

Collège de France

Chaire d'Astrophysique Observationnelle

# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Six cours à Paris les mercredis du 6 Avril au 1er Juin
- Détails sur [www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html](http://www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html)
- les fichiers .pdf des projections seront affichés

# Programme

voir : [www.college-de-france.fr/](http://www.college-de-france.fr/)

- 18 Mai: Précurseur spatial pour hypertélescope
  - Séminaire: B. Lopez Interférométrie dans l'Antarctique ( à confirmer)
- 25 Mai:
  - Cours:
  - Séminaire:
- 1er Juin:
  - Cours::
  - Séminaire:

Aujourd'hui :

Avant-projet d'un hypertélescope  
précurseur dans l'espace: LUCIOLA

Séminaires:

Bruno Lopez Observatoire de la Côte d'Azur  
Interféromètre au Dôme C dans l'Antarctique

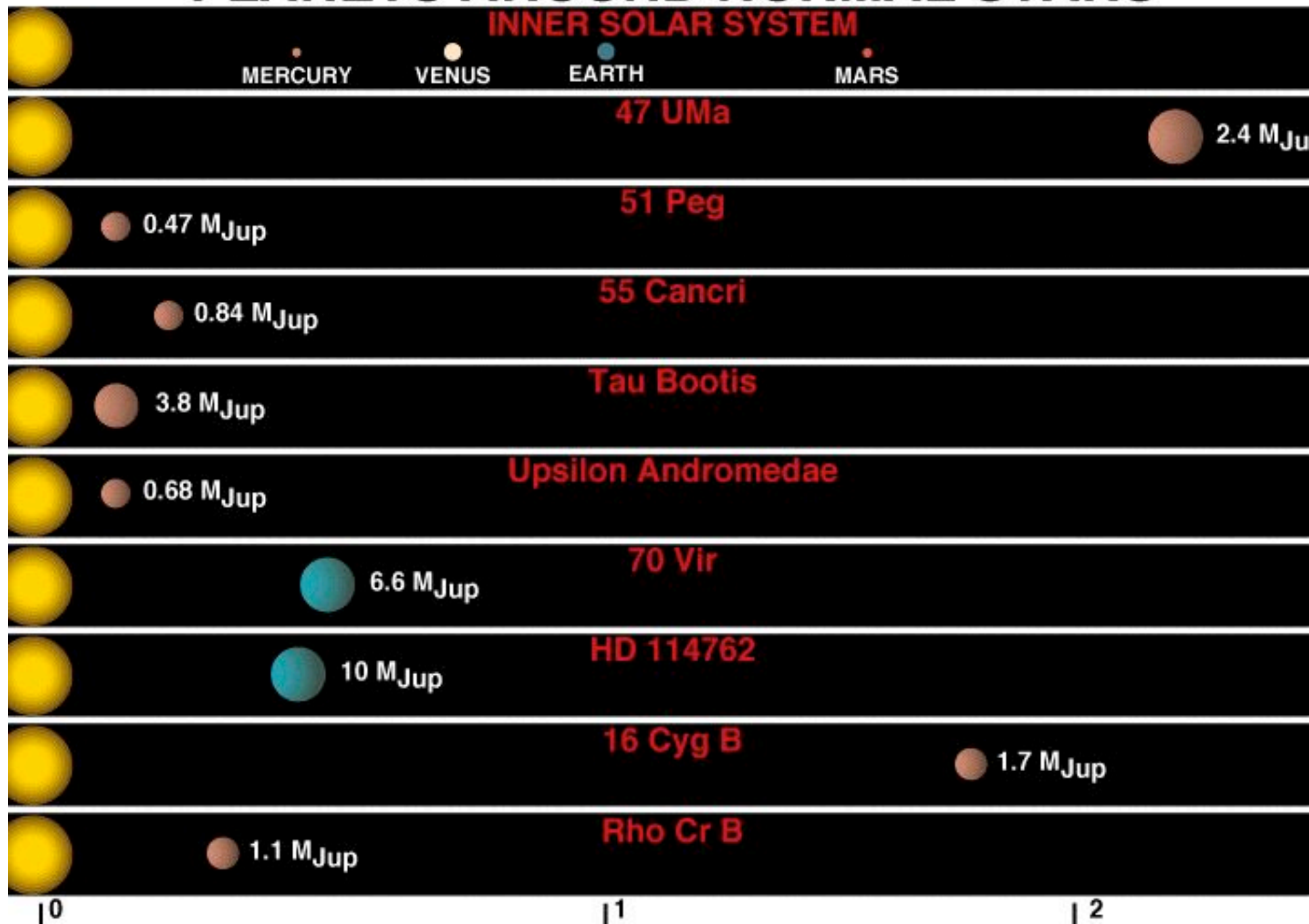
# Exo-planètes.... ça existe

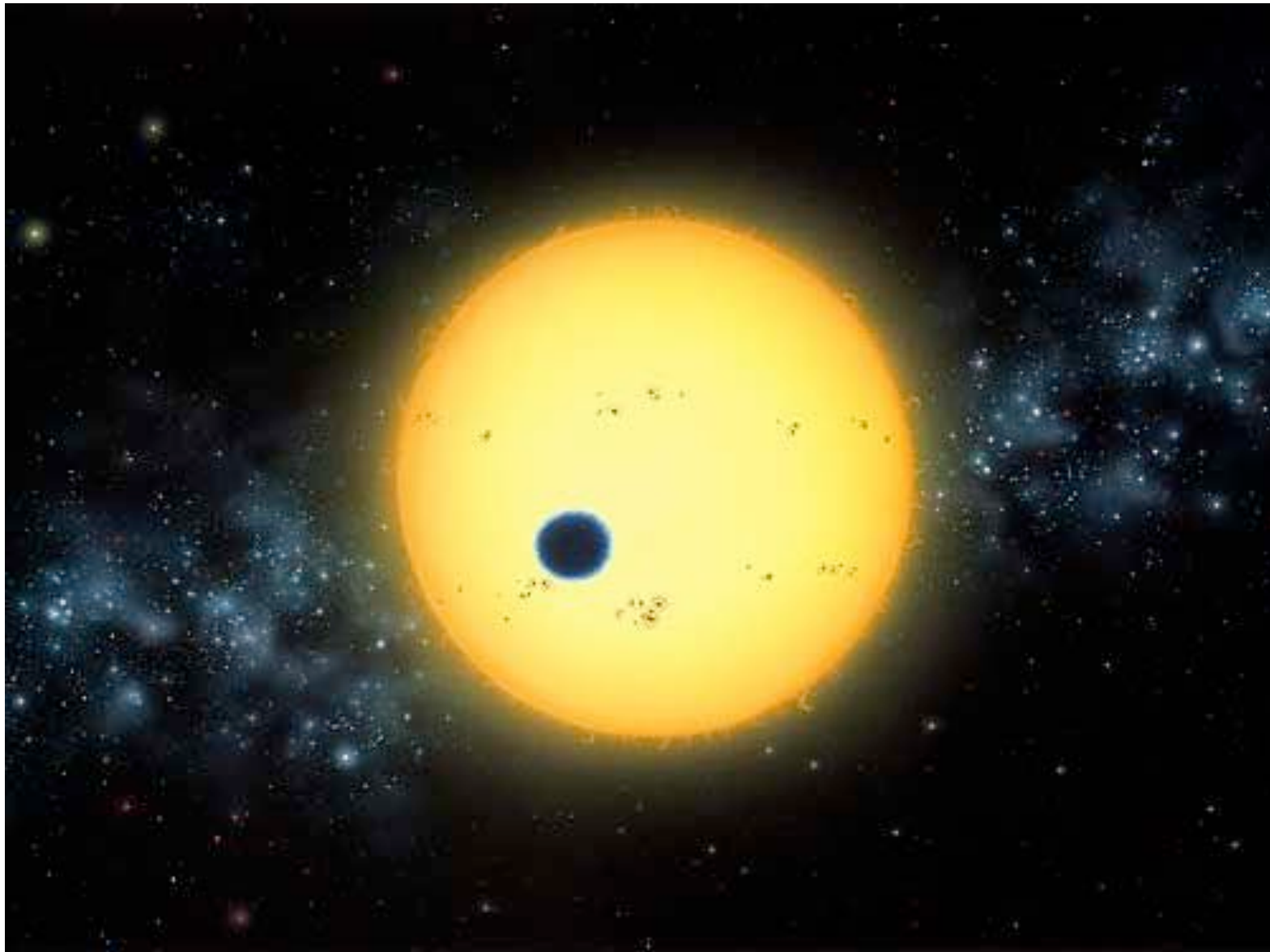


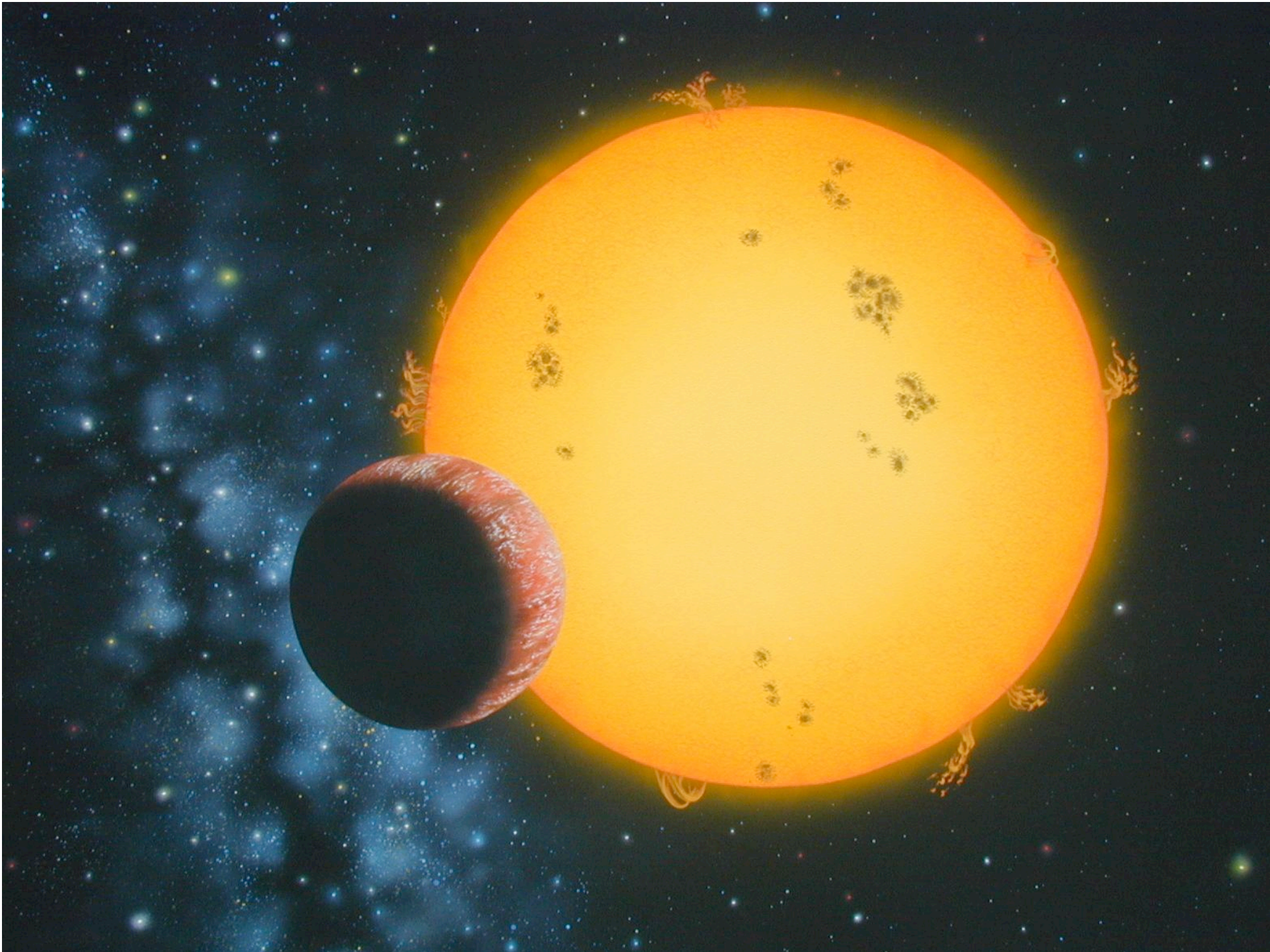
Artist's View of Planet around the Star HD 209458

