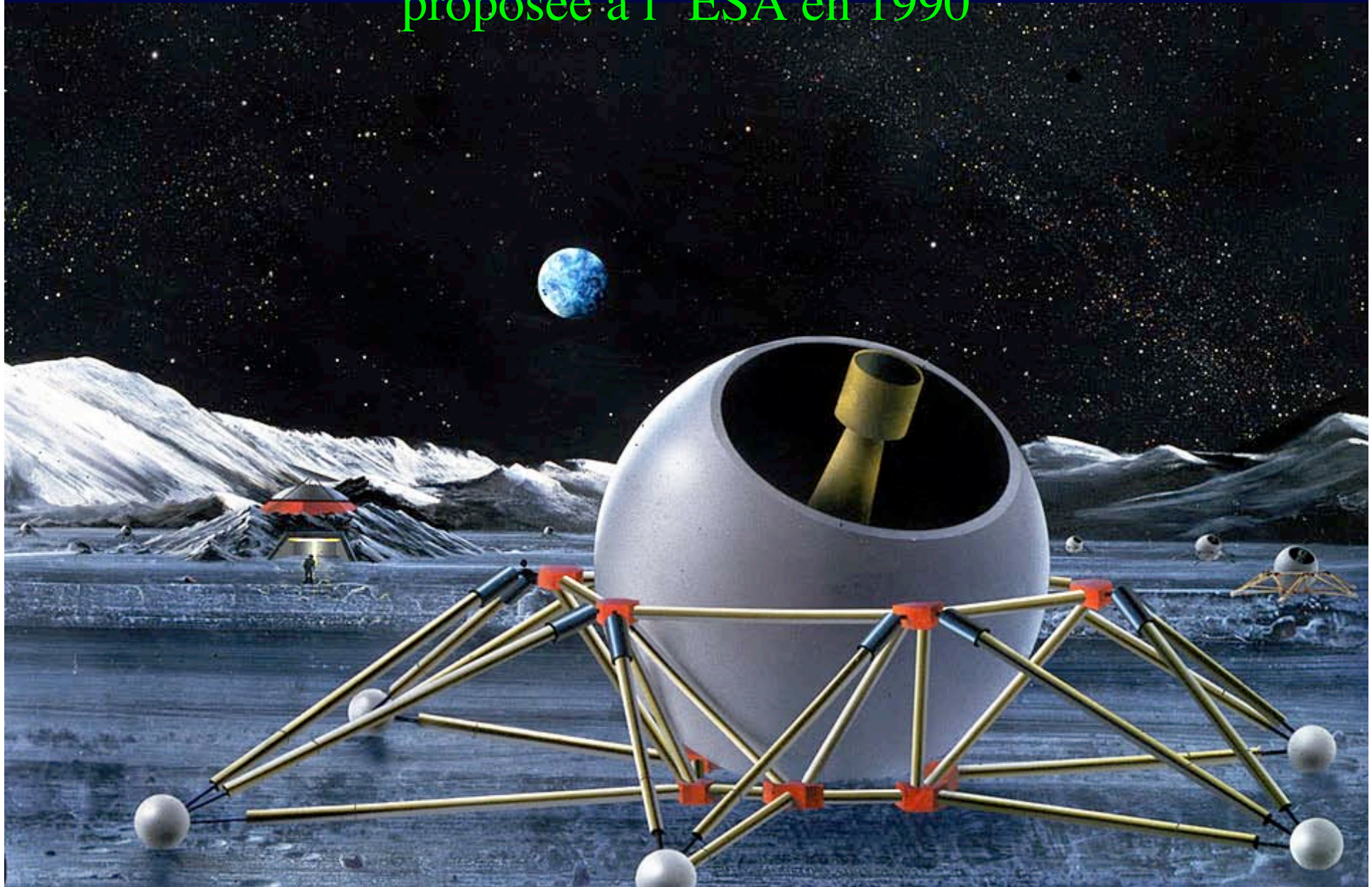




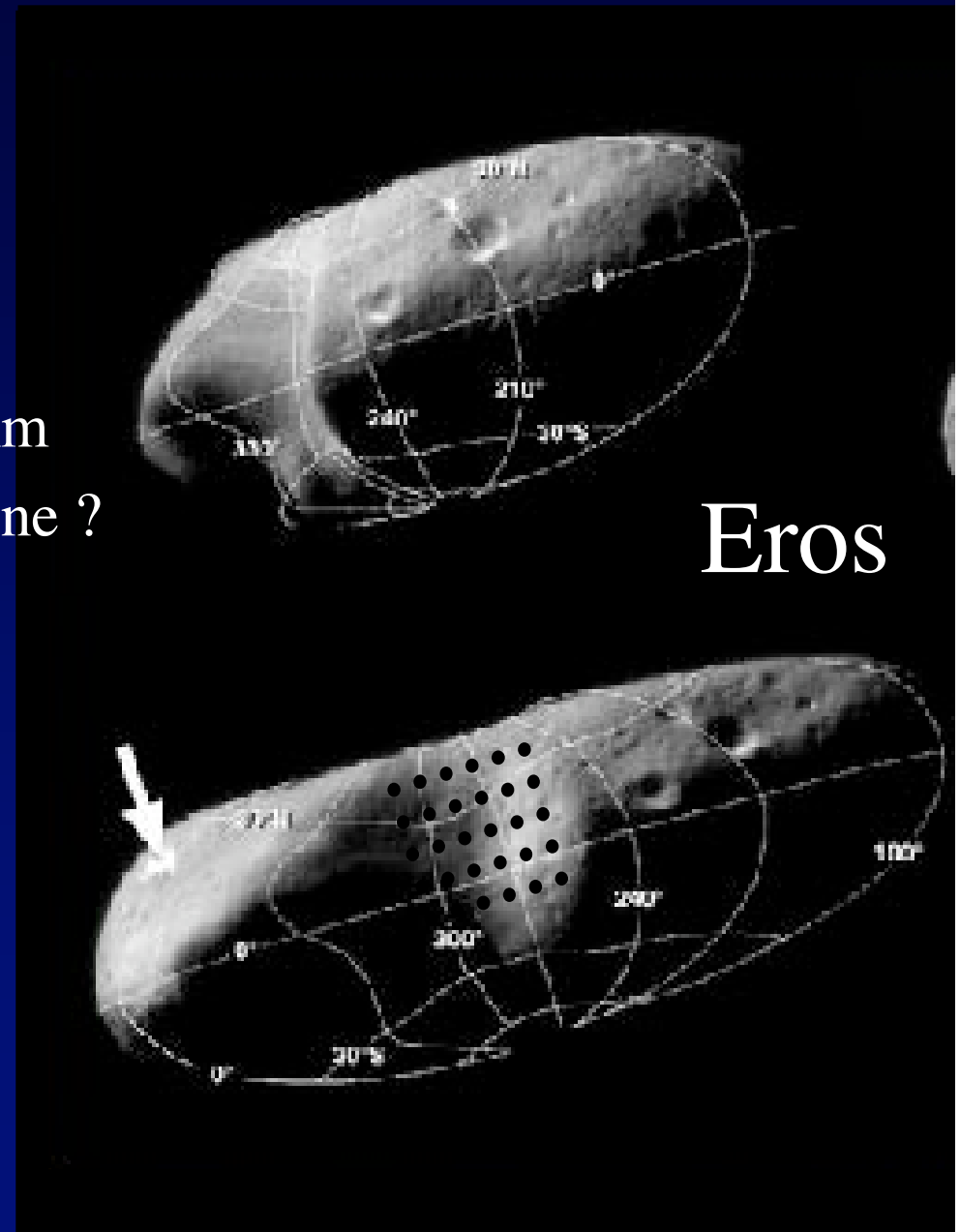
Version lunaire du OVLA

proposée à l'ESA en 1990



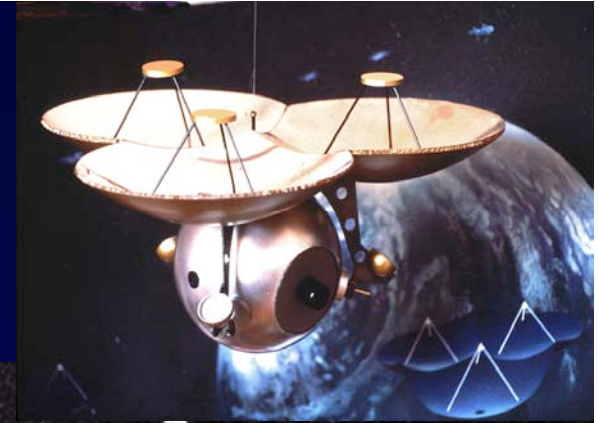
Utilisation d'un astéroïde ?

- Eros:
 - miroirs dans cratère de 10 km
 - boîte focale en orbite synchrone ?
Période 5,7 heures
- Problèmes:
 - Coût élevé
 - Balayage du ciel



