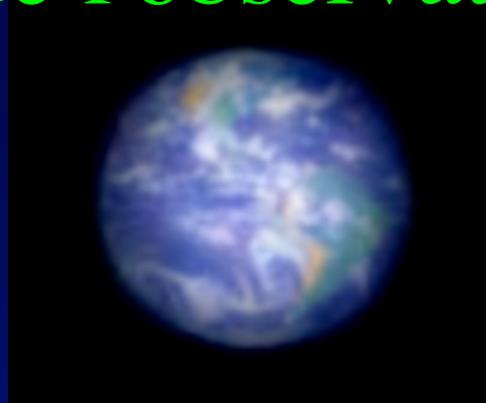


Collège de France

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](http://www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html)
- les fichiers .pdf des projections seront affichés

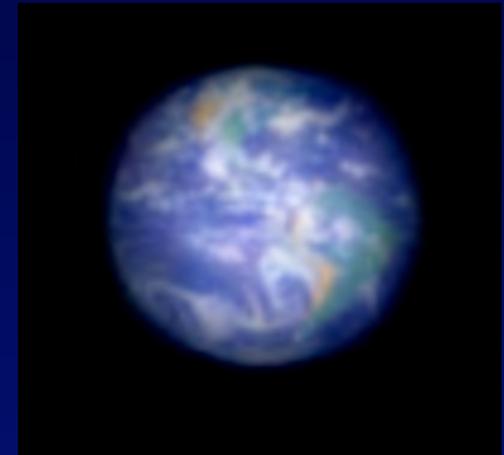
# Programme

affiché sur: [www.college-de-france.fr/](http://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 : hypertélescope pour observer le Soleil
- 16 Mai à Nice : Exo-Terres: progrès de la coronographie
- 18 Mai:
- 25 Mai:
- 1er Juin:

Aujourd'hui :

Étapes en cours pour les hypertélescopes:  
Carlina 2 à Calern



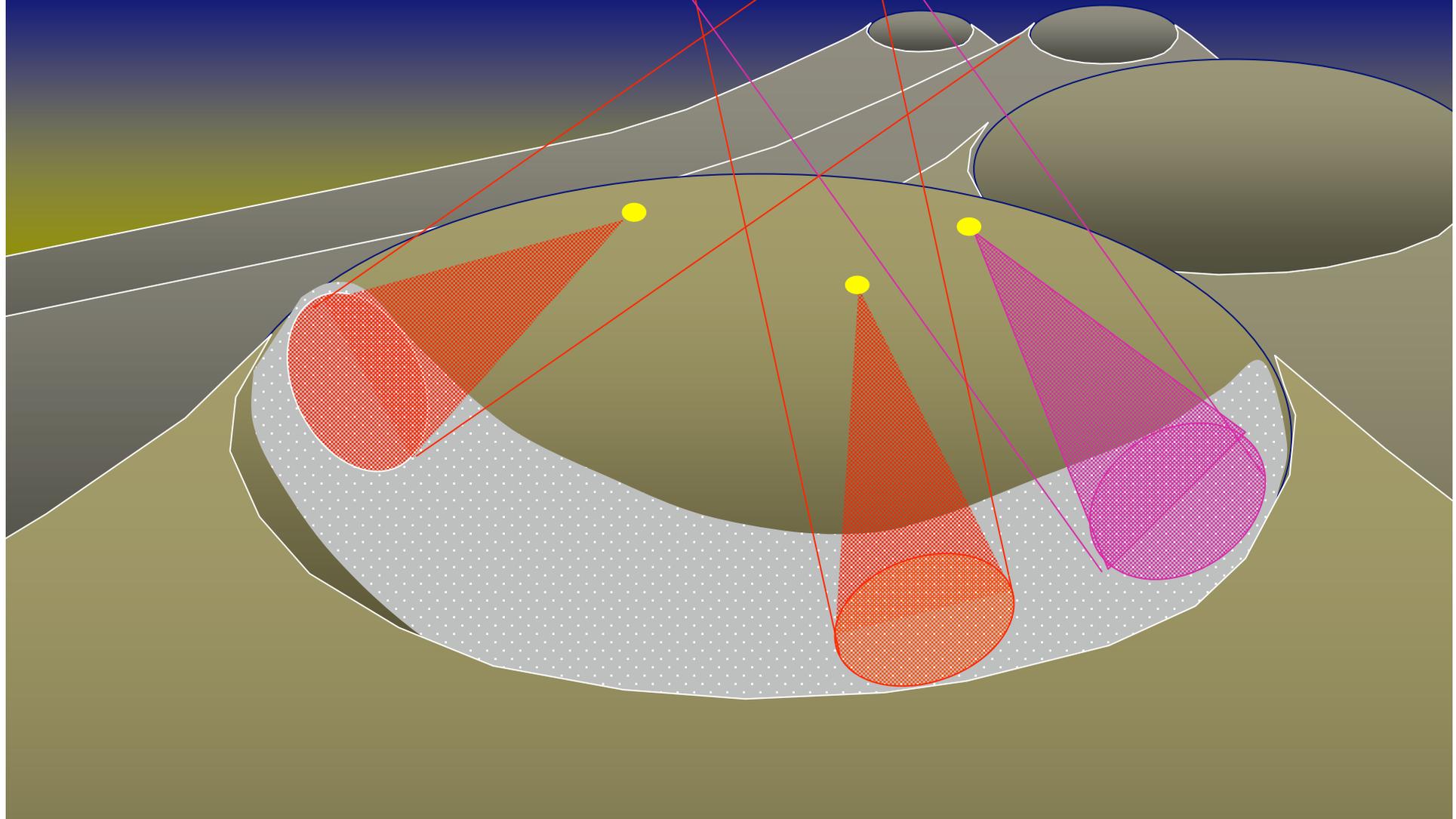
Séminaire à 17h30: **François Bouchy**, OAMP

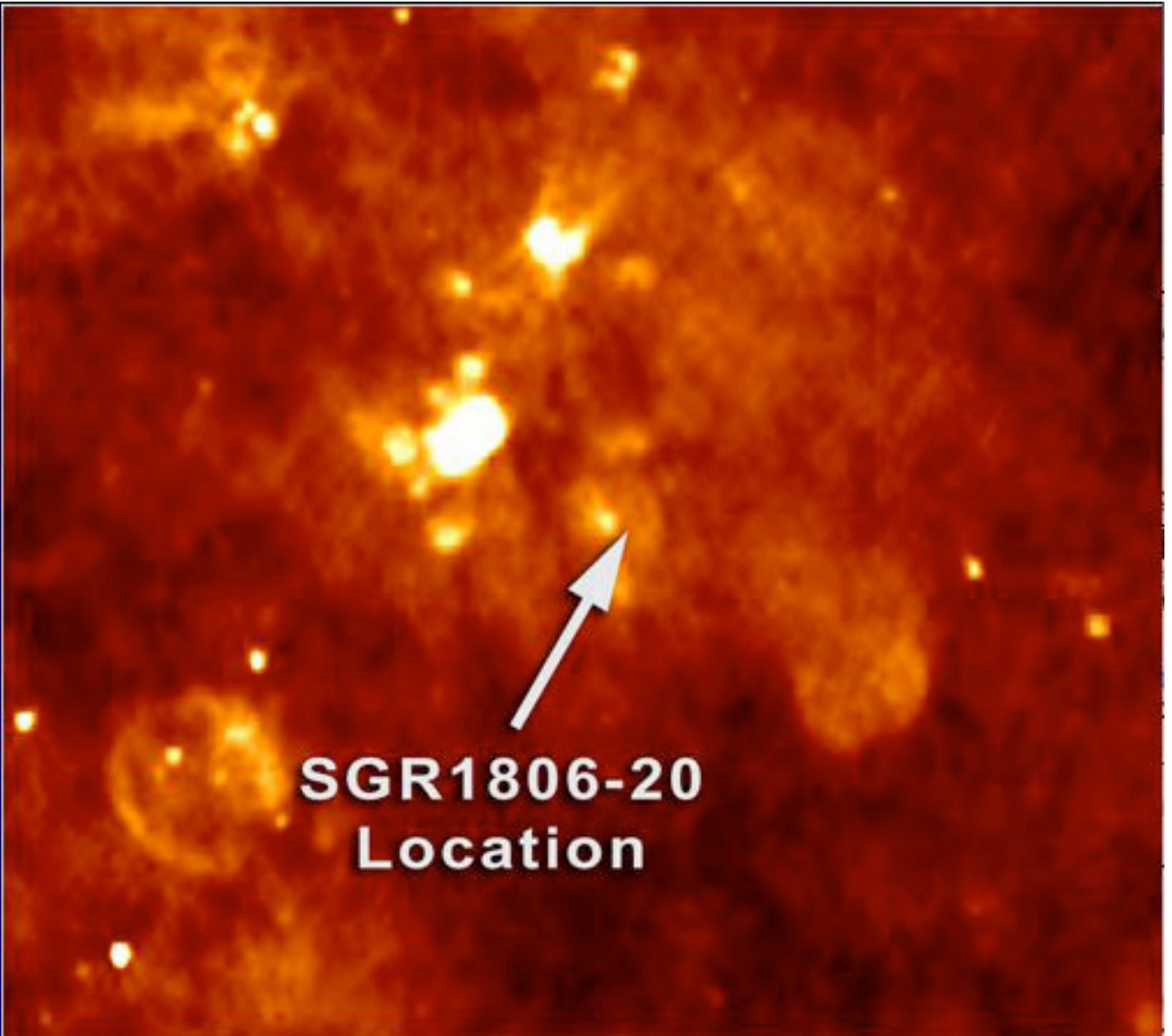
« En quête des autres mondes »

