

Observabilité de "taches vertes" sur des exo-planètes

- **Séminaire à 15h15: Jean Schneider, Observatoire de Paris-Meudon,
"Recherche de vie sur les planetes extrasolaires: espoirs et difficultes"**

Observabilité de "taches vertes" sur des exoplanètes

- L 'hyper-télescope de 150km « Exo-Earth Imager »
- Imagerie résolue
- Discriminer les signes de vie

"Snapshots of alien worlds:the future of interferometry" ,
Labeyrie.A. , Science , 17 September 1999, vol.285.,(
www.sciencemag.org)

Résolution nécessaire

- 1200 km à 10 parsecs: 1 micro-seconde d'arc
- Nécessite bases > 100 km

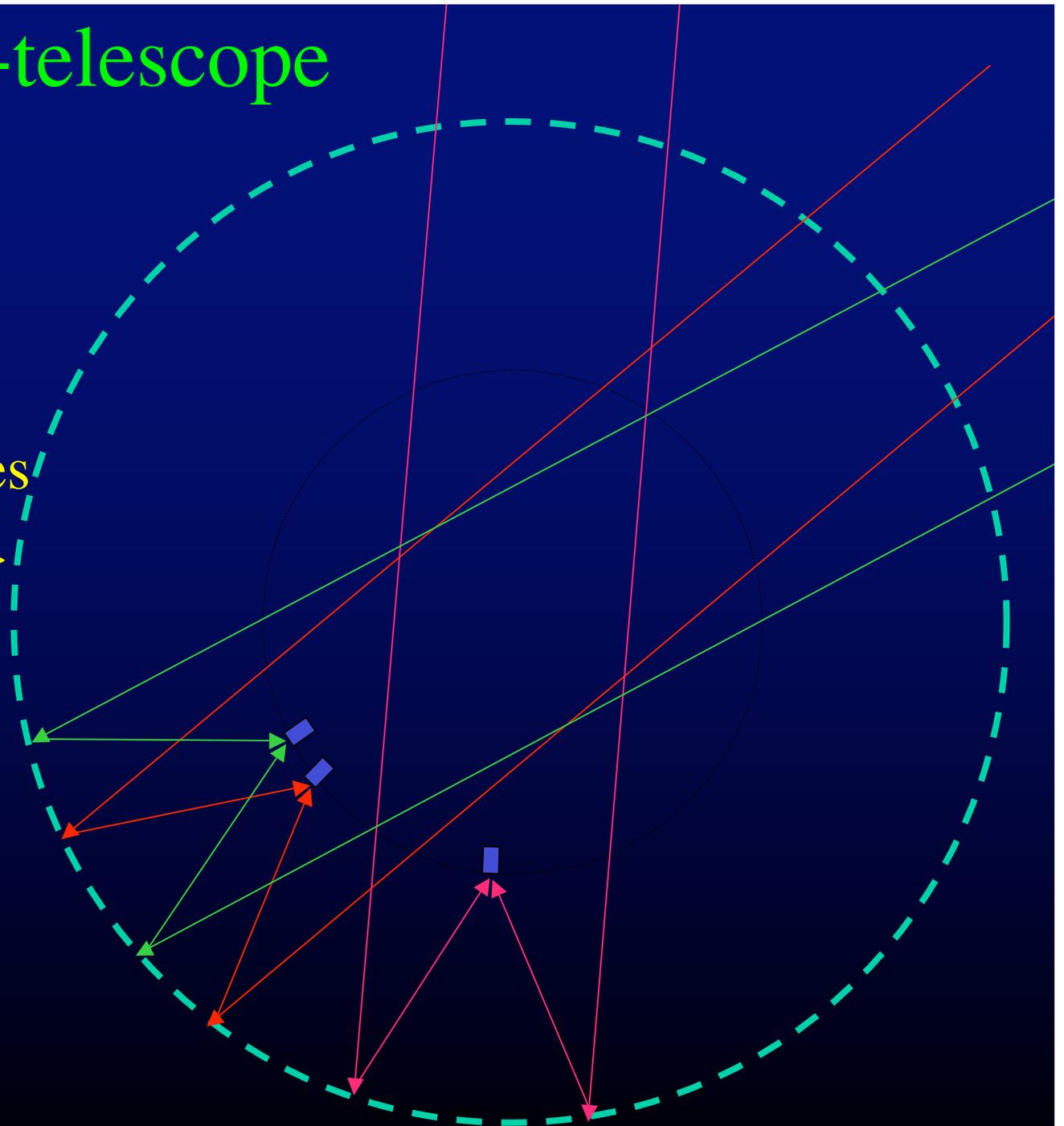
DARWIN (Mariotti et al.) étude par ESA



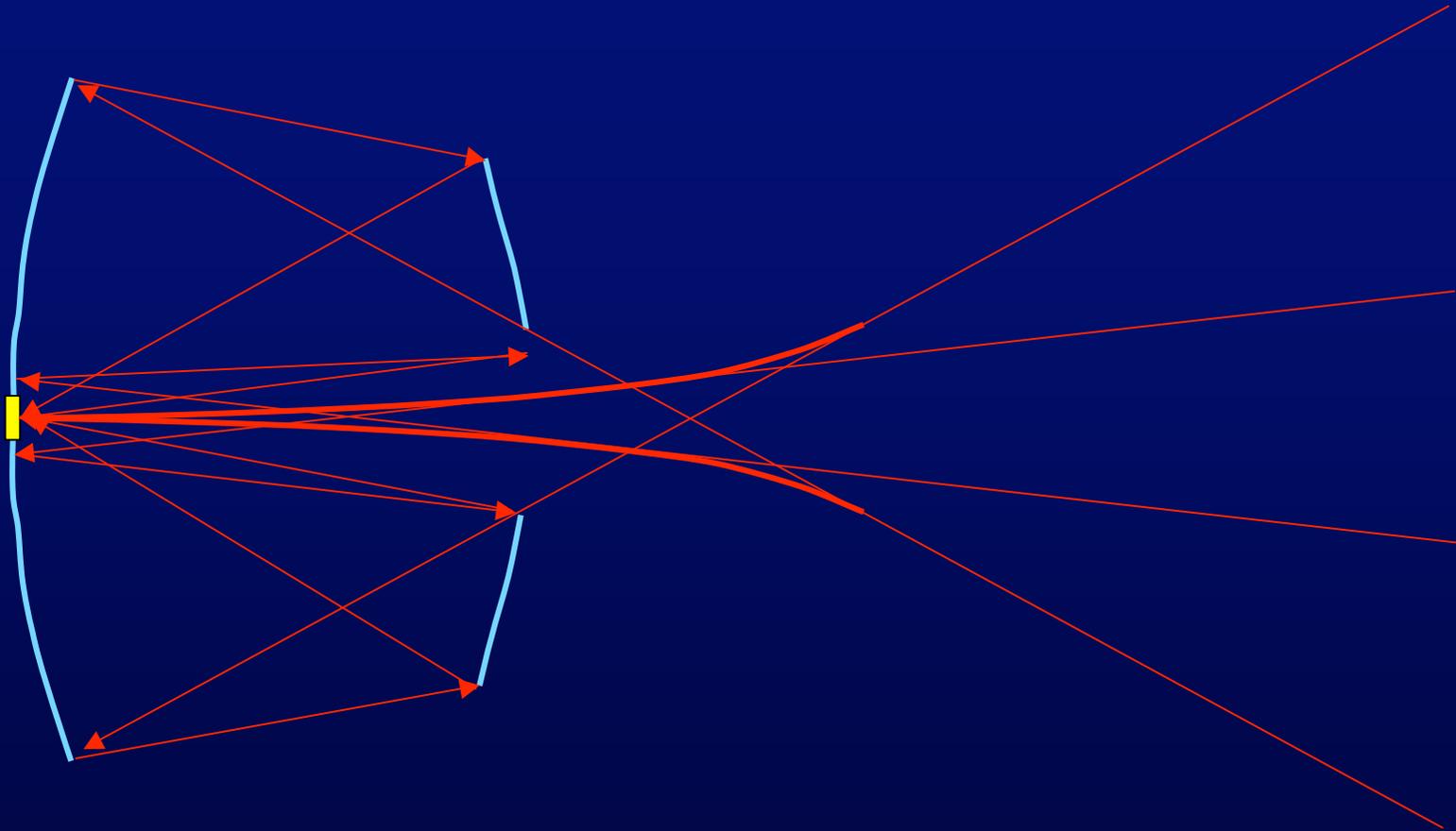
Moth-Eye Hyper-telescope

Labeyrie, Cargèse 1998

- Panoramique
- Sphère diluée fixe, stations focales mobiles
- Partage des miroirs => économie



