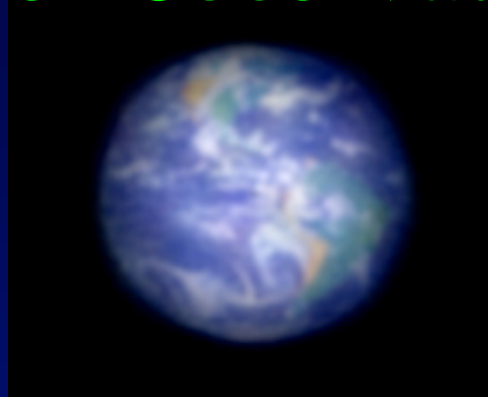


Collège de France

Chaire d'Astrophysique Observationnelle

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



- Six cours à Paris les mercredis du 6 Avril au 26 Mai
- Trois à Nice le 16 Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers .pdf des cinq dernières années sont téléchargeables sur ce site

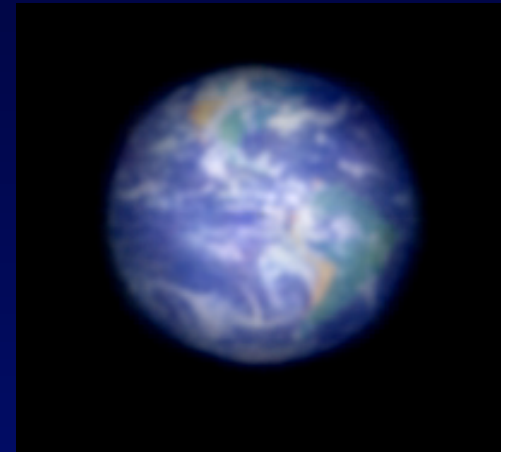
Programme

affiché sur: www.college-de-france.fr/

- 6 Avril :
 - Étapes en cours pour les hypertélescopes: Carlina 2 à Calern
 - Séminaire: **François Bouchy**, OAMP
- 13 Avril:
 - Nouveaux projets d'interféromètres
 - Séminaire: **Philippe Stée**, Observatoire de la Côte d'Azur "Des mesures interférométriques du VLTI aux futurs réseaux imageurs au sol et dans l'espace"
- 20 Avril: le cours n'aura pas lieu
- 27 Avril : le cours n'aura pas lieu
- 4 Mai : le cours n'aura pas lieu
- 11 Mai : hypertélescope pour observer le Soleil
- 16 Mai à Nice : Exo-Terres: progrès de la coronographie
- 18 Mai: Hypertélescope transitoire pour OWL
- 25 Mai:
- 1er Juin:

Aujourd'hui :

Nouveaux projets d'interféromètres



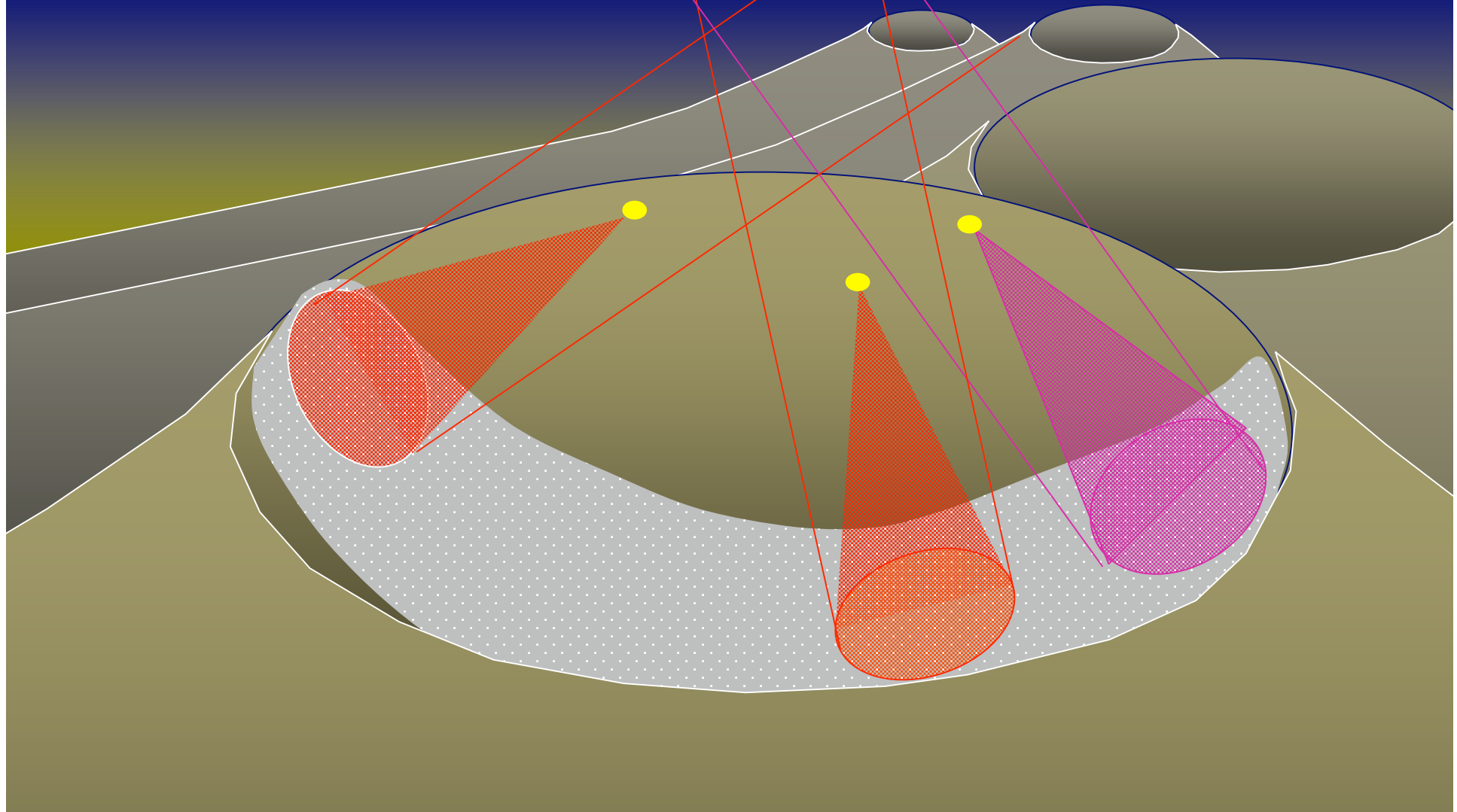
Séminaire à 18h: **Philippe Stée** (Observatoire de la Côte d'Azur)

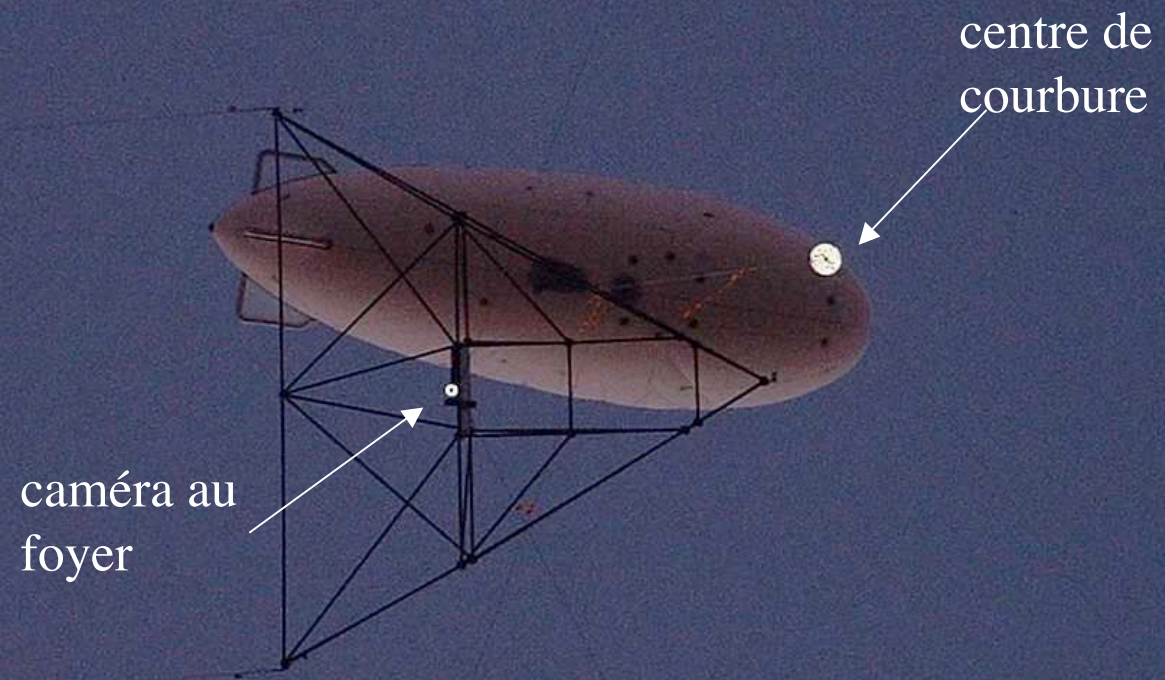
"Des mesures interférométriques du VLTI aux futurs réseaux imageurs au sol et dans l'espace"

hypertelescope CARLINA kilometrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

Imagerie mag. 38, cosmologie

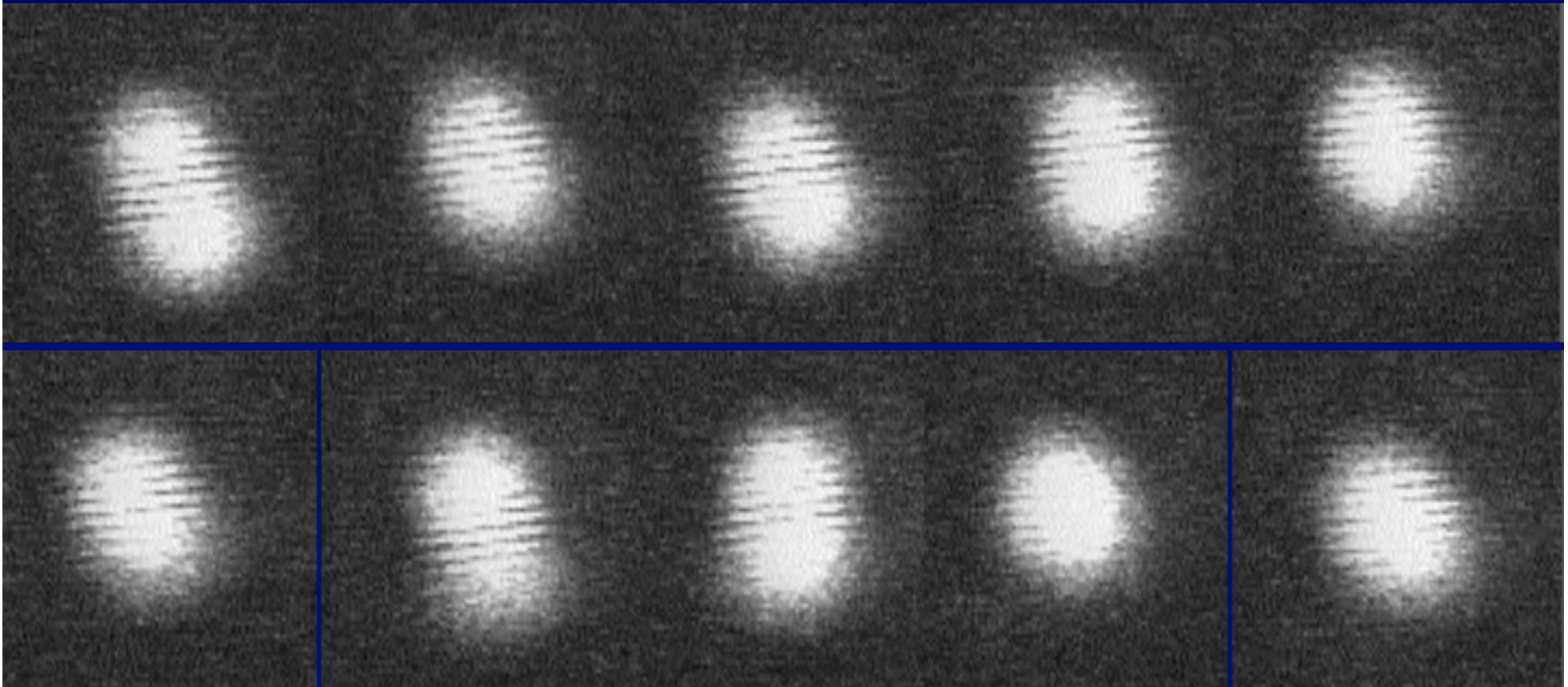




Carlina 1: Ballon et nacelle en fonctionnement

Franges du prototype Carlina 1

- Véga, 2 ouvertures de 5 cm, espacées de 40cm
- Séquence toutes les 20 millisecondes



Nacelle focale avec correcteur de Mertz



Faire un Carlina 2 à Calern ?