# hypertelescope CARLINA kilometrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

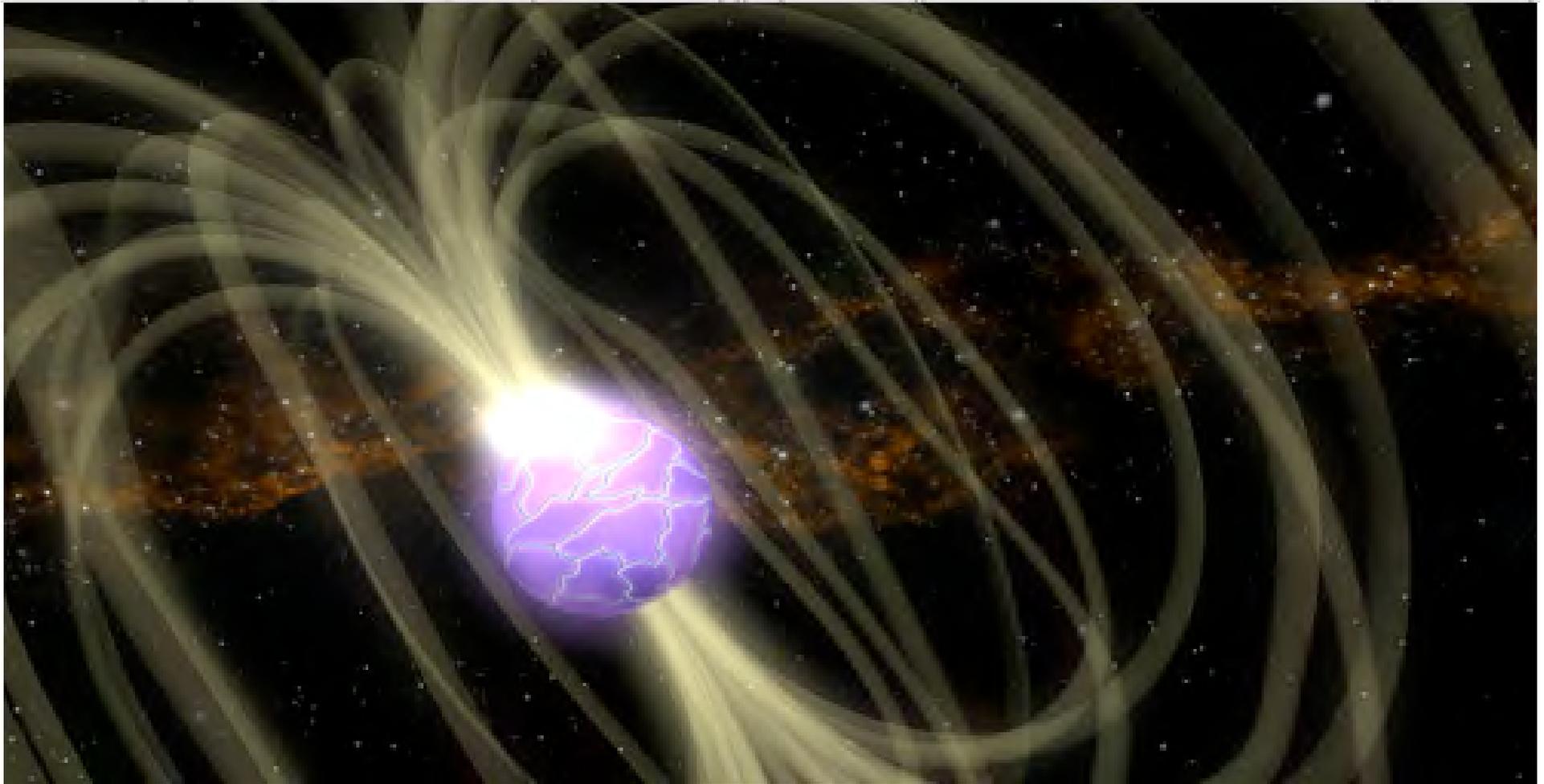
Imagerie mag. 38, cosmologie





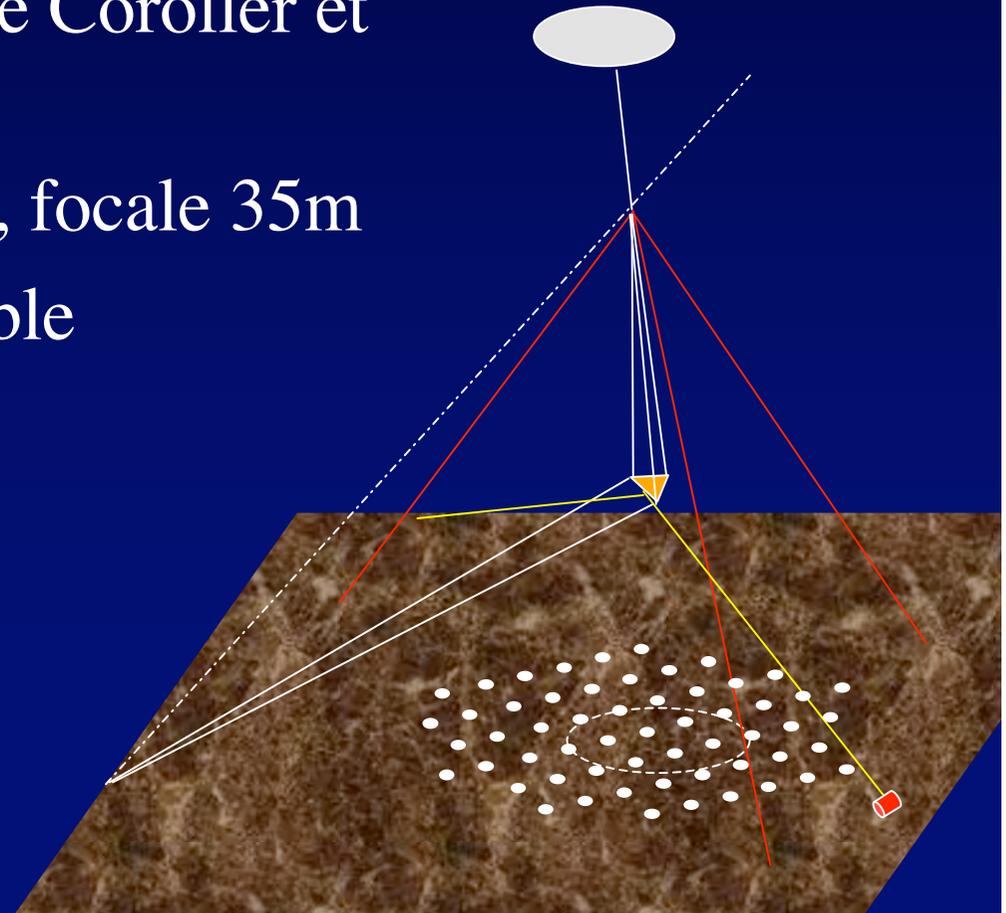
**SGR1806-20  
Location**

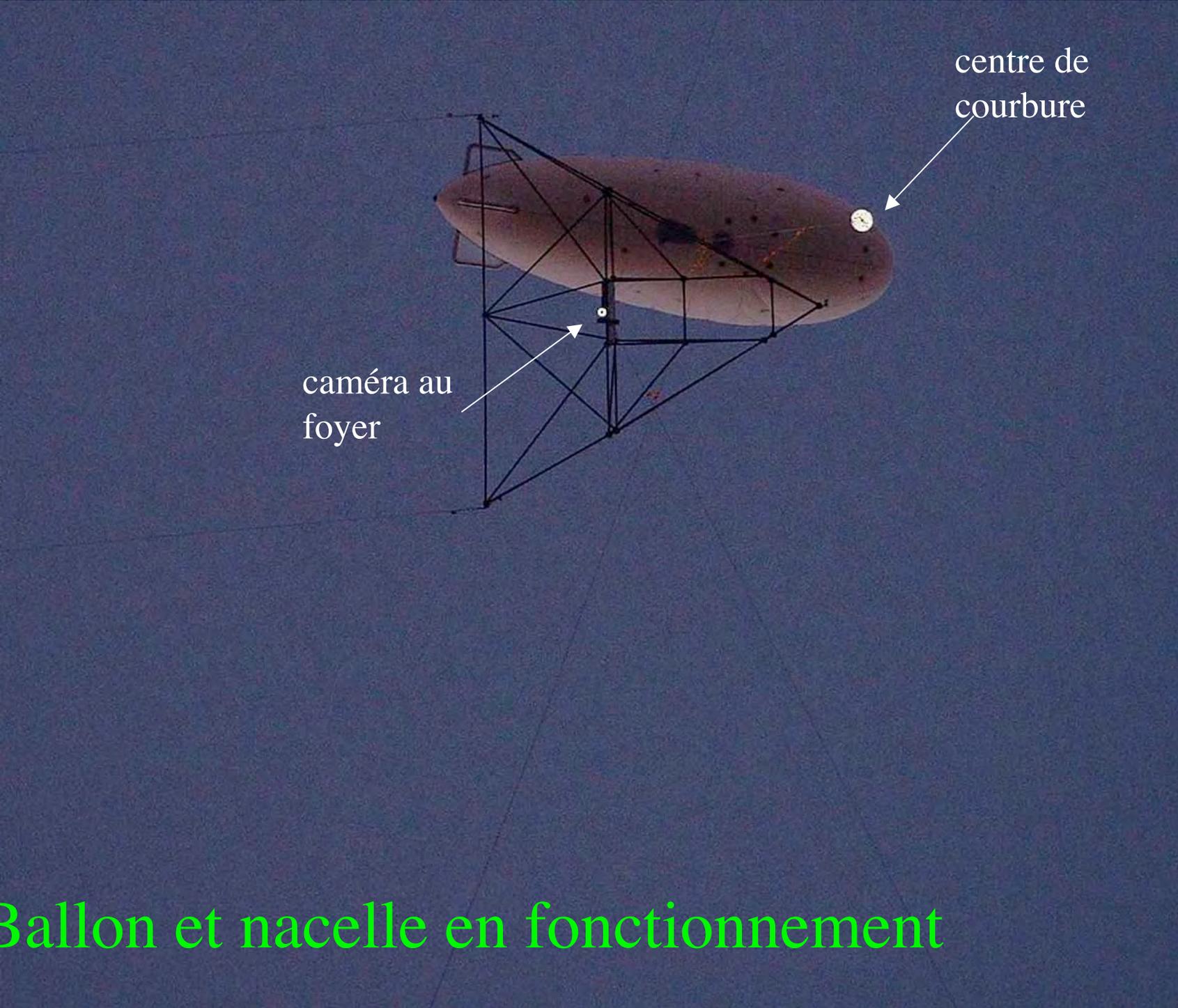
# Magnéstar (vue d'artiste)



# Prototype Carlina 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





caméra au  
foyer

centre de  
courbure

Ballon et nacelle en fonctionnement

# First fringes with a 17m Carlina

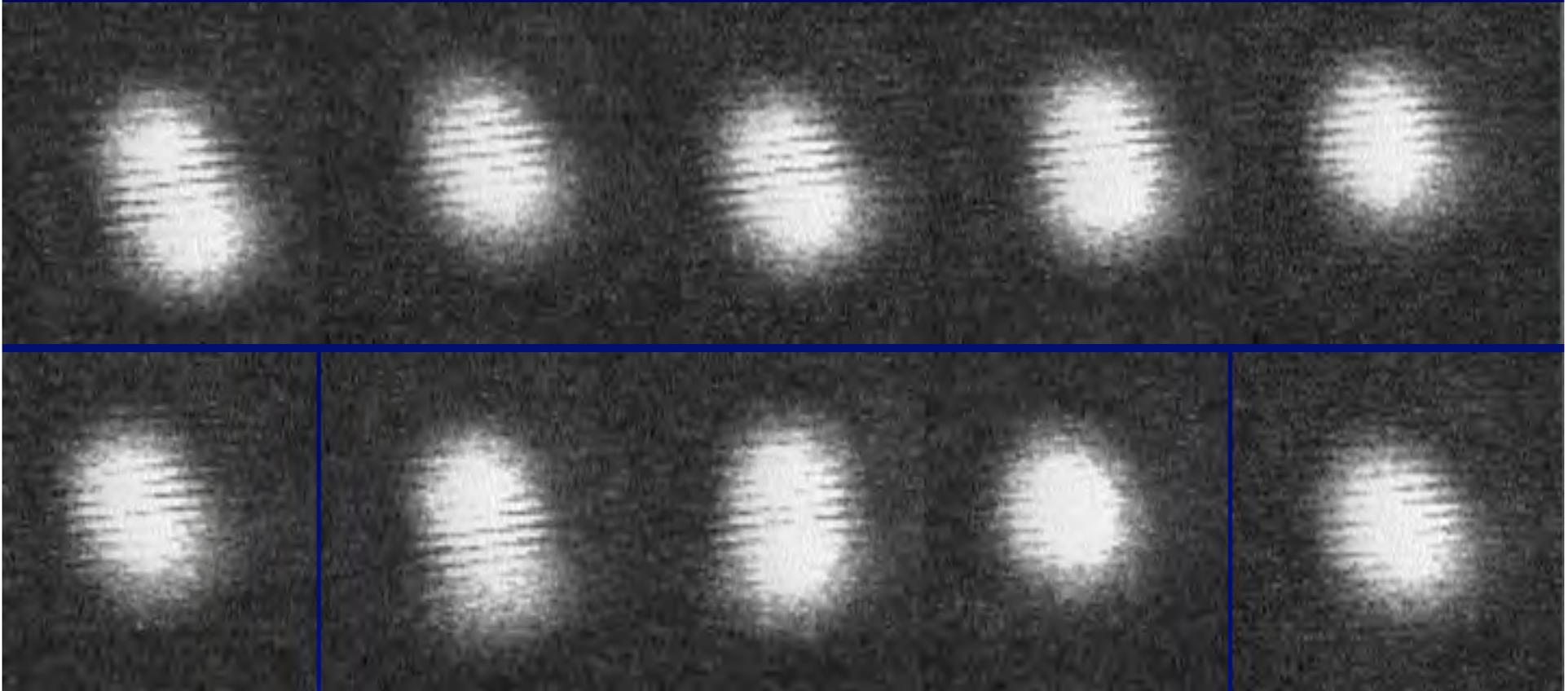
- Built for testing metrology and control techniques
