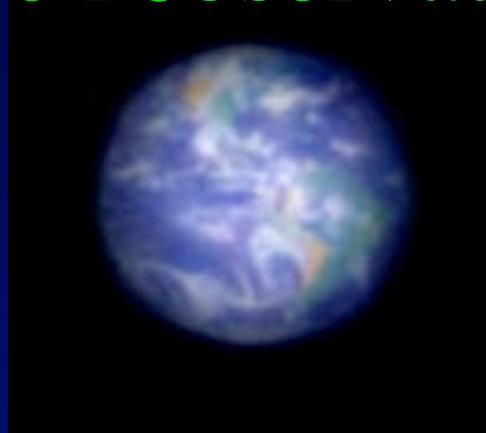


Collège de France

Chaire d' Astrophysique Observationnelle

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



- Cours à Paris les mardis de Mars
- 2 cours & séminaires à Nice le 13 Mai
- Pages web sur [www.college-de-France.fr](http://www.college-de-France.fr)
- les fichiers des projections y seront affichés

# Plan du cours

- 1- Interférences à Hawaii et au Chili
- 2- Etude en cours d'un essai d'interféromètre en orbite géostationnaire
- 3- Optique adaptative pour les grands interféromètres : idées récentes
- 4- Construction d'un hypertélescope au sol
- 5- Observations cosmologiques avec des hypertélescopes : possibilités et limitations
- 6- Coronographie optique et infra-rouge pour l'observation d'exo-planètes dans l'espace

Aujourd'hui:

Observations cosmologiques avec des  
hypertélescopes : possibilités et limitations

Séminaire à 15h15:

Gérard Rousset , ONERA

La première lumière de NAOs,  
l'optique adaptative du VLT

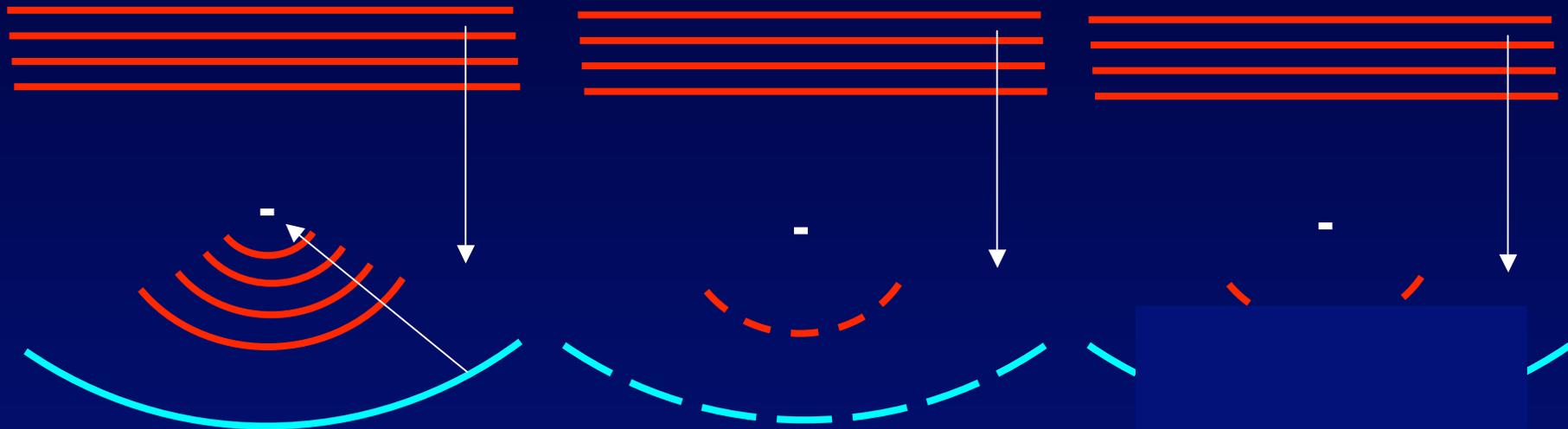
# ESO: Overwhelmingly Large telescope (OWL)

- Diamètre 100 m, surface 7 000 m<sup>2</sup>
- Magnitude 35 à 38, avec optique adaptative
- Étude en cours



