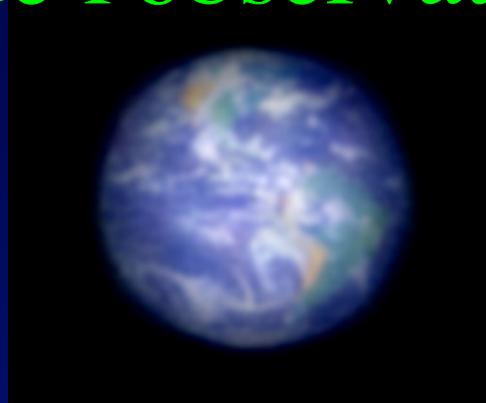


Collège de France

Chaire d'Astrophysique Observationnelle

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



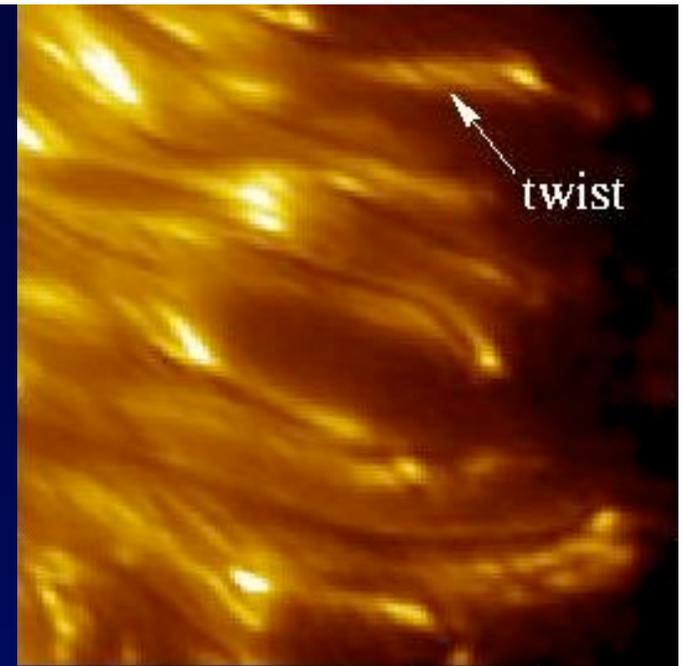
- Six cours à Paris les mercredis du 6 Avril au 26 Mai
- Trois à Nice le 16 Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers .pdf des projections seront affichés

Programme

voir : www.college-de-france.fr/

- 6 Avril :
 - Étapes en cours pour les hypertélescopes: Carlina 2 à Calern
 - Séminaire: **François Bouchy**, OAMP
- 13 Avril:
 - Hypertélescope transitoire pour OWL
 - Séminaire: **Philippe Stée**, Observatoire de la Côte d'Azur "Des mesures interférométriques du VLTI aux futurs réseaux imageurs au sol et dans l'espace"
- 11 Mai : Un hypertélescope pour observer le Soleil ?
- 16 Mai à Nice : Exo-Terres: progrès de la coronographie
 - Séminaires de J.P.Huignard, B.Berge, A.Greenaway
- 18 Mai: Précurseur spatial pour hypertélescope
 - Séminaire: B. Lopez Interférométrie dans l'Antarctique (à confirmer)
- 25 Mai:
 - Cours:
 - Séminaire:
- 1er Juin:

Aujourd'hui : Un hypertélescope pour observer le Soleil ?



Séminaire à 18h: Luc Arnold , Observatoire de Haute Provence

« Les transits d'exo-planètes et la recherche
d'intelligence extra-terrestre (SETI) »

Jet d'étoile Herbig Haro

HH 111

1994.9 UT

Green: $H\alpha$

Red: [S II]

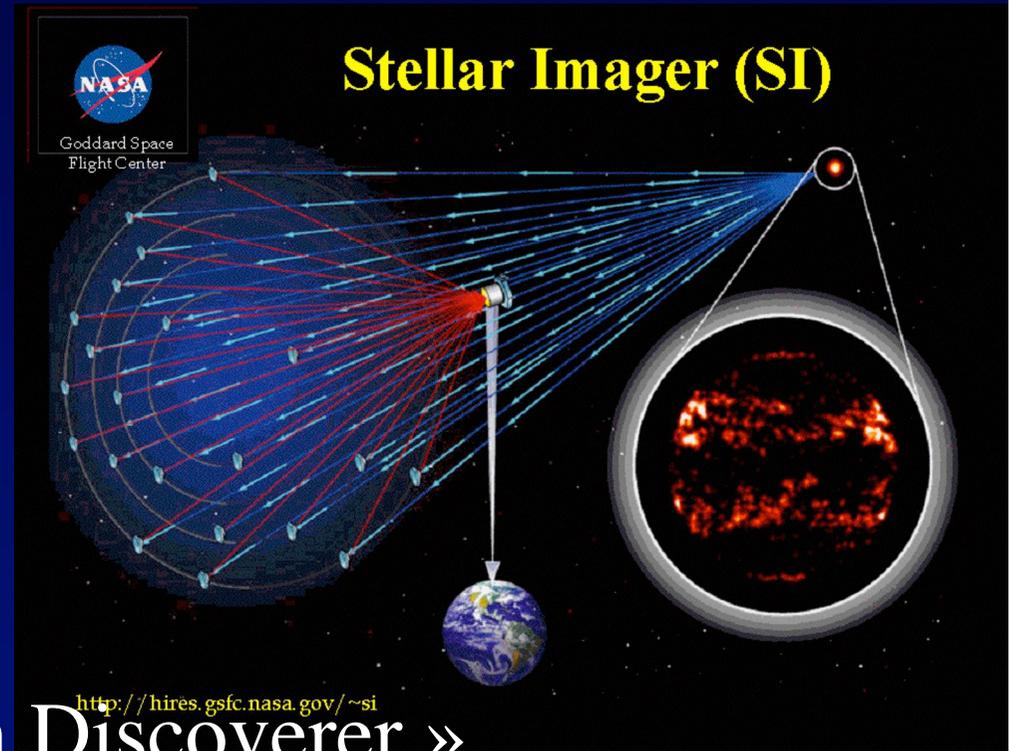


1000 AU

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

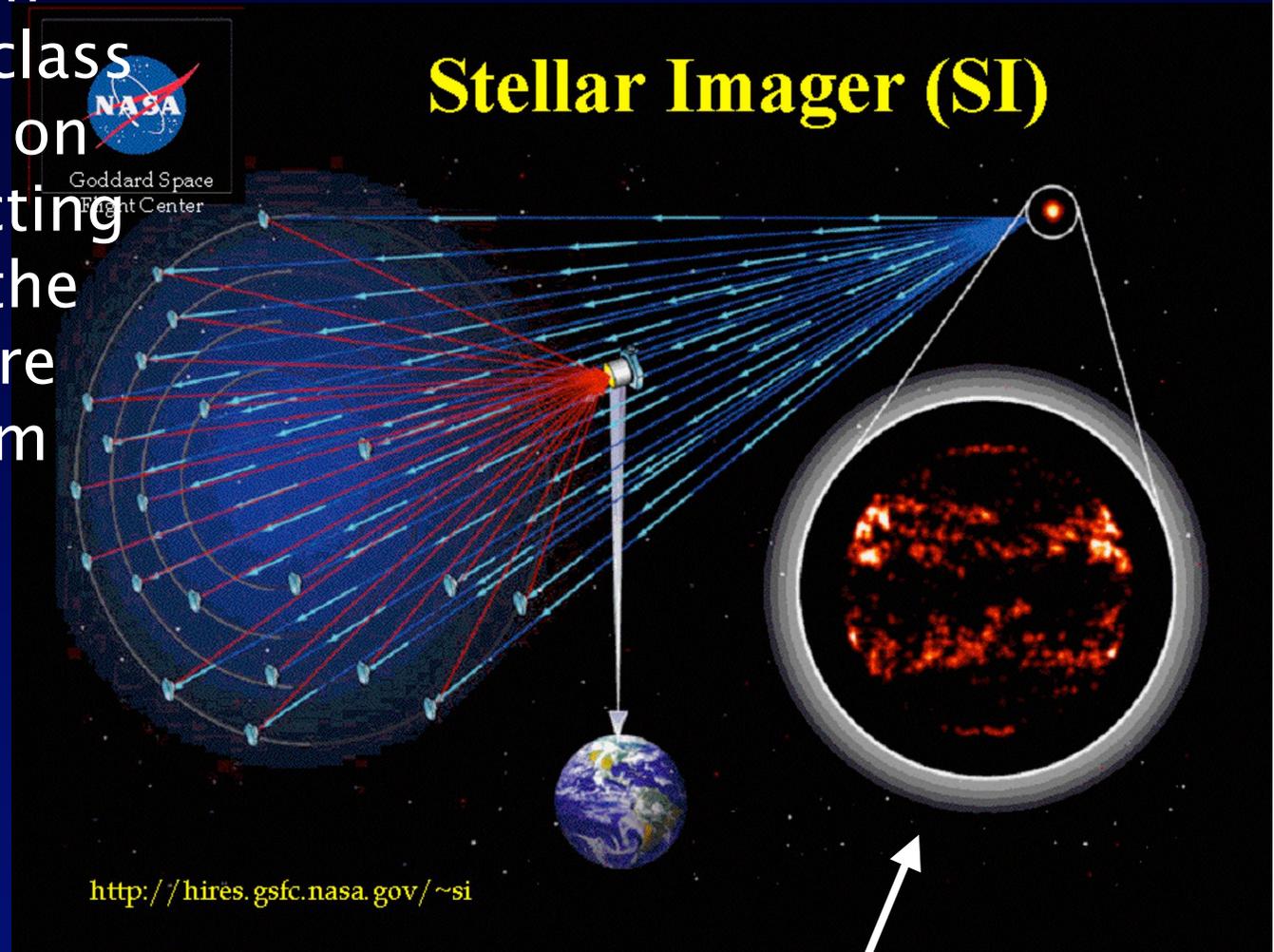
(Carpenter et al. 2004)

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



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

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.

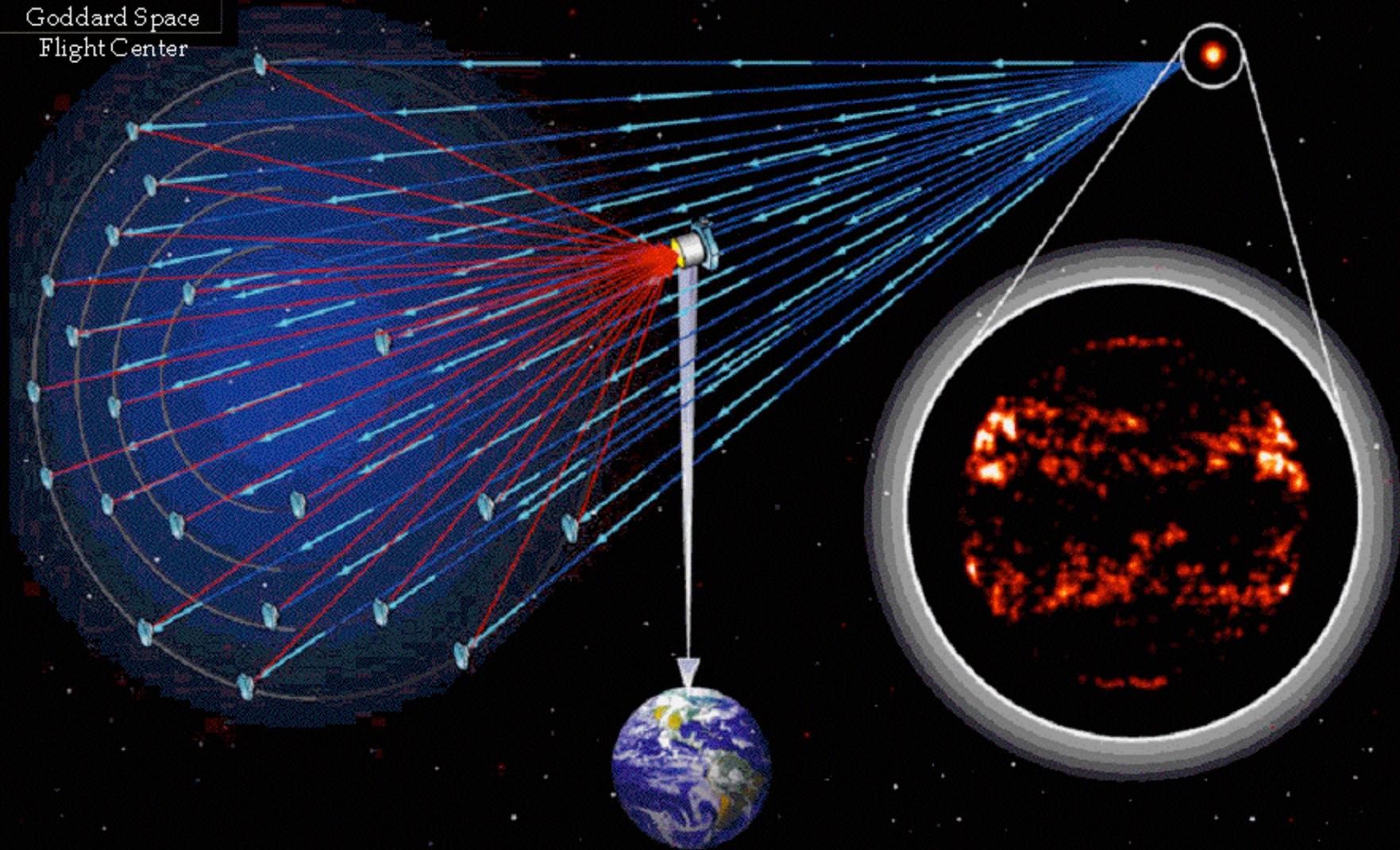


simulated
interferometric image in
the light of CIV (1550 A)
of a sun-like star at 4pc



Goddard Space
Flight Center

Stellar Imager (SI)



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

Carpenter et al. 2004

Simulations d'imagerie stellaire avec SI

rotations(step size): 0 (0)

