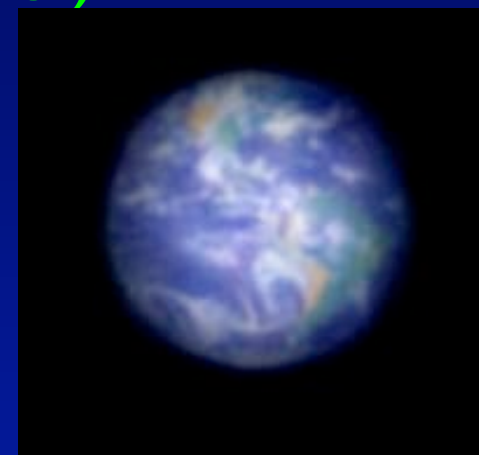


cette année:

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



- Les mardis jusqu 'au 24 Avril
- Sauf les 27 Février, 10 Avril, 17 Avril ( vacances)
- Pages web en préparation sur [www.college-de-France.fr](http://www.college-de-France.fr)
- Contiendront les fichiers des présentations

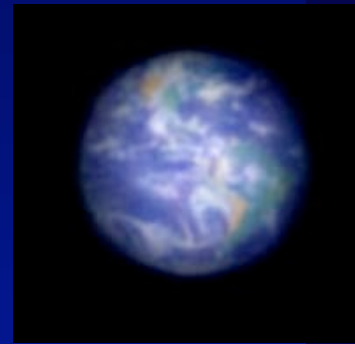
Aujourd'hui:

Télescopes géants, interféromètres, et la  
voie des hyperstélescopes

Séminaire à 15h15:

Olivier Lardière, LISE ( Laboratoire d'Interférométrie  
Stellaire et Exoplanétaire)

“Pilotage par voiles solaires pour éléments  
d'interféromètres dans l'espace”



# Démocrite , il y a 2400 ans

- “Les mondes sont illimités et différents en grandeur: dans certains il n'y a ni Soleil ni Lune, dans d'autres, Soleil et Lune sont plus grands que chez nous, et dans d'autres il y en a plusieurs. Les intervalles entre les mondes sont inégaux et dans certains endroits du cosmos, il y en a plus, alors qu'il y en a moins dans d'autres. Les uns croissent, d'autres sont à leur apogée, d'autres meurent, ici ils naissent alors que là ils disparaissent”
- ( vécut il y a 2480 à 2371 ans)
- Extrait d'Hippolyte "Réfutation de toutes les hérésies", I, 13, ( signalé par P.Riaud)

# Epicure, il y a 2300 ans

- "Les mondes sont aussi en nombre infini, les uns semblables à celui-ci, les autres dissemblables... on ne saurait démontrer que dans de tels mondes des germes tels que d'eux se forment les animaux, les plantes, et tout le reste de ce que l'on voit pourraient n'être pas contenus"  
( Lettre à Hérodote, signalé par J.Schneider)

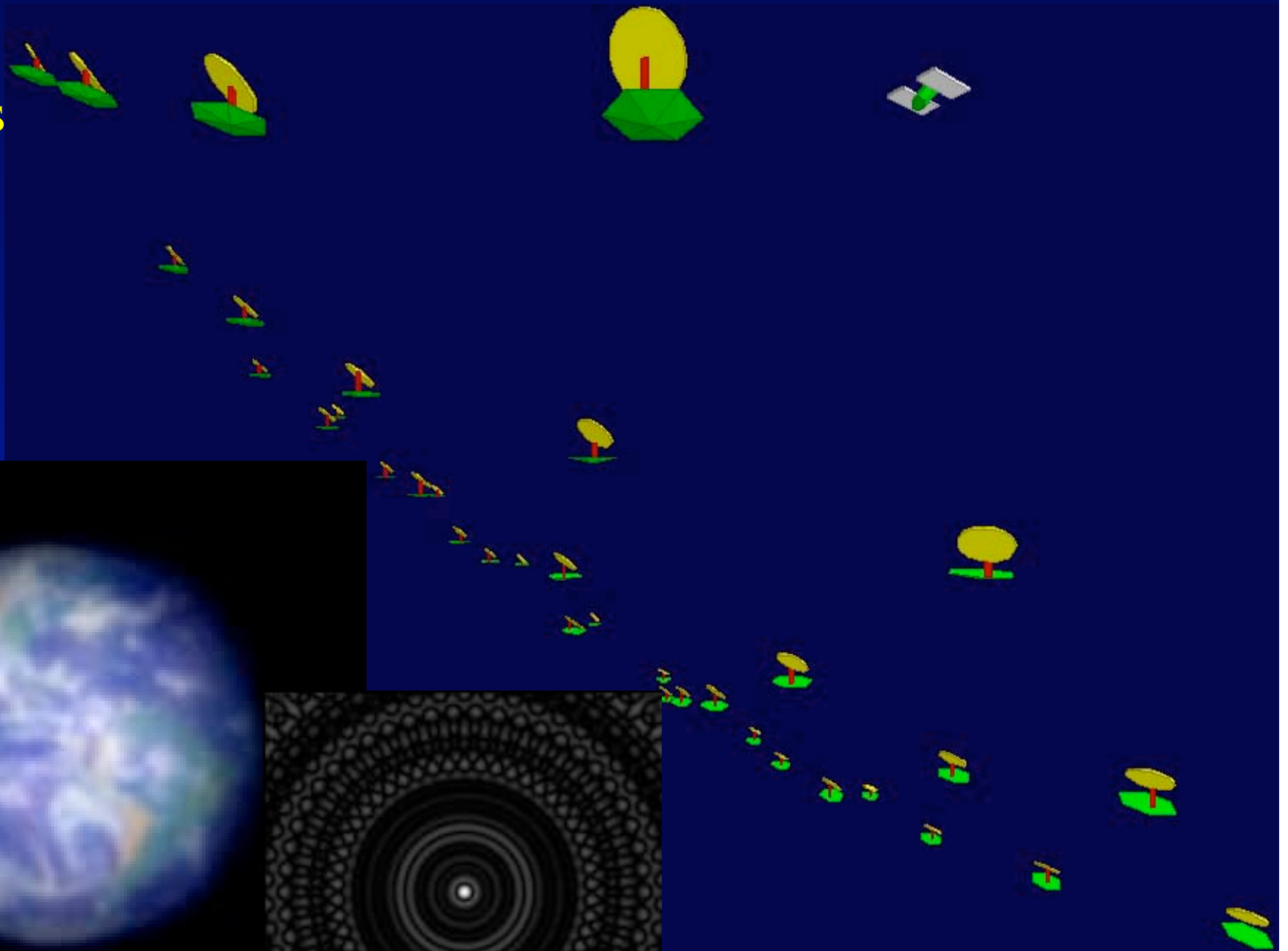
# Evolution actuelle des idées et projets