# Interférométrie

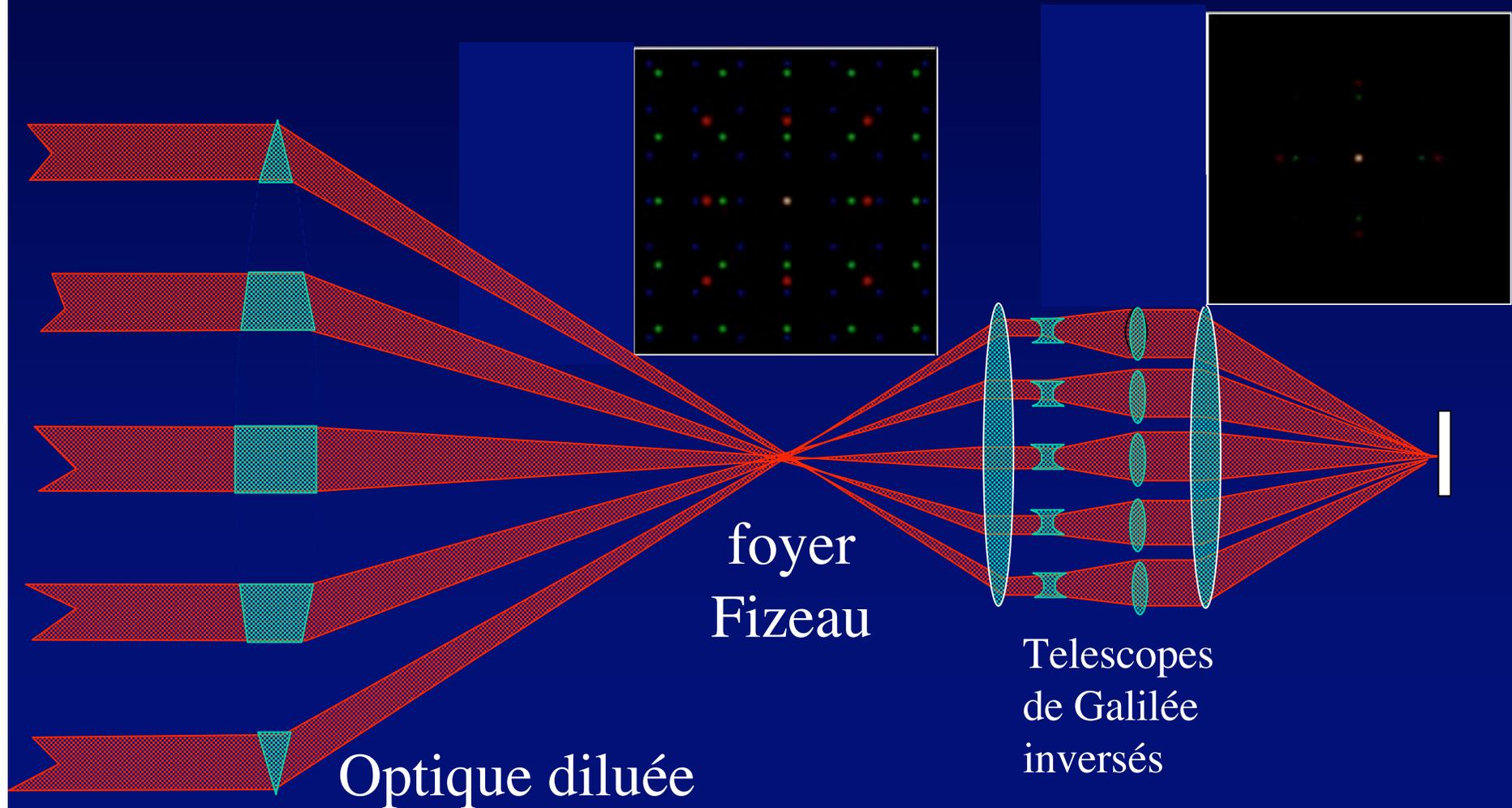
## *le télescope géant du pauvre*



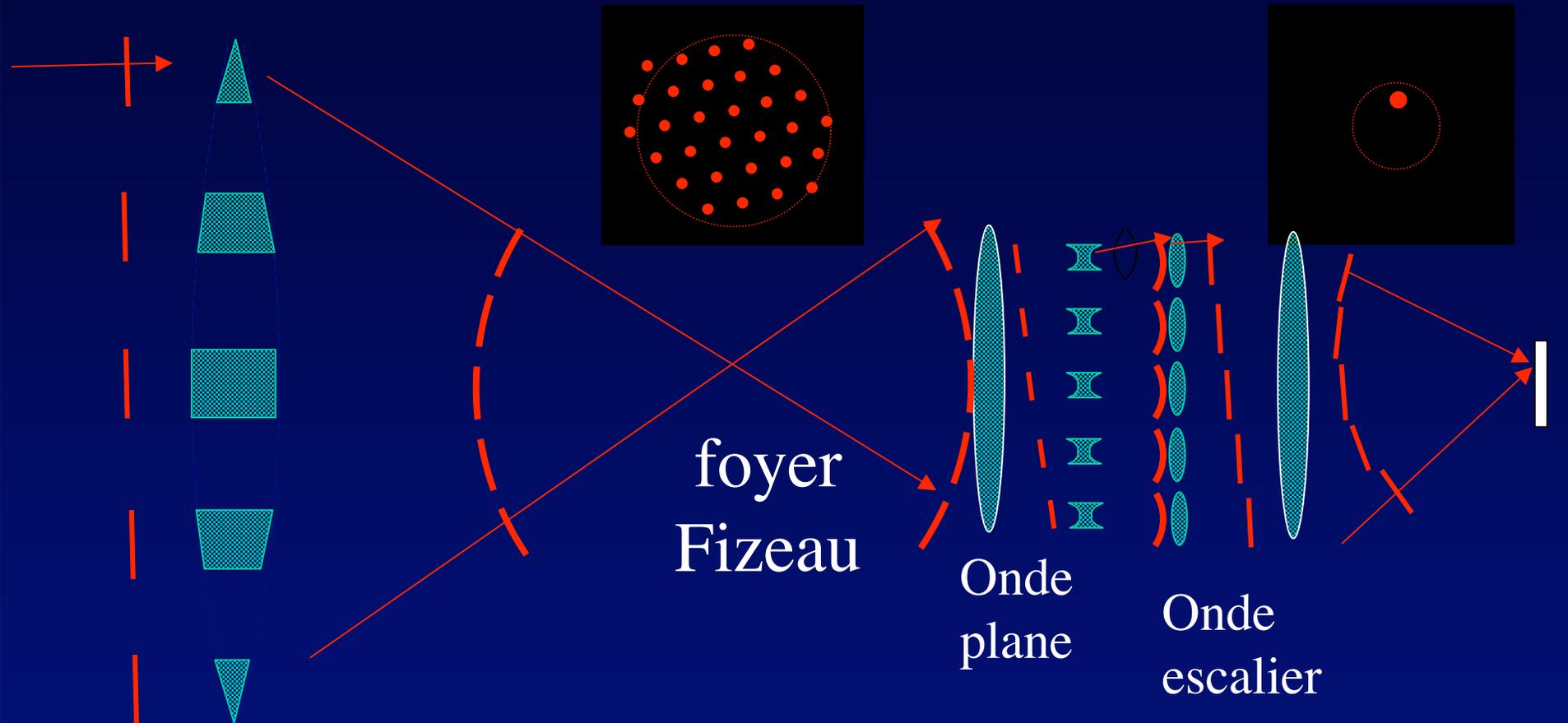
- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

# Principe de l'hypertélescope

ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »  
(Labeyrie A&A, 1996)



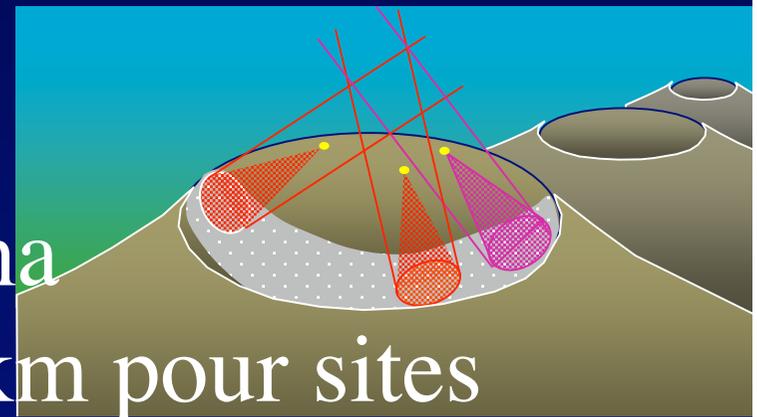
# Source hors d'axe



- l'onde plane devient "en escalier"
- l'image est décalée dans l'enveloppe
- pseudo-convolution, champ limité

# Hypertélescopes au sol

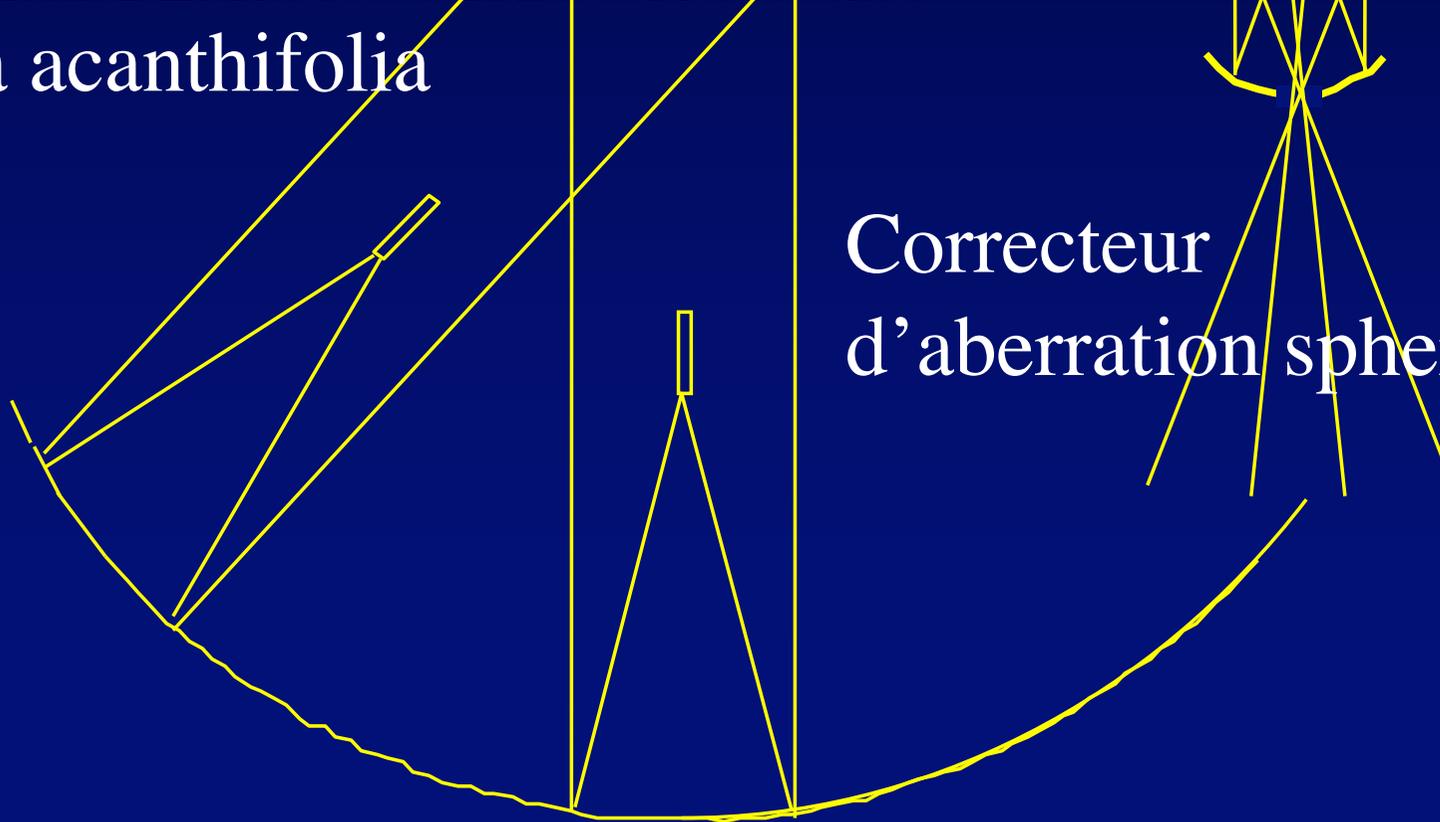
- deux voies possibles:
  - 1- site plat: OVLA
  - 2- site concave: Carlina
- limitation d'ouverture à 1 km pour sites concaves, mais:
  - optique simplifiée
  - multi-objets dans le champ primaire