- Avantages:
 - communauté d'interférométristes
 - Accès facile
 - Turbulence assez bonne pour l'Europe
 - Calcaire stable (données clinométriques de Laclare et al.)
- Inconvénients:
 - Dolines trop petites, pas assez pentues



La suite de Carlina 1: Carlina 2 à Calern

- Exploitation d'une doline
- Permet un diamètre d'ouverture effectif 40 à 60m
- Début de science prévu, sans optique adaptative:
 - Images d'étoiles géantes proches : « speckle imaging »
 - Détection de Jupiters chauds ? Deux approches :
 - En hyperturbulent
 - En utilisant une ouverture non redondante
- - Quasars: magnitude 13-14, quelques candidats
- ... puis avec optique adaptative.

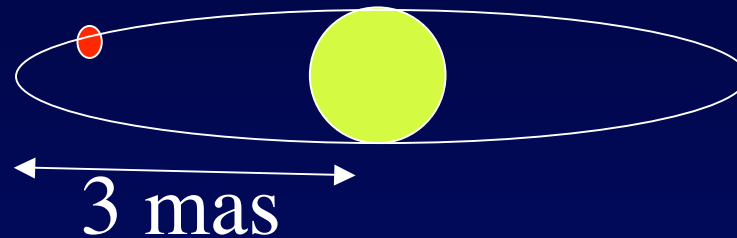
La suite de Carlina 1: Carlina 2 à Calern



Métrologie

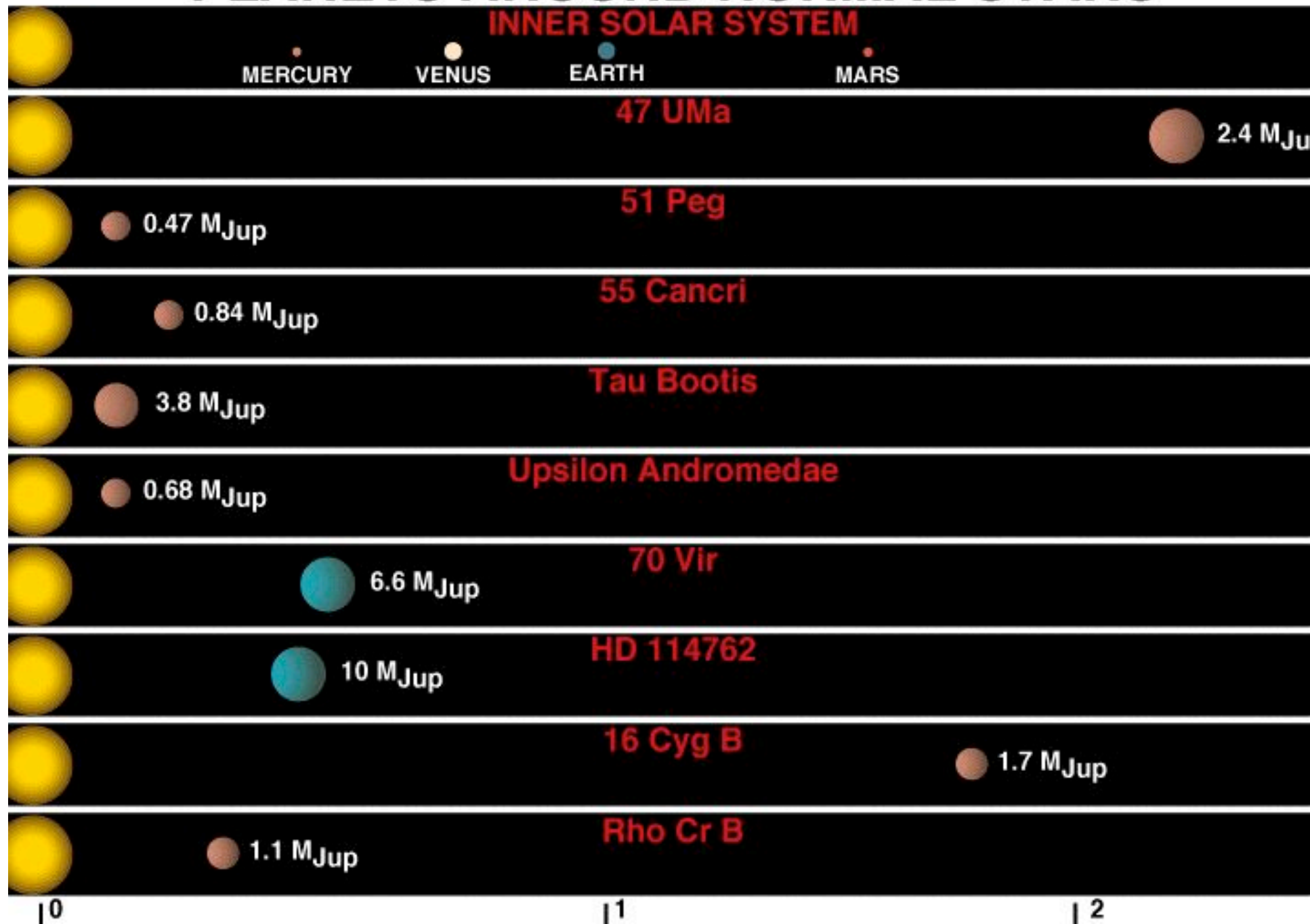
- Mise en position des miroirs au théodolithe
- Co-sphérisation fine au centre de courbure...

Recherche de Jupiters chauds avec Carlina 2 sans optique adaptative



- 51 Peg, Tau Boo: 10 000 fois moins lumineux que l'étoile mère à 1,1 micron
- Séparé avec ouverture de 40 m
- Faisable avec Carlina 2 + AO + coro (ça viendra)
- Aussi peut-être sans AO ni coro ... (2006 ?)
- ...par « speckle interferometry »

PLANETS AROUND NORMAL STARS



Compagnon: étoile ou planète?

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

VLT-NaCo K-band

GQ Lup A

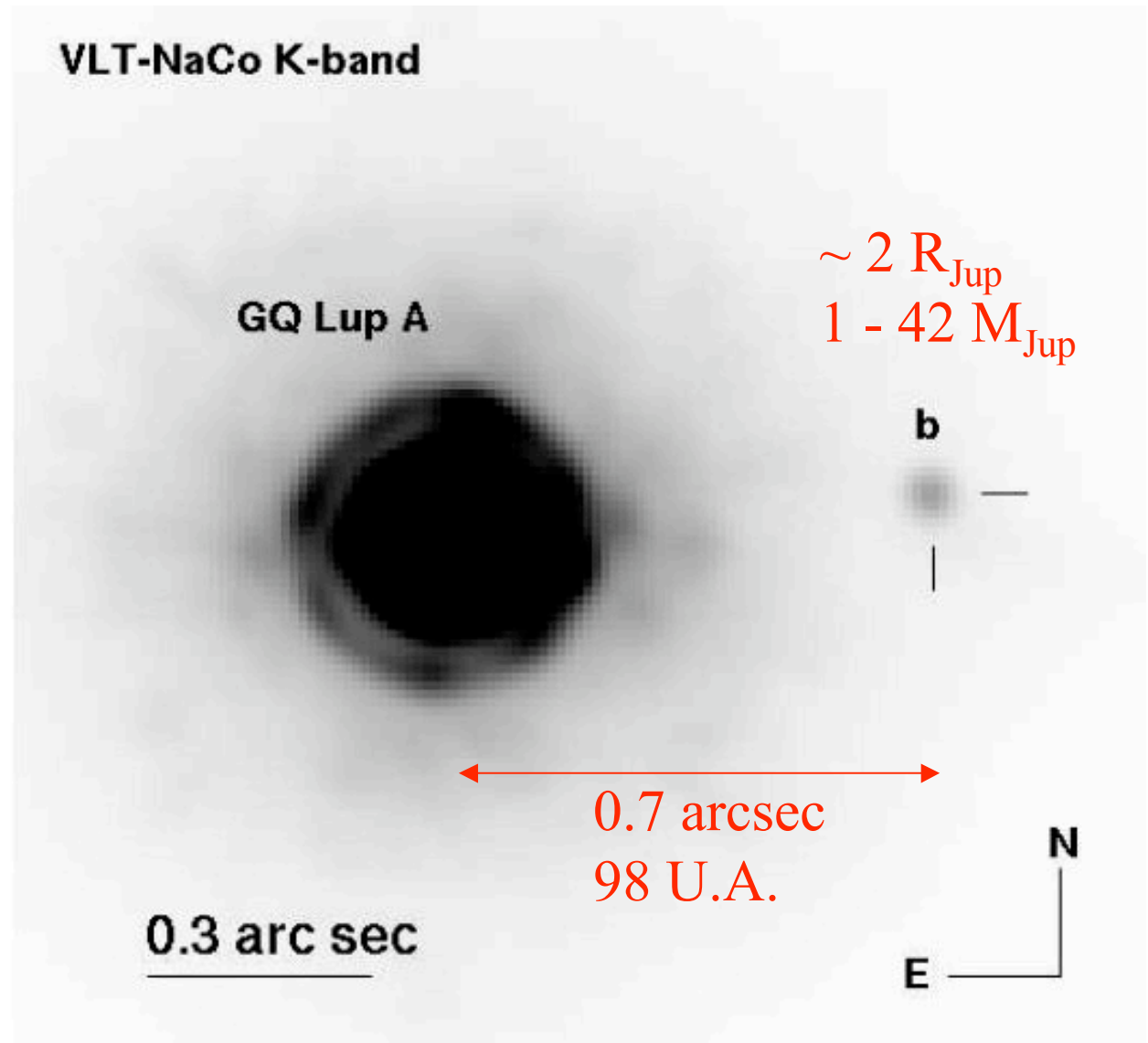
$\sim 2 R_{\text{Jup}}$
 $1 - 42 M_{\text{Jup}}$

b

0.7 arcsec
98 U.A.