NASA and G. Bacon (STScI) • STScI-PRC01-38

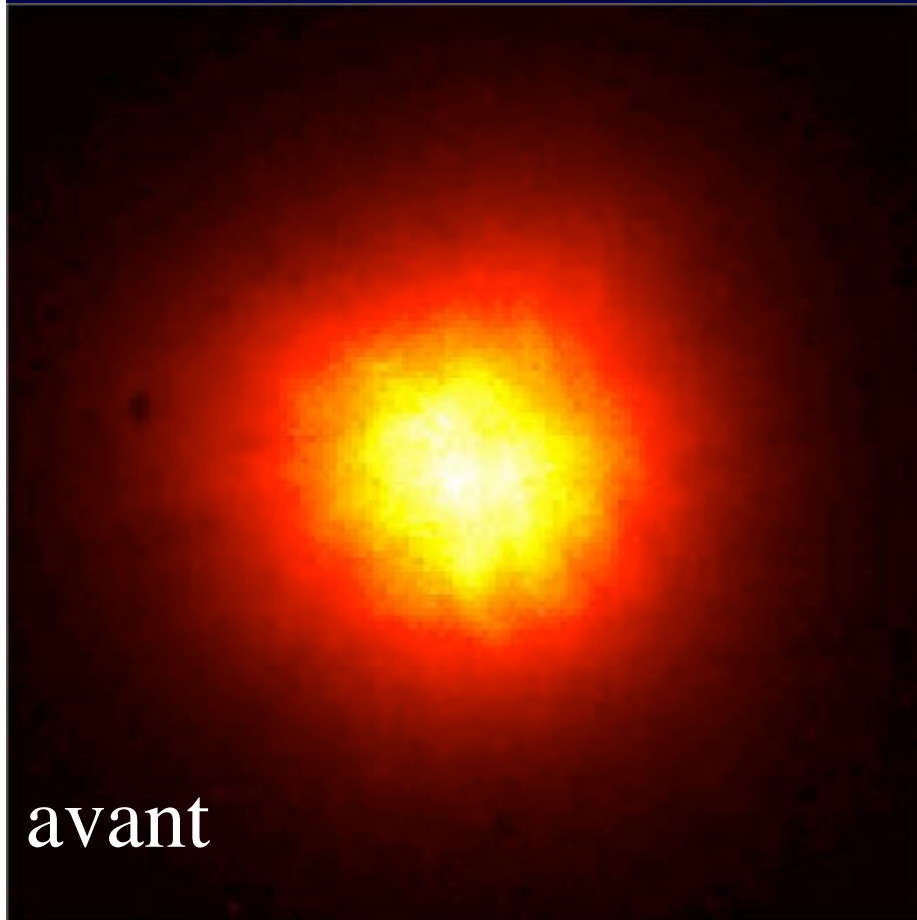
# PLANETS AROUND NORMAL STARS







# Etoile binaire et optique adaptative

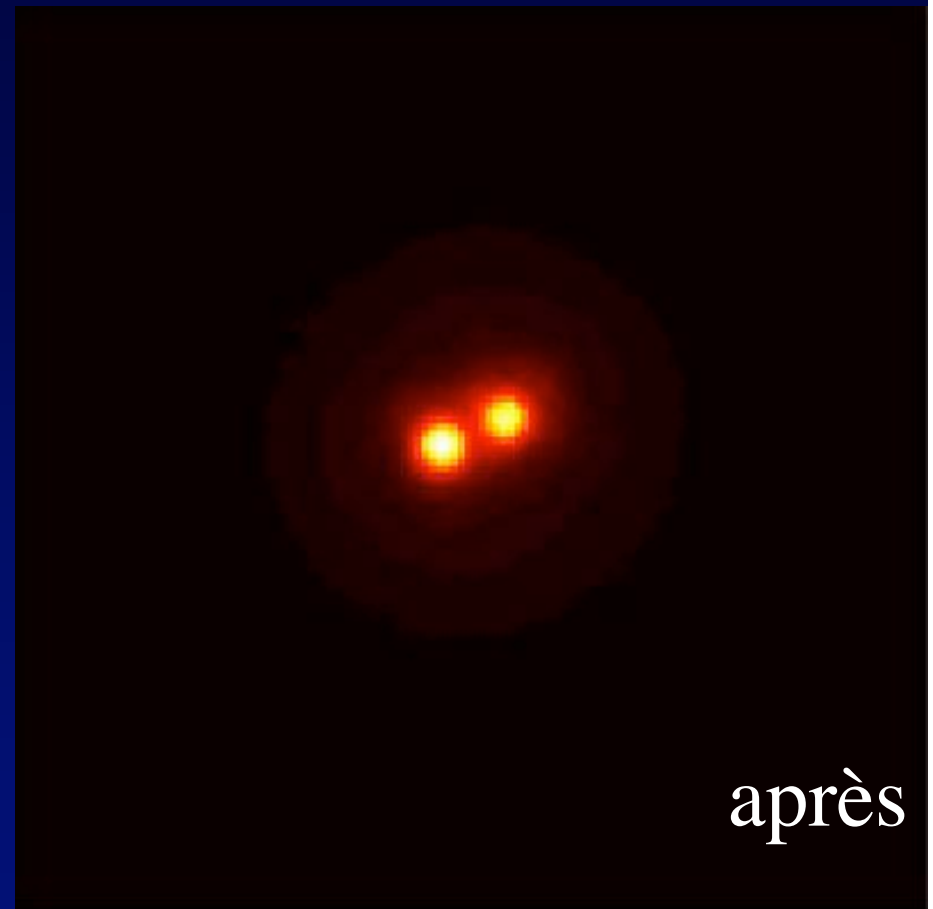


avant

The Star HIC 59206 (uncorrected image)  
(VLT KUEYEN + MACAO-VLTI)

ESO PR Photo 12h/03 (13 May 2003)

© European Southern Observatory



après

The Star HIC 59206 (AO corrected image)  
(VLT KUEYEN + MACAO-VLTI)

ESO PR Photo 12c/03 (13 May 2003)

© European Southern Observatory





# Compagnon: étoile ou planète?

Evidence for a co-moving sub-stellar companion of GQ Lup \*

VLT-NaCo K-band

GQ Lup A

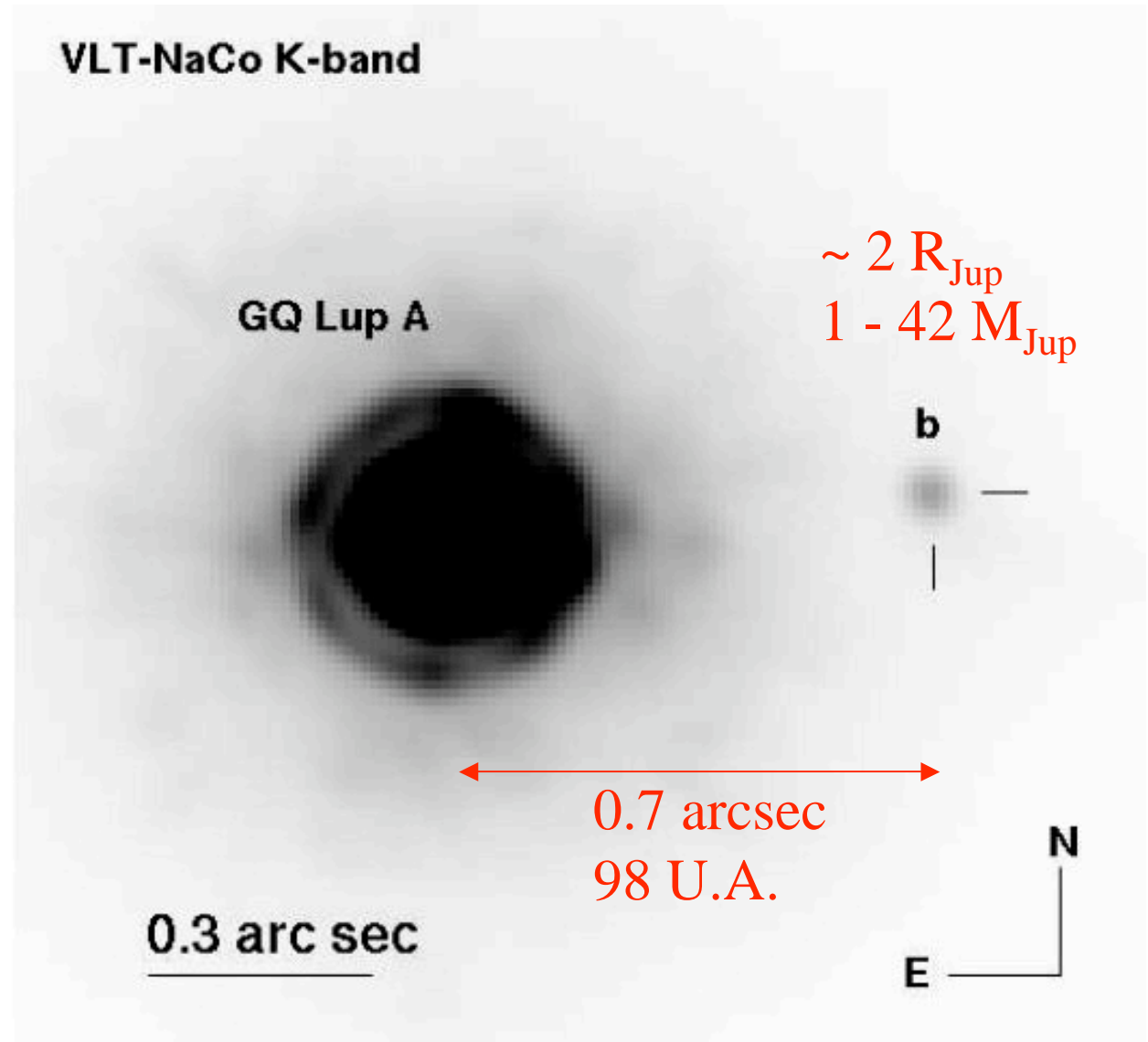
$\sim 2 R_{\text{Jup}}$   
 $1 - 42 M_{\text{Jup}}$

**b**

0.7 arcsec  
98 U.A.