CARLINA, a  
ground-based  
hypertelescope

*Carlina acanthifolia*

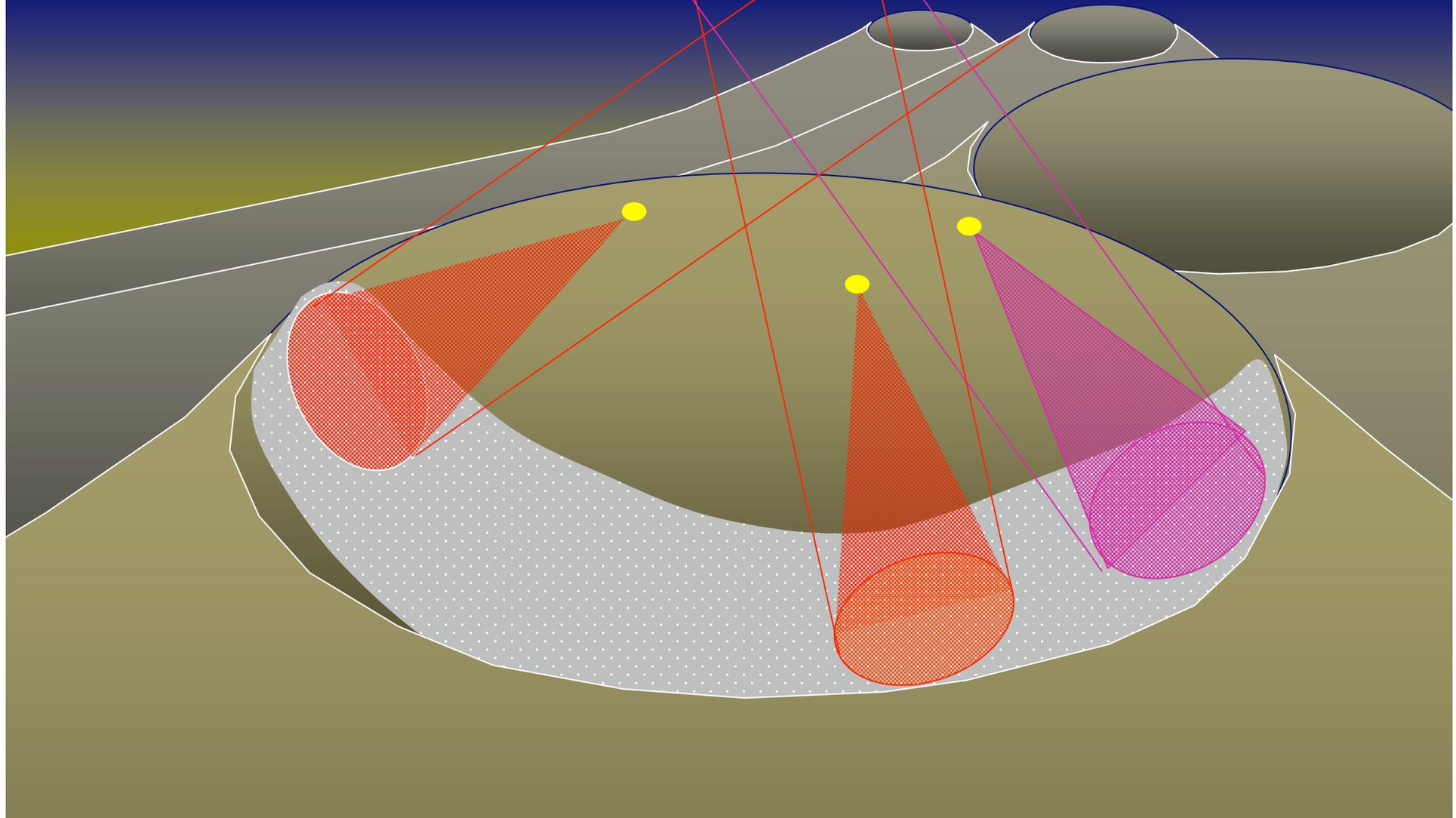


Correcteur  
d'aberration sphérique

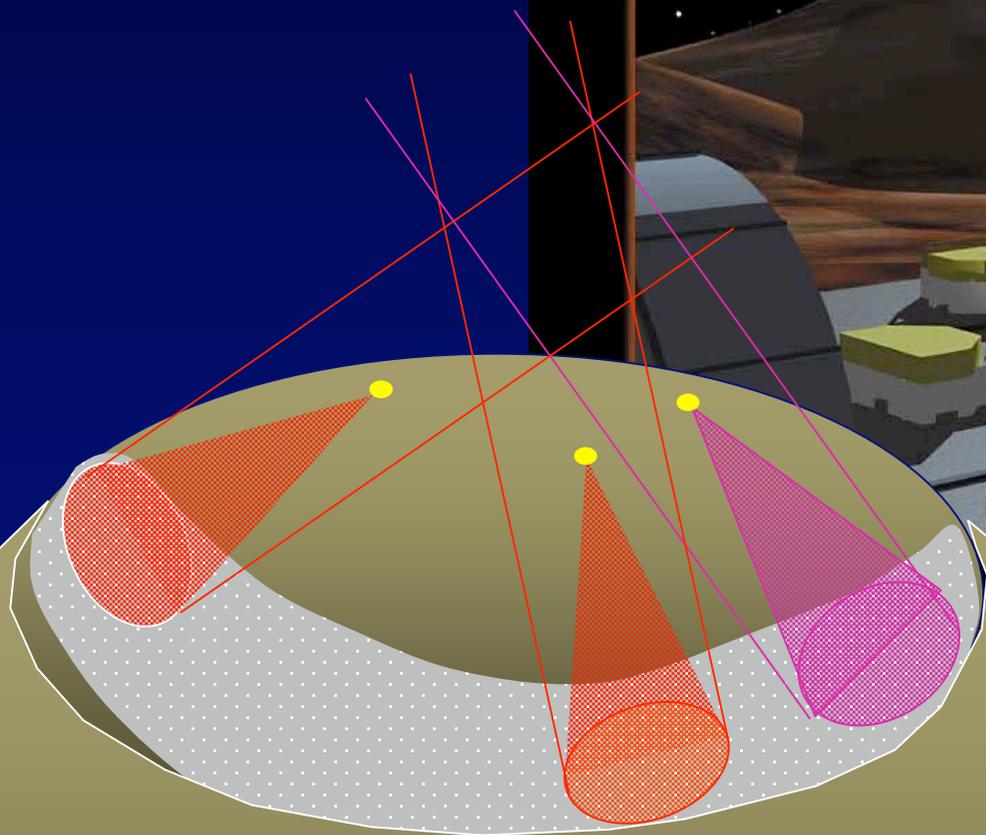
# One-kilometer hypertelescope

10,000 mirrors of 1m, 5 km array

Imaging to mag. 38, cosmology



# Eclater OWL ?



### Scientific Organizing Committee

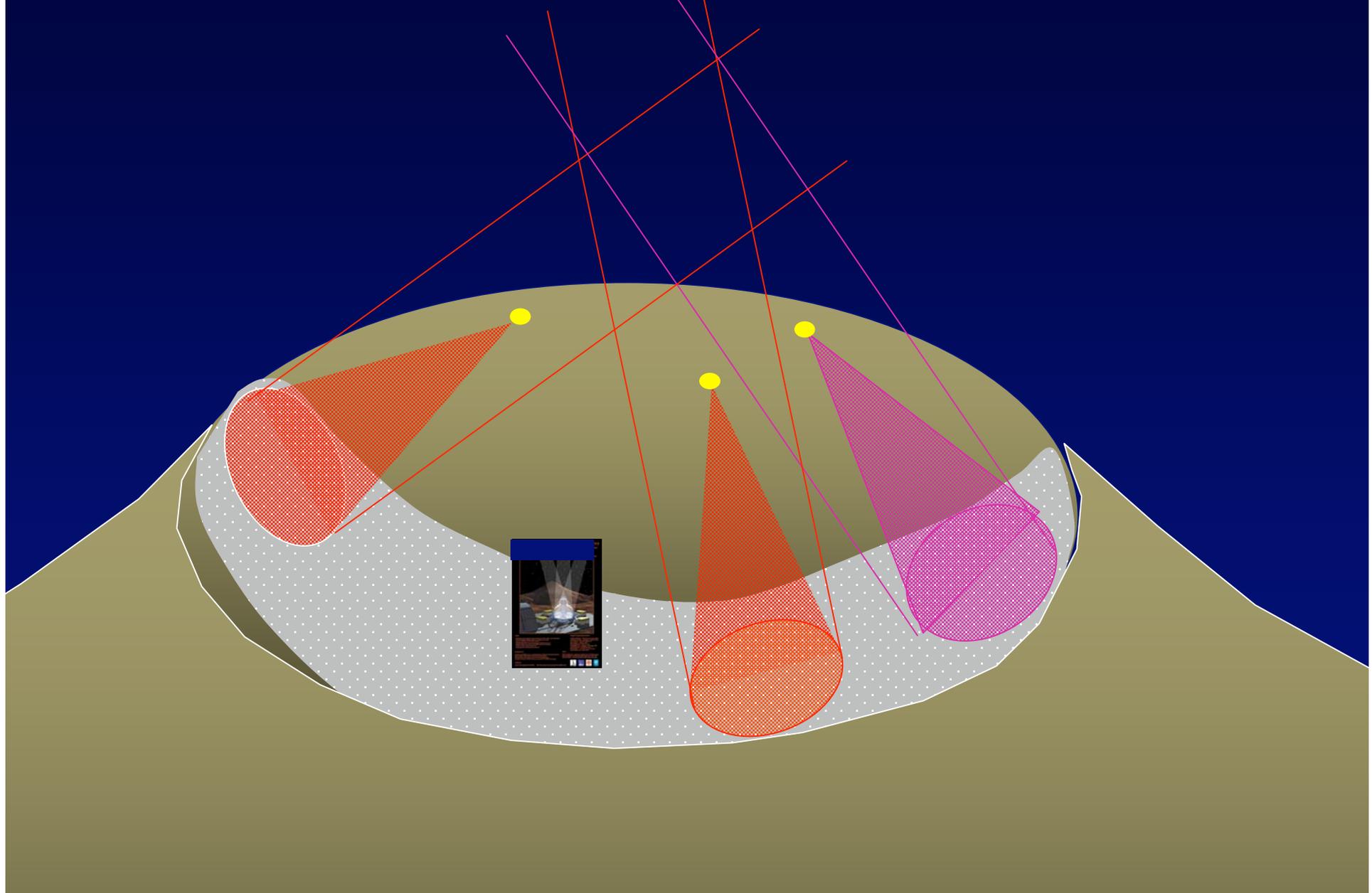
- Torben Andersen - University of Lund, Sweden
- Francesco Bertola - University of Padova, Italy
- Chris Dainty - Imperial College, UK
- Rick Dekany - Caltech, USA
- Brent Ellerbroek - Gemini, USA
