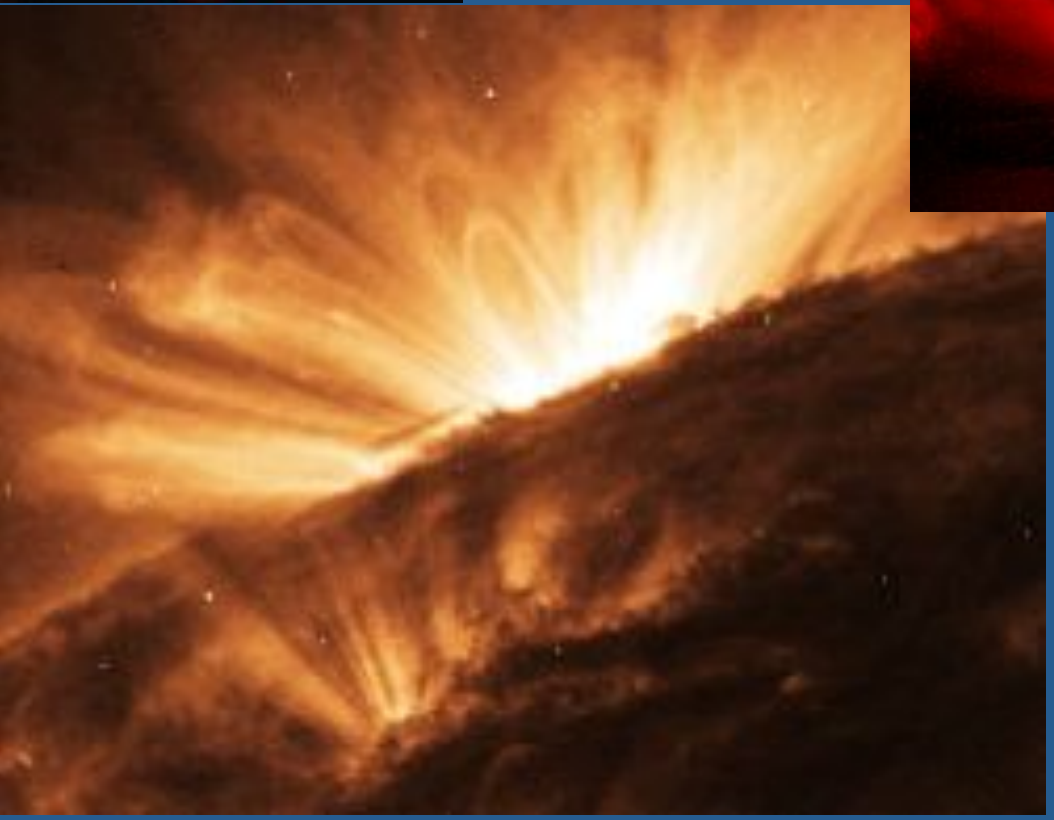
600 ouvertures

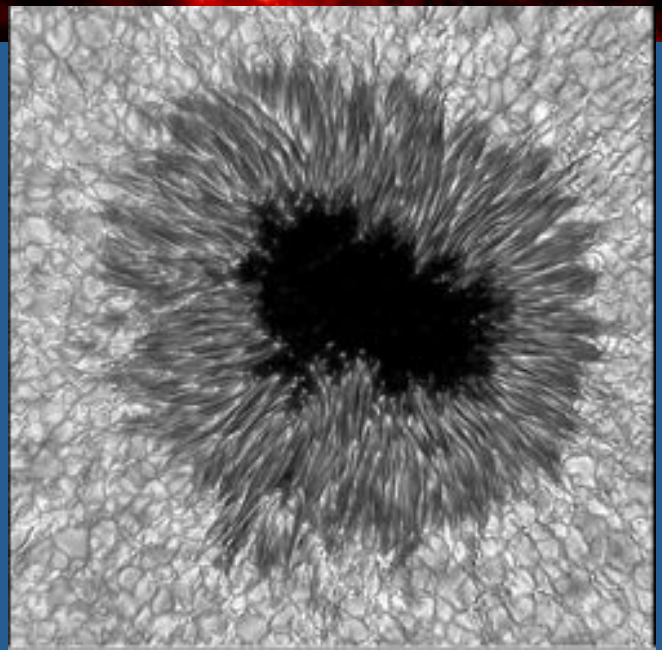
Pleine ouverture

- l'image est voilée par un halo
- s'améliore avec le nombre d'ouvertures …
- halo causé par la diffraction des petites ouvertures, et qui prélève de l'énergie …
- ce qu'évite le montage "hypertélescope"

On en a rèvé:

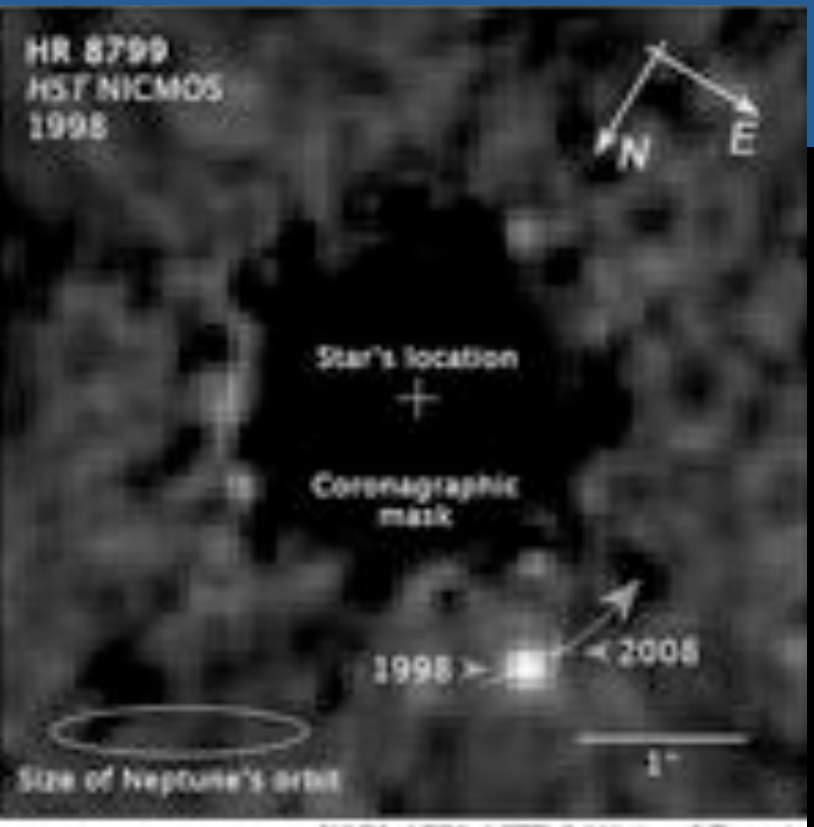
Voir les étoiles comme on voit le Soleil ... et leurs planètes... et la vie