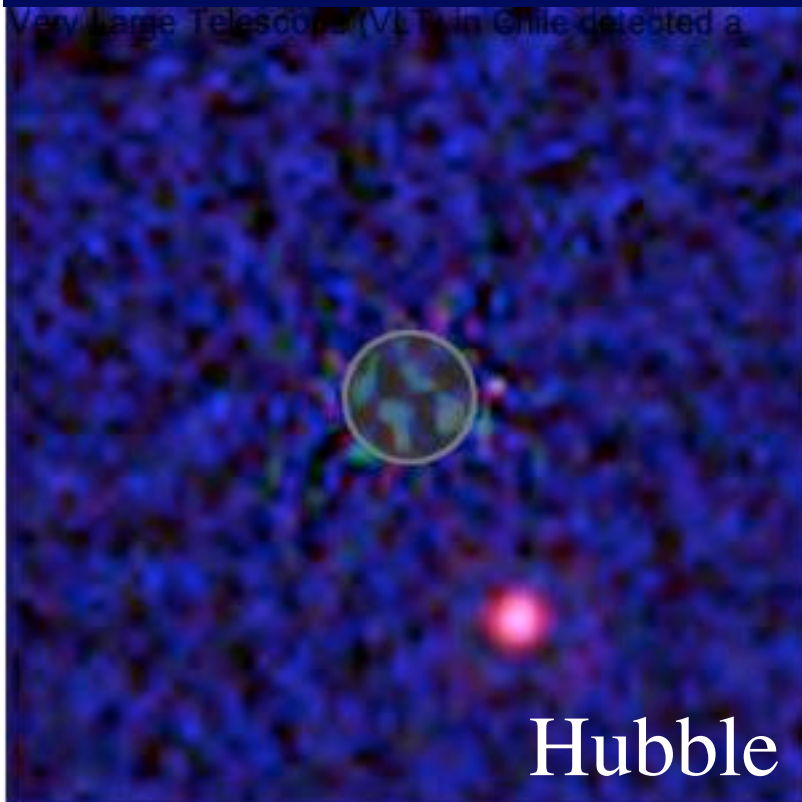
0.3 arc sec

N  
E



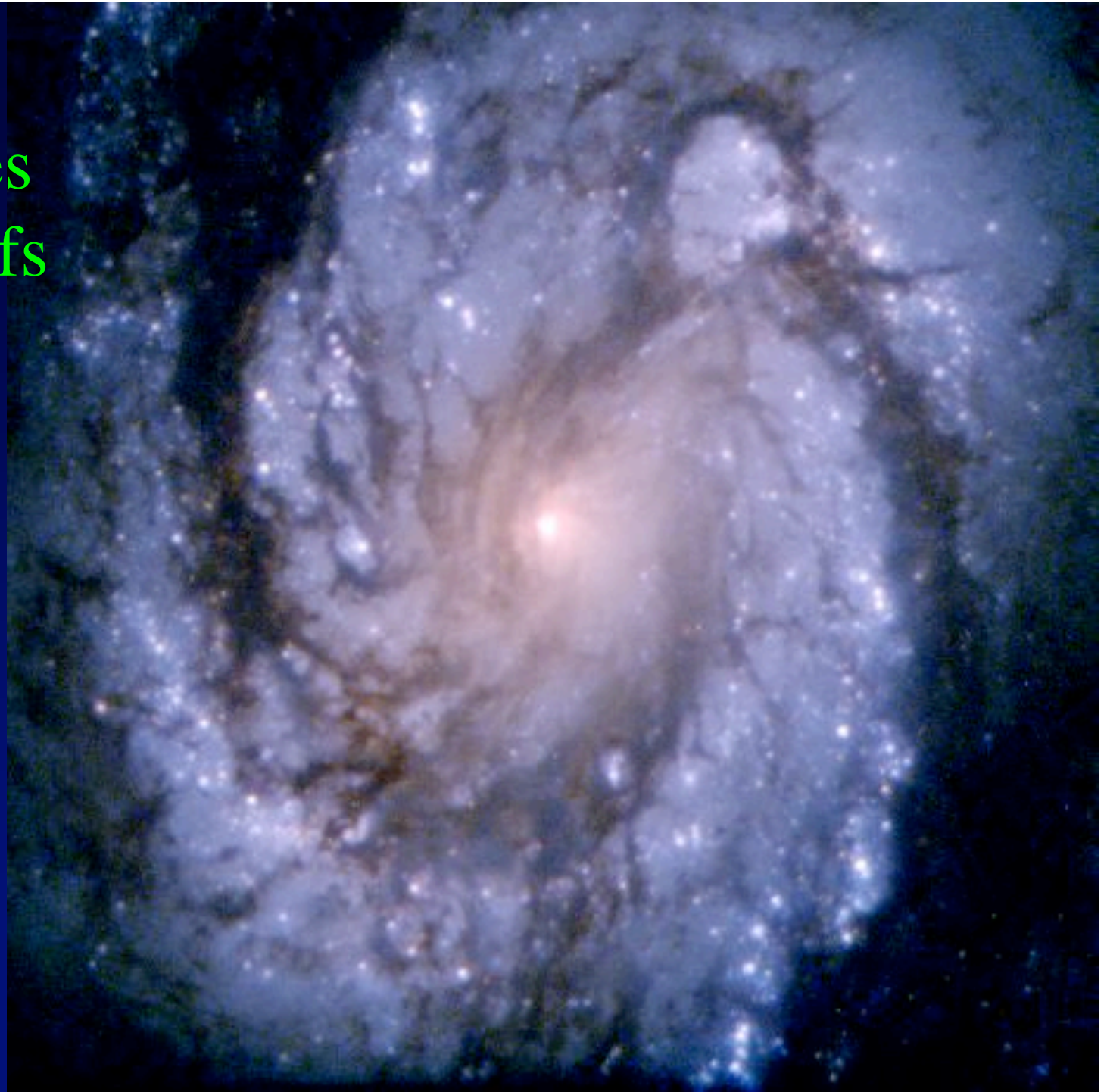
# Planète de naine brune? ( Chauvin et al., 2004)

- Vue en infra-rouge
- grâce à l'optique adaptative



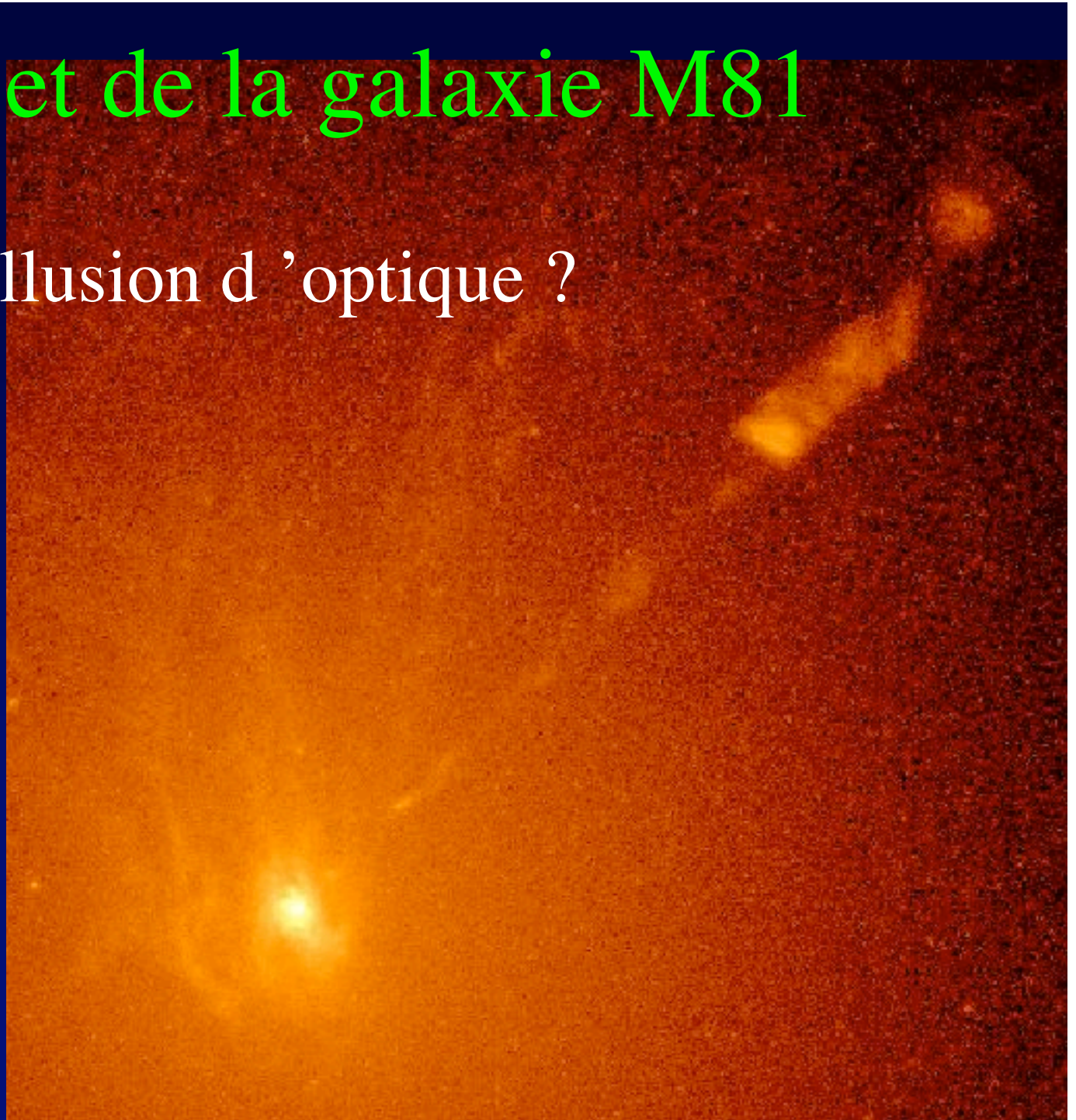
A Giant Planet Candidate near a Young Brown Dwarf \*  
Direct VLT/NACO Observations using IR Wavefront Sensing

Résoudre les  
noyaux actifs



# Noyau et jet de la galaxie M81

- Est-ce une illusion d'optique ?