- Étude entamée par la NASA de l'interféromètre « Terrestrial Planet Finder »
  - Différentes versions dont « hypertélescope » avec coronographe
- Sol:
  - études de « Très Grands Télescopes » : 100m par ESO
  - Financement du « California Extremely Large Telescope » (30m)
  - hypertélescopes: étude de versions éclatées, hyper-OVLA et CARLINA
  - Étude comparative entamée par Arnold et al.

# Dans 20 ans ?

150 miroirs  
de 3m  
150 km

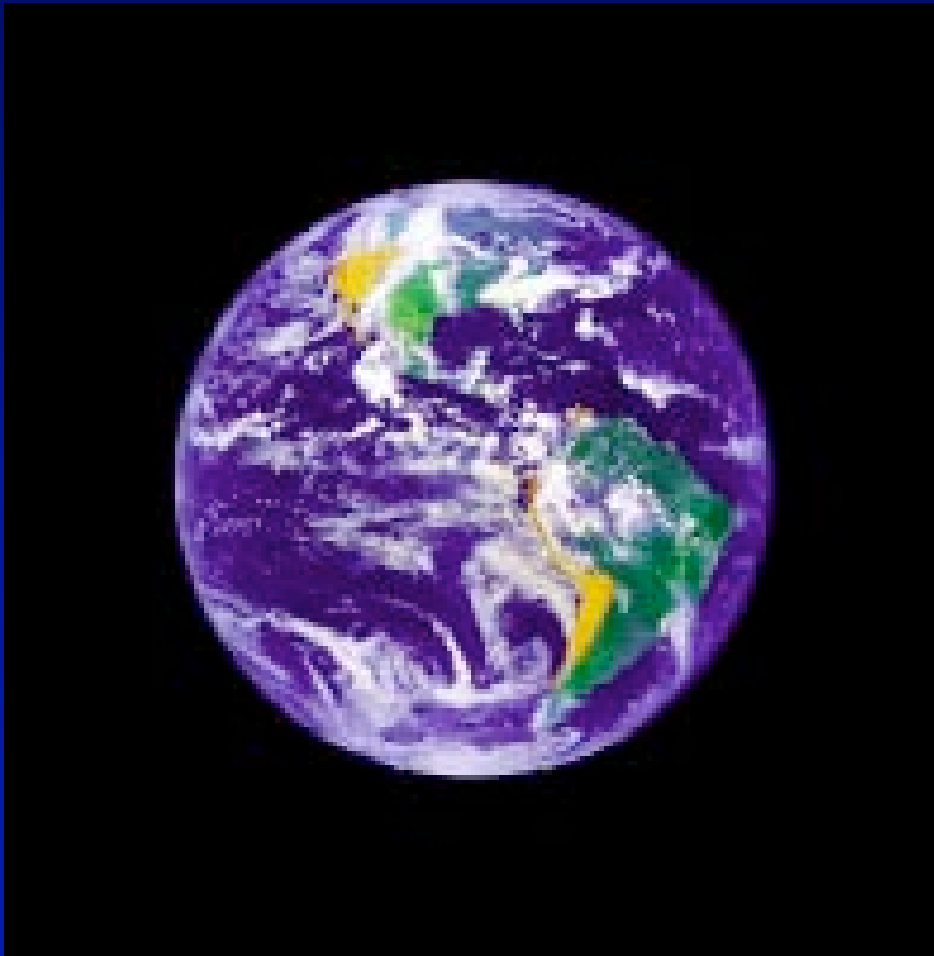
Terre à 3pc  
Pose 30mn



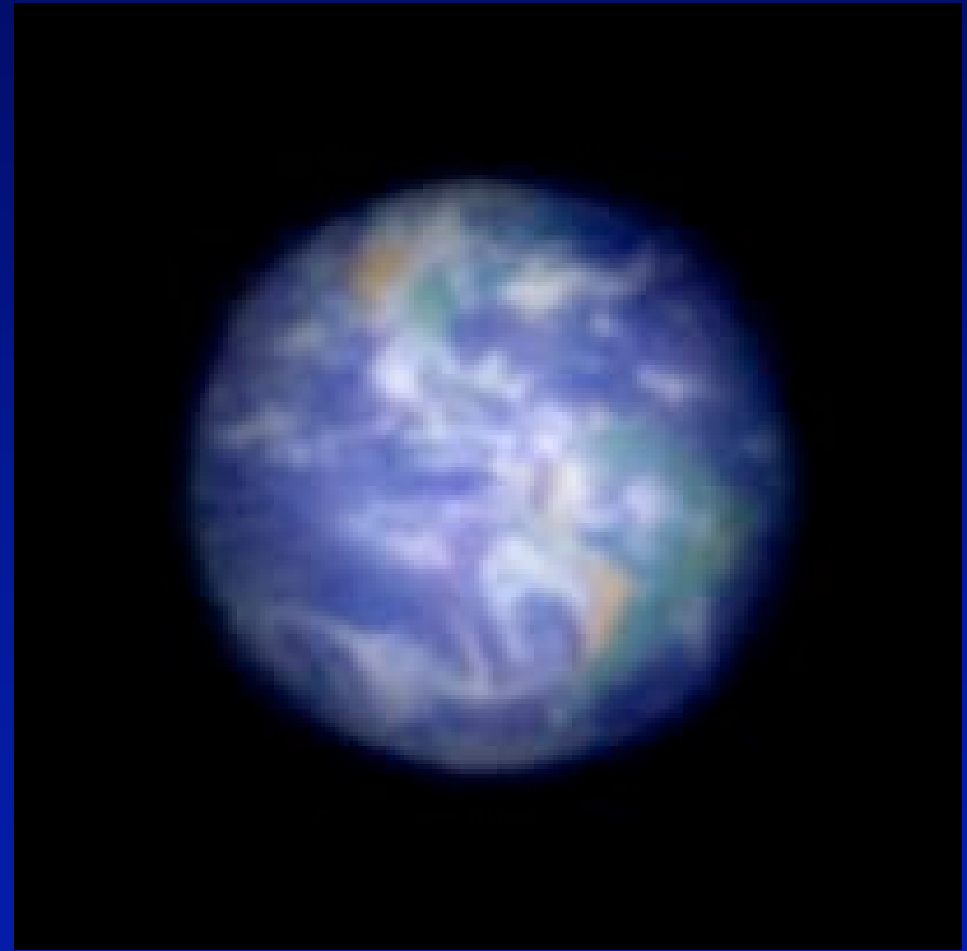
# Image simulée d'une Terre vue à 10 années lumière par un hyper-telescope de 150km

150 miroirs de 3m,  
pose 30mn

( Labeyrie, *Science*, 17 Septembre 1999)



objet



image

# Recherche de vie extra-solaire: Faut-il résister à la tentation ?



Je te dis qu'il y a  
de la vie ailleurs



# Recherche de vie extra-solaire: Faut-il résister à la tentation ?

- Lourdes conséquences en cas de succès
- Est-ce inquiétant ? Réponses contradictoires dans la littérature de fiction !
- L 'homme est un explorateur incorrigible depuis qu 'il a conquis le feu ( environ un million d 'années )
- Son évolution biologique en a été influencée