24 (15deg)

elements

6

in

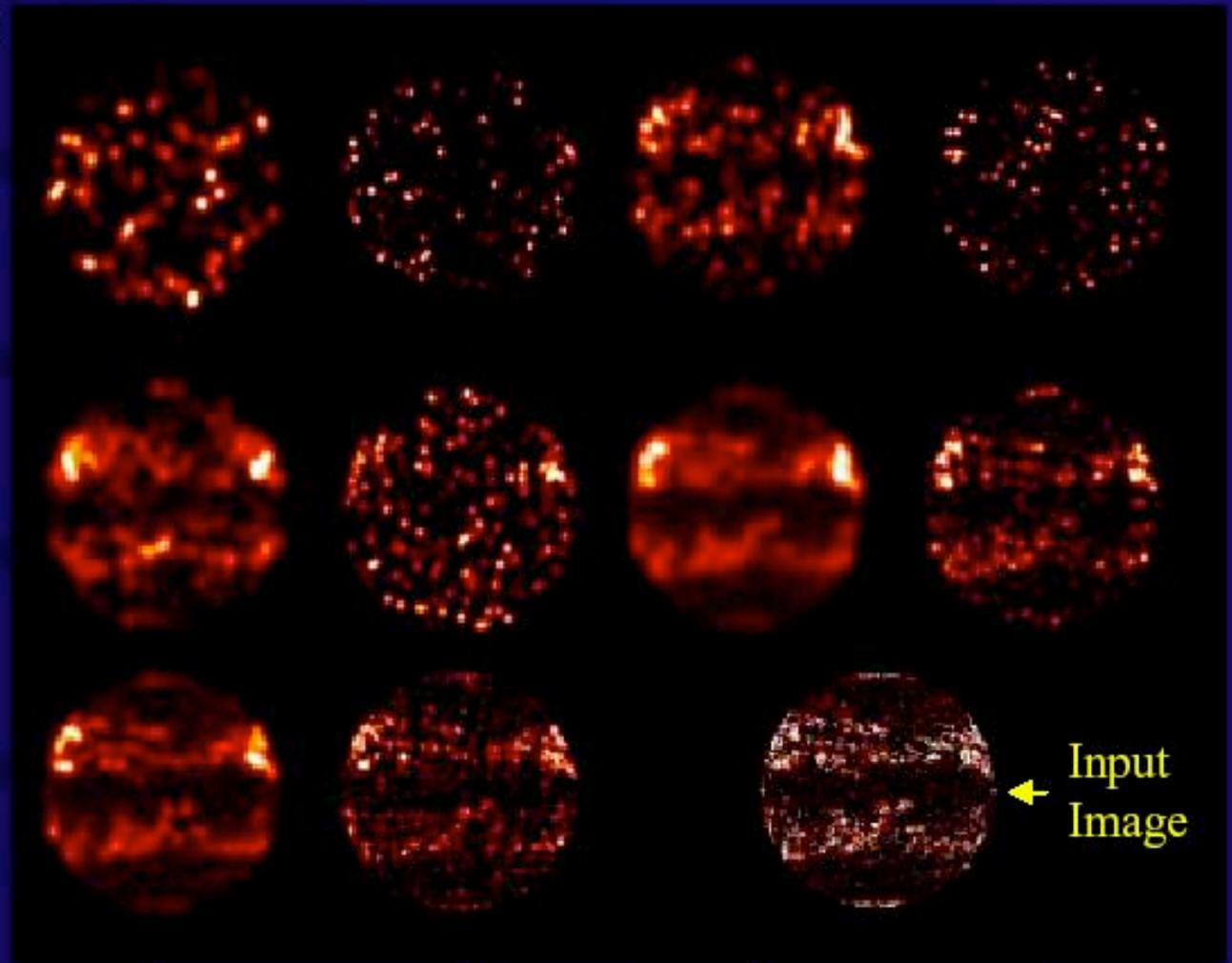
12

d

ed

30

ne



Input Image

Baselines: 250 m

500 m

250 m

500 m

“Snapshots” (no rotations)

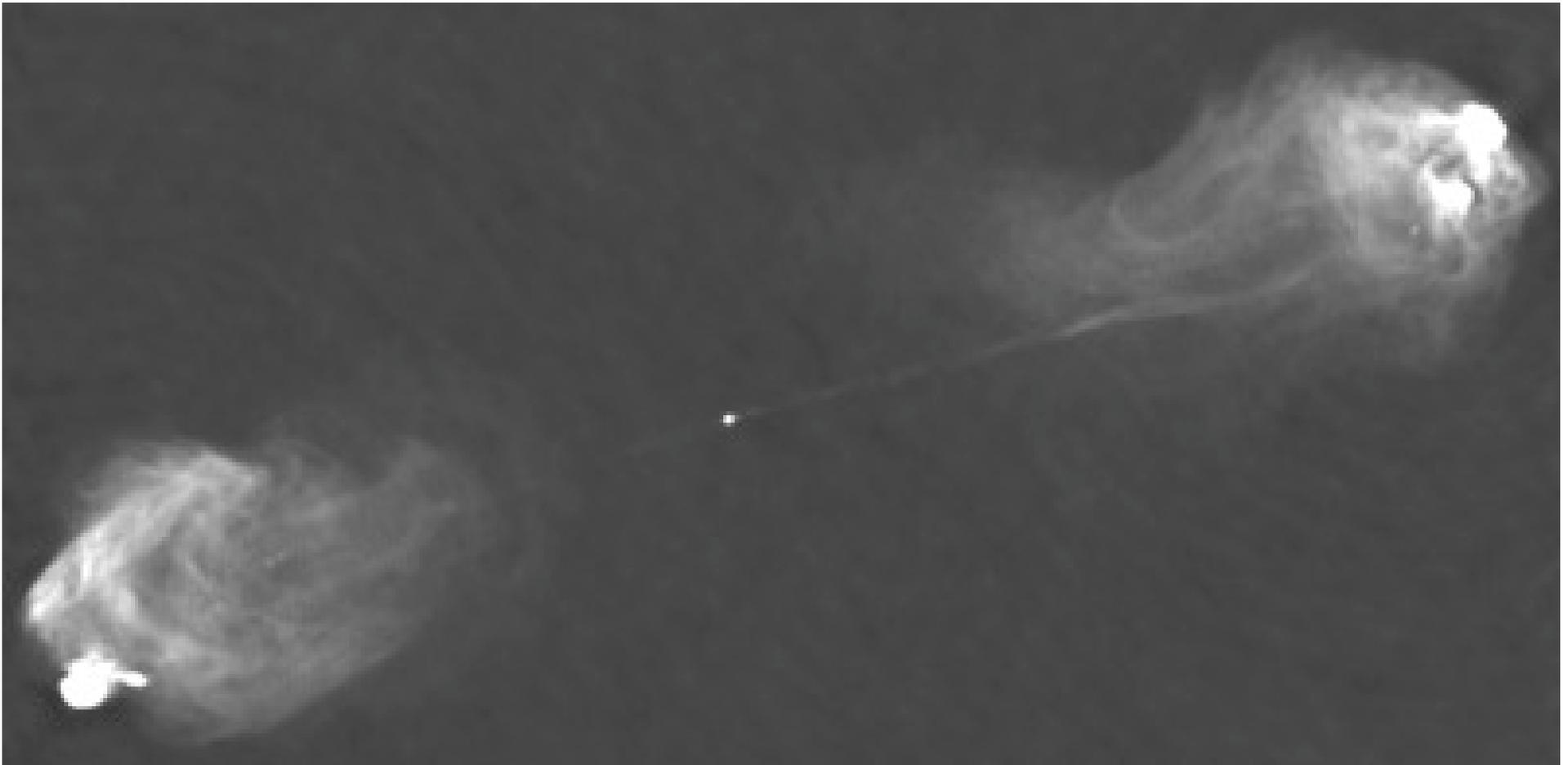
(24 array rotations)

Very Large Array

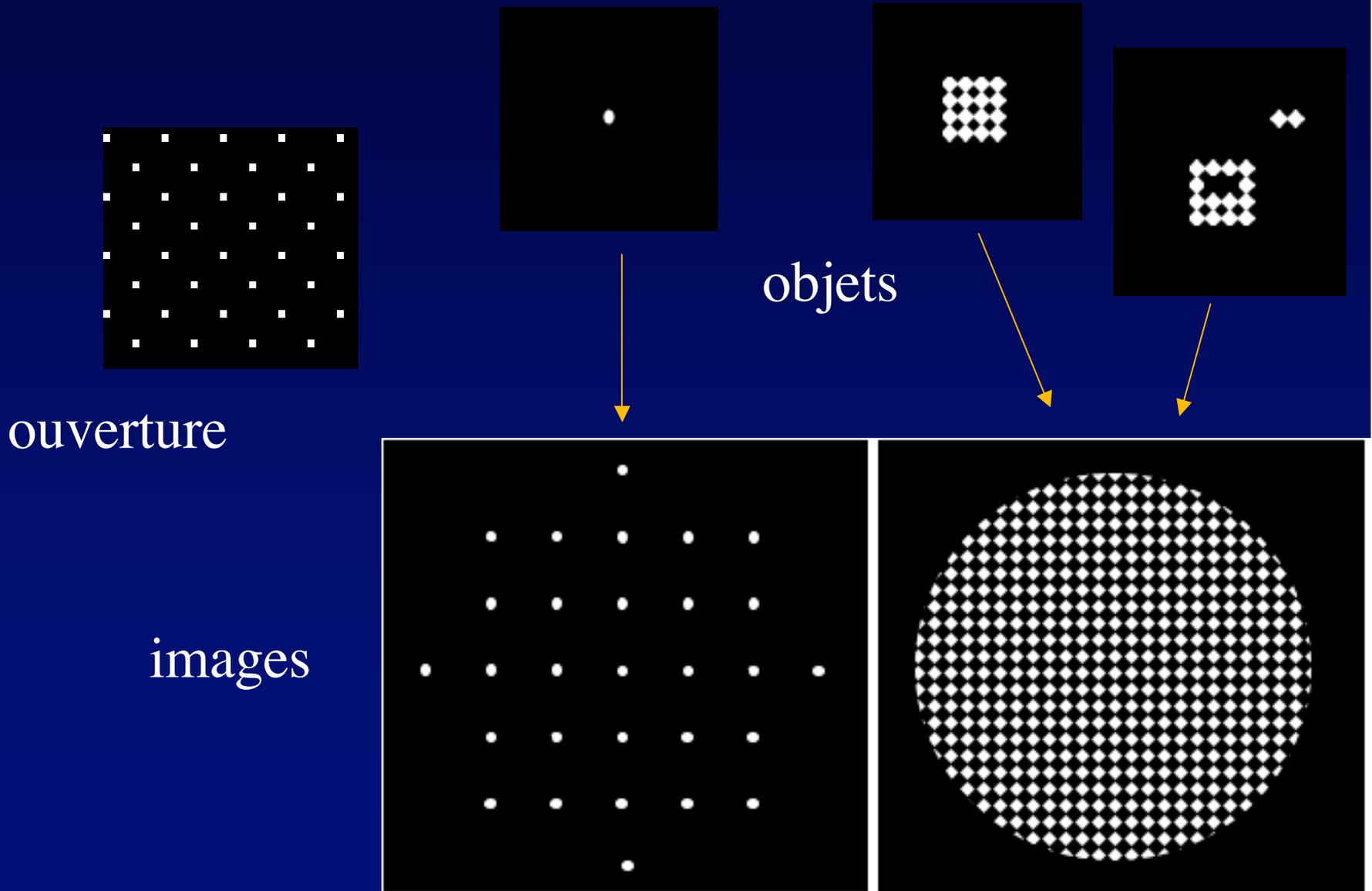


Cygnus A vu en radio avec le Very Large Array

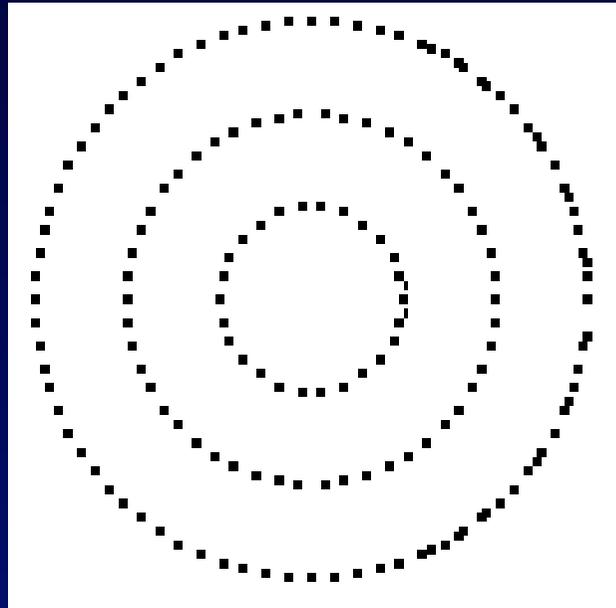
- 27 antennes, disposées en Y



« Image crowding » avec un imageur Fizeau ou hypertélescope



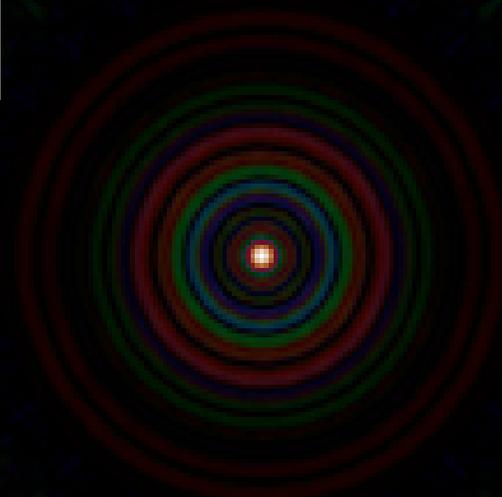
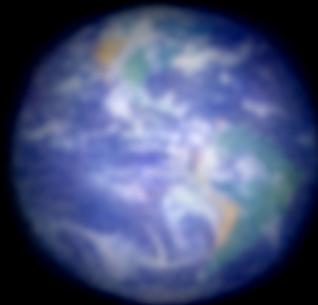
Exemple d'ouverture riche



Anneaux de 26,76
& 74 ouvertures

Fonction d'étalement
Contraste atténué: gamma 0,5

- Pas de « crowding »
avec objet de 20x20
resel



Planètes vivantes ?