Concept TRIO

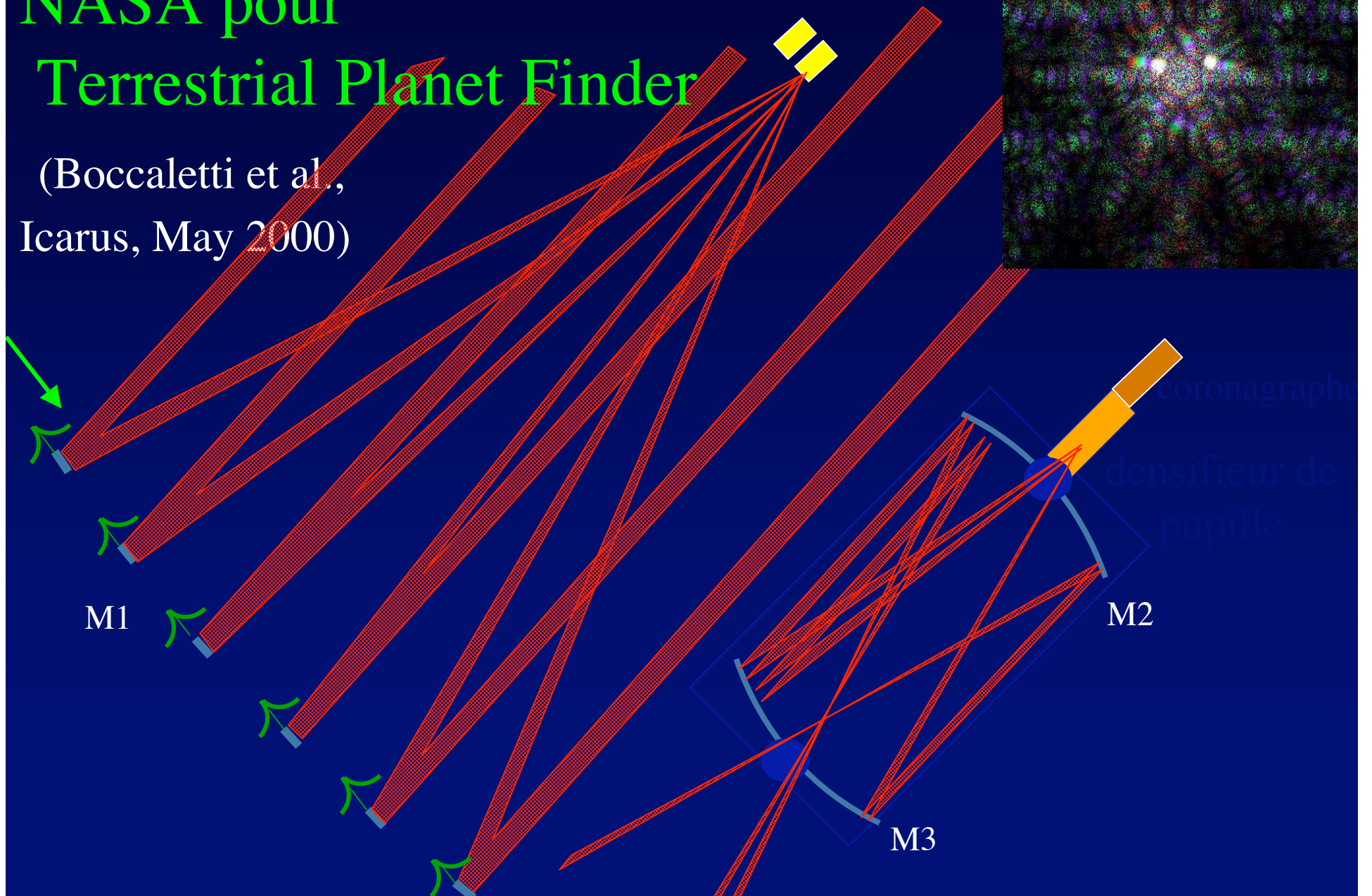
proposé à l'ESA en 1983



- modifié par l'ESA pour l'étude DARWIN....
- ...puis par NASA pour « Terrestrial Planet Finder »

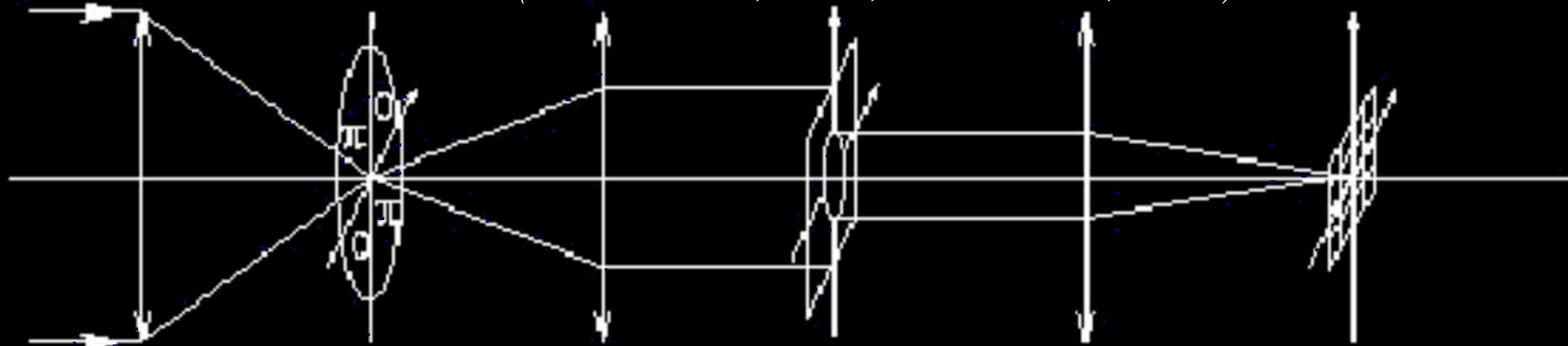
Version hypertélescope proposée à la NASA pour Terrestrial Planet Finder

(Boccaletti et al.,
Icarus, May 2000)



Four Quadrant Coronagraph

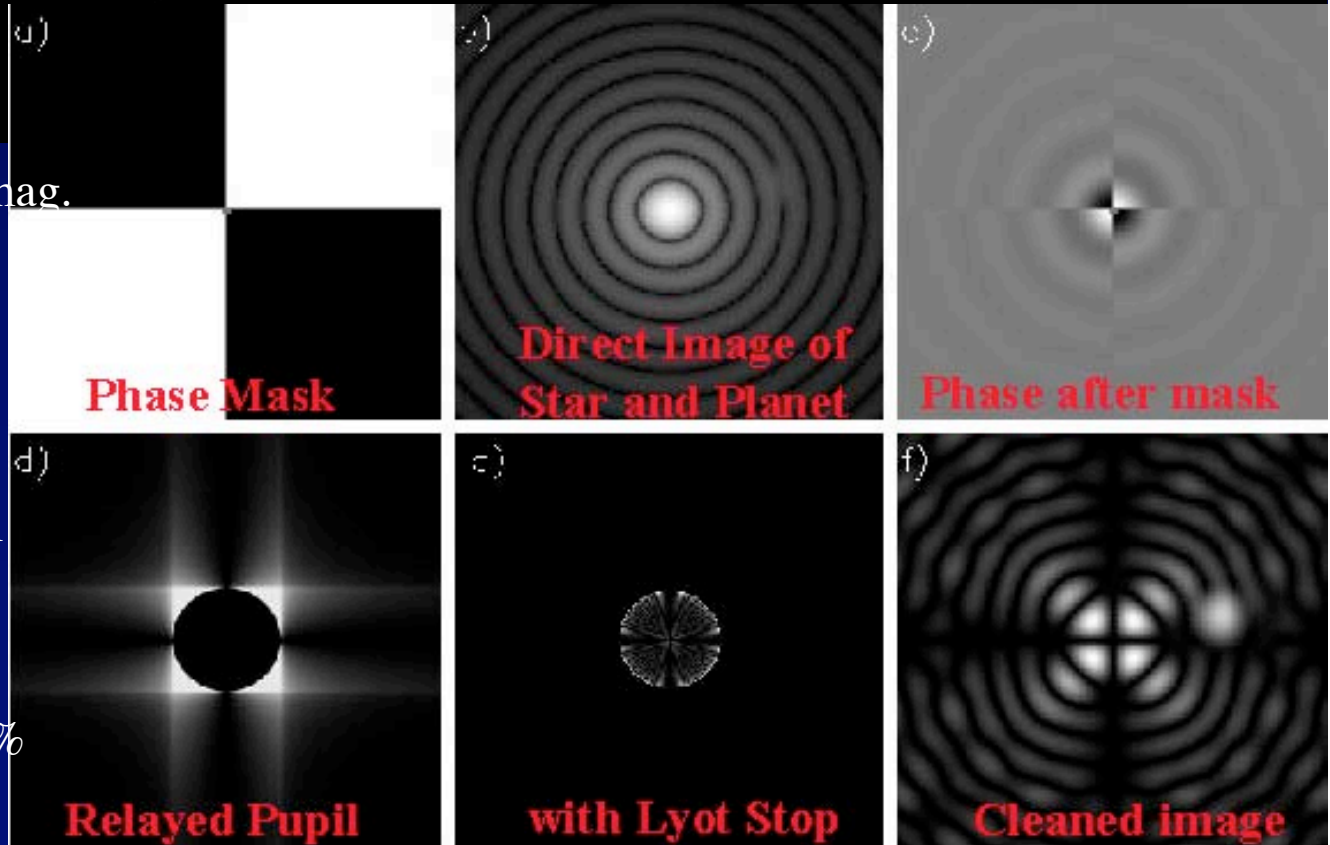
(Rouan et al., 2000, Riaud et al., 2001)



L1

FQ-PM

- High dynamic range \Rightarrow 20mag. with perfect optics
- Resolution unaffected
- Broad-band operation with achromated phase mask
- requires a circularized pupil
- affected by guiding errors (null width $\propto \theta^2$)
- Pupil obscuration up to 10% tolerable