- 70m curvature radius, balloon altitude 140m
- Cables and computer-driven winch for equatorial tracking
- Stability of camera at 35m altitude reaches 1mm in low wind
- sensing co-spherization errors:
  - white fringes at curvature center
  - 1 micron sensitivity

# First fringes ( Le Coroller et al., A&A. 2004)

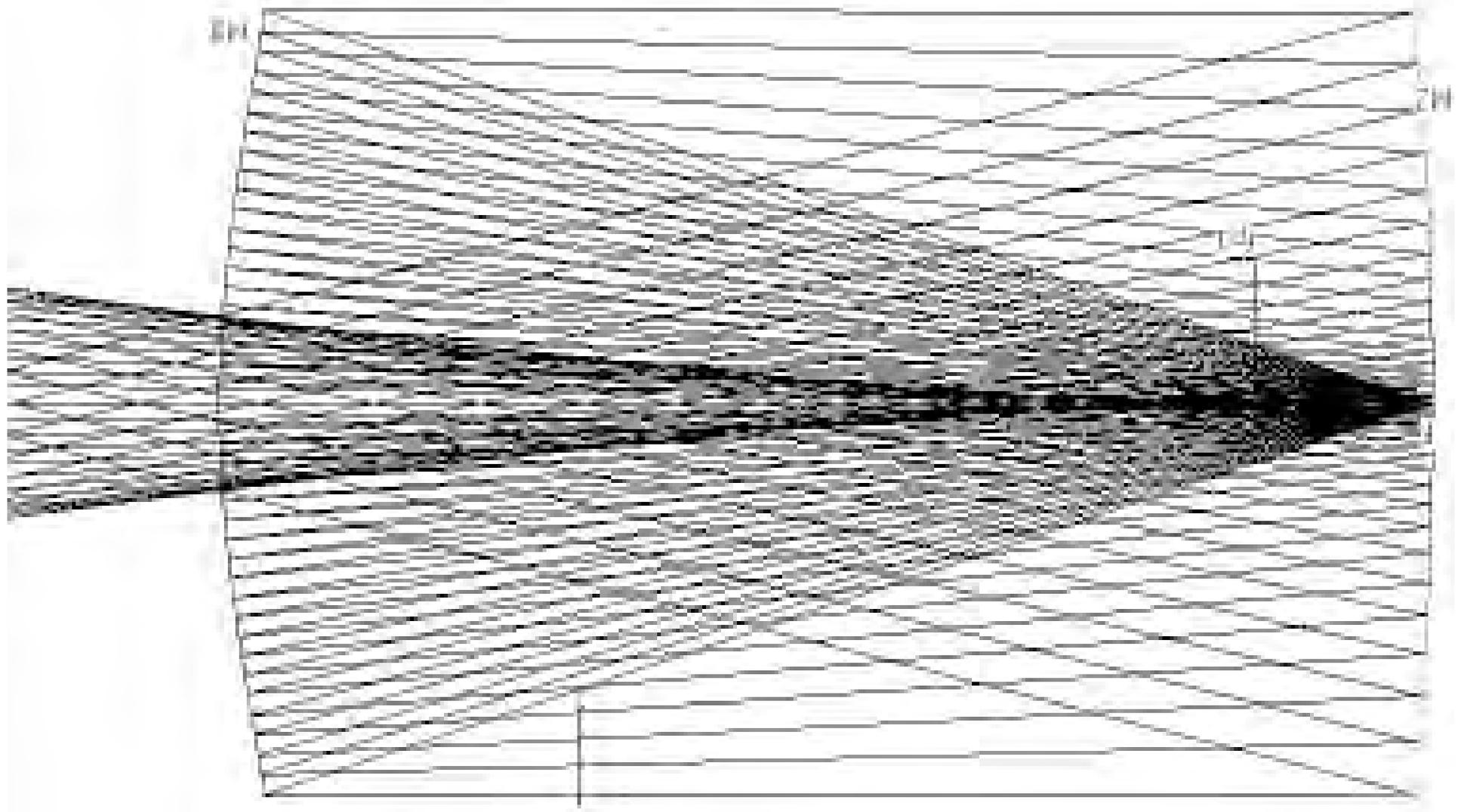
- Fringes obtained immediately with two close mirrors...
- ... thanks to the 1-micron co-spherization
- Stable (but seeing-jittered) fringes during one hour
- No clam-shell corrector yet

