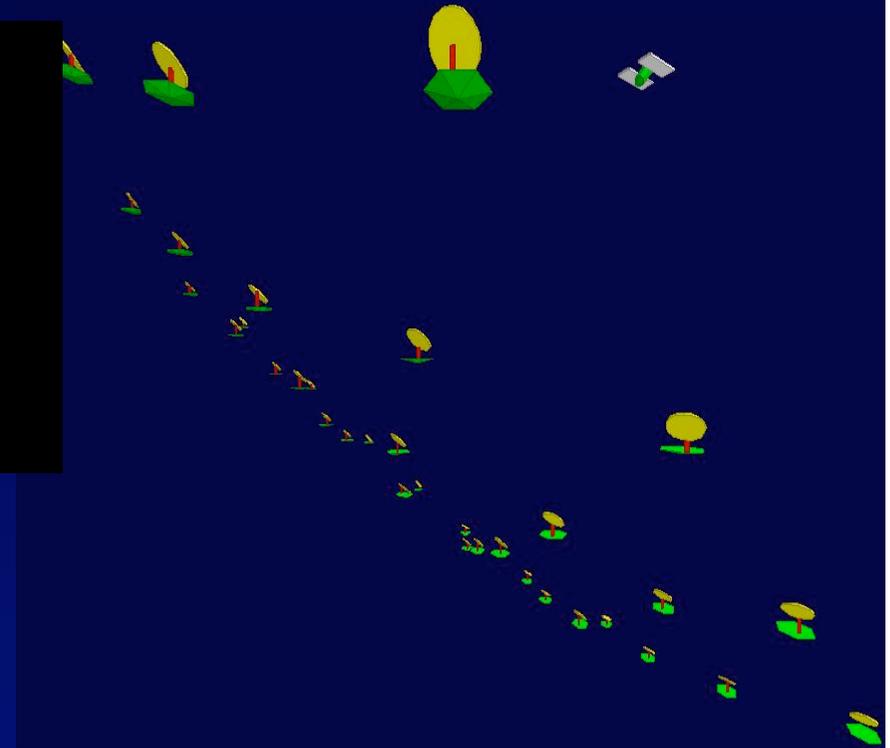
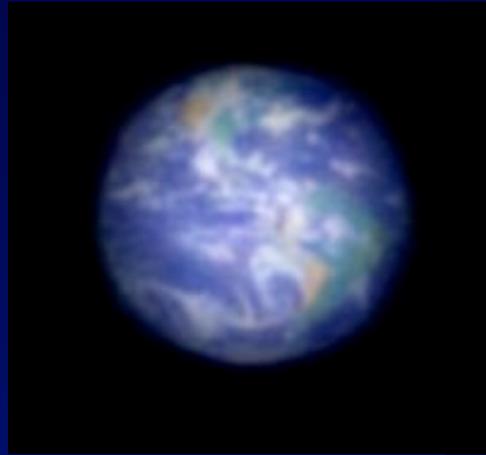


# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



# Calendrier 2008

- 25 Mars **"Propositions d'hypertélescopes pour l'espace: Luciola, Stellar Imager et piégeage par laser"**
  - Séminaire: Guy Perrin Obs. Paris-Meudon
- 1er Avril **« propositions d'hypertélescopes pour l'espace: piégeage par laser »**
  - Séminaire: Didier Pelat, "Arithmétique, interférométrie, et recherche de la vie extraterrestre"
- **3 cours et séminaires sont aussi prévus a Nice le 29 Mai**

Fichiers (pdf) de projections des cours 2006-07 téléchargeables sur : [www.college-de-france.fr](http://www.college-de-france.fr)

Aujourd'hui:

**Propositions d'hypertélescopes pour l'espace:  
Luciola, Stellar Imager et piégeage par laser**

Séminaire à 18h:

Guy Perrin (Observatoire de Paris-Meudon)

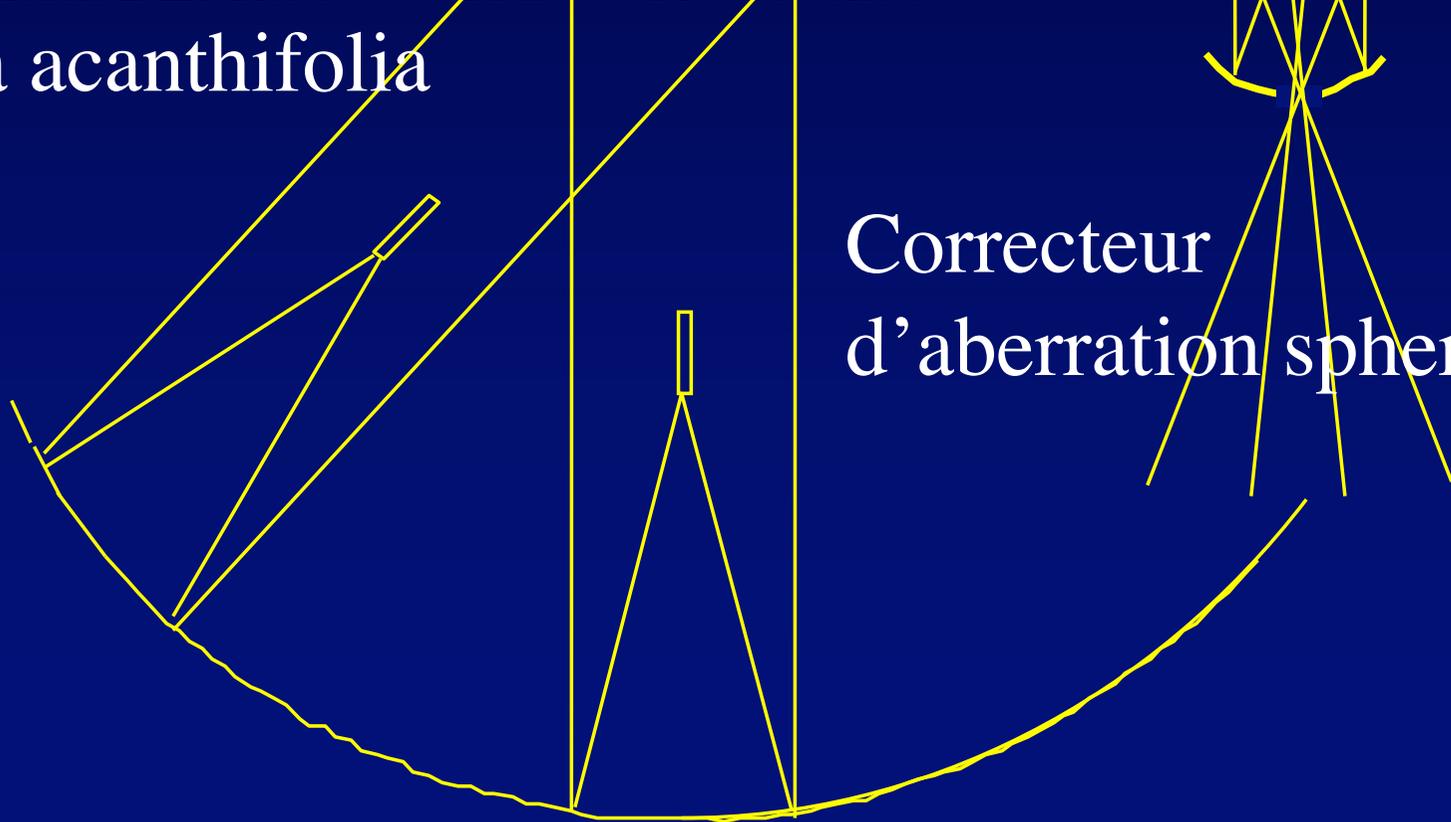
**« Observation du trou noir supermassif au  
centre de la galaxie par interférométrie infra-  
rouge »**





CARLINA  
hypertélescope  
au sol

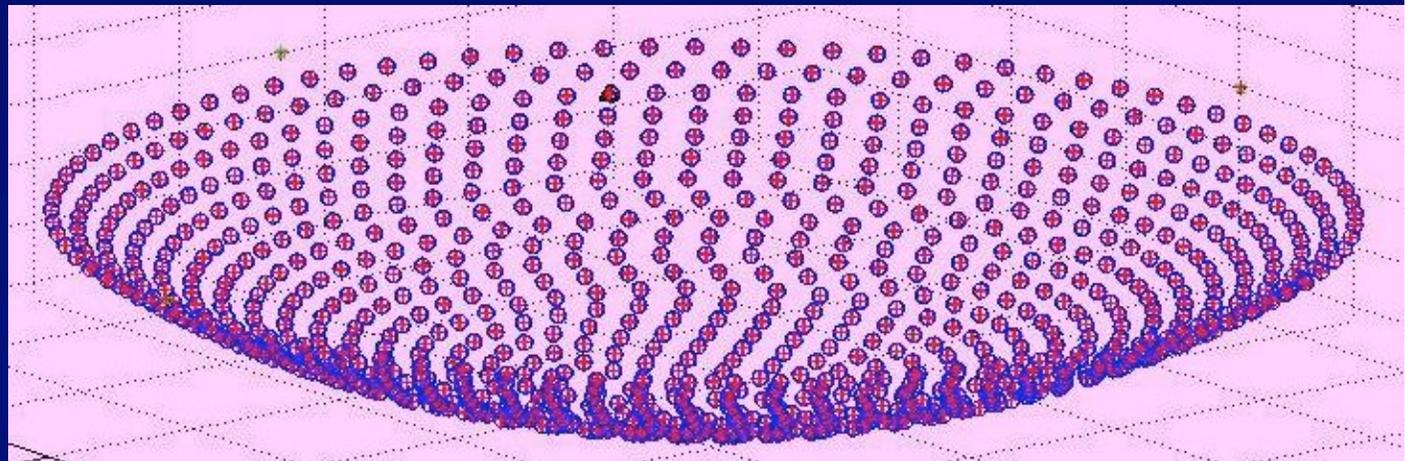
Carlina acanthifolia



Correcteur  
d'aberration sphérique

# 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

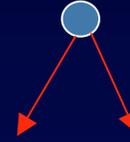


# L'espace élimine des problèmes...

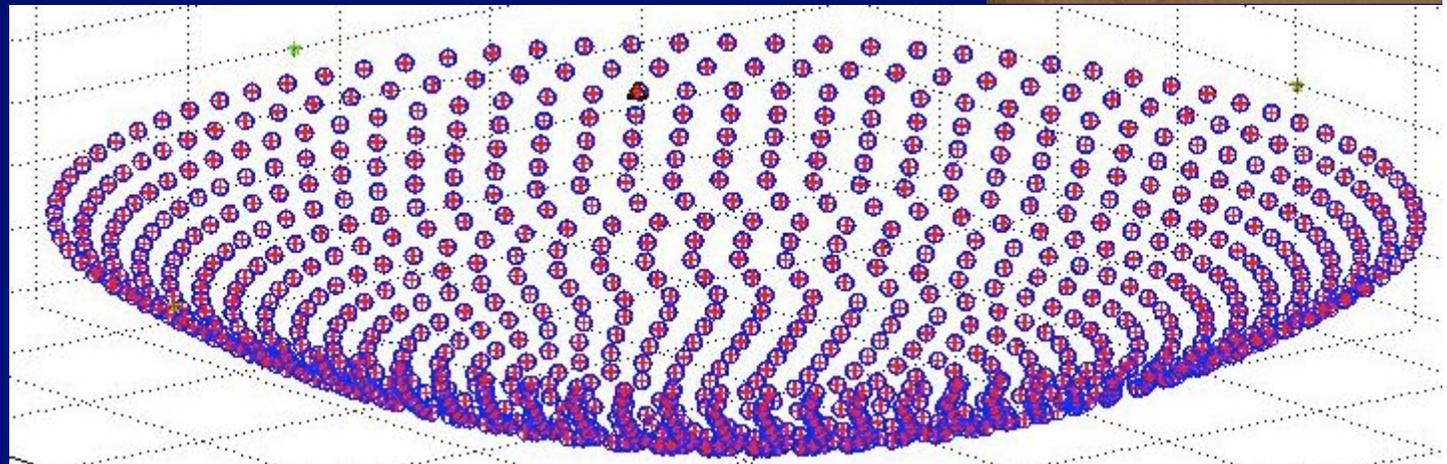
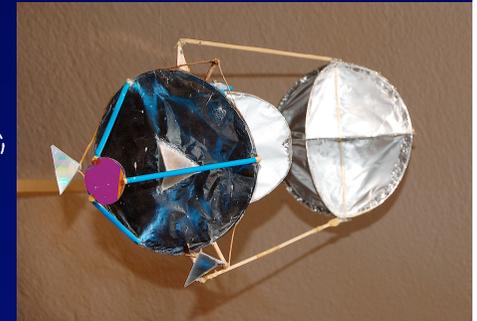
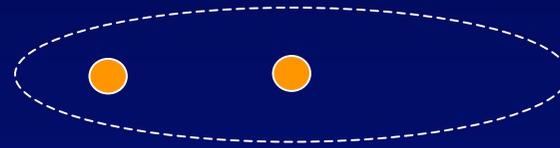
- De sites
- D'atmosphère turbulente
- De support mécanique, structure
- De limitation en dimension
- ... et en crée de nouveaux
  - il faut apprendre à piloter finement les éléments
  - rayons cosmiques, neutrons solaires, météorites...
  - cout plus élevé ?