- Il serait surprenant qu 'il résiste à la tentation de chercher la vie sur les exo-planètes....
- ...même si la faisabilité de voyages interstellaires reste incertaine

# le projet SETI\* évolue vers « Optical SETI »

\* Search for Extra-Terrestrial Intelligence, utilisant notamment le radio-télescope d 'Arécibo (Howard & Horowitz , « Optical SETI with NASA 's Terrestrial Planet Finder », 2000 )

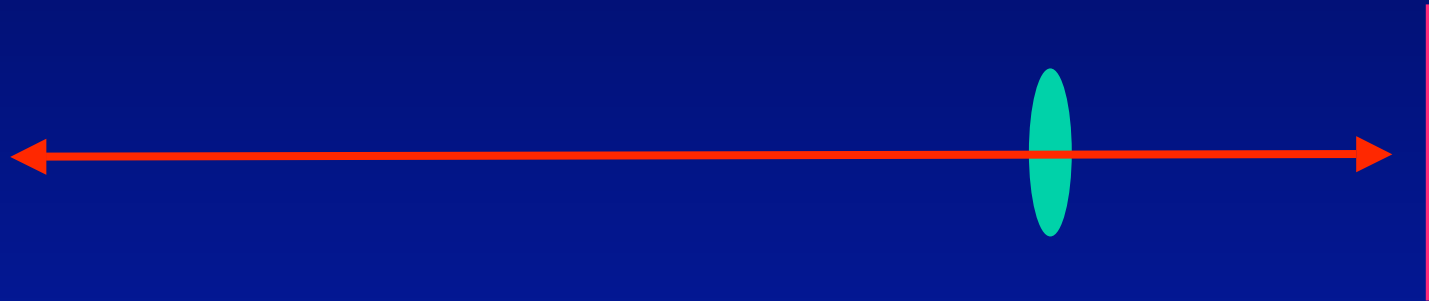
- Hypothèse sous-jacente: ils nous visent avec des lasers
- Stade actuel: spectroscopie optique
  - sans haute résolution angulaire ni coronographe
  - recherche de raies laser dans les spectres optiques d 'étoiles
- Suite logique:
  - Haute résolution angulaire, coronographe
  - sensibilité fortement accrue

# le projet SETI\* évolue vers « Optical SETI »

- cas de figures concernant les intelligences extra-terrestres:
  - 1- Elles communiquent entre elles de façon peu discrète, observable
  - 2 Elles nous observent discrètement:
    - Captent nos émissions radio, télévision
    - Imagerie : utilisent des hypertélescopes ?
    - Soucoupes volantes ? Les astronomes n'y croient guère !
  - 3- Elles émettent vers nous: radio , lasers ?