- Ed Kibblewhite - University of Chicago, USA
- Gerard Rousset - ONERA, France
- Michel Tallon - University of Lyon, France
- Wizinowich - Keck, USA

lescopes

Observatory of Padova, Italy  
 Observatory of Arcetri, Italy  
 Observatory, Germany

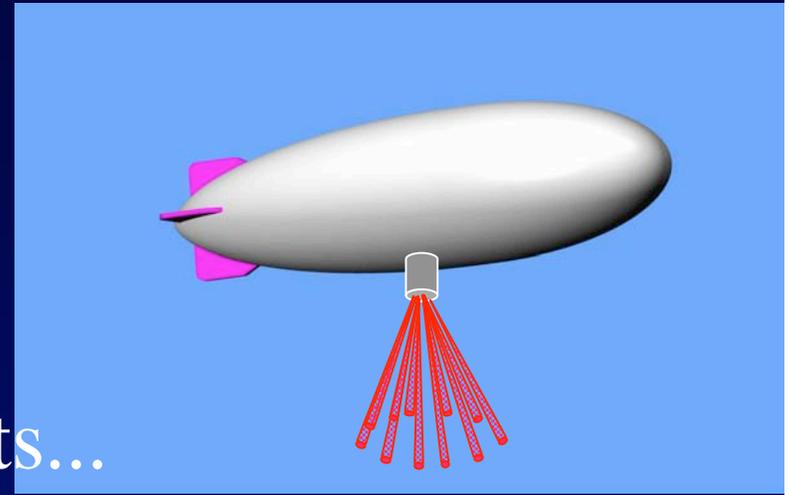


# Eclater OWL: échelle comparée

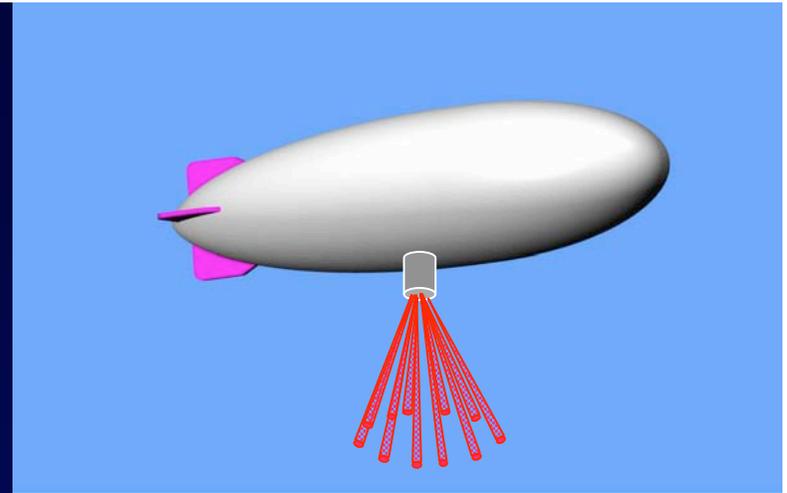


# Technique comparée

- Structures très différentes
  - Cratère et ballons , ou
  - Monture géante
- Posent des problèmes différents...
- ... mais similaires pour l'optique adaptative
- ... qui reste un problème majeur..
- ... sauf dans l'espace