Phase Mask

Direct Image of Star and Planet

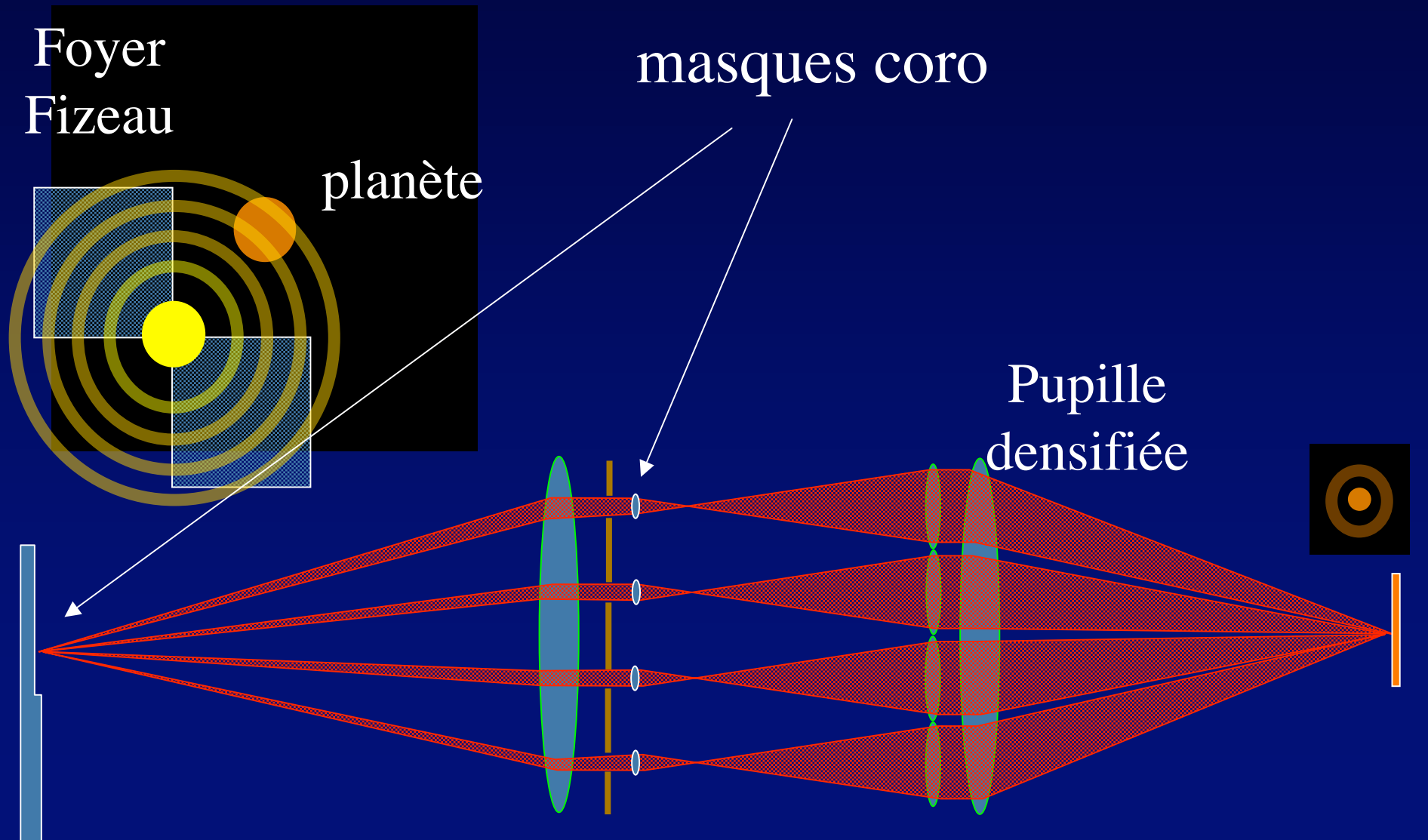
Phase after mask

Relayed Pupil

with Lyot Stop

Cleaned image

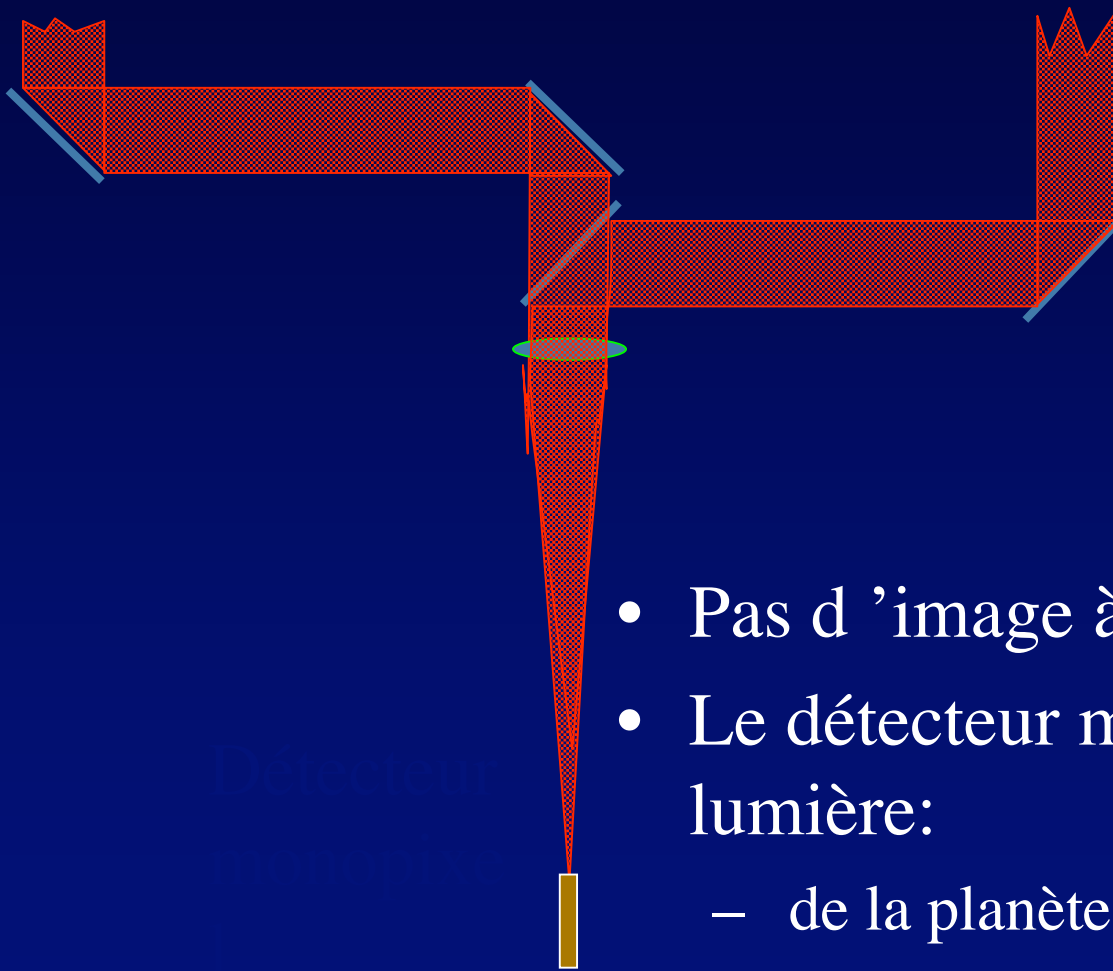
Visible: coronographe pour chaque ouverture



Faisabilité de Luciola

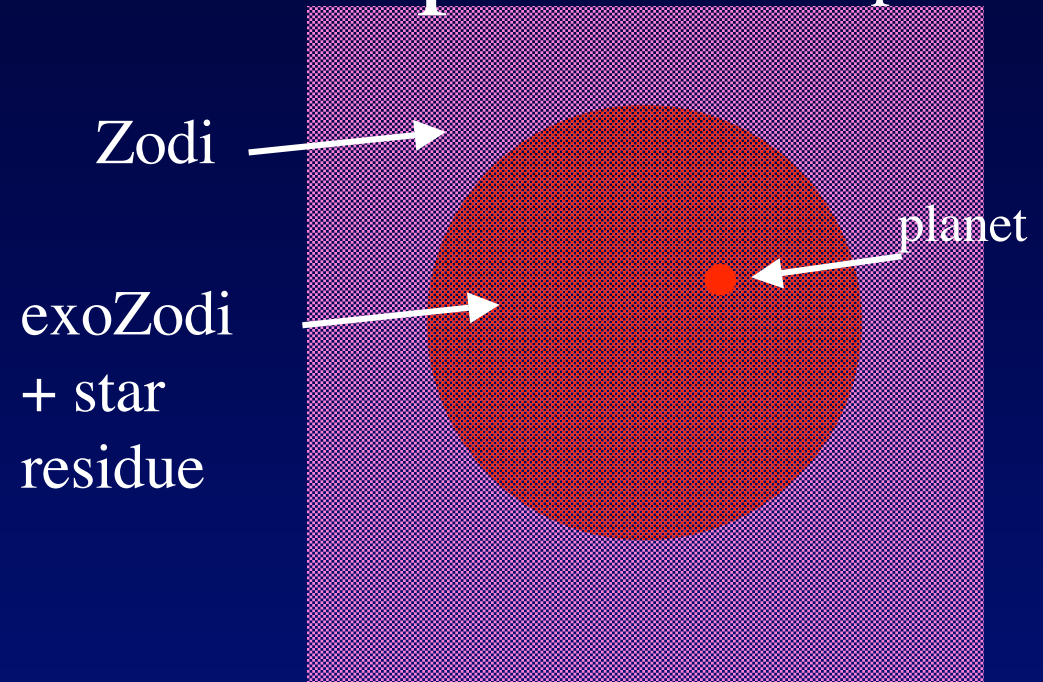
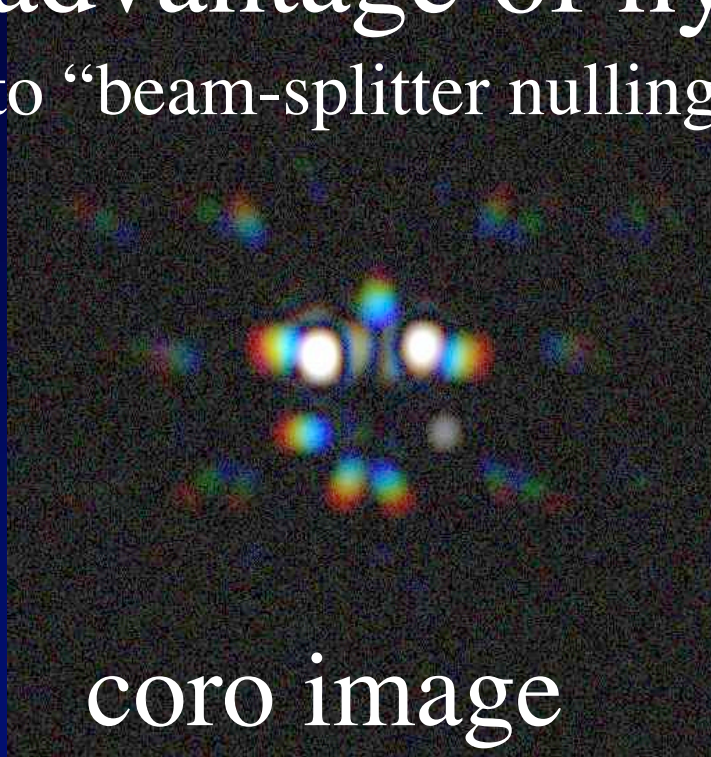
- Essai géostationnaire de « miroirs volants »
- 20 cm, 100 grammes
- pilotage par voiles solaires
- Métrologie par caméras et impulsions laser

Comparaison avec le noircissement par séparatrice (version initiale de DARWIN et TPF)



- Pas d'image à haute résolution
- Le détecteur monopixel mélange la lumière:
 - de la planète
 - résiduelle de l'étoile
 - du fond de ciel, collectée dans λ/d