# Peut-on detecter des exo-hypertélescopes lointains nous observant ? ...

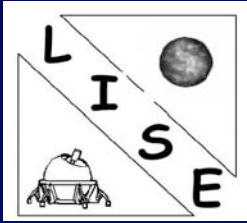
.....comme font les chasseurs de caimans, par l 'effet cataphote ?



- Trop facile à éviter .....
- Difficile: temps de balayage , luminosité....

# Création du LISE

- Laboratoire d 'Interférométrie Stellaire et Exoplanétaire , créé le 1/1/2000 par le CNRS et l 'Université de Provence, associé au Collège de France
- Olivier Lardière, Sophie Gillet, Virginie Borkowski, Pierre Riaud, Julien Dejonghe, David Vernet, Vanessa Olivo, Hervé Le Coroller, Antoine Labeyrie
- Projets:
  - étude d 'hypertélescope hyper-OVLA & CARLINA au sol
  - versions spatiales
  - Observations d 'exo-planètes: tau Boo ( 10<sup>-4</sup>, 3 mas)



Julien Dejonghe  
(Technical Staff)  
OVLA



Antoine Labeyrie



Olivier Lardière  
(Post-doc)  
OVLA



Pierre Riaud  
(PhD student)  
Coronagraphy



Sophie Gillet  
(PhD student)  