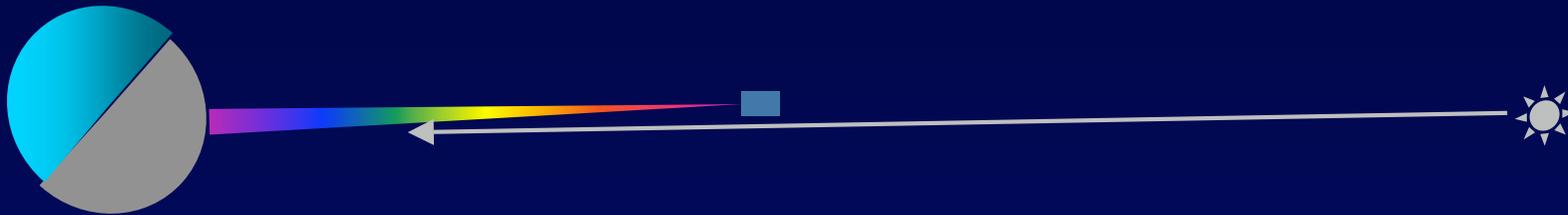


# Faisabilité d'une version « éclatée » de OWL



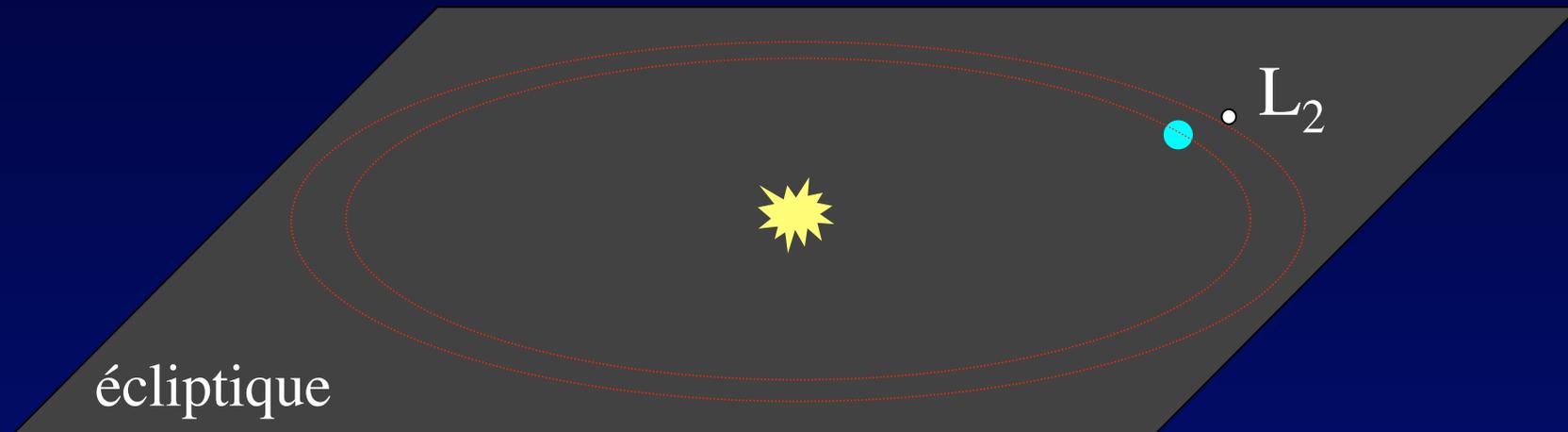
- Hypertélescope à ouverture diluée de 1 kilomètre
- Cratère de 5 km, avec miroirs fixes
- Ballons portant les optiques focales
- Optique adaptative:
  - avec étoile artificielle sur satellite ?
  - méthode de Townes ?

# Etoile de référence dans l'espace avec voile solaire



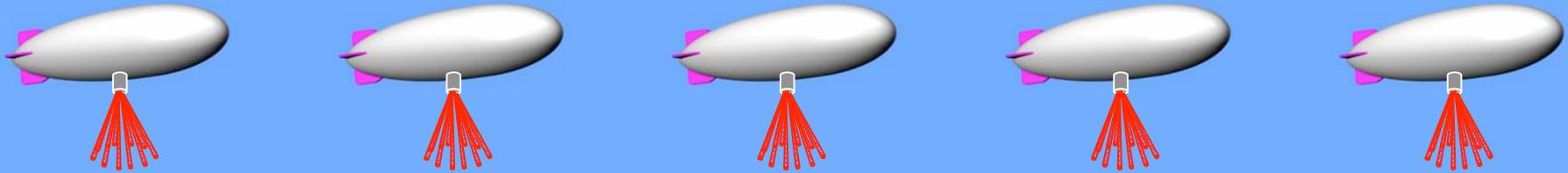
- source laser mobile à volonté
- Exemple: déplacement apparent  $41^\circ$  en 100 heures si  $10 \text{ grammes} / \text{m}^2$  à  $60\,000 \text{ km}$
- Petites voiles avec diode laser multi-lambda, pointable

# Satellites porteurs d'étoiles artificielles



- utilisables jusqu'à quelques degrés de l'écliptique ( 6% du ciel )
- pilotage par petites voiles solaires
- latitude terrestre optimale :  $50^\circ$

# Science comparée



- Même magnitude limite si:
  - Surface identique
  - Optique adaptative
- Résolution accrue avec version hypertélescope
- Exo-planètes
- Physique stellaire: imagerie résolue
- Univers lointain, cosmologie

# Galaxies lointaines et cosmologie

Imagerie  
hypertélescope :  
oui

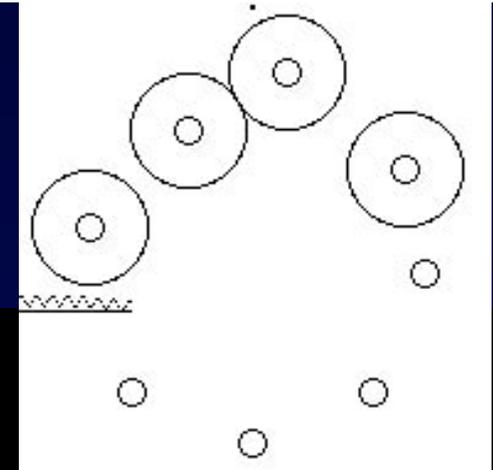


**Hubble Deep Field**

**HST • WFPC2**

PRC96-01a • ST Scl OPO • January 15, 1996 • R. Williams (ST Scl), NASA

# Image hypertélescope au VLTI



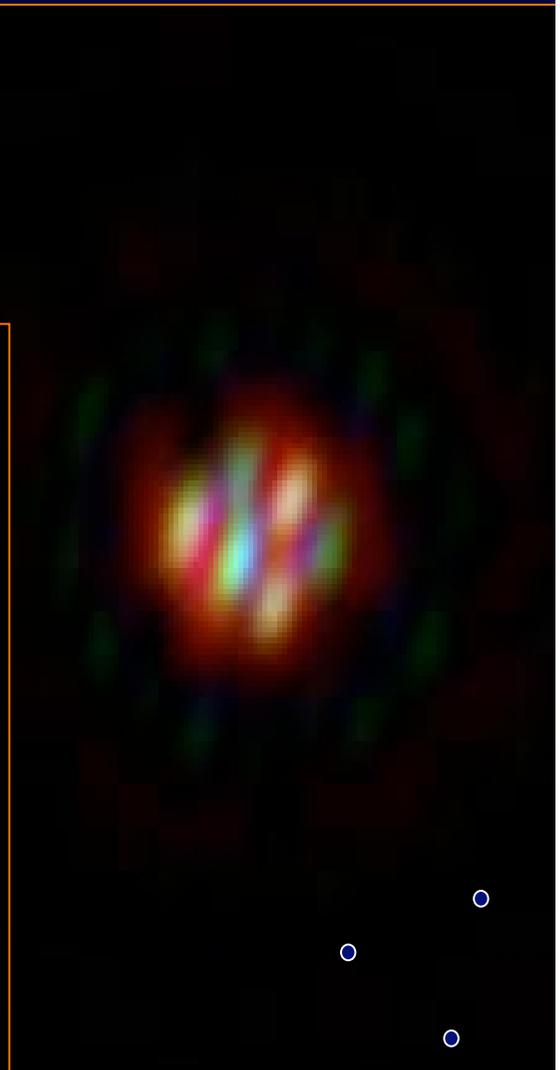
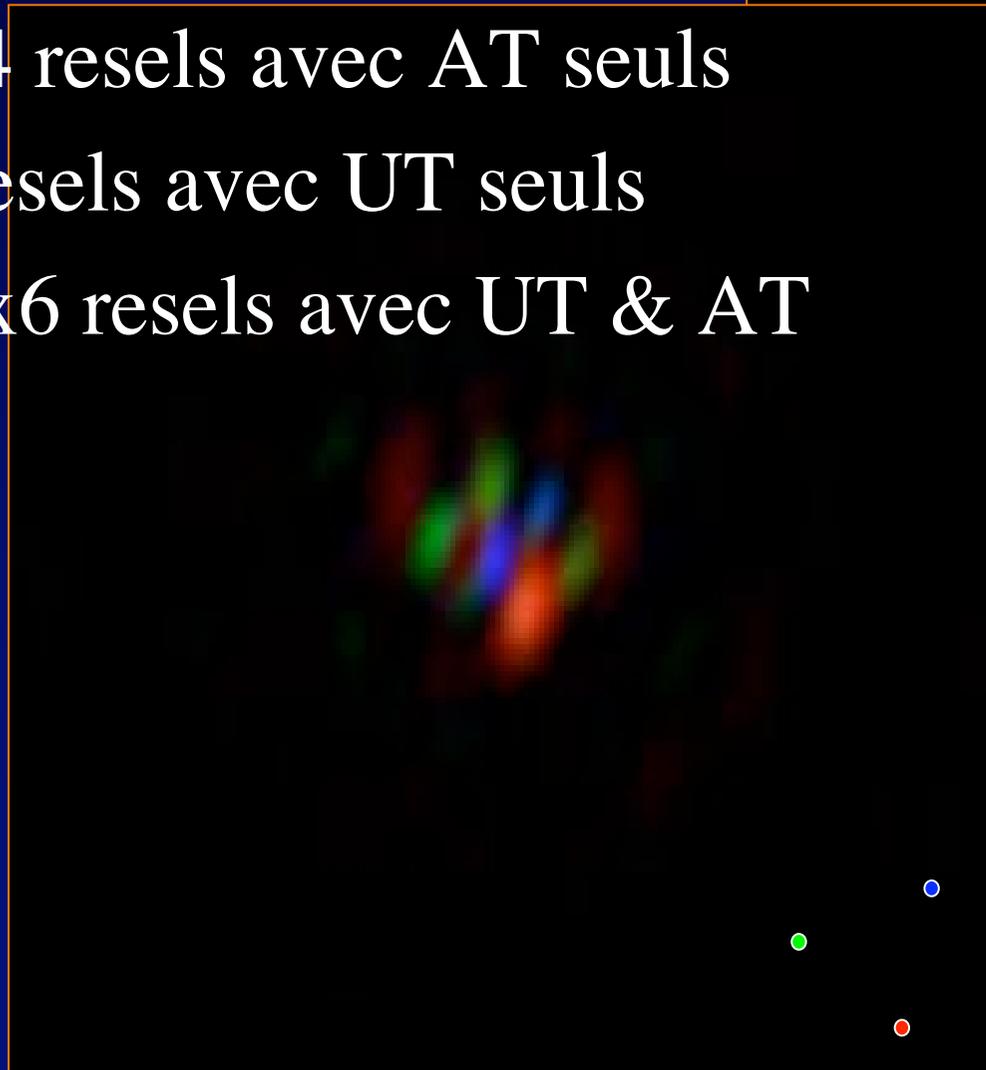
4 UT