Infra-red: theoretical contrast advantage of hypertelescopes with respect to “beam-splitter nulling”



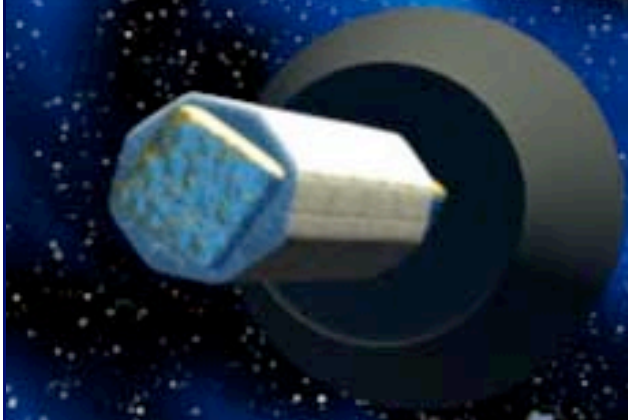
- Image separates the planet's peak from most zodi & exoZodi collected by the sub-apertures in a λ/d sky patch.
- No such separation with beam-splitter nulling (DARWIN, book TPF)
- Planet contrast improves as N if star residue is negligible

So: large sensitivity gain, 100 x faster observing

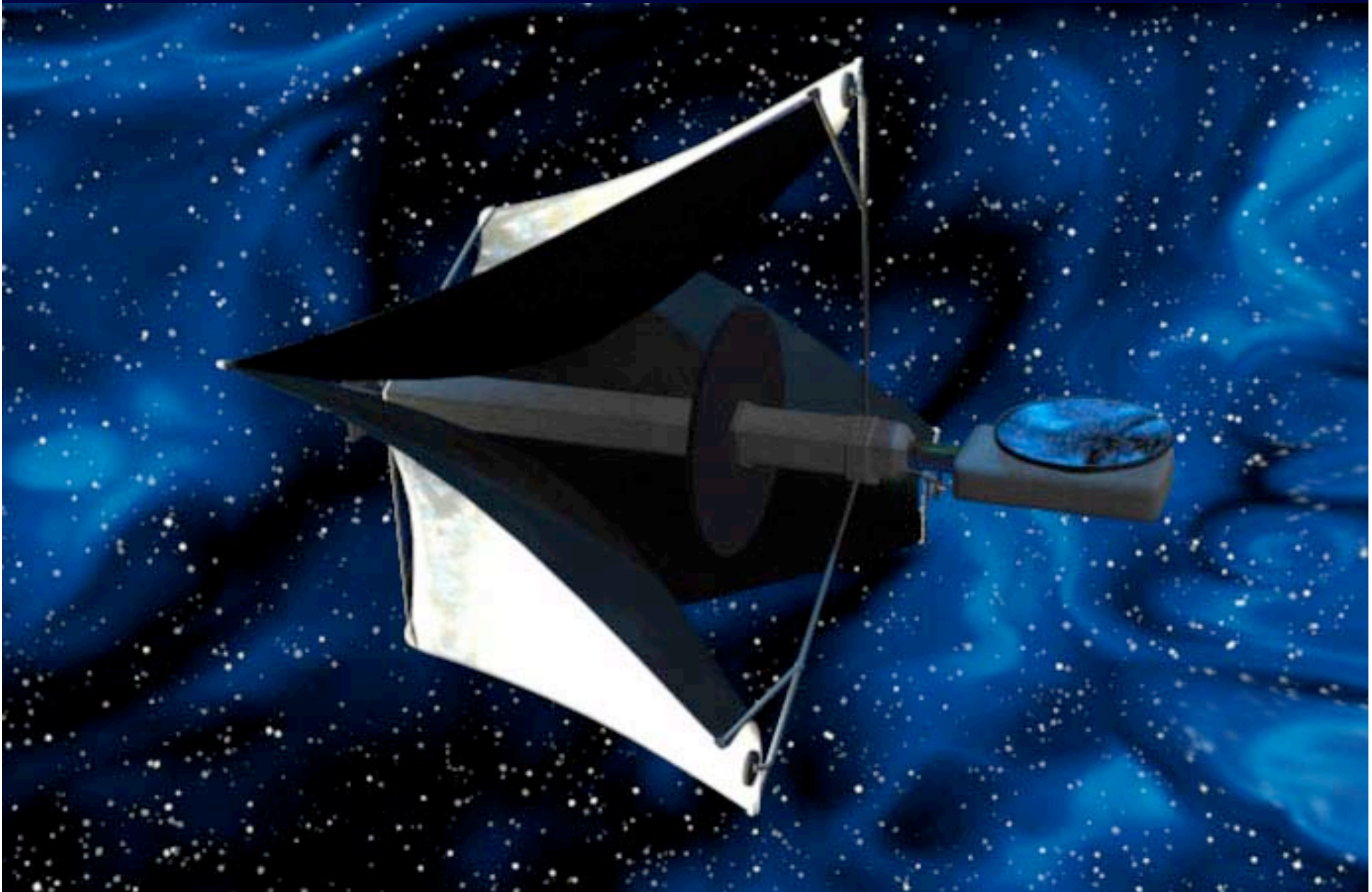
Version hypertélescope pour TPF

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

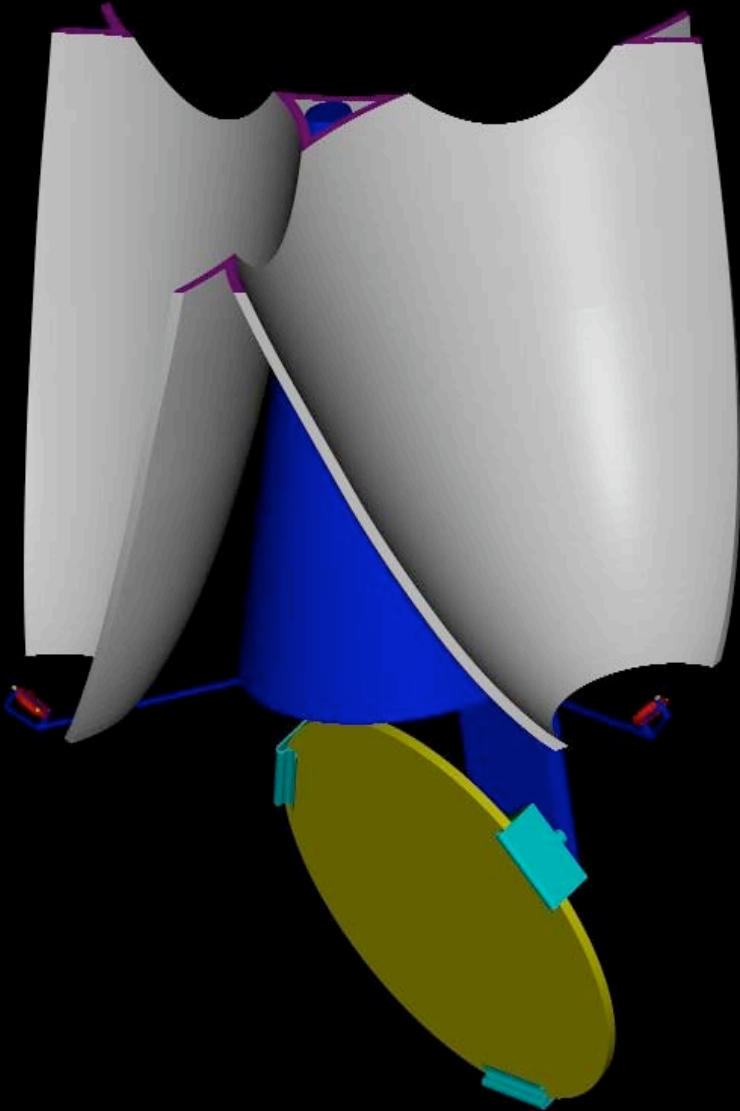
vue d'artiste par Boeing /SVS



Miroir volant avec voile solaire



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 ?
-

Comment faire un précurseur rapide et pas cher ?