# Franges du prototype Carlina 1

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



# Corriger l'aberration sphérique



# Ajout d'un correcteur de Mertz



# 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



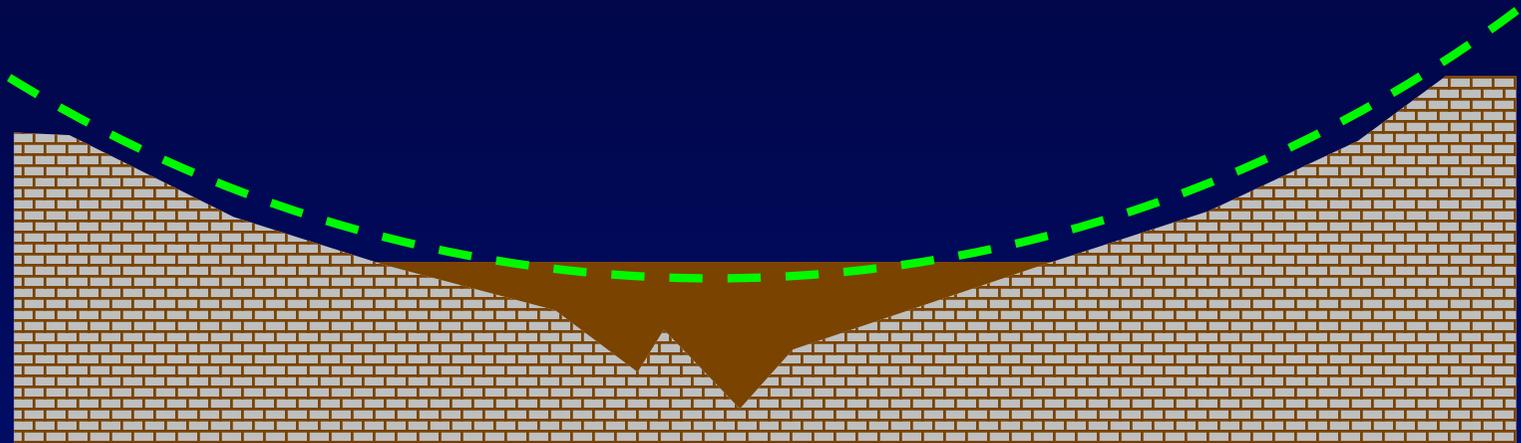
# La suite de Carlina 1: Carlina 2 à Calern

- 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 hyperturbulant
    - En utilisant une ouverture non redondante
- ... puis avec optique adaptative :

# La suite de Carlina 1: Carlina 2 à Calern

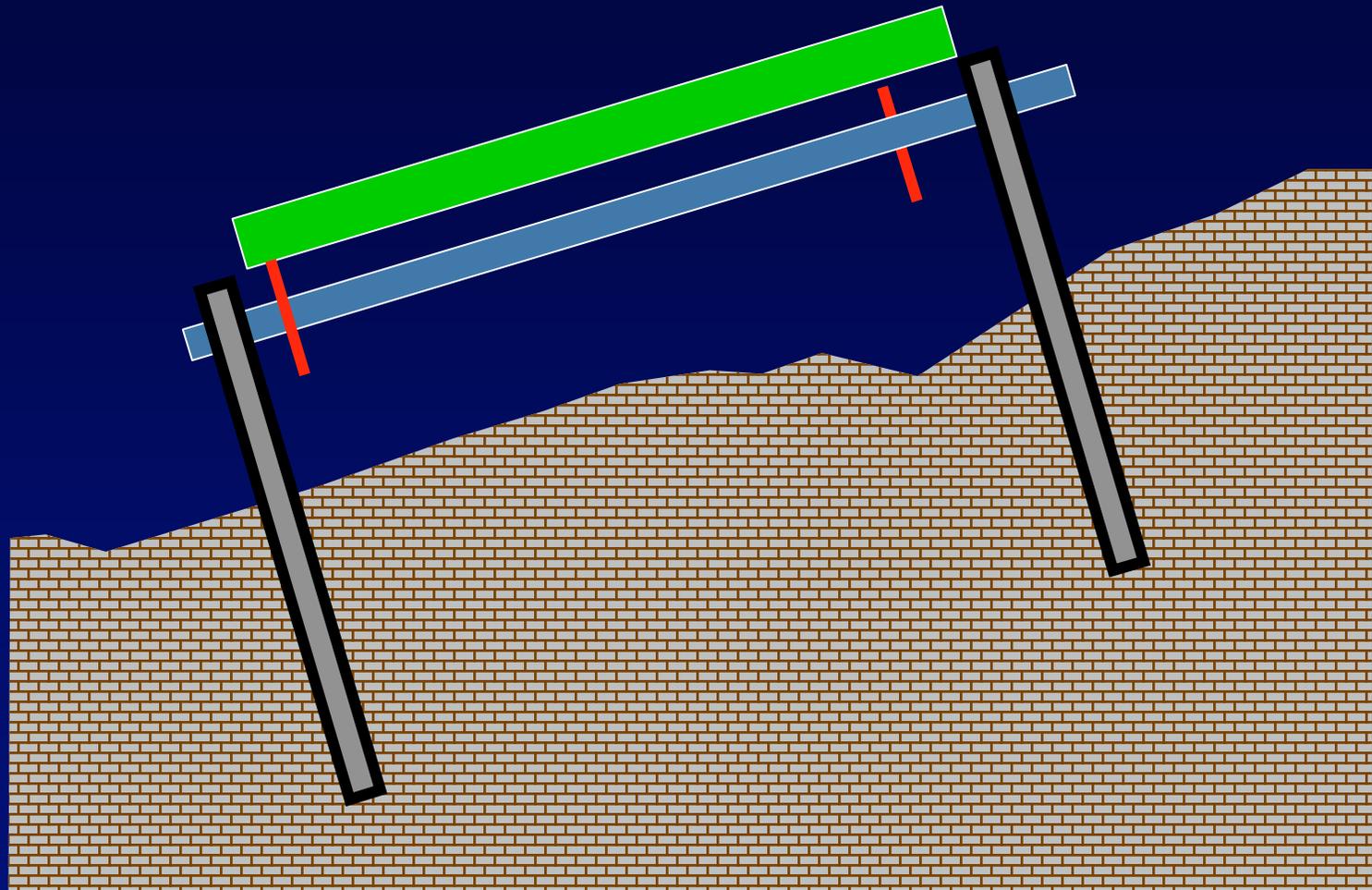


# Implantation dans une doline



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

# Ancrage dans le calcaire

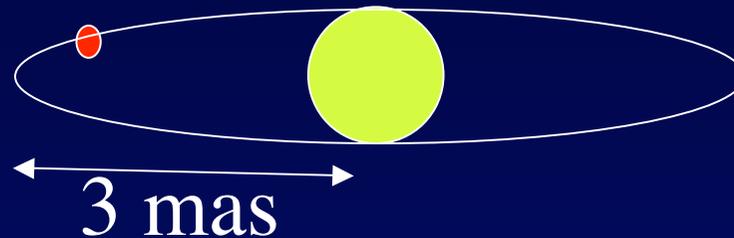


- 3 tubes en carbone 30 mm, pour miroirs de 250 mm
- Collage epoxy, dans forage par tube diamanté

# 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 »

# « 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

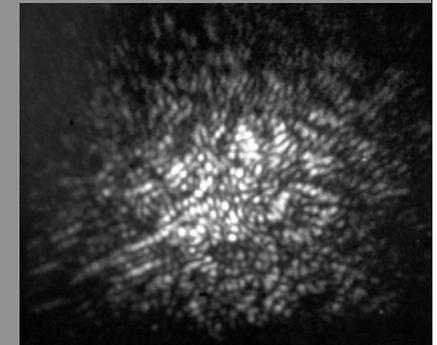
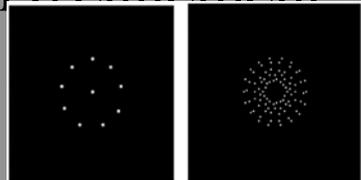
$\Leftrightarrow \text{TF} \Rightarrow$

$s(x,y)$

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

# Déteçtabilité d'une planète en « speckle interferometry »

- Bruit de photons
- Bruit de speckles: domine si l'étoile est brillante
  - Il faut  $10^8$  poses pour lisser les speckles à  $10^{-4}$
  - Soit 250 heures avec poses de 10ms
  - Trop long !
  - Remède? ouverture non redondante

