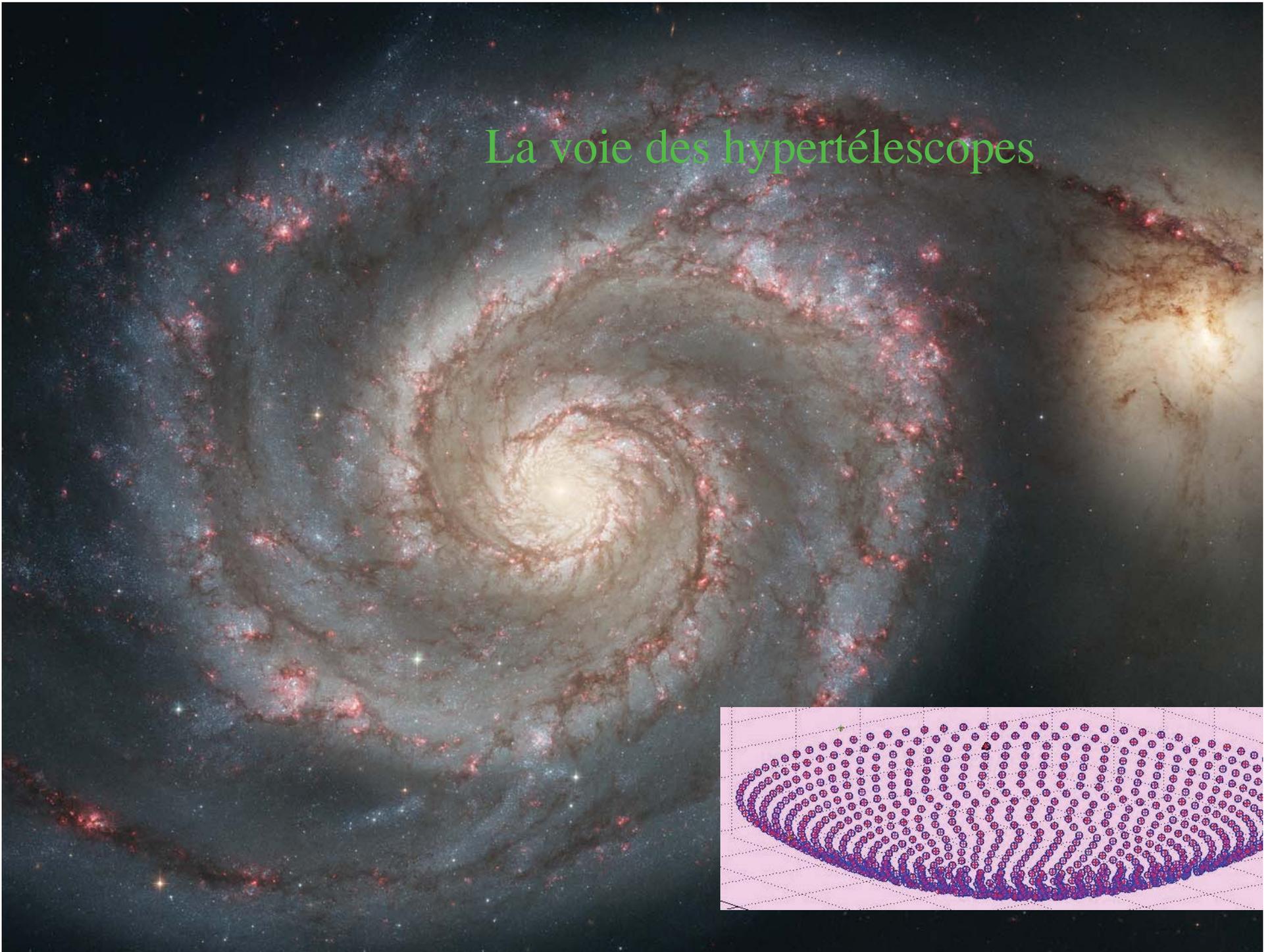


# La voie des hypertélescopes



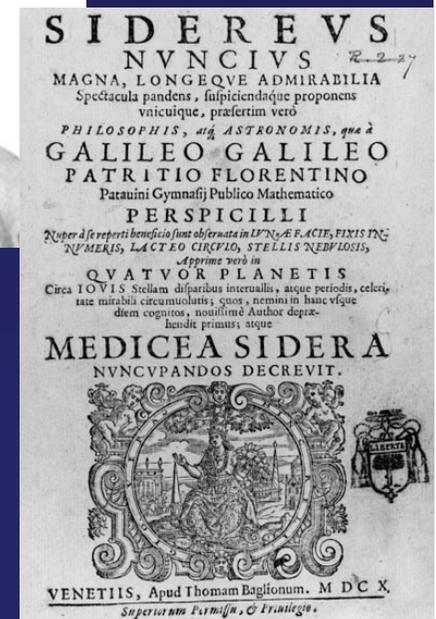
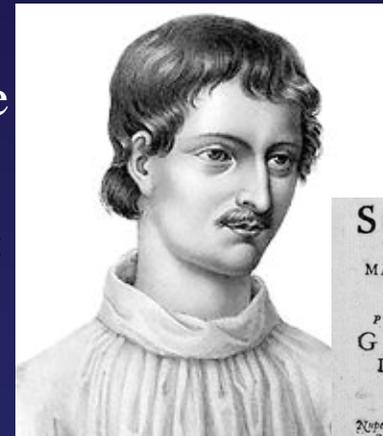
# En Grèce, il y a 2300 ans...

- Aristarque de Samos (310-230) :  
" ...les étoiles fixes et le Soleil sont immobiles...  
la Terre .... se déplace autour du Soleil... »
- Epicure:  
« On ne saurait démontrer qu'il n'existe pas d'autres mondes  
semblables au nôtre ... »

Nicolas Copernic (1473-1543) : reprend Aristarque

Giordano Bruno (1548-1600, brûlé par l'Eglise romaine):  
les étoiles sont de lointains soleils,  
environnés de planètes

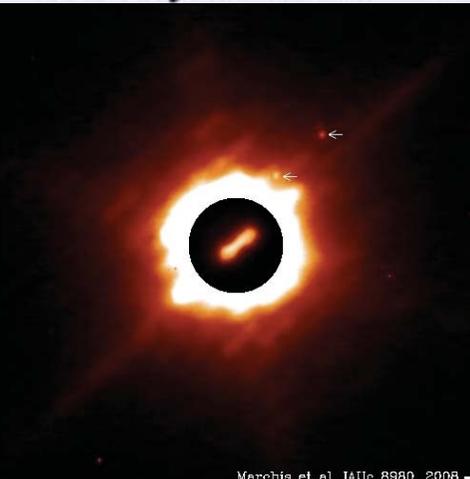
Galilée (1564-1642) : lunette  
condamné par l'Eglise romaine



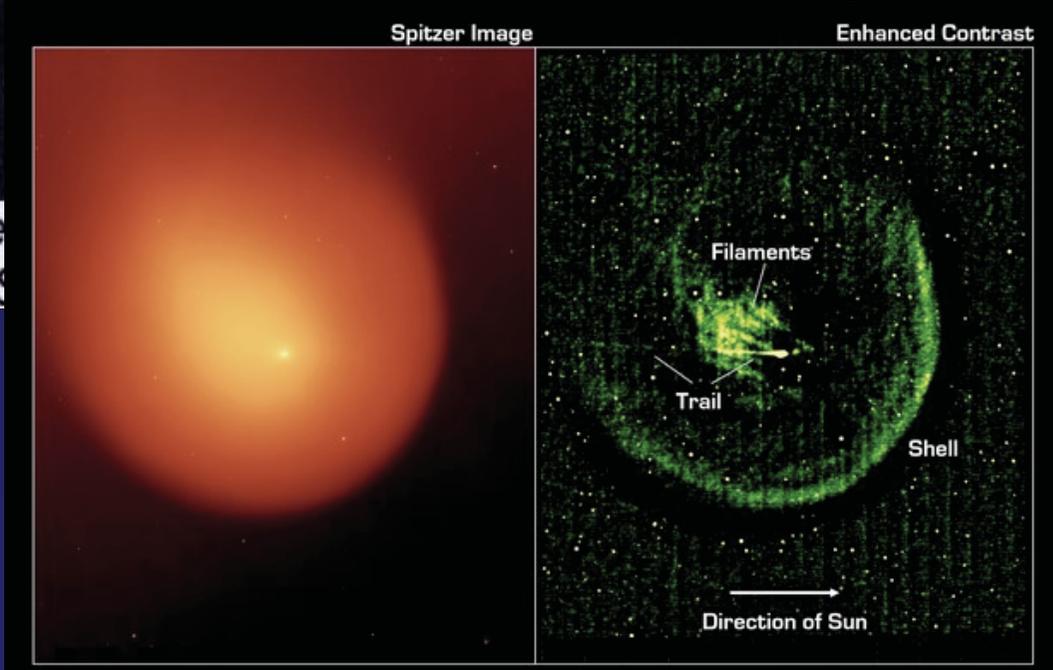
# Comètes



Le noyau de la Comète de Halley te  
l'ES



Marchis et al. IAUc 8980, 2008



Infrared Structure of Comet Holmes  
NASA / JPL-Caltech / W. Reach (SSC-Caltech)

Spitzer Space Telescope • MIPS  
ssc2008-18a

# Prévoir des collisions avec la Terre

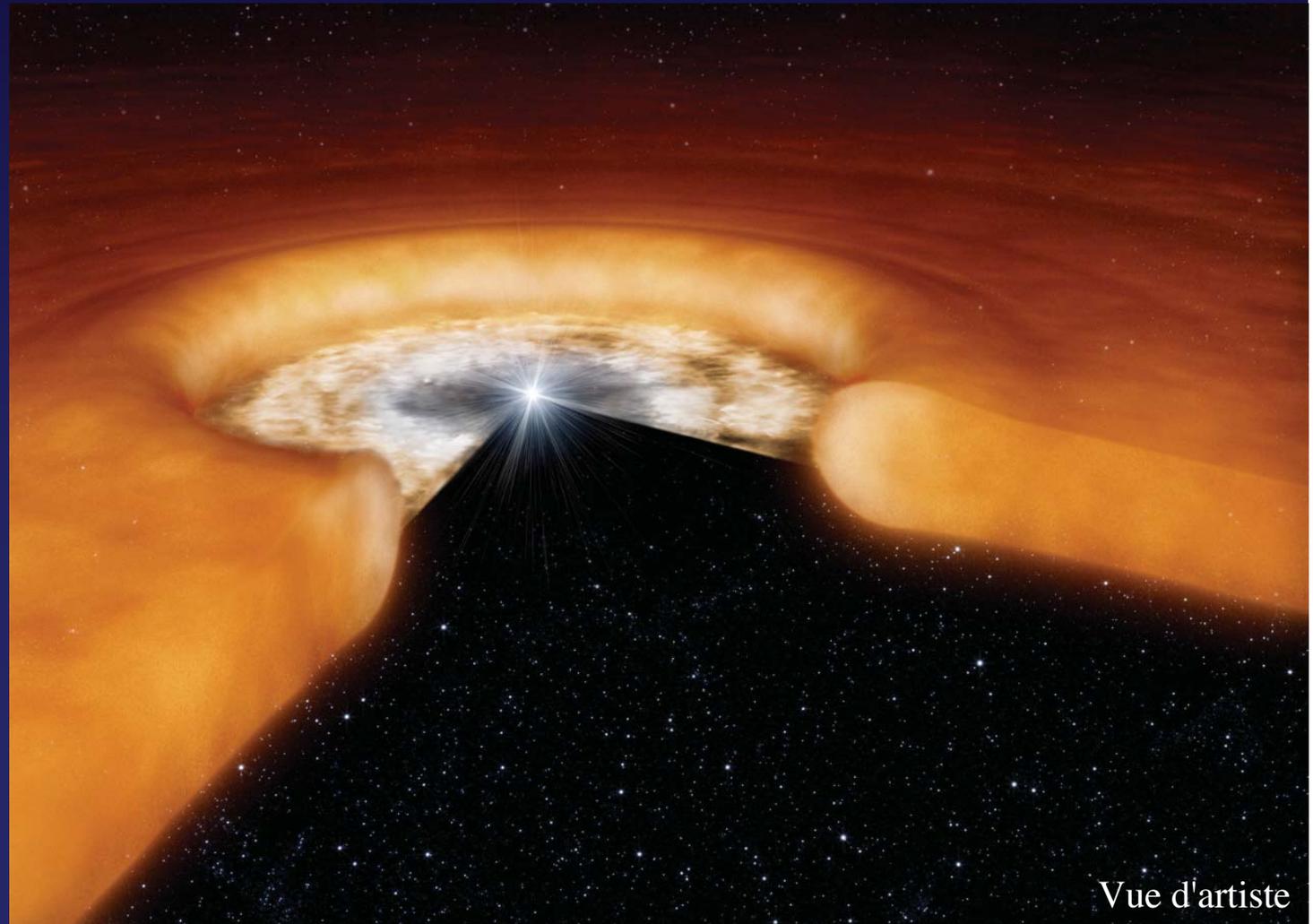


Impact d'astéroïde sur Terre-NASA

# Disque d'une étoile

vu avec le Very Large Telescope Interferometer

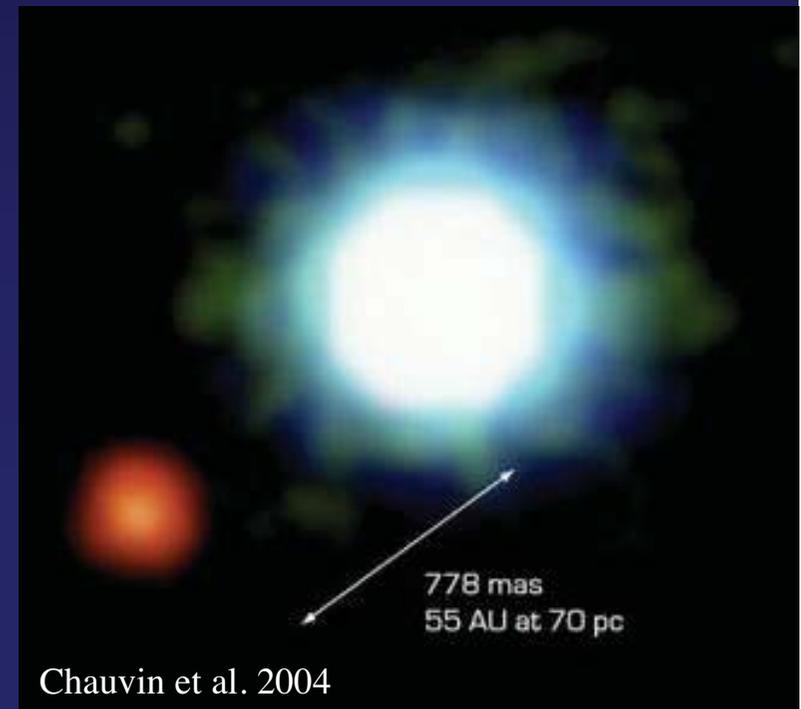
(Tatulli et al. 2008)



Vue d'artiste

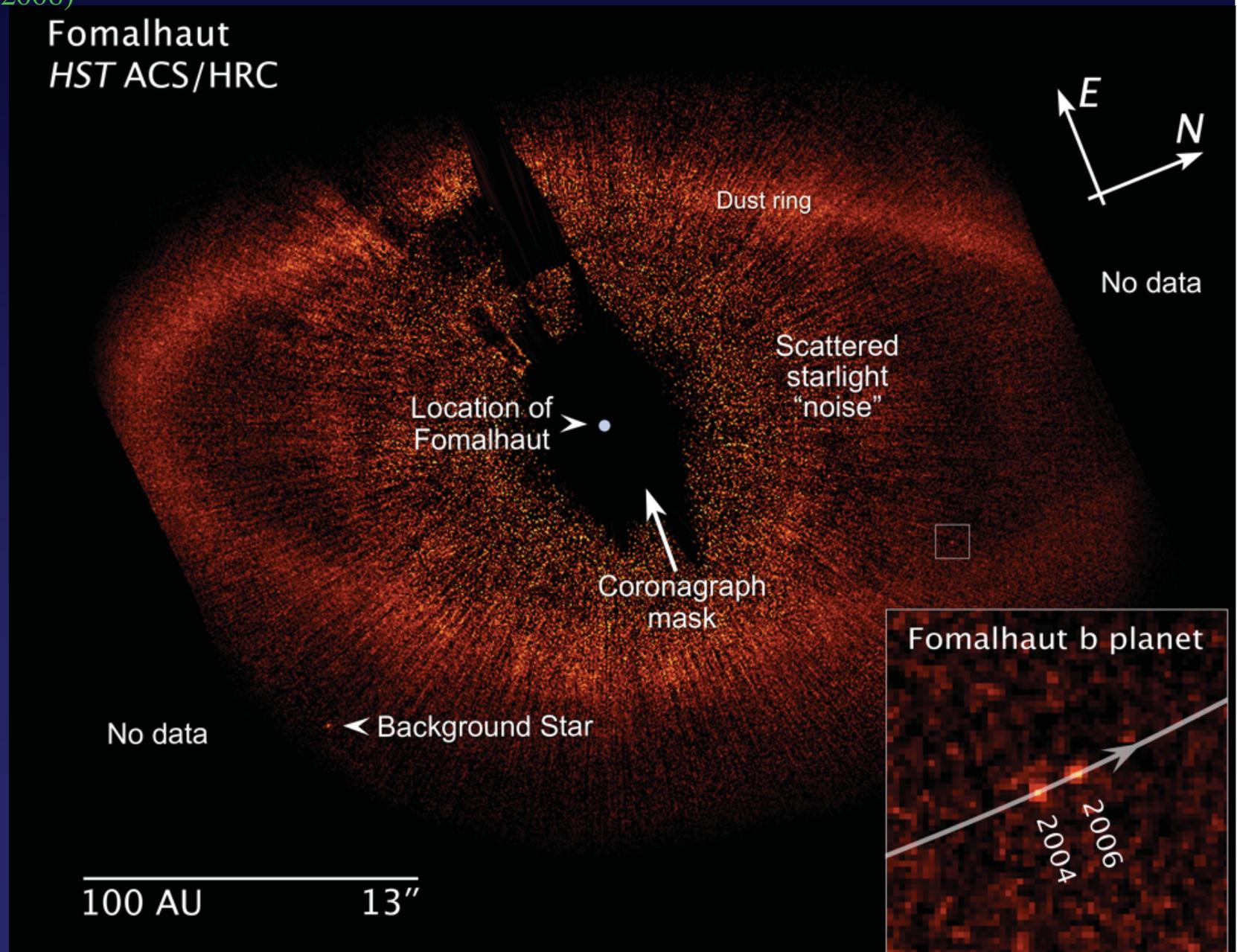
# Planètes extra-solaires

- 300 « exo-planètes » découvertes depuis 13 ans indirectement , mais pas vues, sauf quelques-unes
- Pour les voir:
  - télescopes géants:
    - Monolithiques de diamètre 8m
    - Mosaiques de 10 m
    - Projets de 30 et 42m
  - Interféromètres et hypertélescopes
- Télescopes dans l'espace