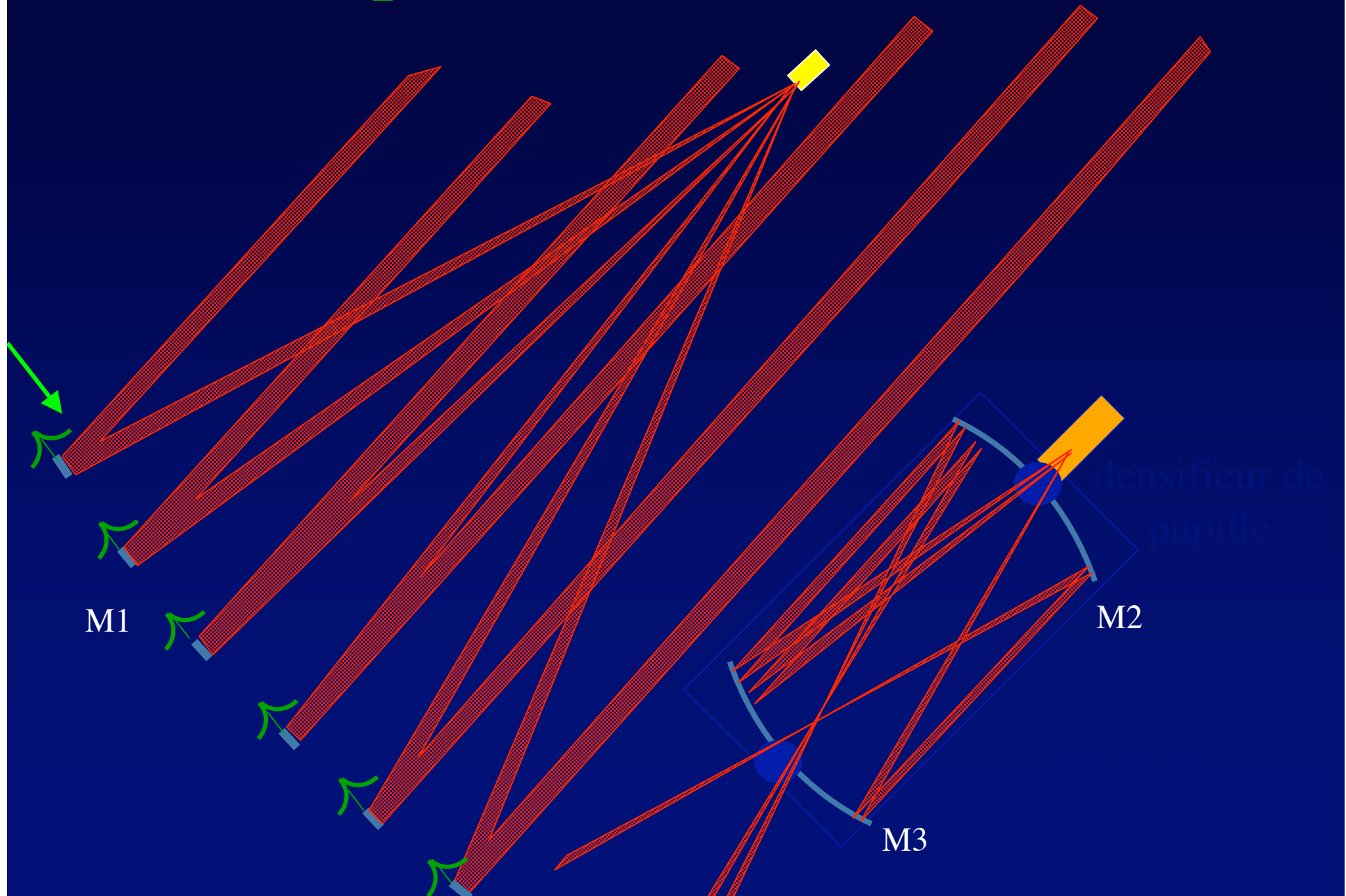


Comment faire un précurseur rapide et pas cher ?

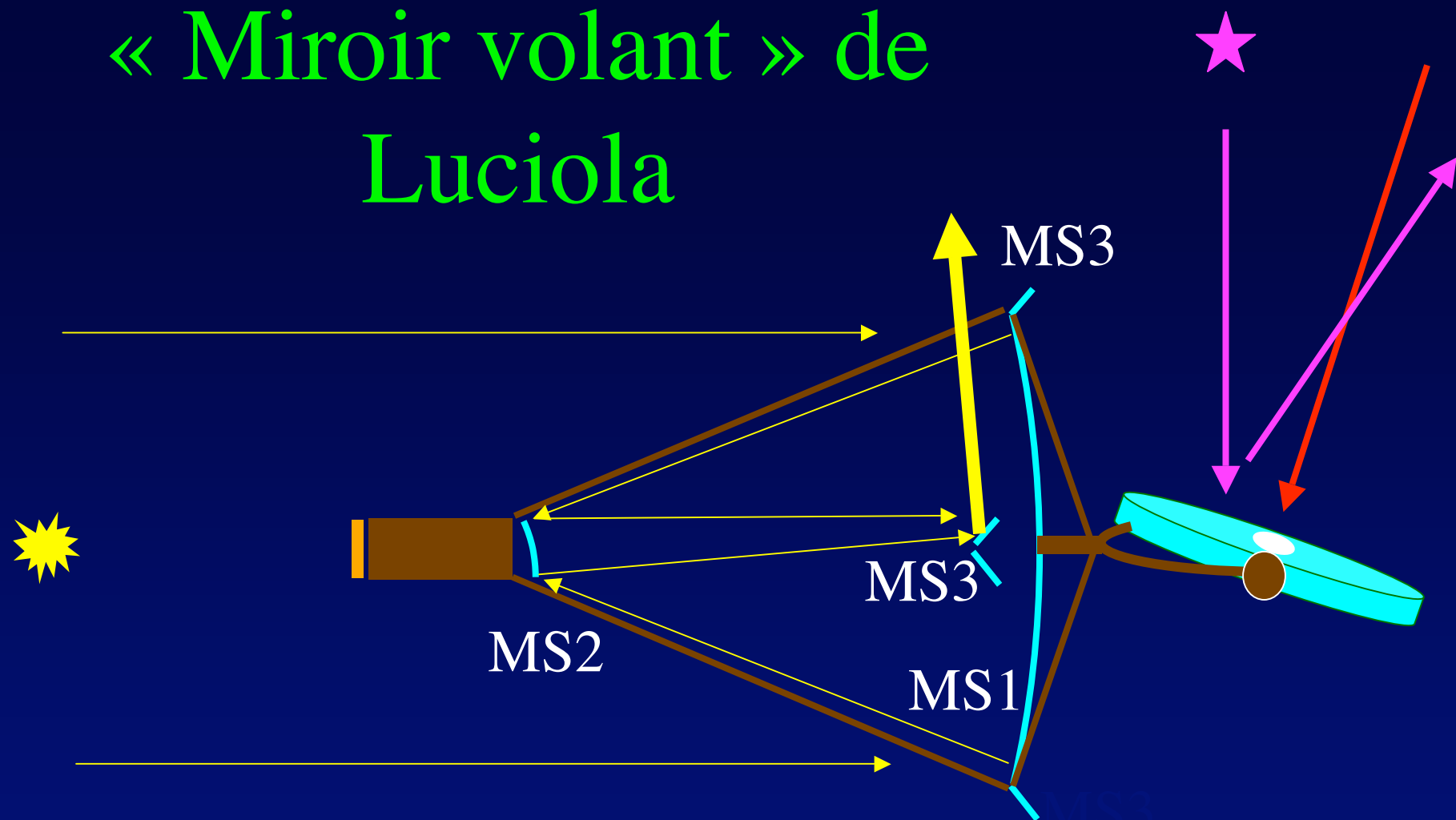
- Flotille de « miroirs volants » en orbite géostationnaire + balise laser + boîte focale
- Simplifications ultimes:
 - Éléments miniatures: miroirs de 10-20 cm
 - Pilotage par voiles solaires : ultra-léger
 - Ni gyroscopes ni batteries
 - Électronique simple
- Limitations:
 - Dimension < 100 mètres , pointage lent, étoiles brillantes



Le concept Luciola (Lardière, Labeyrie, 2001)

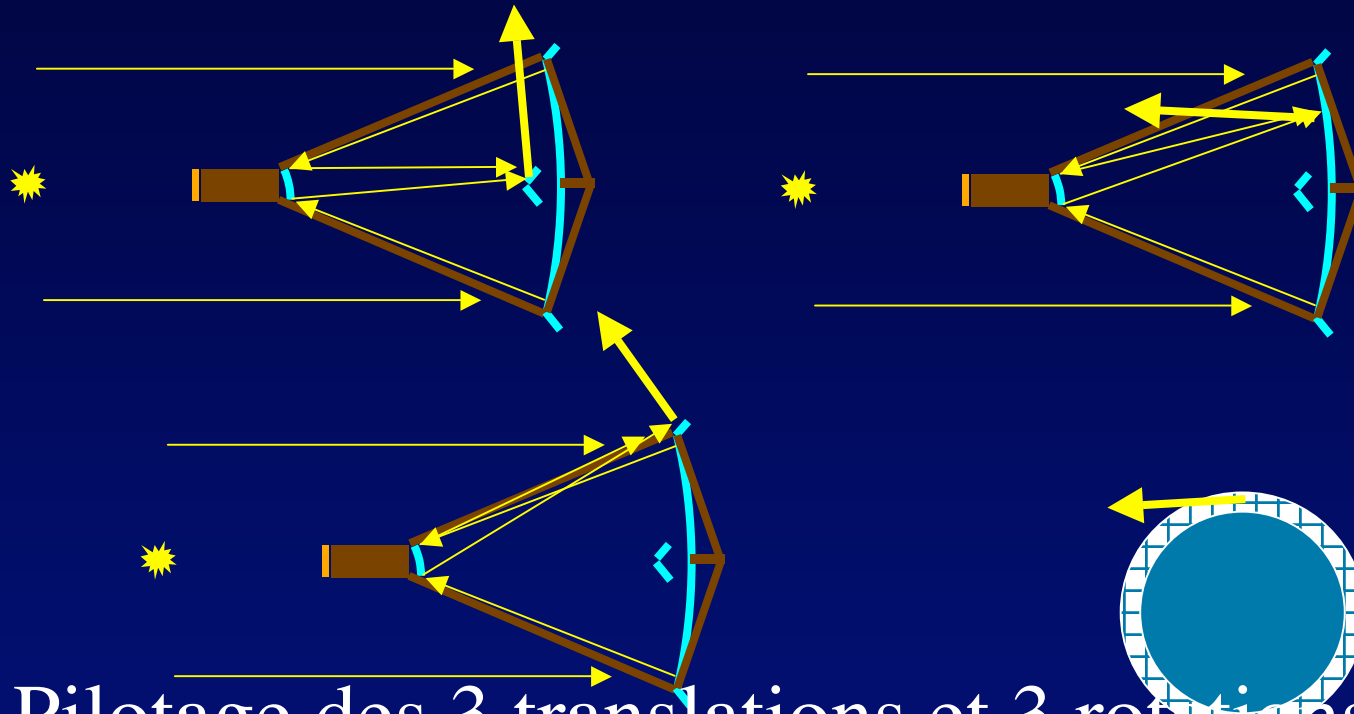


« Miroir volant » de Luciola



- Pilotage solaire par M2 inclinable et plusieurs MS3
- Voile solaire et miroirs ultra-légers

Forces et couples



- Pilotage des 3 translations et 3 rotations
- Autostabilité du pointage solaire ?
 - Nécesite amortissement des oscillations . Courants de Foucault ?