Pupil densifier



Virginie Borkowski  
(PhD student)  
Cophasing



Hervé LeCoroller  
Balloon division

David Vernet

Ettore Pedretti

# DARWIN (Mariotti et al.) étude par ESA





# concept d'hypertélescope

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

vue d'artiste par Boeing /SVS



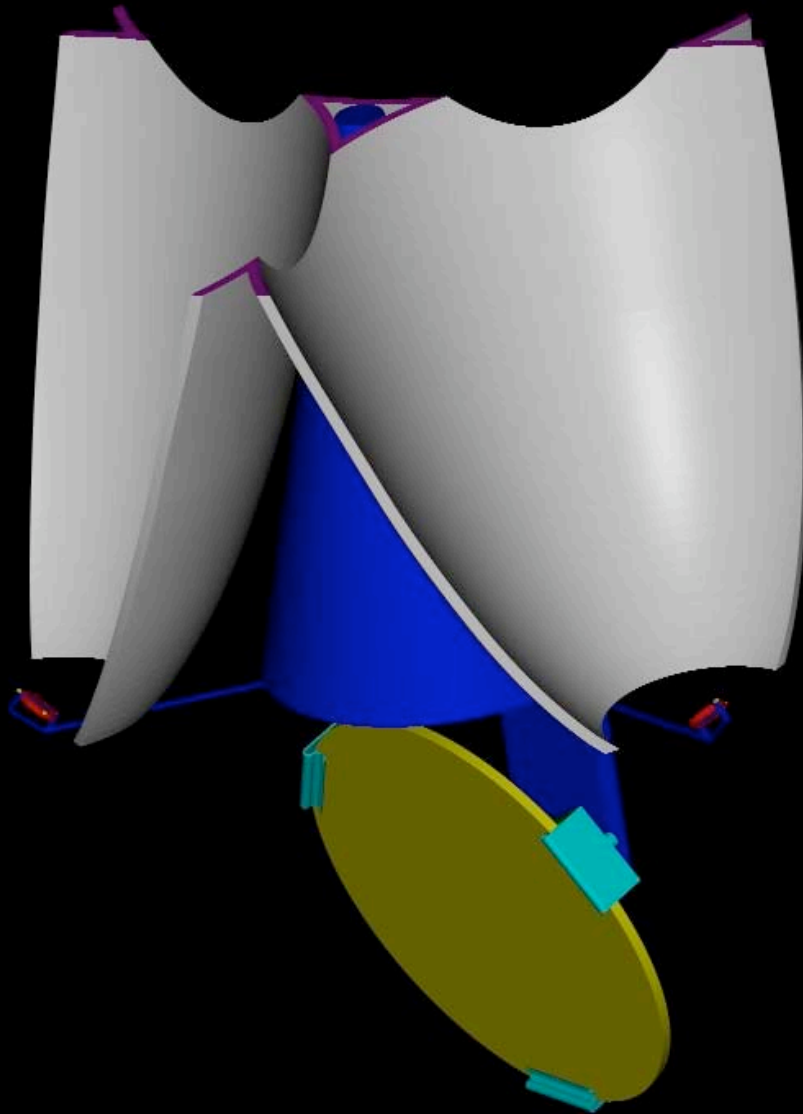


# Artist's Rendering of the Single Array Element





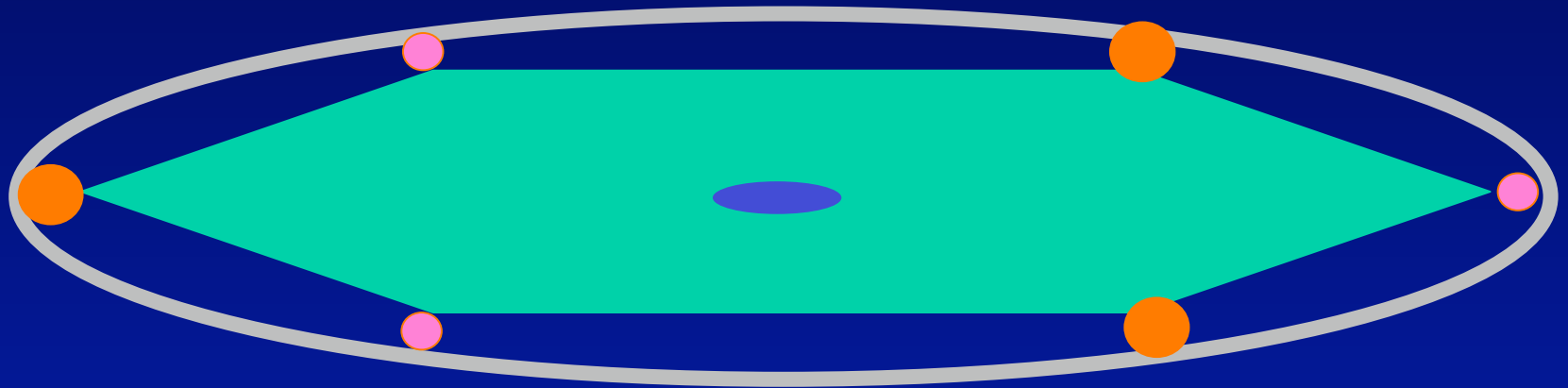
# Eléments de miroir actionnés par des voiles solaires?



- Petit miroir orientable ou micro-miroirs dans l'image solaire
- Lent mais durable et peu coûteux ?
- Voile servant aussi d'ombrelle, mais trop proche pour 30°K ?
-

# Stretched membrane mirrors

(Angel et al.)



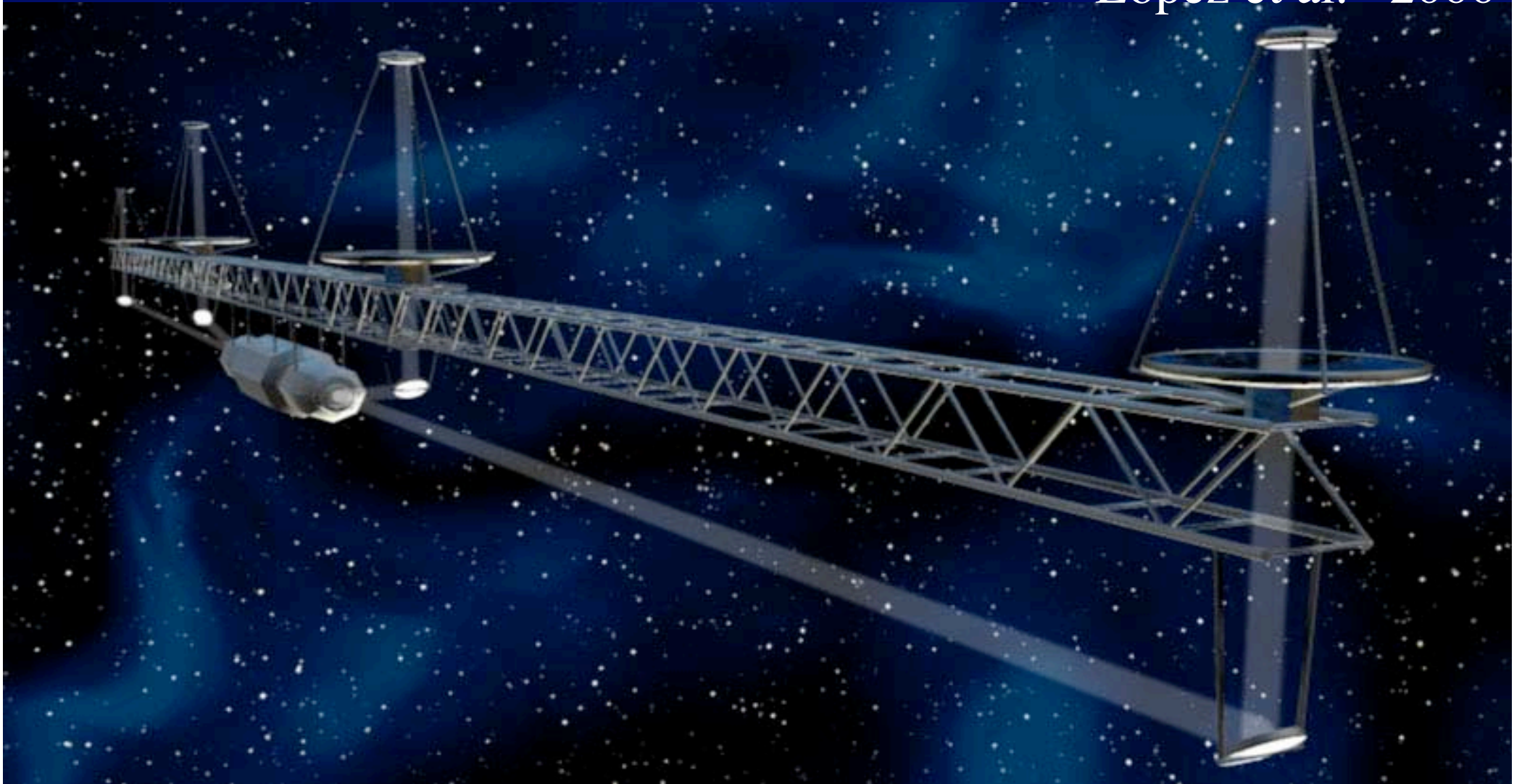
- Silicon carbide or nitride membrane, bi-concave ( 63 microns concavity for 60cm diameter,  $R=800m$  )
- Tensioned in frame, 3 points or 6 with triplet of actuators
- Ion-figured