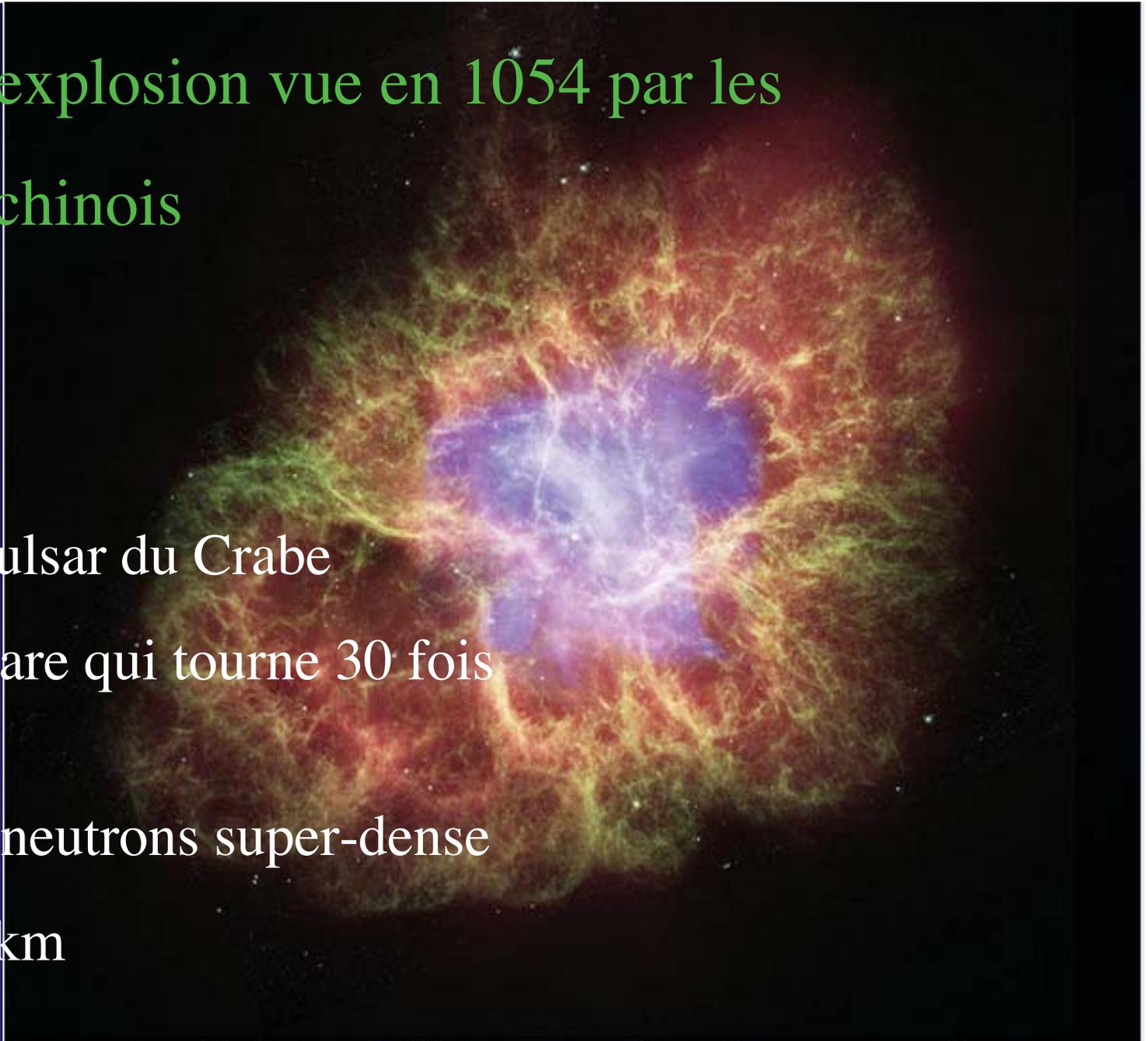
# Planète vue par le télescope Hubble et coronographe

(Kalas et al., 2008)



# Reste d'une explosion vue en 1054 par les astronomes chinois

- contient le Pulsar du Crabe
- ... un gyrophare qui tourne 30 fois par seconde
- une étoile à neutrons super-dense
- Diamètre 20 km

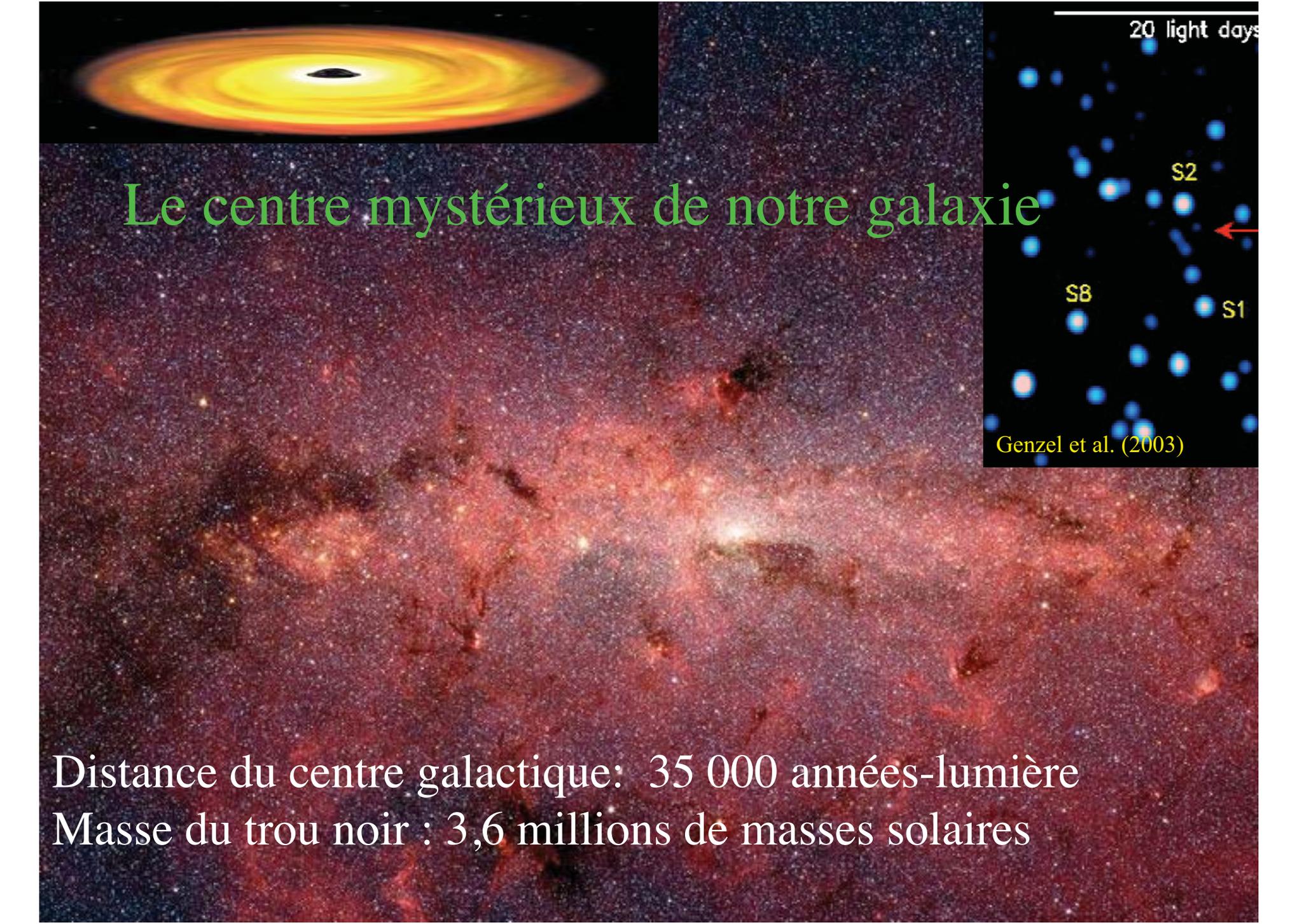


*La nébuleuse du Crabe vue par les télescopes spatiaux Chandra, Hubble et Spitzer*

# Le nuage d'Orion

- Poussière, hydrogène
- Nourissant la formation d'étoiles

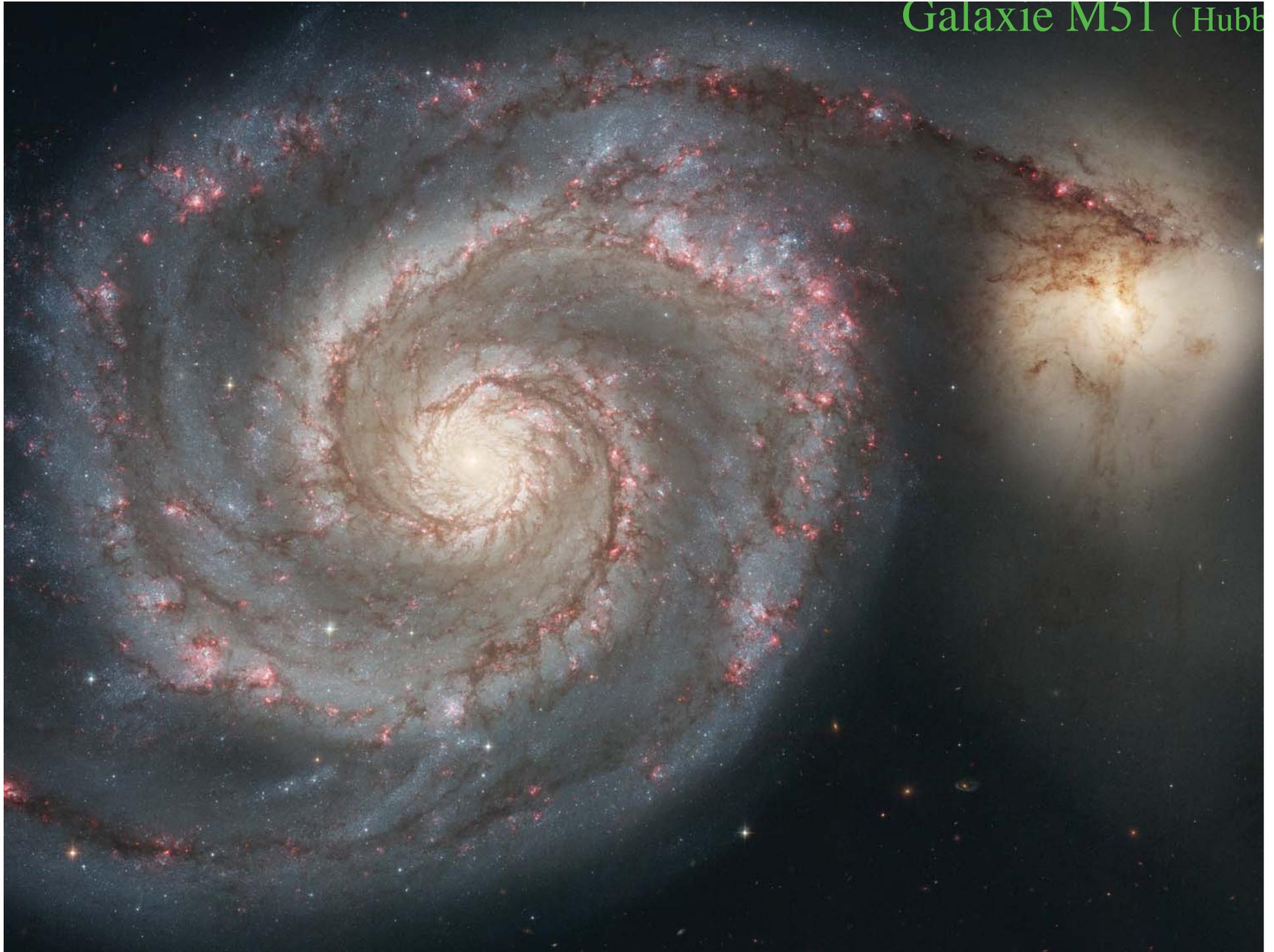




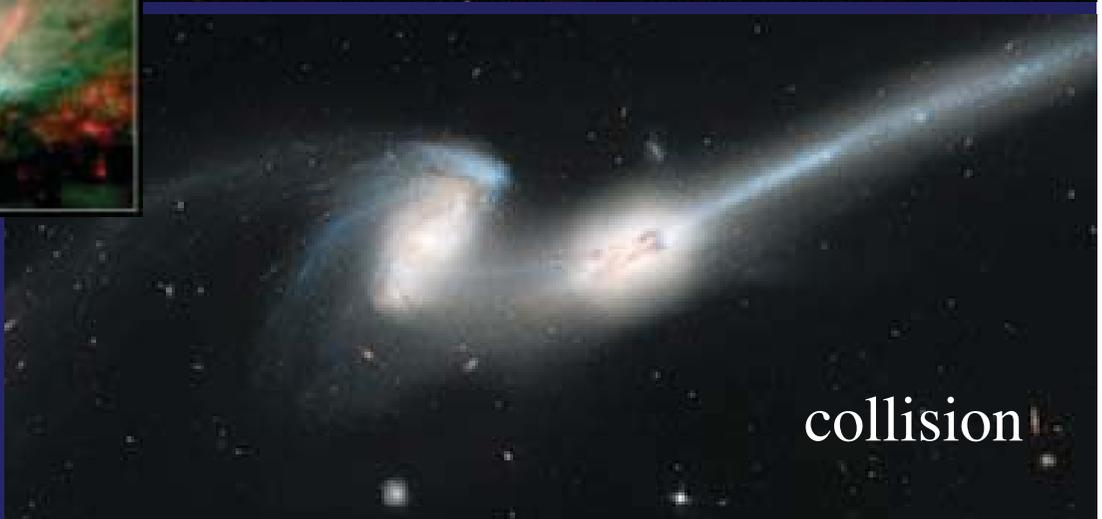
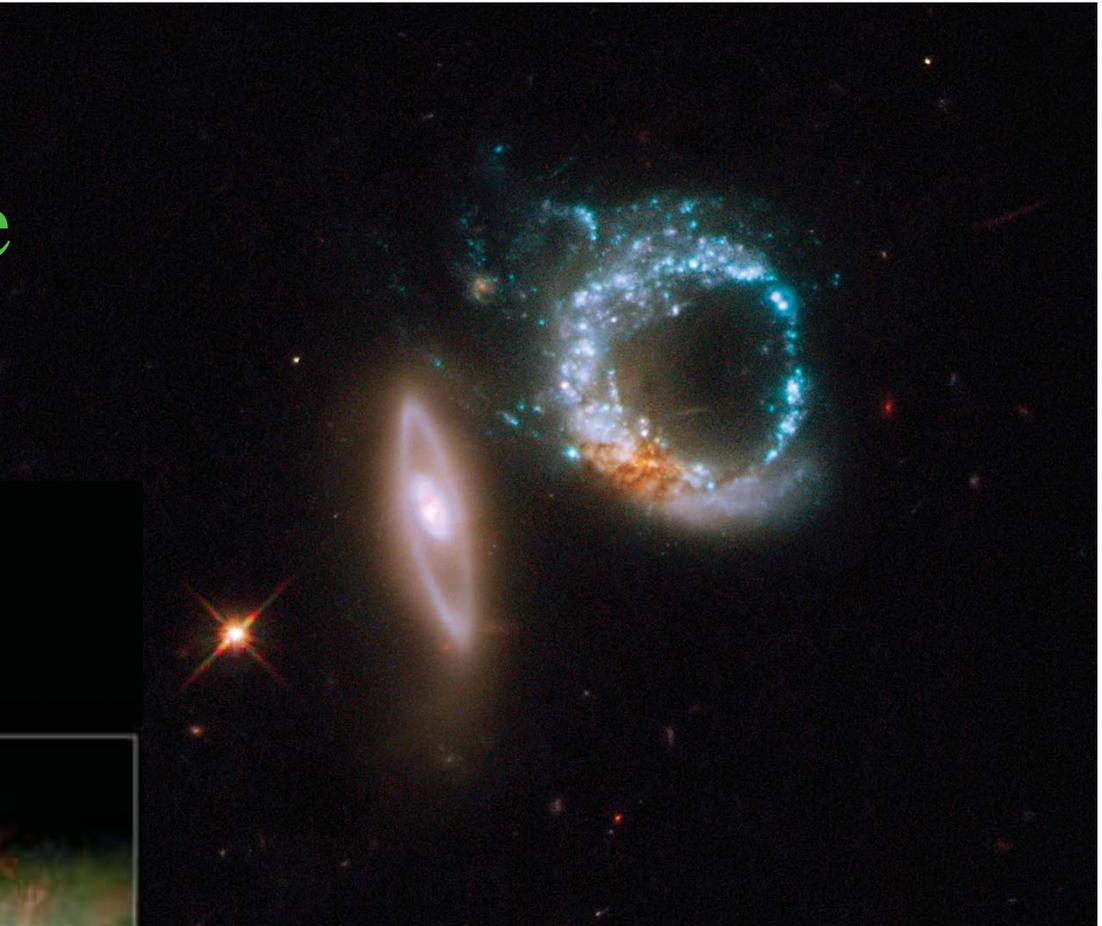
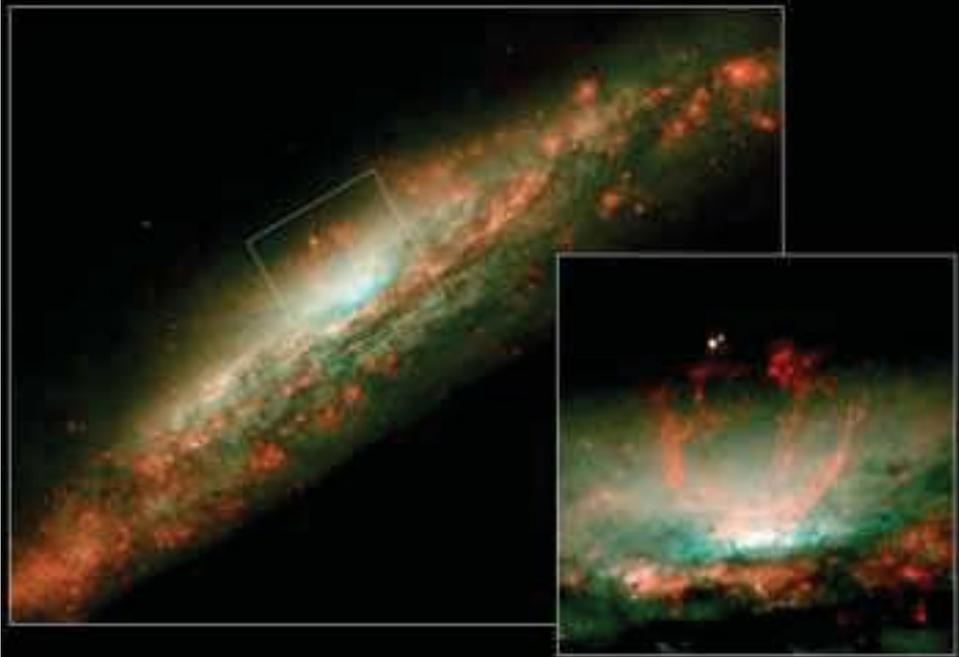
## Le centre mystérieux de notre galaxie