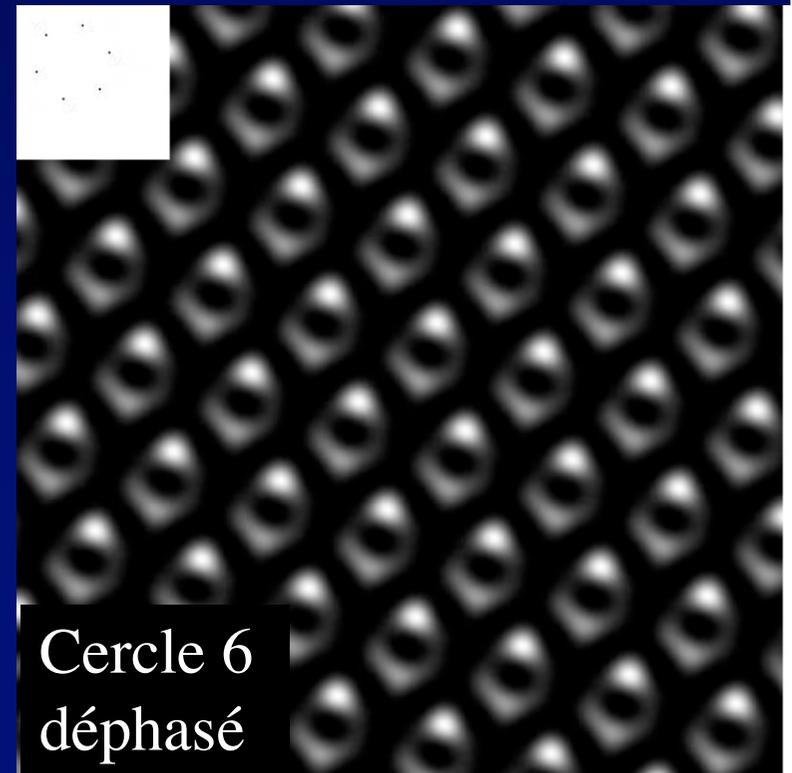
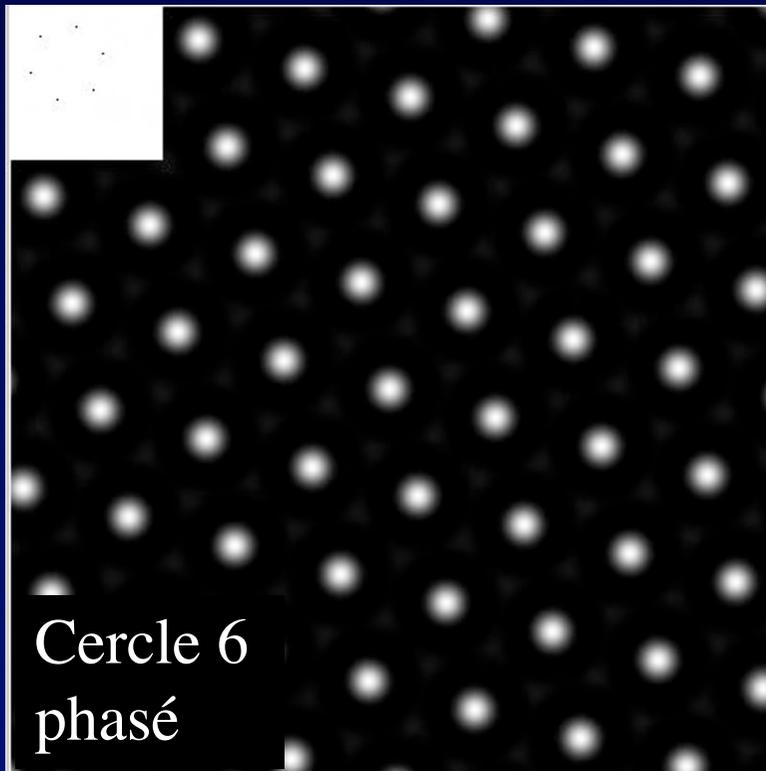
## Un théorème...

- « l'autocorrélation d'un nuage de Dirac non redondant complexe à modules uniformes est un nuage de Dirac complexe dont les modules sont uniformes »
- Démonstration: les produits de deux Diracs complexes conservent le module, et il n'y a pas de sommation en l'absence de redondance
- Application a une ouverture discrète, non-redondante, non phasée: les pics de l'autocorrélation ont tous le même module

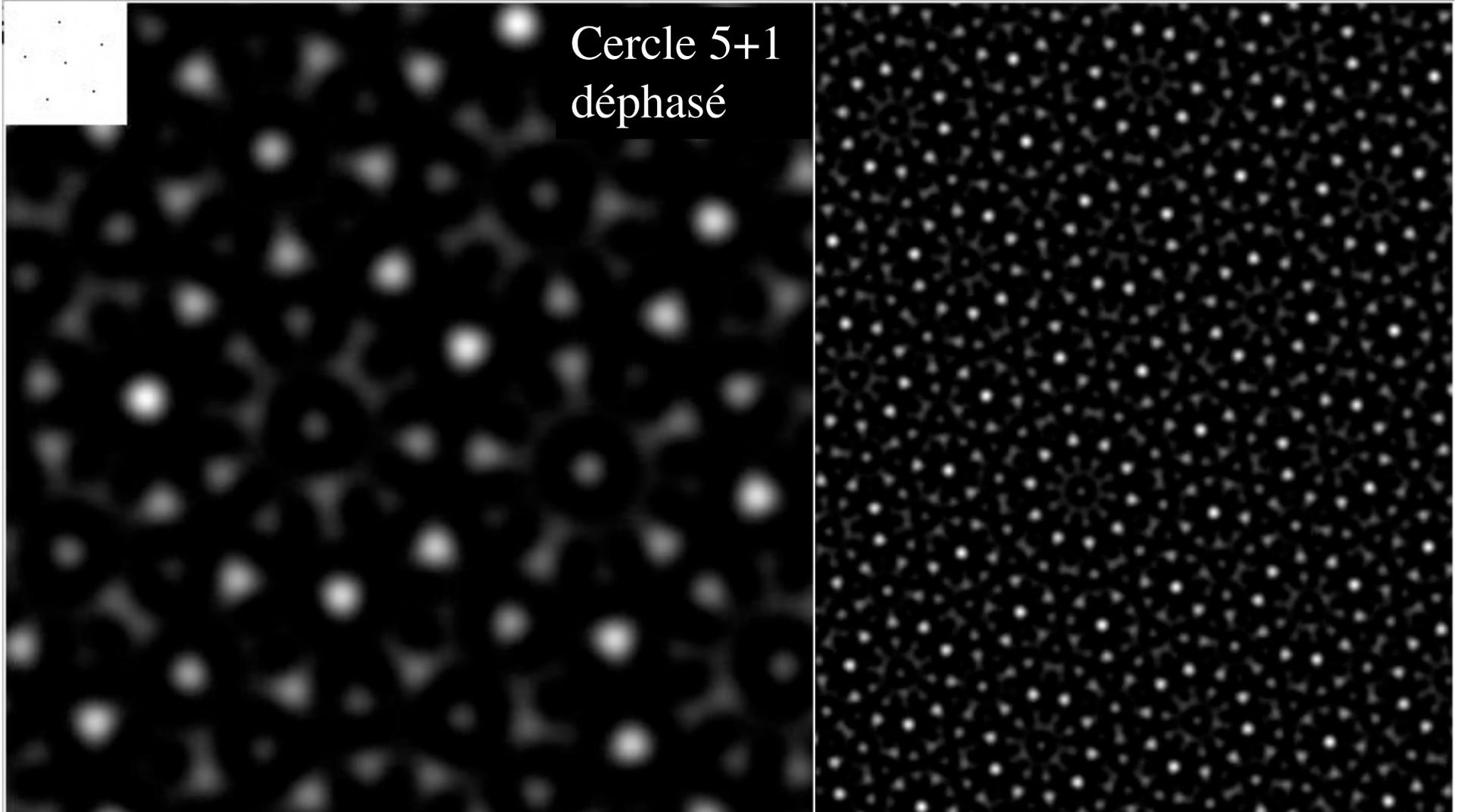
# Application aux hypertélescopes en « speckle interferometry »

- ouverture non-redondante, non phasée: les pics de l'autocorrélation ont tous le même module
- Élimine le bruit de speckles dans la TF des images
- ... s'il n'y a pas d'ombres volantes

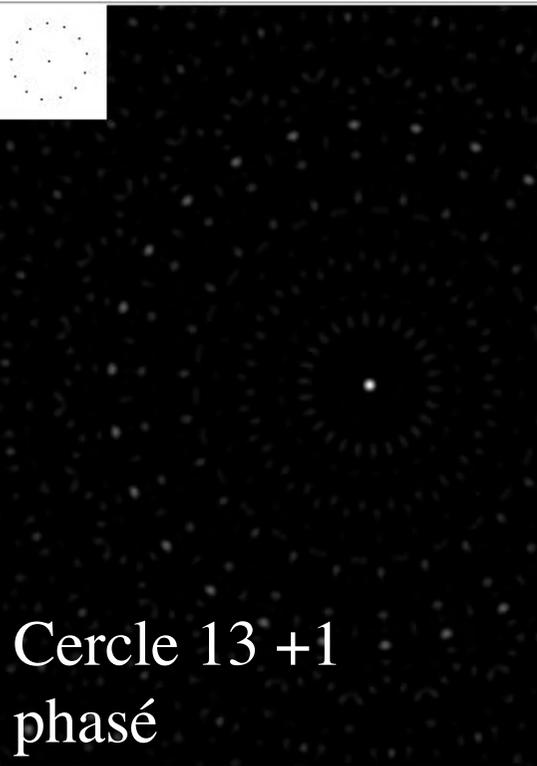
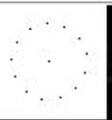
# Ouvertures redondantes ou pas