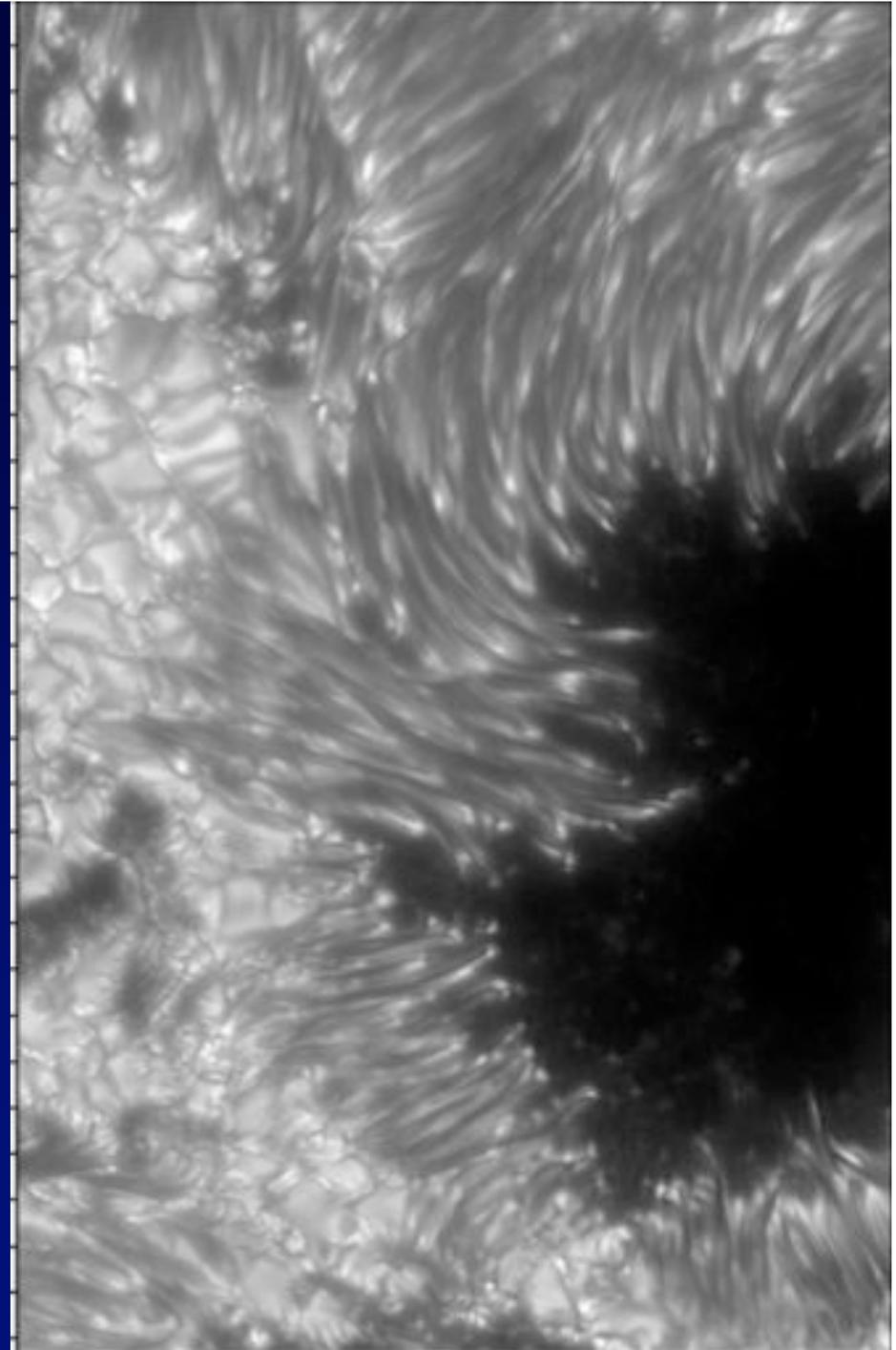


Le Soleil est-il observable en haute résolution ?

- Record actuel : $0''.16$ avec télescope de 90 cm
- .

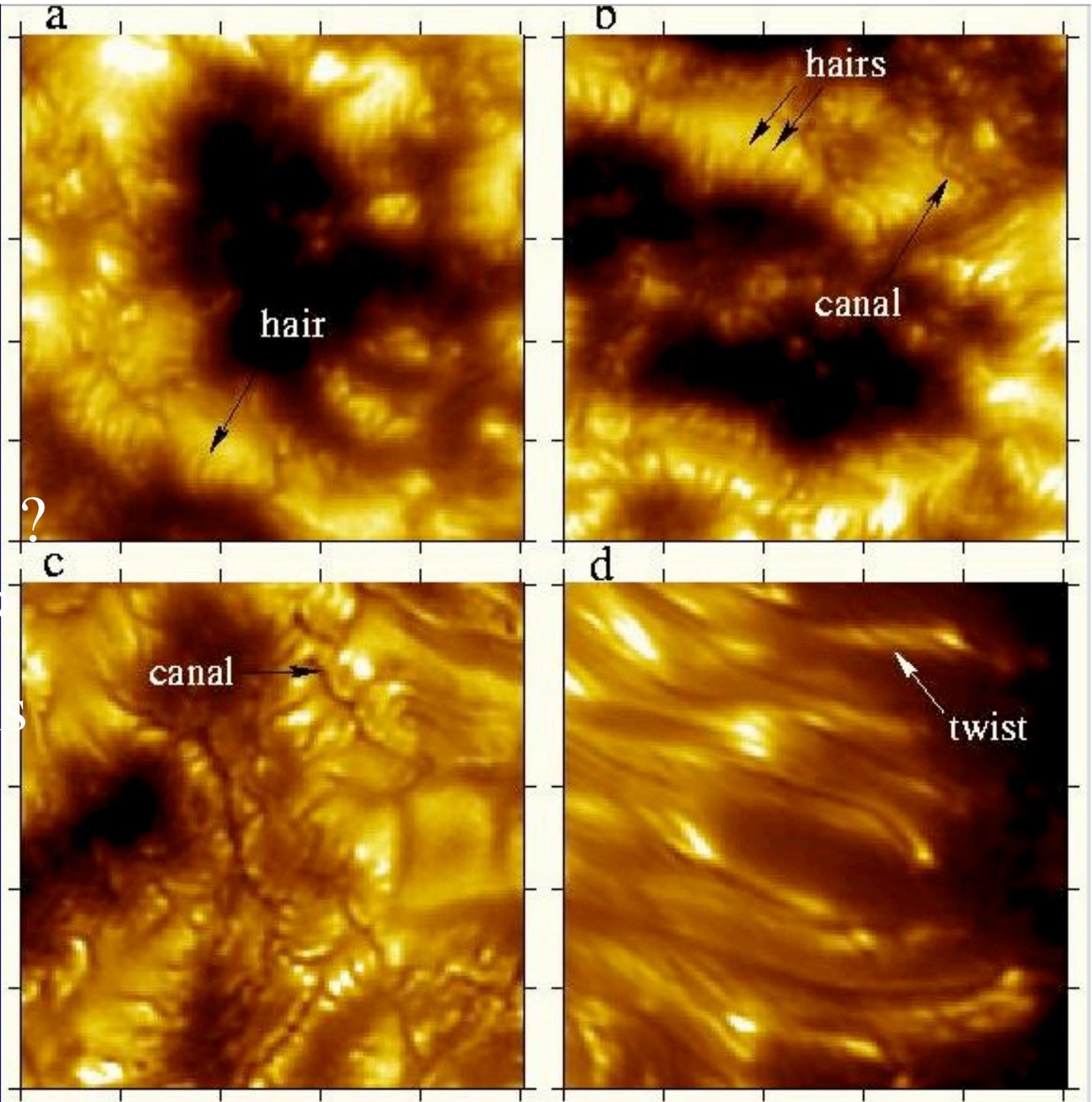
Filaments des taches solaires

- « serpents à dos noir et tête brillante »
- Télescope suédois de 1 m
- Avec optique adaptative à 15 actuateurs
- & sélection d'images
- Résolution $0.16''$



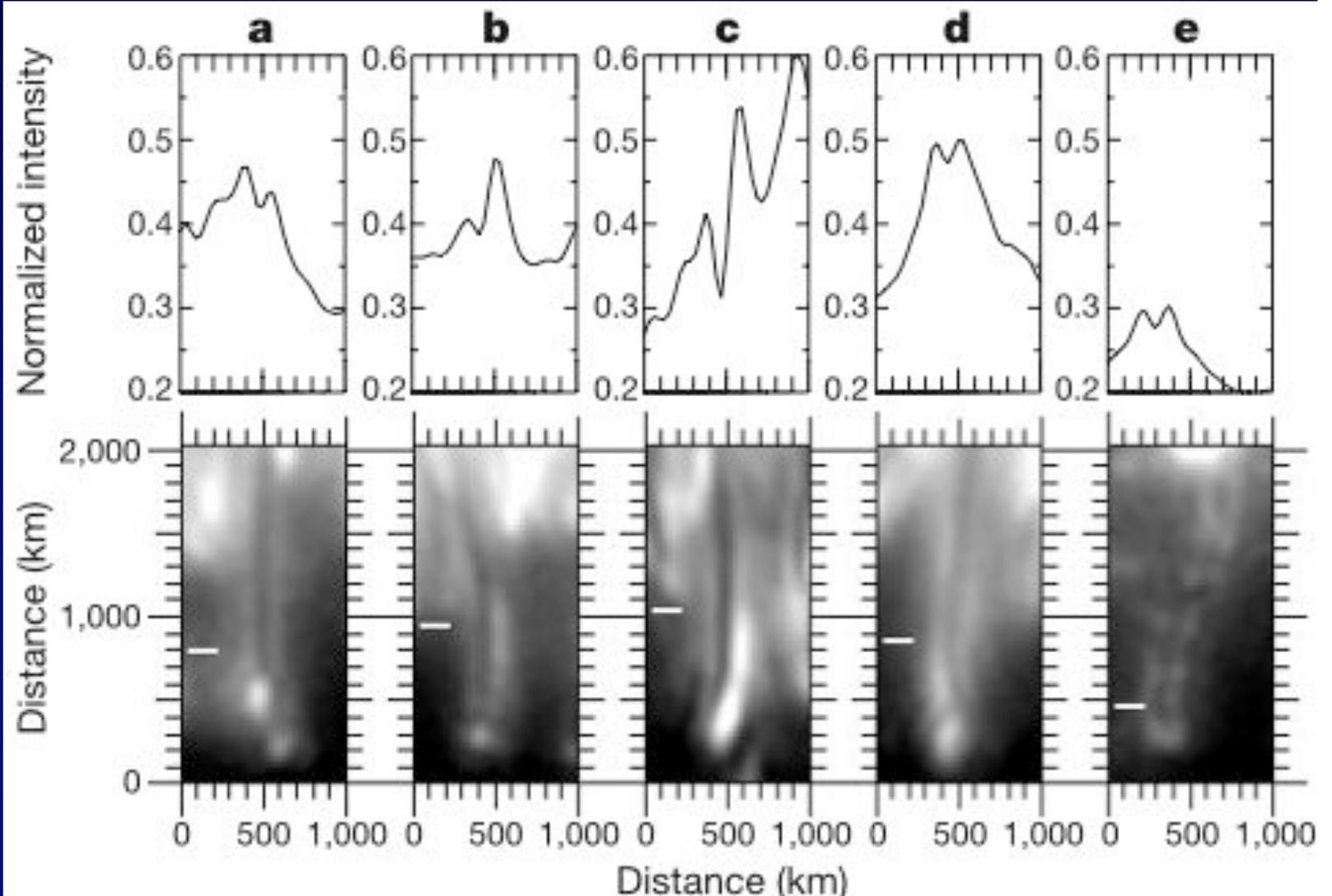
détails

- Tubes de champ magnétique ?
- Lumineux ?
- Mal compris



« Serpents à dos noir et tête brillante » »

- Croissance des filaments
- Améliorer la résolution



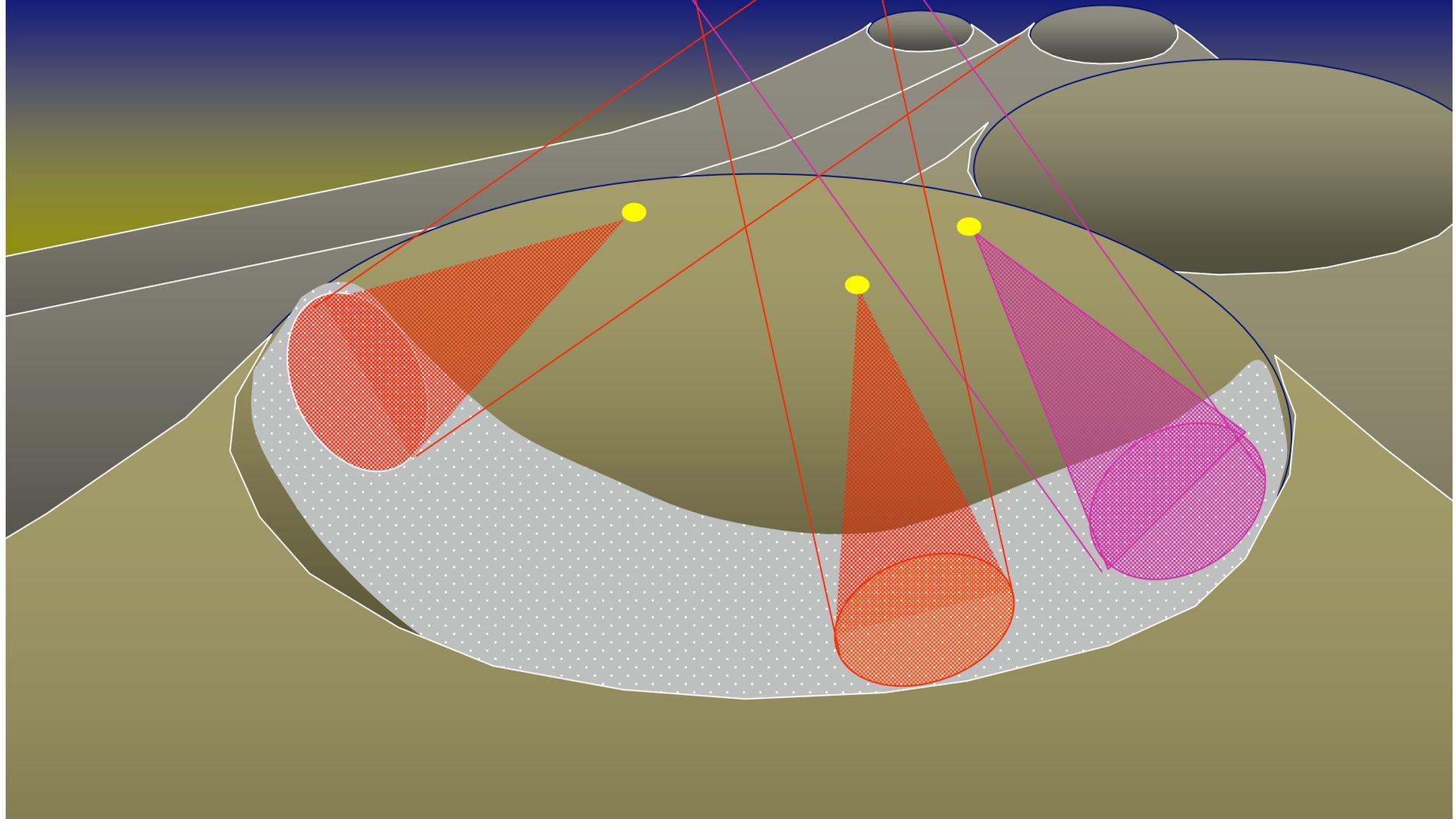
Vermisseaux ou serpents ?