# Apodized Square Aperture artist rendering



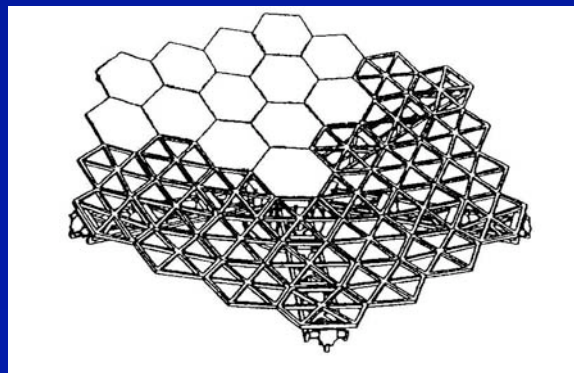
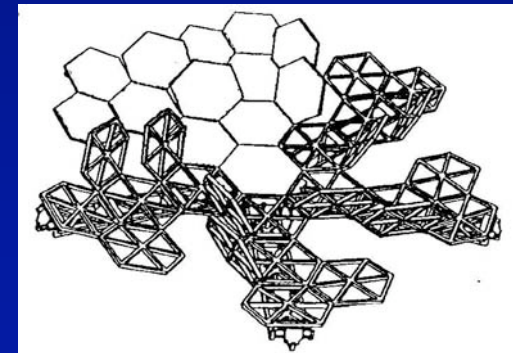
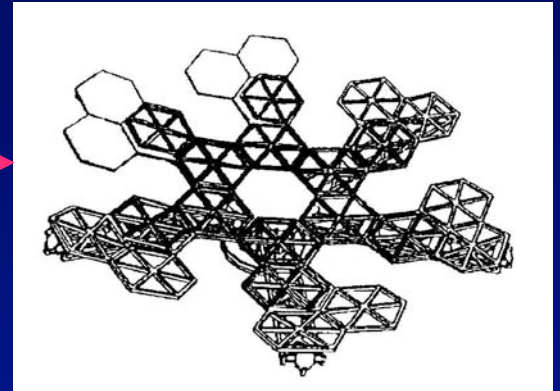
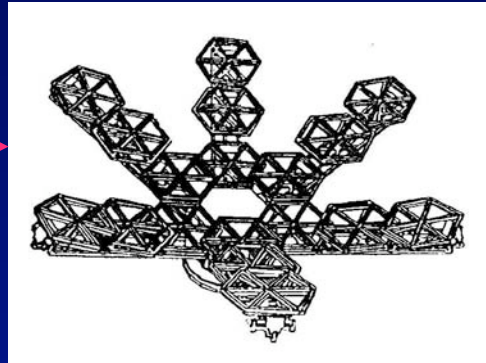
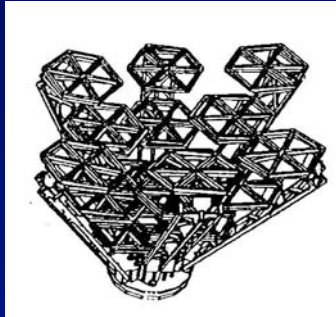
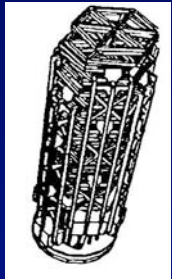
# Artist's Conception of Redundant Linear Array

Lopez et al. 2000





# Deployable Reflector: “Starburst”\*



- Up to 3 ring segmented reflector
- Maximum deployed diameter: 23 m
- Inefficient package for deployed diameters >10m

\*Mikulas, M. et. al.: *Deployable Concepts for Precision Segmented Reflectors*, JPL D-10947, June 1993.