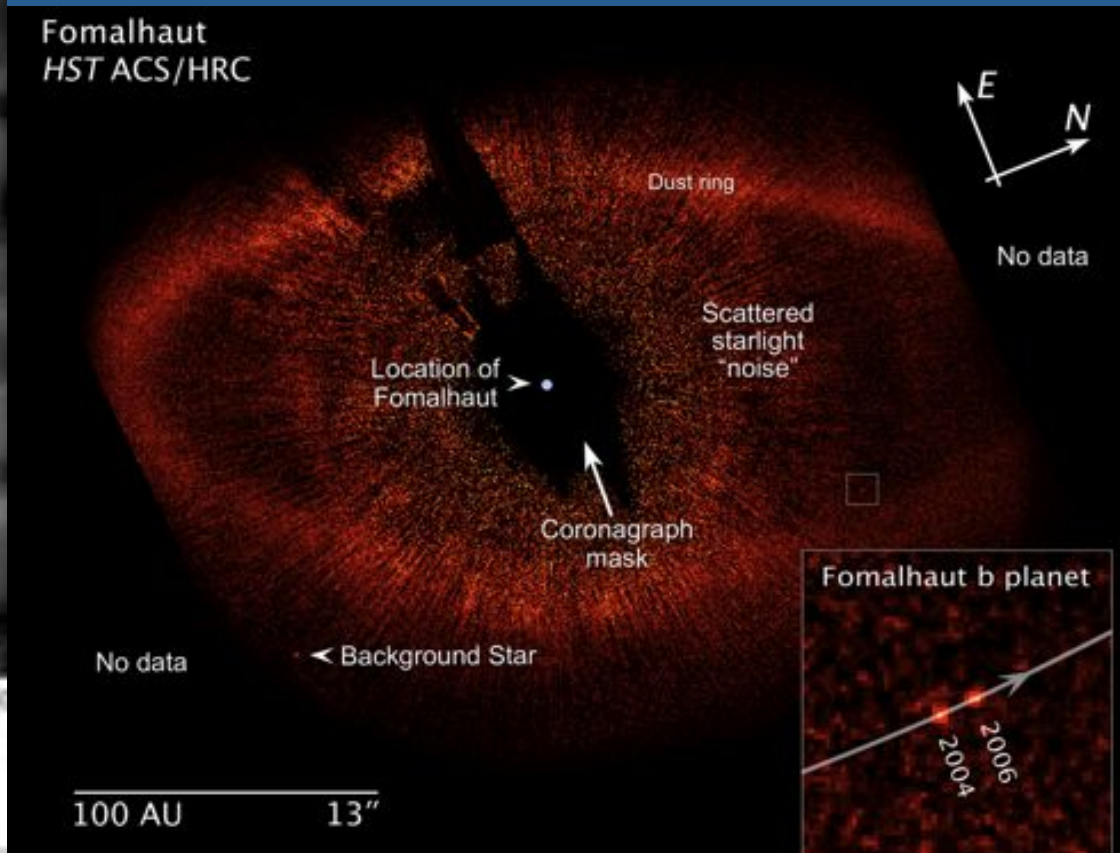
1973: coronographe pour HST proposé à la NASA

- pour former l'image d'exo-planètes



NASA / ESA / STScI / Univ. of Toronto

This image shows the spot identified as a planet and tracks its movement. The star it orbits has been blotted out by Hubble's coronagraph mask.



… puis dans l’espace

Chercher des signes d'exo-vie

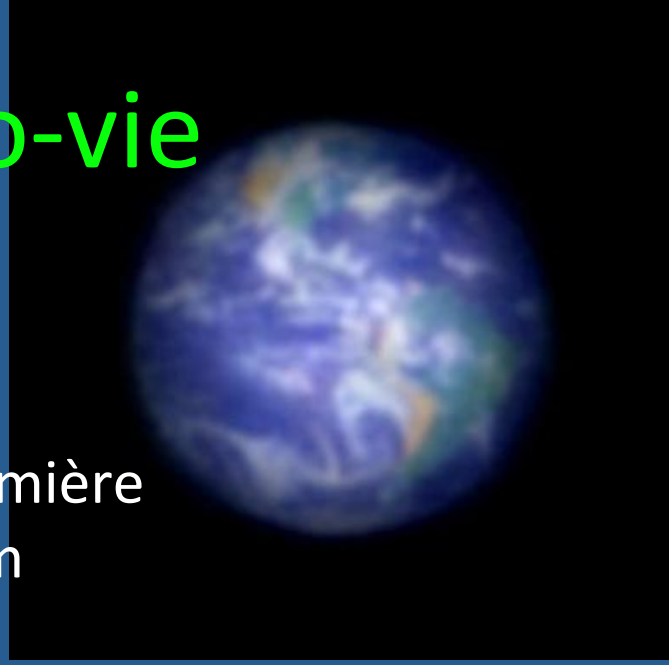
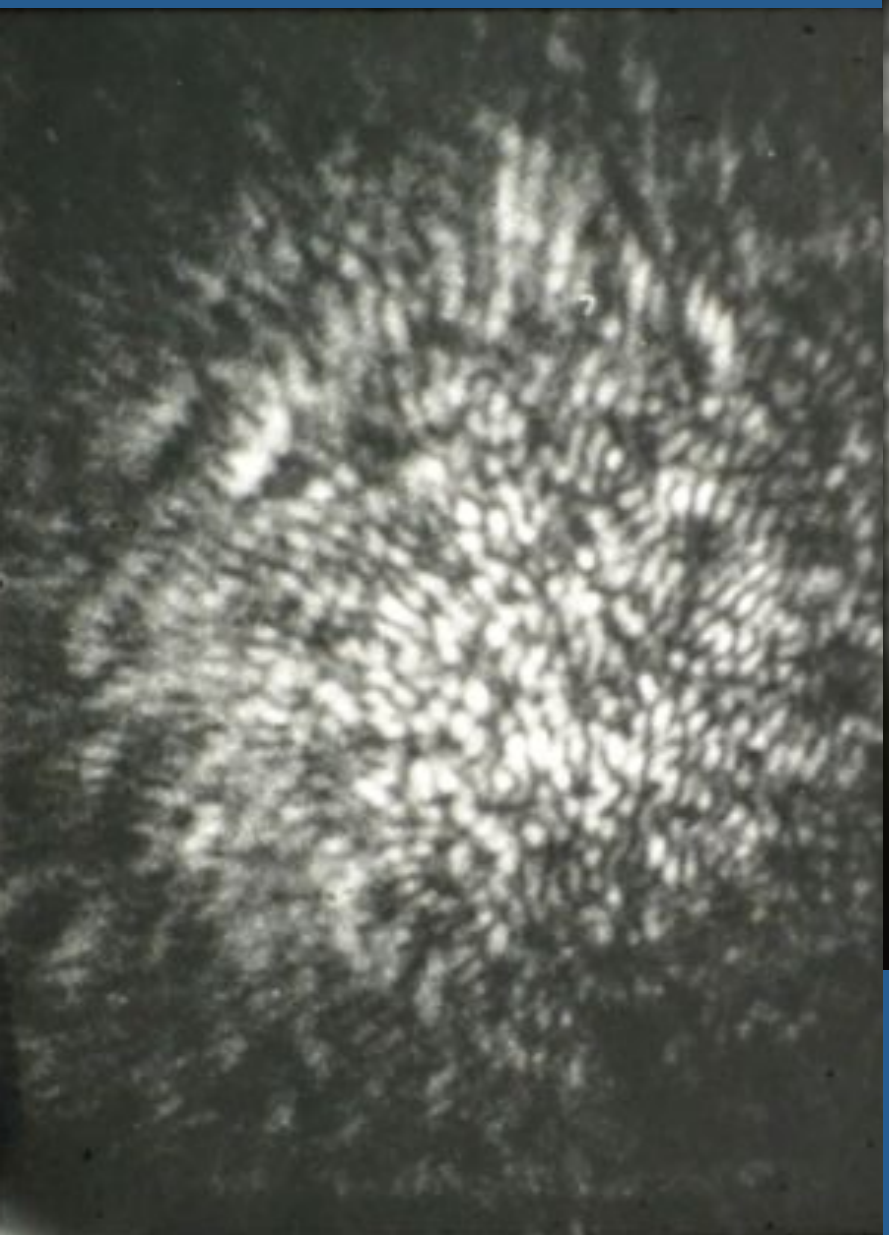