Stabilité passive et amortissement

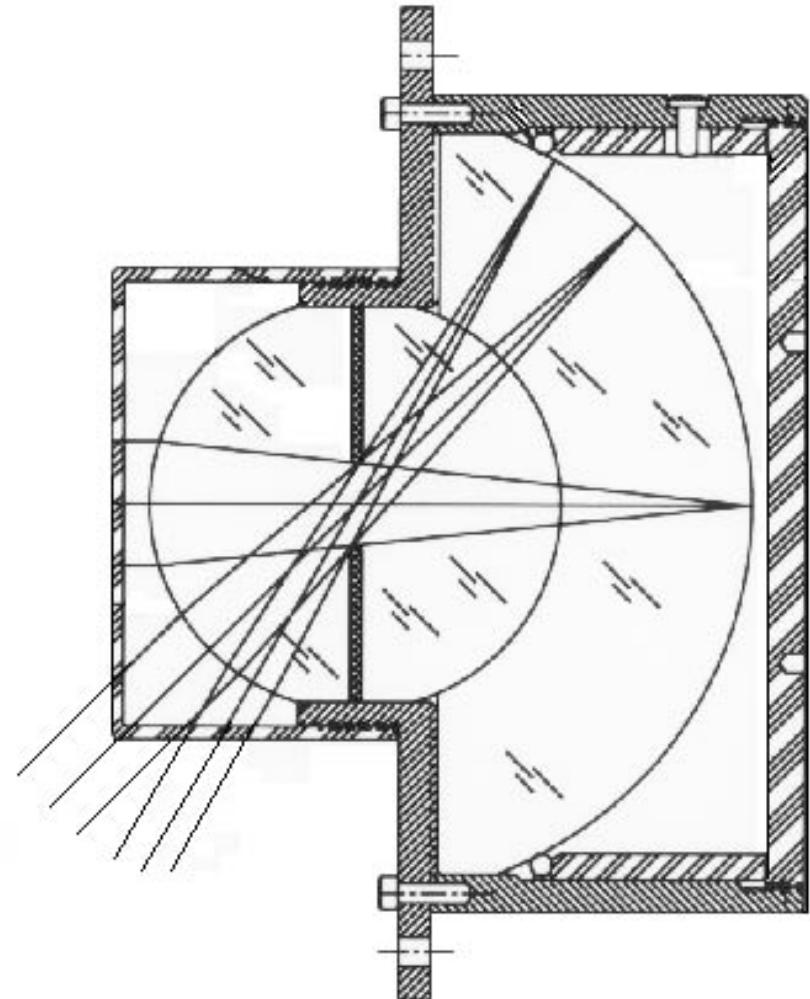
- Des voiles qui se pointent toutes seules vers le soleil ...
 - Oui si le centre de poussée est en aval du centre de gravité (Lardière, thèse)
- Amortir les oscillations :
 - passivement ? Galvanomètre ...
 - Activement : solutions classiques

Métriologie au centre de courbure

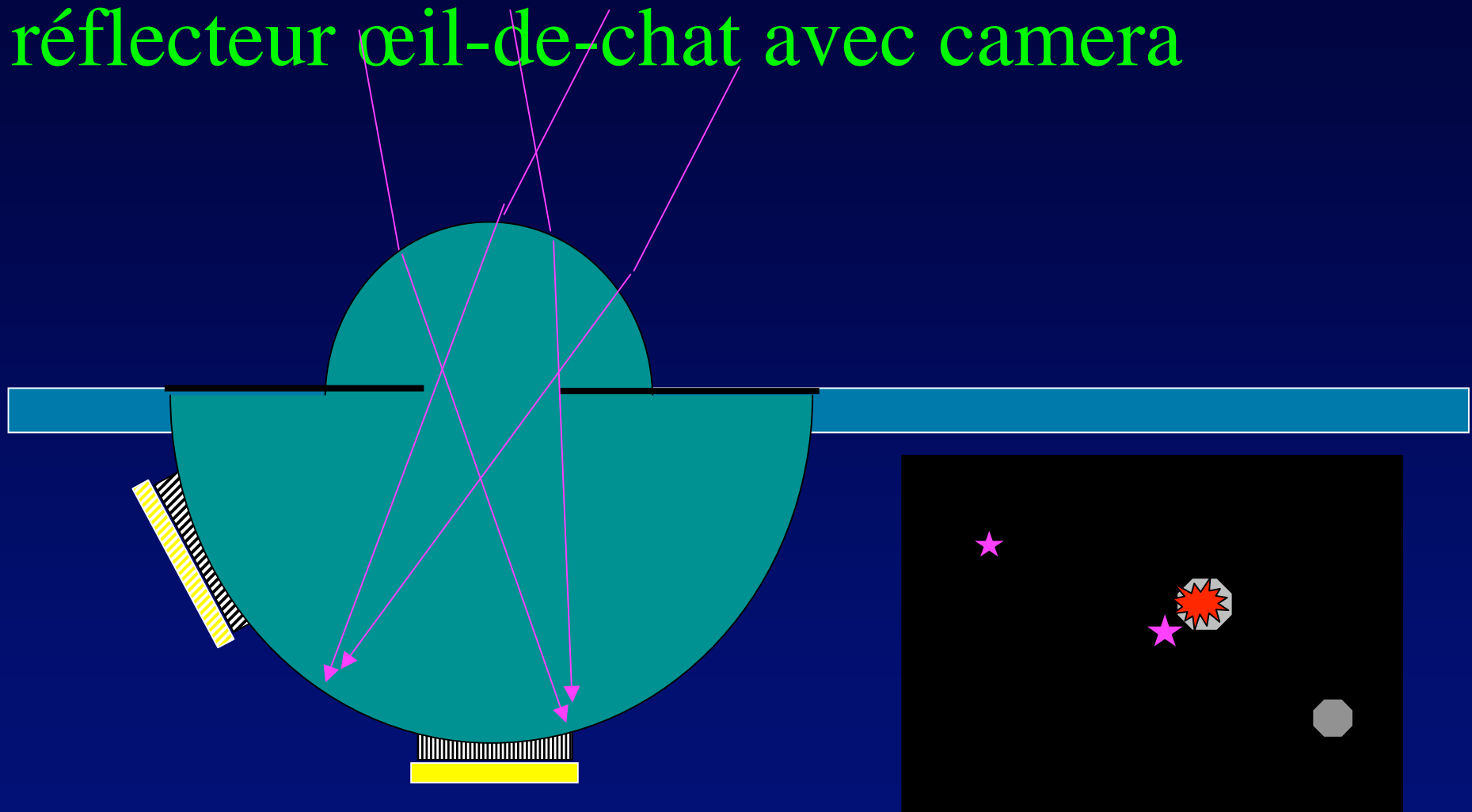


Exemple de rétro-rélecteur « œil de chat »

- Renvoie la lumière vers la source
- Grand champ

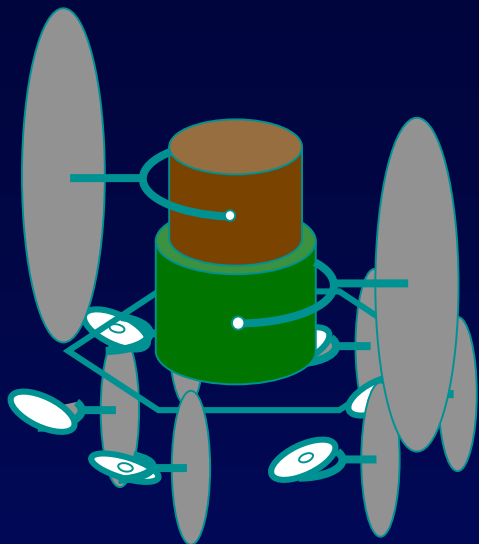


Méetrologie laser: réflecteur œil-de-chat avec camera

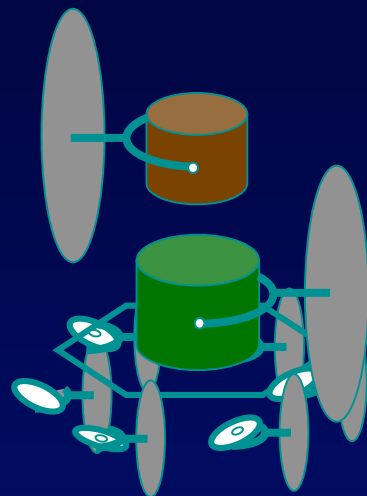


- Définit la géométrie de la flotille et le pointage
- Précision : $< 1 \text{ mm}$ et $10''$