4 UT + 4 AT

- Les 4 télescopes de 1.8 mètre contribuent faiblement

# Richesse du champ

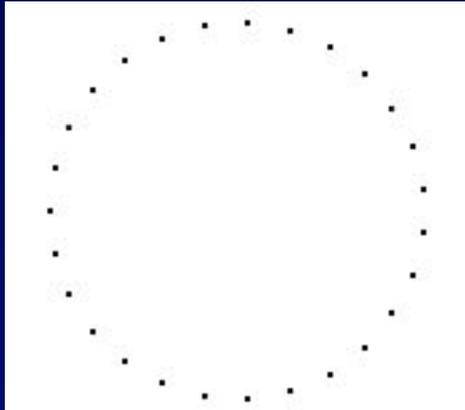
- avec une pupille complètement densifiée:
  - 24x24 resels avec AT seuls
  - 6x6 resels avec UT seuls
  - > 6x6 resels avec UT & AT



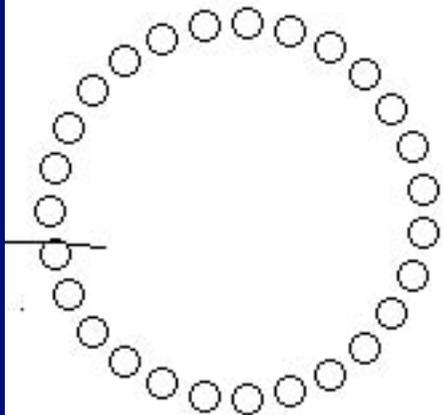
# Encombrement des images

- Exemple: 27 ouvertures

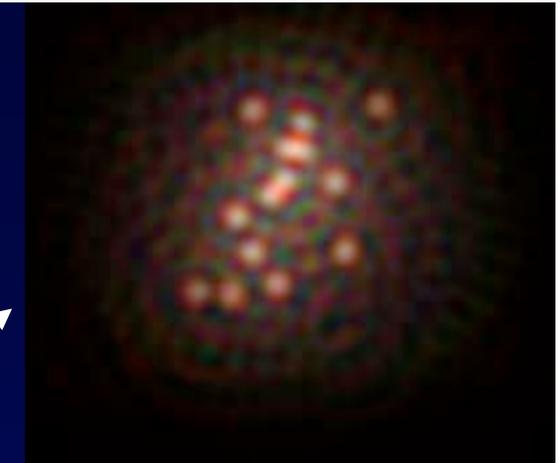
entrée



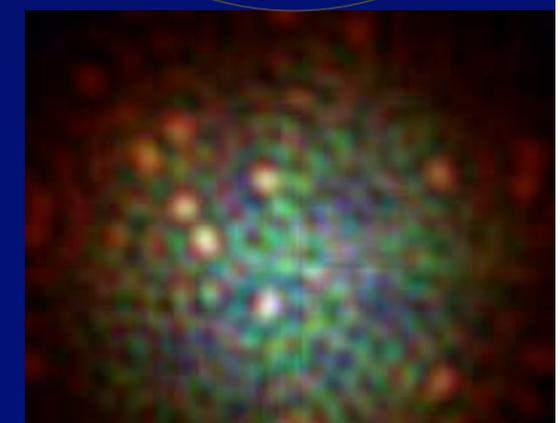
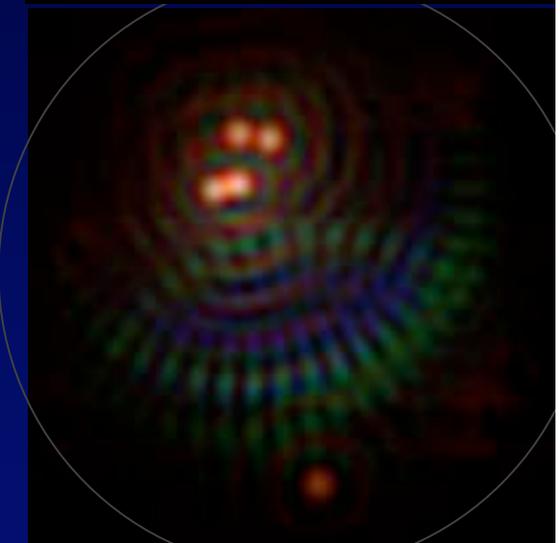
sortie