Rappel:

# Hypertélescope spatial Luciola

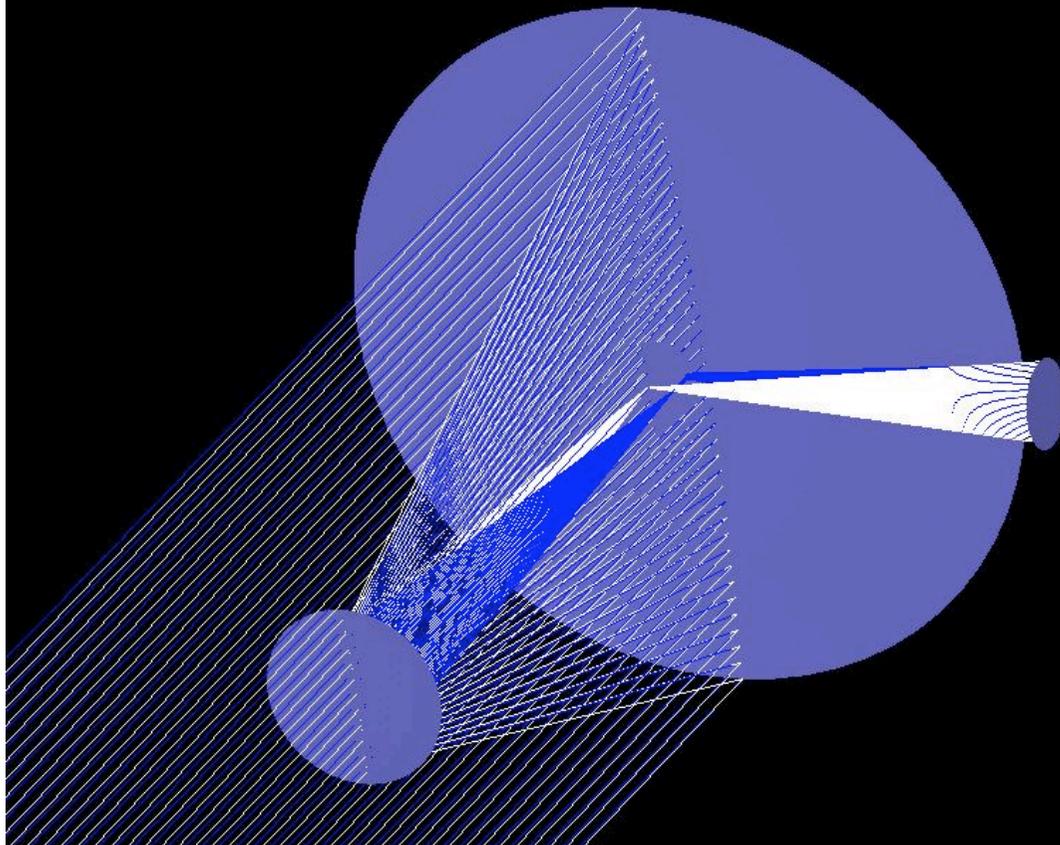
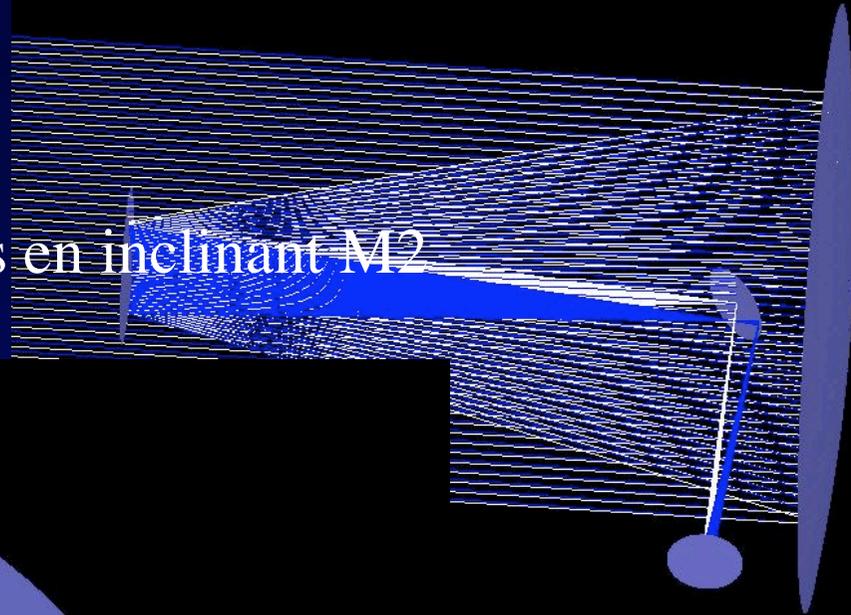


- Soumis à ESA ( 6/2007)
- non sélectionné
- simplifier !

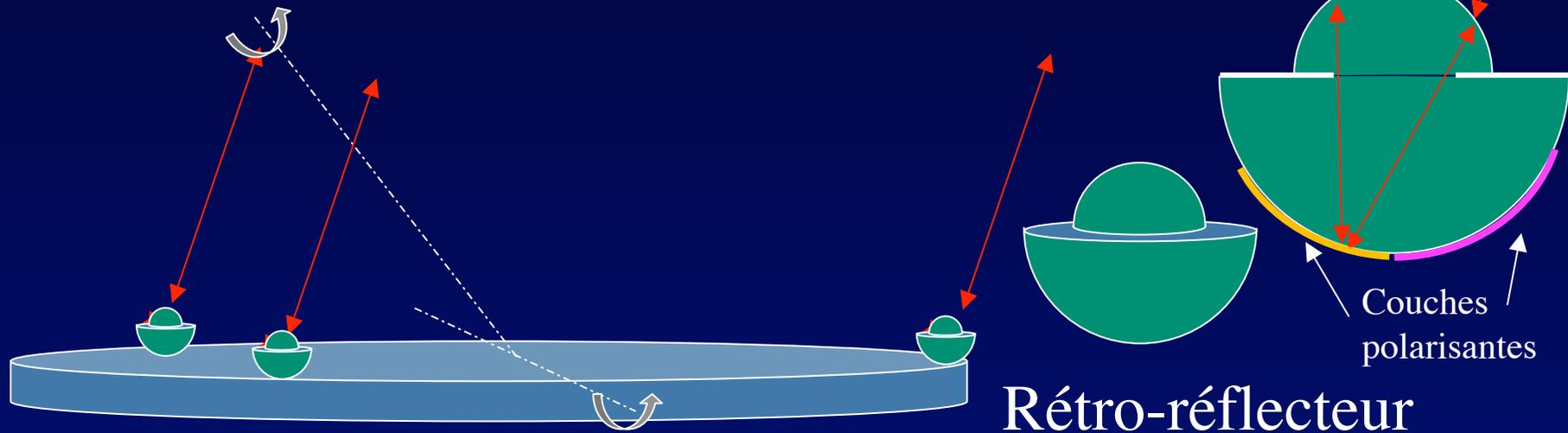


# Propulseur solaire

- Télescope Cassegrain léger
- Sorties latérales commutables en inclinant M2



# Méetrologie laser à partir du centre de courbure



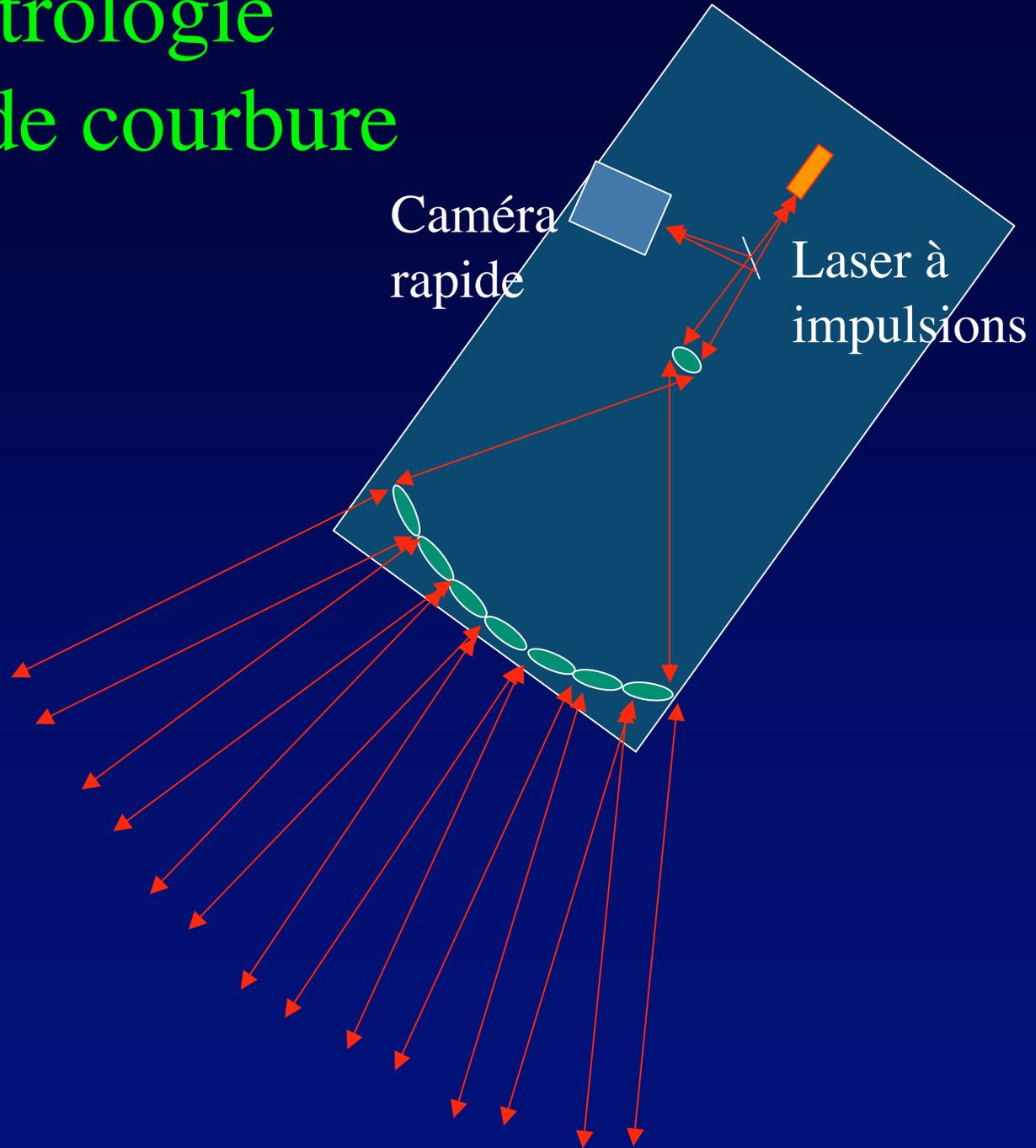
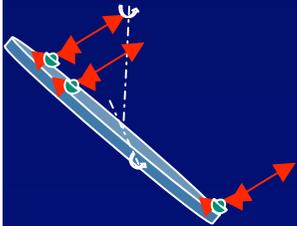
- temps de vol d'impulsions laser mesuré pour:
  - distance grossière ( 1mm)
  - orientation grossière des segments ( 0,01 radian)
- interférence polychromatique pour:
  - orientation précise ( 1 micro-radian)
  - distance précise( 100 nm)