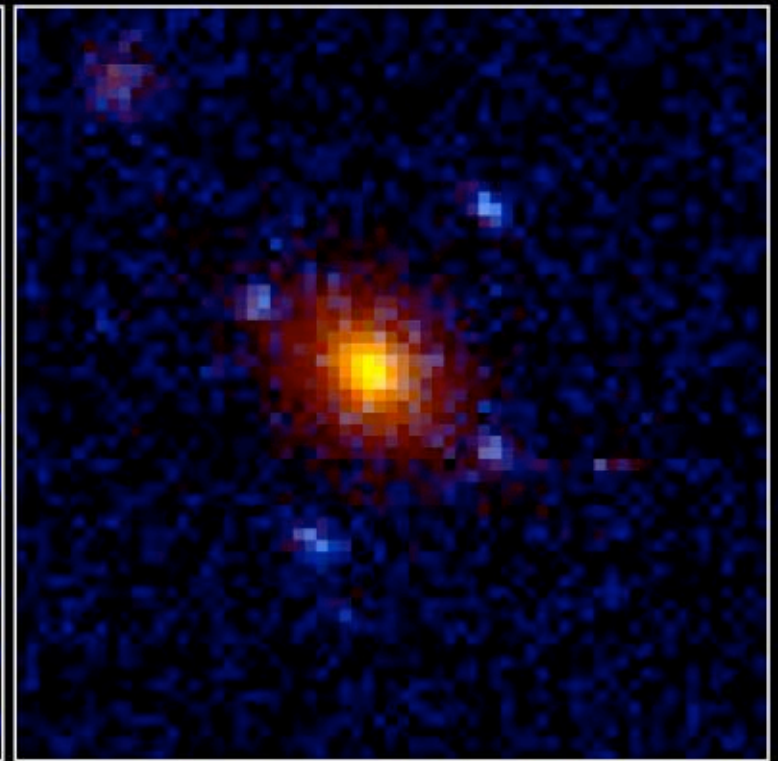
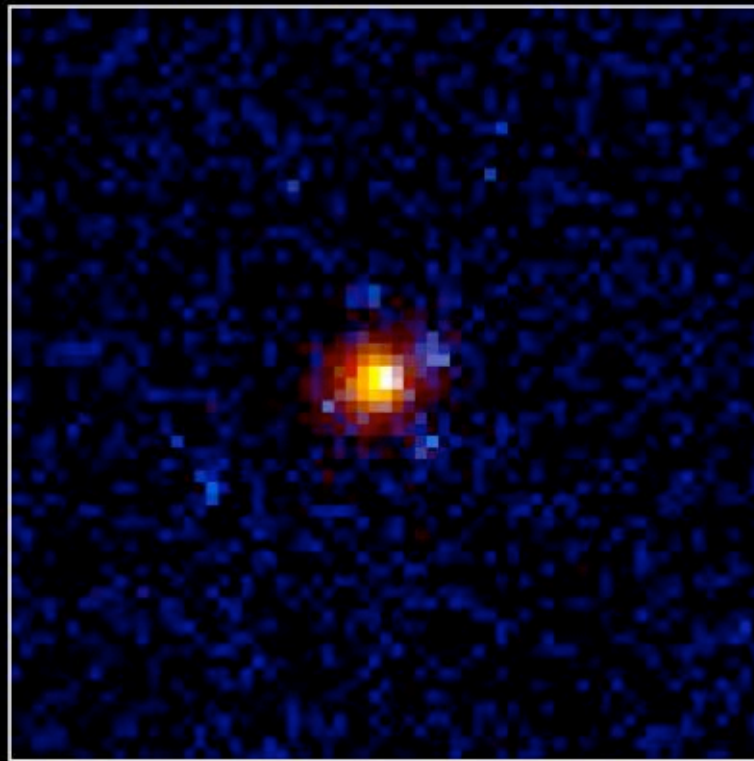
# Galaxie sous-jacente d'un quasar



- Vue avec le coronographe de Hubble

# Lentilles gravitationnelles classiques (Zwicky ca. 1950)

- Lointaines  $> 100$  Mparsecs



**Gravitational Lenses**

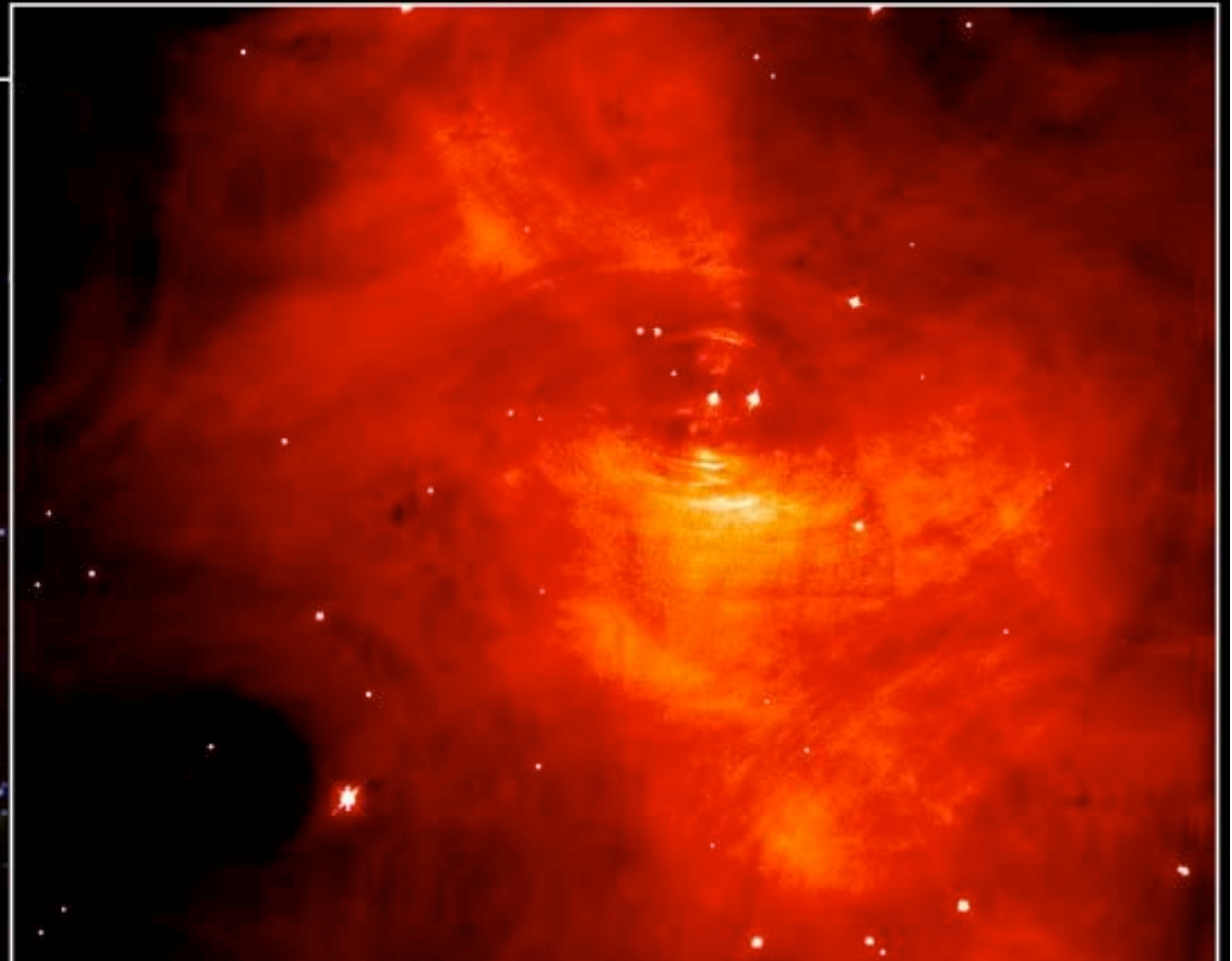
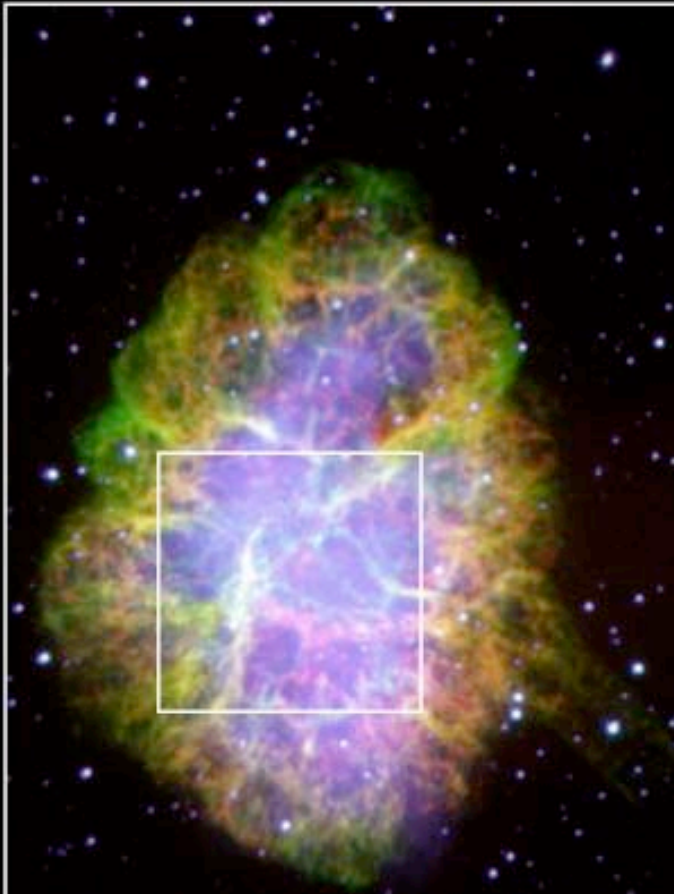
HST • WFPC2

PRC95-43 • ST ScI OPO • October 18, 1995 • K. Ratnatunga (JHU), NASA

# Résoudre des étoiles à neutrons ?

- 20 km à 1000 années lumières .....
- Dimension nécessaire: un million de kilomètres