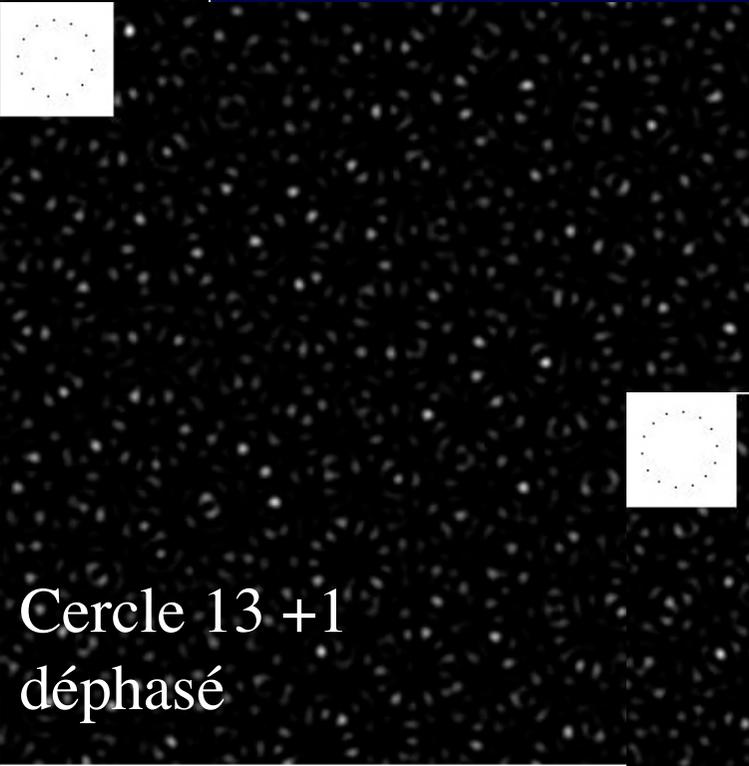
# Ouverture non redondante



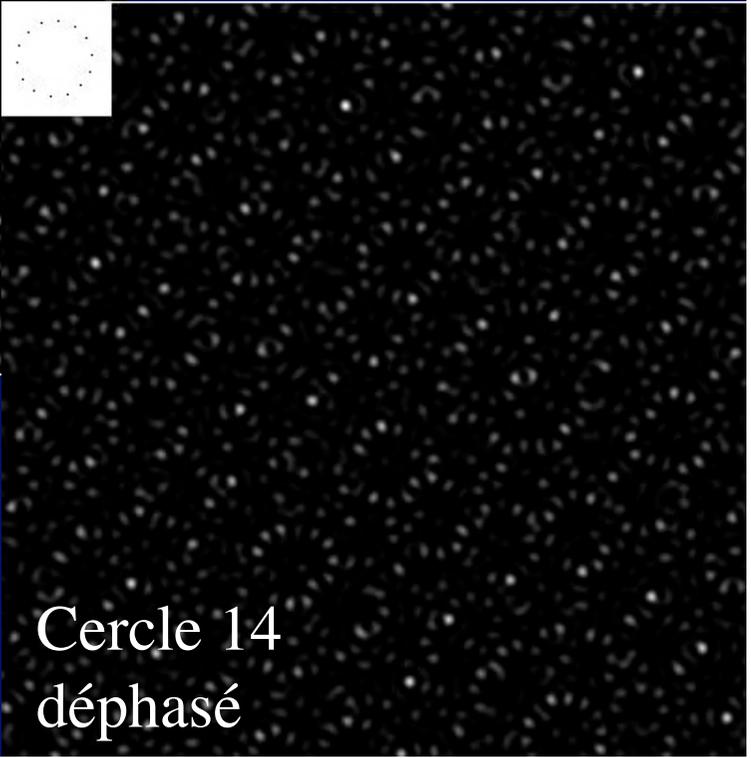
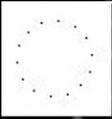
# Ouverture redondante ou pas