# Satellite de métrologie au centre de courbure

Caméra  
rapide

Laser à  
impulsions

un faisceau laser par  
miroir

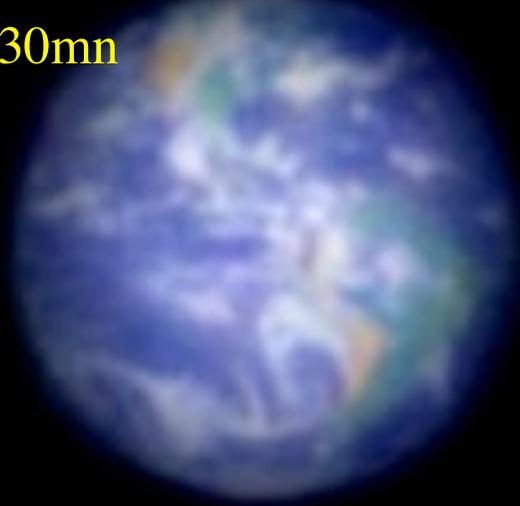


# Dans 20 ans ? Exo-Earth Imager

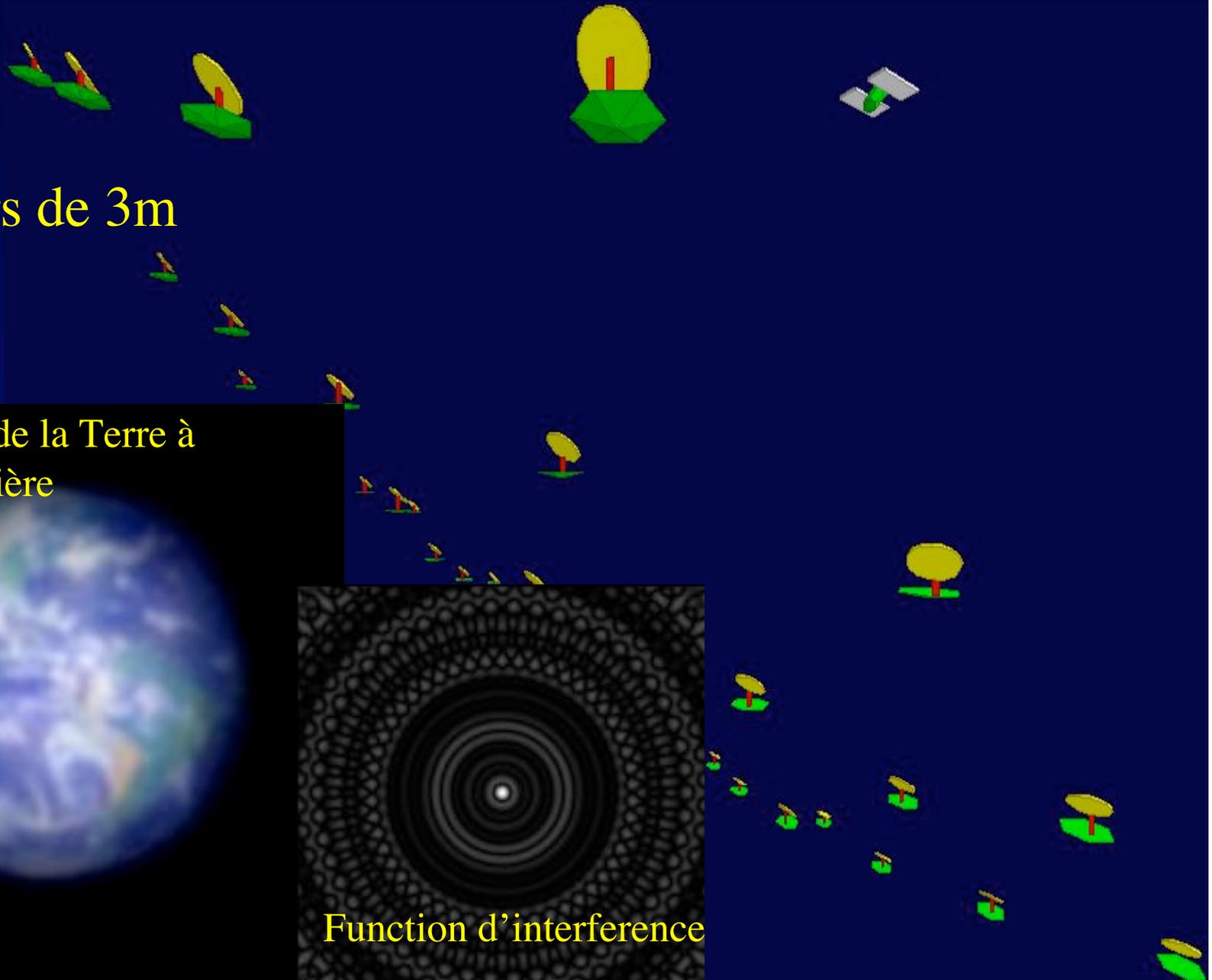
150 miroirs de 3m  
150 km

Simulation:

Image directe de la Terre à  
10 années lumière  
Pose 30mn

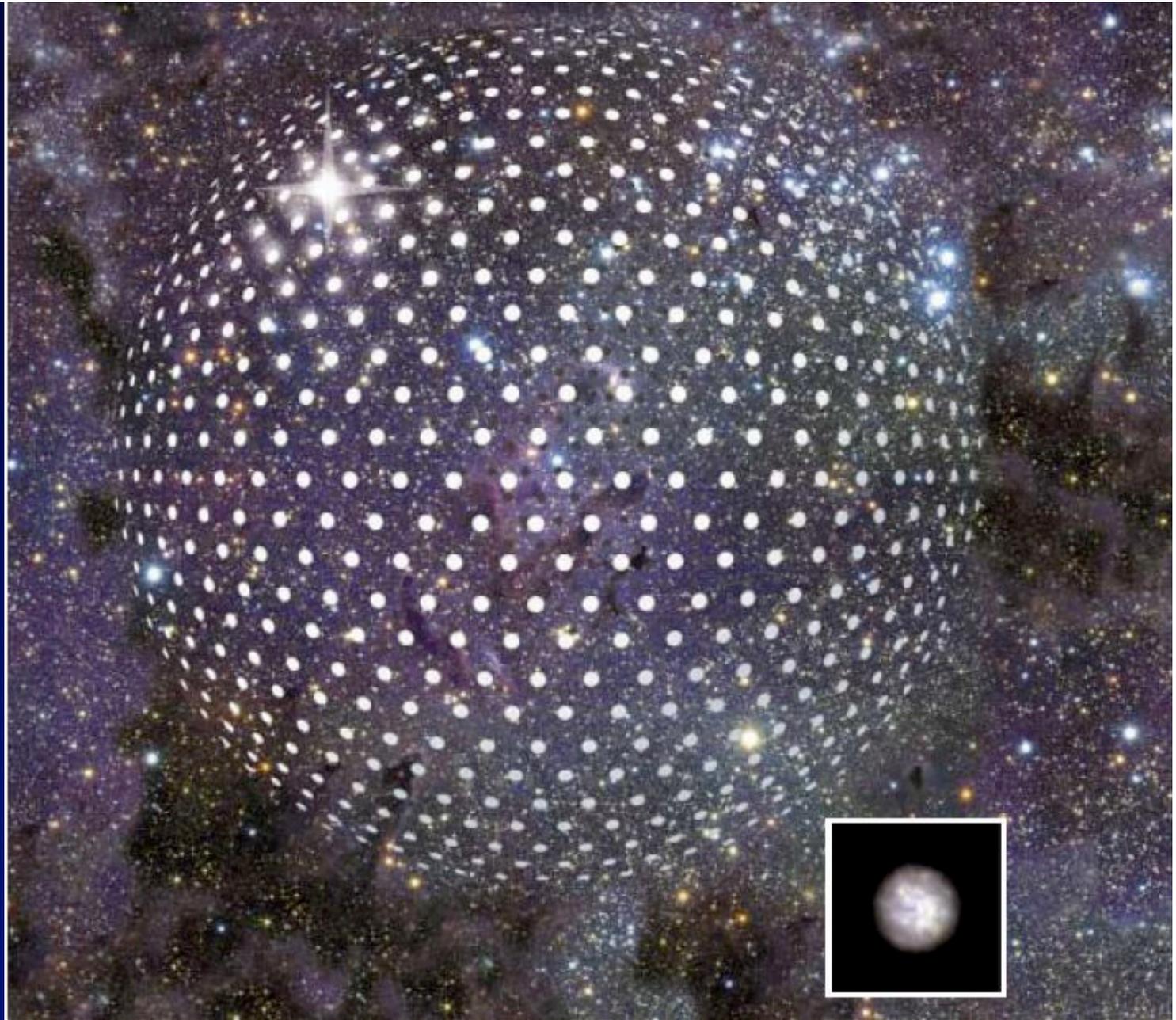


Function d'interference



# Exo- Earth Imager

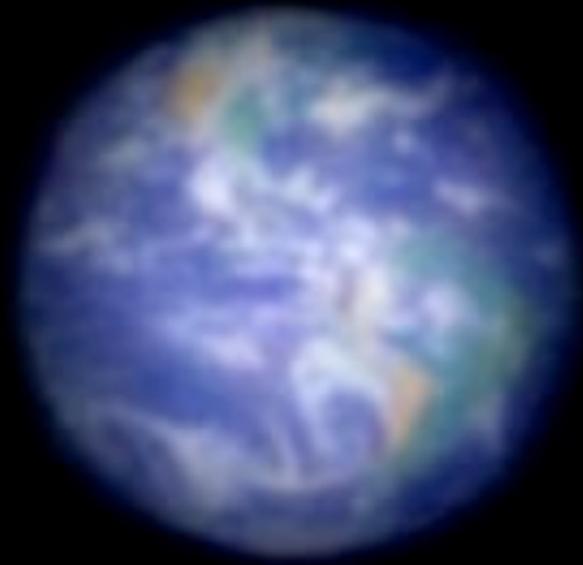
( vue  
d'artiste )



- Labeyrie, Pour la science ( 2006)