image simulée d'une exo-Terre à 10 années-lumière
hypertélescope « Exo-Earth Imager » de 100km
(Labeyrie, Science, 1999)

- ... plus fiables que par la spectroscopie moléculaire
- ... avec le « indian summer signal »

- aussi: résoudre le pulsar du Crabe

Speckles au Mont Palomar 5m (1972)



Binaire Capella 50m“

Résultats de l'interféromètrie des tavelures

Query Results from the ADS Database
speckle interferometry
Total number selected: **5058**

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 214:L79–L84, 1977 June 1
© 1977. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

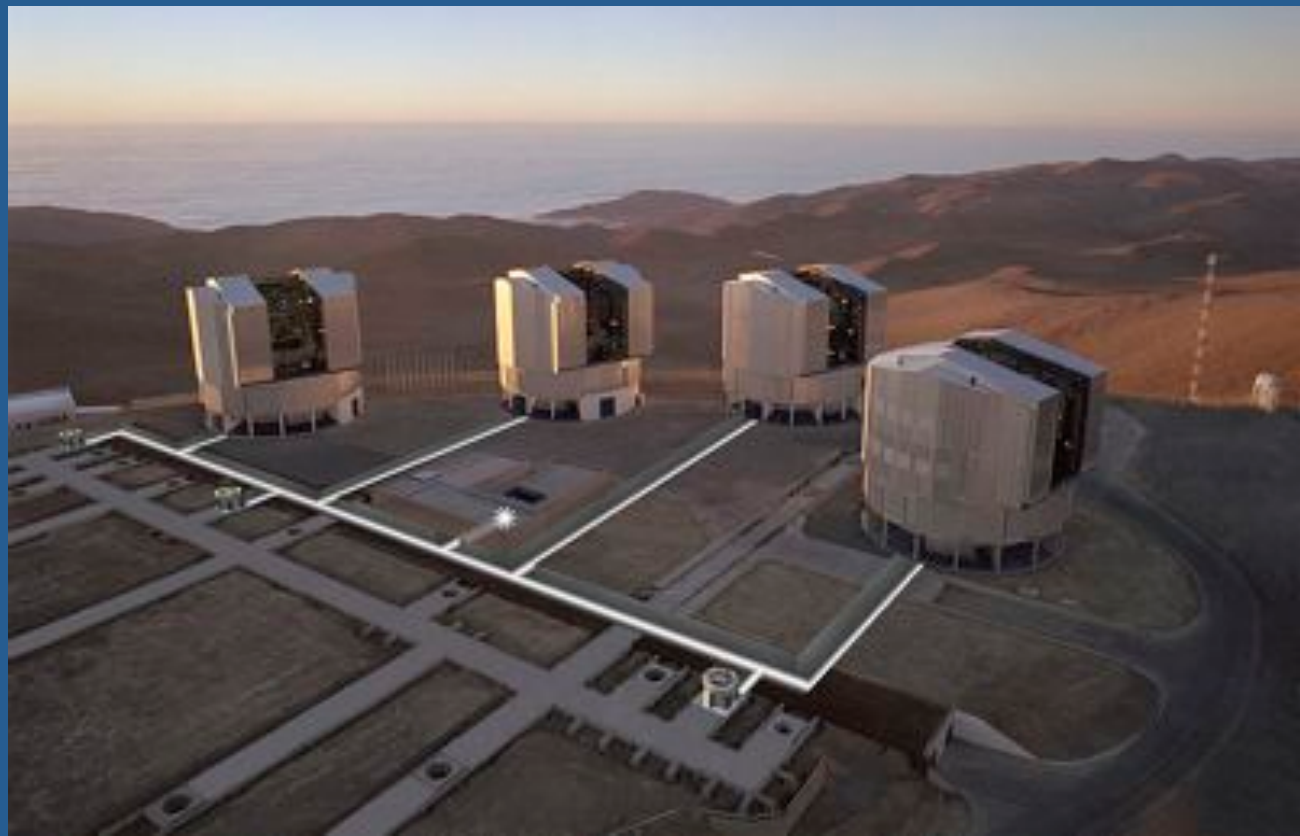
THE DIGITAL SPECKLE INTERFEROMETER: PRELIMINARY RESULTS ON 59 STARS AND 3C 273*

A. BLAZIT, D. BONNEAU, L. KOECHLIN, AND A. LABEYRIE†

Dans la cage primaire au Mont Palomar
(1972)