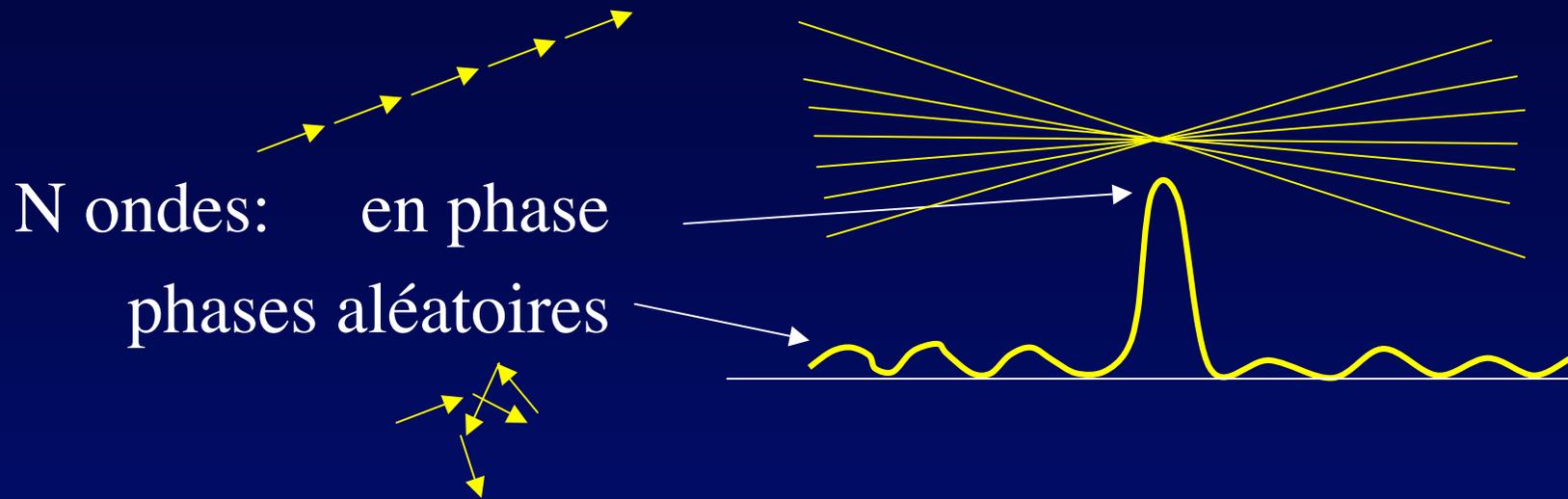
15 étoiles



60 étoiles

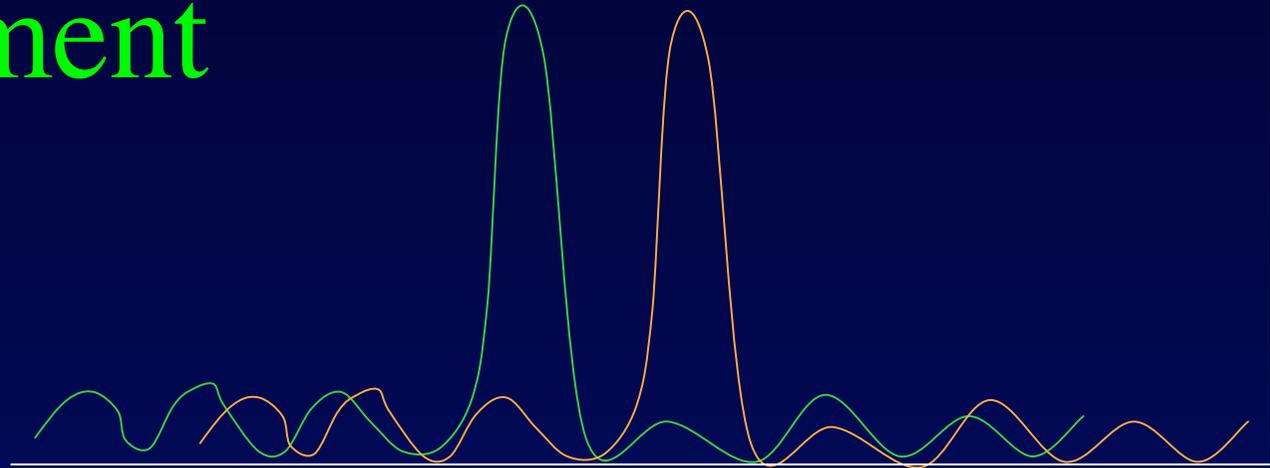


# Pic et halo



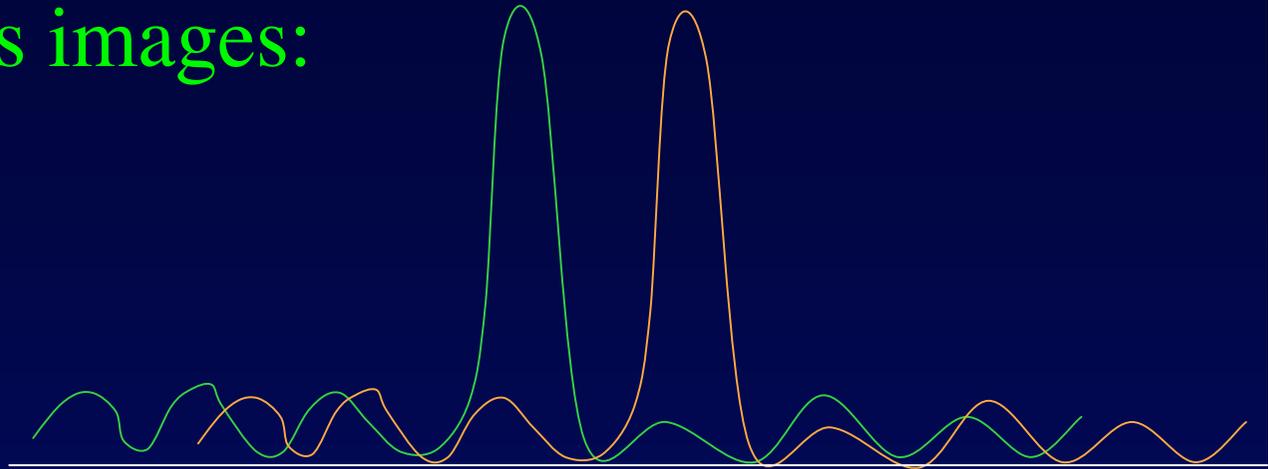
- Pic:
  - addition des amplitudes vibratoires
  - intensité  $I_{\text{pic}} = (N a)^2 = N^2 a^2 = N^2 I$
- Halo moyen : addition des intensités  $I_{\text{halo}} = N I$
- Rapport d'intensités:  $I_{\text{pic}} / I_{\text{halo}} = N$

# Encombrement des images



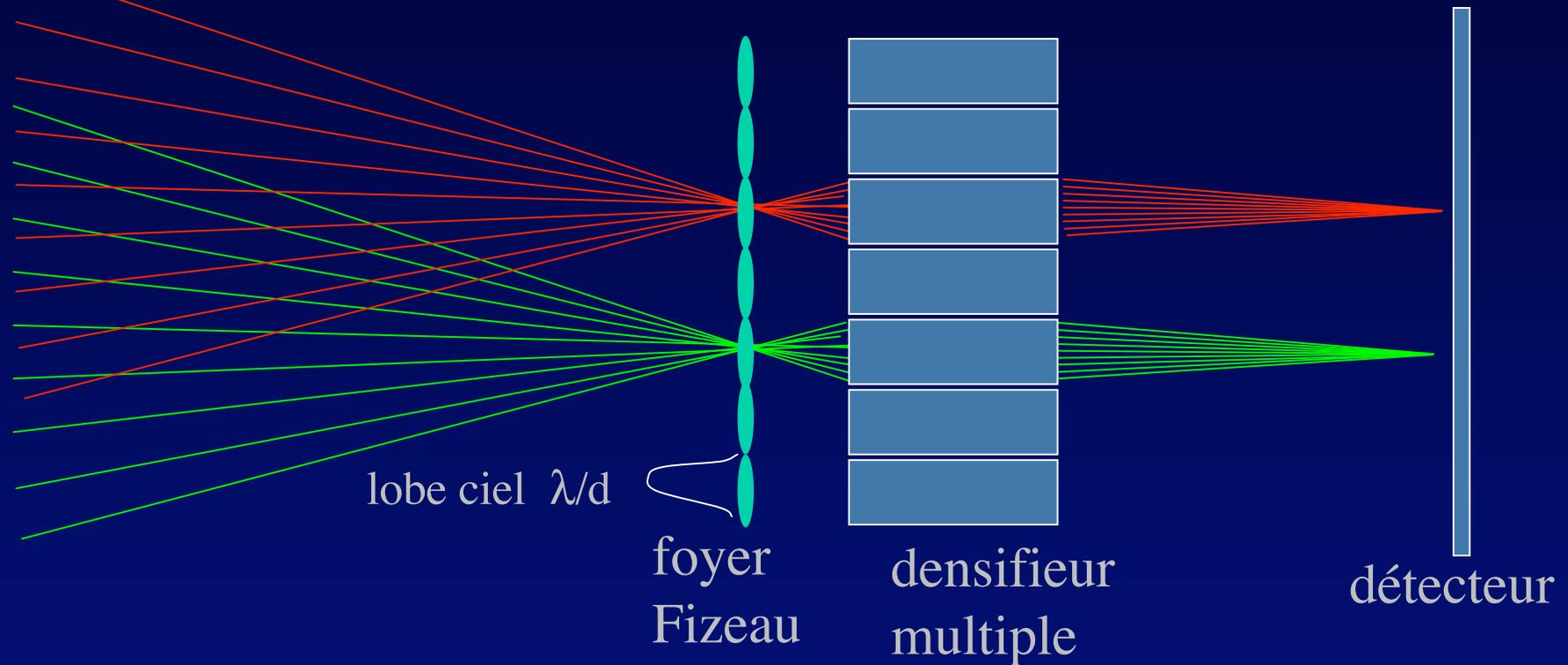
- $r$  = nombre de sources par “lobe ciel”  $\lambda/d$
- Perte de contraste catastrophique si  
 $r > N$  ou  $N^2$  , selon redondance
- **Même limitation pour interféromètres Fizeau et hypertelescopes, ne dépend pas des bases**
- Nombre sources max. par seconde carrée:  
 $2.3 \cdot 10^{-11} r (d / \lambda)^2$

# Encombrement des images: exemples



- $N = 27$  , cercle non redondant avec ouvertures de 1m:
  - 729 étoiles ou 27 galaxies de 27 resels par « lobe ciel » de 0,1 “
- $N = 7\ 000$  ( OWL éclaté):
  - non redondant: 10 millions d 'étoiles ou 10 000 galaxies de 1 000 resels.....
  - périodique: 7000 étoiles ou 100 galaxies de 70 resels .....