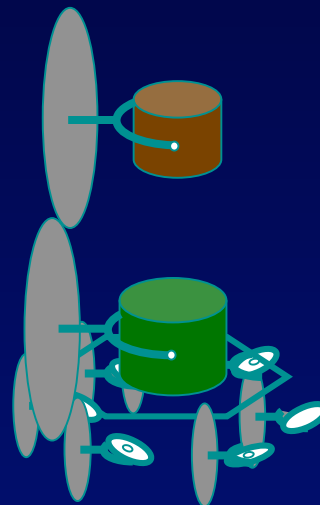
Déploiement de Luciola



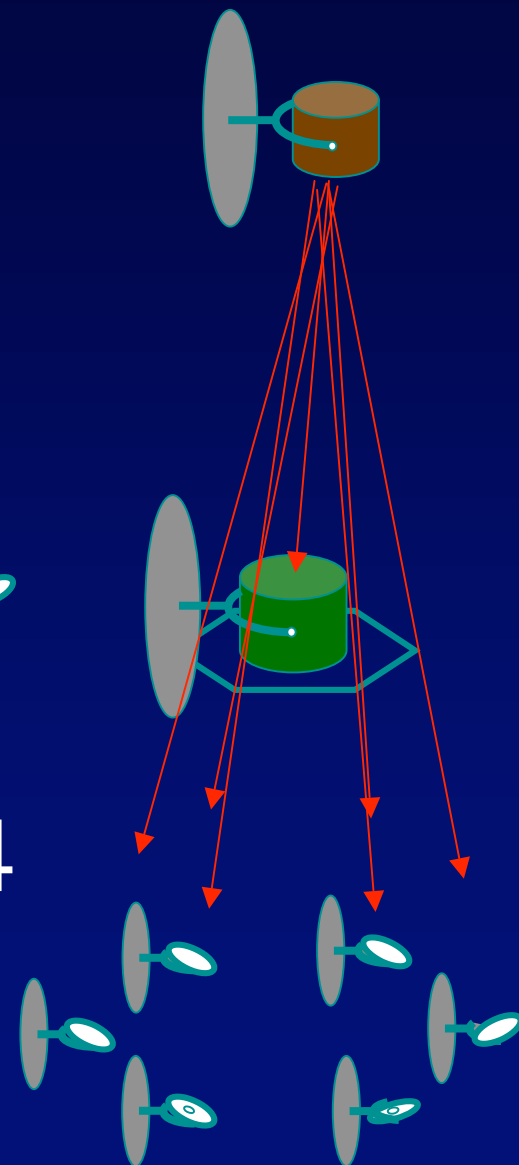
1



2

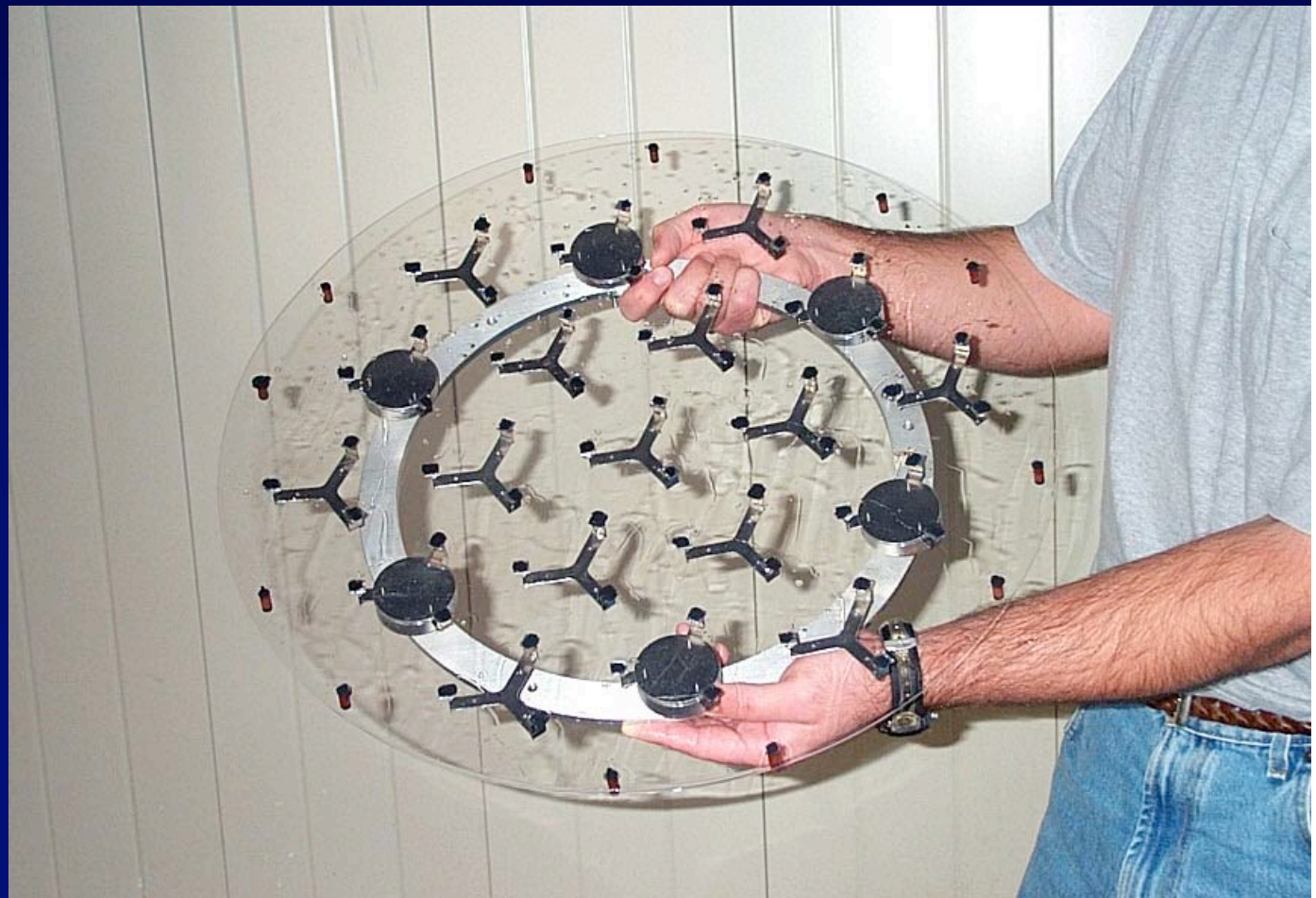


3



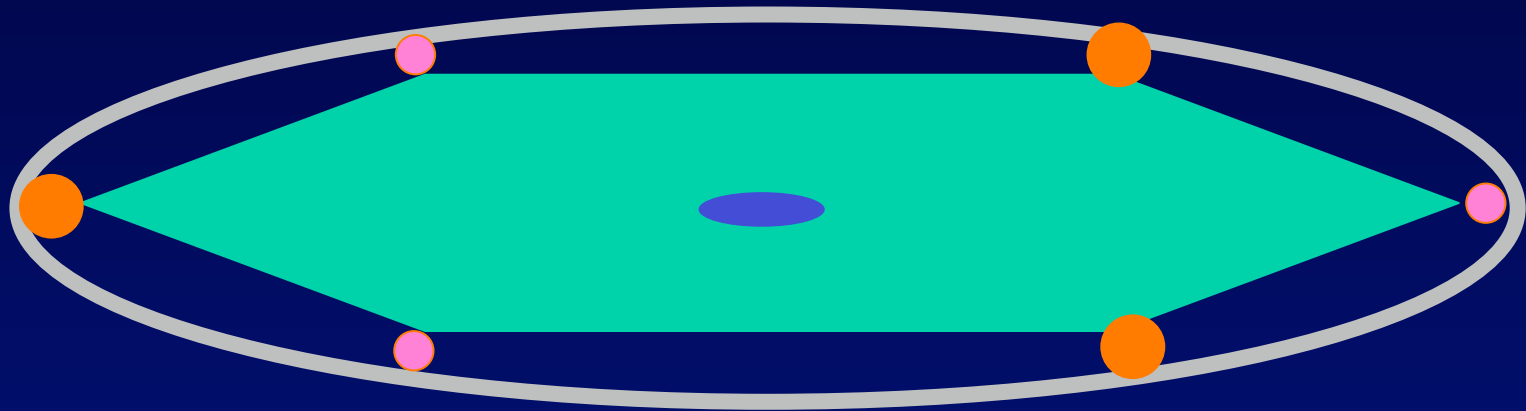
4

0.5 m Polished Mirror, 0.9mm Thick



miroirs à membrane tendue

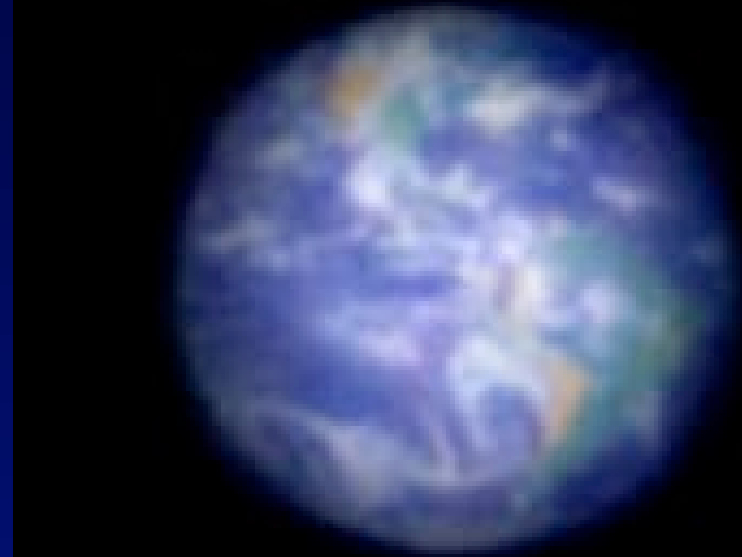
(Angel et al.)



- Essais par Angel et al. (2000) : polymère, planéité 1 micron
- Tendue sur un cadre en 6 points, avec 3 actuateurs
- Retouches de forme par bombardement ionique
- Faible bi-concavité envisageable

L 'étape suivante (2020 ?) :

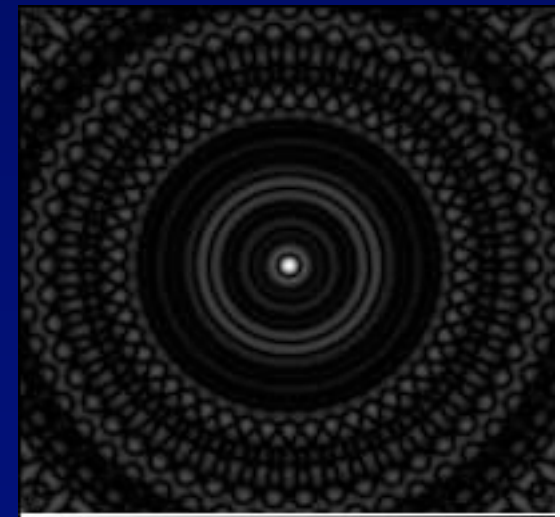
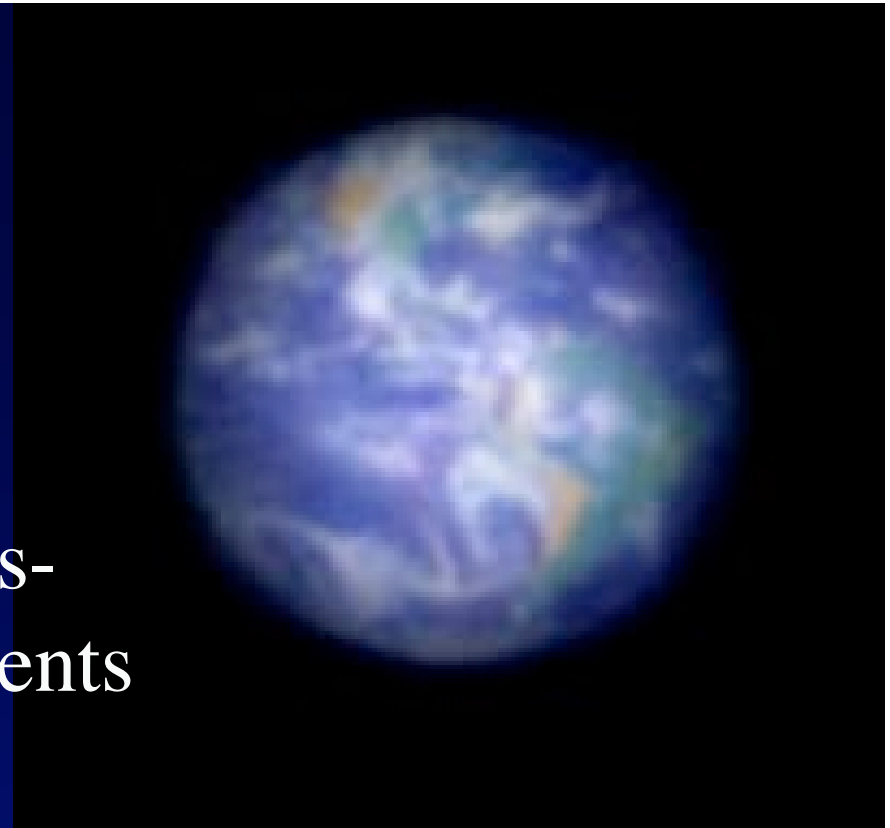
Exo-Earth Imager