1972: VLT-I proposé à ESO

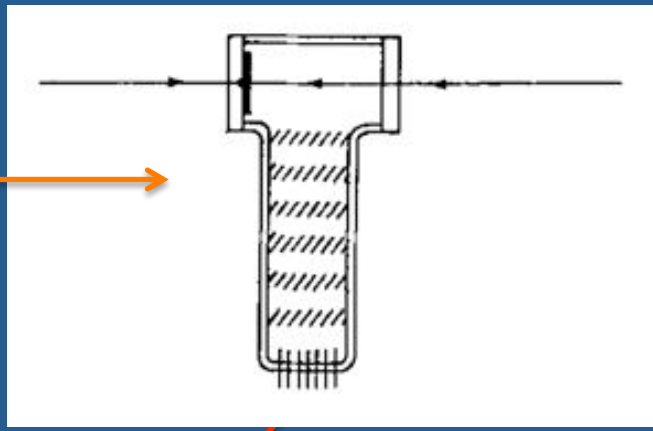
« speckle interferometry can be extrapolated to the case of a synthetic telescope consisting of several large telescopes « (Labeyrie, proc. ESO/CERN conf., 1972)



Tentatives initiales:

Essai infructueux d'une poutre interféromètrique à Meudon (1969)

combineur/détecteur:
photomutiplicateur
Lallemand à ondes
stationnaires



axe
polaire

combineur

Interféromètre à deux télescopes: Essais à l'observatoire de Meudon puis l'observatoire de Nice (1970- 74)

- construction de deux télescopes équatoriaux de 25 cm...
  ... sans succès
- ...modifiés puis déménagés à Nice: succès (Labeyrie, Ap.J. 1975)
- mesures de diamètres apparents stellaires : Capella A et B
- extension prévue: diamètres des télescopes, nombre N

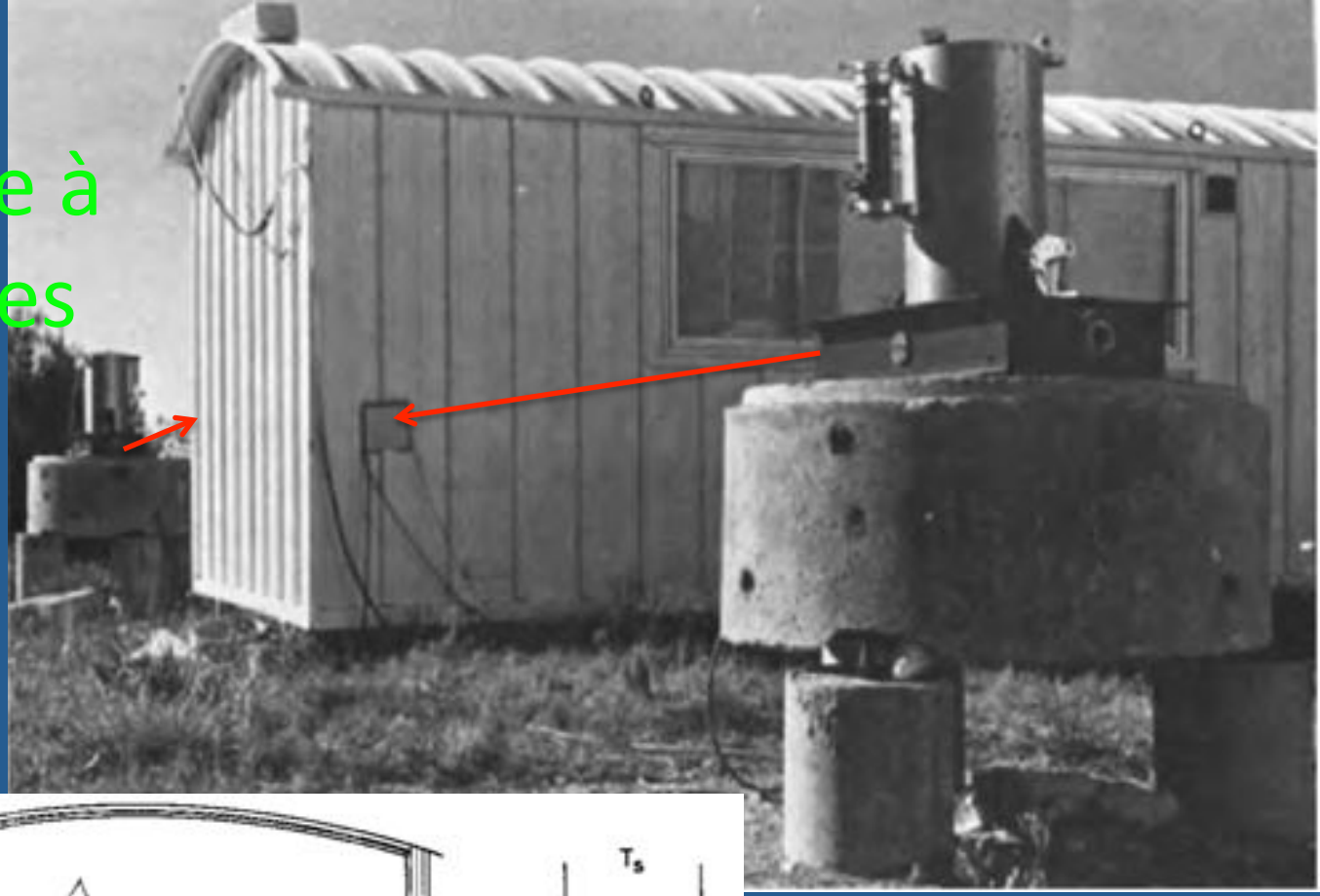
Après l'essai infructueux à Meudon....