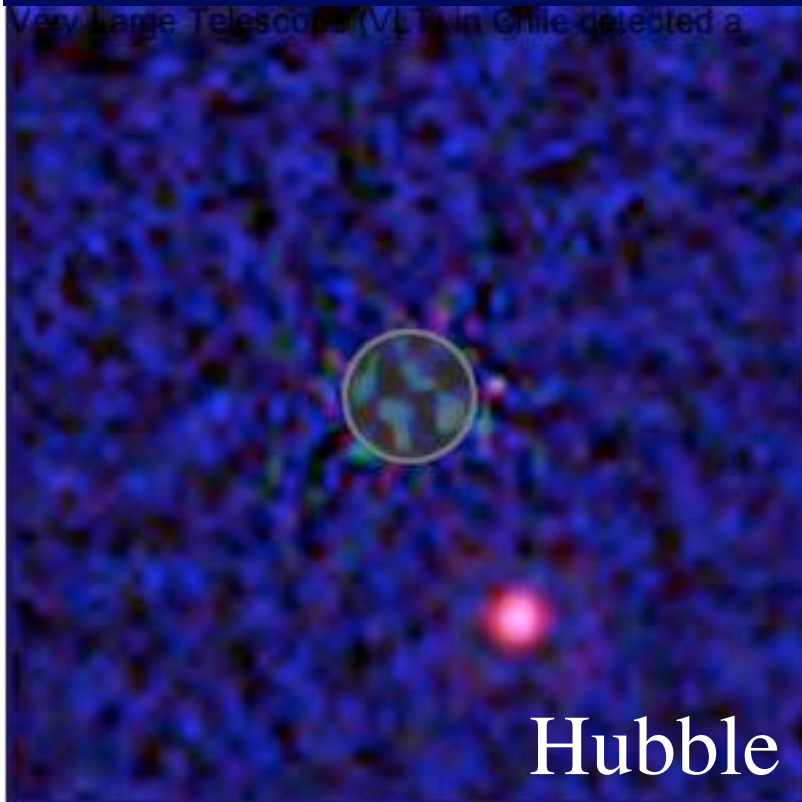
0.3 arc sec

N
E



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

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



2MASSWJ1207334-393254



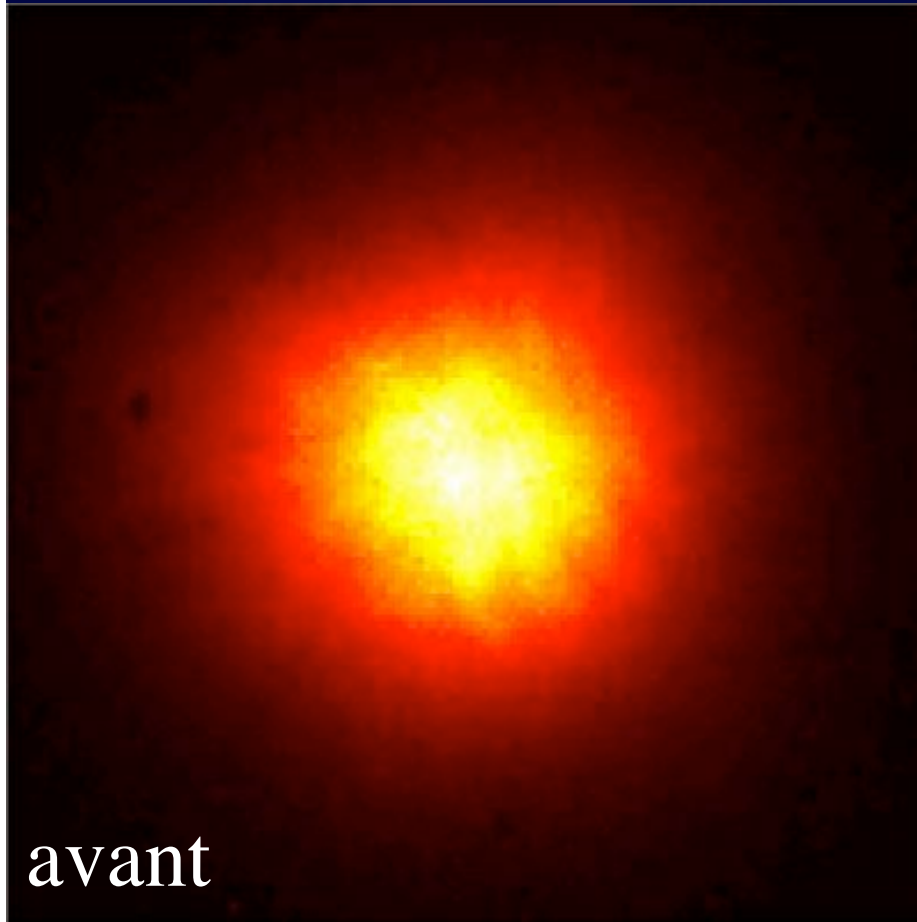
A Giant Planet Candidate near a Young Brown Dwarf *

Direct VLT/NACO Observations using IR Wavefront Sensing

Etoiles en formation



Binaire et optique adaptative

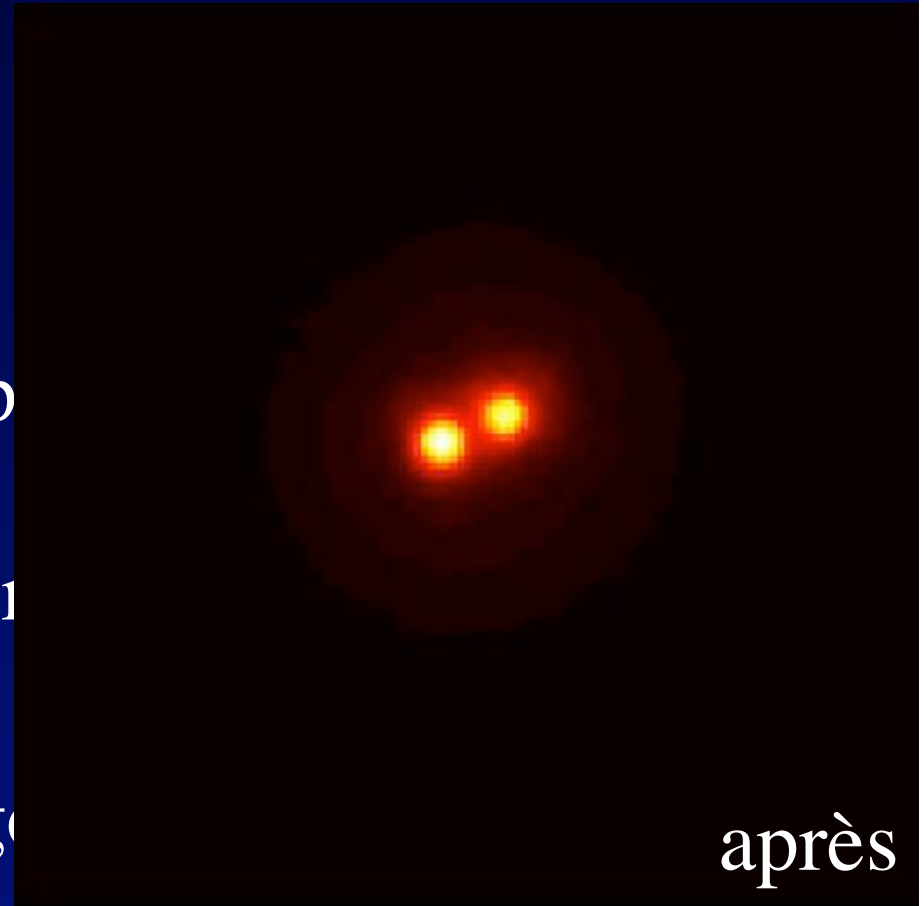


avant

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

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

© European Southern Observatory



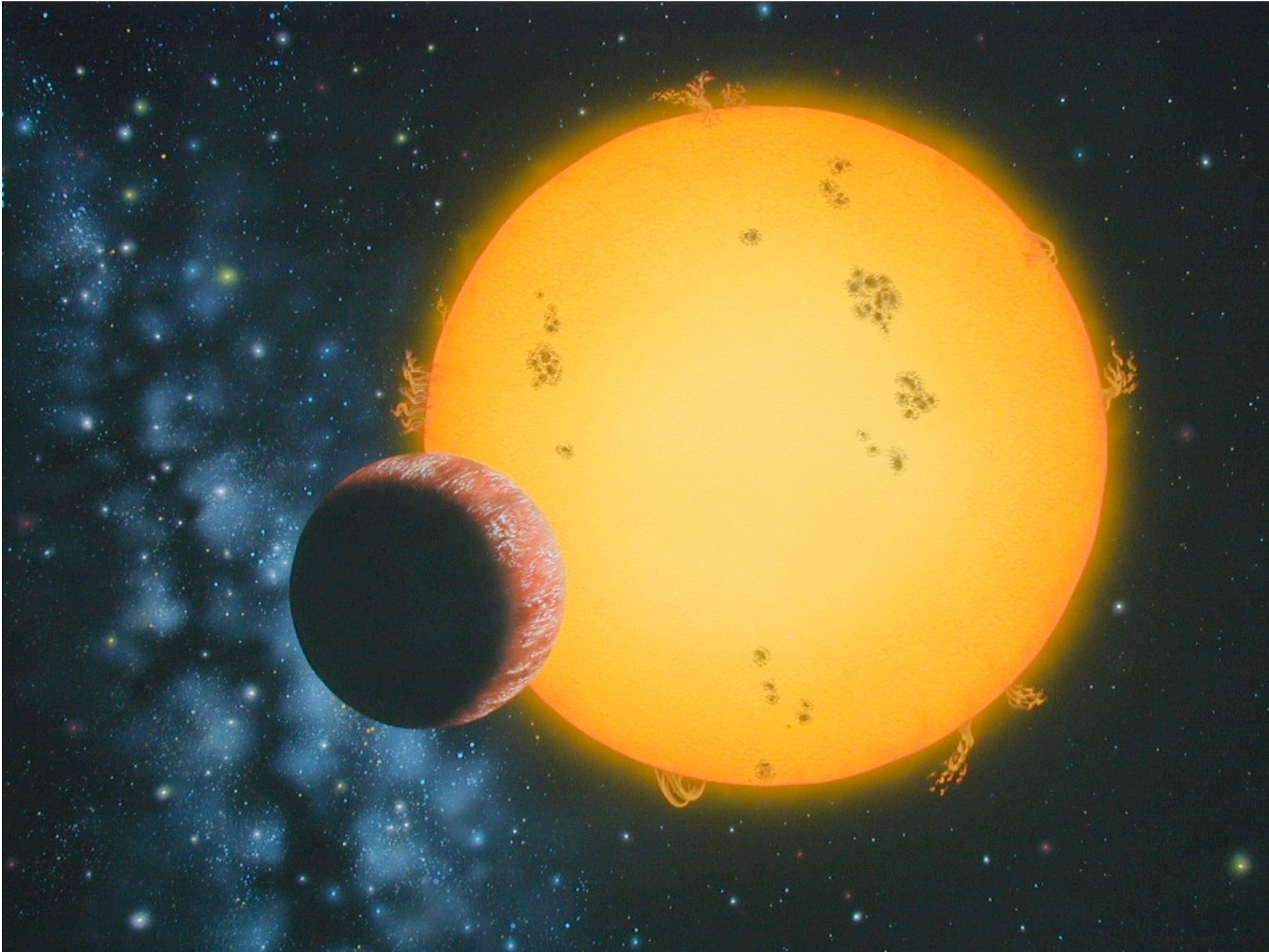
après

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

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

© European Southern Observatory





« Speckle Interferometry »: petit rappel

espace ouverture

espace objet

$v(u,v)$ visibilité

$\Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow$

$O(x,y)$

objet

$p(u,v)$ pupille complexe

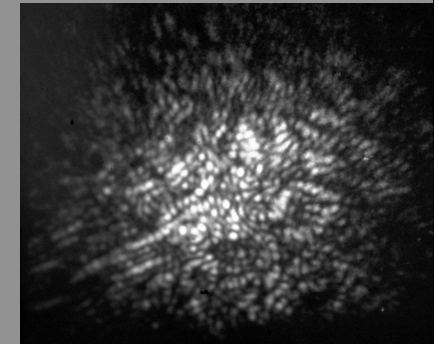
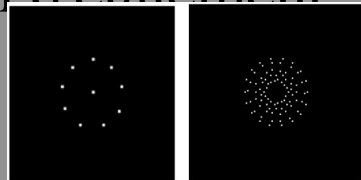
$\Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow$

$s(x,y)$

fonction d'étalement "speckle":

$$S(x,y) = |s(x,y)|^2$$

pose courte:



$\text{AC}\{p(u,v)\} v(u,v)$

$\Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow$

$$I(x,y) = S(x,y) \otimes O(x,y)$$

$|\text{AC}\{p(u,v)\} v(u,v)|^2$

$\Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow$

$$\text{AC}\{I(x,y)\}$$

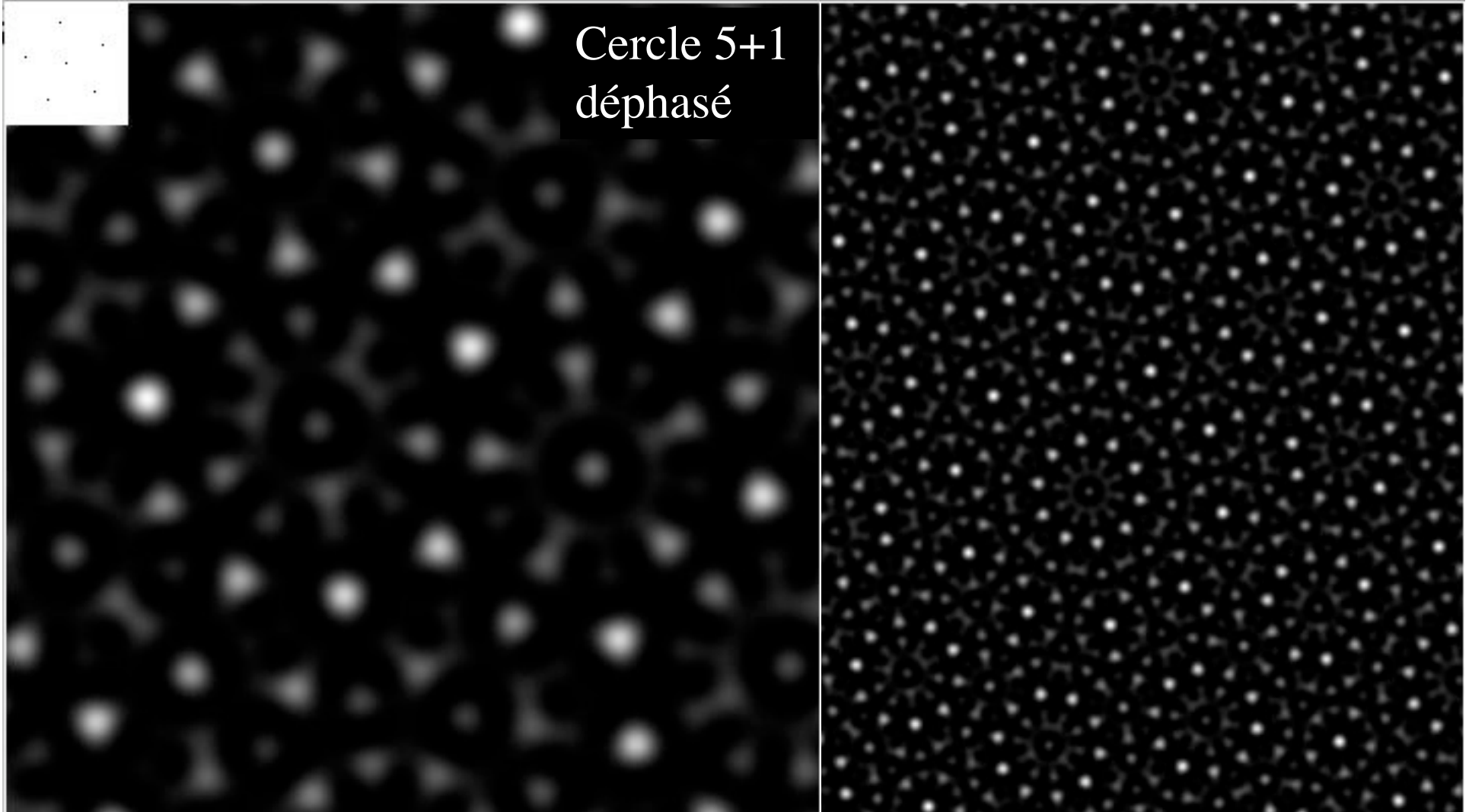
poses successives, accumulation des données:

$$\sum_t |\text{AC}\{p(u,v)\} v(u,v)|^2 \Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow \sum_t \text{AC}\{I(x,y)\}$$

$$|v(u,v)|^2 \sum_t |\text{AC}\{p(u,v)\}|^2 \Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow \text{AC}\{O(x,y)\} \otimes \sum_t \text{AC}\{S(x,y)\}$$

lissage des $\sum \text{AC}$ donne: $|v(u,v)|^2$ ou $\text{AC}\{O(x,y)\}$

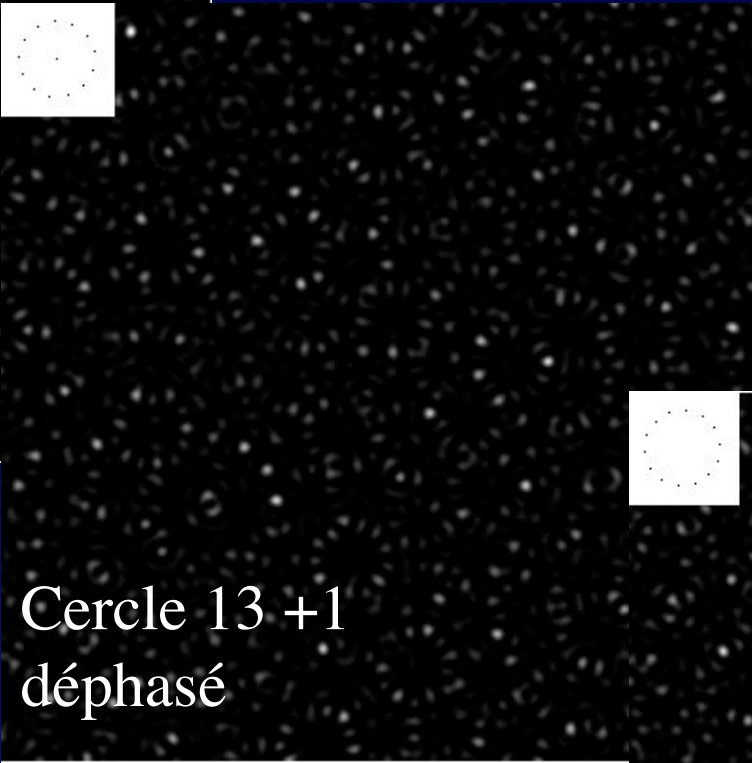

Ouverture non redondante: image en présence de turbulence



Ouverture redondante ou pas



Cercle 13 +1
phasé

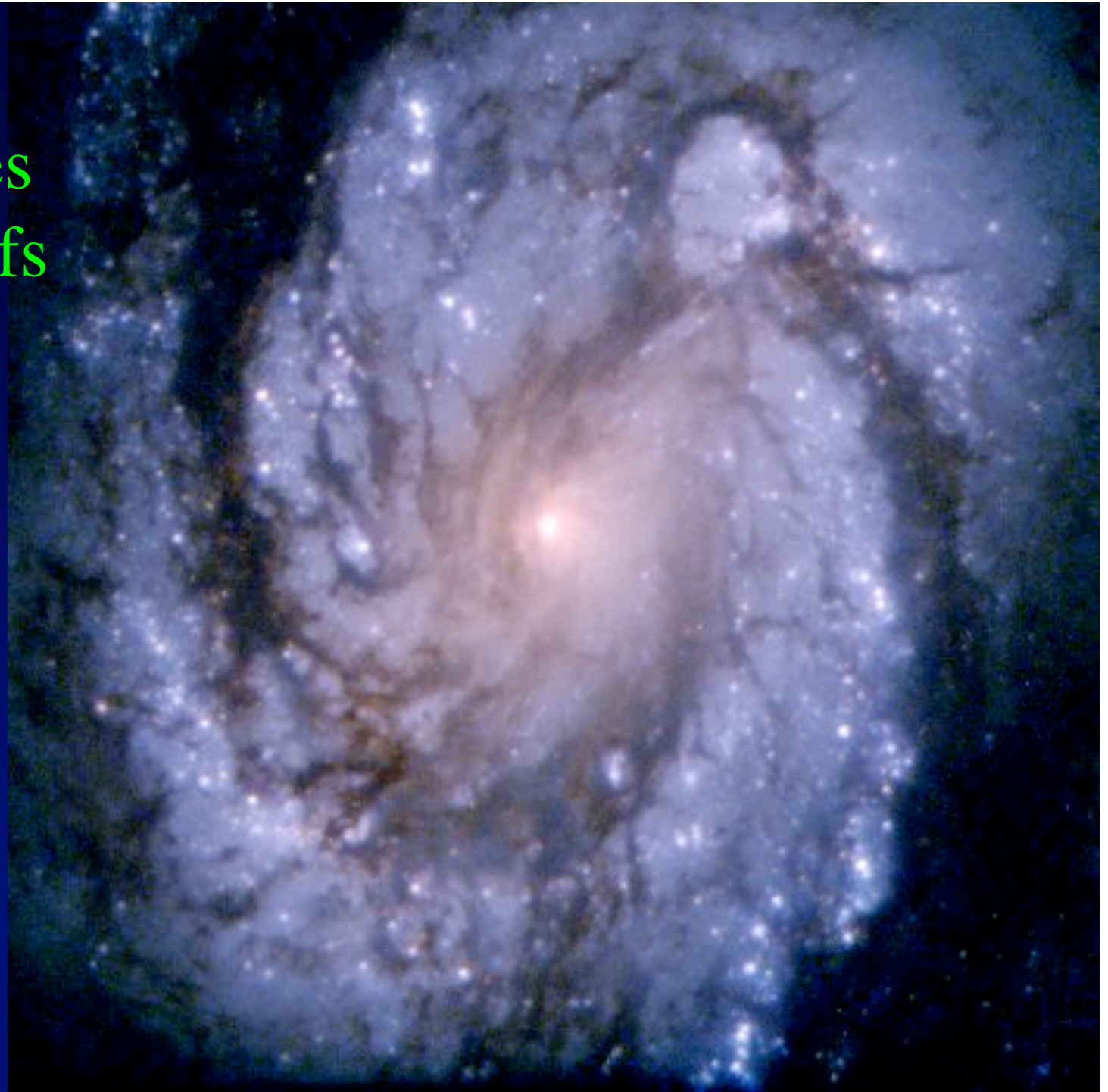


Cercle 13 +1
déphasé

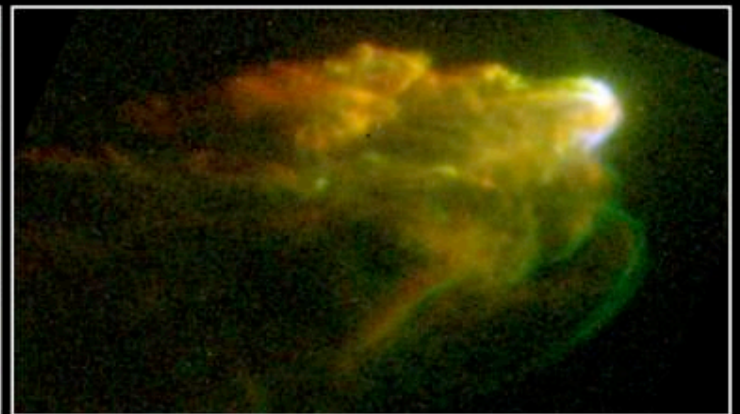
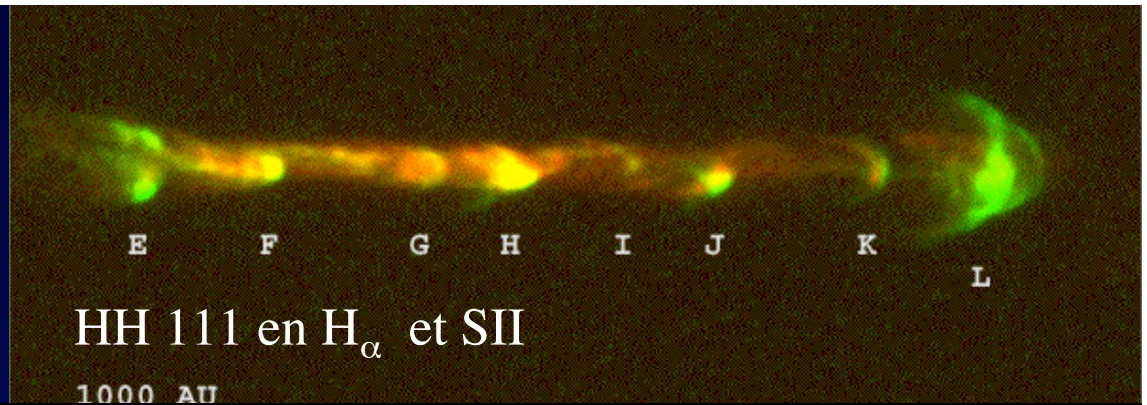