Distance du centre galactique: 35 000 années-lumière  
Masse du trou noir : 3,6 millions de masses solaires

Galaxie M51 (Hubble)



# Galaxies, au delà de la nôtre



## Jet du quasar 3C273

- Rayons X, visible, radio
- Vitesses apparentes dépassant celle de la lumière
- ...explicable par effet de perspective



# Limites de l'Univers connu

## Pose longue du télescope Hubble

- Galaxies à des milliards d'années lumière
- Voir au delà, plus loin, donc plus ancien



## Grandes énigmes:

### Matière sombre

- la rotation des galaxies, leur effet de lentille gravitationnelle sur des sources d'arrière plan, ne correspondent pas à l'effet gravitationnel de la matière observée
- Il semble y avoir de la masse invisible
- mais sous quelle forme ?

Masse cachée

Matière émissive X



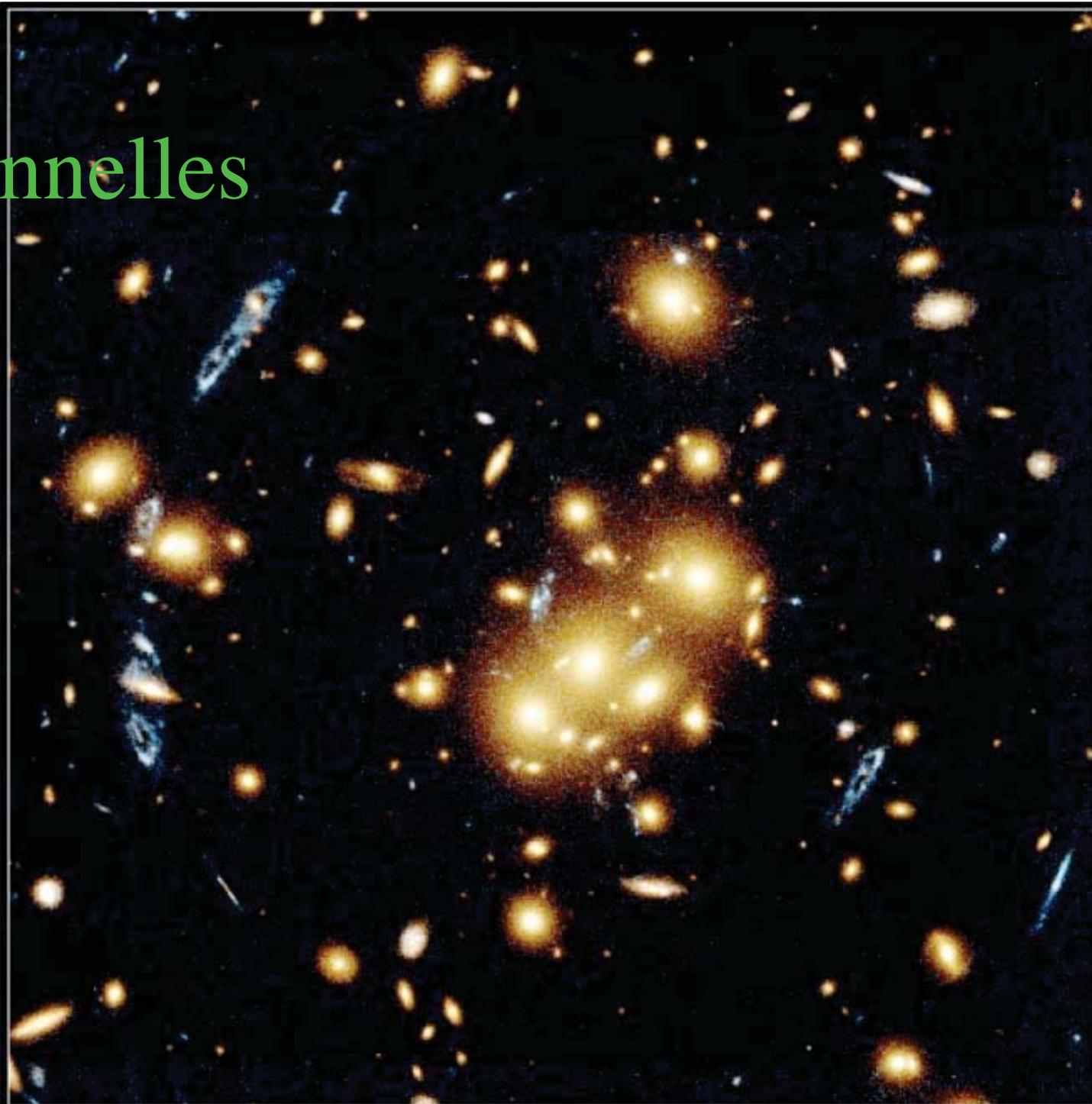
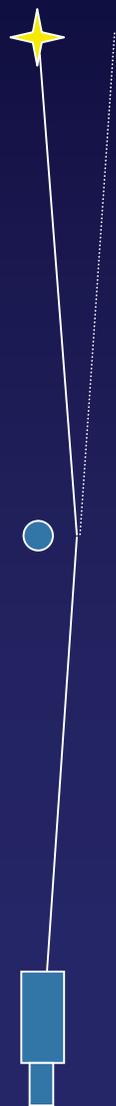
Grandes énigmes:

## Energie sombre

- Observations récentes de supernovae:
  - expansion accélérée de l'Univers ?
- Répulsion par une hypothétique "énergie sombre" ?

Hubble Space Telescope Ultra Deep Field

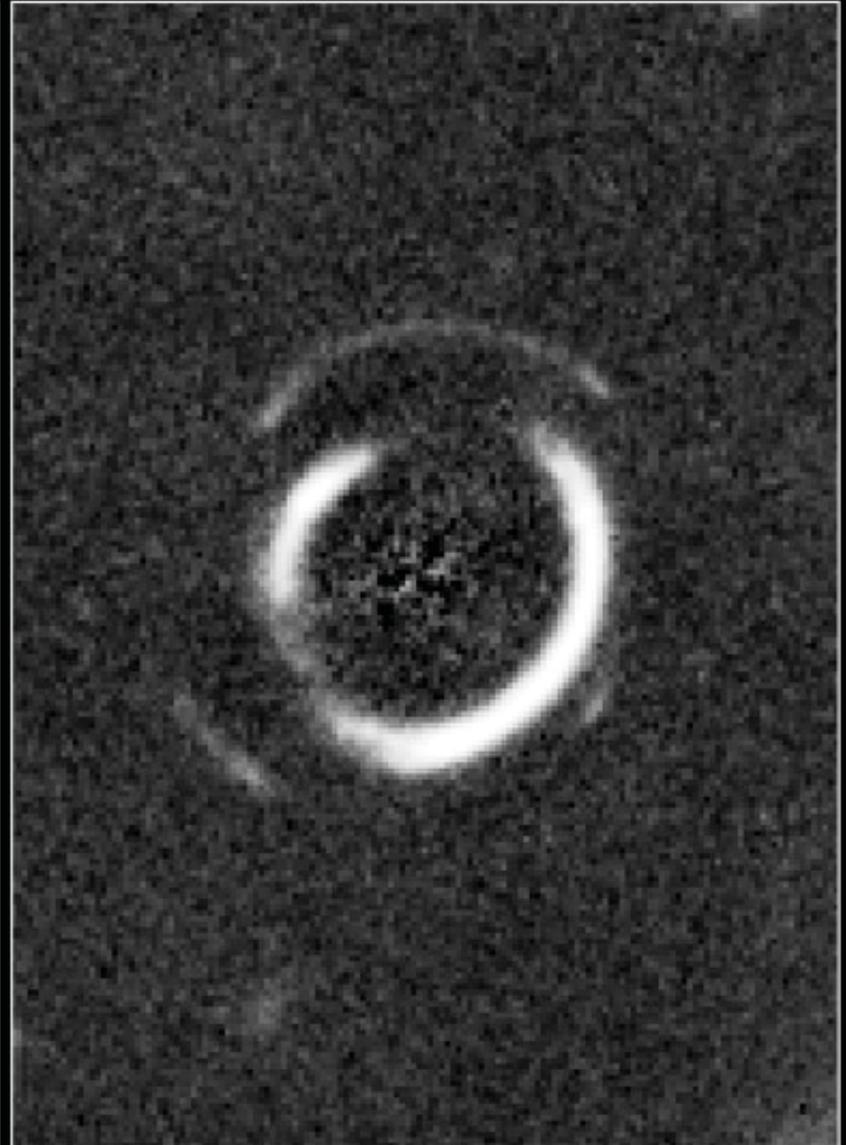
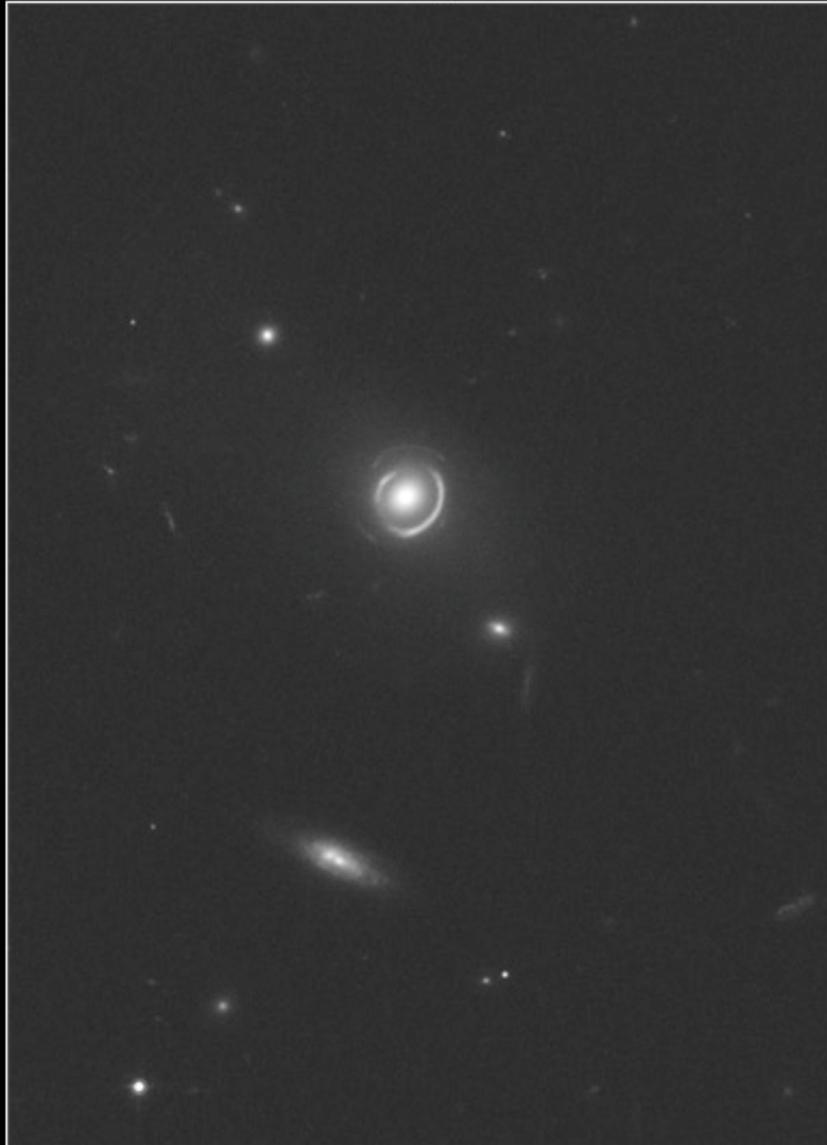
# Lentilles gravitationnelles



# Lentille gravitationnelle

Double Einstein Ring SDSSJ0946+1006

Hubble Space Telescope ■ ACS/WFC



NASA, ESA, R. Gavazzi and T. Treu (University of California, Santa Barbara),  
and the SLACS Team