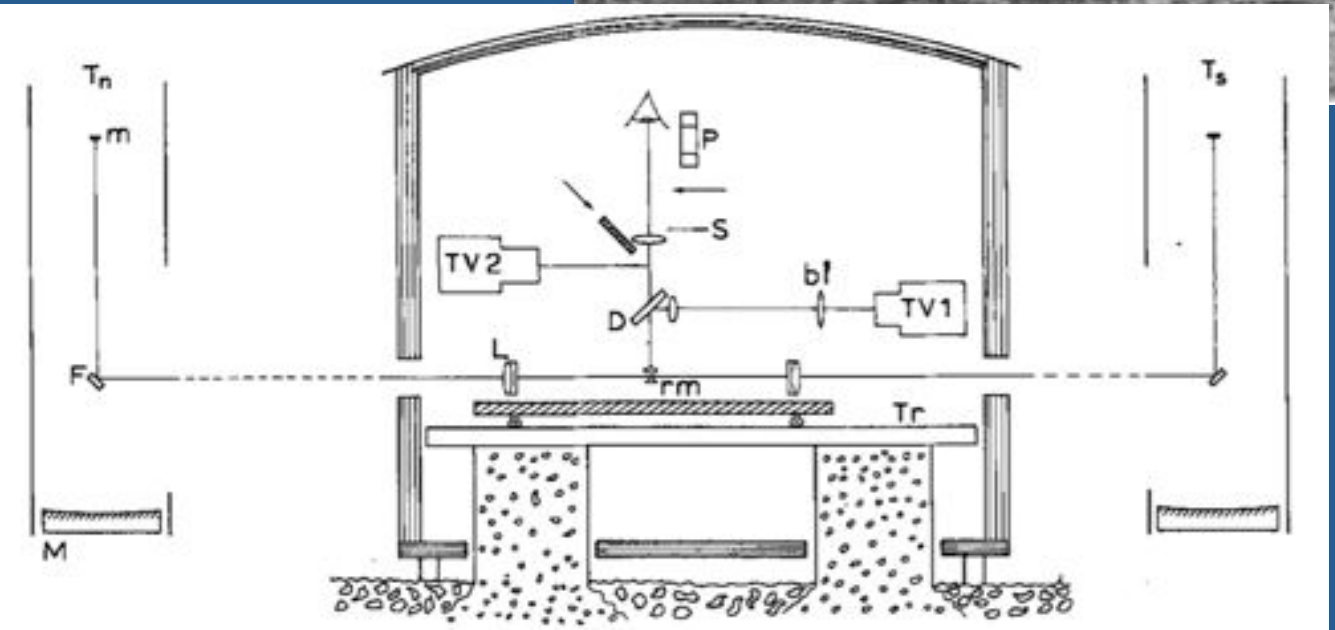
... j'ai construit des montures alt-alt plus rigides

- foyer coudé
- sans vibrations
- essais à Meudon
- puis à Nice, premières franges en 1974 (Labeyrie Ap.J., 1975)
- résolution de Capella A et B
- mesures de diamètres apparents stellaires à Nice puis Calern

Premier interféromètre à deux télescopes

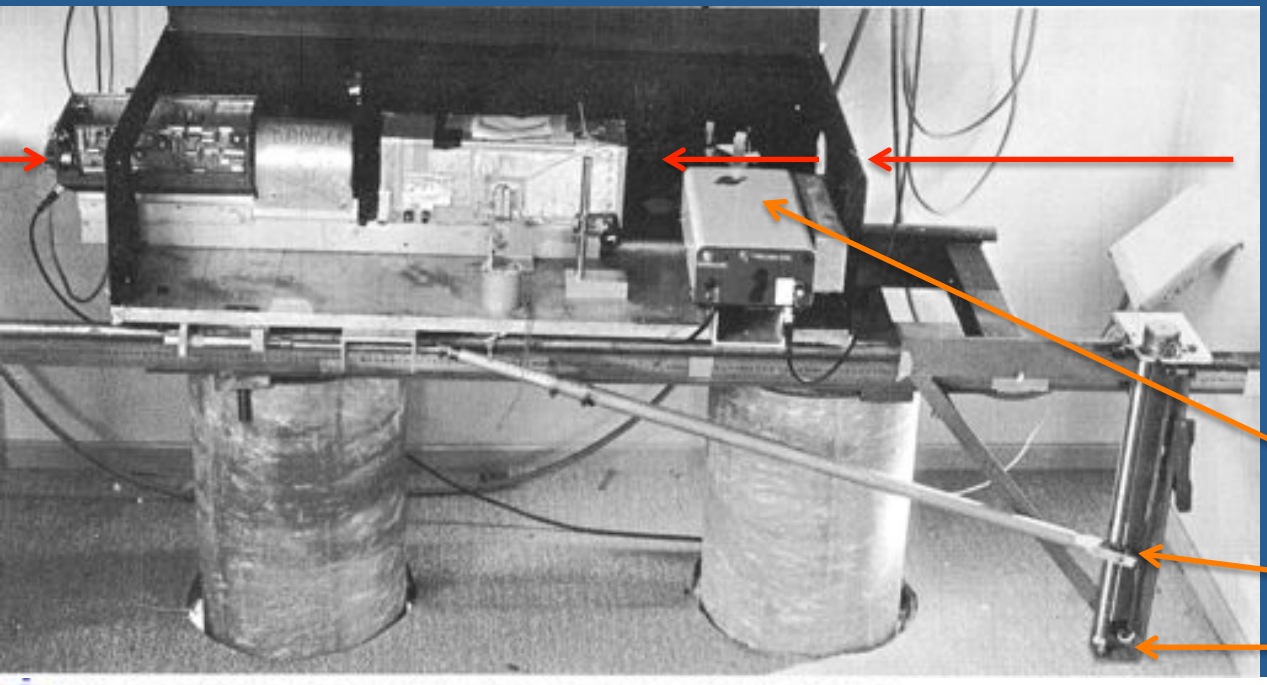
Observatoire de Nice (1974)





I2T: combineur de faisceaux

Nice 1974, puis Calern



premières interférences à deux télescopes (Véga, base 12m, 1974)

caméra à comptage de photons

bras et came d'entrainement de la table

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 196:L71–L75, 1975 March 1
© 1975. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

1975ApJ...196L..71L

INTERFERENCE FRINGES OBTAINED ON VEGA WITH TWO OPTICAL TELESCOPES

ANTOINE LABEYRIE
Observatoire de Paris, 92190-Meudon, France
Received 1974 December 3

I2T déménagé à Calern et muni de rails de 35m (1980) ensuite allongés à 100m

Science avec I2T à Nice, puis Calern

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 217:L55–L57, 1977 October 1
© 1977. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

THE ANGULAR DIAMETERS OF CAPELLA A AND B FROM TWO-TELESCOPE INTERFEROMETRY

A. BLAZIT, D. BONNEAU, M. JOSSE, L. KOECHLIN, A. LABEYRIE, AND J. L. ONÉTO

Astron. Astrophys. 120, 263–268 (1983)

ASTRON
AN
ASTROPH

Interférométrie stellaire: Diamètres et températures effectives de cinq géantes

M. Faucherre, D. Bonneau, L. Koechlin et F. Vakili

I2T englouti à Calern

Une galère de 12 ans... construction du

Grand interférometre à deux télescopes (GI2T)