# Voir la vie sur des images résolues

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

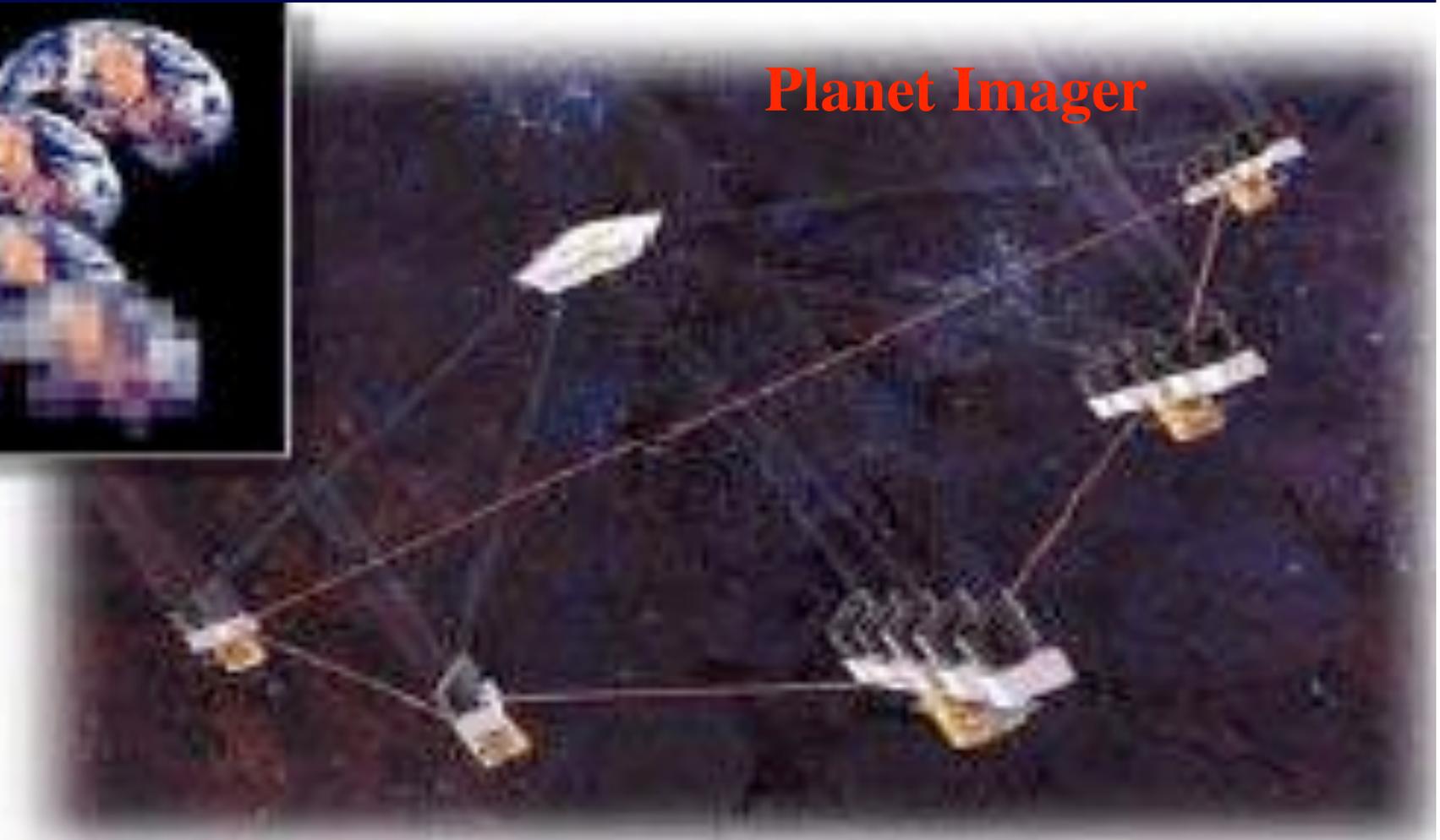


Exo-Terre

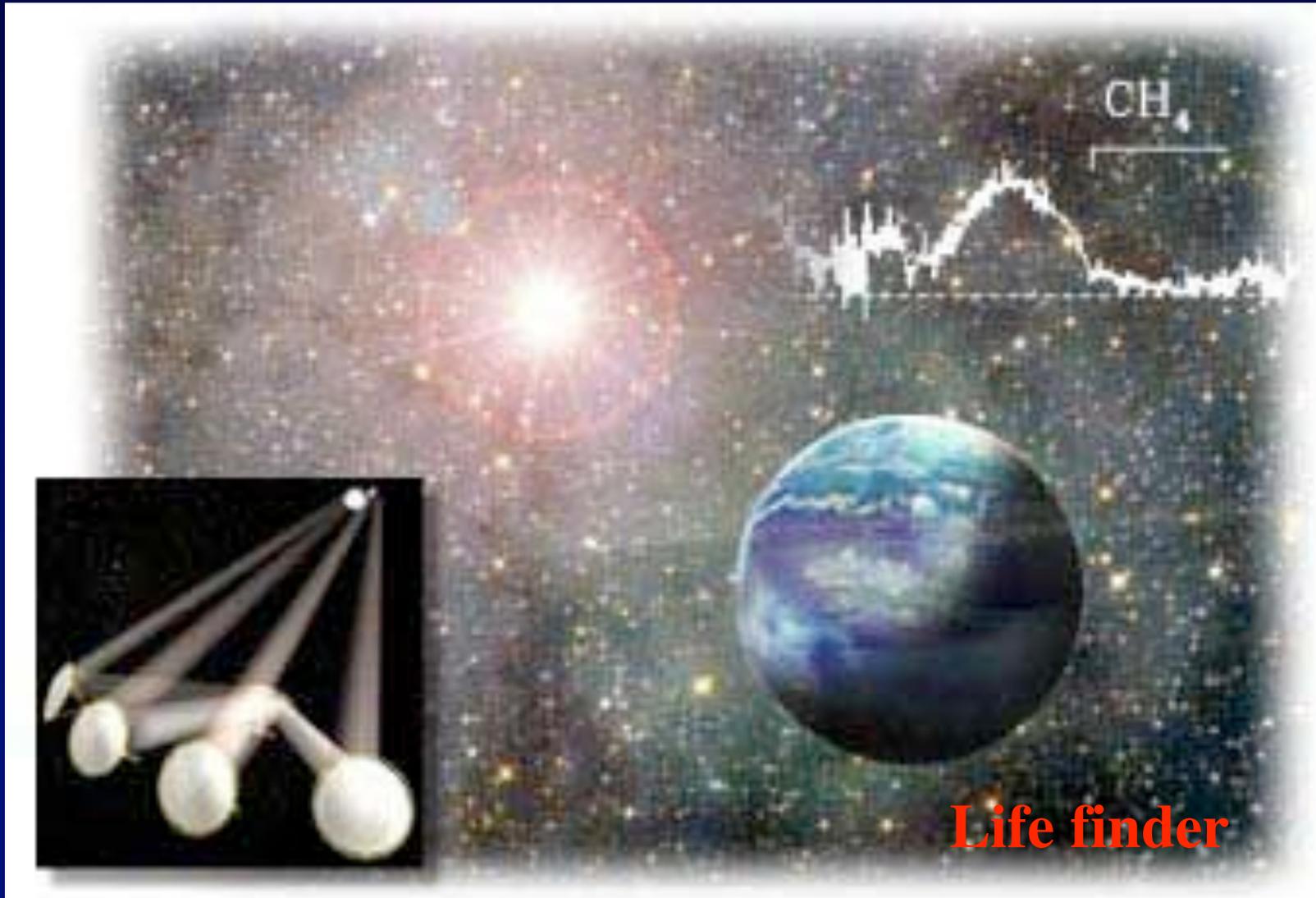
# Exo-Earth Imager fait des émules à la NASA...



**Planet Imager**



Voir la vie:  
spectroscopie puis imagerie résolue



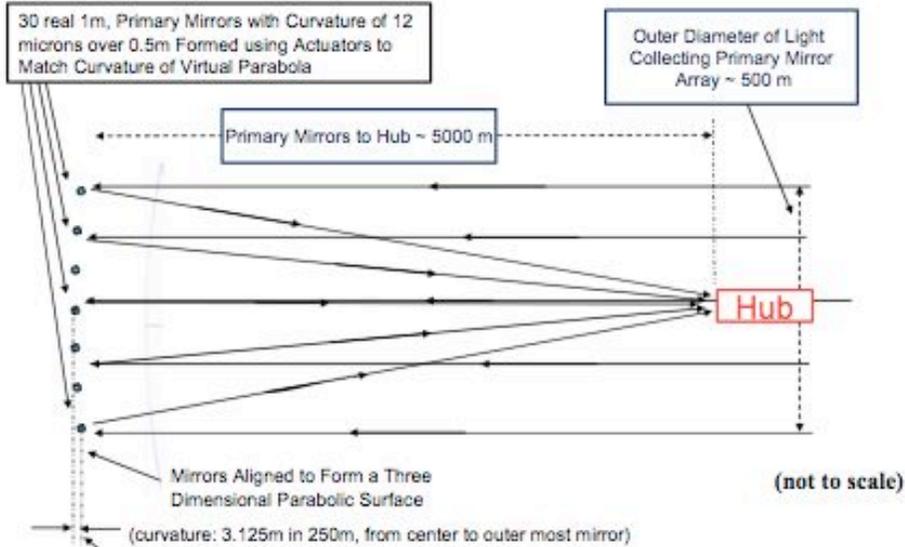
# Interféromètre à rayons X

**Black Hole Imager**

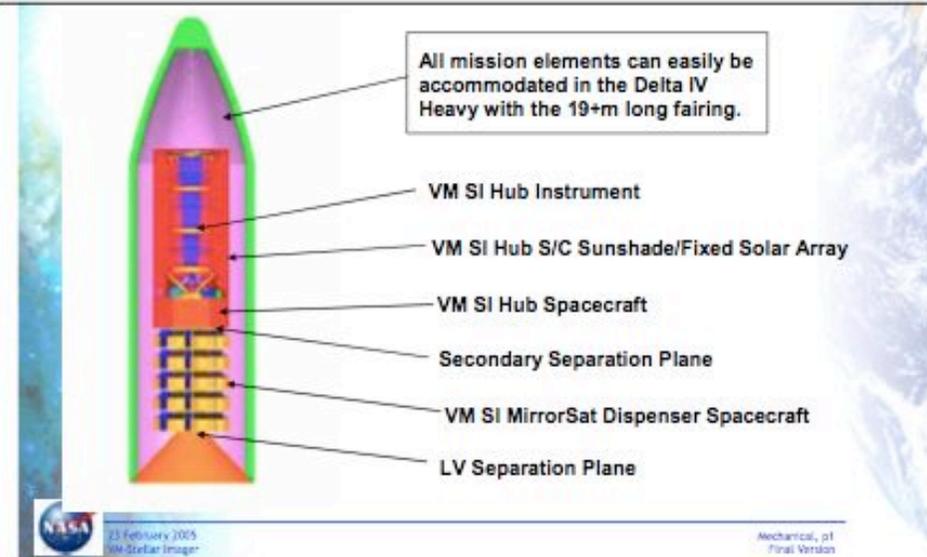
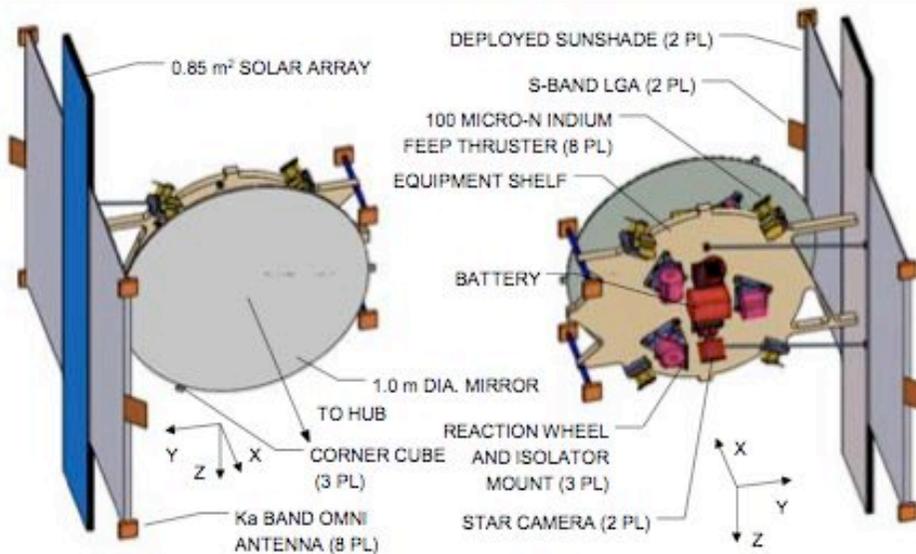
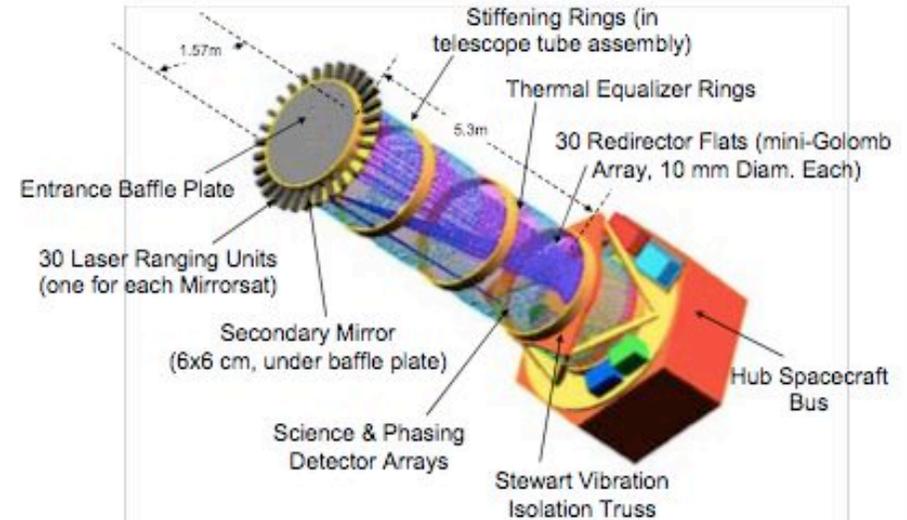