- Les avis sont partagés...
- Mais c'est inquiétant, s'ils « bouffent la laine sur le dos » du Soleil
- Il faut améliorer la résolution pour en avoir le cœur net !
- .

hypertelescope CARLINA kilométrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

Imagerie mag. 38, cosmologie



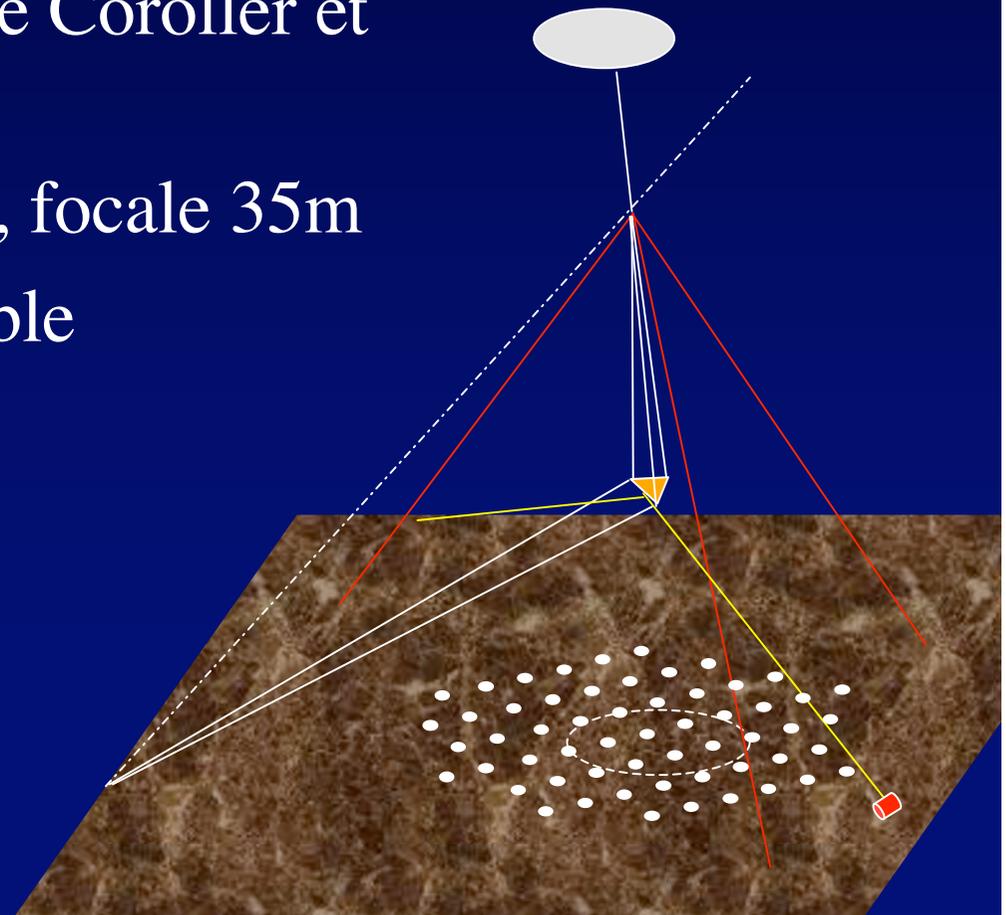
Recycler Carlina 1 pour l'observation solaire ?

- Prochainement disponible, avec la construction de Carlina 2 à Calern
- Une ou plusieurs dizaines de petites ouvertures, disposées sur 18m
- Intéressant pour le Soleil
 - Résolution passerait de $0''2$ à $0''005$
 - Sans optique adaptative, en « speckle interferometry »
 - Ou avec optique adaptative

- .

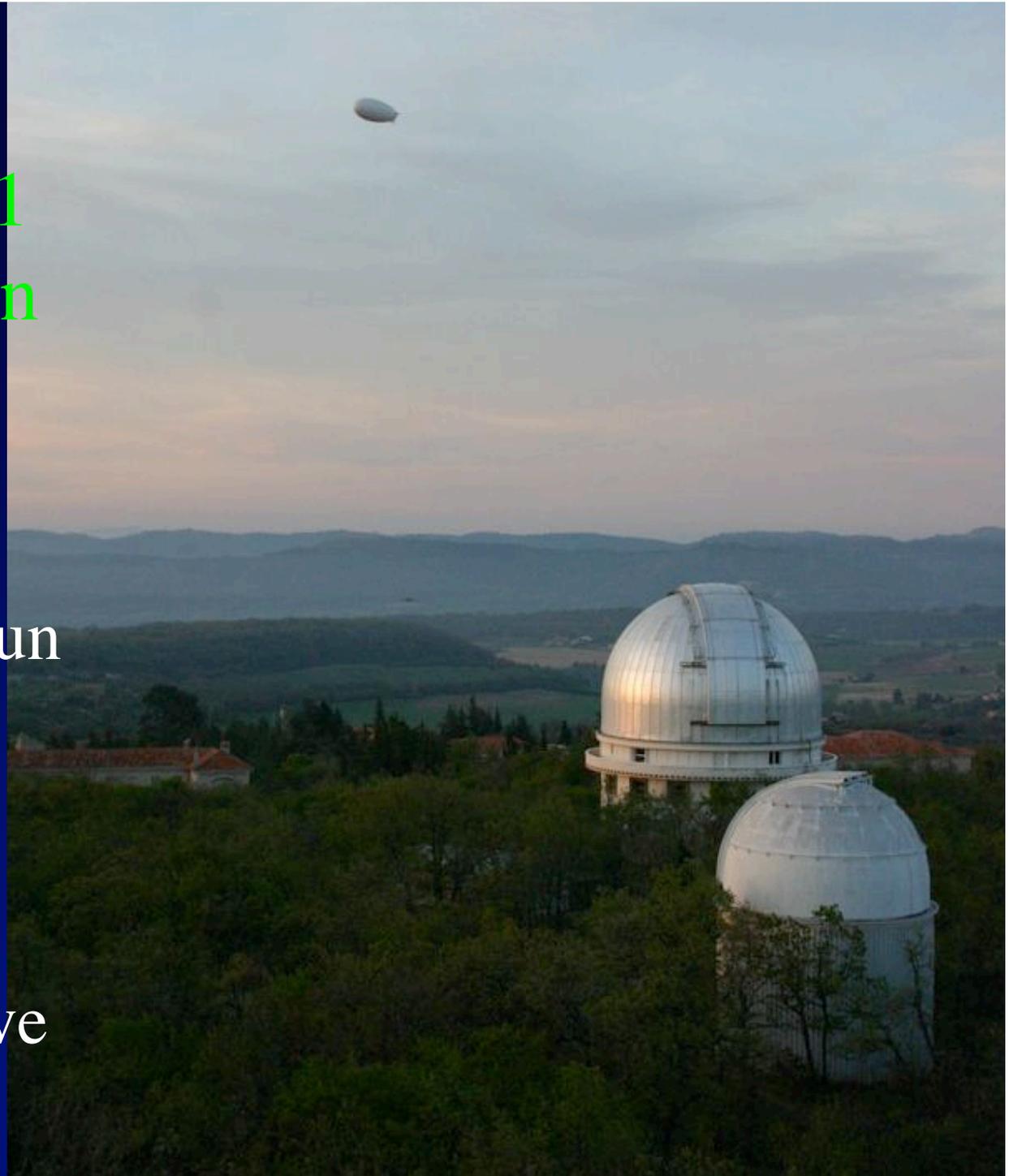
Prototype Carlina 1 à l'Observatoire de Haute Provence

- Étudié et construit en 2 ans par H. Le Coroller et J. Dejonghe (Le Coroller et al., A&A 2004)
- Ouverture diluée de 17,5 m, focale 35m
- Déménageable et extrapolable



Equiper Carlina 1 pour l'observation solaire ?

- Déménager vers un bon site solaire (Canaries)
- ouverture 18 m
- Optique adaptative



Equiper Carlina 1 pour l'observation solaire ?

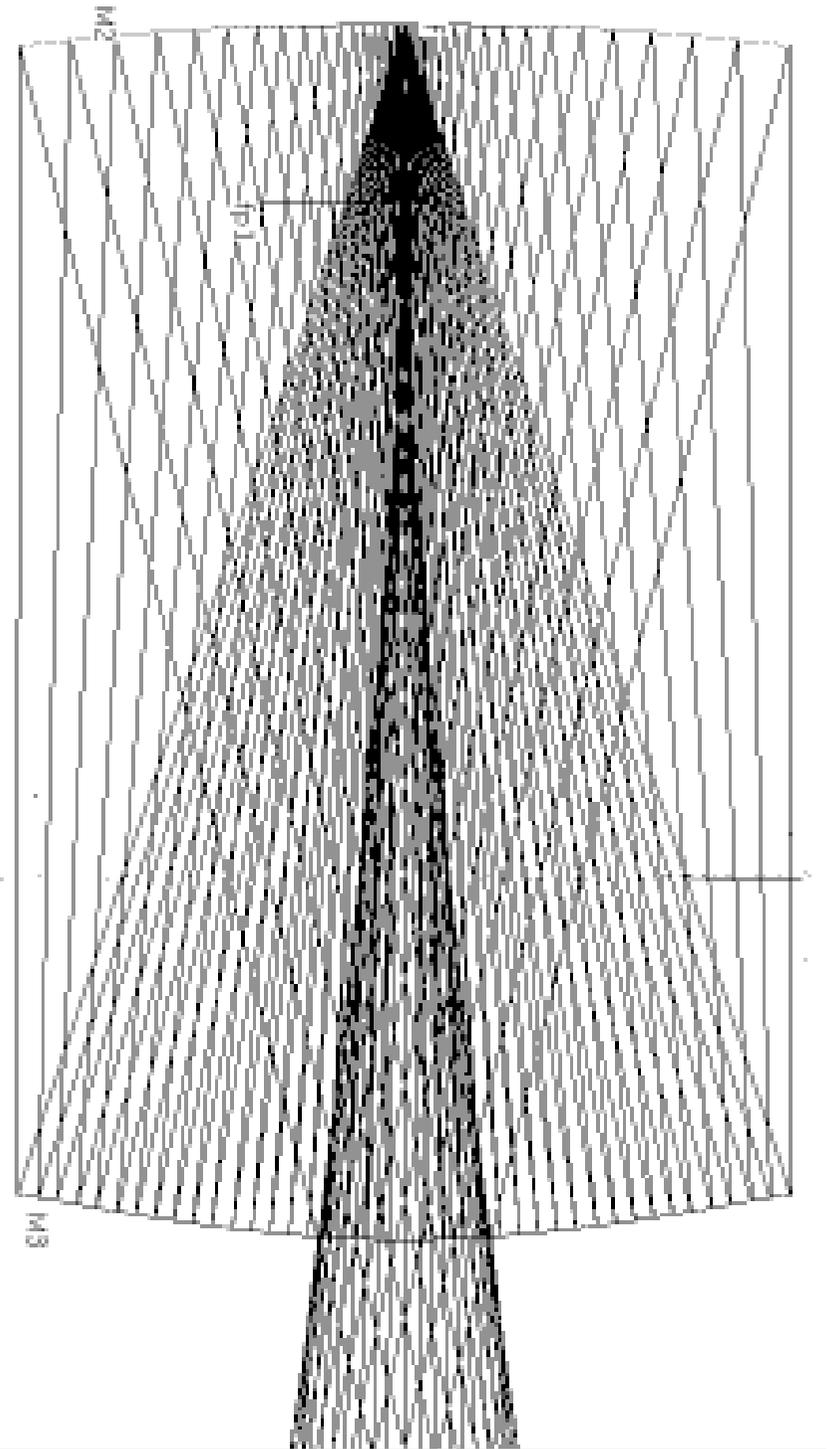


- 10 à 100 ouvertures pour images riches
- « Snap-shots » (instantanés) de structures à courte vie (1 h)