Observatoire de Calern 1976-2007

γ Cass spectre avec interférences

(Mourard et al., Nature 1989)

The rotating envelope of the hot star gamma Cassiopeiae resolved by optical interferometry

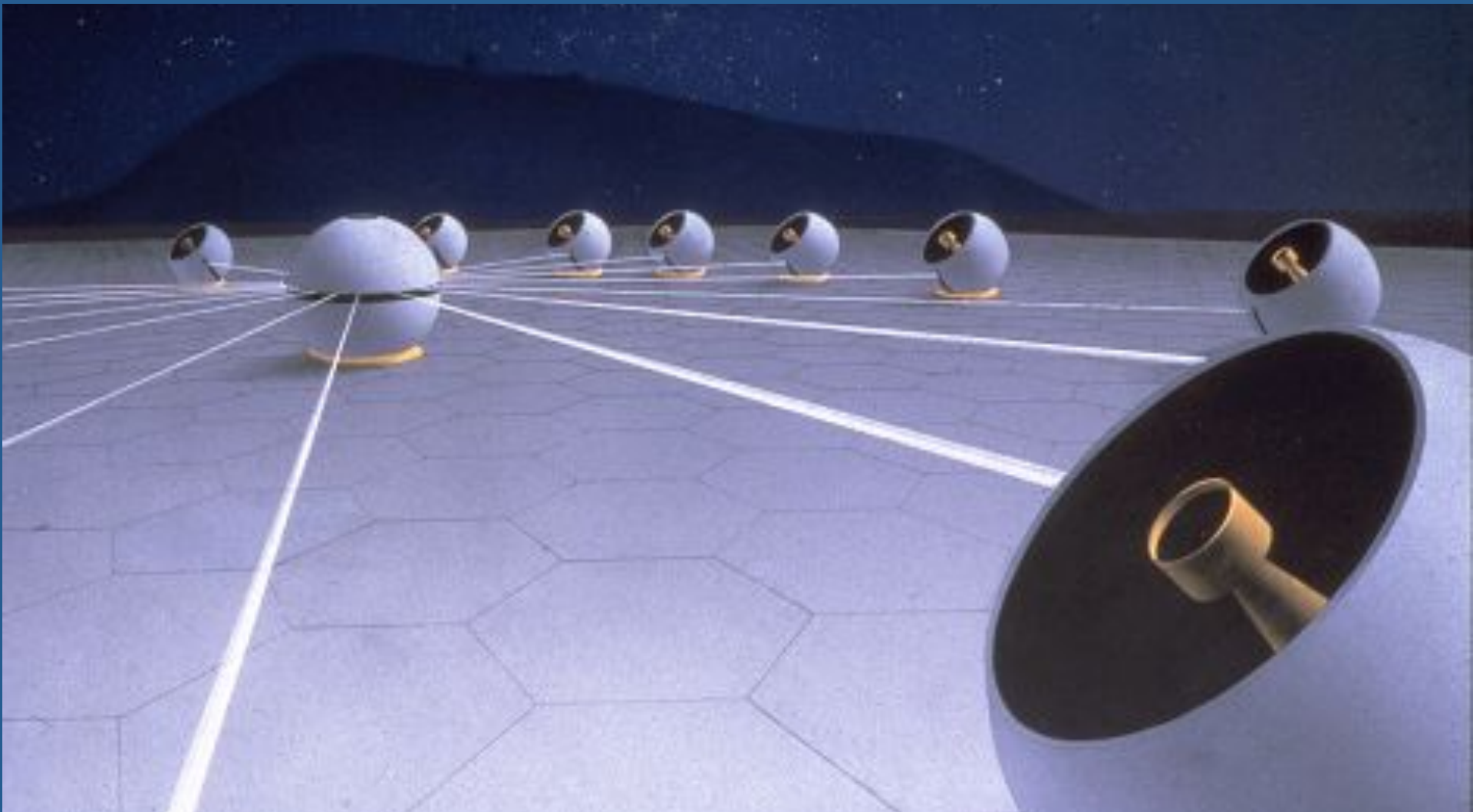
DENIS MOURARD*, ISABELLA BOSC*, ANTOINE LABEYRIE*, LAURENT KOECHLIN* & SWAPAN SAHA†

*Observatoire de la Cote d'azur, Caussols, 06460 Saint Vallier, France
†Indian Institute of Astrophysics, Bangalore 560034, India

Nature, 1989

CERTAIN hot stars, belonging to the Be class, may have an envelope of hydrogen gas, possibly in the form of a rotating disk[1] or spheroidal shell[2]. Other models involve elliptical rings[3] or close binary systems where the Roche lobe of the companion is filled with hydrogen[2]. The angular size of these features is too small for direct detection by conventional telescopes, and attempts to resolve the structure using speckle interferometry (a technique that restores the diffraction-limited resolution otherwise degraded or spoiled by the atmosphere) have failed. The various models of the structure of the hydrogen envelope are based on spectroscopic data, together with polarization and variability measurements. After a century of spectroscopic observations, which showed considerable but little-understood variations, the hydrogen envelope of the star gamma Cassiopeiae was angularly resolved by the prototype interferometer I2T in 1986 (ref. 4). Here we report observations from its successor GI2T, which show further high-resolution details of the hydrogen envelope. The data clearly show the envelope in rotation and approximately fit a disk model. Thus, the GI2T yields optical information capable of constraining astrophysical models on a milliarcsecond scale.

Optical Very Large Array (OVLA): un rêve abandonné .... à cause d'une meilleure idée: l'hypertélescope Carlina



Comment se piéger soi-même avec une idée fixe:

OVLA: prototype entamé à l'OHP

OVLA: télescopes mobiles, à pattes

- disposition elliptique déformable pour égaliser les chemins optiques
- bases envisagées : 10km

De OVLA à Carlina:

En analysant la formation de l'image directe...