STScI-PRC08-04

# Agrandir les télescopes pour mieux voir



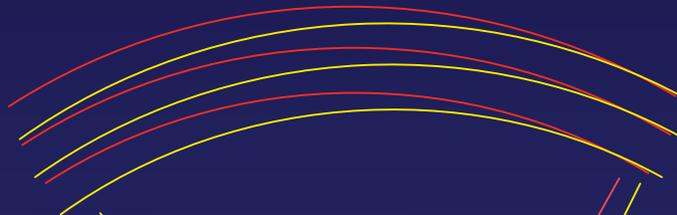
Ondes planes



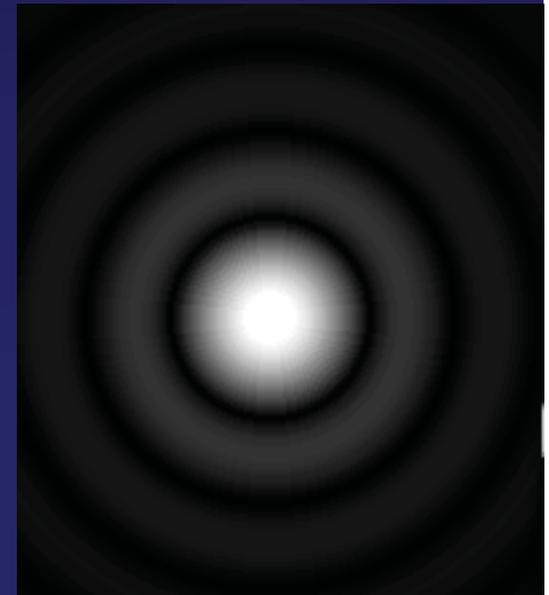
Lentille



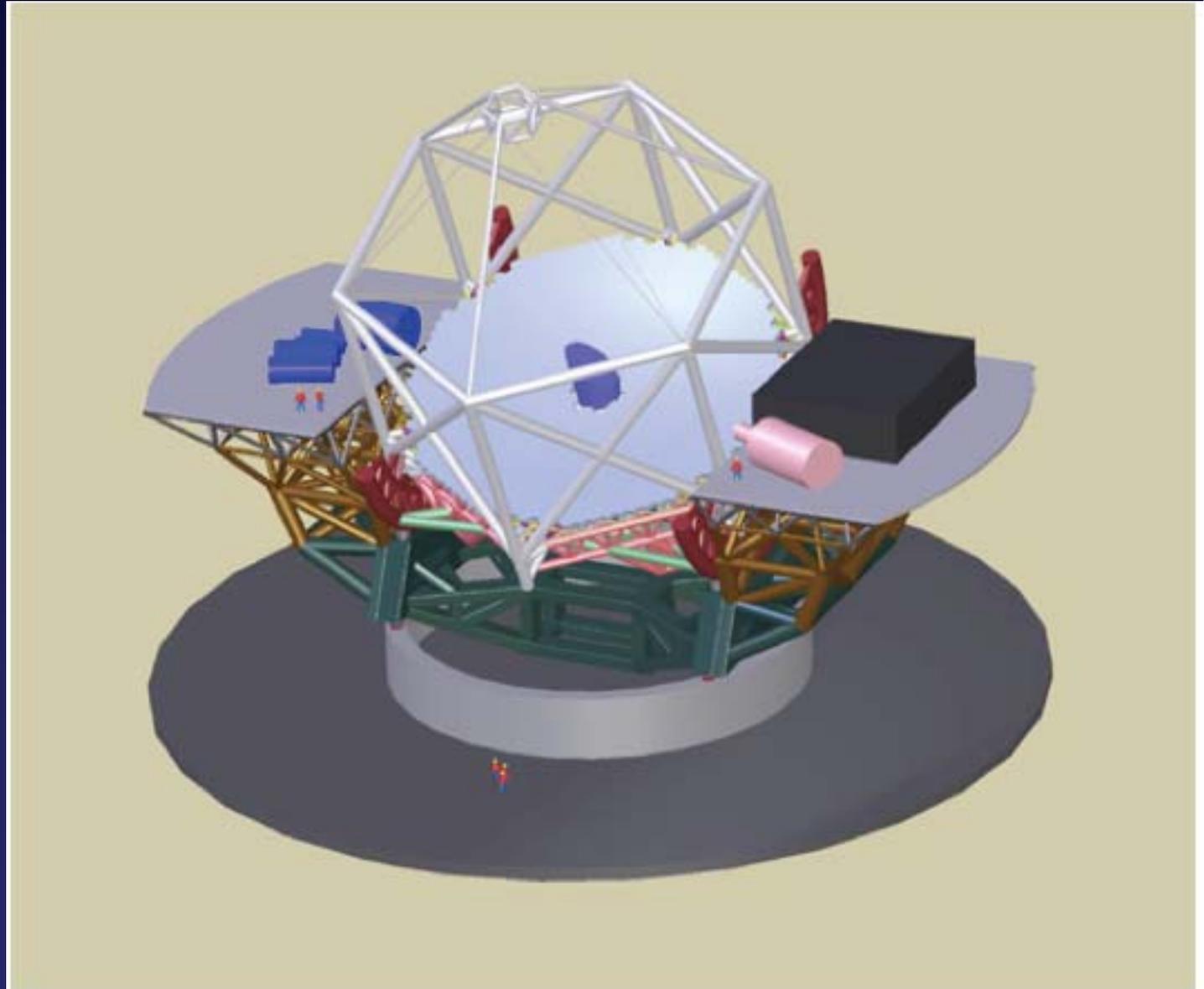
Ondes sphériques



Caméra



# Projet de télescope de 30m

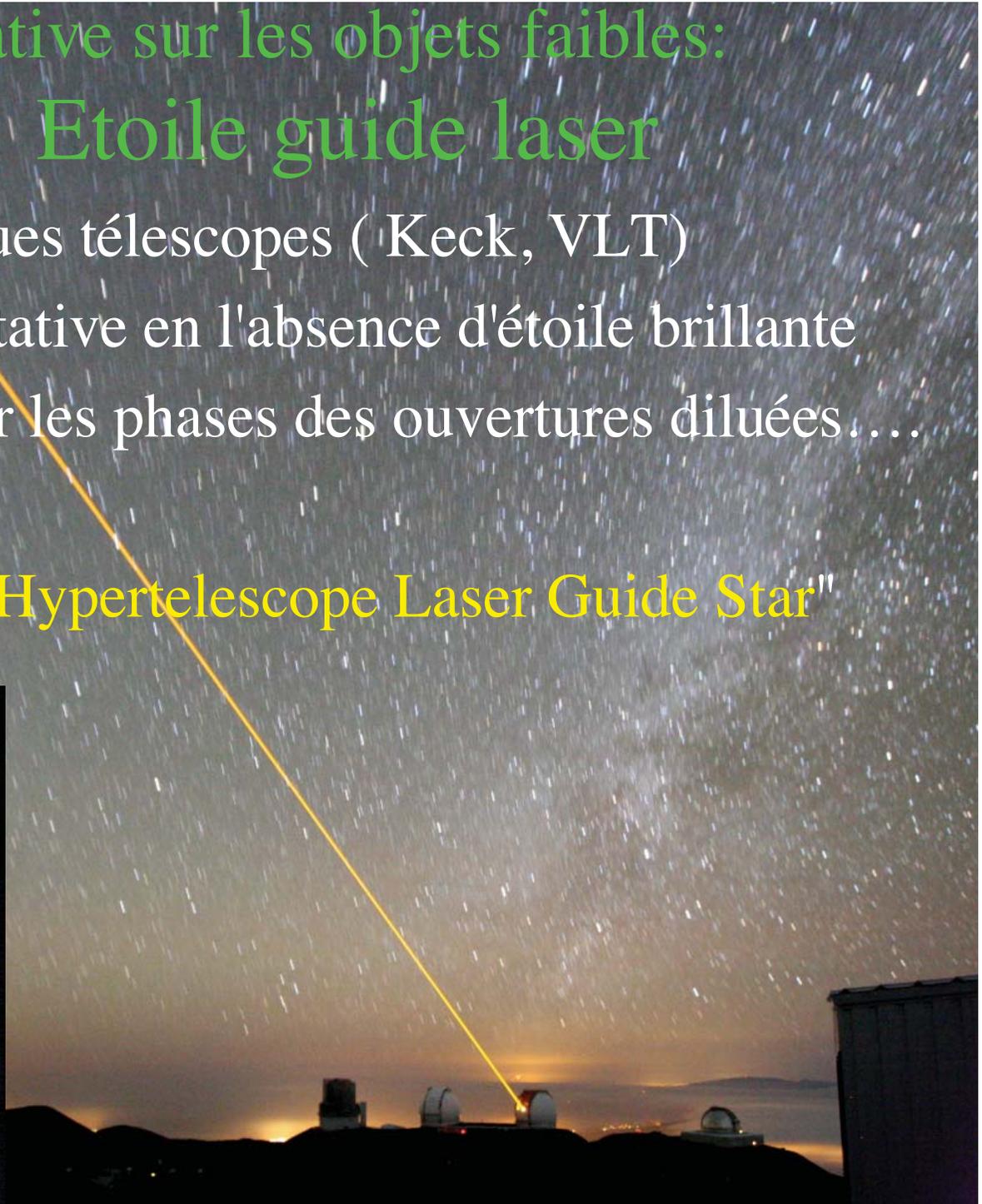
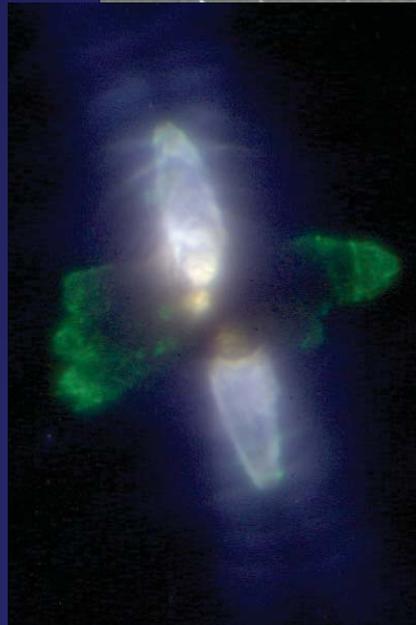
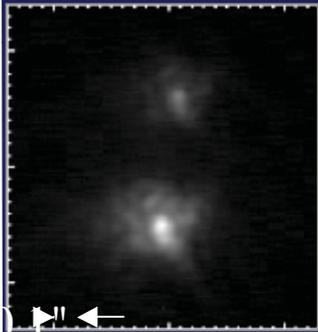


**Figure 1 Thirty Meter Telescope with instruments on Nasmyth platforms**

# Mise en phase adaptative sur les objets faibles:

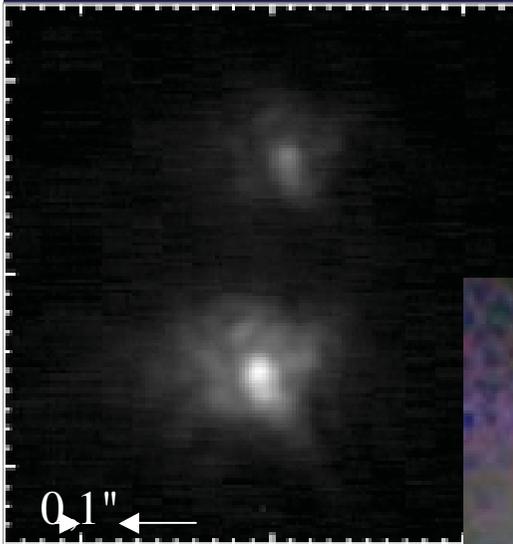
## Etoile guide laser

- Fonctionne sur quelques télescopes ( Keck, VLT)
- Anime l'optique adaptative en l'absence d'étoile brillante
- Inutilisable pour relayer les phases des ouvertures diluées....
- ...Quoique:  
... version modifiée "Hypertelescope Laser Guide Star"

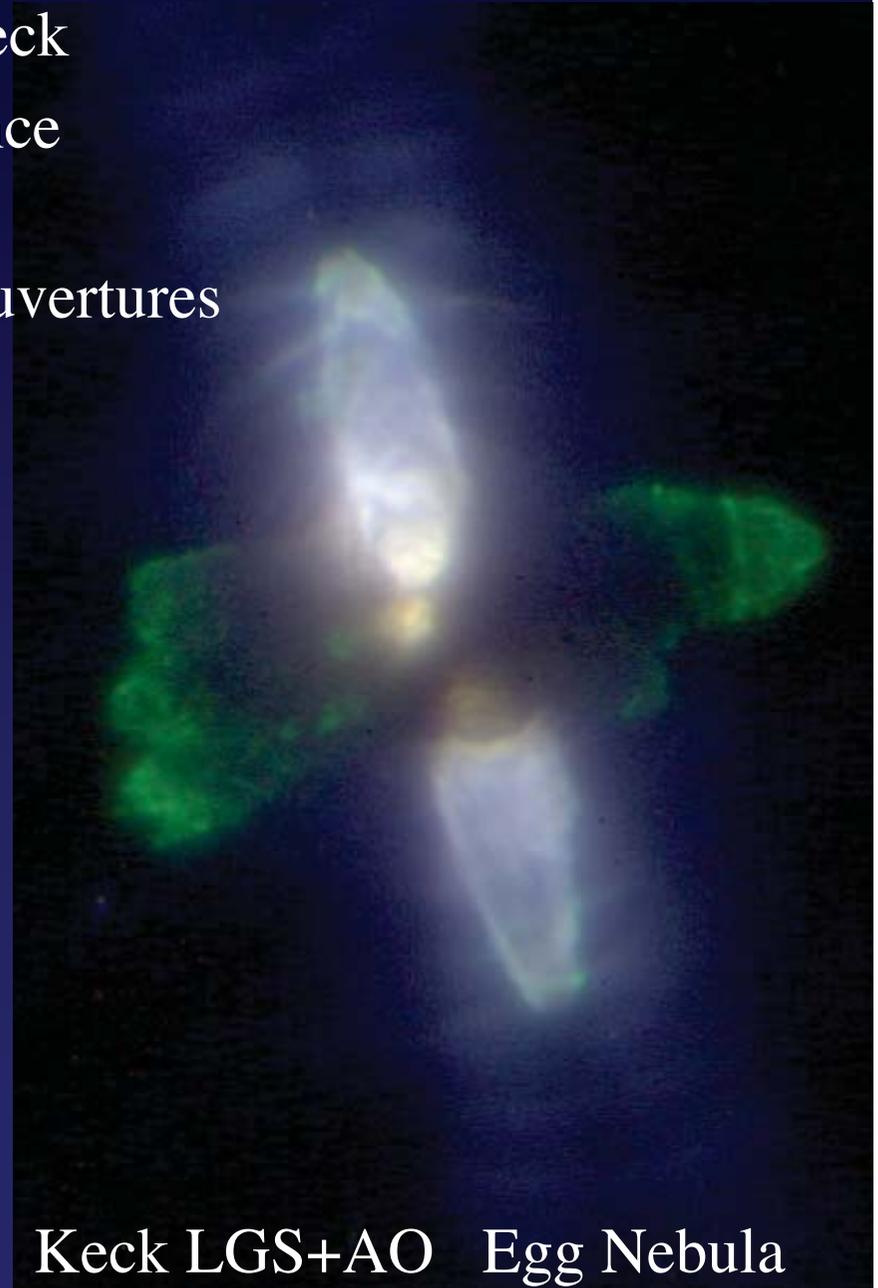


## Etoile guide laser

- Fonctionne sur des télescopes, sur Keck
- Anime l'optique adaptative en l'absence d'étoile brillante
- Inutilisable pour relier les phases d'ouvertures diluées.... Quoique ...