# Concept de "Stellar Imager" (NASA/Goddard)

## SI Cross-Sectional Schematic



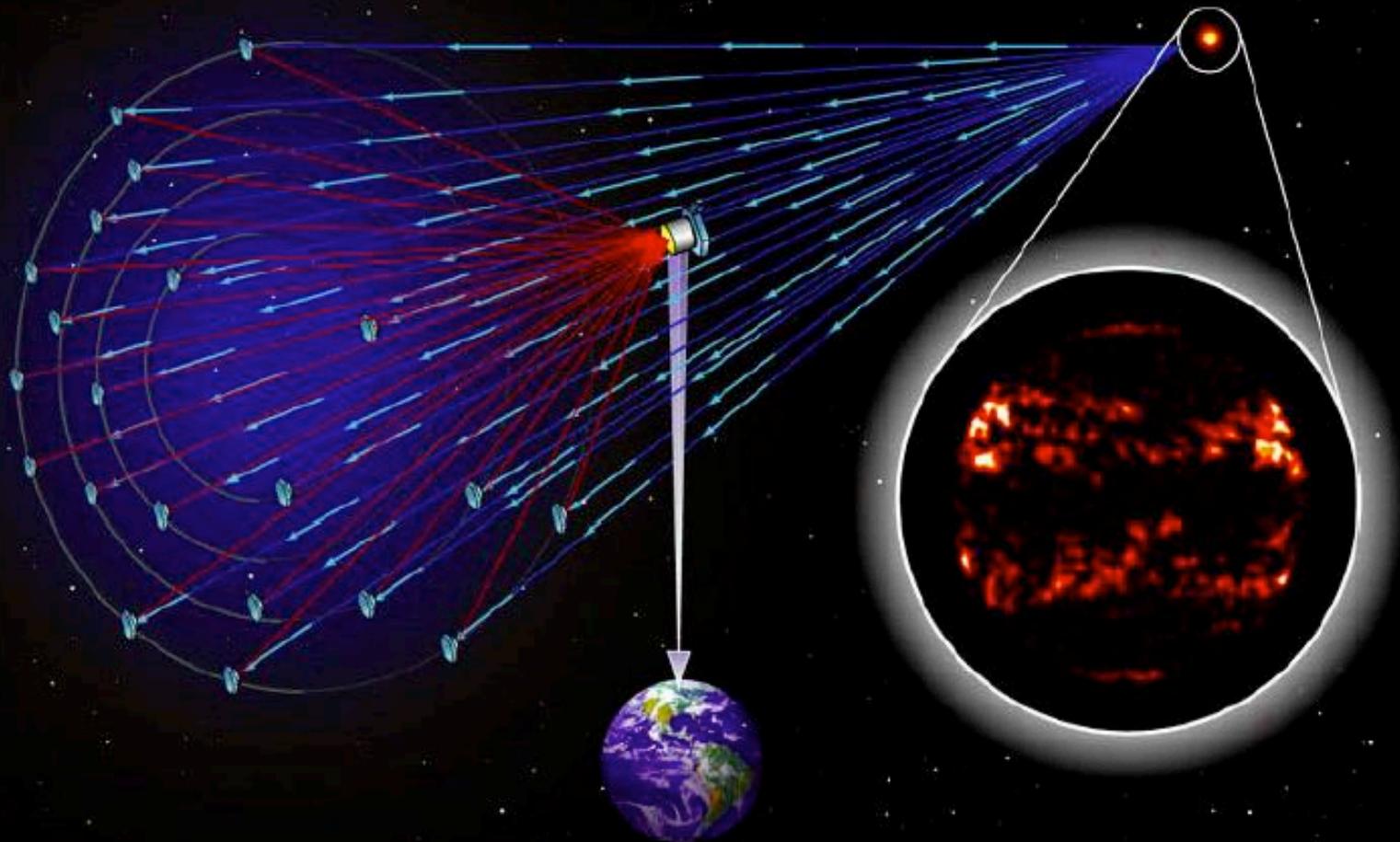
## Principal Elements of SI Hub





Goddard Space  
Flight Center

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



# Stellar Imager (Carpenter et al., 2007 NASA/Goddard)

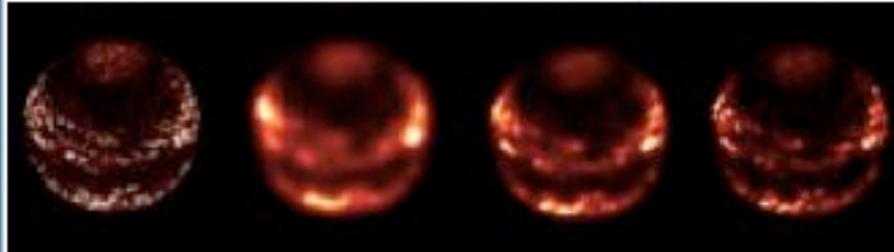
- " ... we are investigating alternative beam combination techniques, such as hypertelescope designs (Labeyrie 2007) that could improve the sensitivity of the observatory"
- " SI has many synergies with the proposed ESA/CNES *Luciola* (hypertelescope) Mission lead by Antoine Labeyrie, both in terms of science goals and in the technology development needed to enable the missions, in formation flying, pointing stabilization and vibration control, determination of optimal array configuration, beam combining systems, optical path-length stabilization, metrology technology, lightweight mirrors, and energy-resolving detectors. "

# Simulations of SI Observations

## Solar-type star at 4 pc in CIV line

Model

*SIsim* images



Baseline: 125m

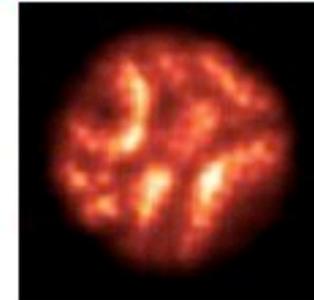
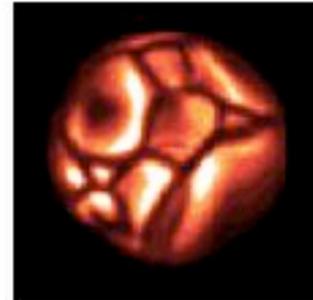
250m

500 m

## Evolved supergiant star at 2 Kpc in Mg H&K line

Model

*SIsim* image (2mas dia)

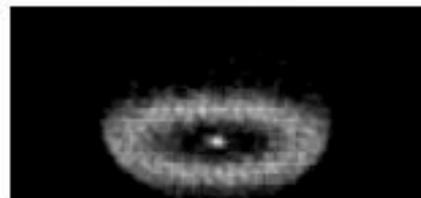


Baseline: 500 m

## *SI* imaging of planet forming environments: magnetosphere-disk interaction region



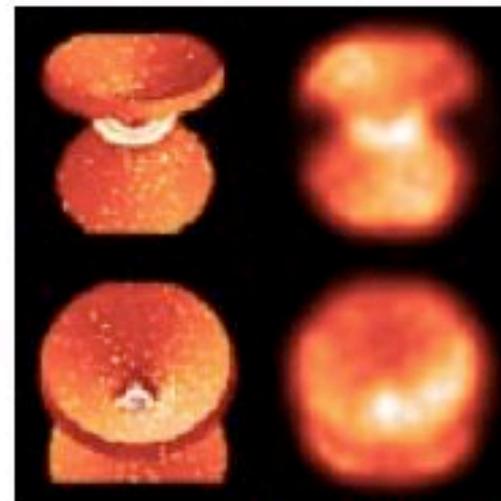
0.1 mas



*SI* simulation in  
Ly  $\alpha$ -fluoresced H<sub>2</sub> lines

Baseline: 500 m

## *SI* imaging of nearby AGN will differentiate between possible BELR geometries & inclinations



0.1 mas

model

*SI* simulations in CIV line  
(500 m baseline)

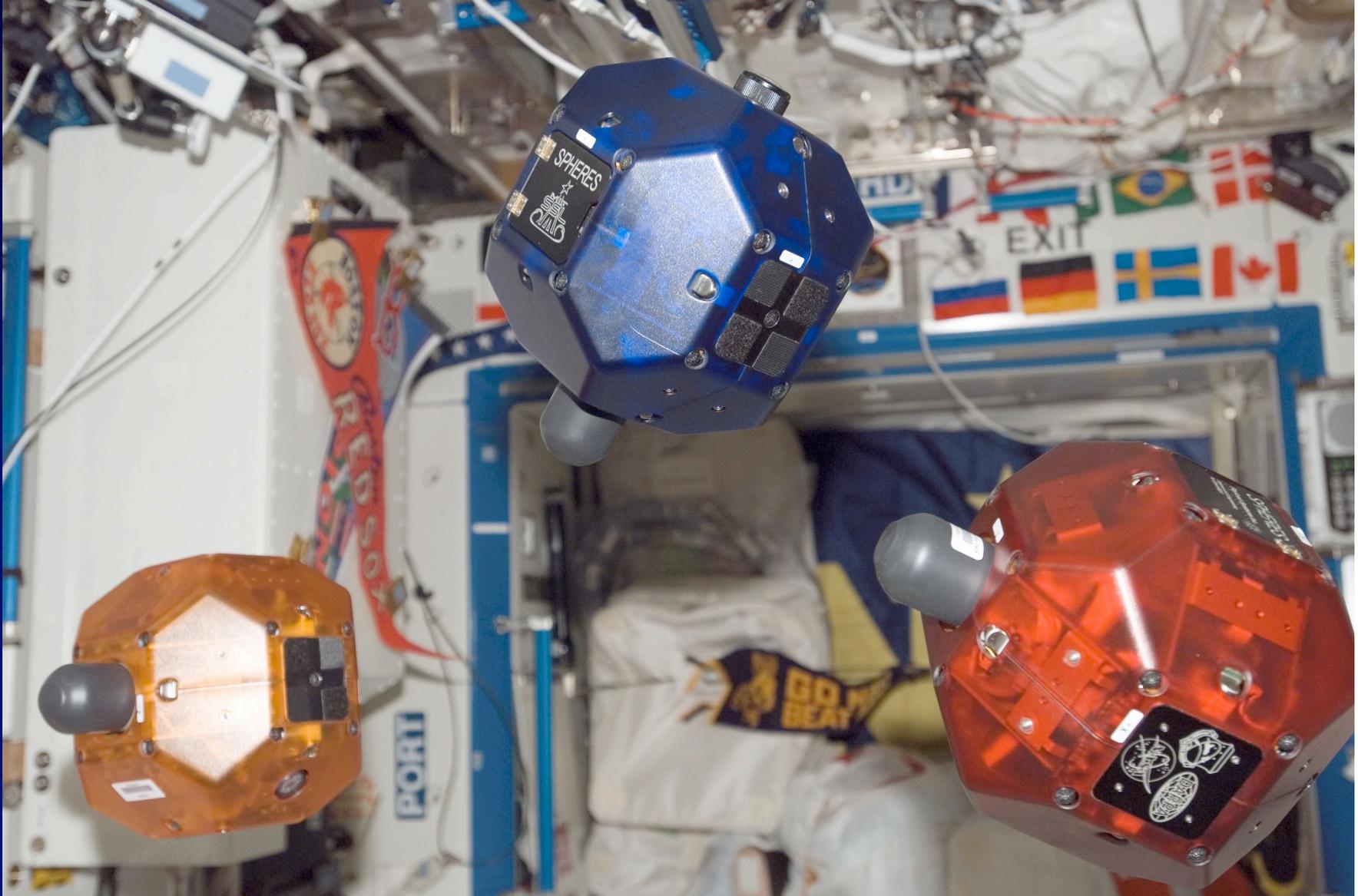
# Interféromètres dans l'espace: le vol en formation, une étape cruciale

- Nécessaire pour les grandes bases
- Pourrait simplifier les systèmes
- .... ou les compliquer....
- ESA et NASA veulent s'y mettre pour différents projets



# Simulation de pilotage de vol en formation (NASA)

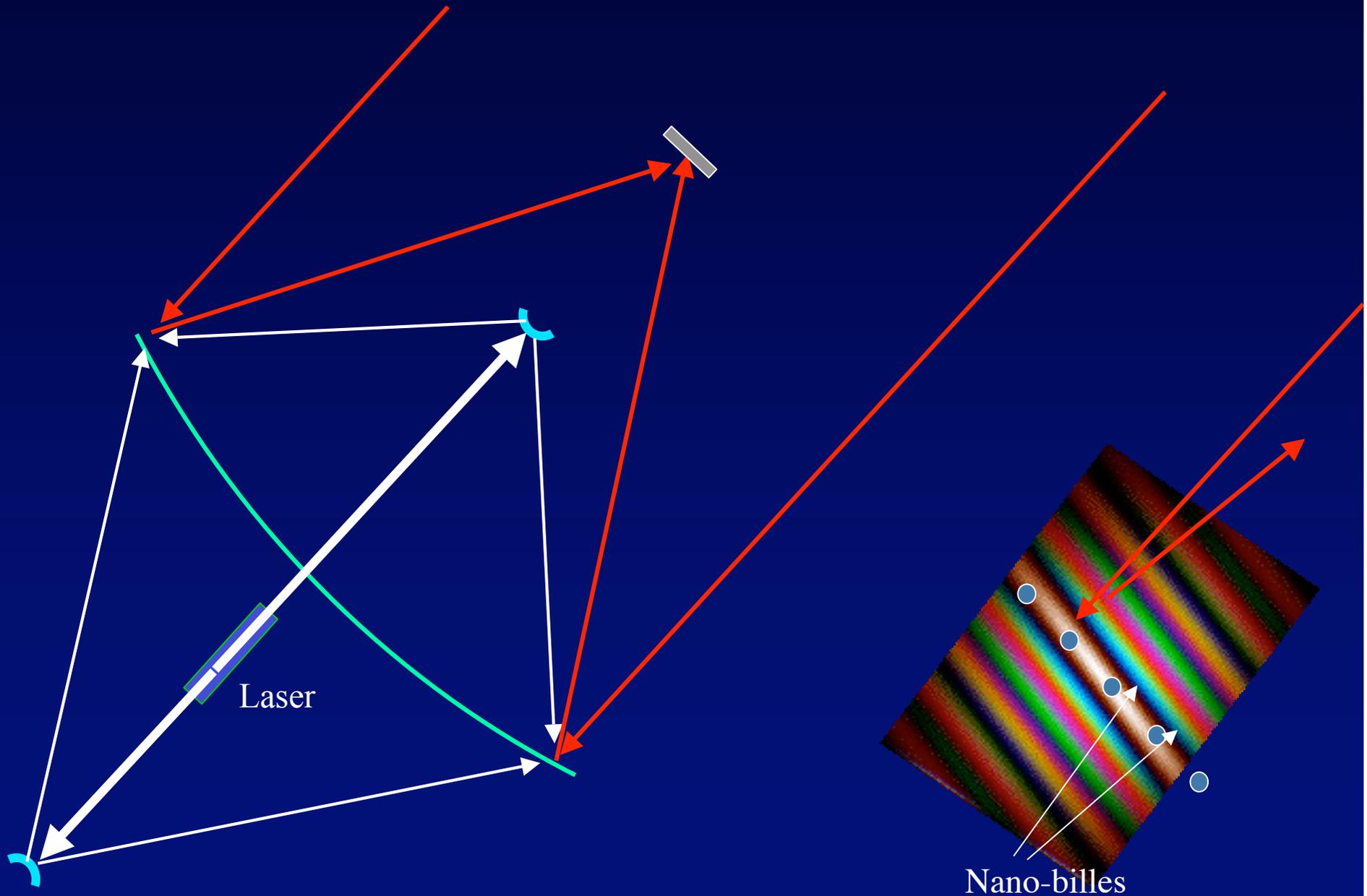
- En cours sur International Space Station