(Labeyrie 1996)

- il faut densifier l'ouverture
- et préférer, à surface collectrice donnée, des petites ouvertures nombreuses à des grosses peu nombreuses
- => Concept baptisé « hypertélescope «

conséquences techniques:

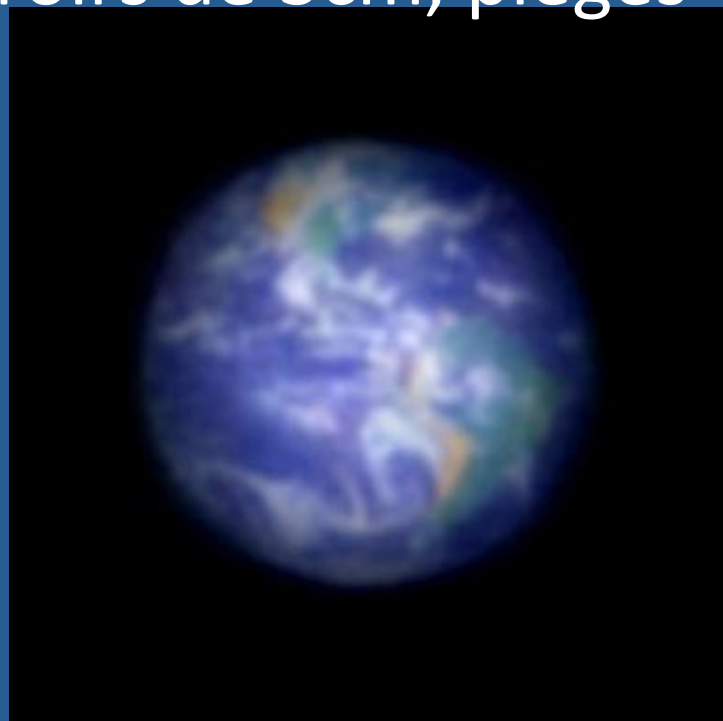
- ... préférer une architecture sphérique « Arecibo dilué» baptisée Carlina
- ... ne nécessitant pas de lignes à retard
- ... aussi réalisable dans l'espace
- abandon de l'architecture « à plat » OVLA en faveur de « Carlina » à méta-miroir sphérique dilué

Etapes futures ?

- hypertélescopes pour images directes riches
  - sur Terre : 100 ou 1000 ouvertures dans une méta-ouverture de 1km essais entamés en Ubaye

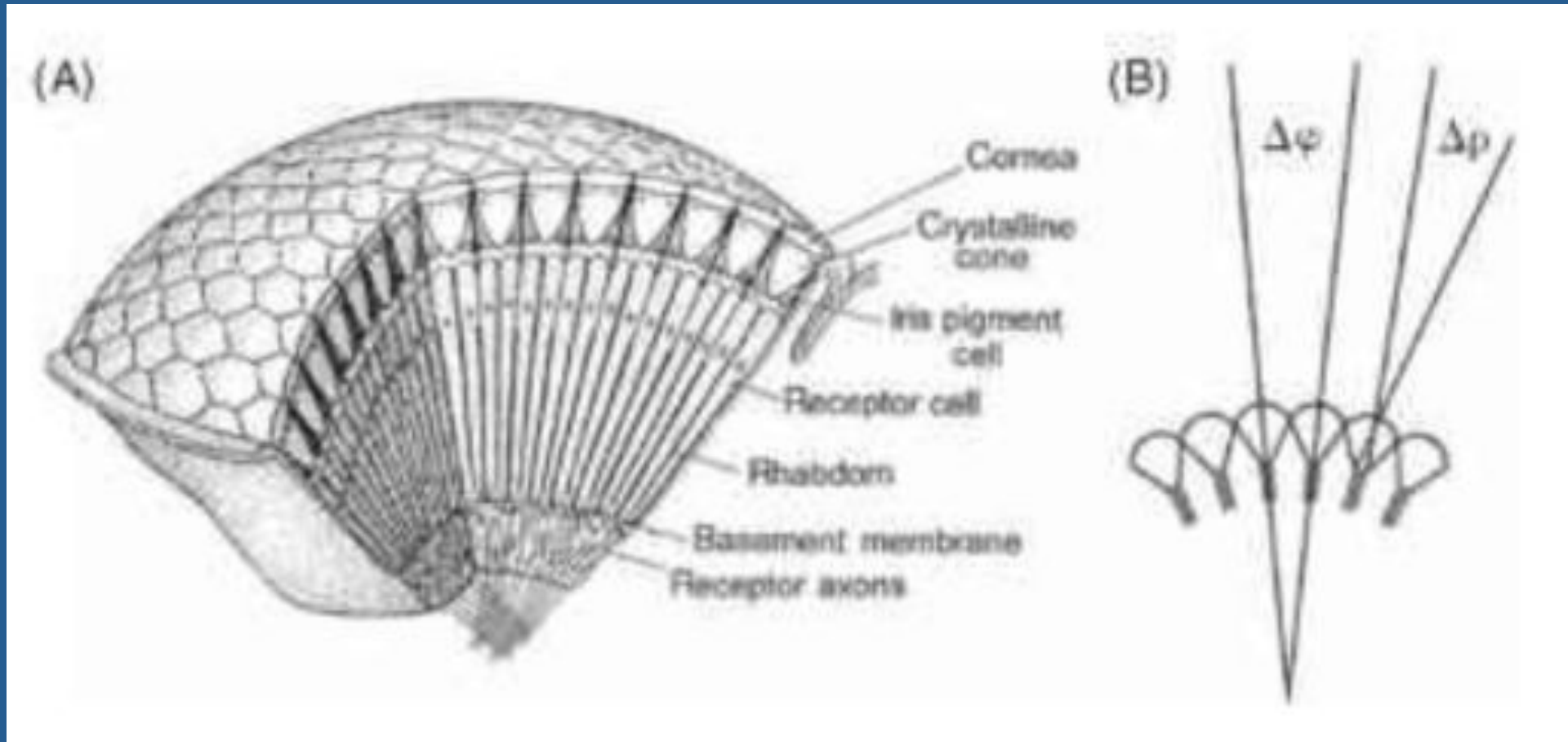
    images directes avec optique adaptative

  _ dans l'espace: million de miroirs de 3cm, piégés par laser (Labeyrie et al., 2009)
    - méta-ouverture jusqu'à 100, 000km



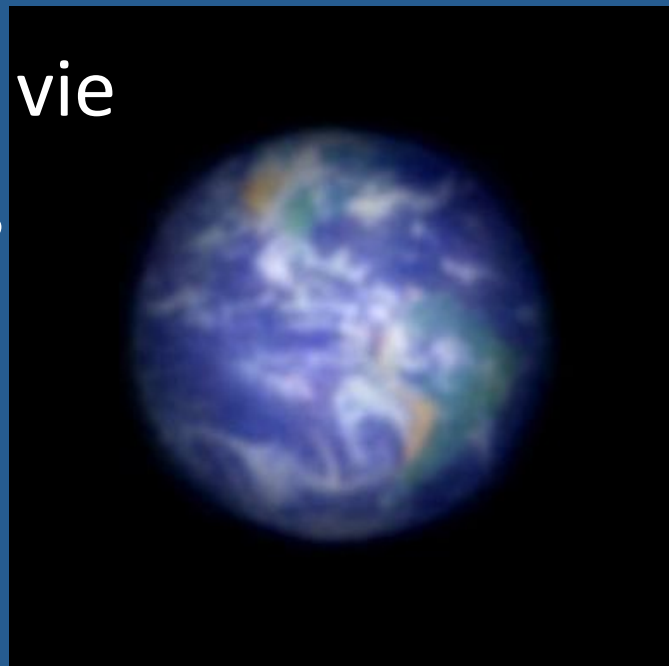
Interférences dans les yeux d'insectes ?
le mystère subsiste

- la résolution et la sensibilité nocturne y gagneraient !
- L'évolution l'a-t-elle fait ? ... à élucider



23 siècles après Epicure,
4 après Giordano Bruno,
et leur évocation d' « autres mondes »...