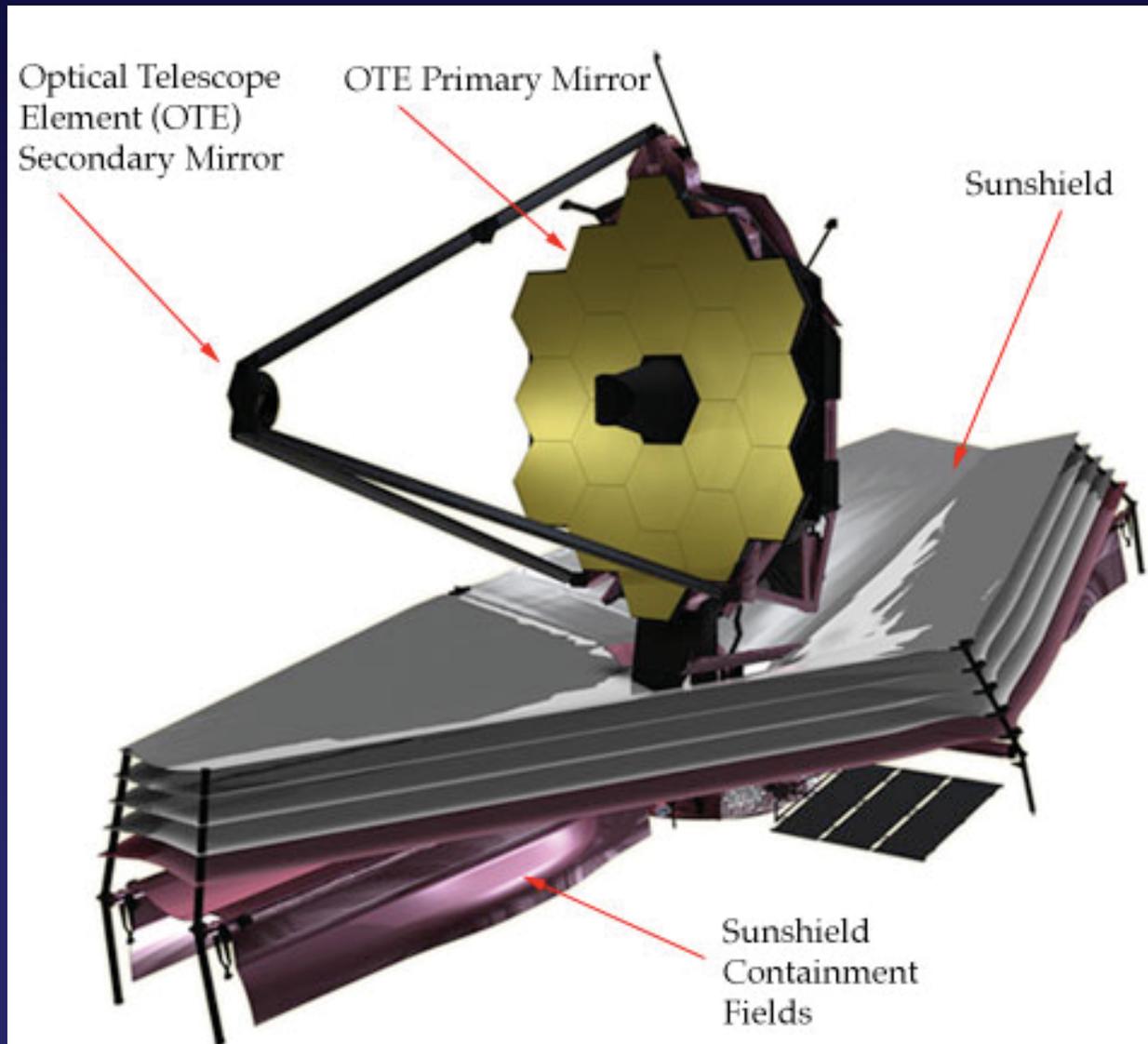
Noyau binaire de galaxie



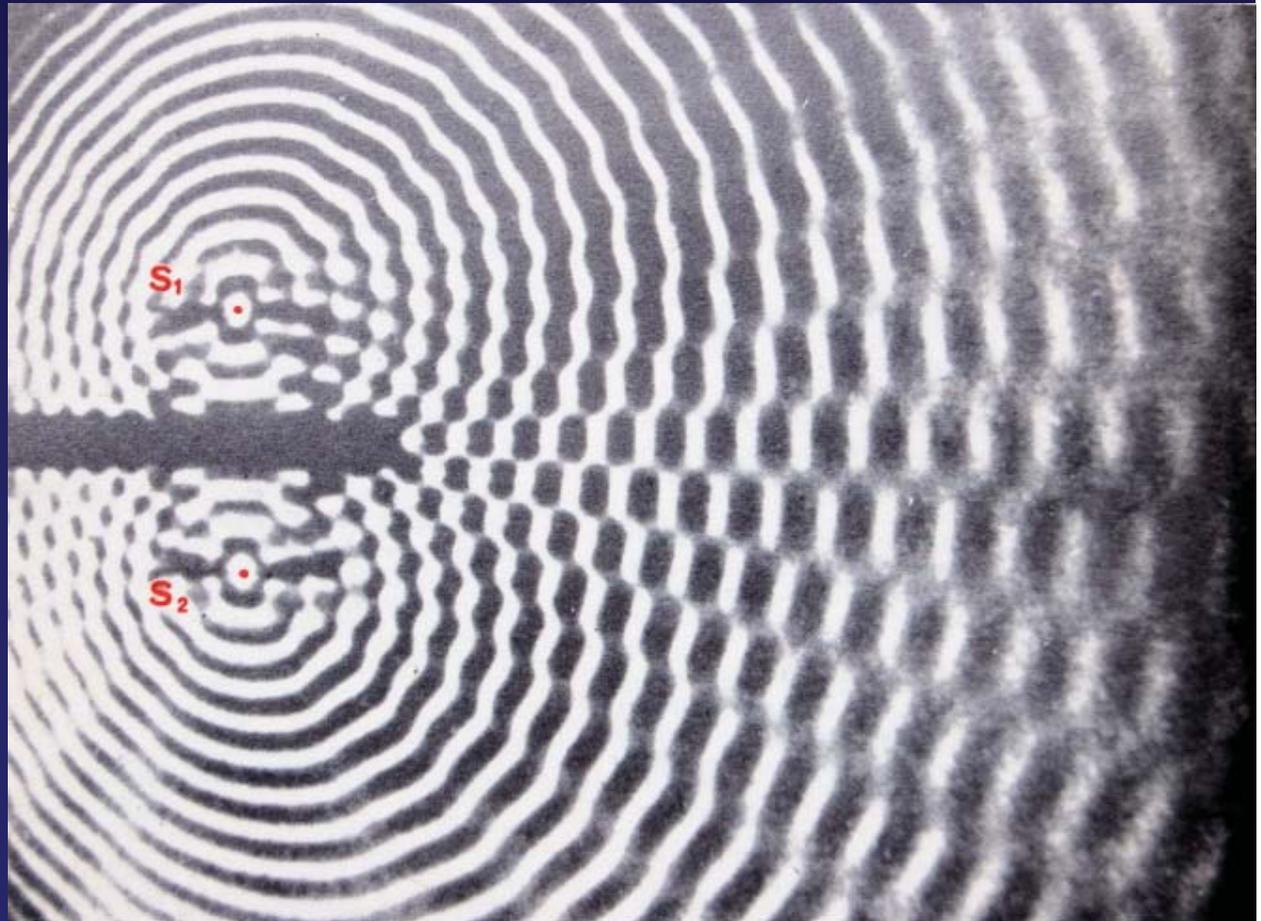
Keck LGS+AO Egg Nebula

# Successeur de Hubble

Equipé de coronographe exo-planétaire



# Interférences des ondes

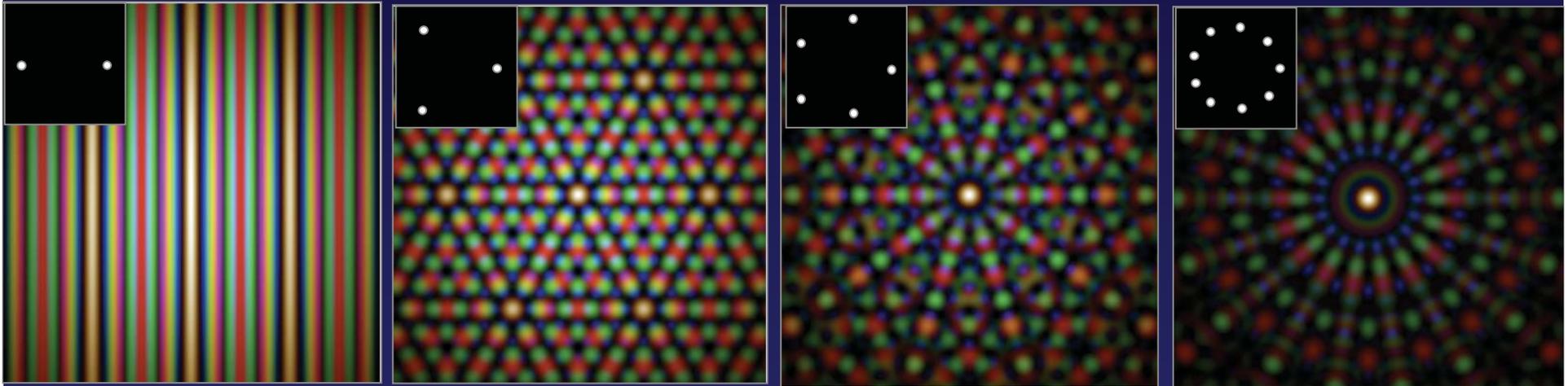
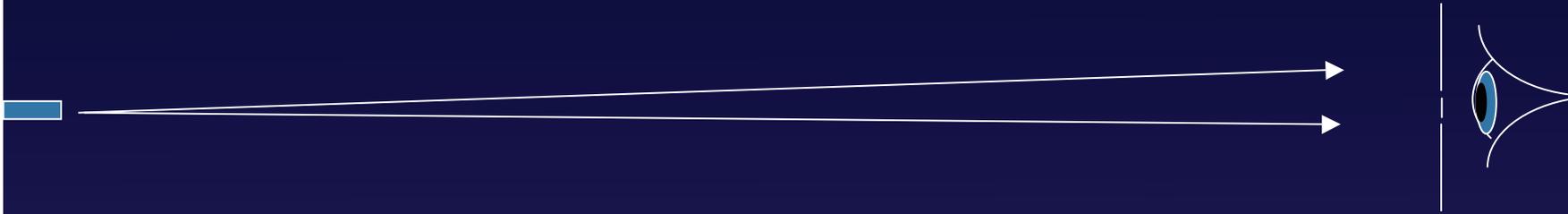


Les couleurs brillantes de la nature  
sont produites par des interférences



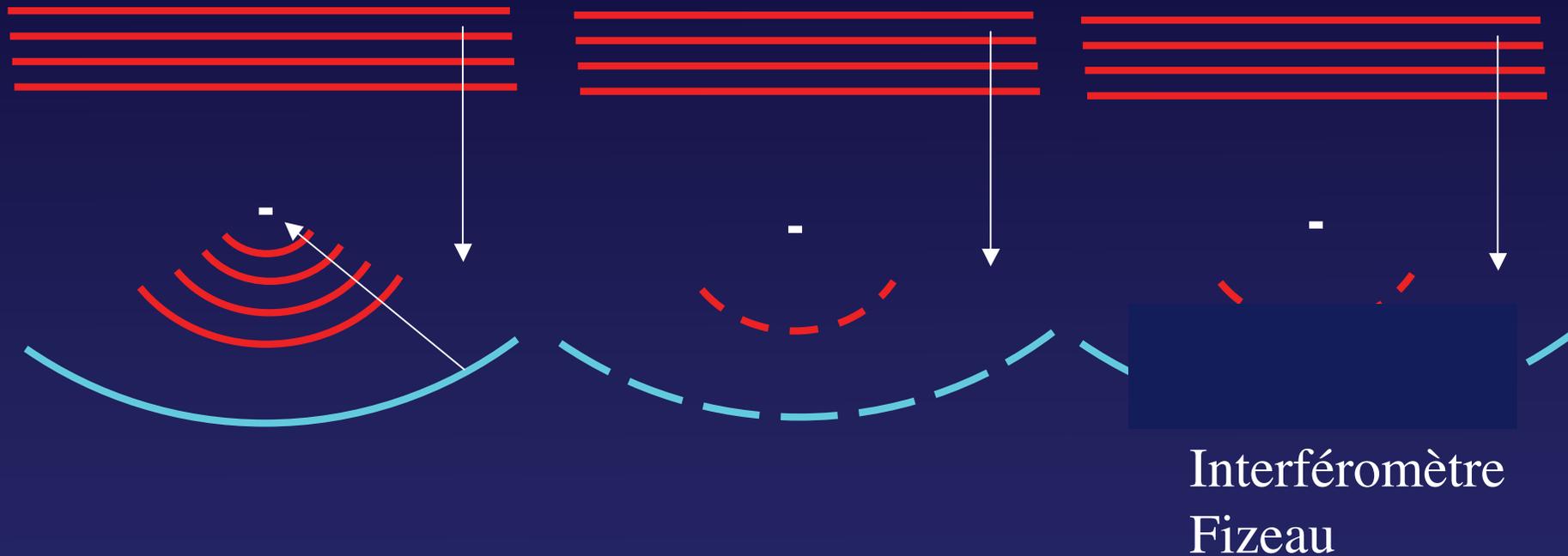
*Calosomus sycophanta*

# Point lumineux observé à travers de petits trous



- Interférences

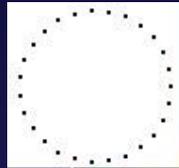
# Interféromètre



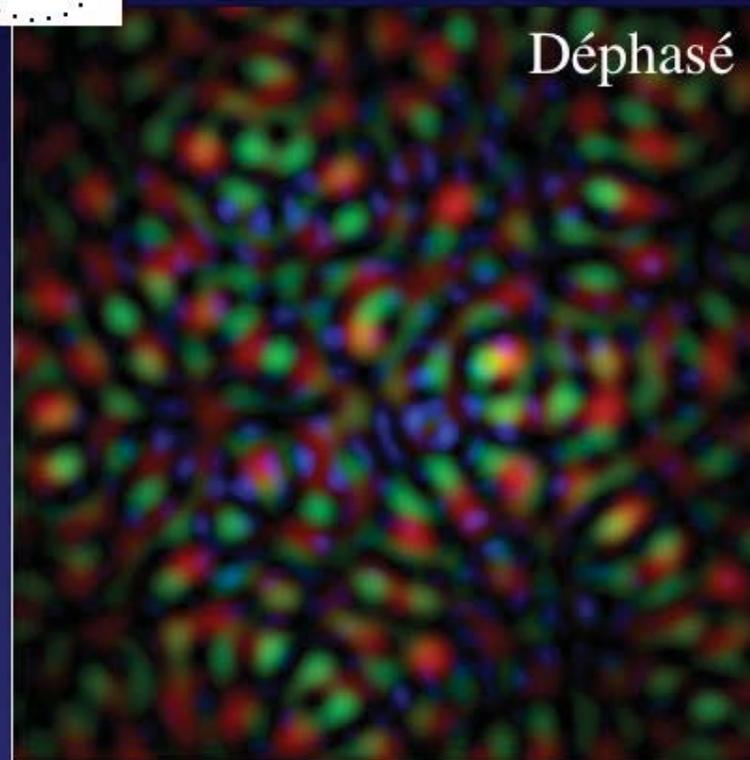
- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

# Mettre en phase les interféromètres

- ... en présence de turbulence

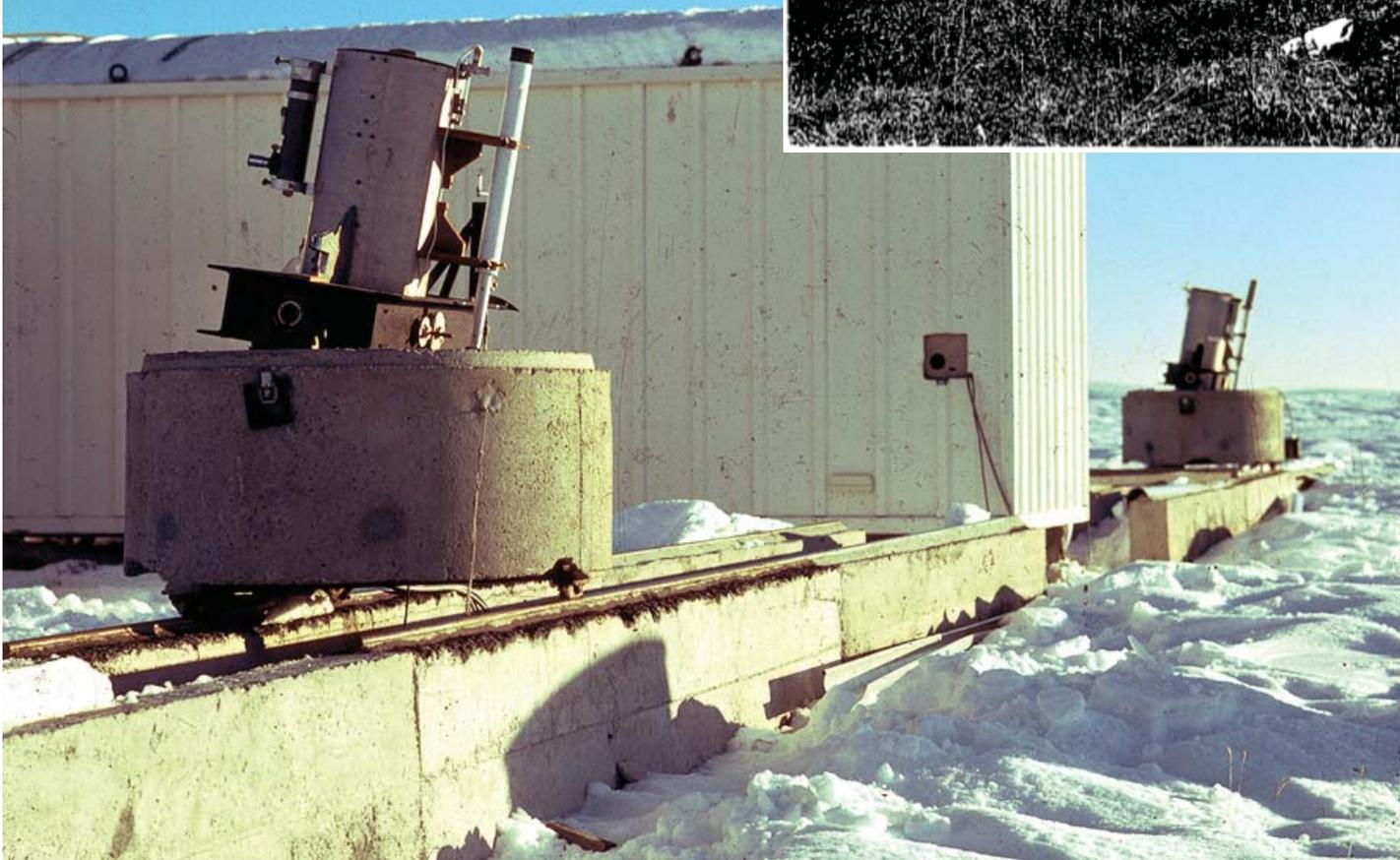
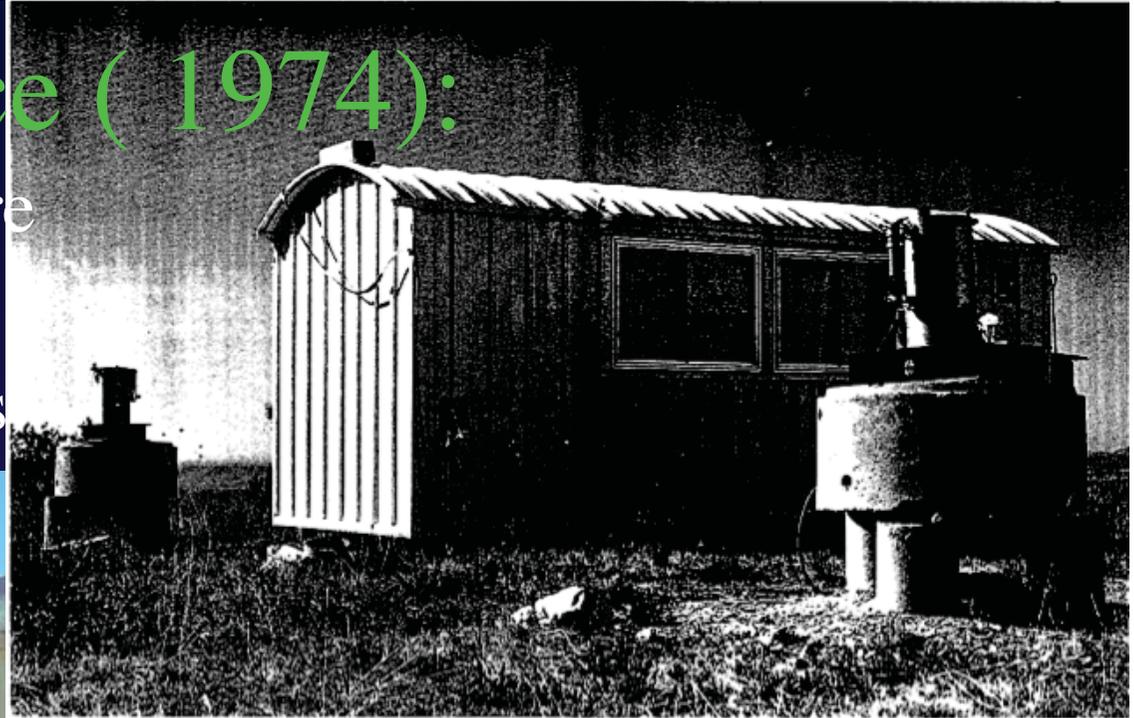