# Etude entamée des vols en formations

- LISA détecteur d'ondes gravitationnelles
- MAX télescope gamma
- XEUS télescope X
- DARWIN

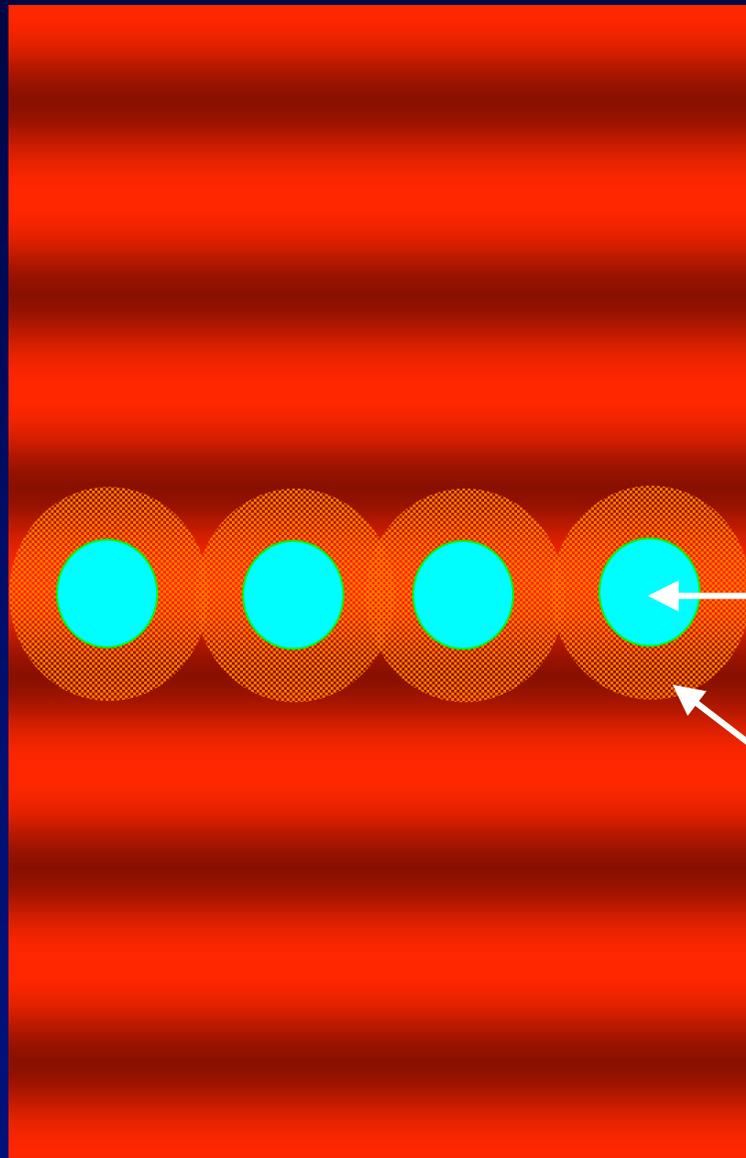
# Miroir piégé par laser (Labeyrie 1979, Guillon et al. 2006)



# Miroir piégé par laser

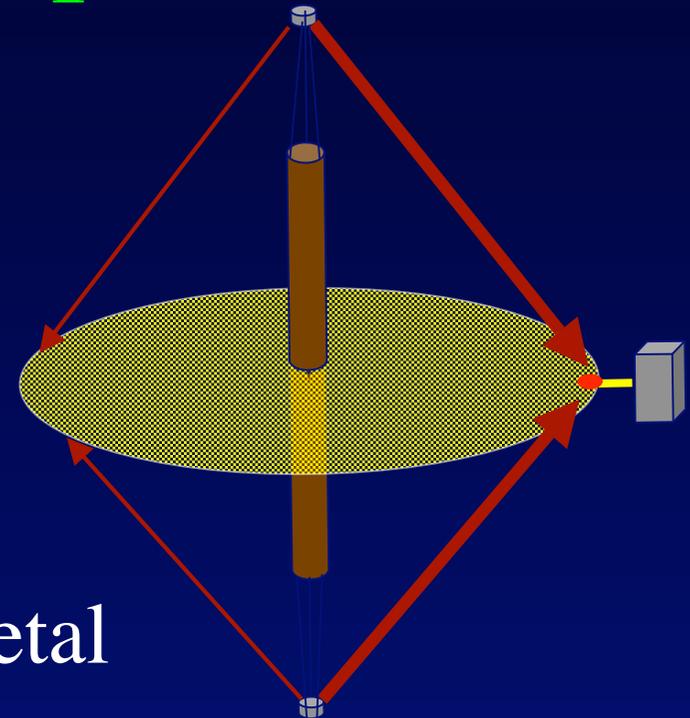
- Etude financée par la NASA
- Thèse de M.Guillon ( 2007): modélisation et essai en laboratoire
- Quelles nano-particules ? Fabrication et mise en oeuvre difficile

# Structure of nanospheres



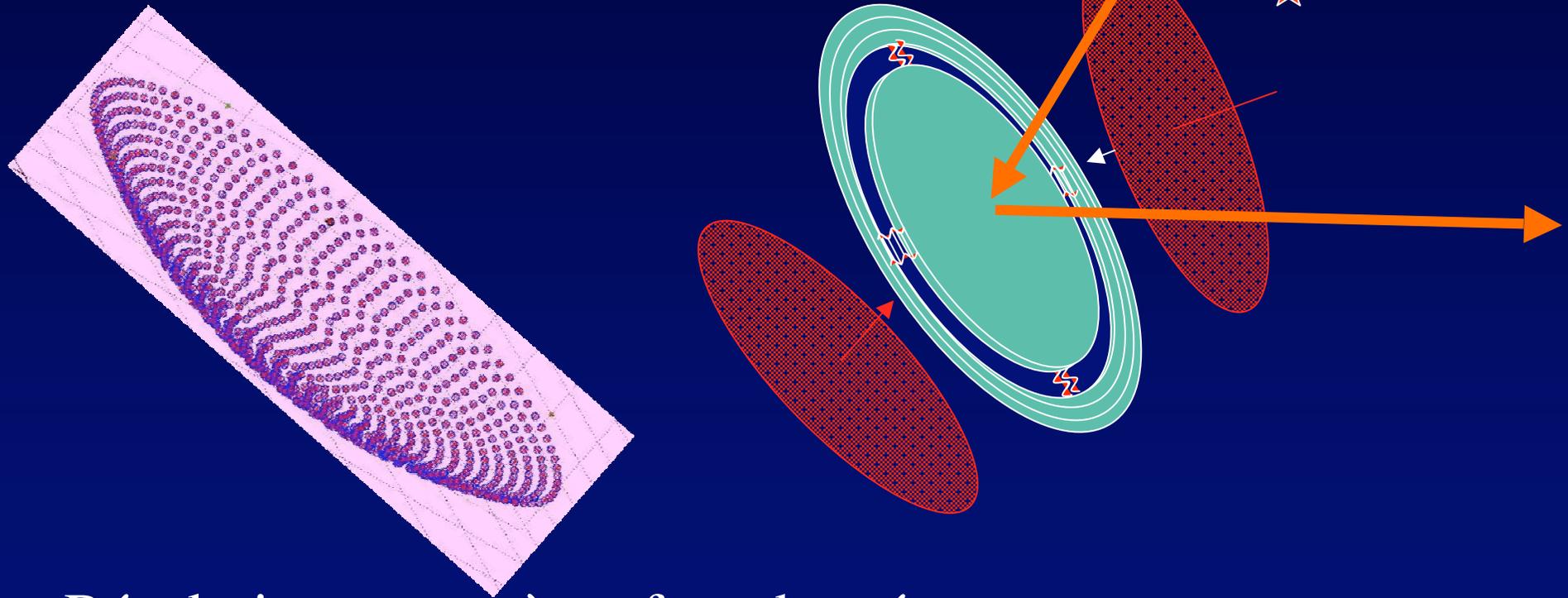
Silica or metal

Photo-adhesive aerogel,  
inelastic



Diluer un miroir piégé par laser ? (Labeyrie 2008)

## "Laser Trapped Hypertelescope" (LTH)



- Résolution accrue à surface donnée
- Éléments petits et rigides
- dimension quelques centimètres, épaisseur 0,1mm

# Hypertélescopes:

## dimension des miroirs et science

- En négligeant le bruit de photons, le nombre maximal de "resels actifs" par seconde carrée est:

$$\sigma_{as} = 6.2 \cdot 10^{-11} E \text{ SNR}_{speckle}^{-1} A^2 d^{-2} \lambda^{-2} = 4.85 \cdot 10^{-11} E N \text{ SNR}_{speckle}^{-1} A \lambda^{-2}$$

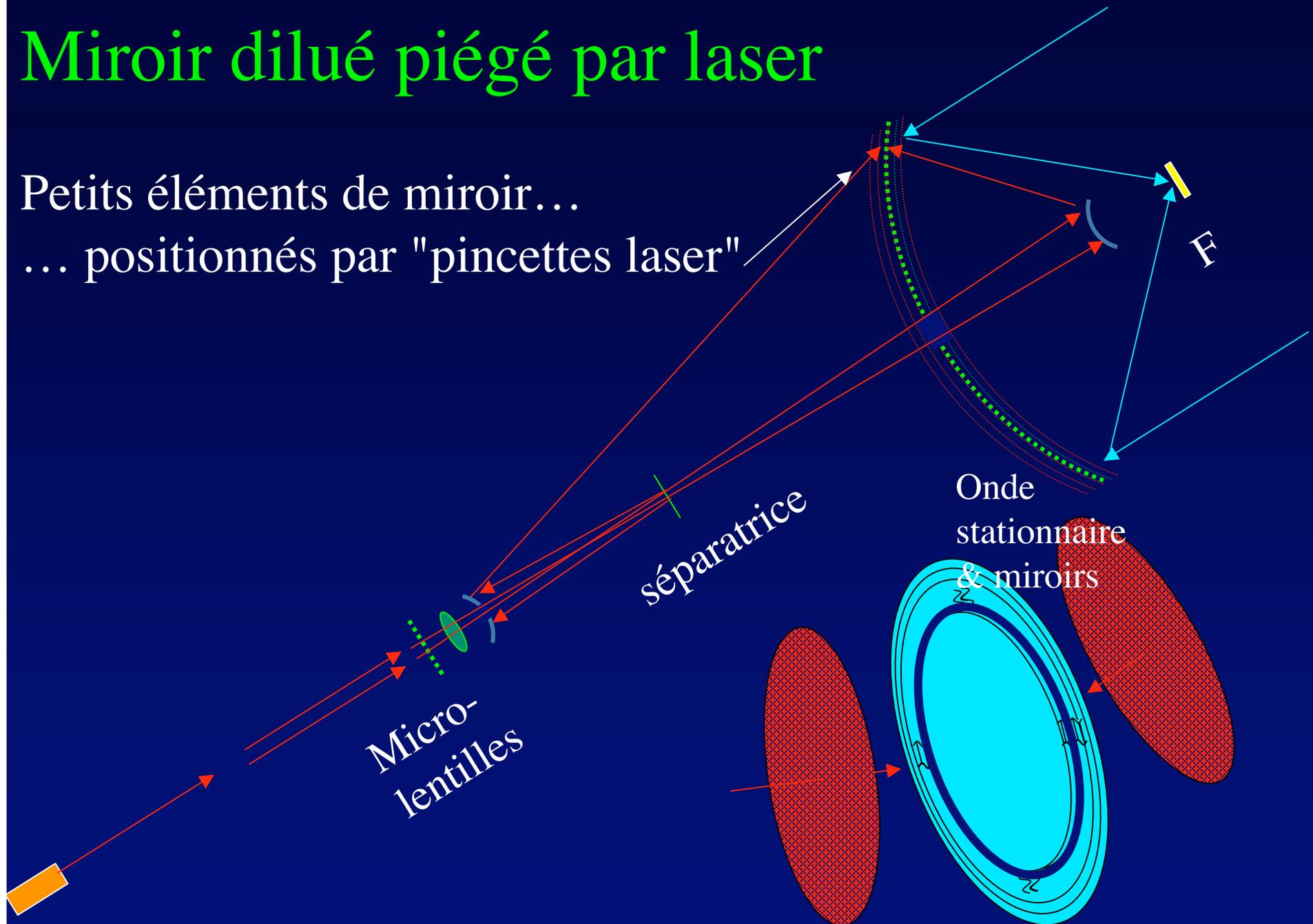
- $\times \text{ SNR} \Rightarrow$  estimateur de la science