# Faire un précurseur spatial?

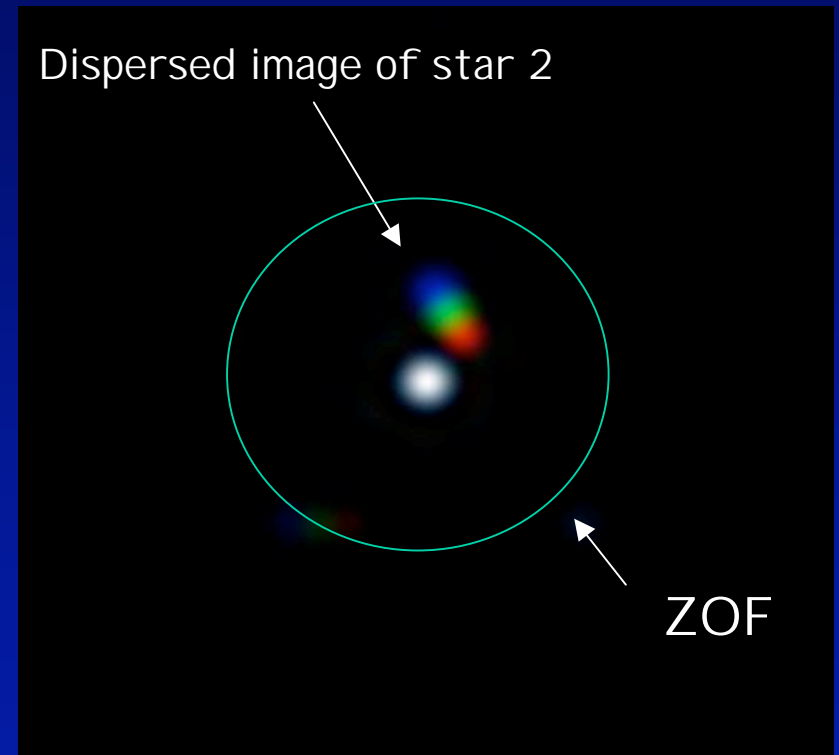
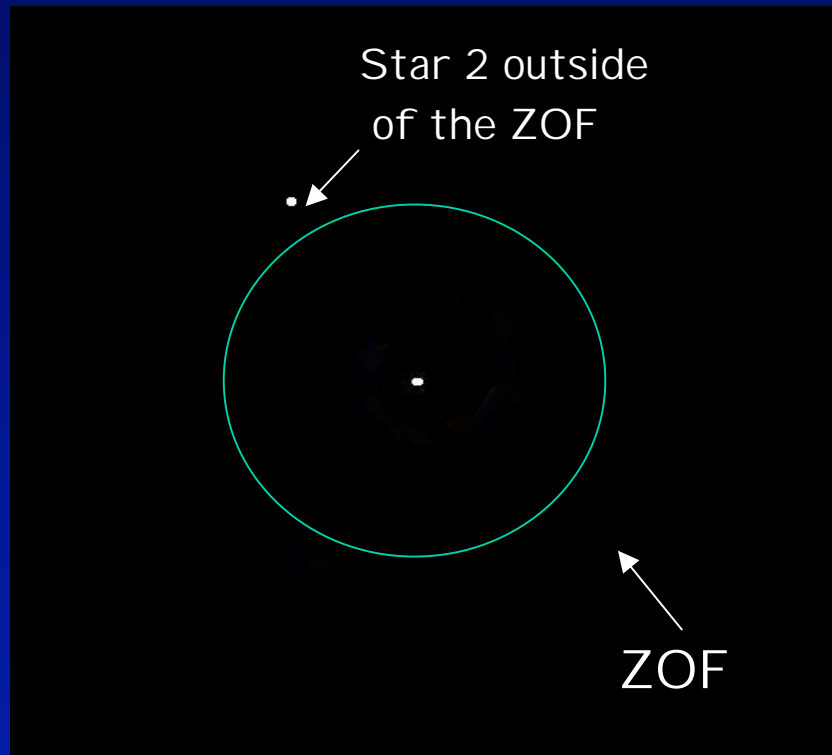
## Masse mini

- Laboratoire d 'Interférométrie Stellaire et Exoplanétaire , créé le 1/1/2000 par le CNRS et l 'Université de Provence
- Olivier Lardière, Sophie Gillet, Virginie Borkowski, Pierre Riaud, Julien Dejonghe, Vanessa Olivo, Antoine Labeyrie
- **Projets:** hyper-OVLA, étude d 'hypertélescope CARLINA au sol et versions spatiales



# Imaging beyond the Zero-Order Field

$$\text{Zero-Order Field} : \text{ZOF} = \lambda / s$$



- Planets outside ZOF have a dispersed image in ZOF
- Extended image can be reconstructed if :
  - fewer than  $\pi N$  active pixels in object (OK for exo-planets)
  - multi- $\lambda$  camera (ex : STJ, ... Courtès optics)

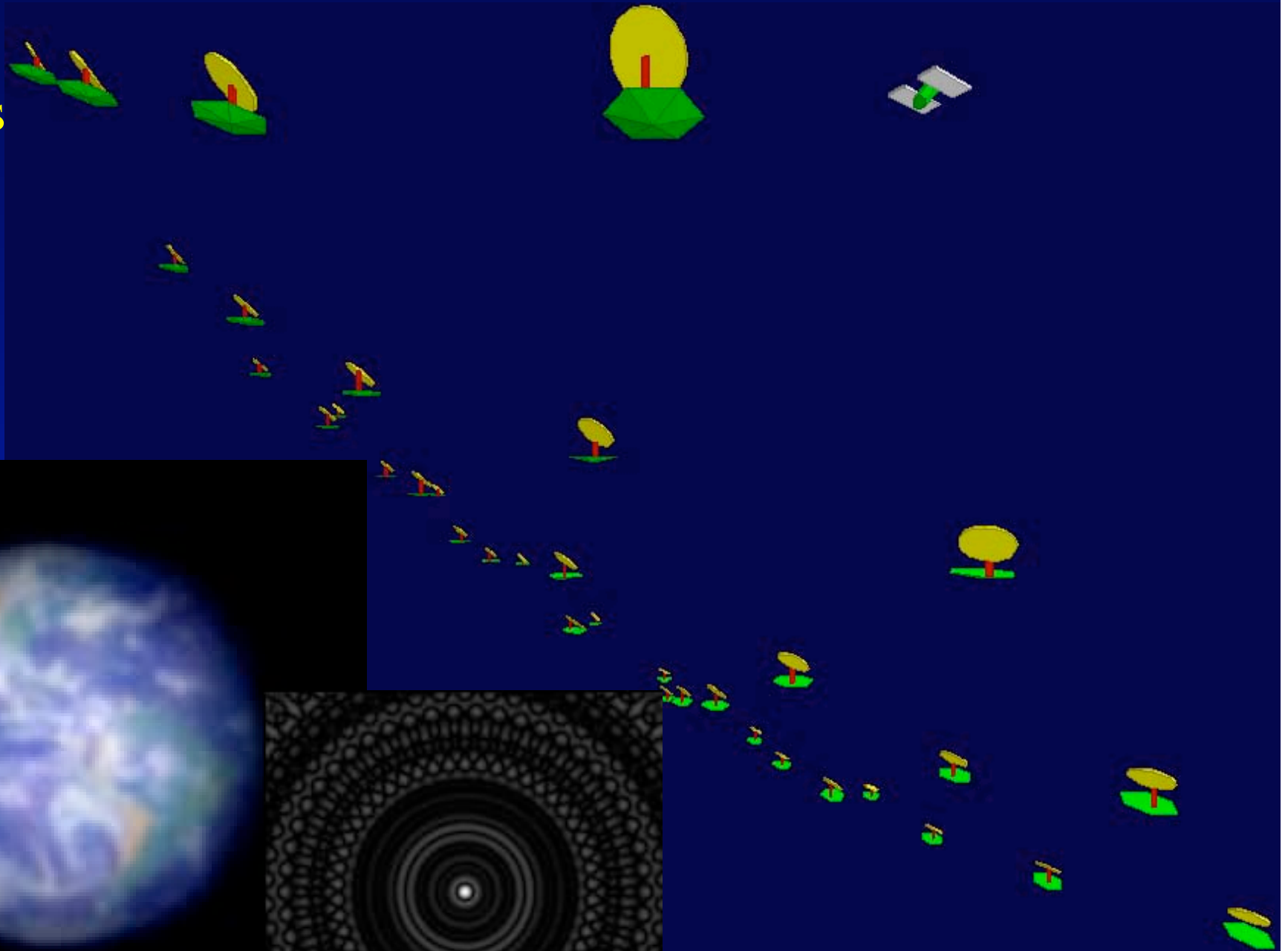
# Signal et bruit pour l'imagerie hyper-télescope d'exo-planètes