27 ouvertures en cercle



# Observatoire de Nice (1974):

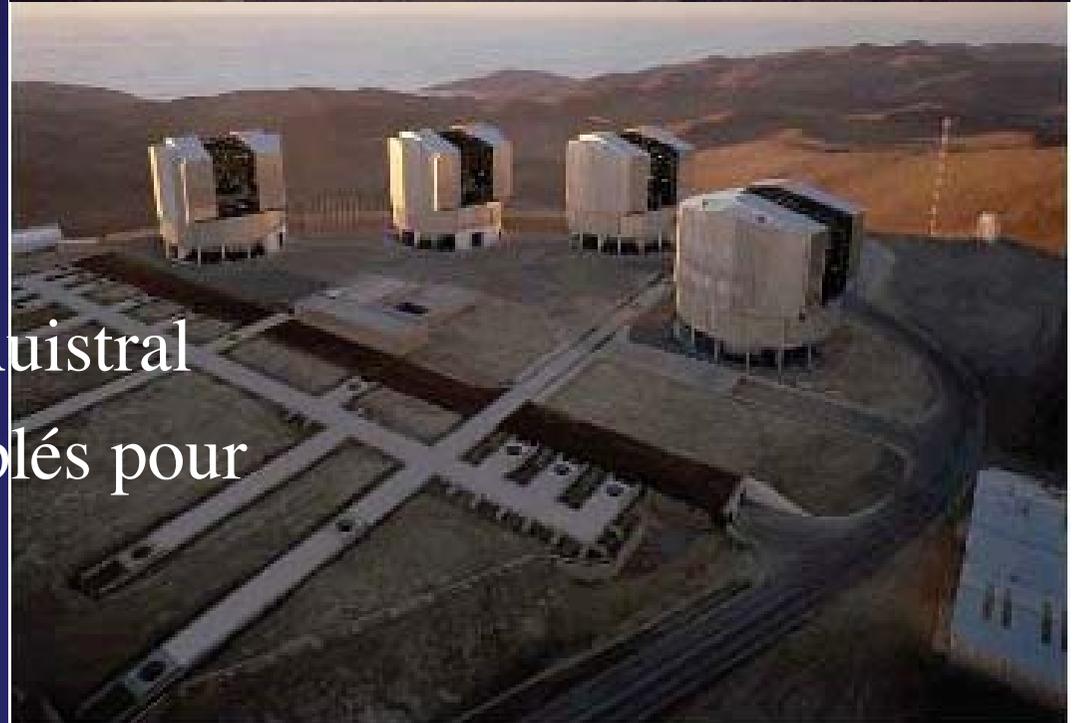
- premier « interféromètre à deux télescopes »
- L'ancêtre ...des géants de demain



- Keck : paire de télescopes de 10m à miroirs mosaïque

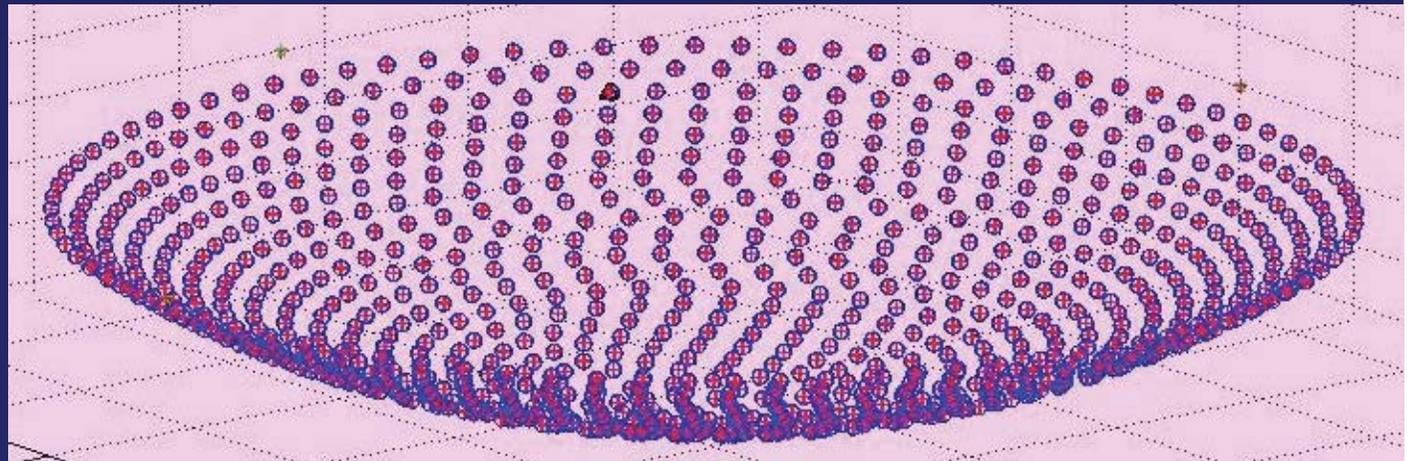


- Very Large Telescope Observatoire Européen Austral
- 4 télescopes de 8m, couplés pour interférométrie

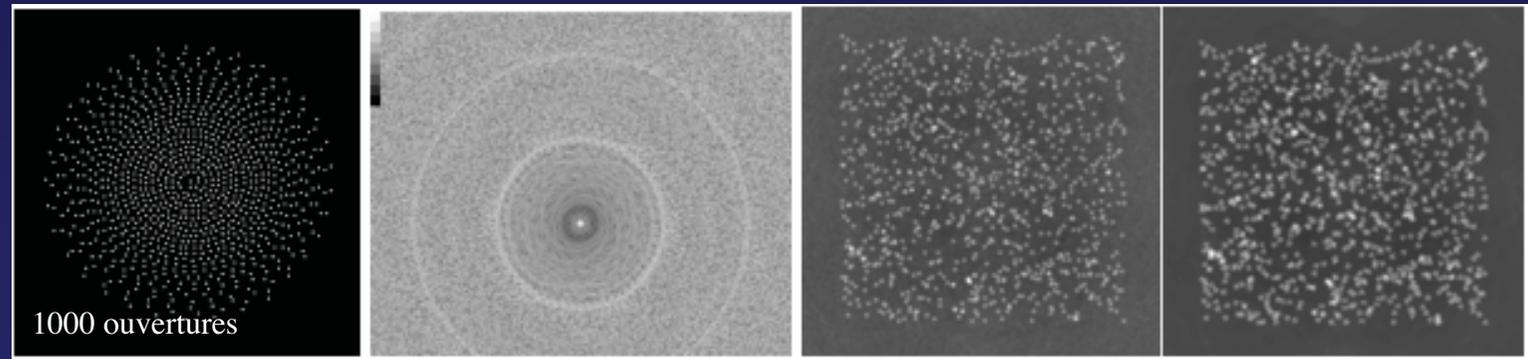
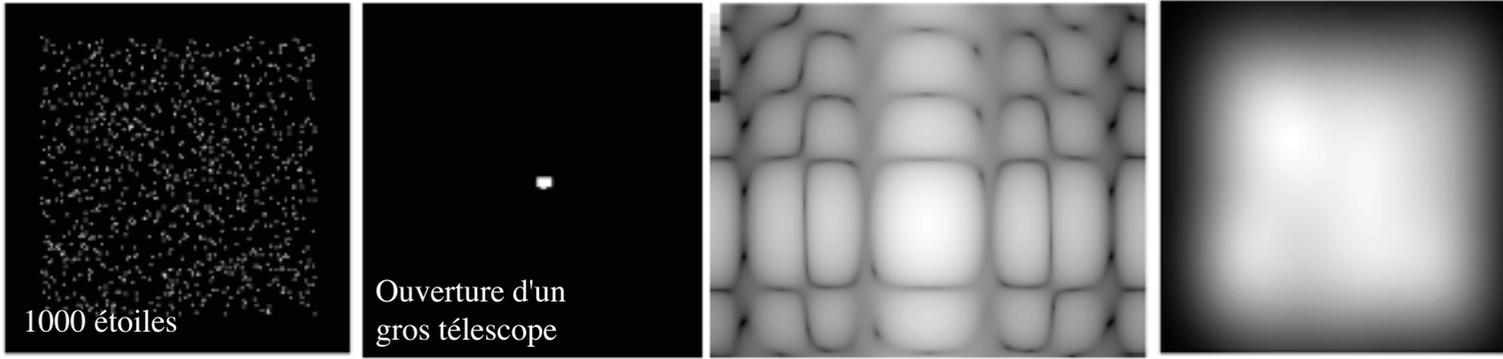


# Une nouvelle famille d'interféromètres: les hypertélescopes

- Nombreuses ouvertures, petites ou grandes
- Permet l'imagerie directe ....
- ... et la coronographie
- Vastes perspectives au sol et dans l'espace



# Simulation d'images



ouverture

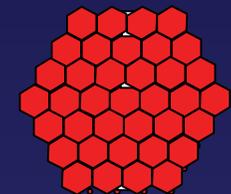
Davantage d'ouvertures:

hypertélescope

(Labeyrie, A&A, 1996)



Pupille  
de sortie

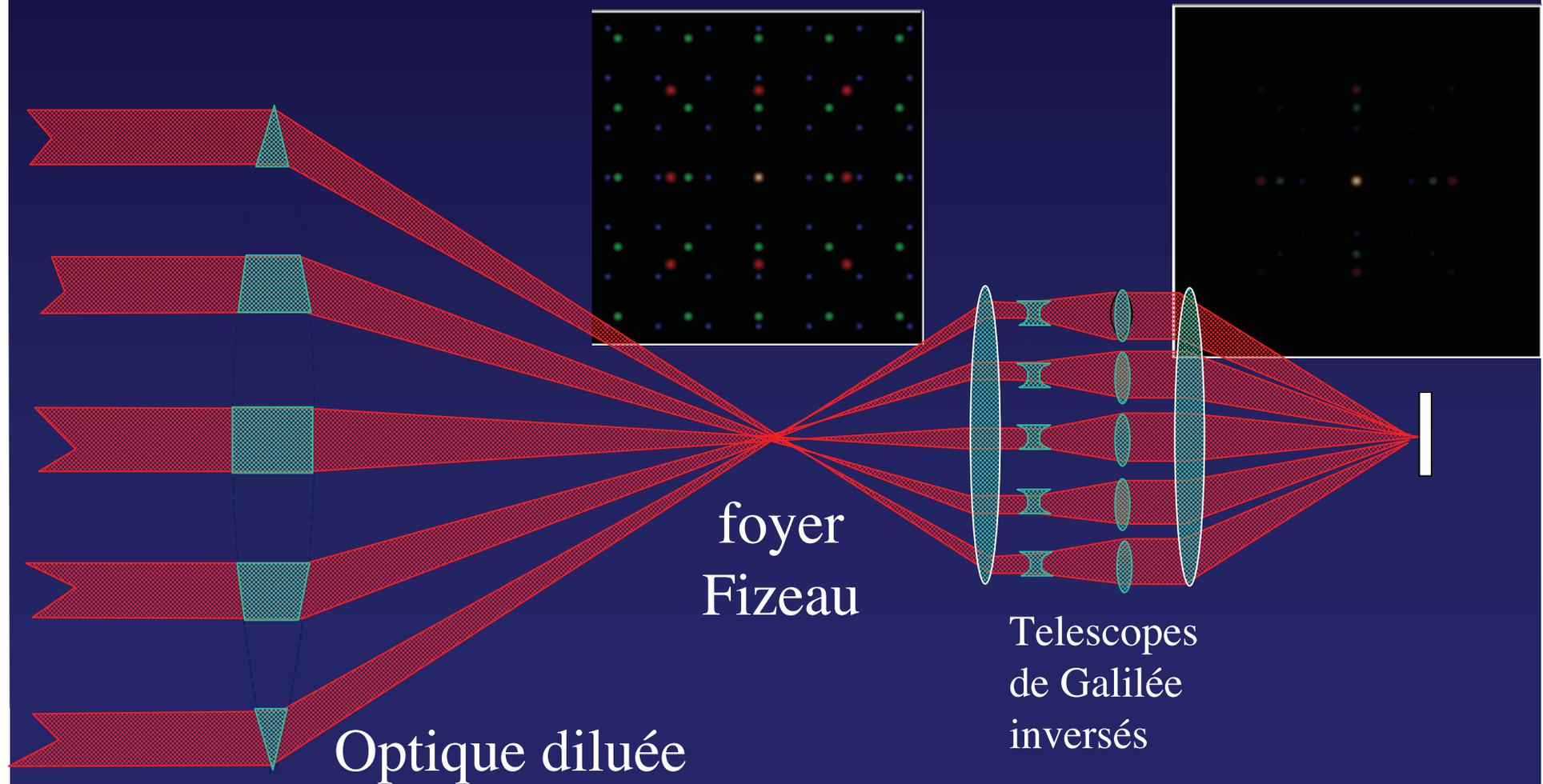


- Interféromètre imageur, multi-ouvertures, à pupille densifiée
- Forme directement des images....
- ...dans un champ réduit
- Plus lumineux qu'un Fizeau

# Principe des hypertélescopes

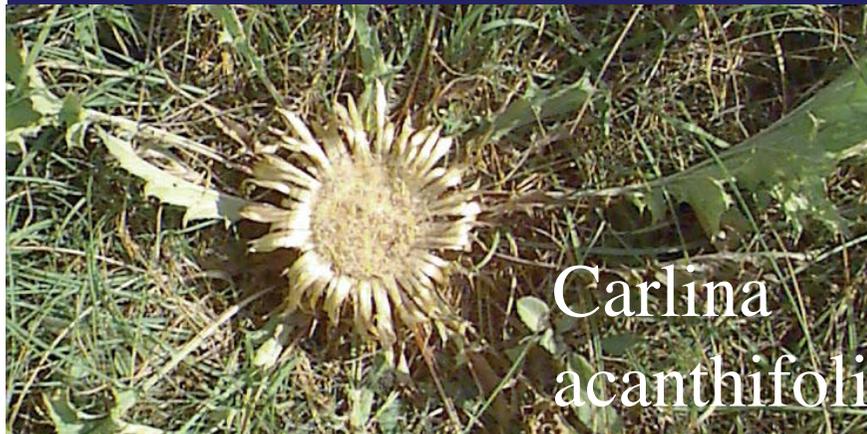
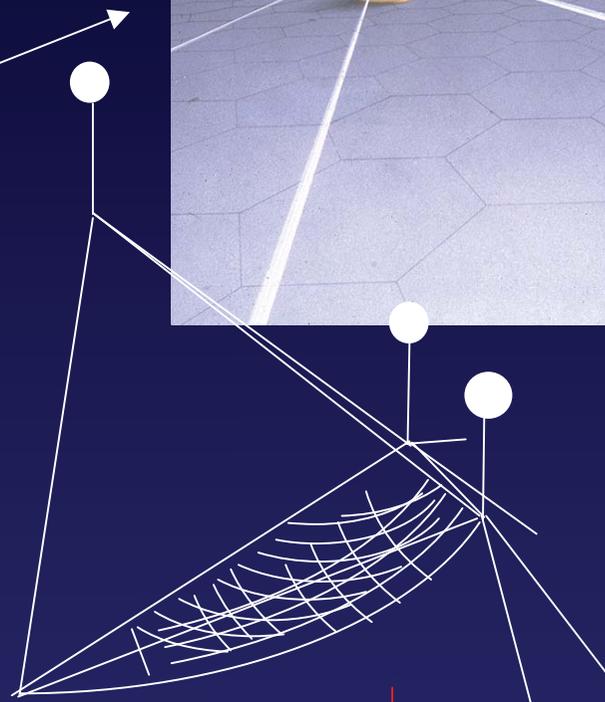
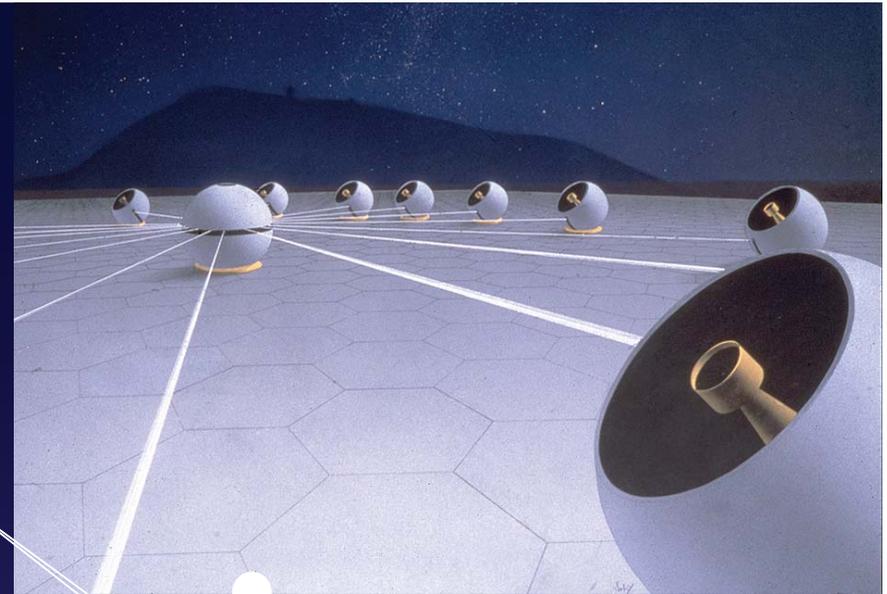
« interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