Cercle 13 +1  
phasé



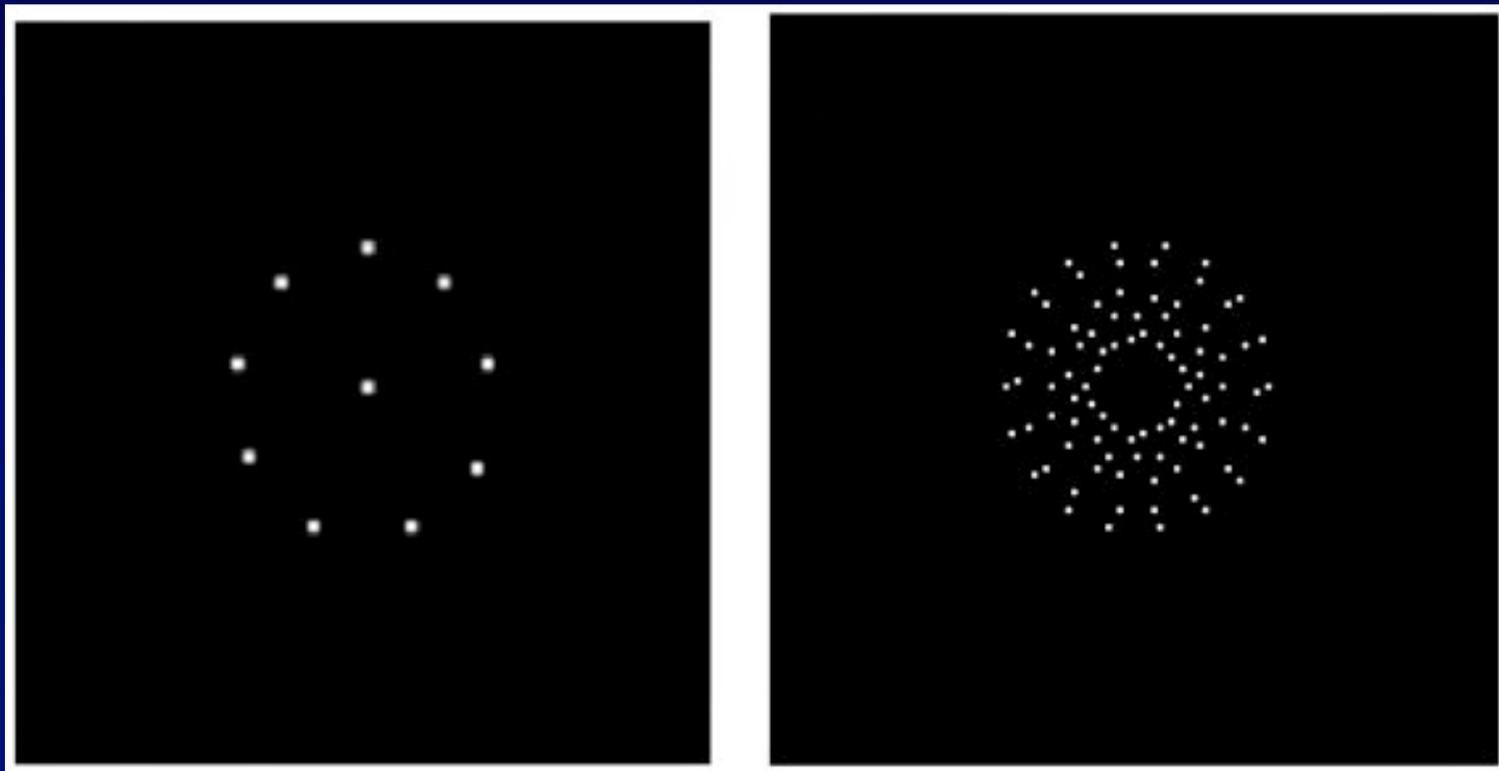
Cercle 13 +1  
déphasé



Cercle 14  
déphasé

# Autocorrélation

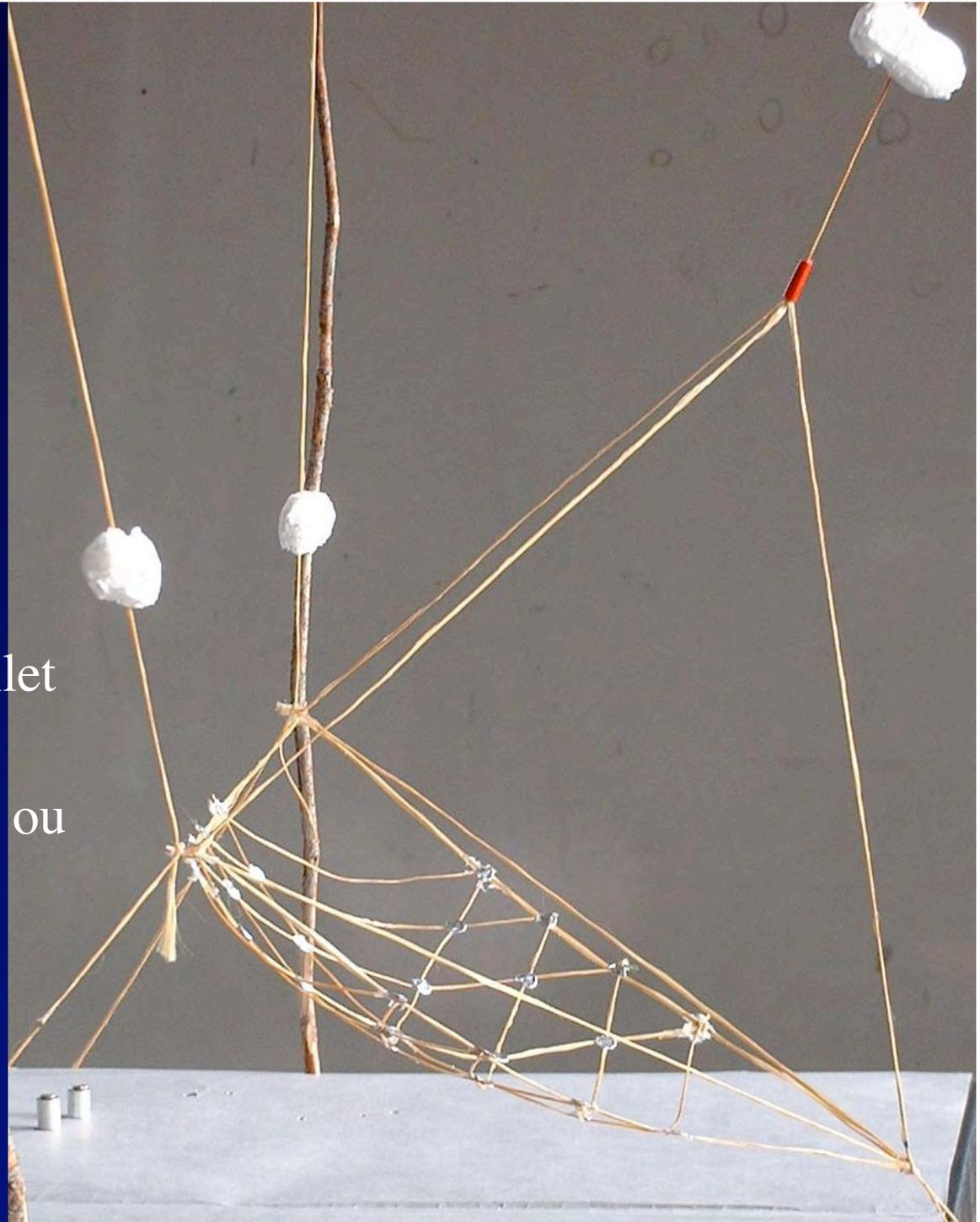
Autocorrélation de cercle 9+1

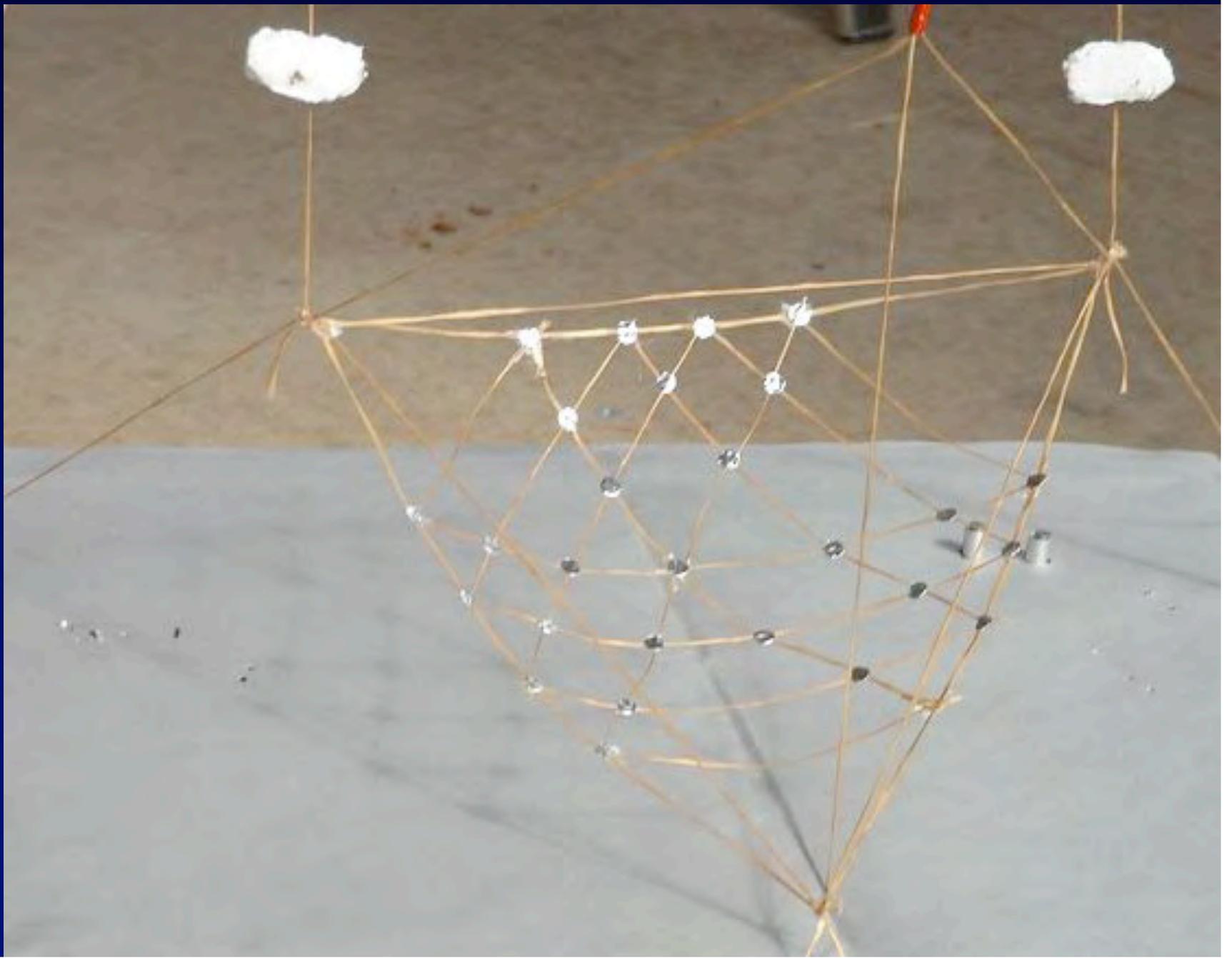


# Hypertélescope dans l'Antarctique ?

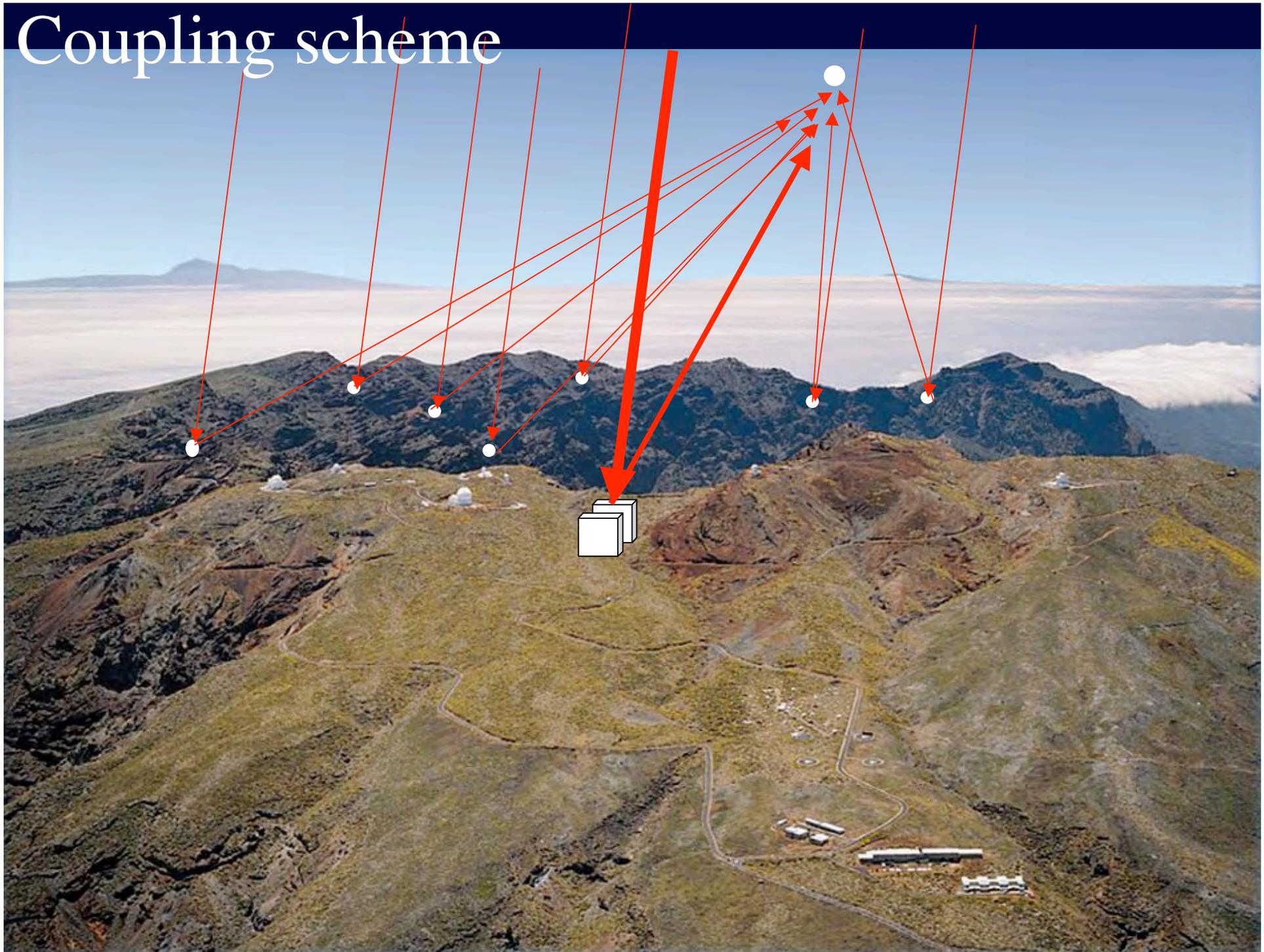
# Hypertelescope au Dôme C (Antarctique)