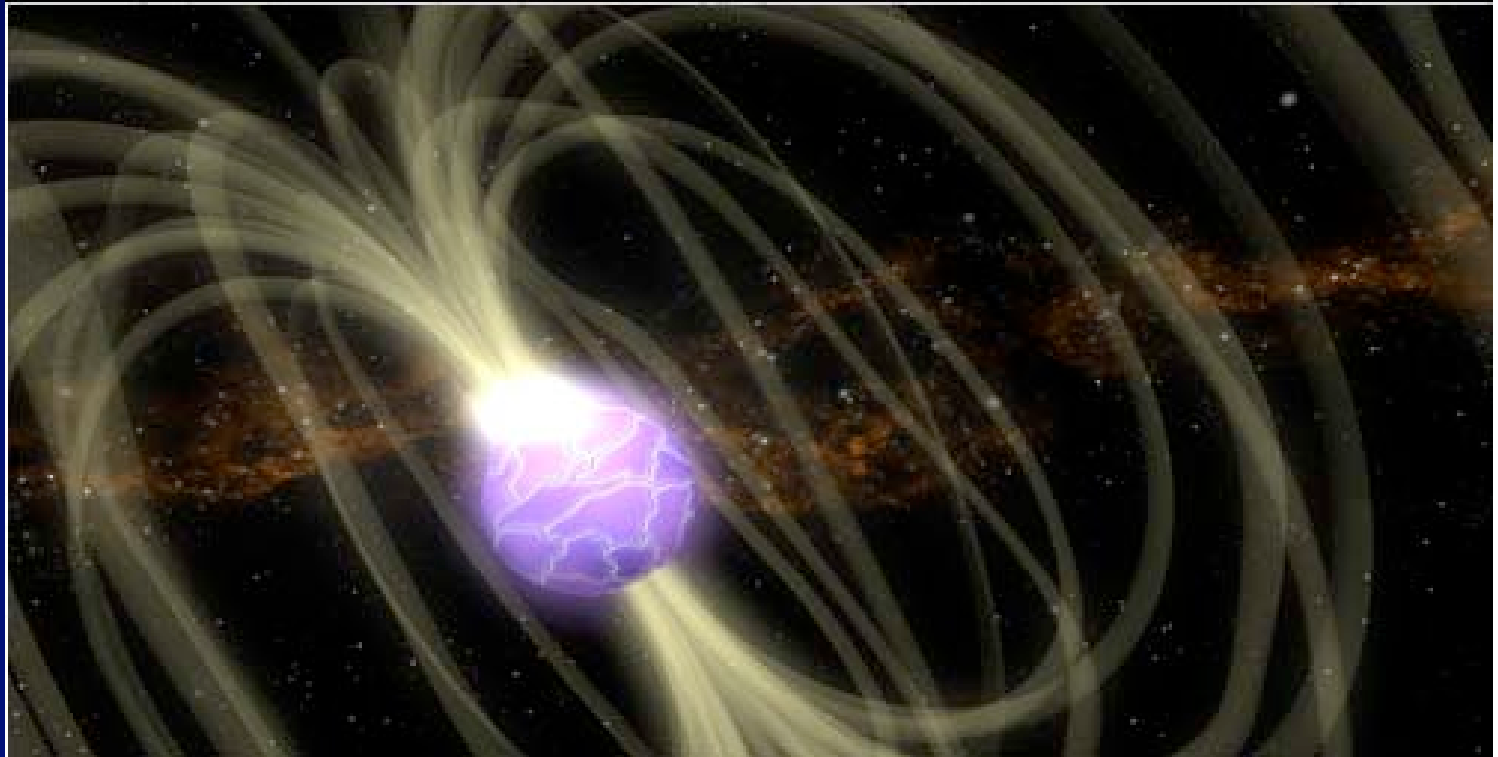
**Crab Nebula**



# Objets compacts

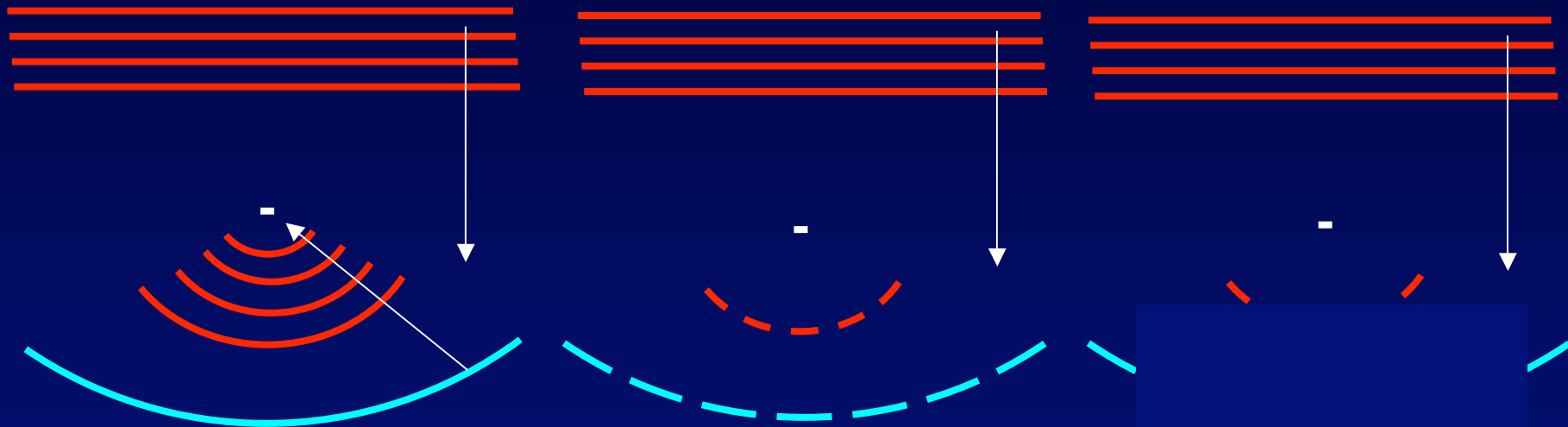
- Ouverture de 100 000 km nécessaire

Magnétar (vue d'artiste)





# Interféromètre

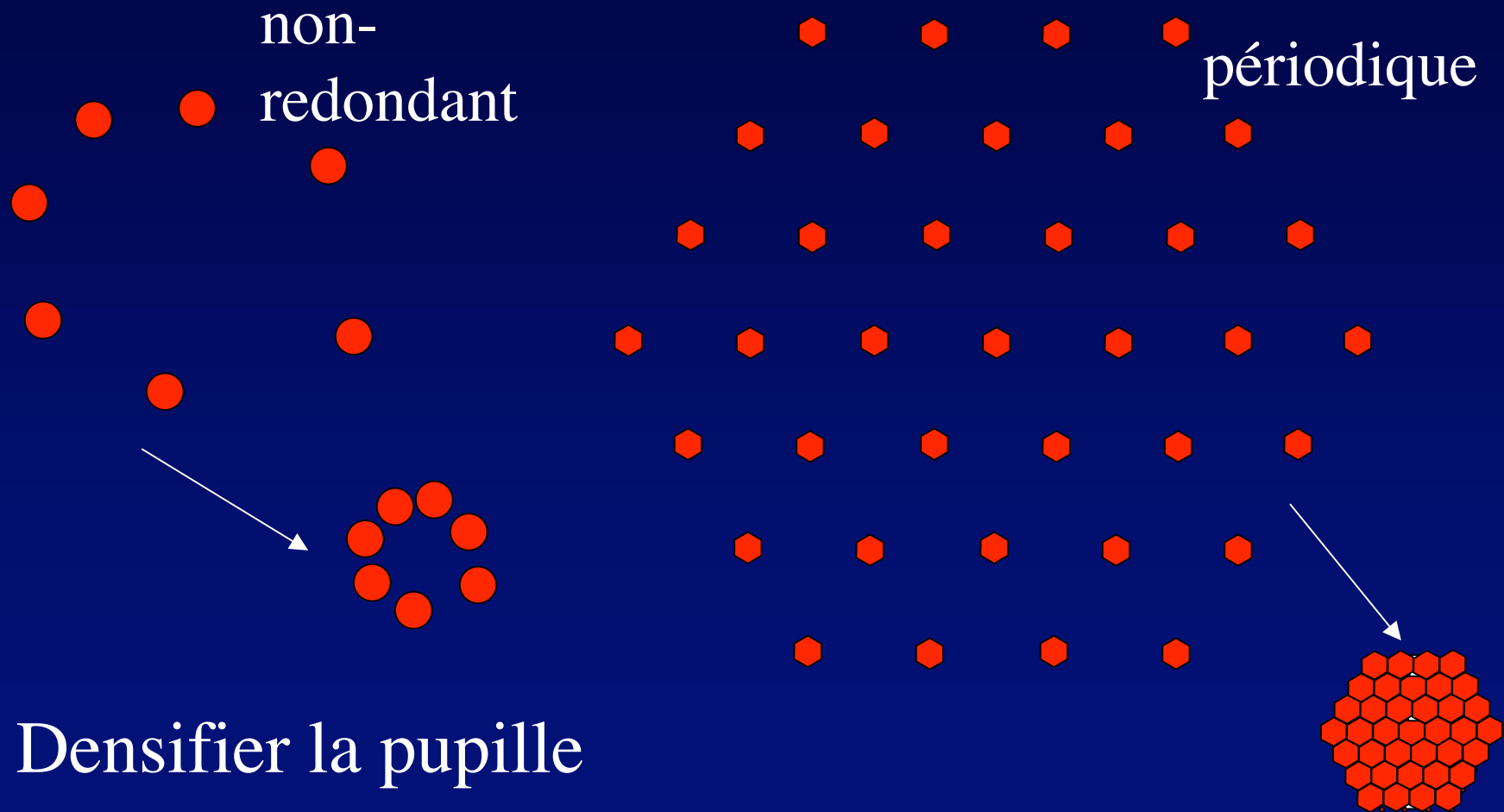


- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

# Trois étapes vers l'imagerie à haute résolution

1. Synthèse d'ouverture par paires ou triplets
  2. Imagerie directe avec ouverture multiple:
    - Combinaison Fizeau
    - Combinaison hypertélescope
- En présence de « fond de ciel » l'imagerie directe est plus sensible que la synthèse d'ouverture
  - Si le détecteur est imparfait ( seuil, etc.. ) l'hypertélescope est plus sensible que le Fizeau

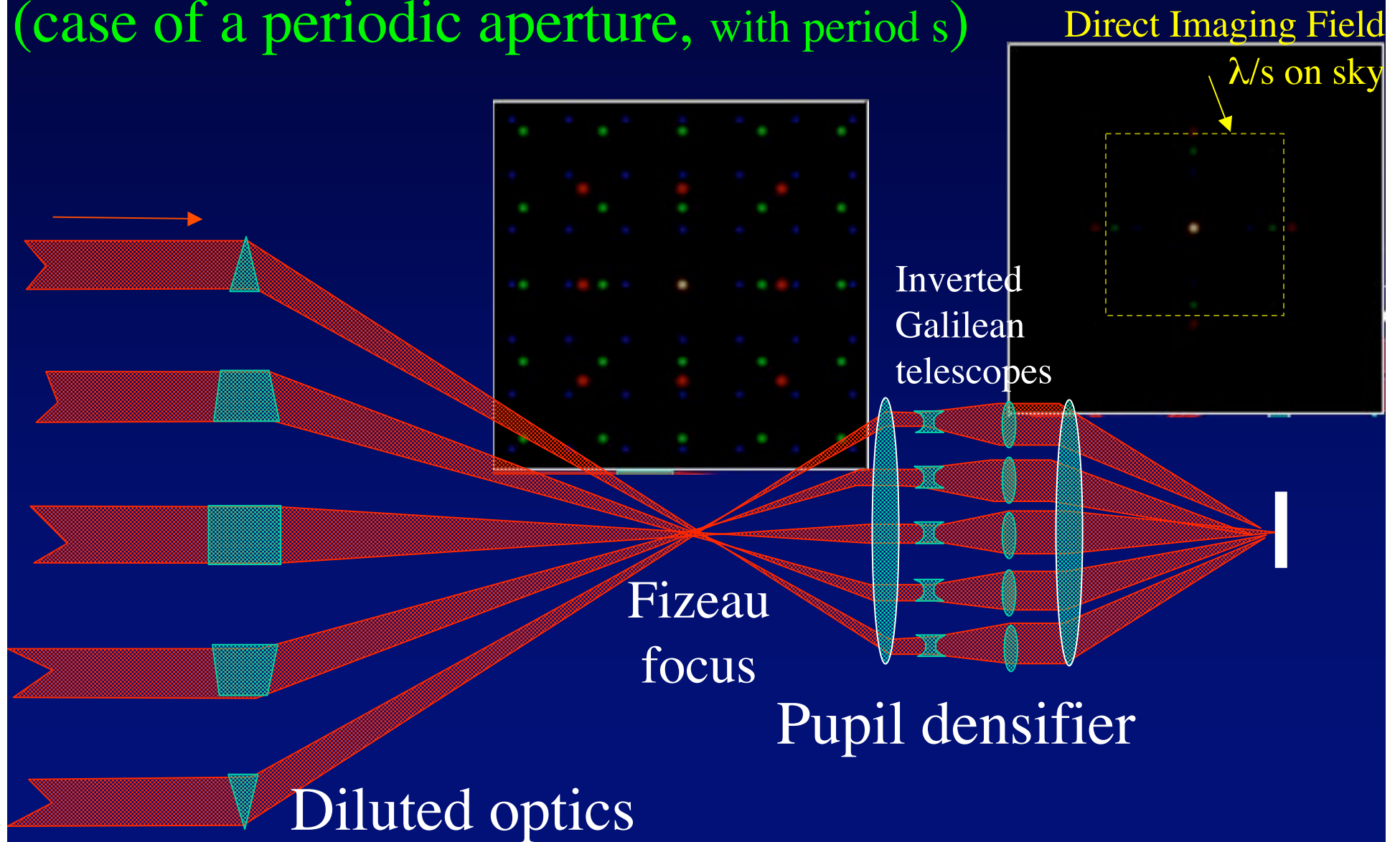
# Interféromètre « multi-ouverture imageur à pupille densifiée » ou « hypertélescope » (Labeyrie 1996)