- ... il devient envisageable d'en former des images résolues...
- ... et d'y rechercher des signes de vie
- ... en observant des changements de couleur saisonniers



Vers la recherche de vie

Exo-Earth Imager

Objet, à 10 années lumière

Image simulée avec une pose de 30mn 150 miroirs de 3m, répartis sur 100km

- Voir ainsi une Terre à 10 années lumière ? Et sa végétation ?
- C'est possible avec un hypertélescope de 100km:

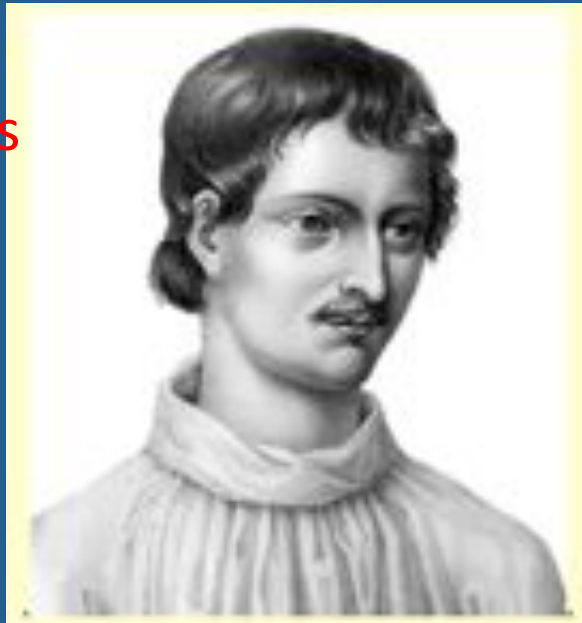
  100 miroirs de 3m

  ou 10 000 de 30cm

  ou un million de 3cm, piégés par laser ?

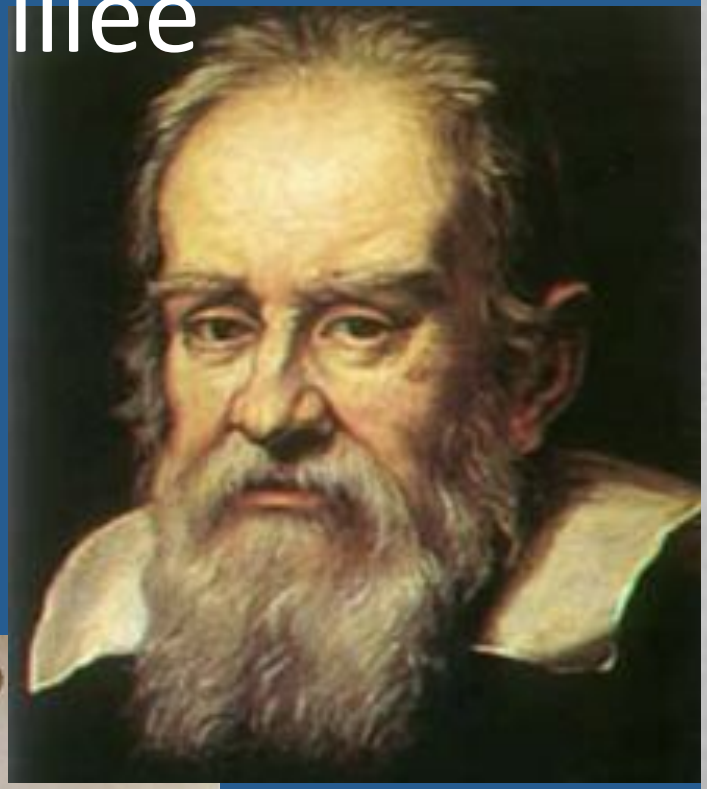
Giordano Bruno (1548-1600) devient vérifiable

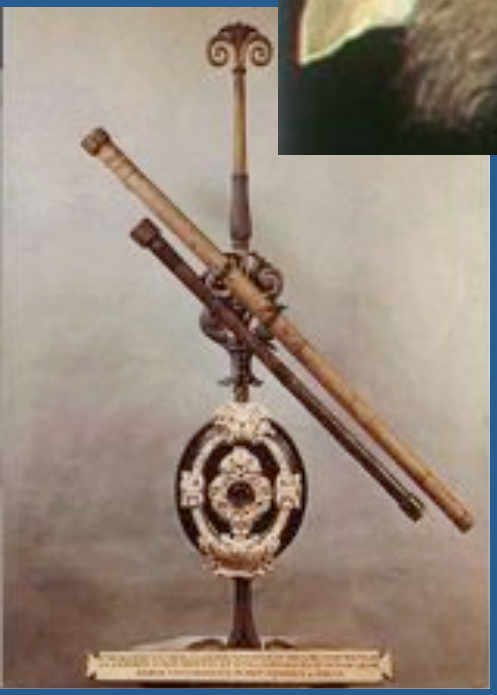
- « Les étoiles sont de lointains soleils… »
- … « environnés de leurs planètes… « (selon le modèle de Copernic 1508)
- … « habitées «
- Enseigna au Collège de France (j'ai proposé de donner son nom à un amphi)
- … avant d'être brûlé par l'église romaine (1600)
- **fut-il le premier à postuler l'analogie entre systèmes solaire et stellaires ?** Epicure ne dit pas clairement s'il considère les étoiles comme des soleils lointains . Et Copernic ?
- La recherche d'exo-vie devient possible aujourd'hui



Giordano Bruno - Italy (1548 - 1600)

Galilée





SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in IVNA, & FACIE, PIXIS IN-
NVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque
diem cognitos, nouissimè Ambos depræ-
hendit primus: atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X
Superiorum Permissu, & Priuilegio.