Cercle 14
déphasé

Résoudre les noyaux actifs



Jets des objets de Herbig-Haro

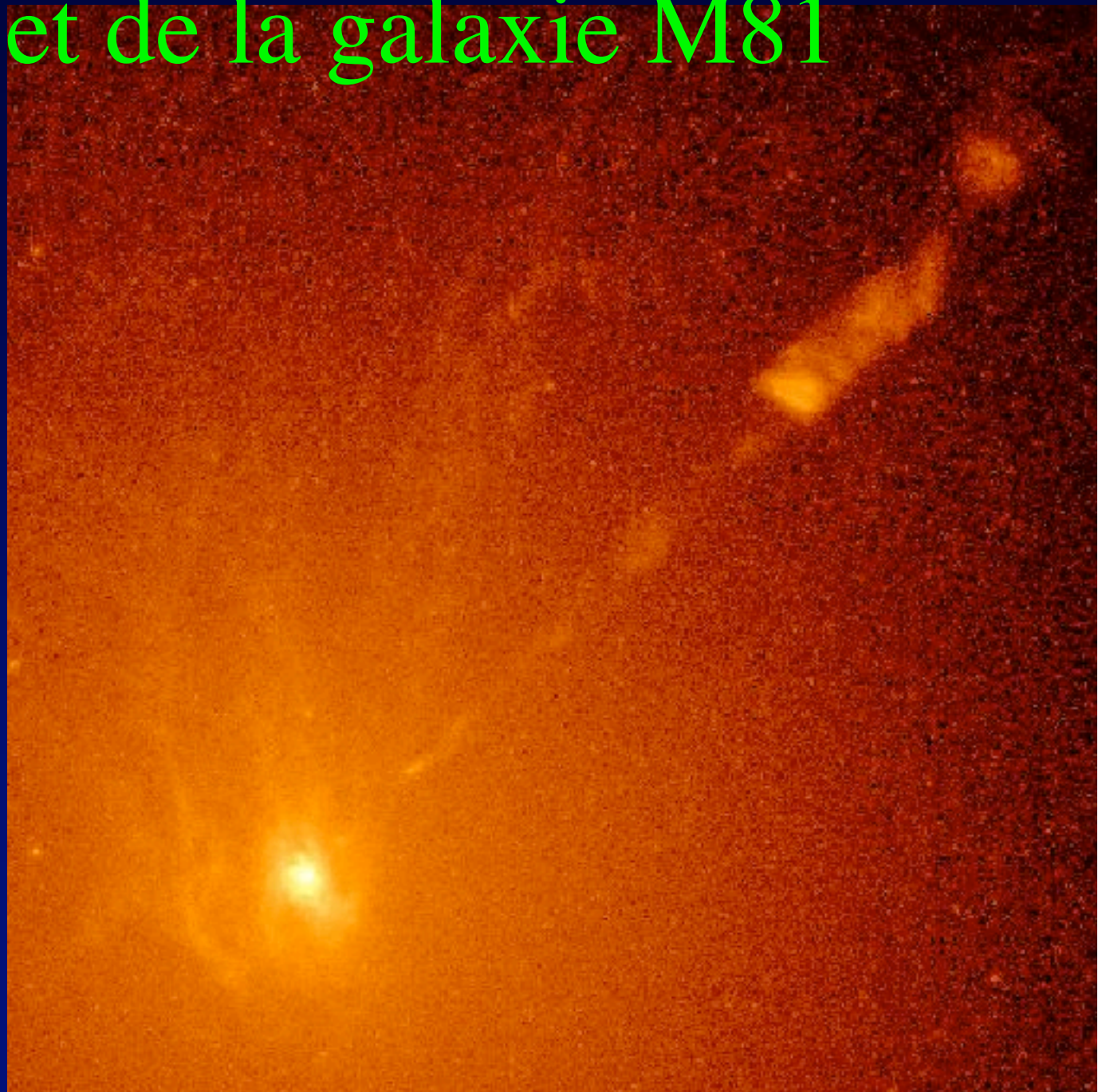


Jets from Young Stars • HH1/HH2

HST • WFPC2

PRC95-24c • ST ScI OPO • June 6, 1995 • J. Hester (AZ State U.), NASA

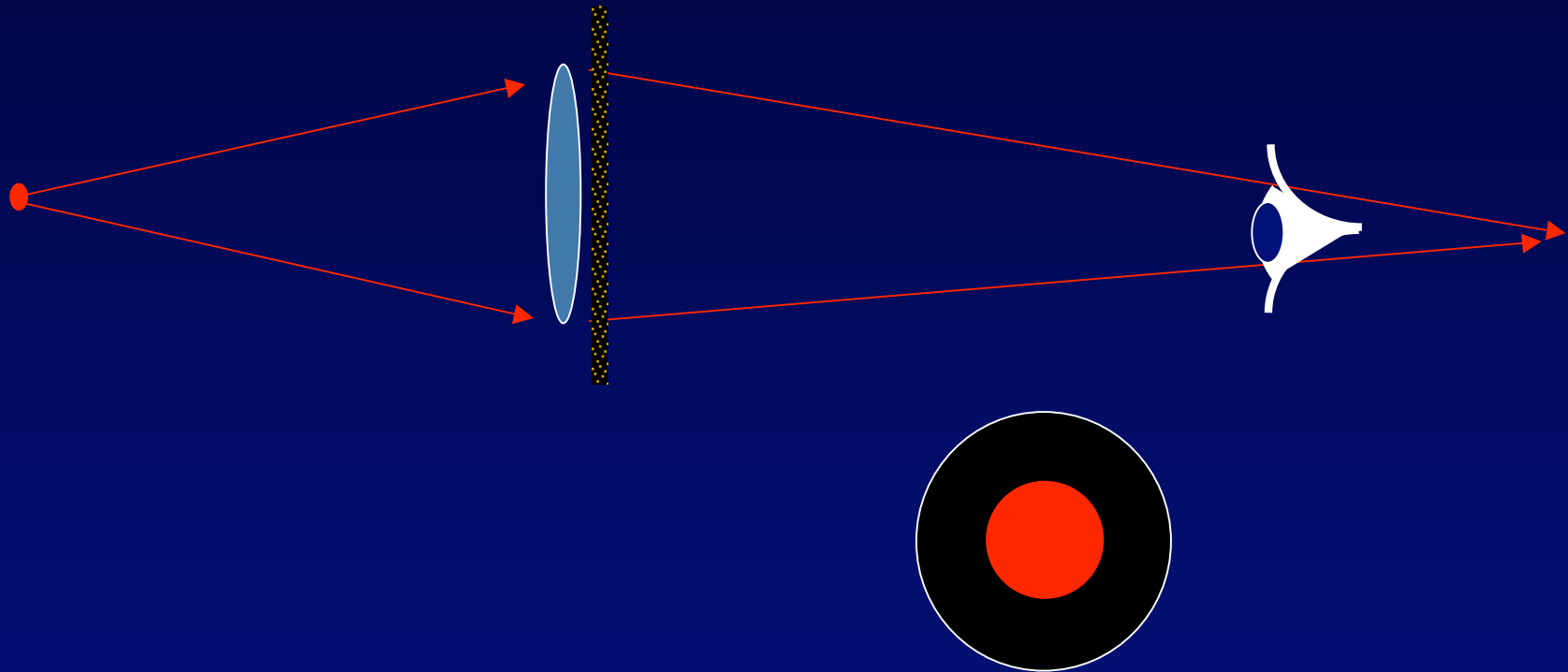
Noyau et jet de la galaxie M81



Very Large Array



Vitesses apparentes « superluminales » dans les jets galactiques



- Observé sur des jets
- Ne correspond pas à un déplacement réel...
- ... pouvant transporter de l'information

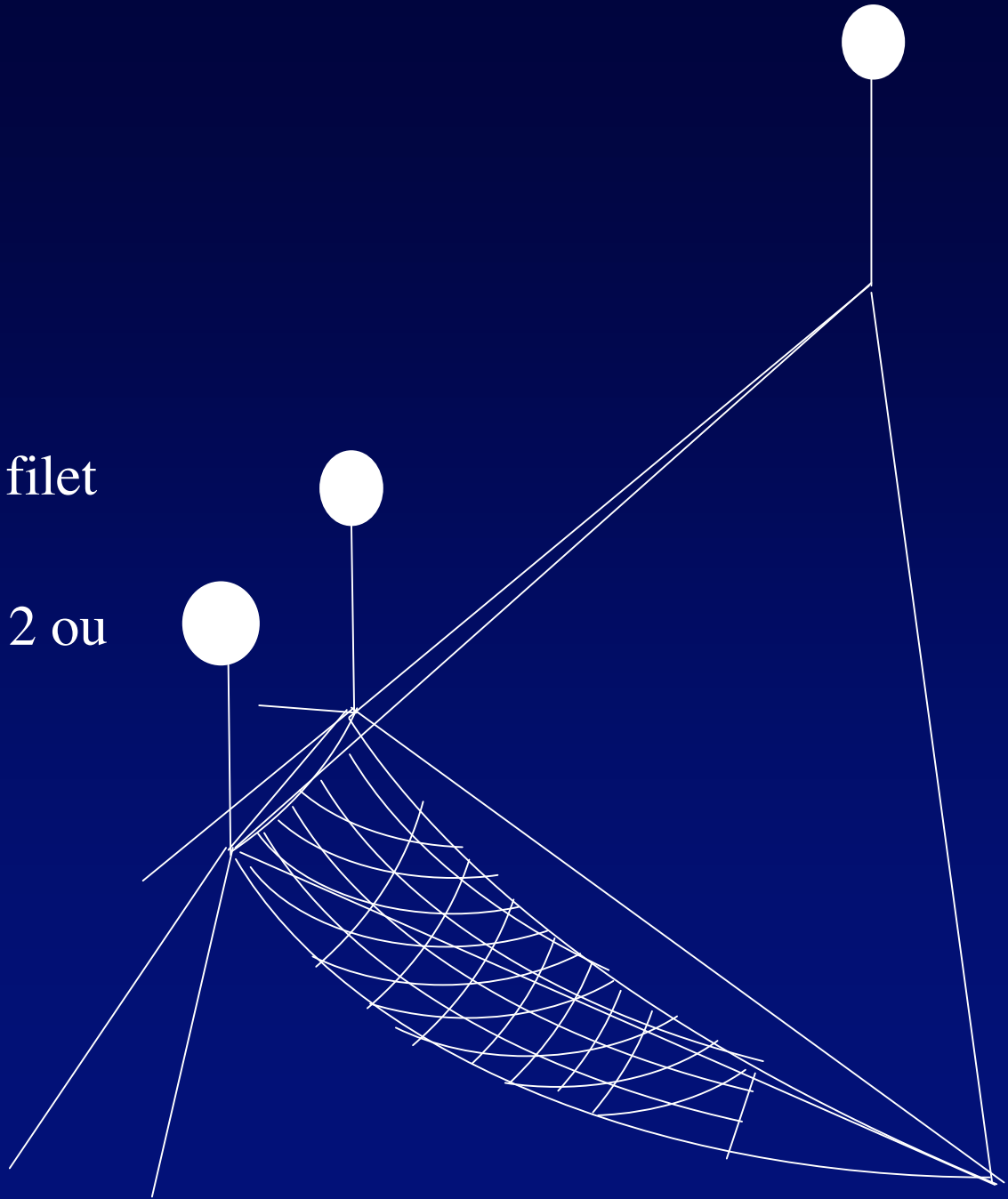
Imager des quasars brillants avec Carlina 2 ?