$$science \approx 6.2 \cdot 10^{-11} E A^2 d^{-2} \lambda^{-2} = 4.85 \cdot 10^{-11} E N A \lambda^{-2}$$

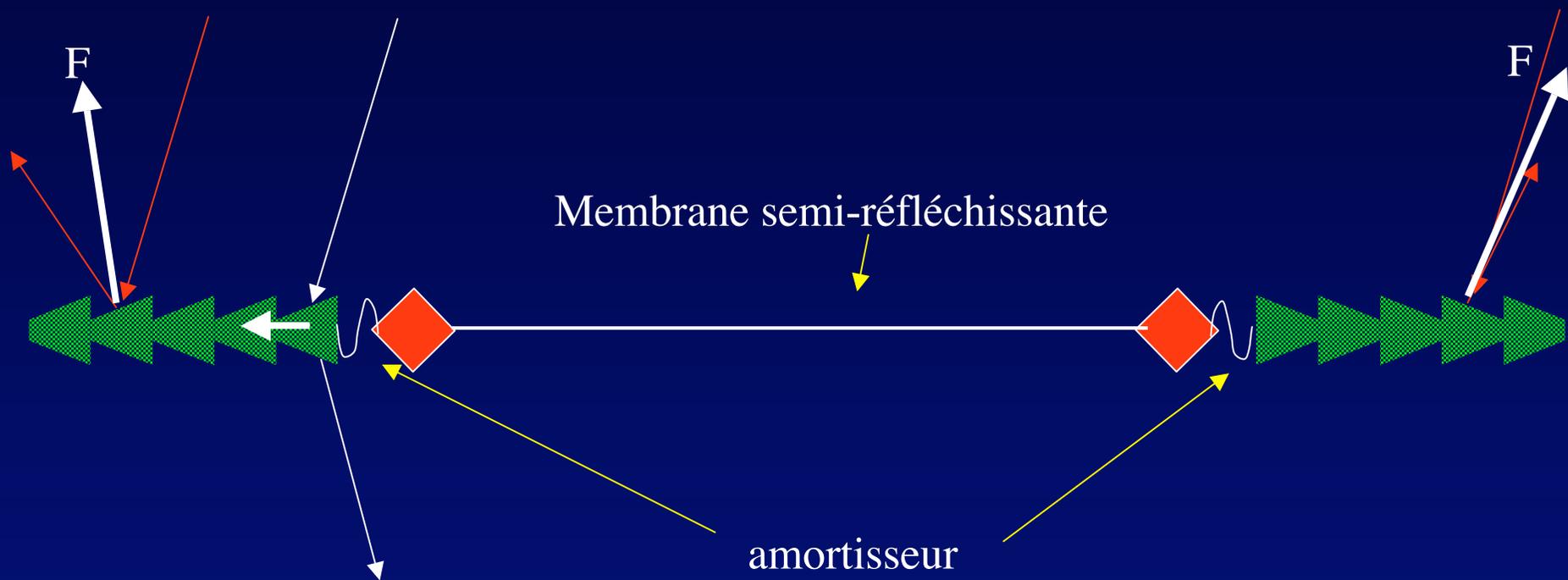
↑  
Diamètre des  
miroirs  
élémentaires

# Miroir dilué piégé par laser

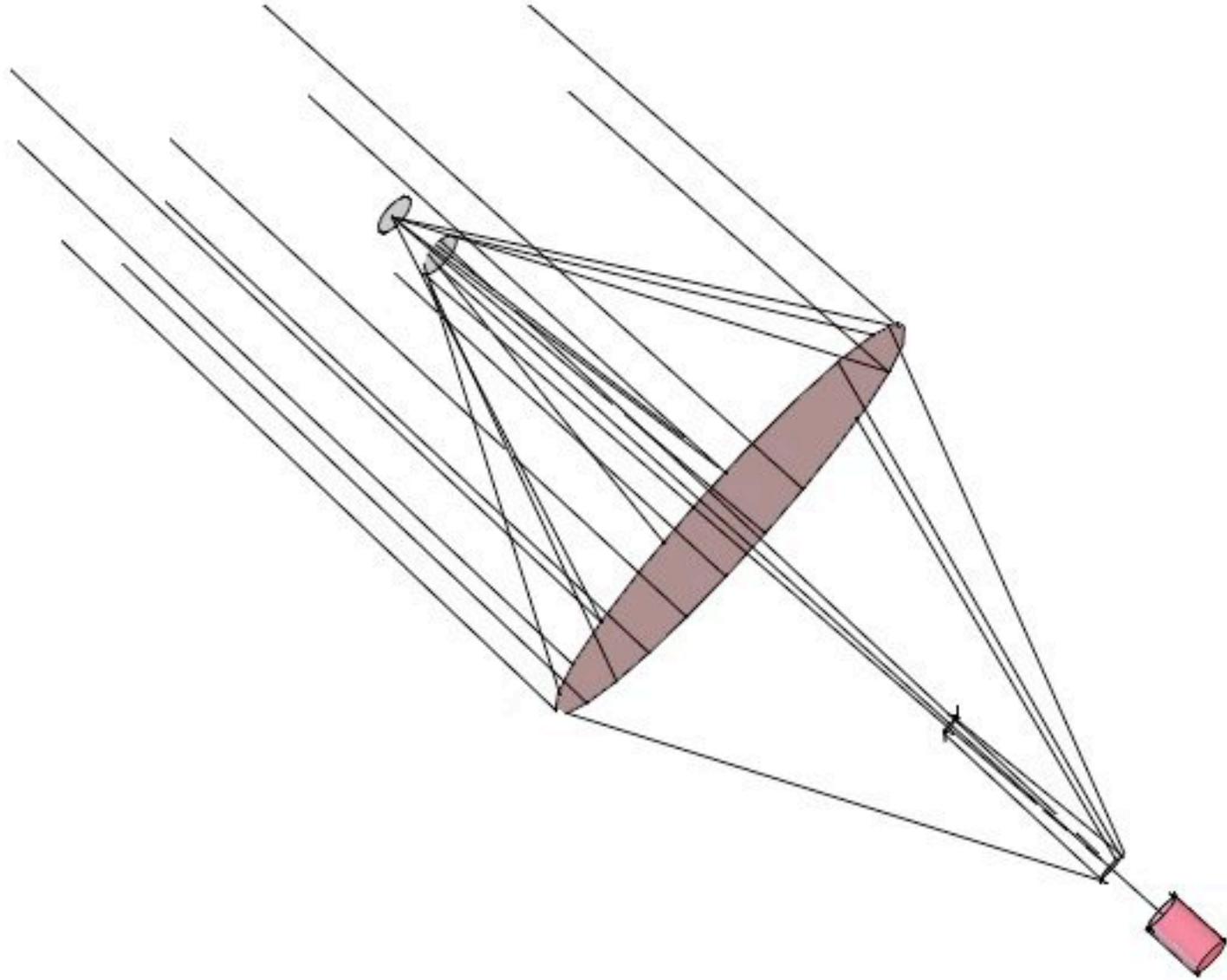
Petits éléments de miroir...  
... positionnés par "pincettes laser"



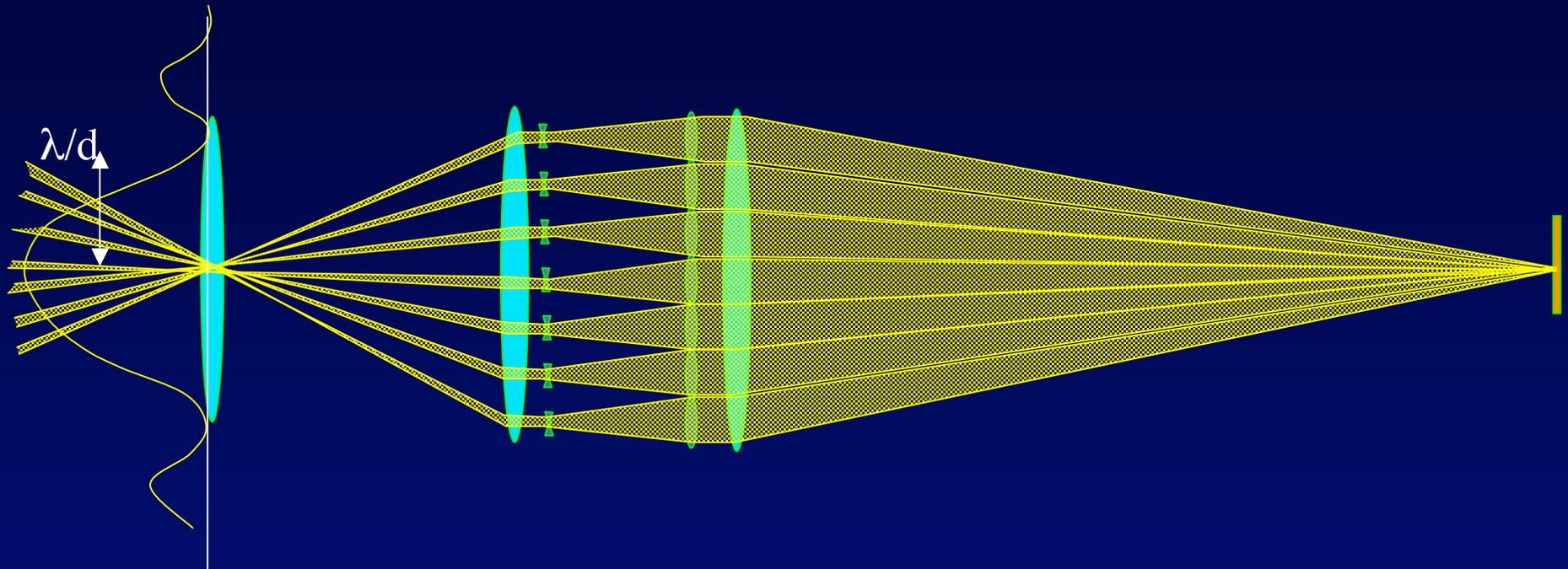
# Composantes de pression de radiation sur le cadre prismatique