# cosmologie avec OWL éclaté: champ multiple



- Optique intégrée pour 1 000 x 1 000 densifieurs
- Poses décalées pour reconstruction mosaïque

# Encombrement des images: cosmologie avec OWL éclaté ?

- encombrement négligeable pour galaxies lointaines
- Densifieur multiple pour reconstruction d'image par mosaïque:
  - exemple 1000 x 1000  
« lobes ciel » de 0,1"



**Hubble Deep Field**

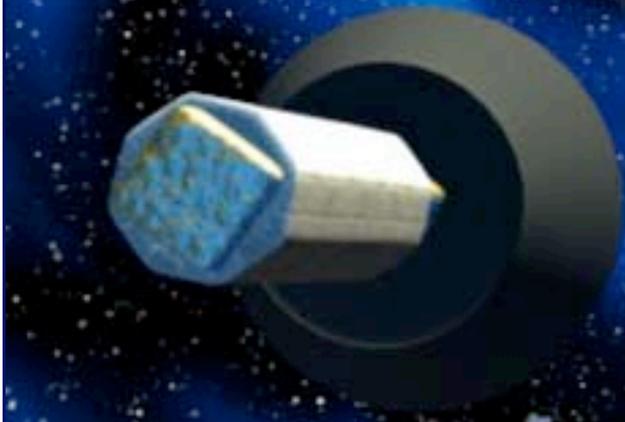
PRC96-01a · ST Scl OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST Scl), NASA

**HST · WFPC2**

# Version hypertélescope pour TPF

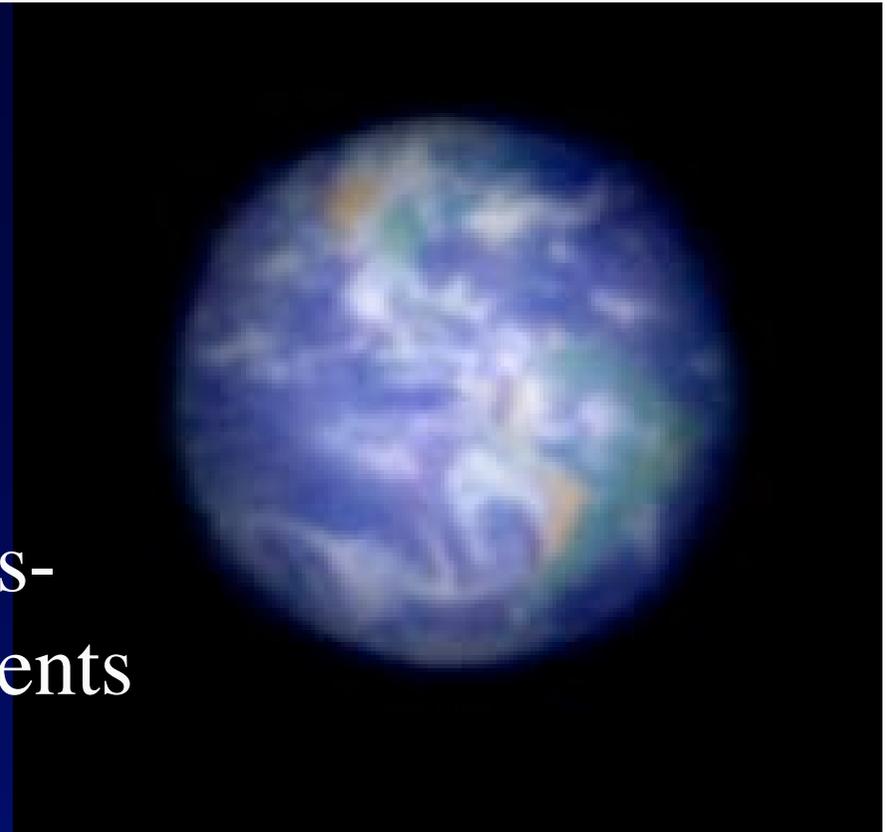
proposée par les chercheurs de LISE (étude NASA en cours)

vue d'artiste par Boeing /SVS



# Voir la vie sur des images résolues

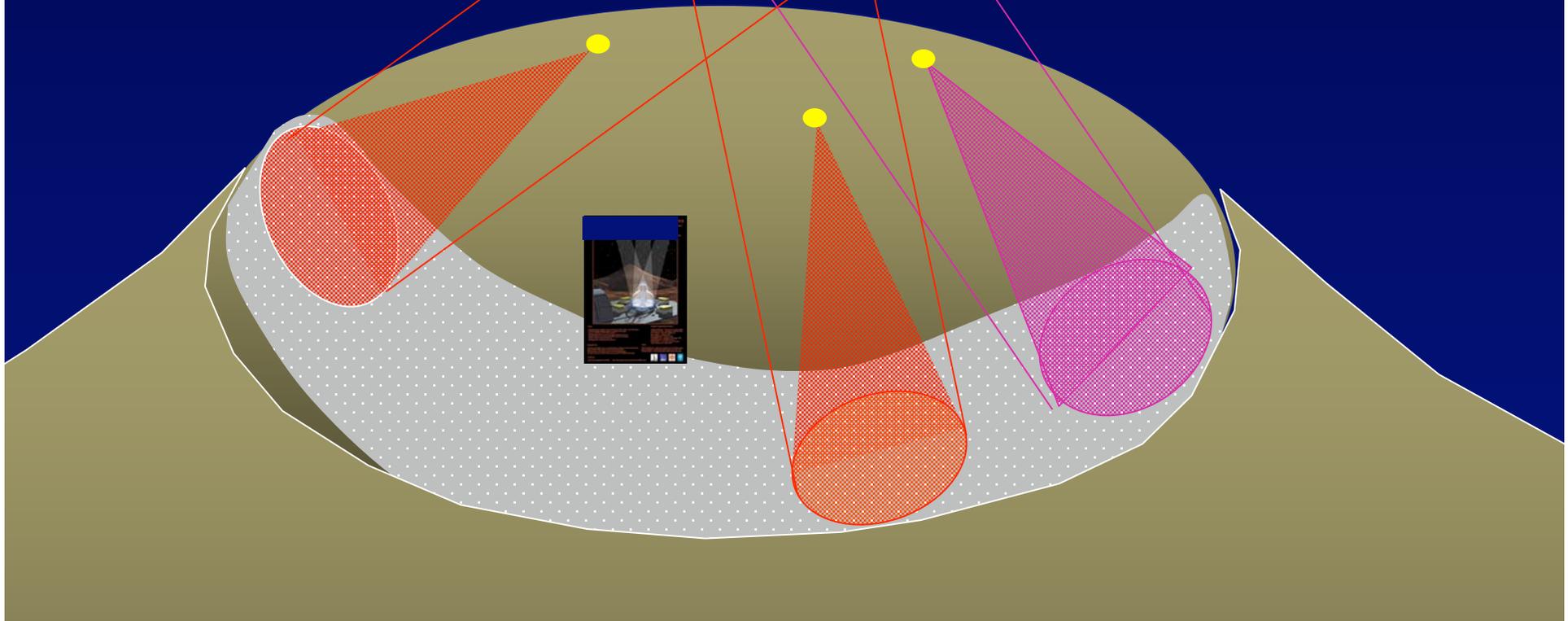
- Exemple : Terre à 10 années-lumière, vue avec 150 éléments de 4m, diamètre 150 km
- Poses 30 mn
- La verdure réfléchit l'infrarouge proche
- Coronographe pour chaque ouverture



```
from e_oppo on a e res por ome a es  
st double zoom=5, contraction=10,  
st unsigned int Nt=50, rolMax=3;
```

# Conclusions

- OWL éclaté est en principe plus résolvant
  - même magnitude limite
  - convient pour l'imagerie cosmologique
  - Programmes multiples avec ballons
- Une comparaison détaillée est souhaitable



# Conclusions

- OWL éclaté est en principe plus résolvant
  - même magnitude limite
  - convient pour l'imagerie cosmologique
  - Programmes multiples avec ballons
- Une comparaison détaillée est souhaitable