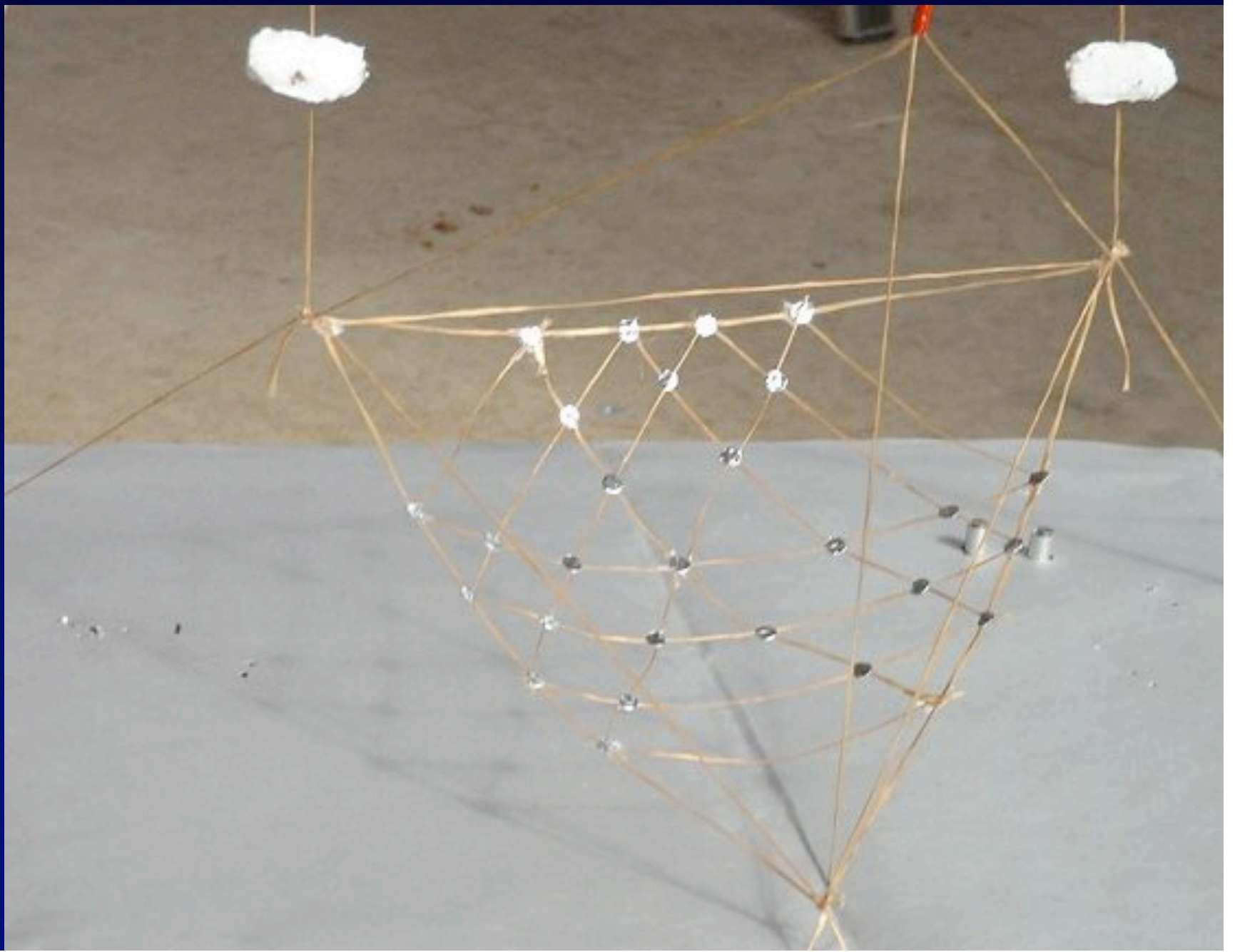
- Exemple: 3 C 273, magnitude 13
- « speckle interferometry » et reconstruction par triple correlation ?

Hypertélescope dans l'Antarctique ?

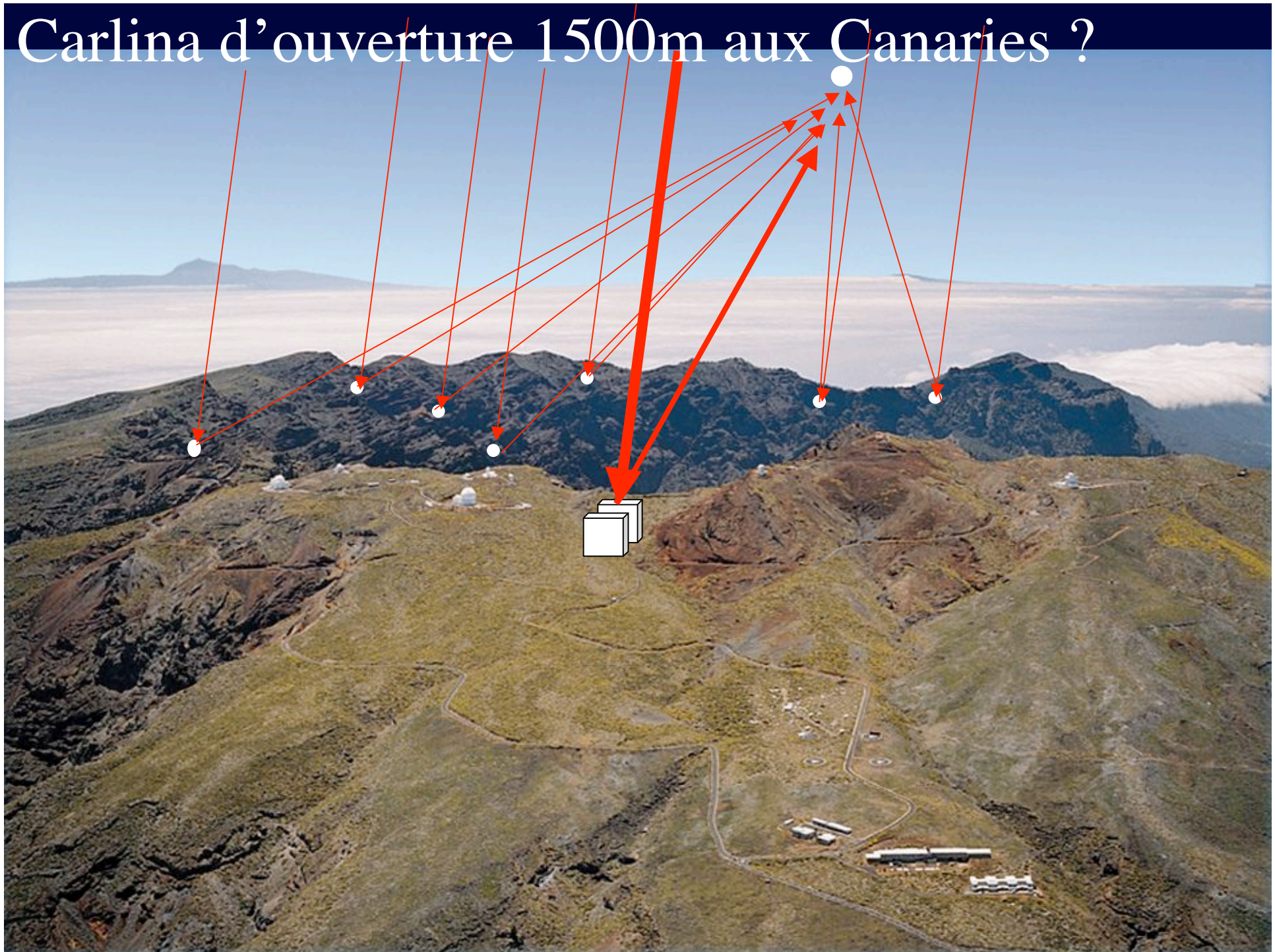
Hypertélescope au Dôme C (Antarctique)

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





Carlina d'ouverture 1500m aux Canaries ?



Etude « KEOPS » (Vakili et al. 2004)

- Télescopes fixes
- Tunnels pour les faisceaux coudés
- Lignes à retard
- Imagerie directe par combinaison à faisceaux densifiés

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



Projet KEOPS (Vakili et al. 2004)

Proposition d'un « Extremely Large Synthesis Array » (ELSA, Quirrenbach et al.)

- 27 telescopes de 10 m
- Disposition en Y sur 10 km
- Combinaison par fibres ?
- Prix 400 M€

« Extremely Large Telescopes » et hypertélescopes Quelle complémentarité ?

- Diamètre des ELTs limité à 100 m (OWL de l'ESO)
- Optique adaptative par étoile laser ?

ESO: Over Whelmingly Large telescope (OWL)

- Diamètre 100 m, surface 7 000 m²
- Magnitude 35 à 38, avec optique adaptative
- Étude en cours



Imagerie hypertélescope transitoire pour OWL ?

- 5 ans pour remplir de miroirs l'ouverture de 100m
- L'ESO nous le demande:
 - étudier l'imagerie hypertélescope pendant le remplissage
 - Quelle disposition optimale des miroirs pendant le remplissage ?
 - Comment mettre en cohérence ? « speckles dispersés »?
 - Quelle science ?

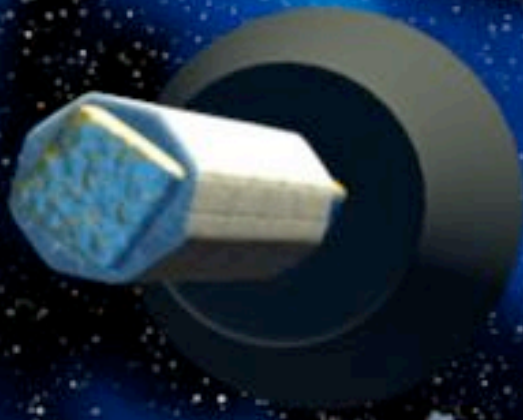
Interféromètres dans l'espace

- NASA:
 - révision en cours de « Space Interferometry Mission »
 - « Terrestrial Planet Finder » découpé en étapes TPF-C puis TPF-I
 - Étude « Stellar Imager », analogue à « Exo-Earth Discoverer »
- ESA:
 - Étude DARWIN ...
 - Pas de coronographe ?