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

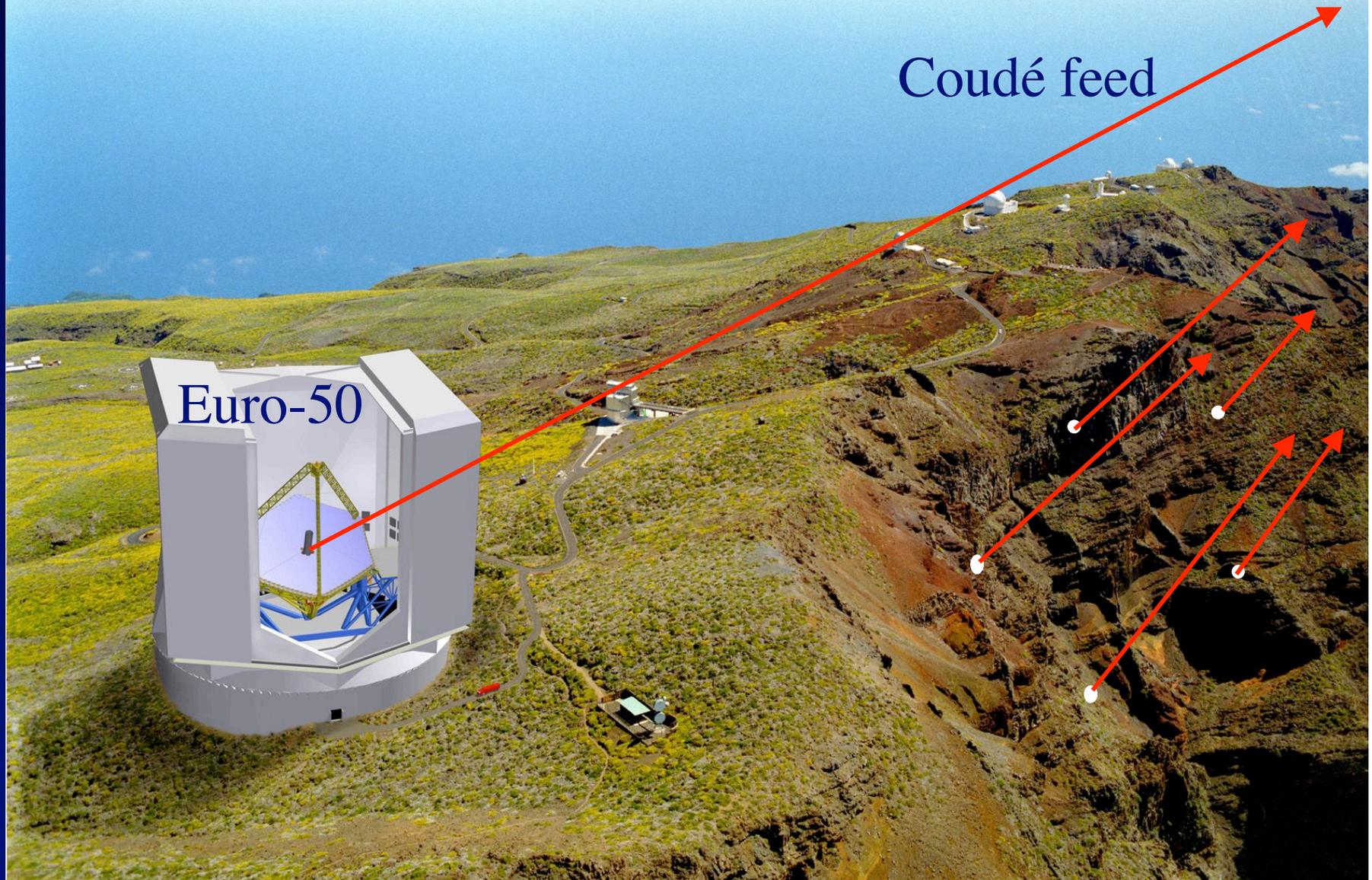




# Coupling scheme

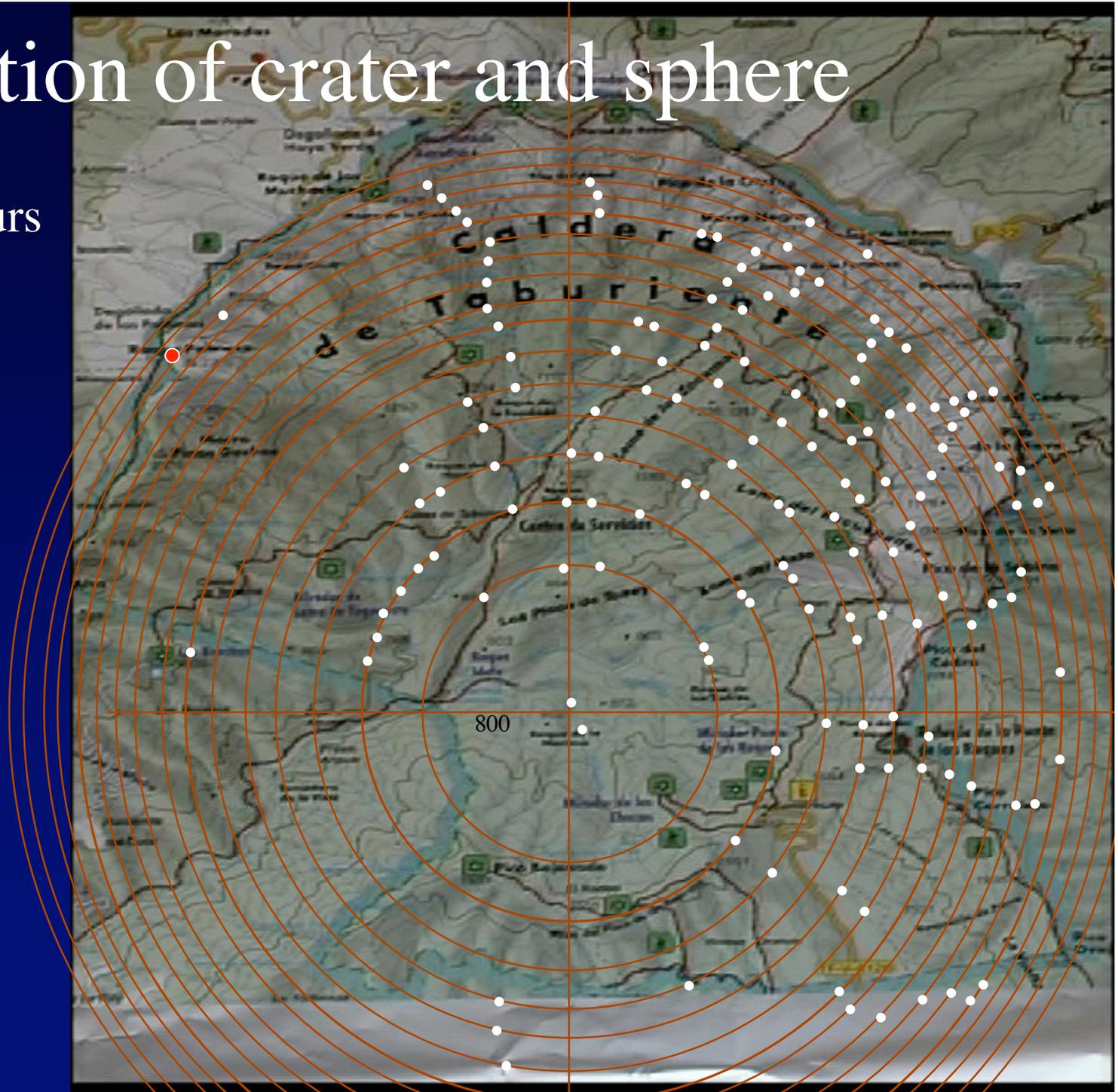


# Roque de las Muchachos, Canarias



# Intersection of crater and sphere

- sphere contours  
100m



A suivre ...