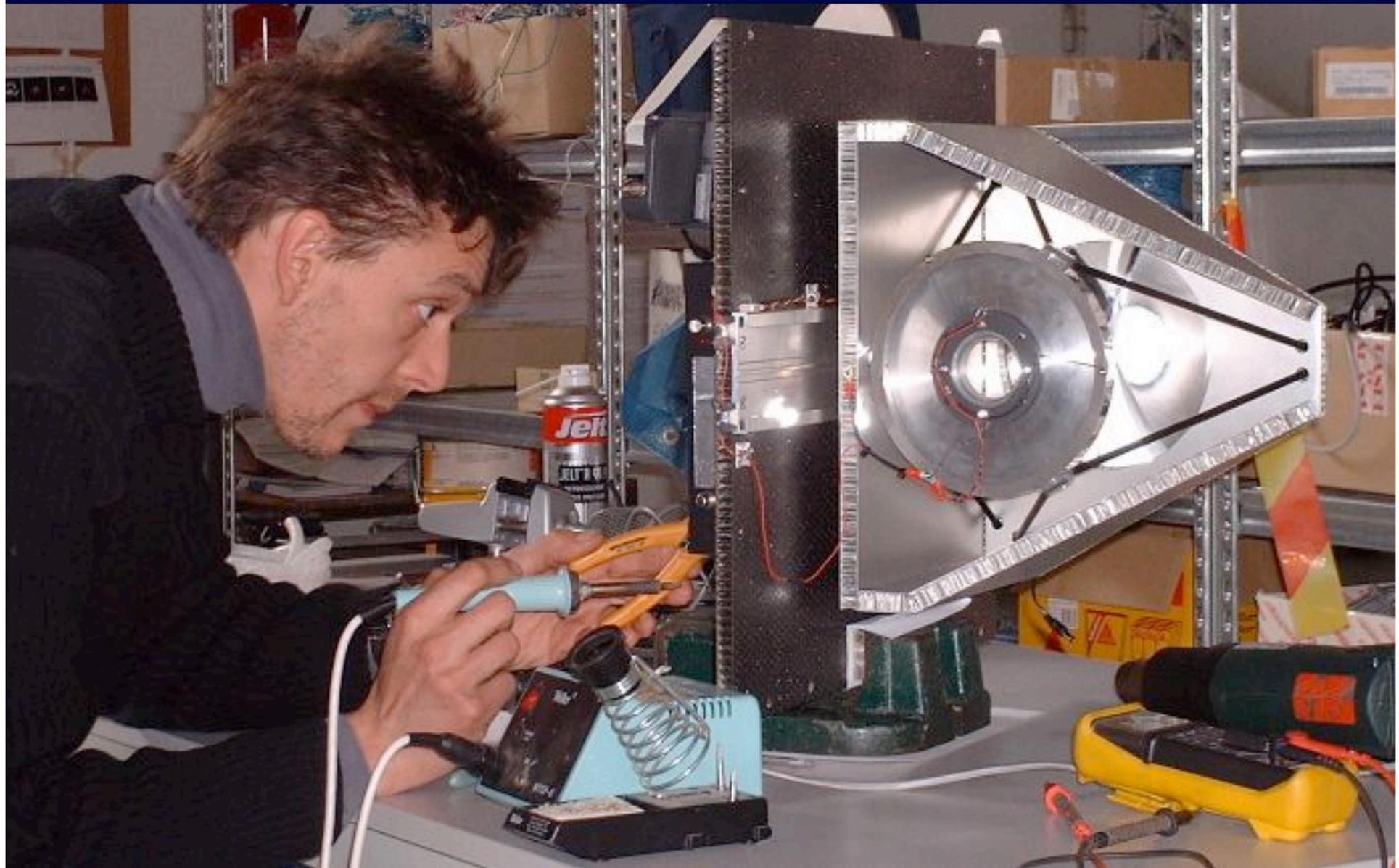
Miroir élémentaire et viseur de Carlina 1



Corriger l'aberration sphérique

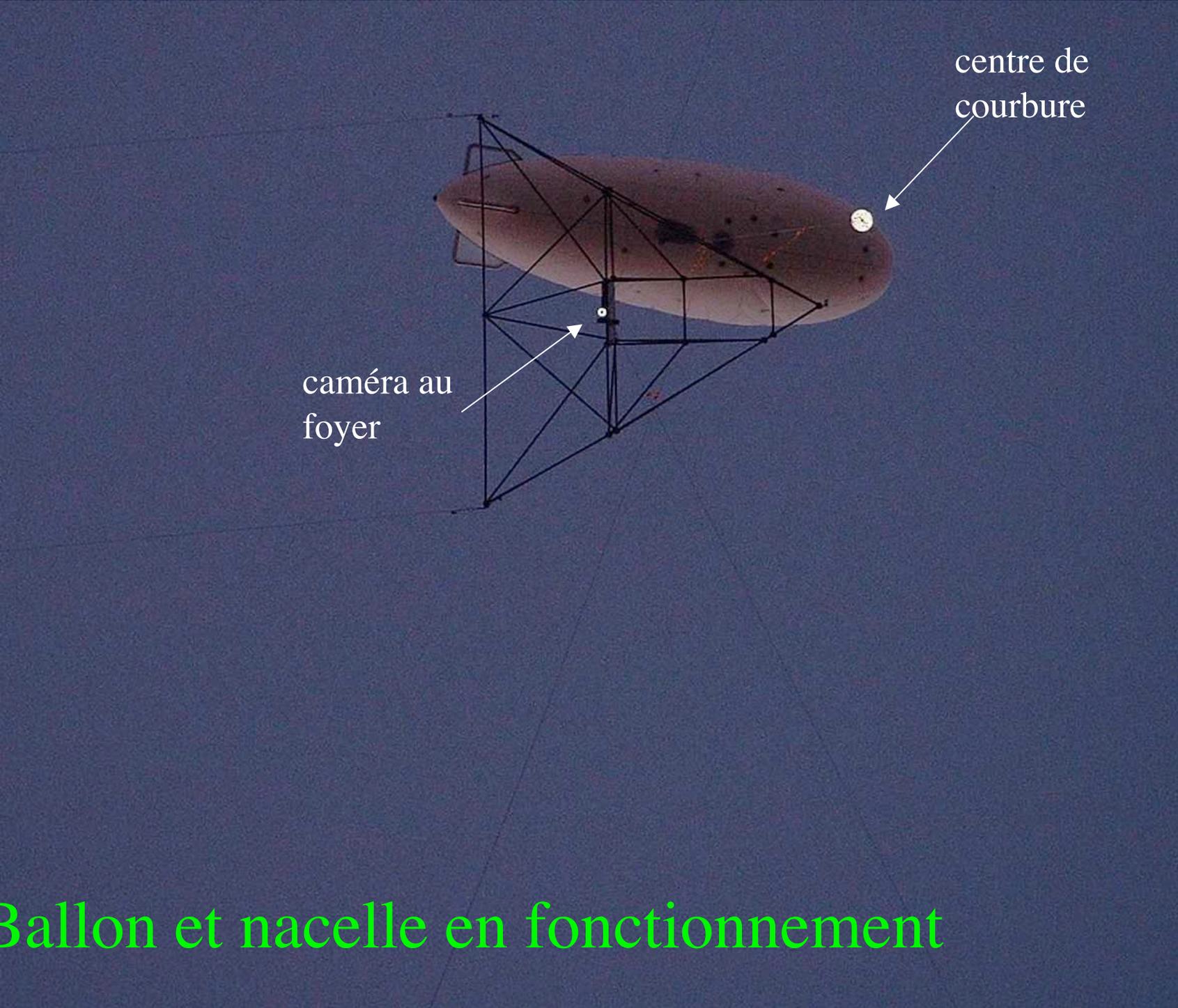


Ajout d'un correcteur de Mertz



Nacelle focale avec correcteur de Mertz





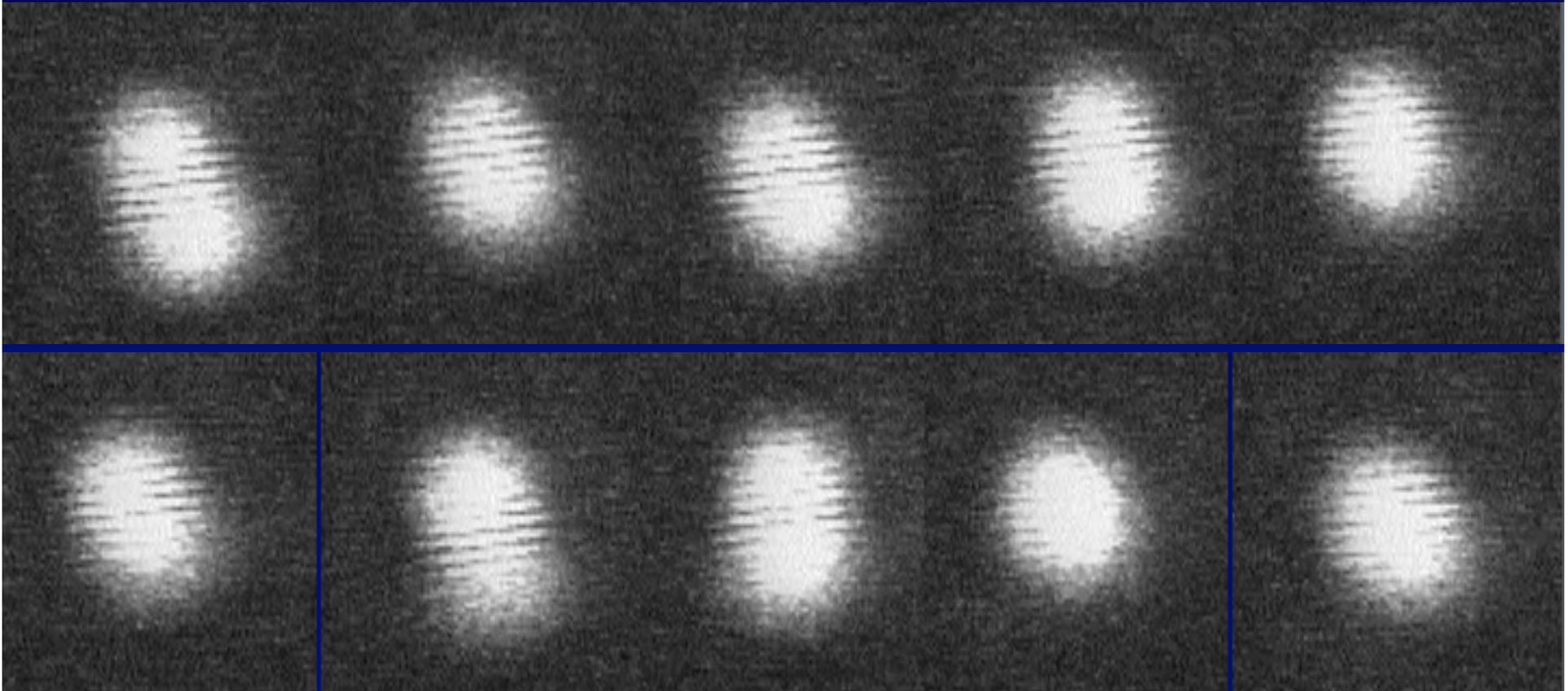
caméra au
foyer

centre de
courbure

Ballon et nacelle en fonctionnement

Franges du prototype Carlina 1

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



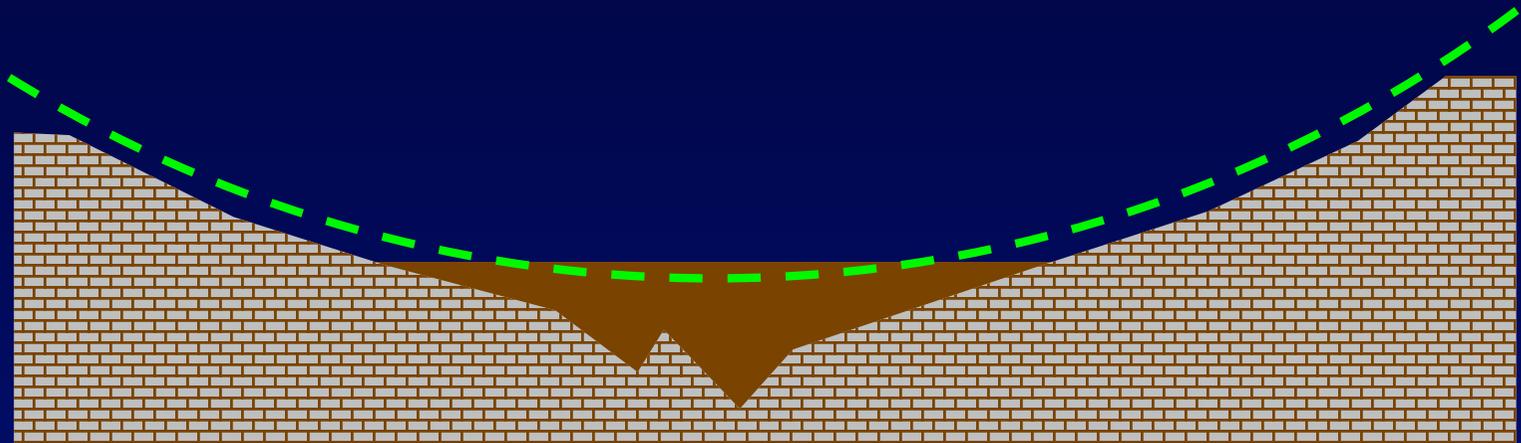
Construction d'un Carlina 2 à l'observatoire de Calern

(Alpes Maritimes)