Exo-Earth Discoverer:

a hypertelescope version proposed for DARWIN/TPF

100 -1000m flotilla of 37 mirrors, 0.8m size



artist concept by Boeing /SVS

« Exo-Earth Discoverer »: un Carlina kilométrique dans l'espace (Labeyrie 1998)

- Proposé à la NASA comme version alternative de « Terrestrial Planet Finder »
- Inclus dans l'étude industrielle NASA de TPF par SVS/Boeing (1998)
- Maintenant repris par NASA/Goddard sous le nom de « Stellar Imager »

Exo-Earth Imager

(Labeyrie, 1999)

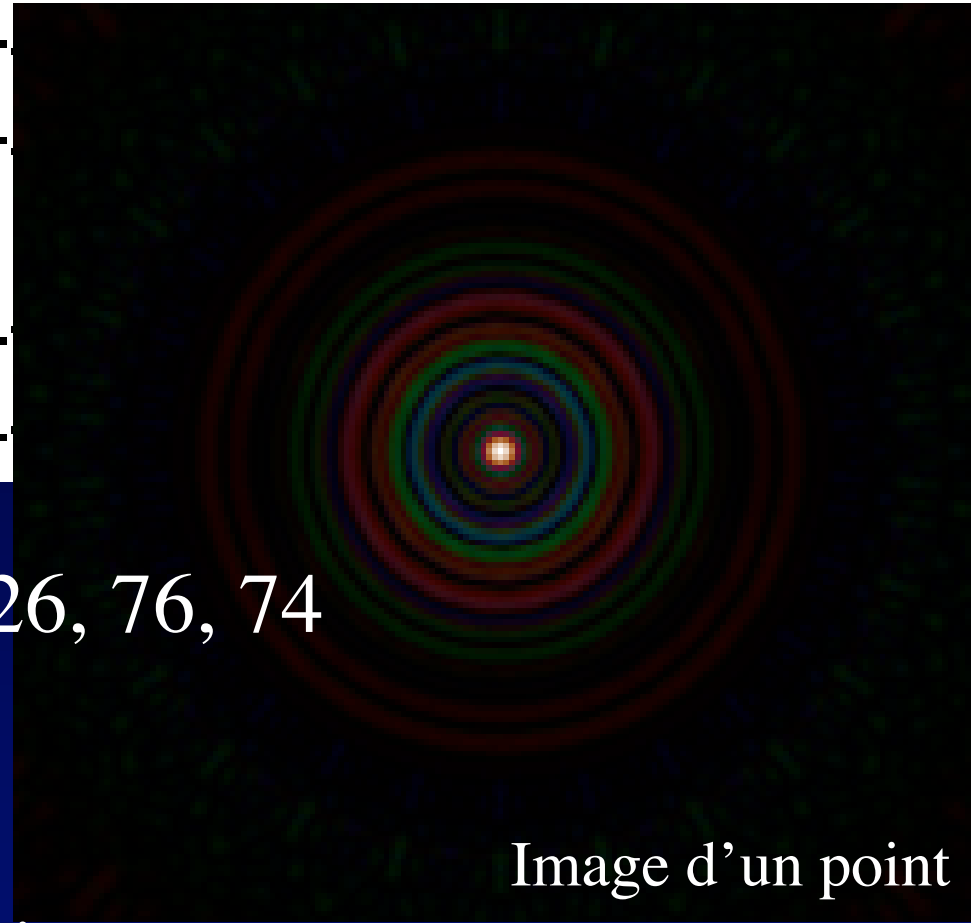
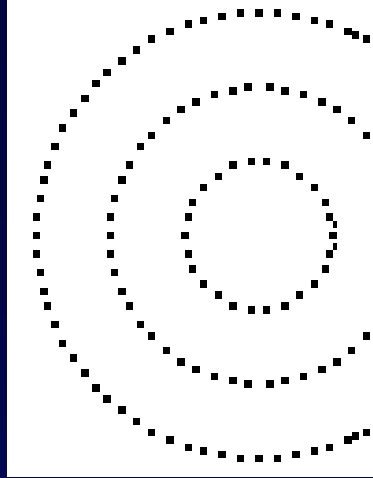
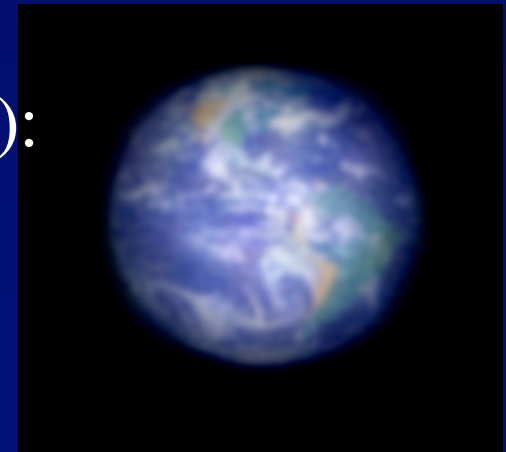


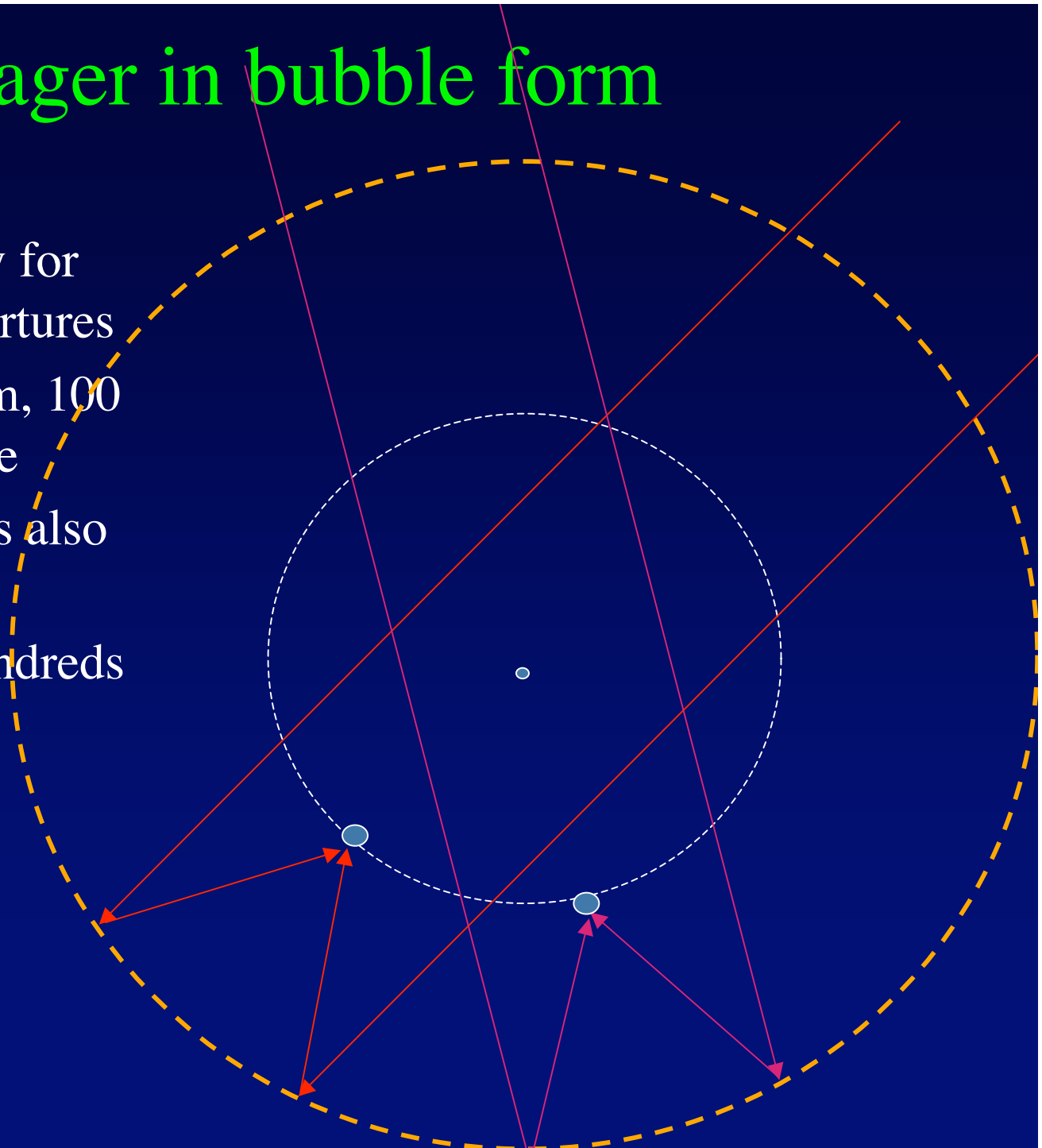
Image d'un point

- Exemple: 3 anneaux de 26, 76, 74 ouvertures
- Non redondant
- Coronographes pré-combinez
- Simulation d'une pose courte (30 mn):
 - Exo-Terre à 10 années-lumière
 - diamètre d'ouverture 150 km
 - Sous-ouvertures de 3m



Exo-Earth Imager in bubble form

- 400 km bubble array for 100km effective apertures
- 10,000 mirrors of 3m, 100 per effective aperture
- 1-km diluted flotillas also as focal correctors
- Static observing, hundreds of exo-Earths simultaneously



Structure sphérique ou parabolique ?

- Si la structure est globalement pointable...
- ... la forme parabolique:
 - Simplifiée: pas de correcteur
 - raccourcit le foyer: $F/1$ ou $F/0,5$
- .

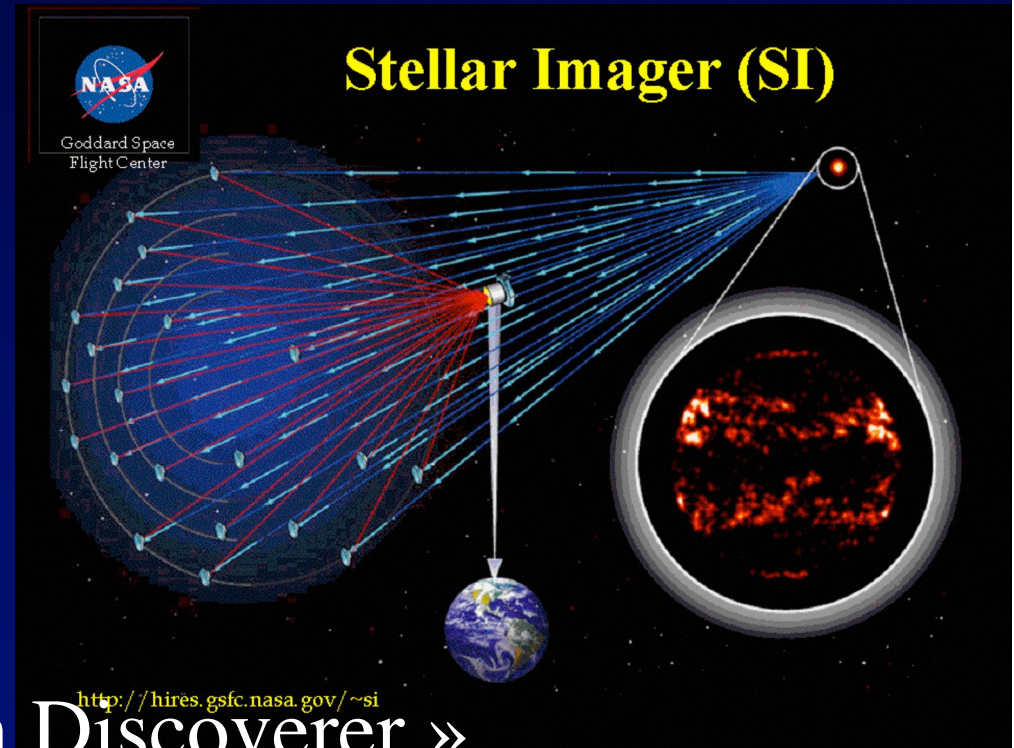
Carlina dans l'espace: NASA/Goddard s'y met

- Proposé par Carpenter et Lyon (2004)
- pour faire des images directes de surface stellaire

The *Stellar Imager (SI)*: An Ultra-High Angular Resolution UV/Optical Observatory

(Carpenter et al. 2004)