- Densifier la pupille
- Préserver la disposition des centres

# Principle of hypertelescopes

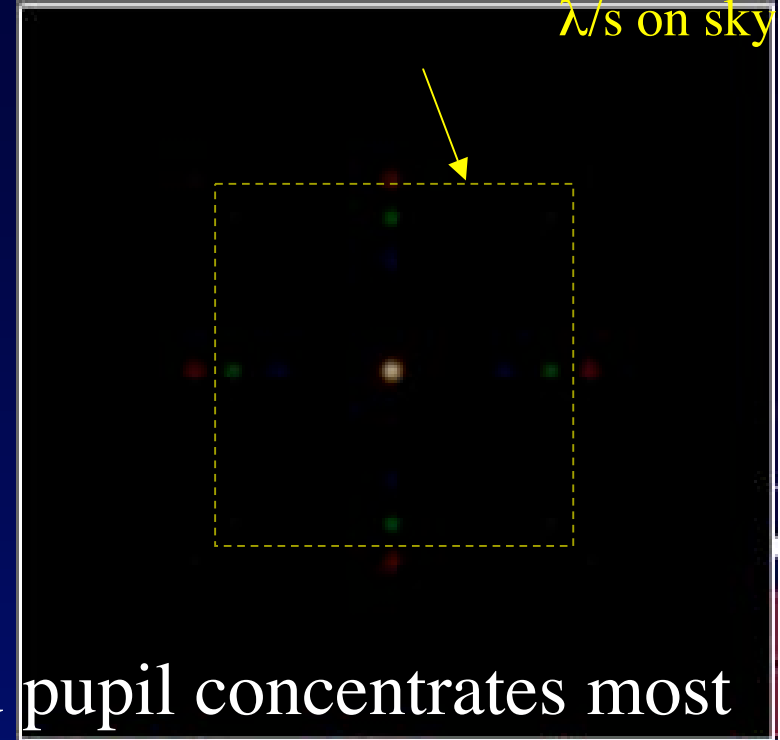
(case of a periodic aperture, with period  $s$ )



# Properties of hypertelescopes

Direct Imaging Field

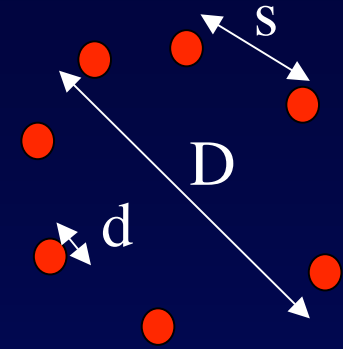
$\lambda/s$  on sky



- Luminosity gain: fully densified pupil concentrates most light in the central peak (  $10^8$  gain for Exo-Earth Imager)
- Point source image is a product of interference and diffraction functions
  - Interference function is convolved with object
  - Diffraction function is a broader nearly fixed envelope

# Properties of hypertelescopes

N apertures  
total collecting area A



- Sky diameter of Direct Imaging Field :
  - $\text{DIF} = \lambda s^{-1} = \lambda D^{-1} N^{1/2} = \lambda d^{-1} D^{-1} A^{1/2}$
- Becomes infinite if  $d$  decreases to zero, at constant collecting area  $A = N d^2$ 
  - Hypertelescope with very many apertures behaves as a giant telescope of diameter  $D$ , with image attenuated as  $A D^{-2}$
- Field crowding limit on extended objects per diffraction lobe  $\lambda/d$   
maximal number of stars =
  - $N^2$  for non-redundant apertures
  - $N$  for periodic apertures

imagerie directe vs. synthèse d'ouverture:  
gain en sensibilité  
en présence de fond de ciel

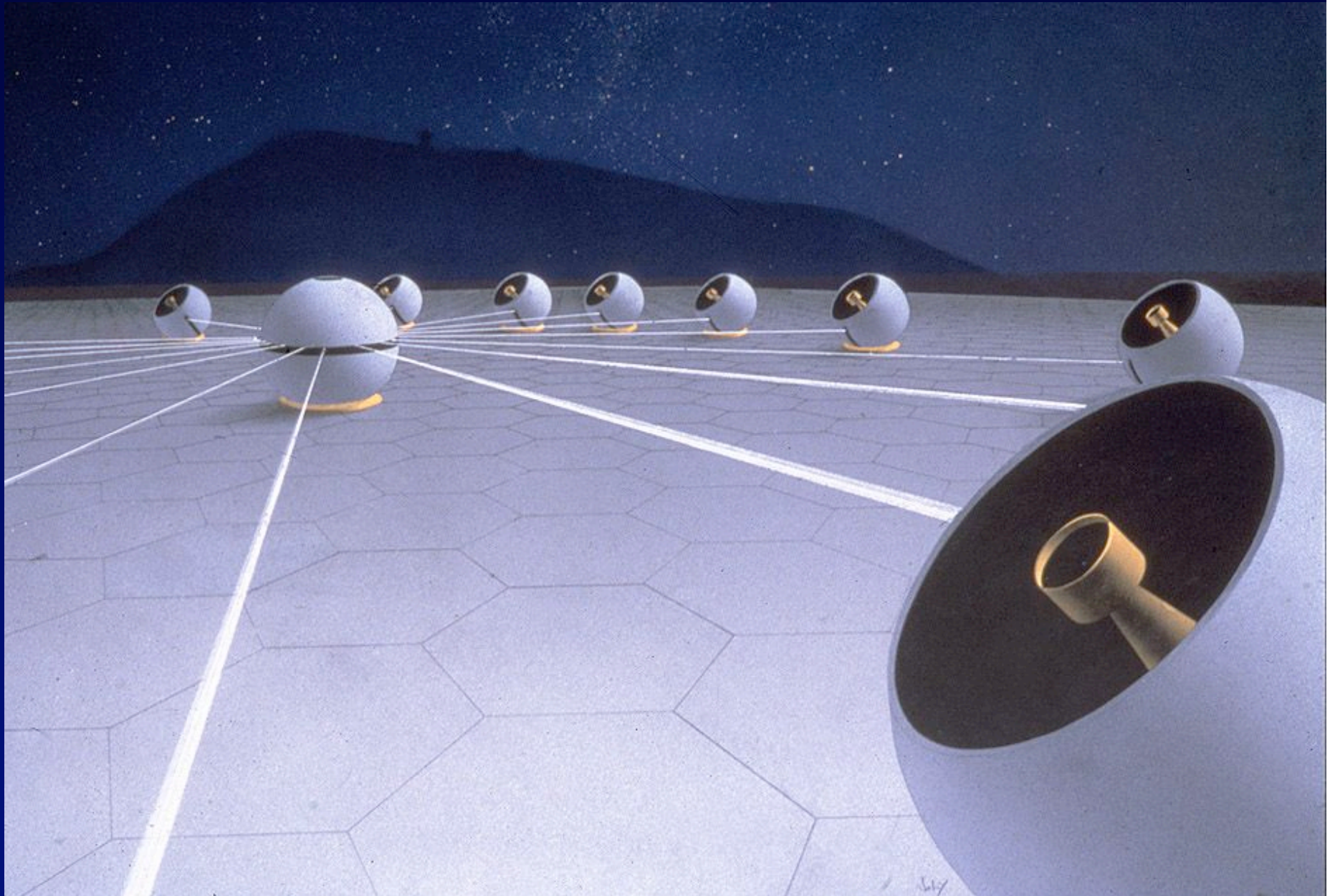
- mesure de visibilité des franges avec une paire d'ouvertures: contamination par le fond de ciel sur le lobe  $\lambda/d$
- Le pic de l'image hypertélescope sépare en grande partie le signal du fond de ciel contenu dans le lobe

# Le gain supplémentaire en sensibilité de l'hypertélescope, si le détecteur est imparfait

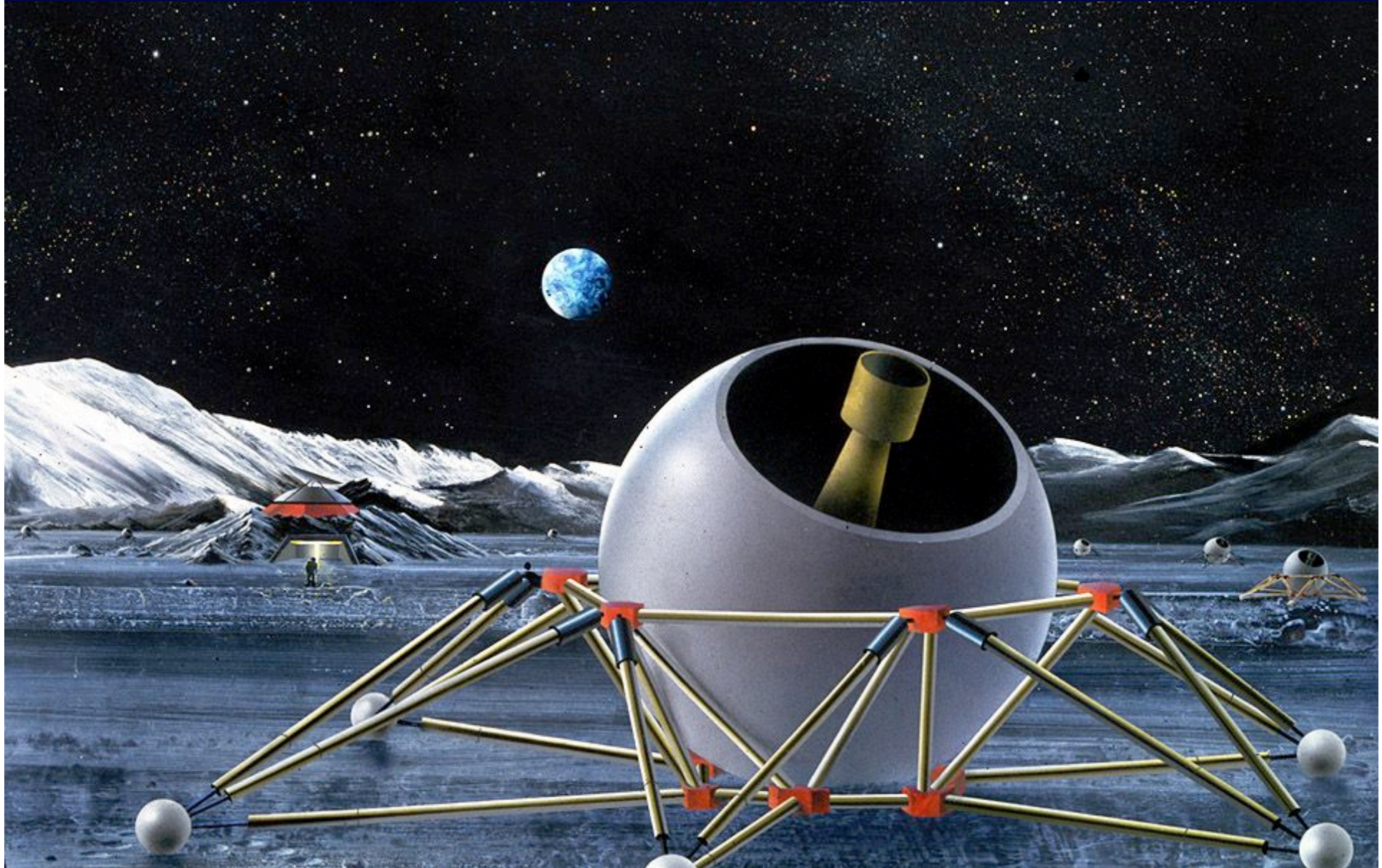
- la densification de pupille intensifie l'image
- .. en rétrécissant le halo de pics secondaires
- Sensibilité accrue si le détecteur n'est pas limité par le bruit de photons
- ... et économie de pixels