- Passer à l'échelle de 100 km pour résoudre les exo-planètes
- Images montrant leur détail

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 am a es  
st double zoom=5, contraction=10,  
st unsigned int Nt=50, rolMax=3;
```

Interférométrie et hypertélescopes: quelles limites ?

- Dimension: milliers ou millions de kilomètres ?
 - il faut assez de photons par resel: ex: pulsar du Crabe: 20 km à
 - il faut renvoyer les faisceaux sans pertes, impose un diamètre de miroir $\Phi_c > L \lambda / \Phi_r$ ($\Phi_c > 20$ m si $L = 10^6$ km et $\Phi_r = 20$ m) distances des pulsars: 250 à 1500 pc (Crab), Vela 550 pc
- Complexité de la source

Turbulence interstellaire ?

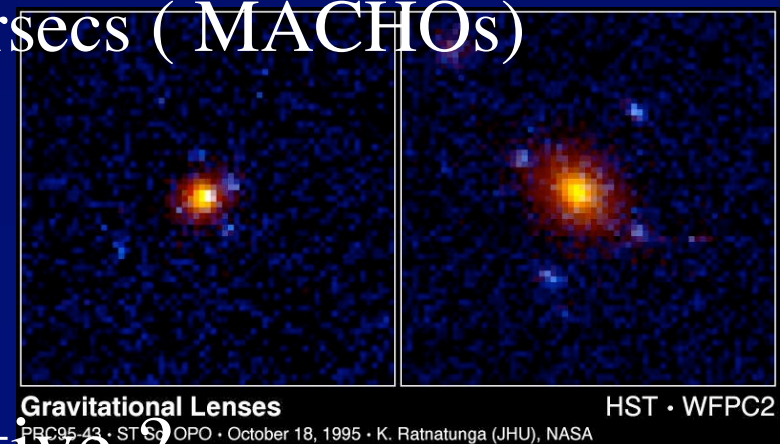
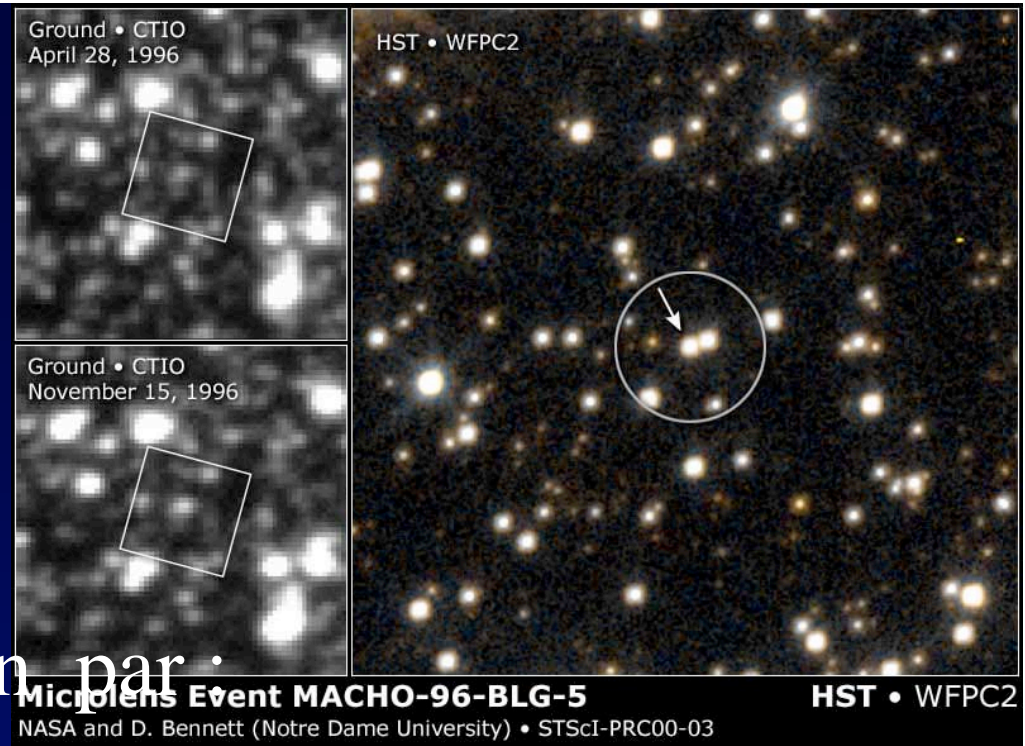
- Oui pour les ondes radio: scintillation due aux électrons interstellaires
- Pas encore détectée en optique: effet plus faible que celui de l'atmosphère terrestre
- Quels sont les r_0 et τ_0 interstellaires ?

Turbulence gravitationnelle ?

- Focalisation et déviation par :

- masses sub-stellaires à une fraction de parsec (Labeyrie , "Gravitational lenses as giant diffractive telescopes", 1994, A&A **284**, 689-692)
- Masses stellaires à 100-1000 parsecs (MACHOs)
- Galaxies lointaines
- Ondes gravitationnelles ?
Non selon GTR !

- Correctible par optique adaptative ?



Turbulence gravitationnelle ?



Gravitational Lens in Abell 2218

HST · WFPC2

PF95-14 · ST ScI OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

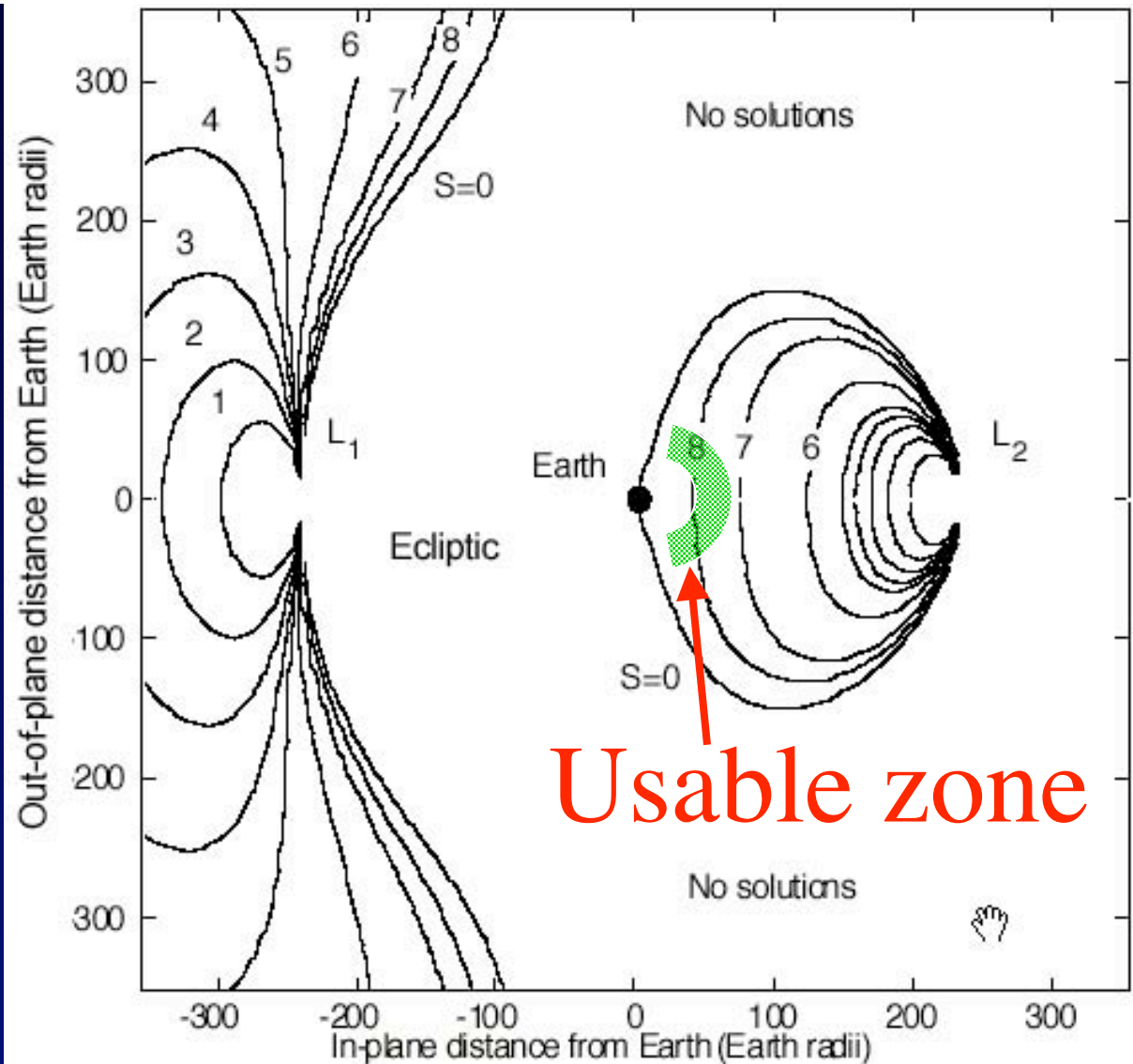
Conclusions

- L'imagerie hypertélescope deviendra aussi utilisable en infra-rouge, millimétrique, radio...
- Essais au sol entamés
- Possibilité d'essais spatiaux à court terme
- Détectabilité de vie sur des planètes extrasolaires
- de quoi alimenter la curiosité des terriens

Artificial Lagrange points

(McInnes, ESA report, Nov. 2000)

•



Equilibrium points

Figure 5.13 Artificial equilibria for a solar sail reflectivity of 0.9. $S=0$ deliniates the region of existence of equilibrium solutions

Questions...

- Combien d'étoiles artificielles nécessaires pour un ELT ou hypertélescope ?
- Micro ou nanosatellites ?
- faire essais ?

Conclusions

- Phasage d'hypertelescope 1-10 km possible sur étoile brillante
- jusqu'à quelle magnitude ?
- évaluer l'idée de Lidar (Ch.Townes)