<http://hires.gsfc.nasa.gov/~si/>

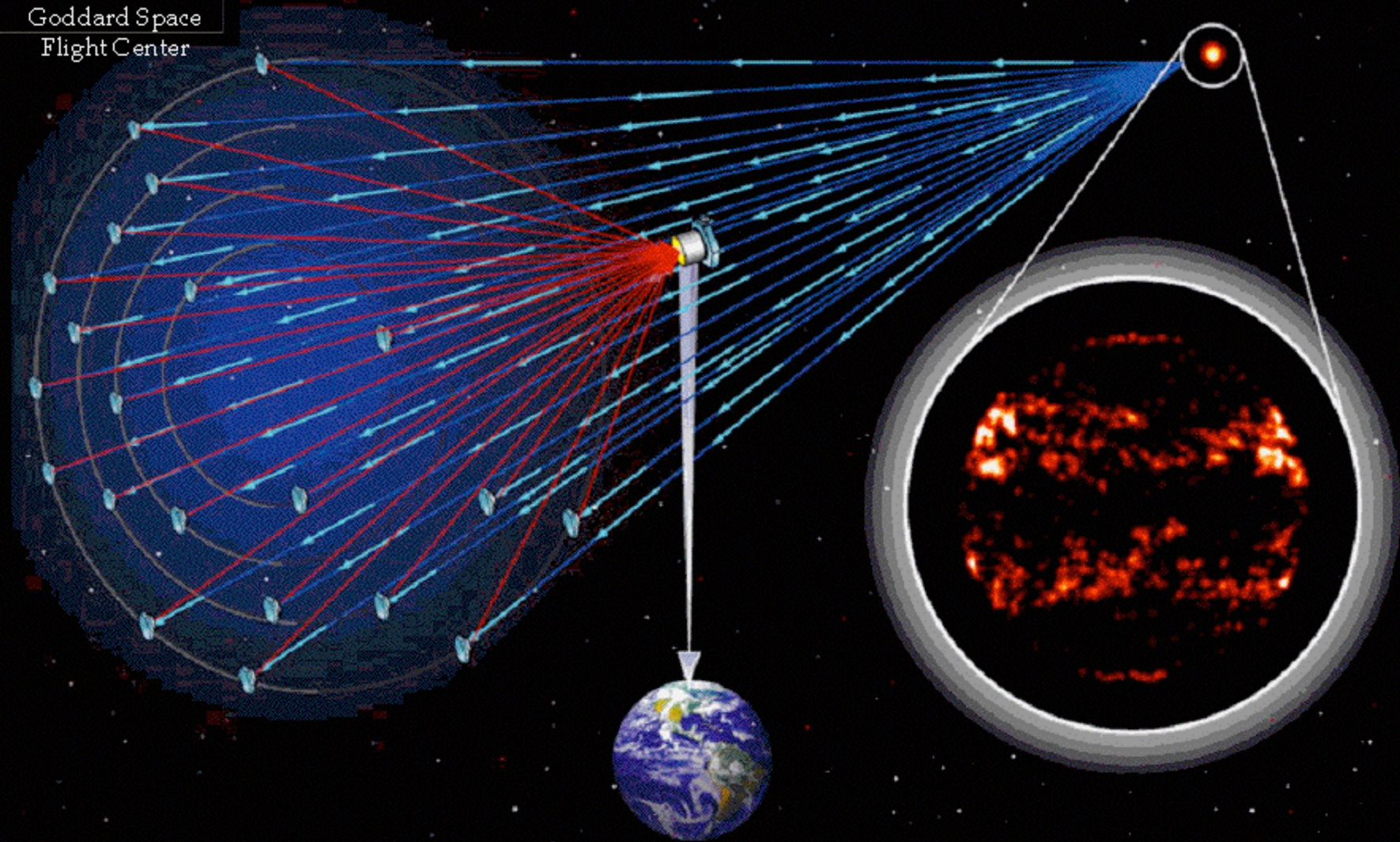


- Analogue à « Exo-Earth Discoverer »
- primaire sphérique, formule optique non précisée
- Densification de pupille « envisagée »



Goddard Space
Flight Center

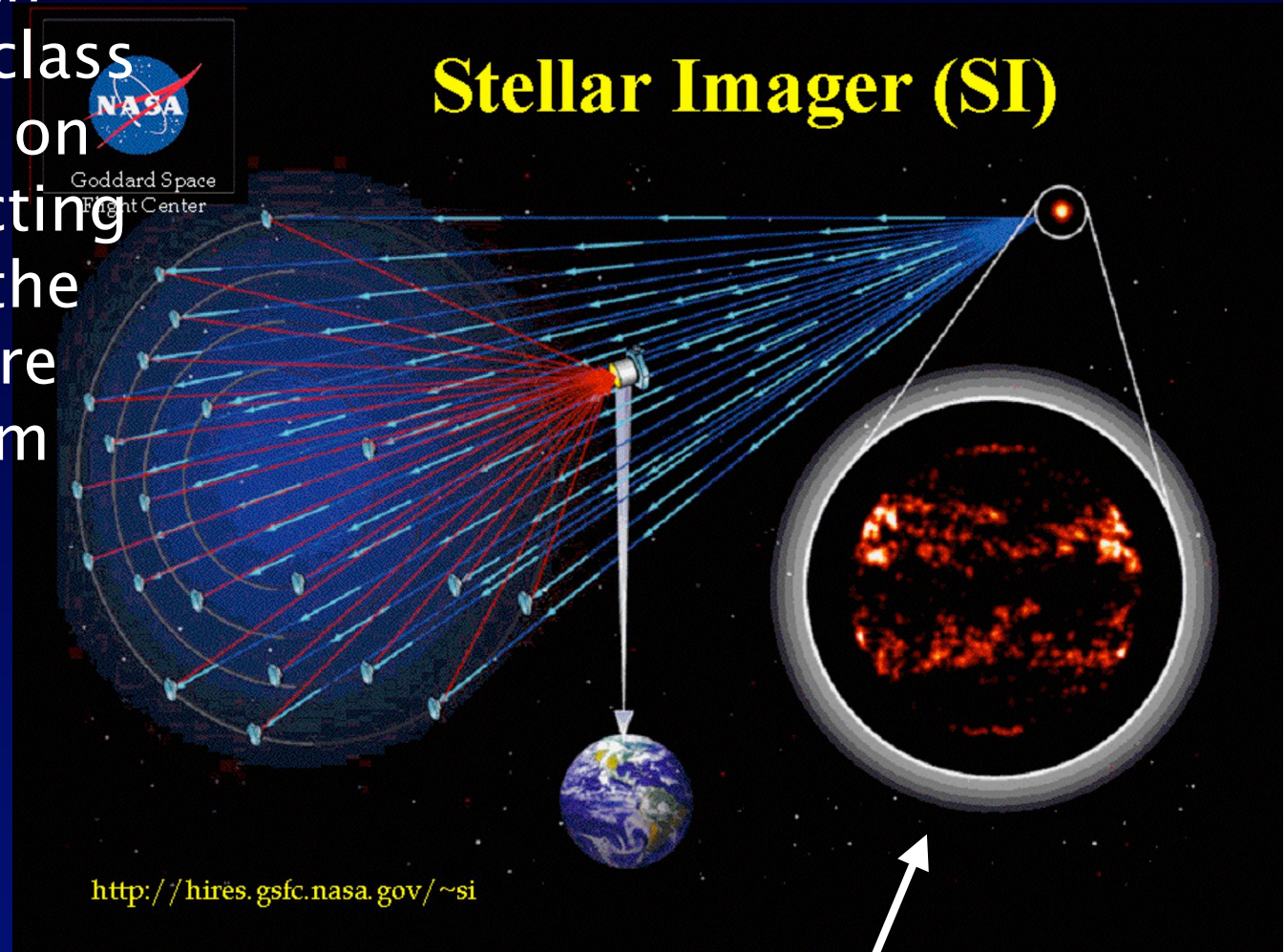
Stellar Imager (SI)



<http://hires.gsfc.nasa.gov/~si>

Carpenter et al. 2004

Fizeau design with
>20 one-meter-class
spherical mirrors on
"mirrorsats" directing
light to a hub at the
prime focus, where
image-plane beam
combination is
performed.



simulated
interferometric image in
the light of CIV (1550 A)
of a sun-like star at 4pc

Simulations d'imagerie stellaire avec SI

rotations(step size): 0 (0)

24 (15deg)

elements

6

in

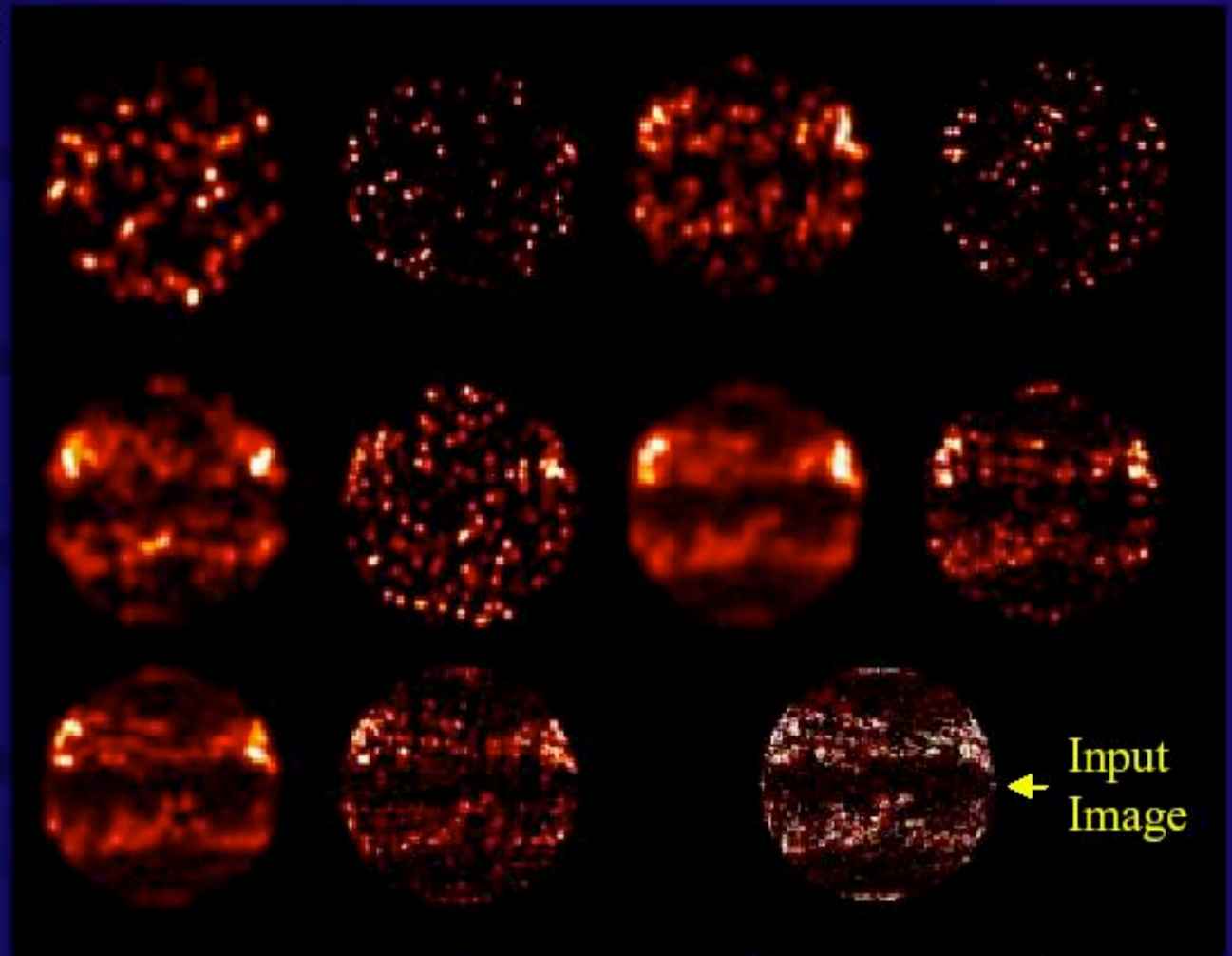
12

d

ed

30

ne



Input Image

Baselines: 250 m

500 m

250 m

500 m

“Snapshots” (no rotations)

(24 array rotations)

Conclusions

- La possibilité d'imagerie directe à haute résolution commence à être prise en compte
- Résultats espérés en deux ans avec Carlina
- possibilités immenses dans l'espace
- Et en attendant peut-être dans l'Antarctique, etc..