- effets de la lumière zodiacale et exo-zodiacale
  - Addition incohérente des sous-images zodiacales
  - Addition cohérente pour objets < champ => image haute résolution
    - Fond zodiacal:  $J_z = L_z N \lambda^2 d^{-2} d^2 = L_z N \lambda^2$
    - par Airy:  $J_z / N = L_z \lambda^2$
    - photons planète:  $J_p = I_p N d^2$
    - Contraste planète/zodiacal:  $J_p J_z^{-1} = I_p L_z^{-1} N d^2 \lambda^{-2}$
    - Signal/bruit:  $J_p J_z^{-1/2} = I_p L_z^{-1/2} N d^2 \lambda^{-1}$

# Un hyper-telescope: Exo-Earth Imager

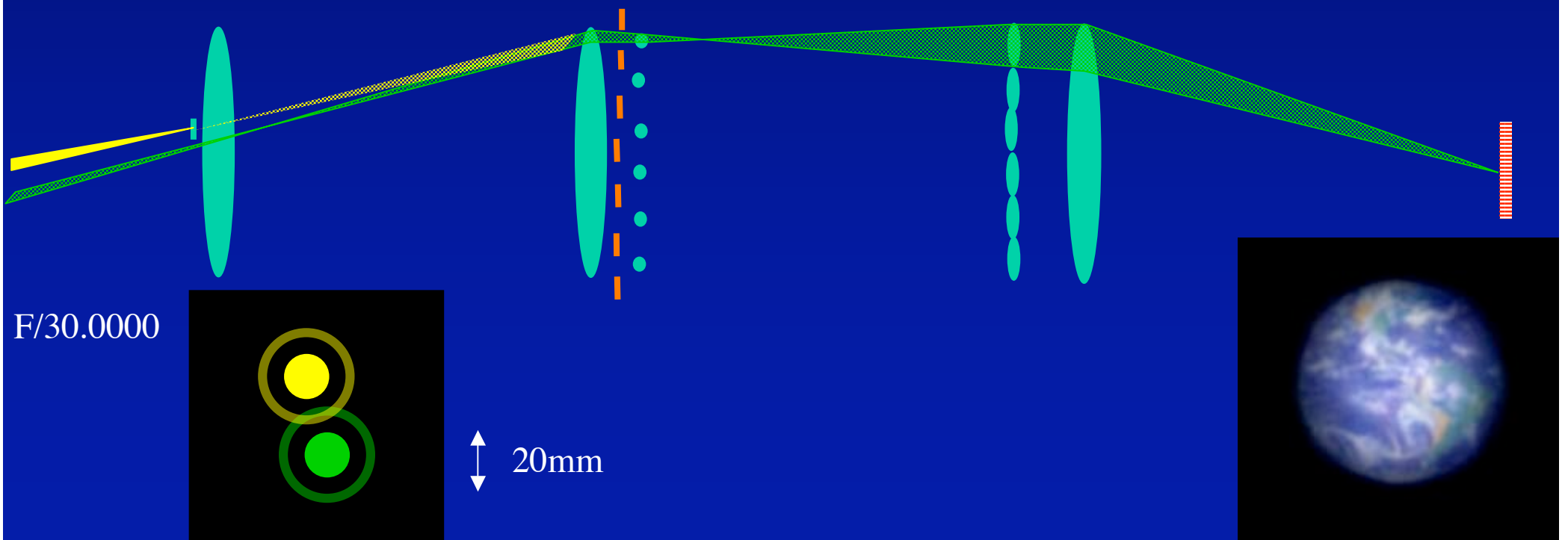
150 miroirs  
de 3m  
150 km

Terre à 3pc  
Pose 30mn



# Concept Exo-Earth Imager

- hyper-télescope 300 km, 150 éléments en 3 anneaux
- avec coronographe
- forte densification de pupille : 10 000



# Radio-télescope d'Arécibo (Porto Rico)



# • Projet CARLINA