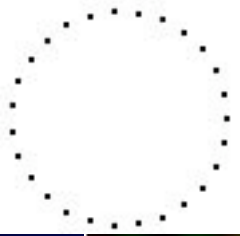


# Optical Very Large Array



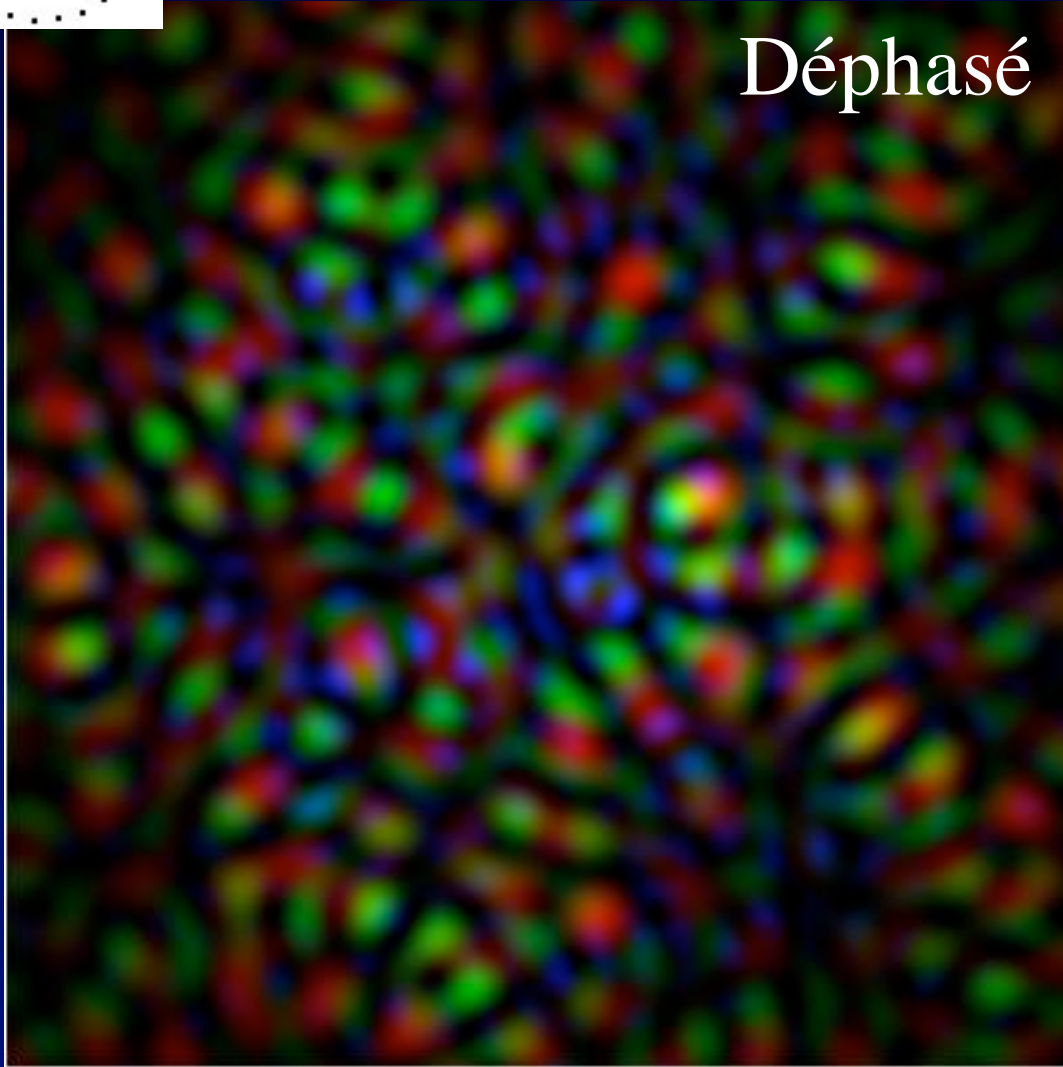
# Version lunaire d'un OVLA



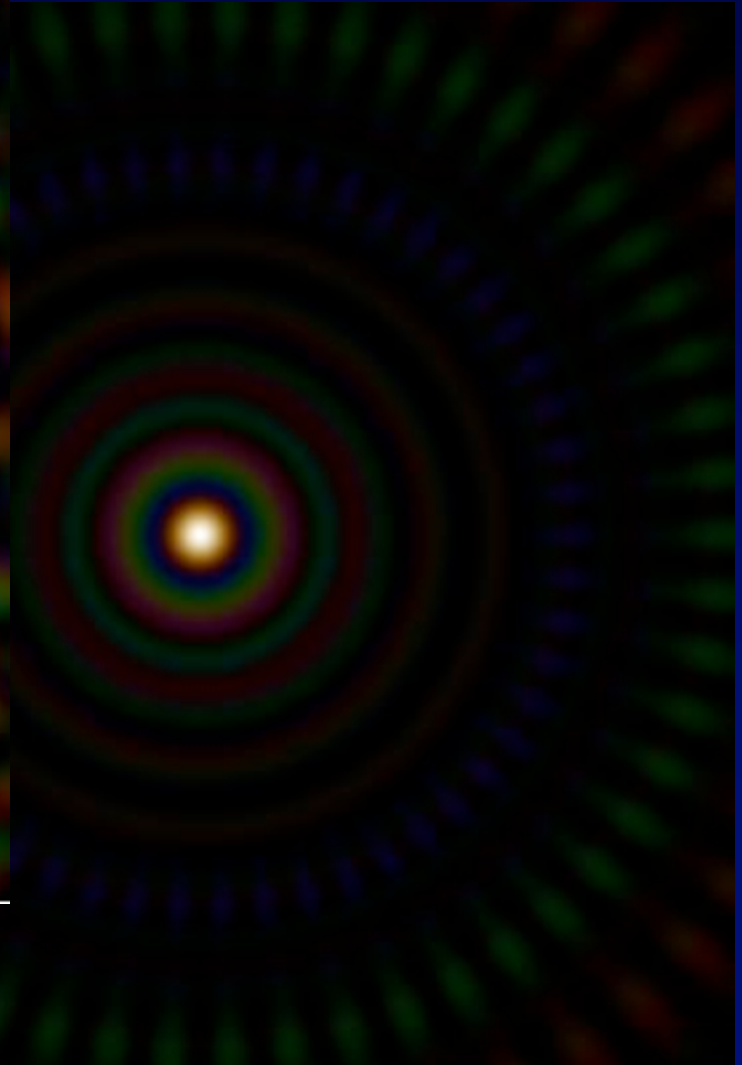


# 27 ouvertures en cercle

Déphasé



En phase



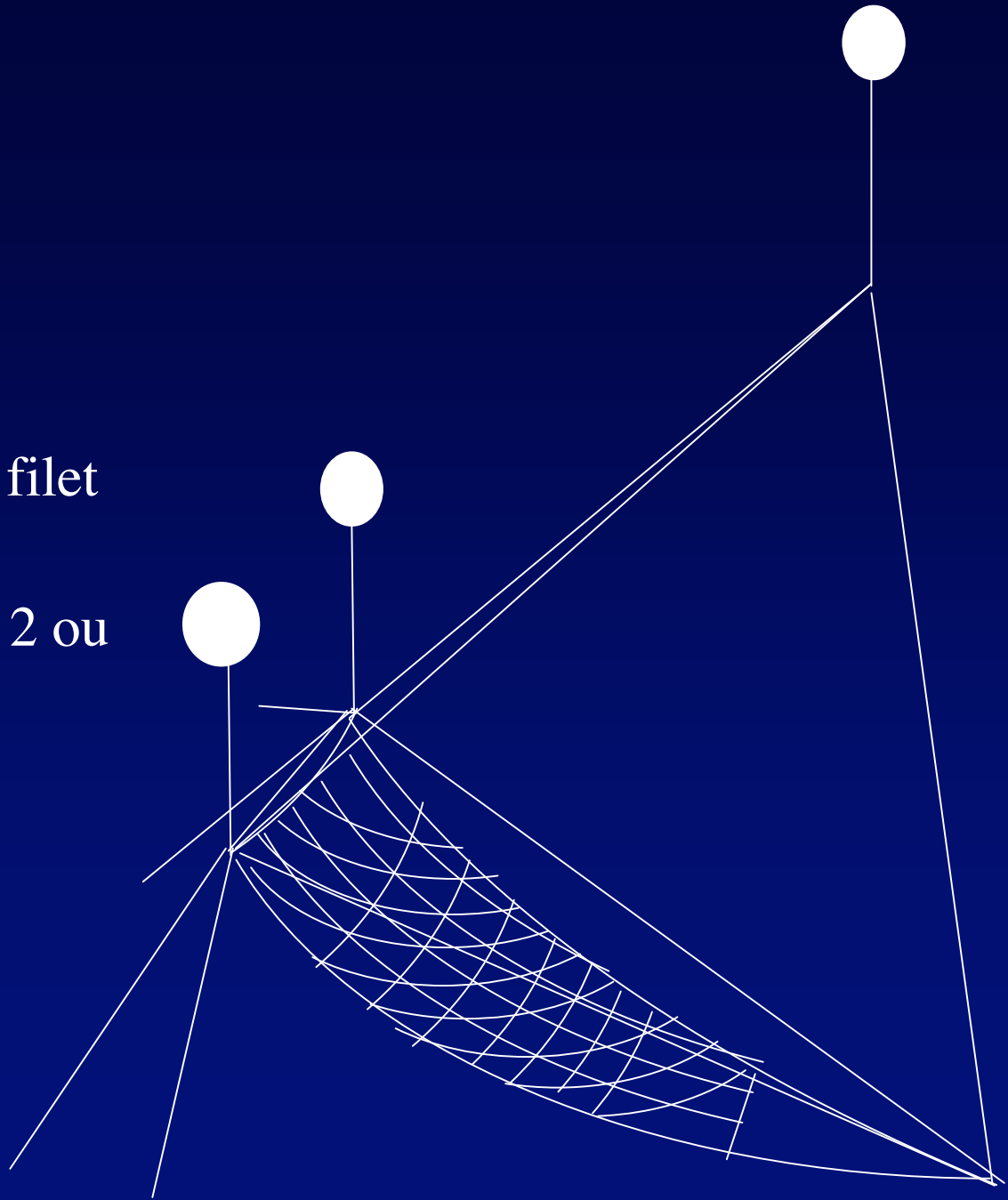
# Interféromètre dans l'Antarctique ? Proposition « KEOPS » (Vakili et al. 2004)