- 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

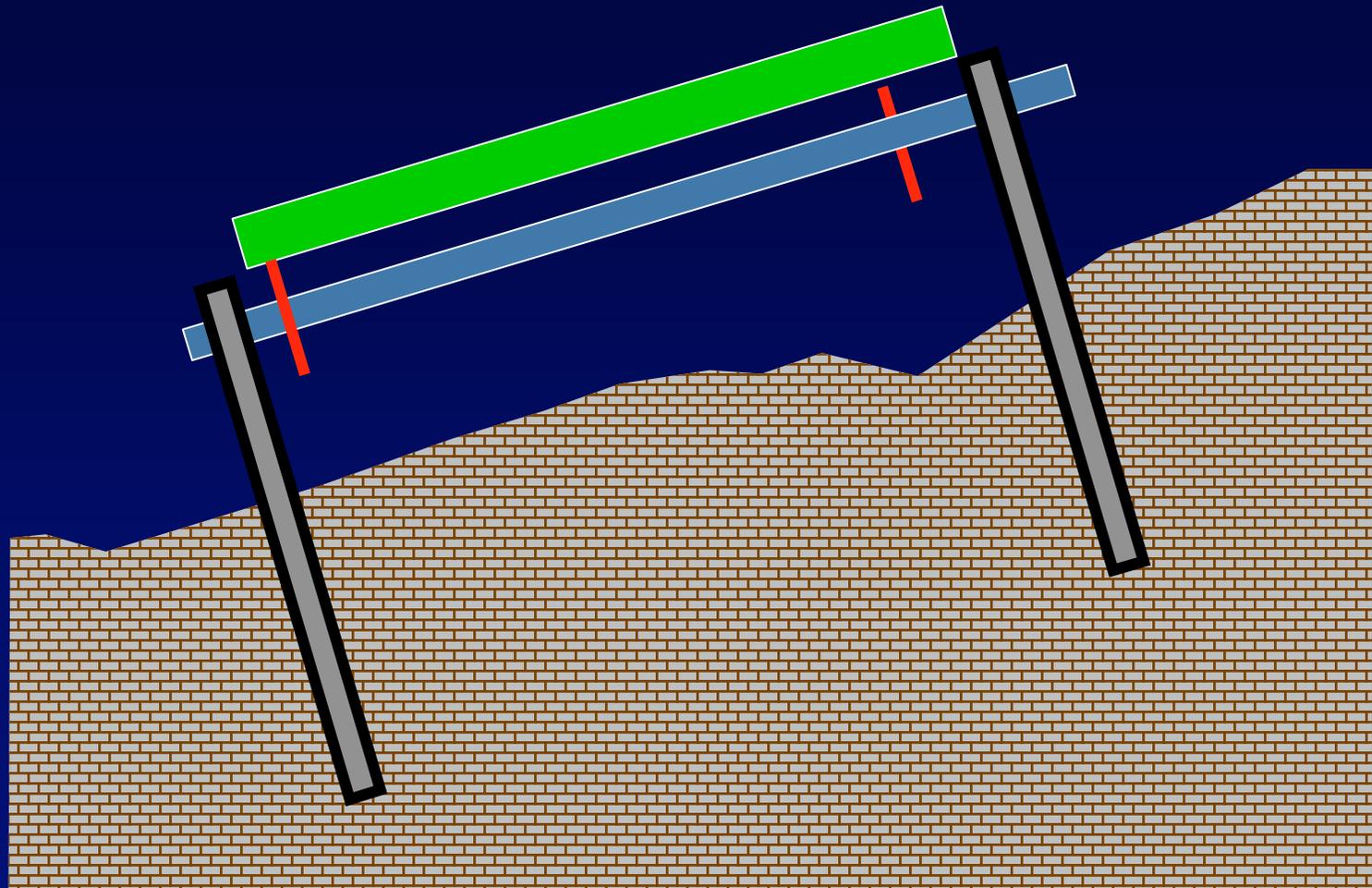


Implantation dans une doline



- Supports compacts
- Fond argileux inutilisable ?
- Distance zénithale limitée par la pente au bord

Ancrage dans le calcaire



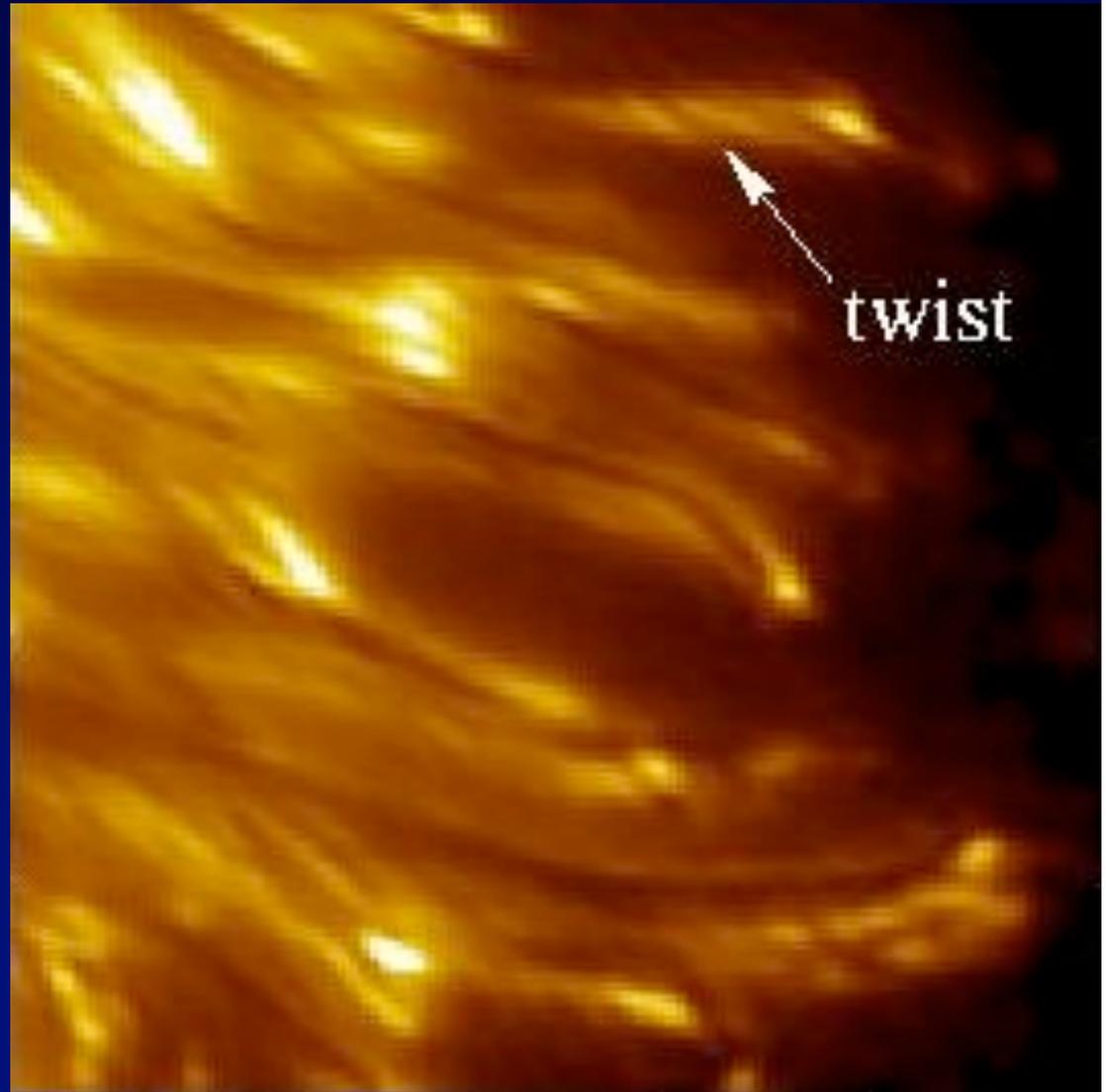
- 3 tubes en carbone 30 mm, pour miroirs de 250 mm
- Collage epoxy, dans forage par tube diamanté

La suite de Carlina 1: Carlina 2 à Calern



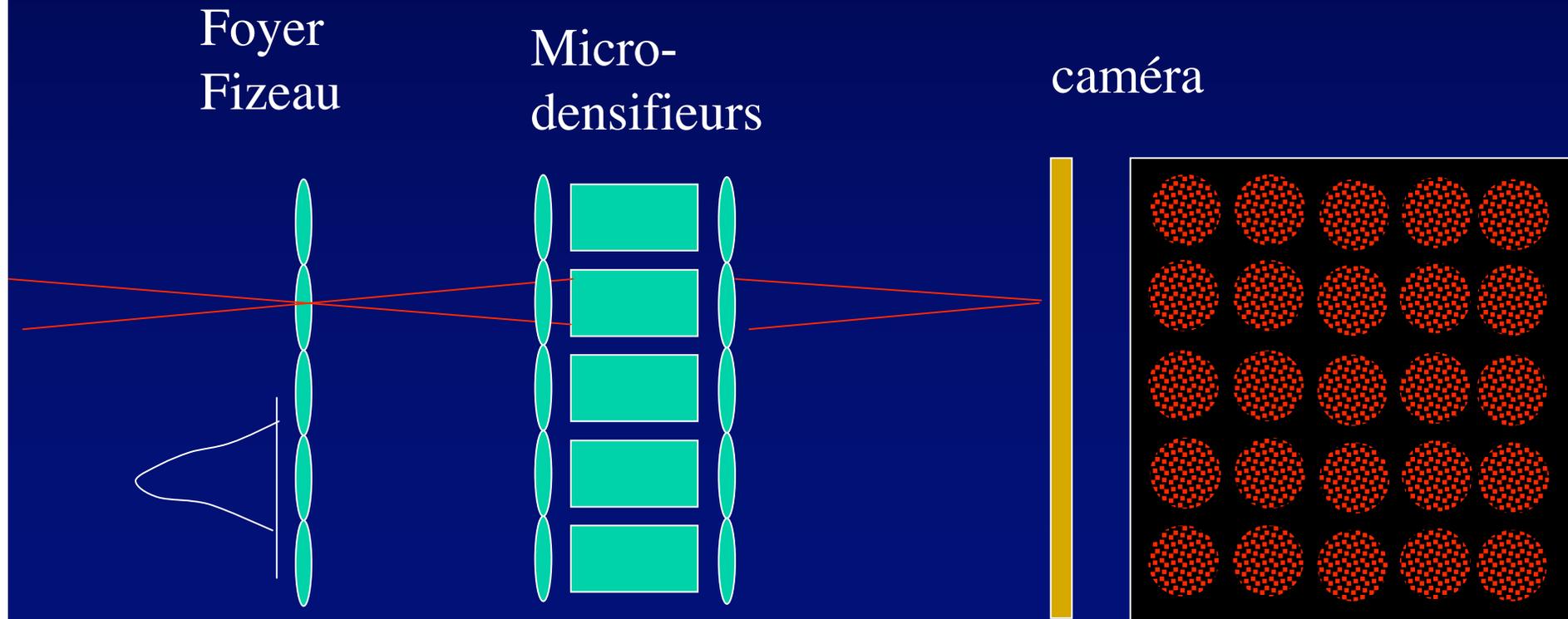
Mieux voir avec Carlina 1 ?

- Quelques dizaines d'ouvertures suffisent
- Points brillants utilisables comme « étoile guide » pour l'optique adaptative



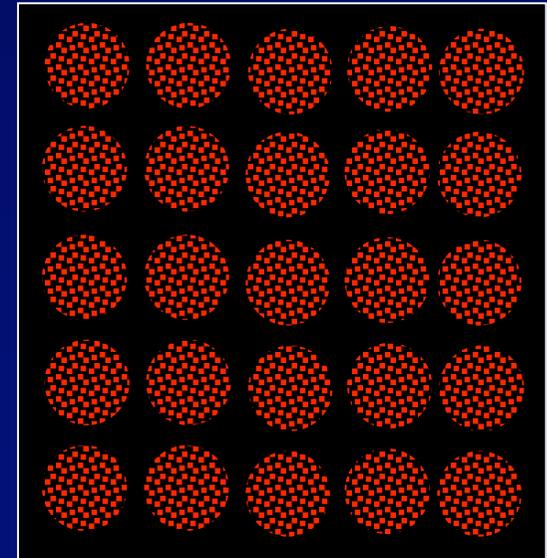
Observer plusieurs « lobes » λ/d

...avec une mosaïque de micro-densifieurs

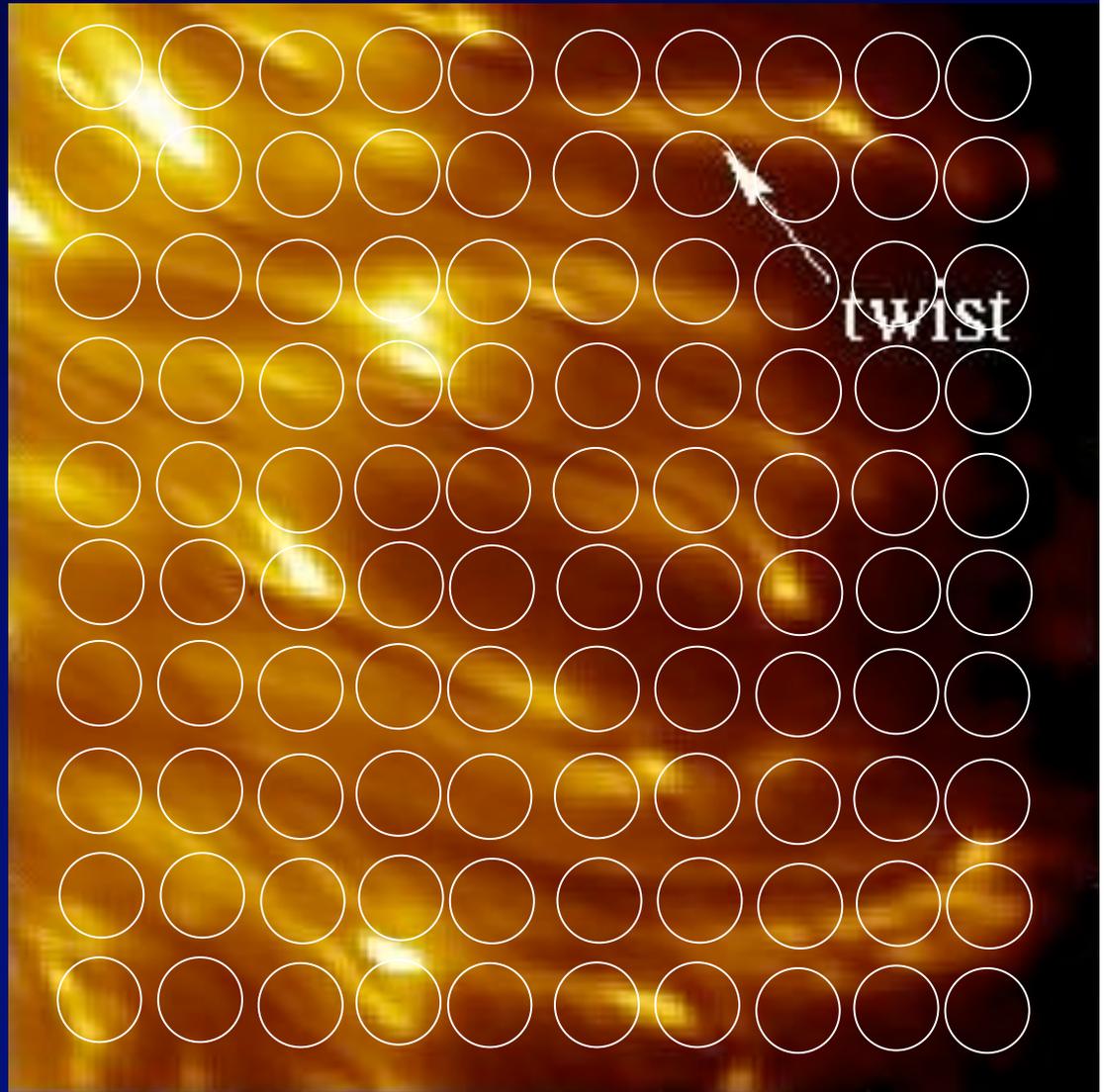


Quelle étendue de champ mosaïque ?