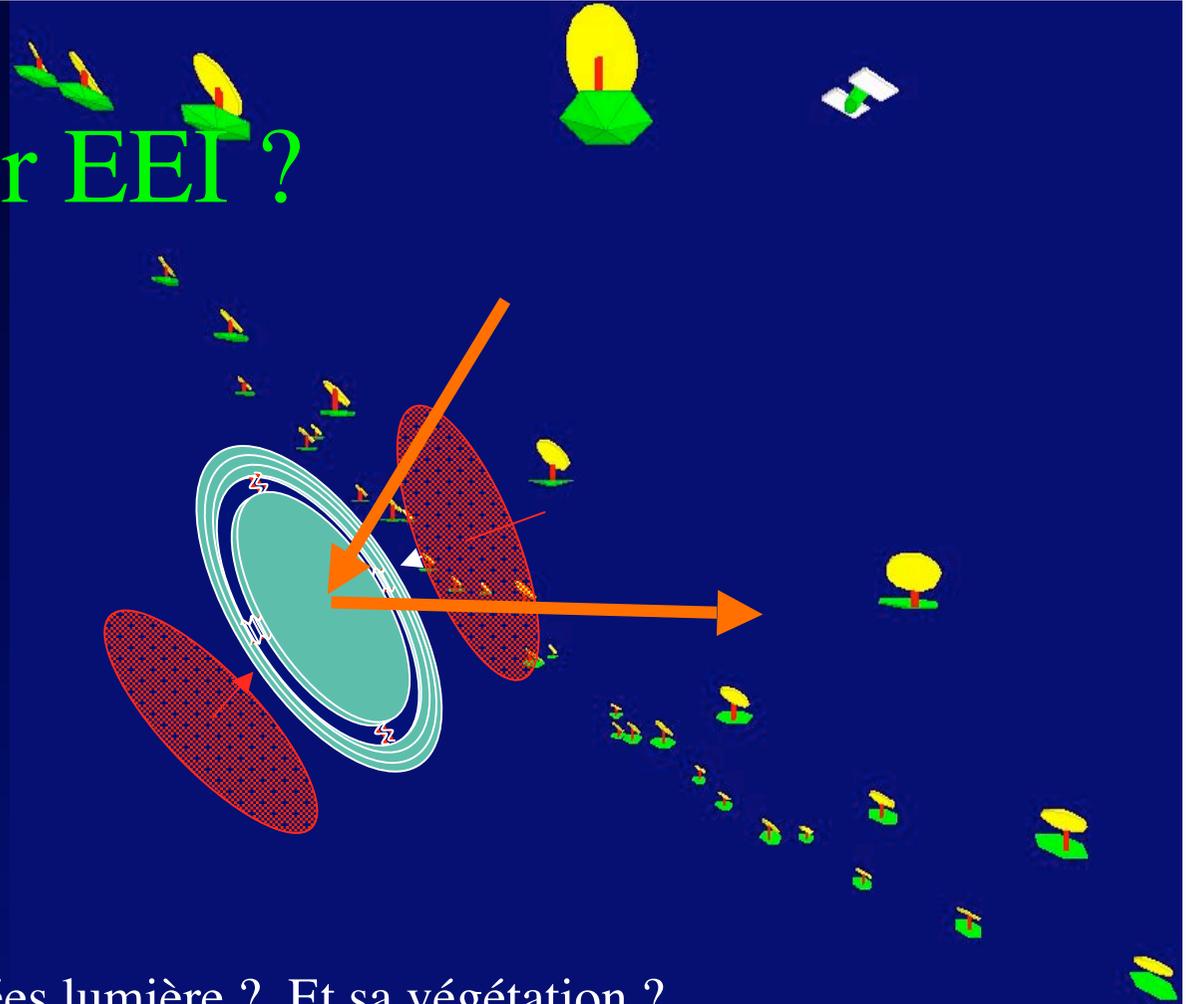
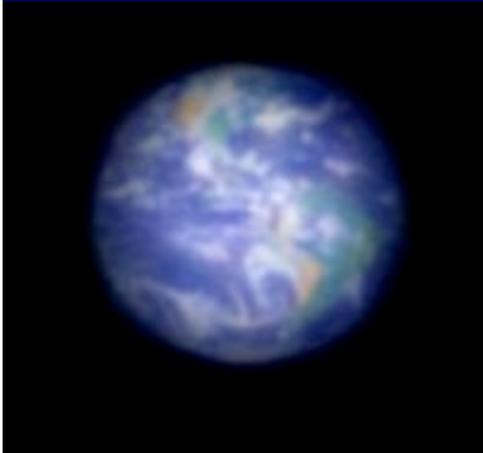
- Force de centrage par transmission
- Couple redresseur par réflexion



# Densifieur de pupille



# Applicable pour EET ?



- Voir ainsi une Terre à 10 années lumière ? Et sa végétation ?
- C'est possible avec un hypertélescope de 100km, comprenant:
  - 100 miroirs de 3m
  - ou 10 000 de 30cm
  - ou un million de 3cm, piégés par laser ?

•

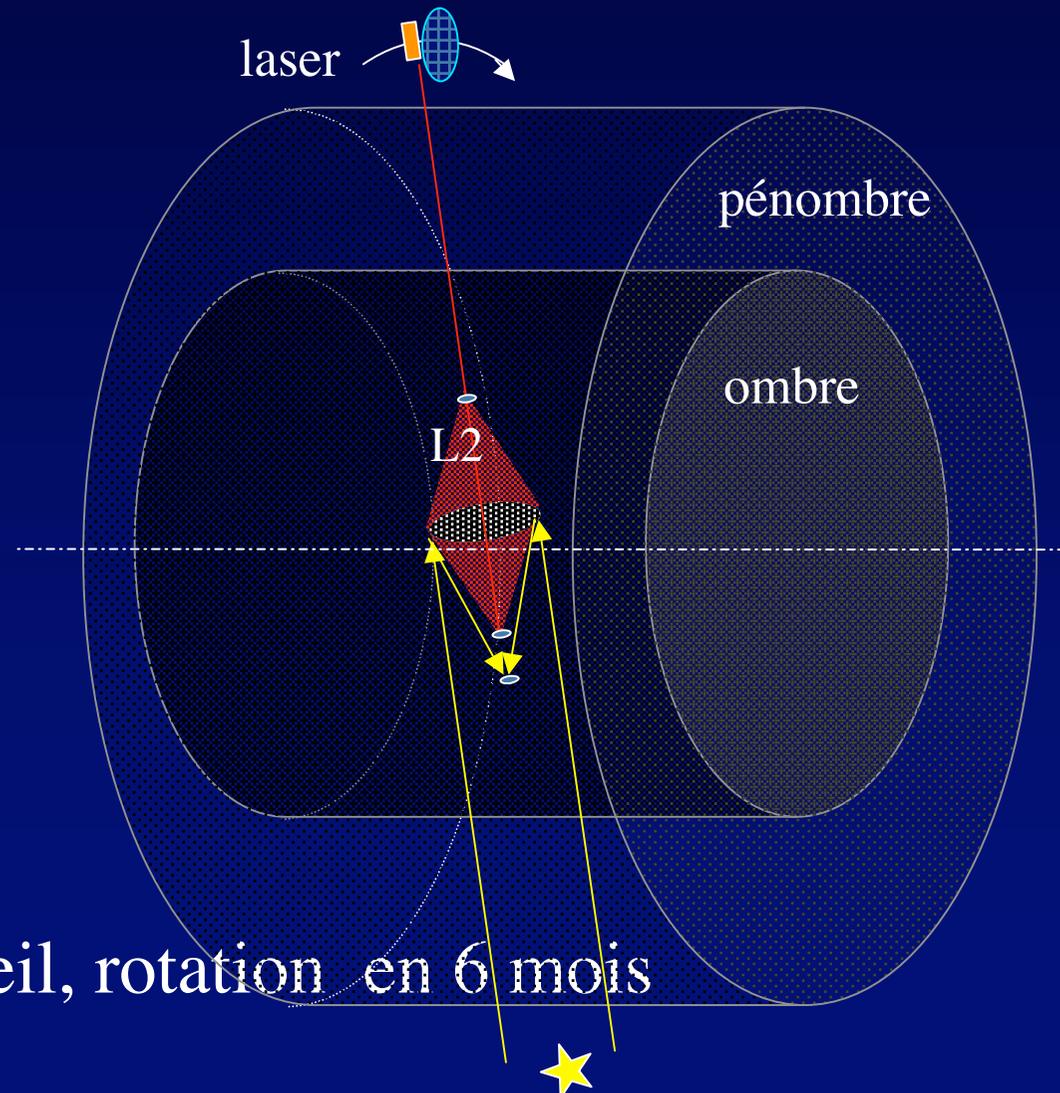
# Exemple

- 10 000 miroirs de 3cm ont la luminosité d'un miroir de 3m
- 100 000 " " " " 10m
- Si l'épaisseur des miroirs est 0,2mm, masse 200mg, accélération 0,03  $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  si  $P_{\text{laser}} = 1 \text{ mW}$  par miroir
- Nécessite 22 heures pour déplacer de 100m , 10 jours pour rotation de  $360^\circ$

Orbite :

L2

# Point de Lagrange L2 de Terre-Soleil



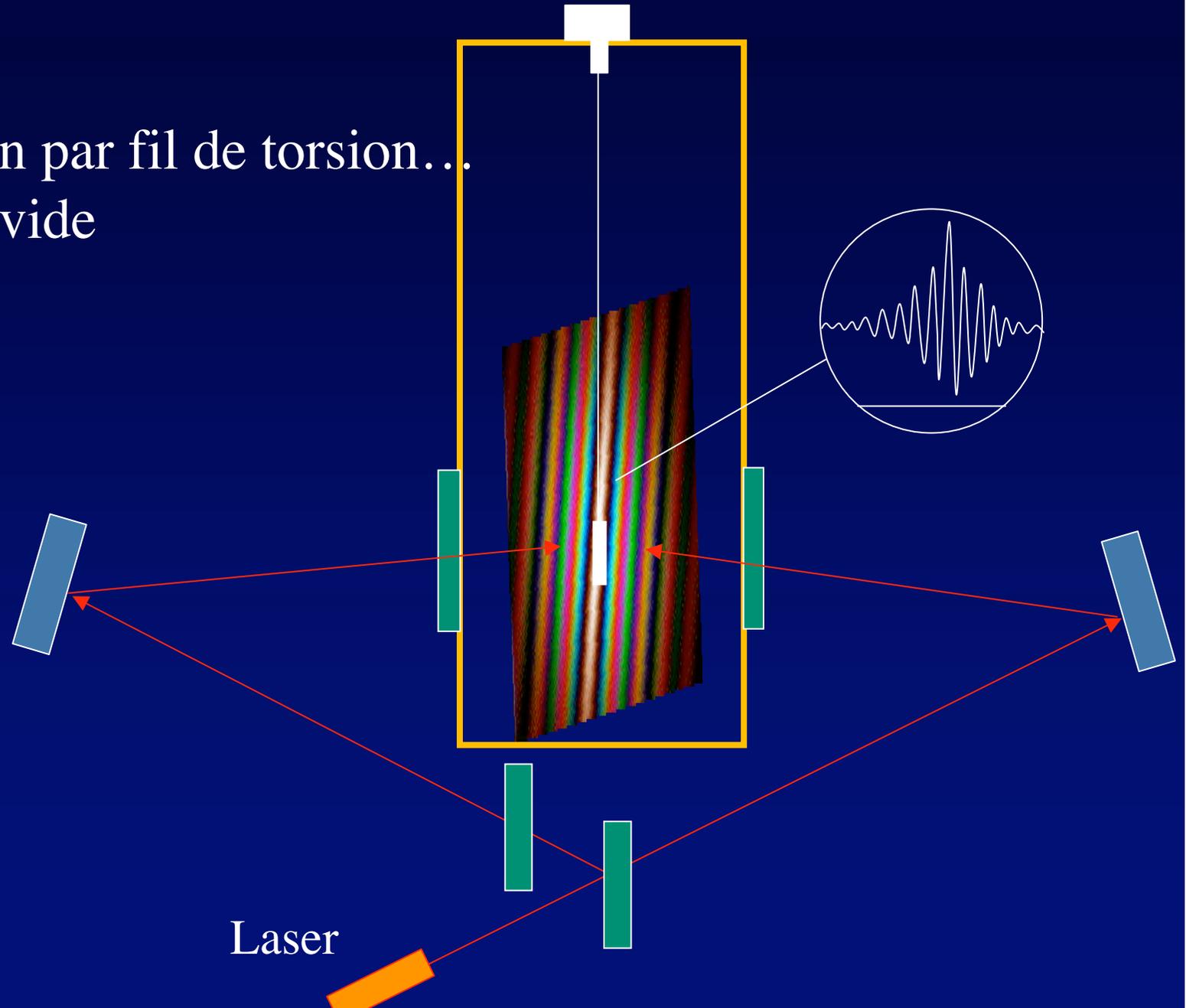
- Pénombre favorable
- Laser au soleil
- Visée transverse au Soleil, rotation en 6 mois

# Balayage du ciel en 6 mois



# Essai entamé en laboratoire

- Suspension par fil de torsion...
- ...dans le vide



# Conclusion

- Fabriquer et essayer sous vide des miroirs prototypes
- Essais en micro-gravité dans la Station Spatiale Internationale