(Labeyrie A&A, 1996)

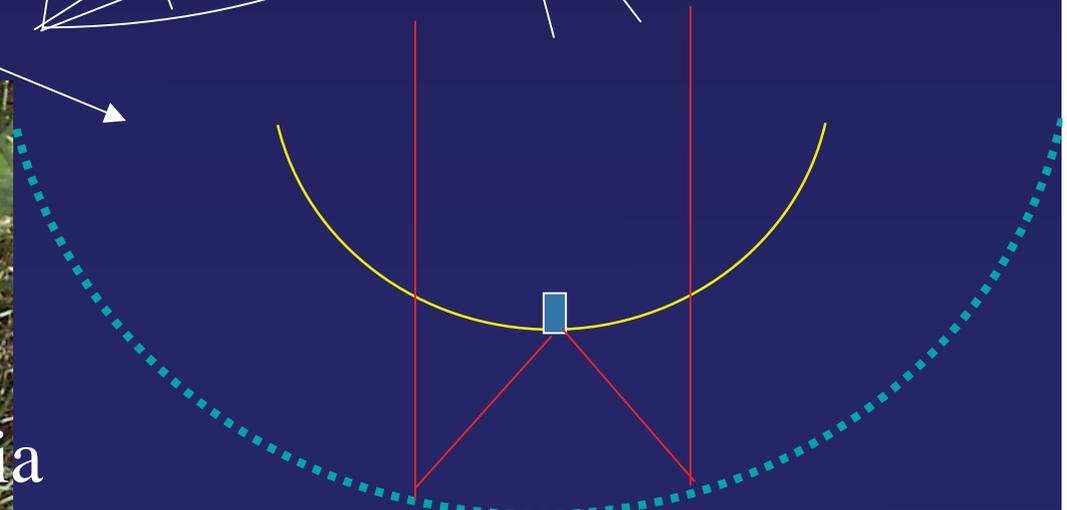


# Architectures d'hypertélescopes

- plat
- parabololoïde
- sphérique



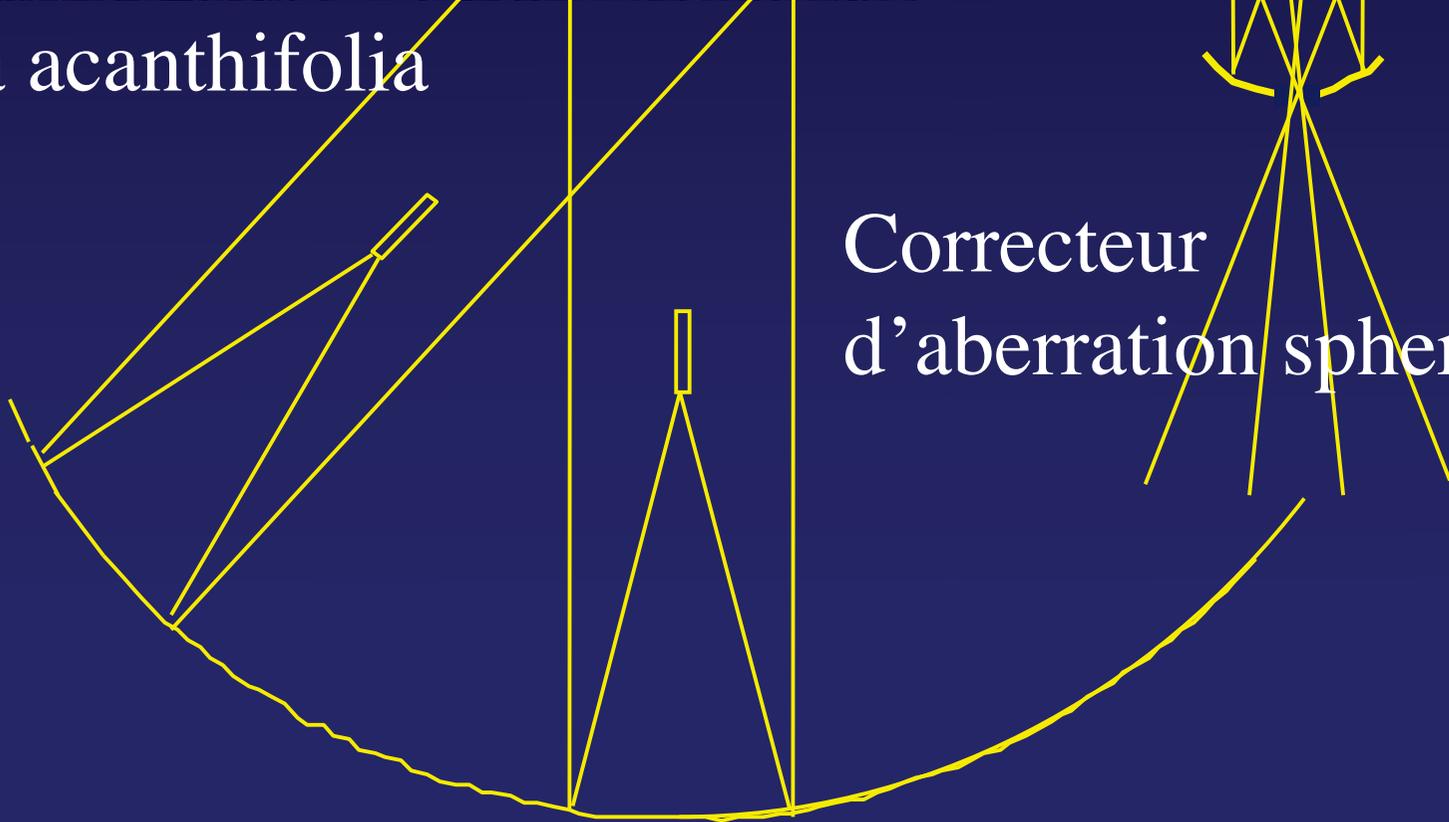
Carlina  
acanthifolia





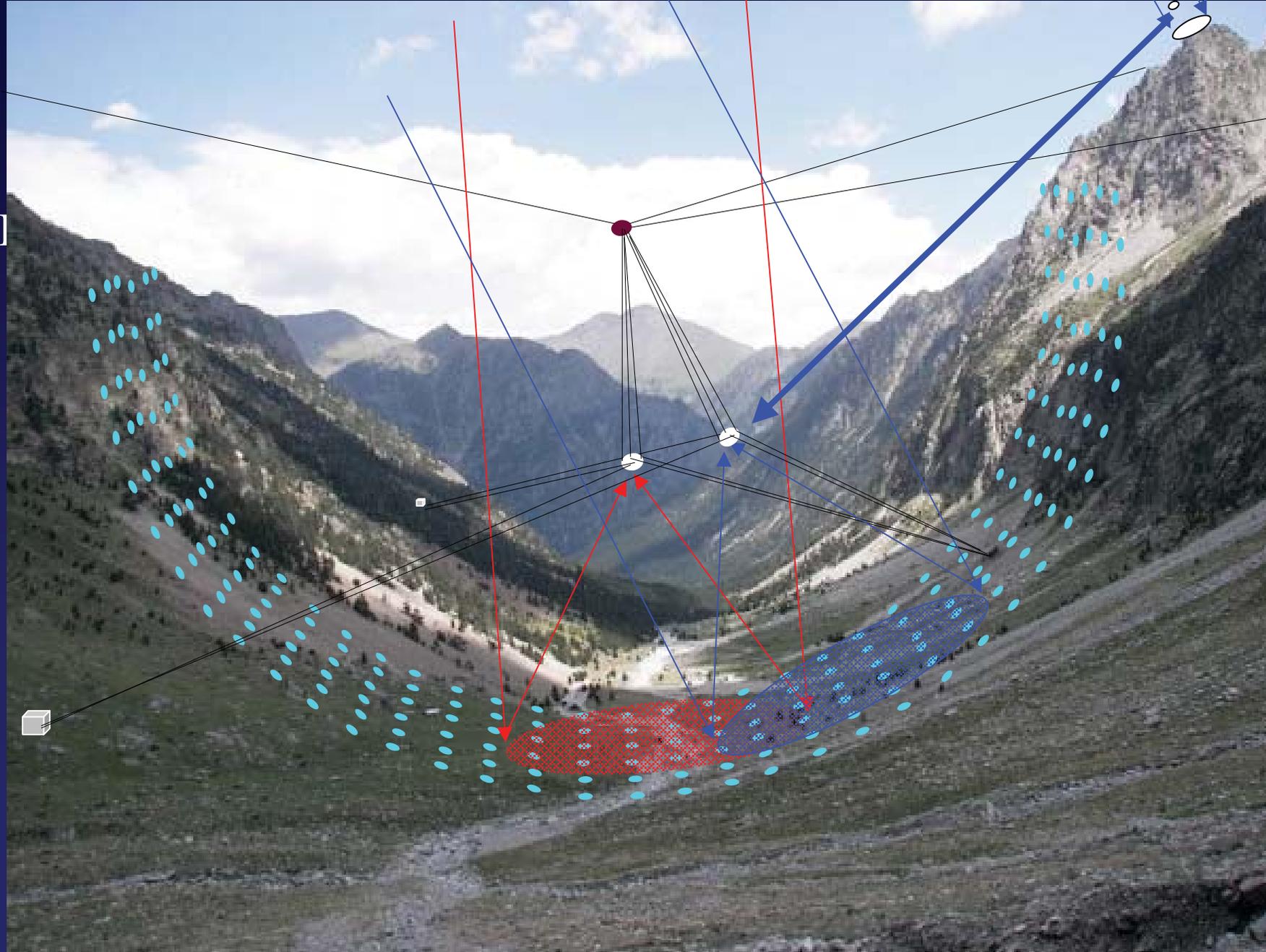
hypertélescope  
sphérique  
CARLINA

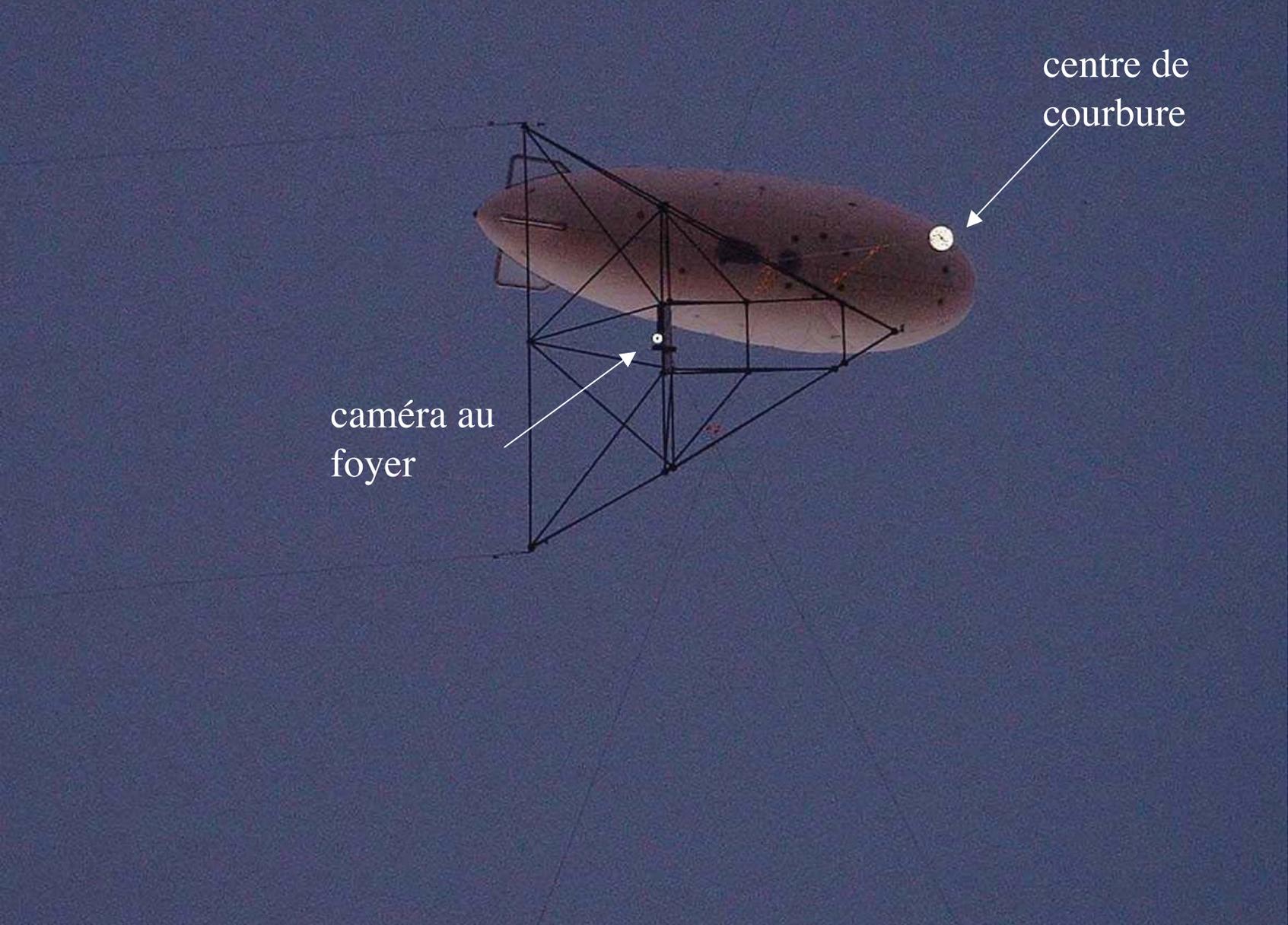
Carlina acanthifolia



Correcteur  
d'aberration sphérique

# Couplage ELT/hypertélescope à Barrosa





caméra au  
foyer

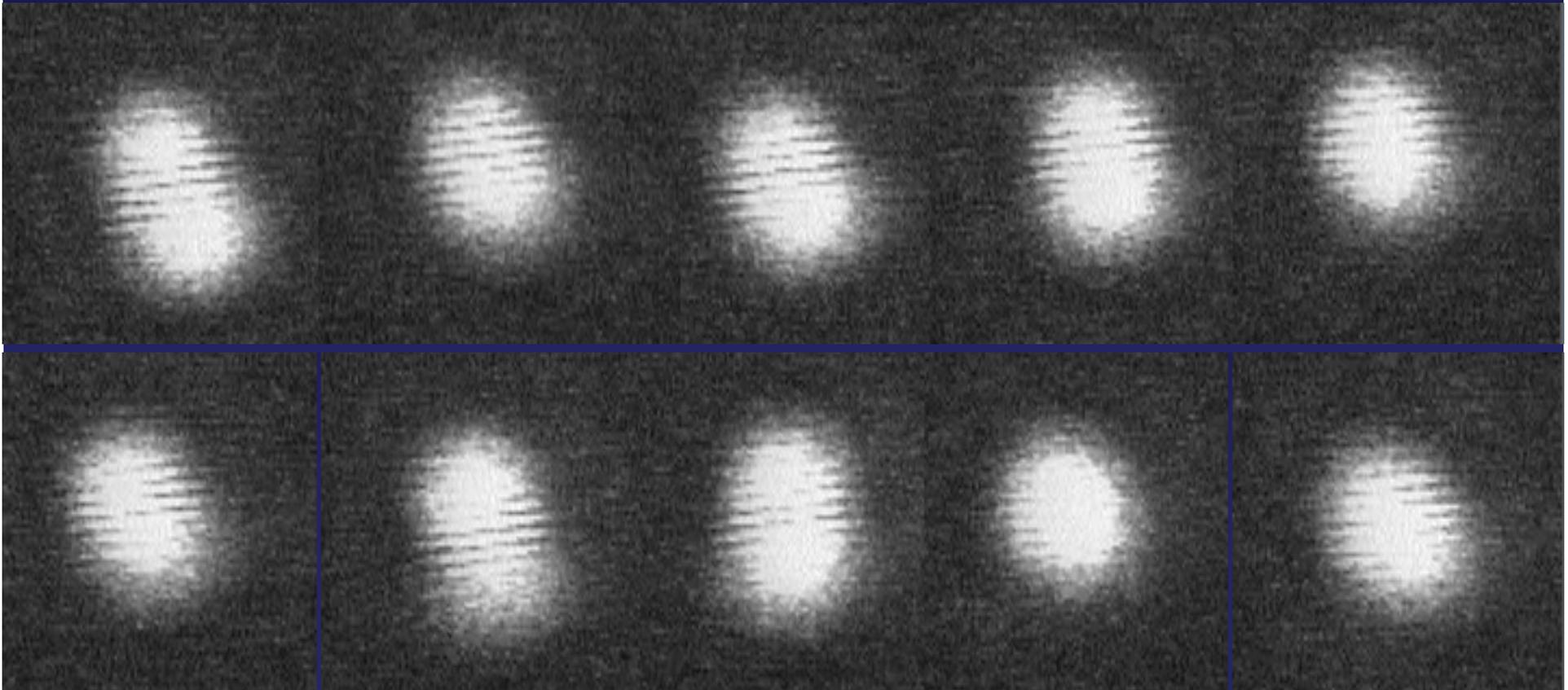
centre de  
courbure

Essai d'hypertélescope à l'Observatoire de  
Haute Provence

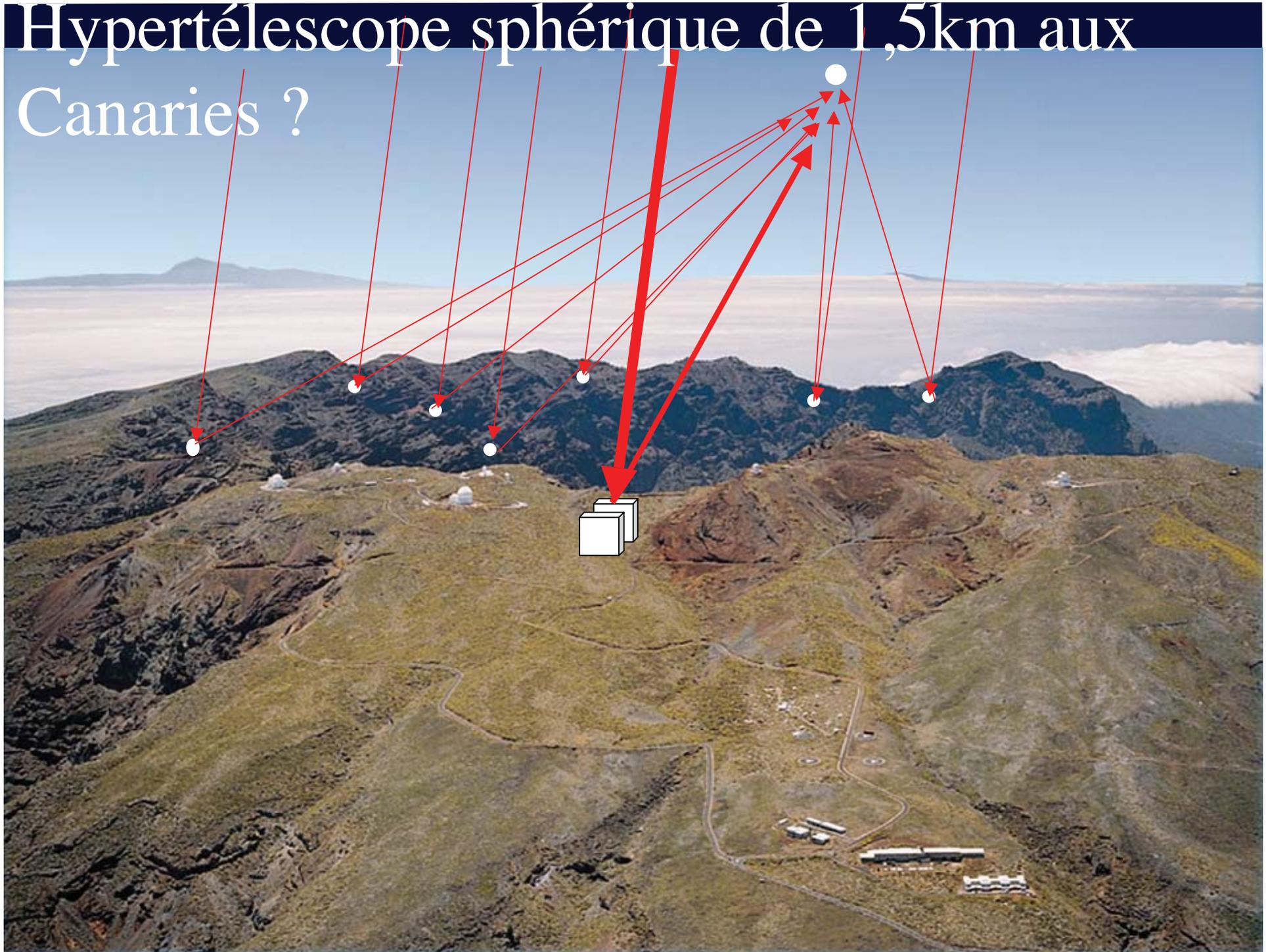
# Franges du prototype Carlina 1

( Le Coroller et al., 2004)

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



# Hypertélescope sphérique de 1,5km aux Canaries ?



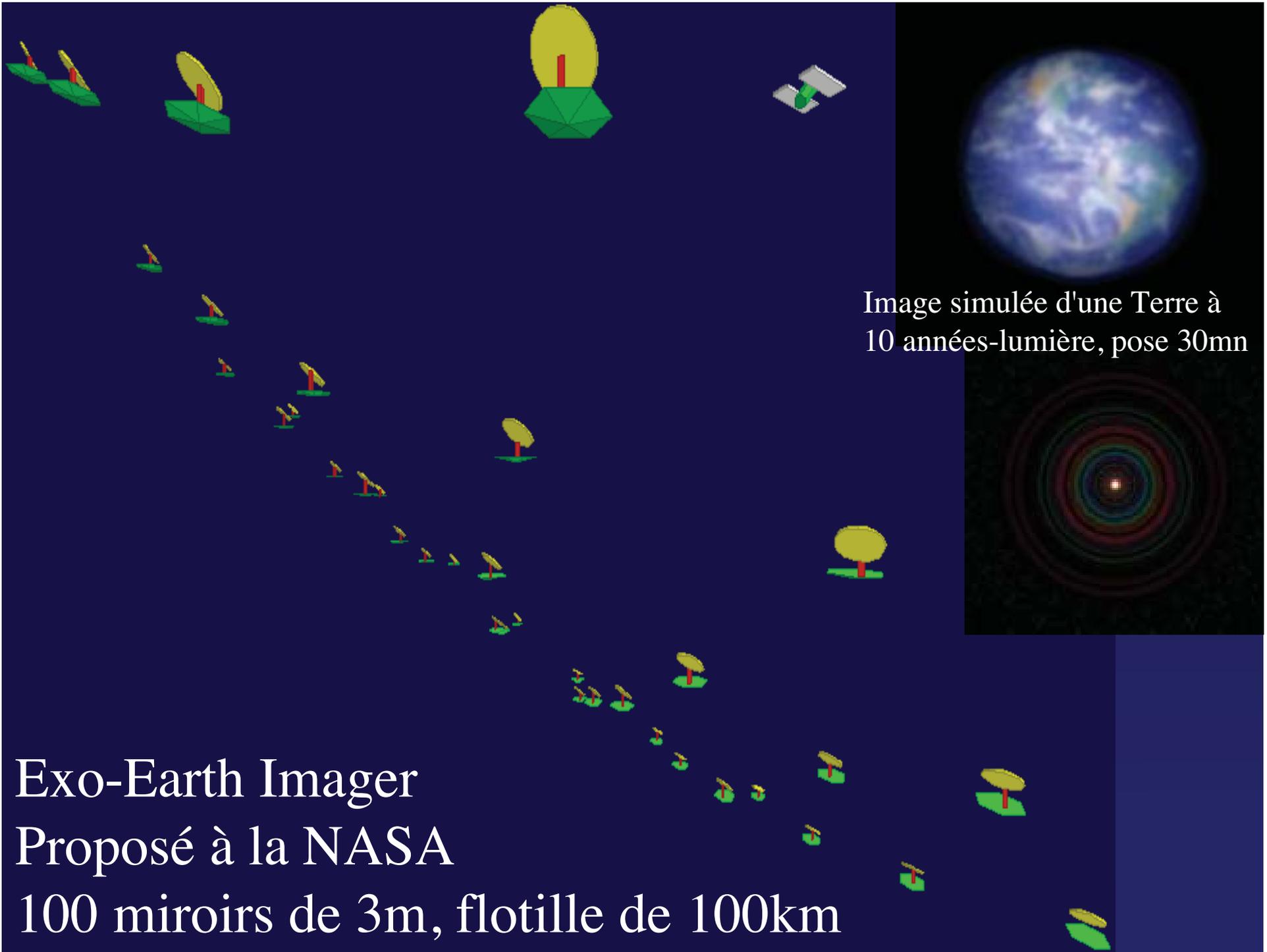
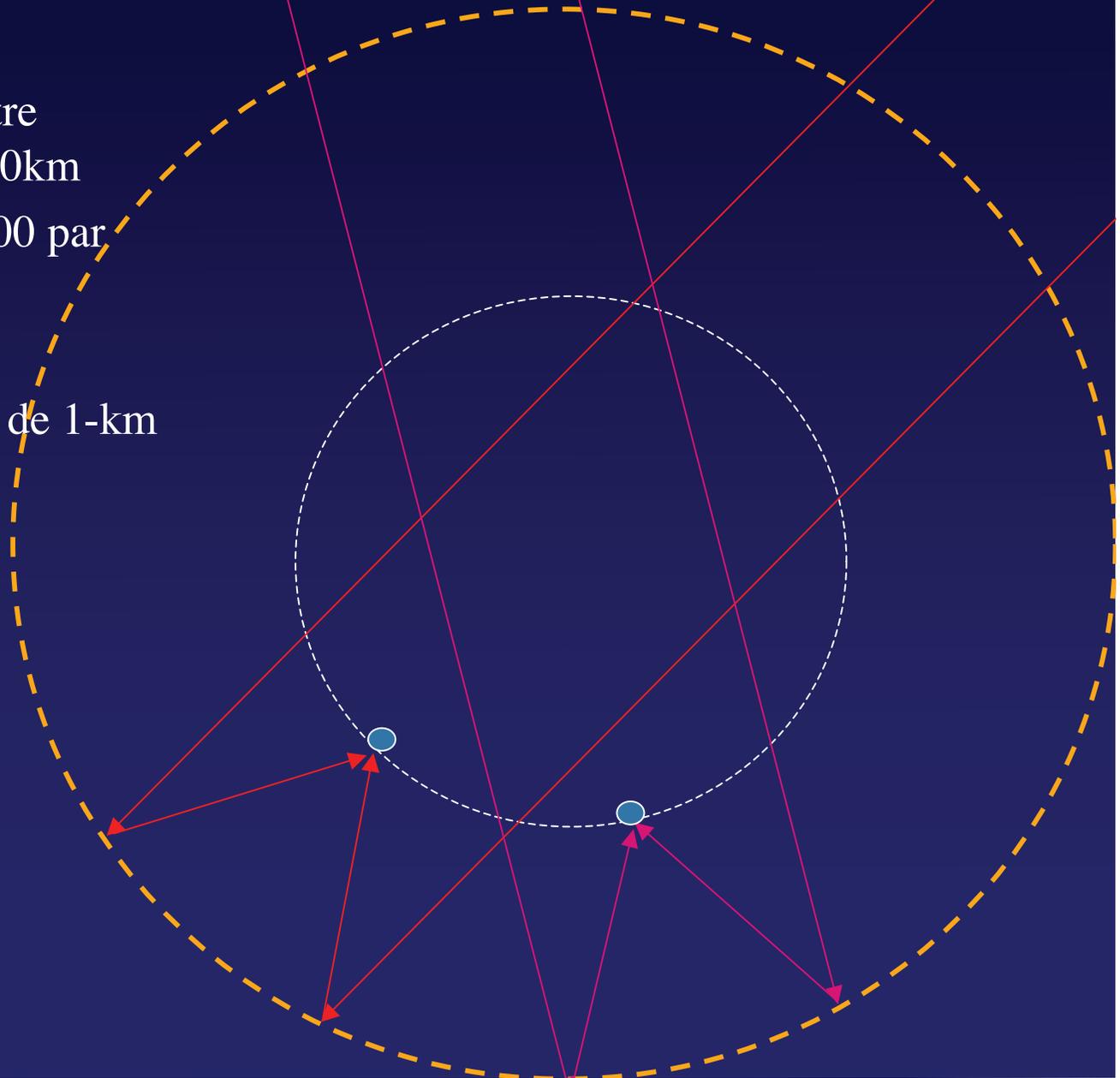


Image simulée d'une Terre à  
10 années-lumière, pose 30mn

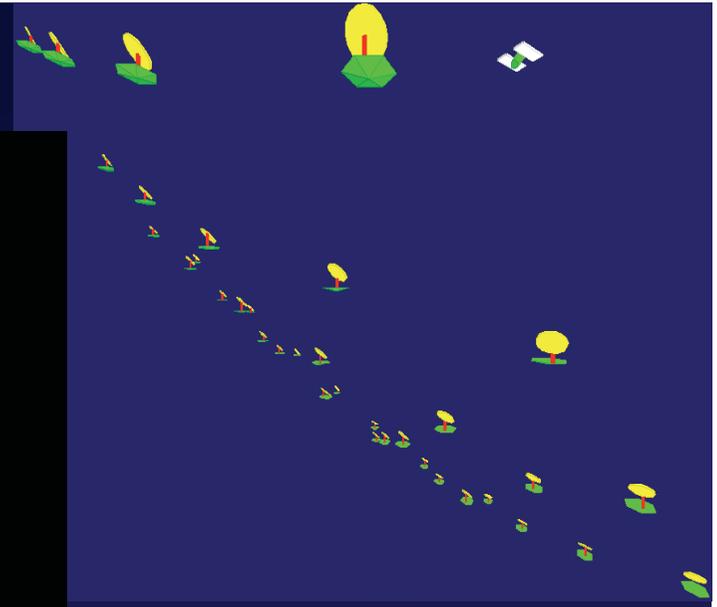
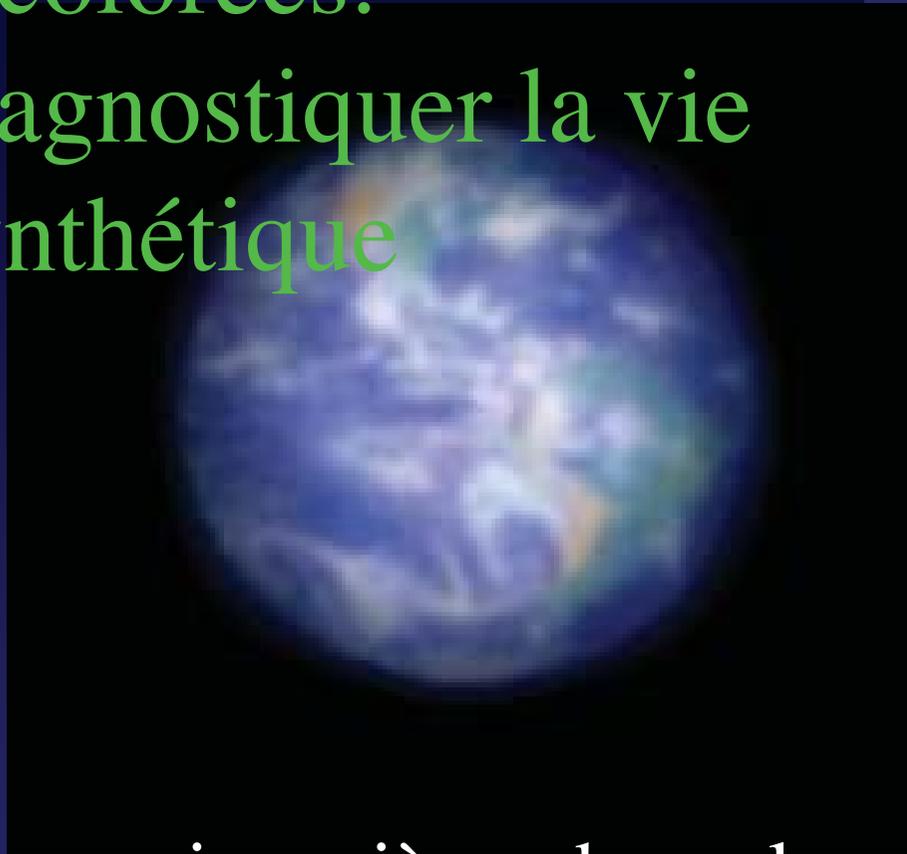
Exo-Earth Imager  
Proposé à la NASA  
100 miroirs de 3m, flotille de 100km

# Exo-Earth Imager en forme de bulle

- Bulle de 400 km, diamètre utilisable d'ouverture 100km
- 10,000 miroirs de 3m, 100 par ouverture effective
- Positionnement statique
- correcteur focal: flotille de 1-km



# Taches colorées: diagnostiquer la vie photosynthétique



- Variations saisonnières des colorations
- Coloration avant le réchauffement printanier ?

# Faisabilité d'un "Neutron Star Imager"



- Dimension:  $10^5$  -  $10^6$  kilomètres pour résoudre une source de 20 km
- Miroirs et collecteur de 8-mètres
- locus primaire parabololoïde
- métrologie laser interne + pointage global pour acquérir l'image
- Nombreux photons par resel sur le pulsar du Crabe

# Conclusions

- Gros progrès en vue pour observer les exo-planètes ...
- ... avec leurs détails...
- ... pour chercher des signatures de vie photosynthétique
- ... et d' intelligence
- Et pour mieux voir les étoiles
- Et les galaxies
- Jusqu'aux limites de l'Univers observable