- pour $d = 25$ cm: lobes de $0,5''$...
- ... soit 80 microns au foyer primaire
- Sur 4 mm: 50×50 champs élémentaires...
- pouvant contenir chacun 100×100 resels actifs si il y a 100 ouvertures non redondantes



Champ mosaïque instantané



Quelle optique adaptative pour le Soleil?

- Il faut une source de référence ponctuelle ou presque
- Utiliser les grains brillants ?
- Exploiter le champ iso-planétique, quelques secondes
- Exploiter plusieurs λ/d , avec autant de densifieurs

Quelle optique adaptative?

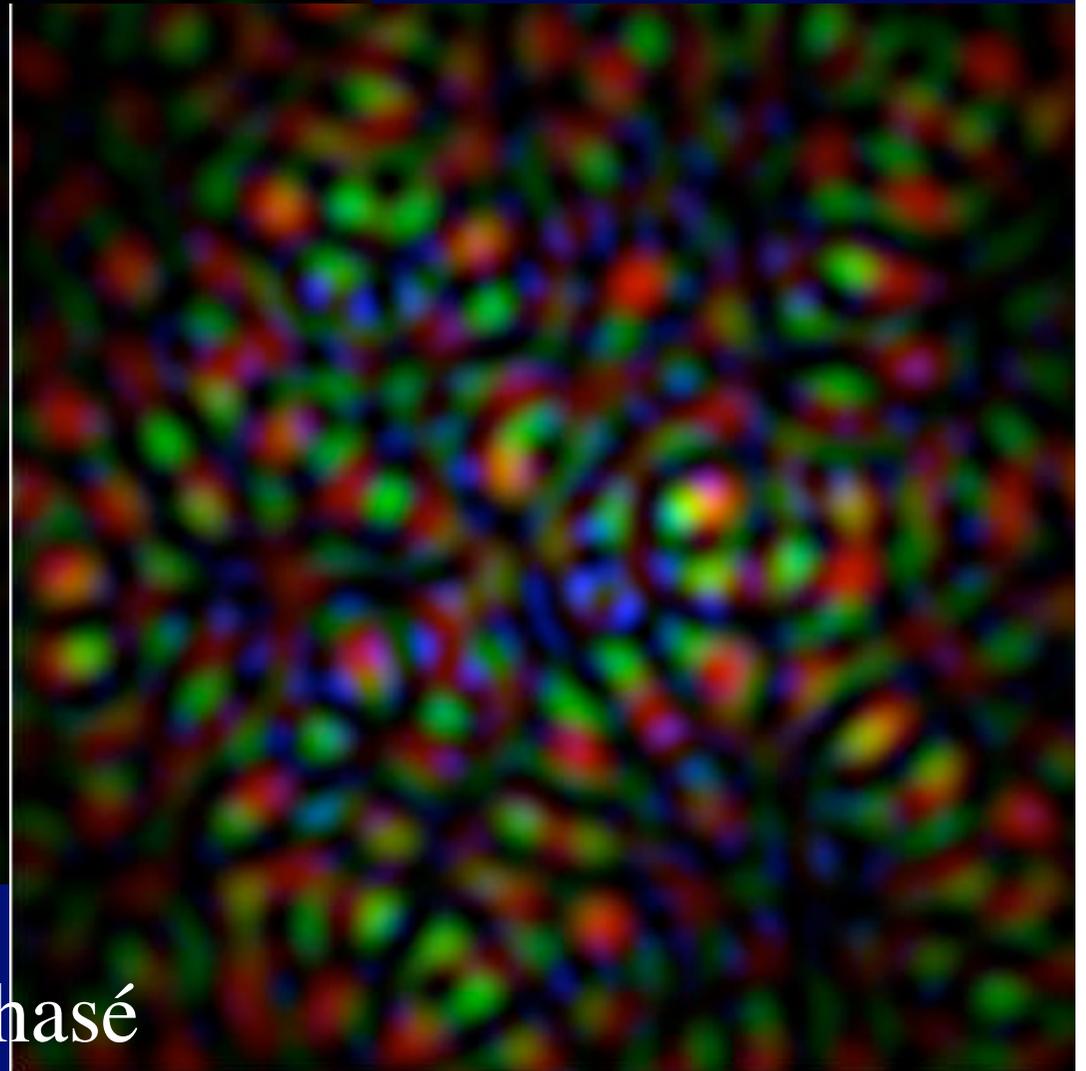
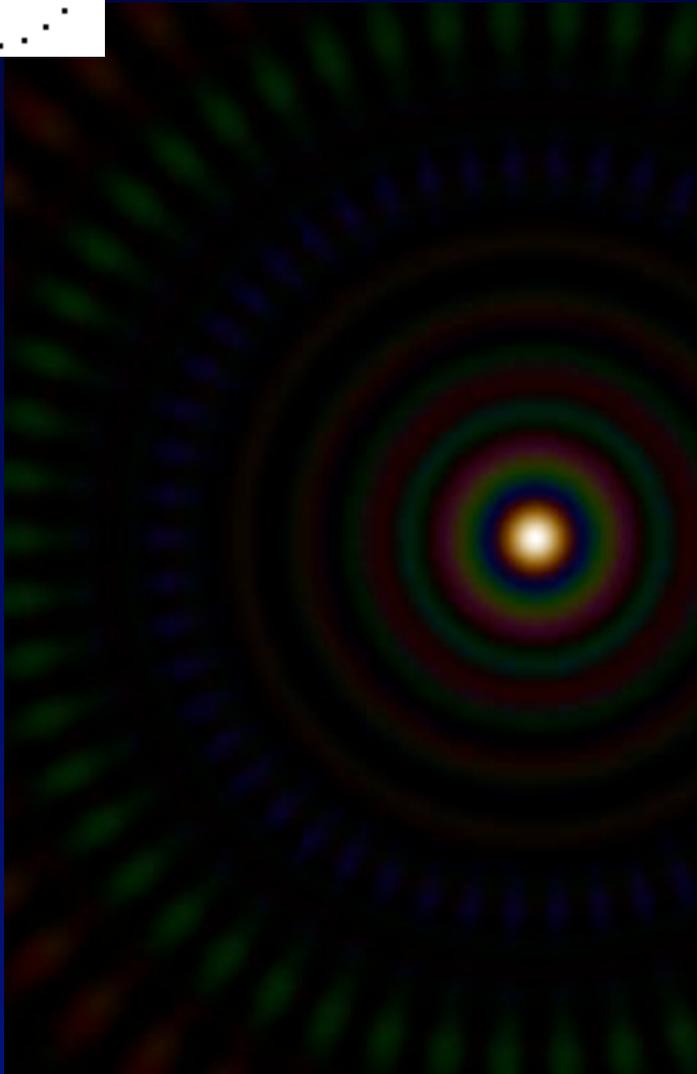
- pour 100 ouvertures:
 - 100 actuateurs de piston peuvent suffir « les bons jours »
 - ... avec 0,5 " de turbulence....
 - ... et 25" d'isoplanétisme

Quel senseur d'onde ?

- Mesurer les erreurs de piston
 - Statiques: erreur de positionnement des miroirs
 - Variables: turbulence, amplitude de quelques microns
- En lumière polychromatique
- Méthode des « tavelures dispersées » (Borkowski et al., 2004)
 - Généralise à N ouvertures les franges dispersées de Fizeau
- .

27 ouvertures en cercle

En phase



déphasé

Speckles simultanés en 4 couleurs

au Mont Palomar

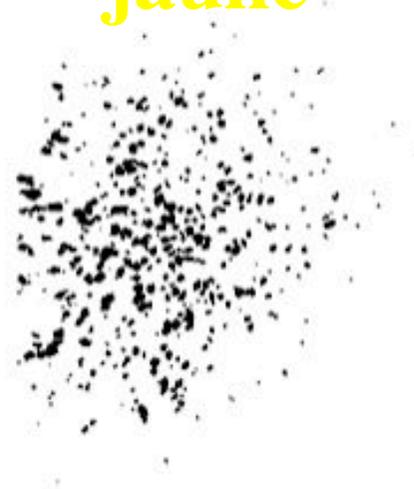
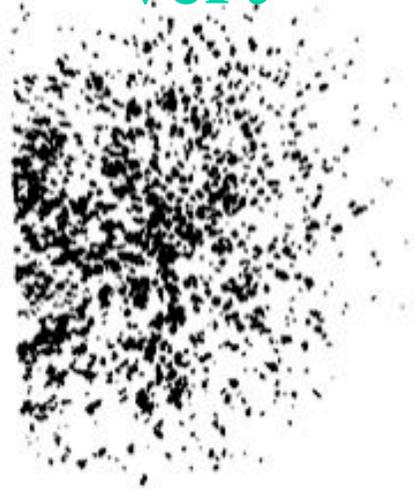
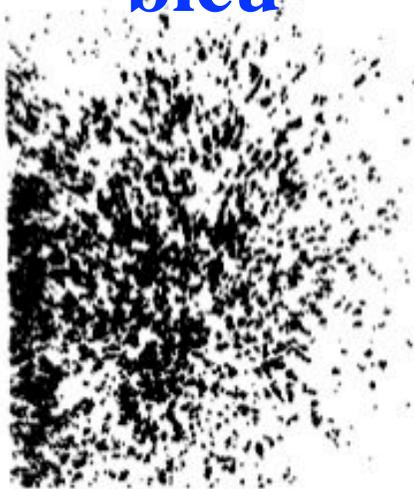
(Gezari et al., Ap.J., 1972)

bleu

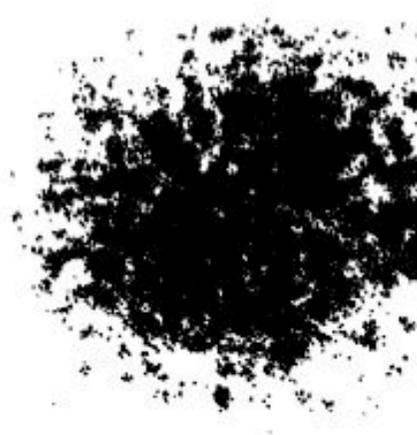
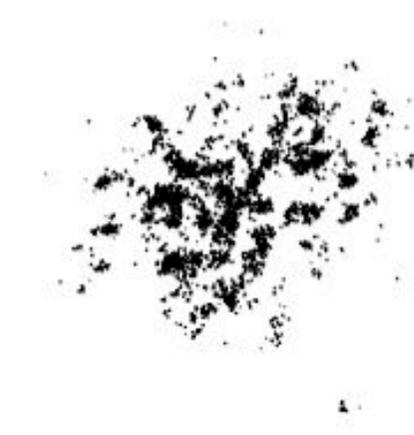
vert

jaune

rouge



Véga



Bételgeuse

« 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".