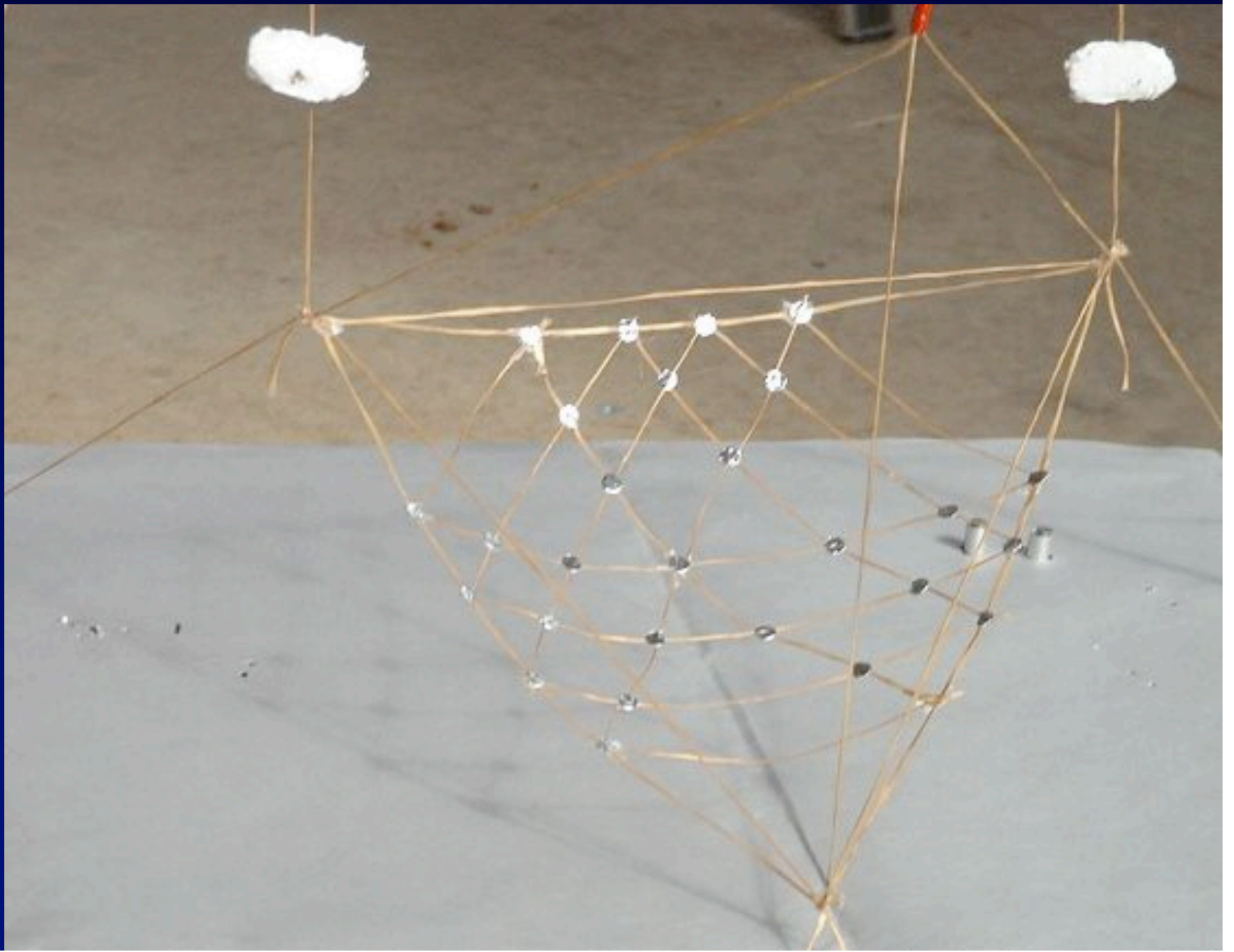


Projet KEOPS (Vakili et al. 2004)

# Hypertélescope au Dôme C (Antarctique)

- suspendu à 3 ballons
- Miroirs aux nœuds d'un filet
- Forme parabolique  $F/1$
- Globalement pointé par 2 ou 3 treuils
- Dimension 1 km ?

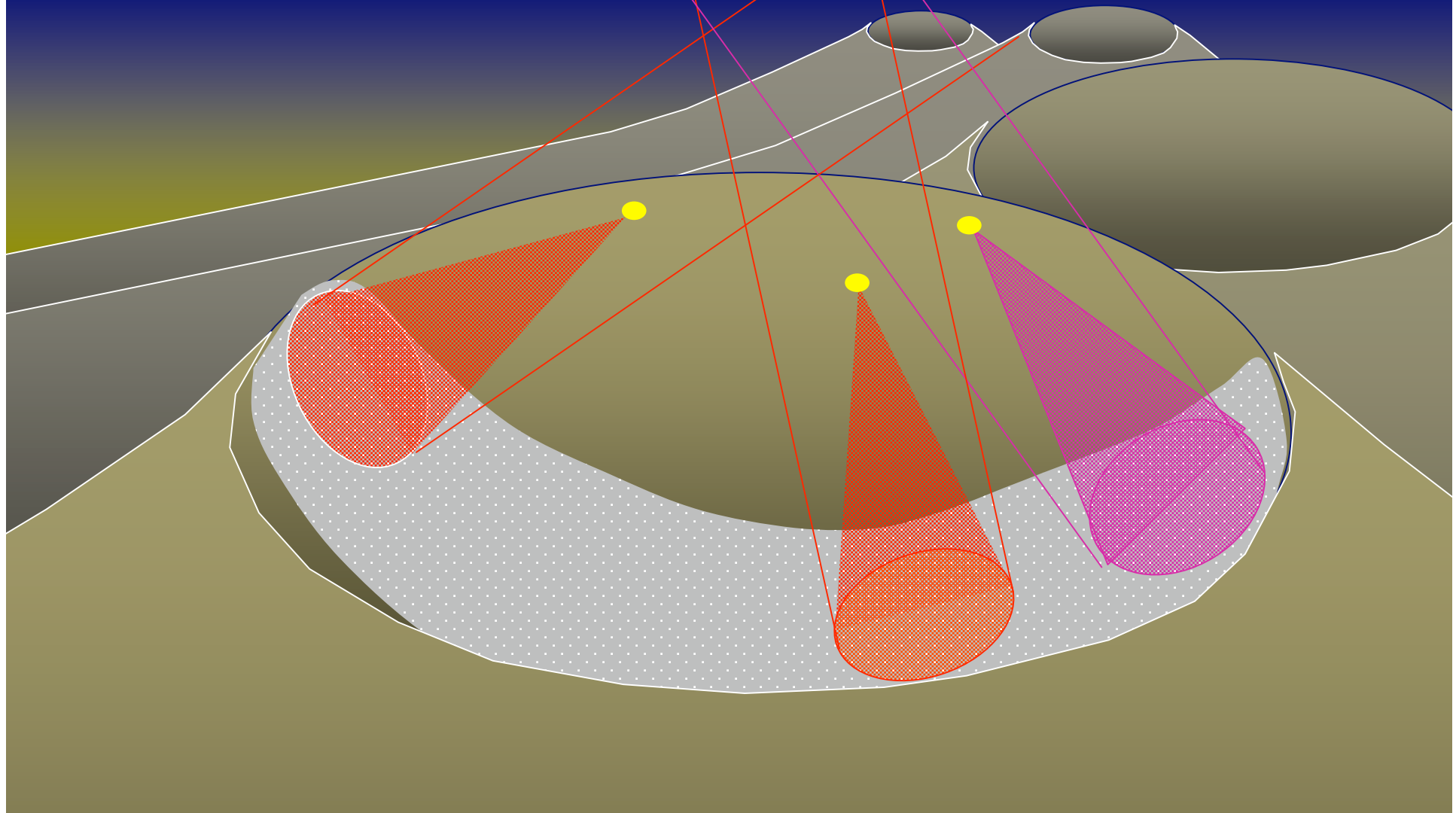




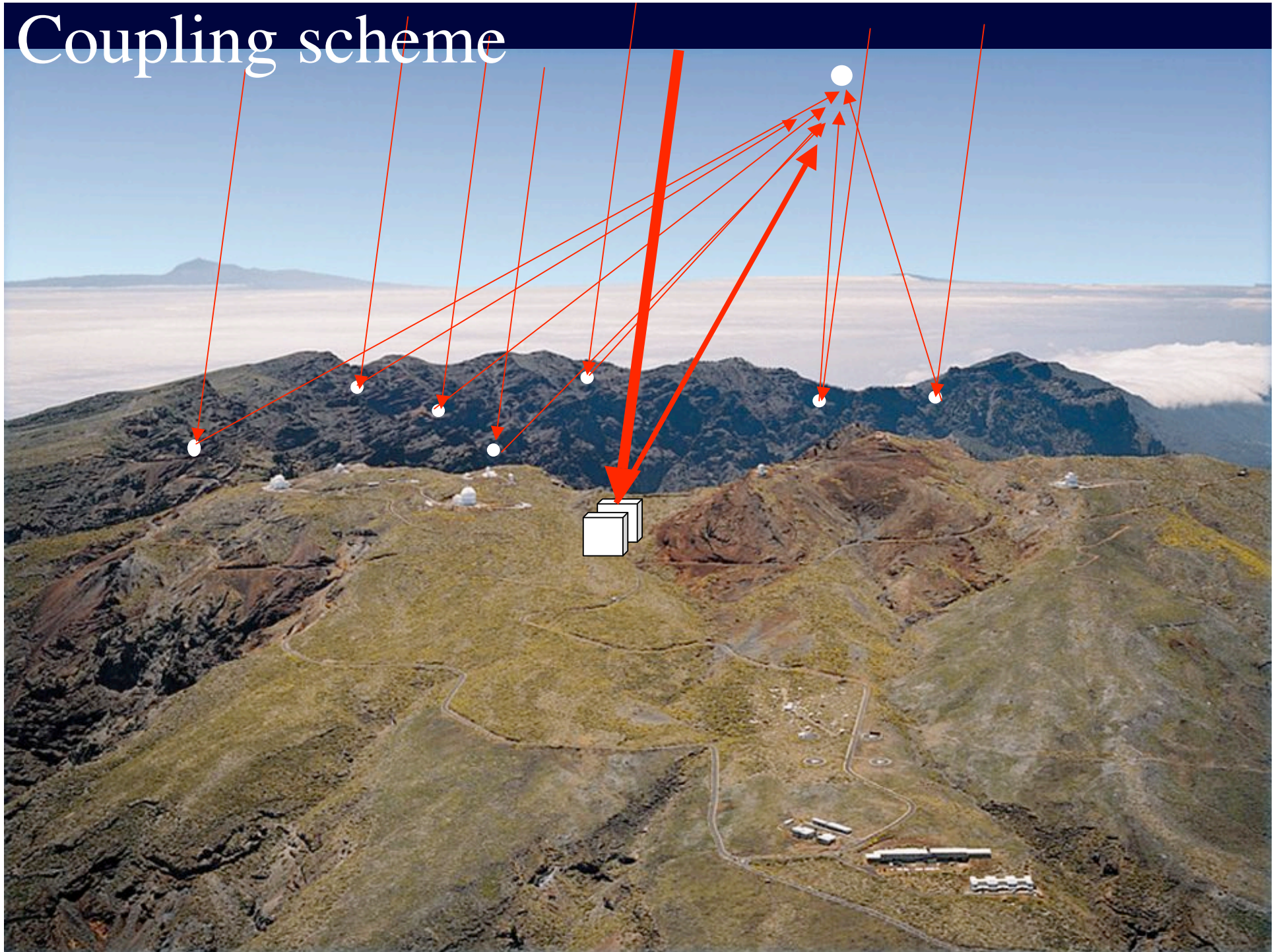
# hypertelescope CARLINA kilométrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

Imagerie mag. 38, cosmologie



# Coupling scheme





# Roque de las Muchachos, Canarias