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

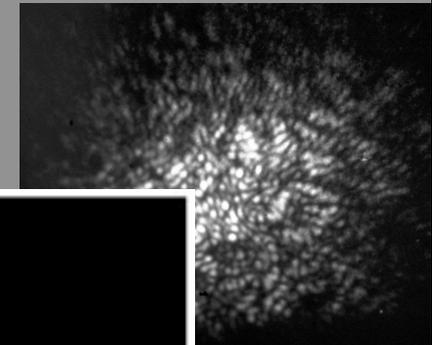
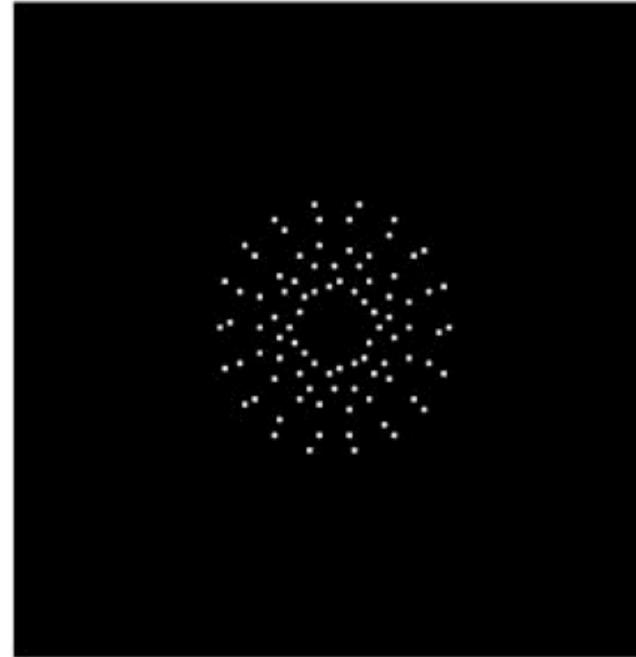
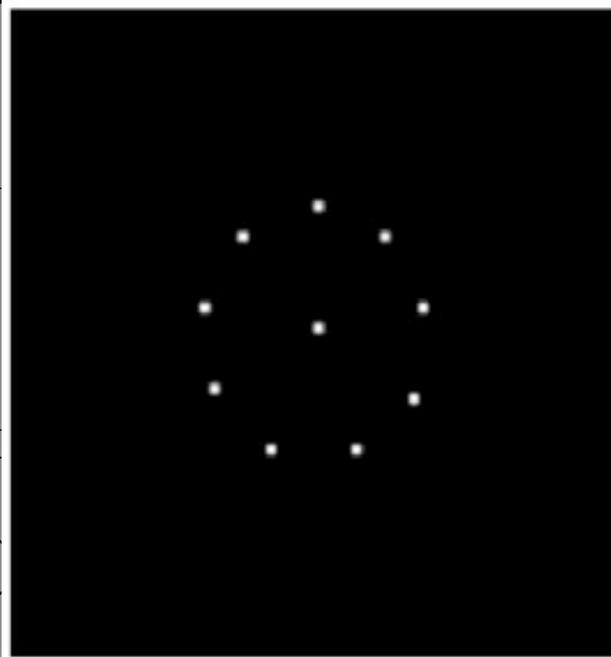
pose courte:

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

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

poses successives

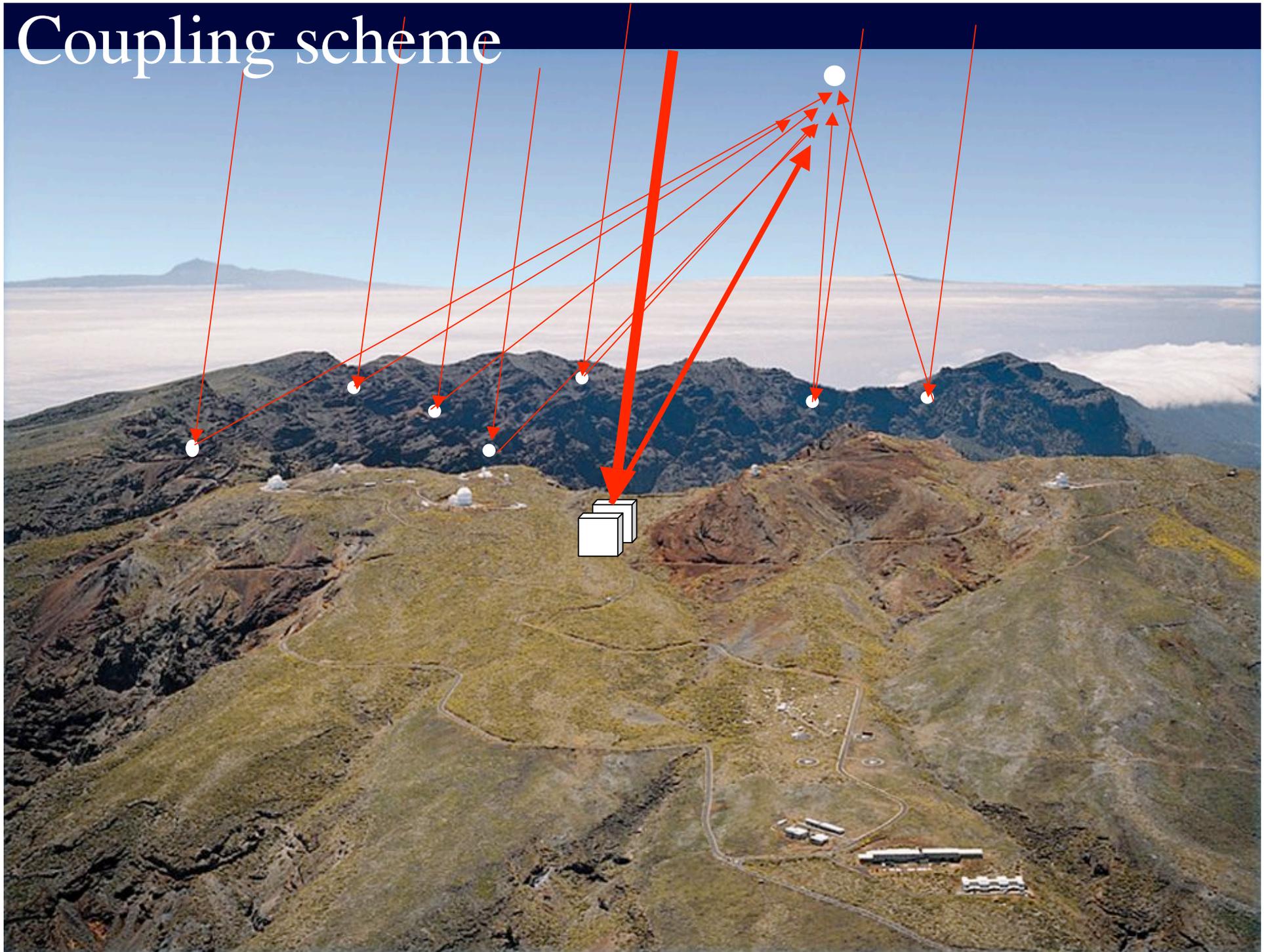
$\sum_t |\text{AC}\{p(u,v)\}|$



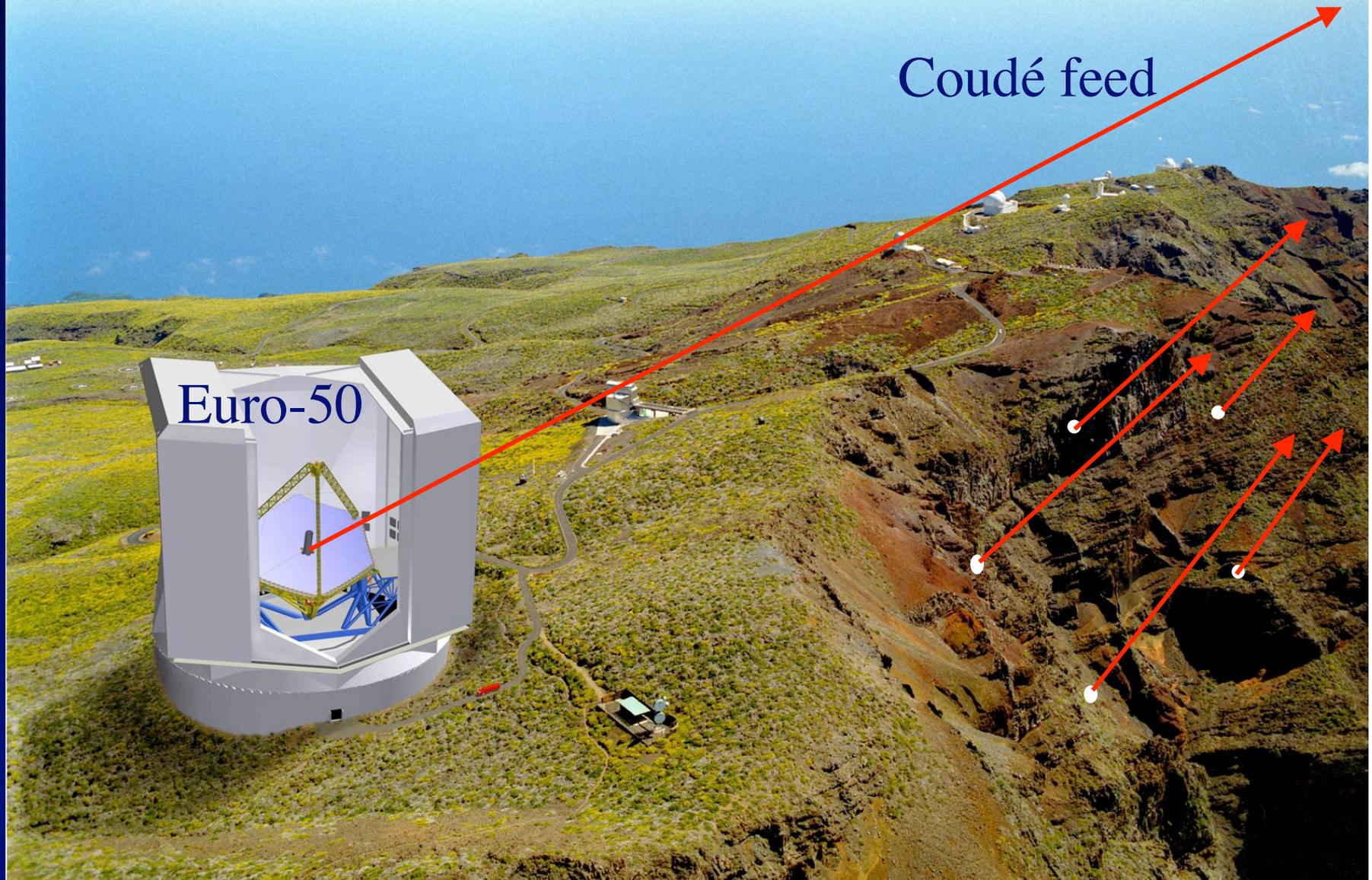
$$|v(u,v)|^2 \sum_t |\text{AC}\{p(u,v)\}|^2 \Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow \text{AC}\{O(x,y)\} \otimes \sum_t \text{AC}\{S(x,y)\}$$

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

Coupling scheme



Roque de las Muchachos, Canarias

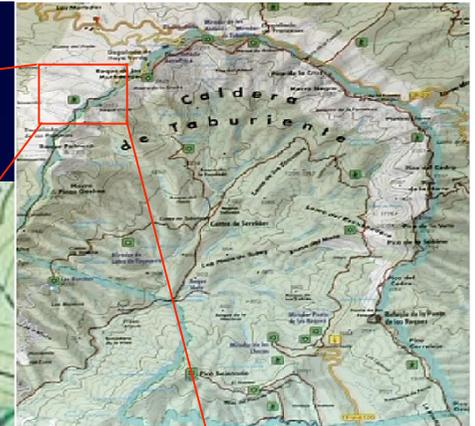


Coudé feed

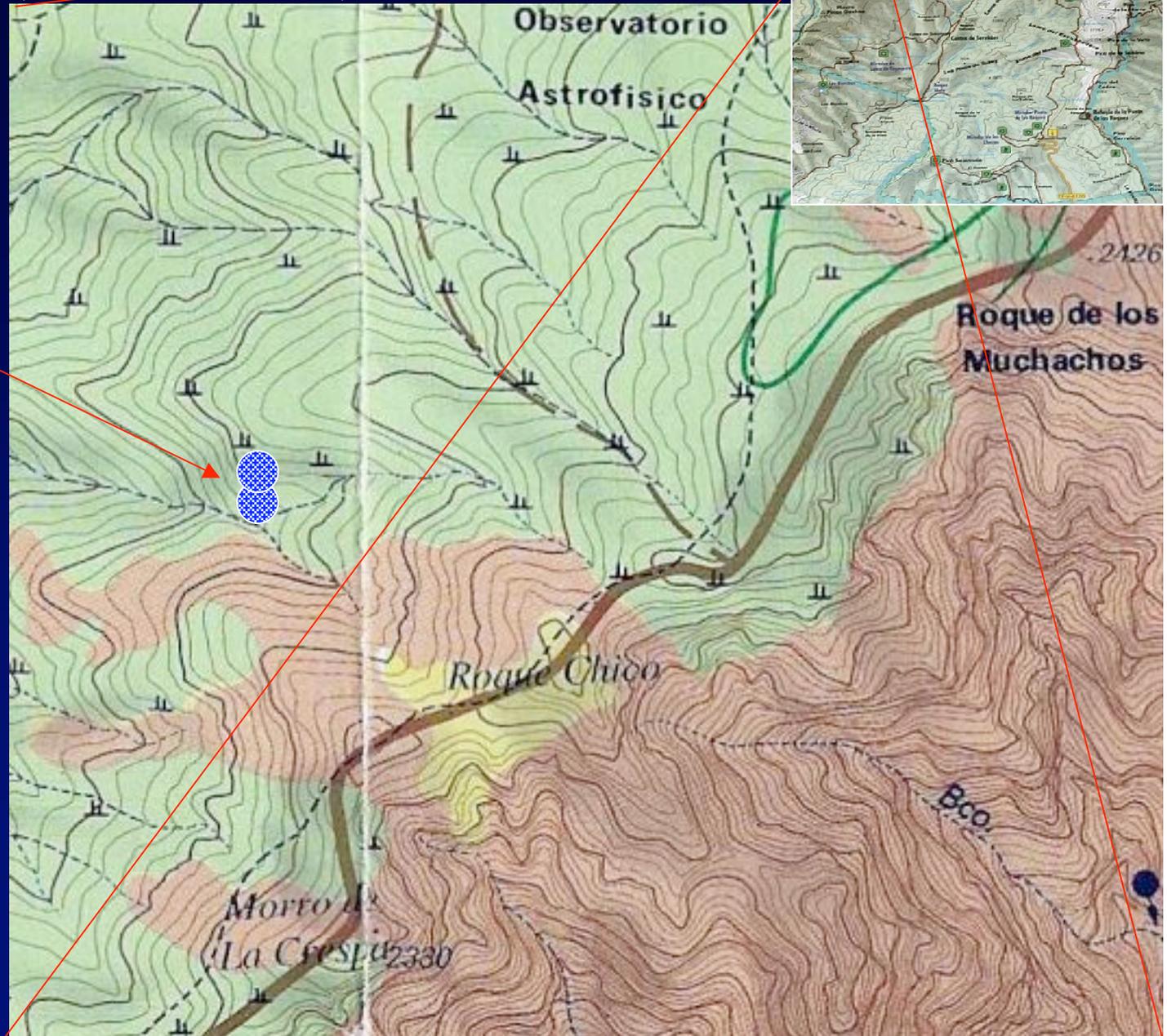
Euro-50

Observatoire de Roque de las Muchachos

(La Palma, Canaries)



- Altitude 2300 m
- Vallon favorable
- Bonne turbulence



Conclusion

- l'observation à haute résolution du soleil semble possible à court terme
- deux étapes:
 - Sans optique adaptative: structures simples
 - Avec
- image mosaïque « snapshot »
- on cherche des volontaires !