Correcteur d'aberration sphérique à f/1

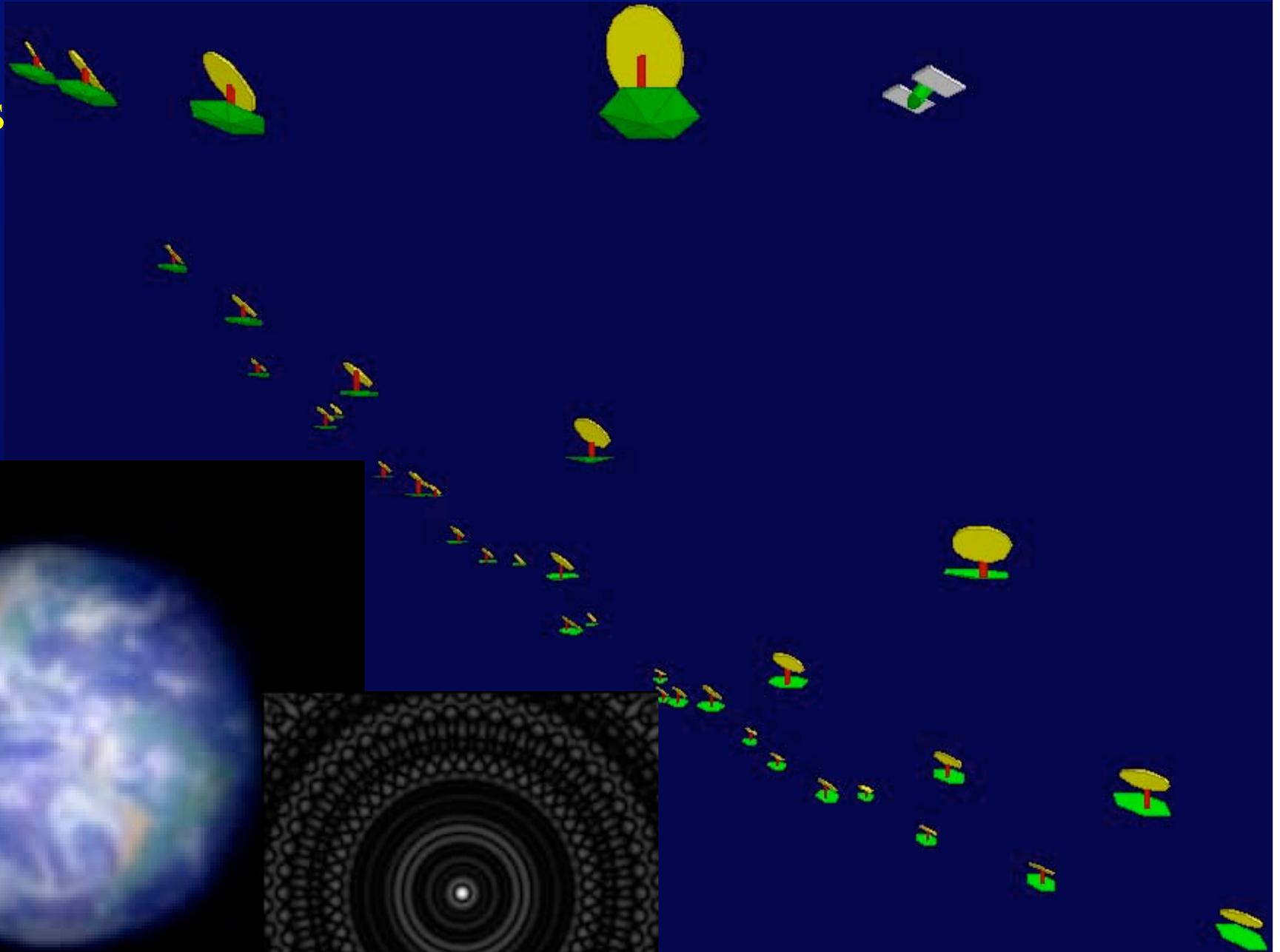


Diamètre 3,5 km pour pupille 100 km

Un hyper-telescope: Exo-Earth Imager

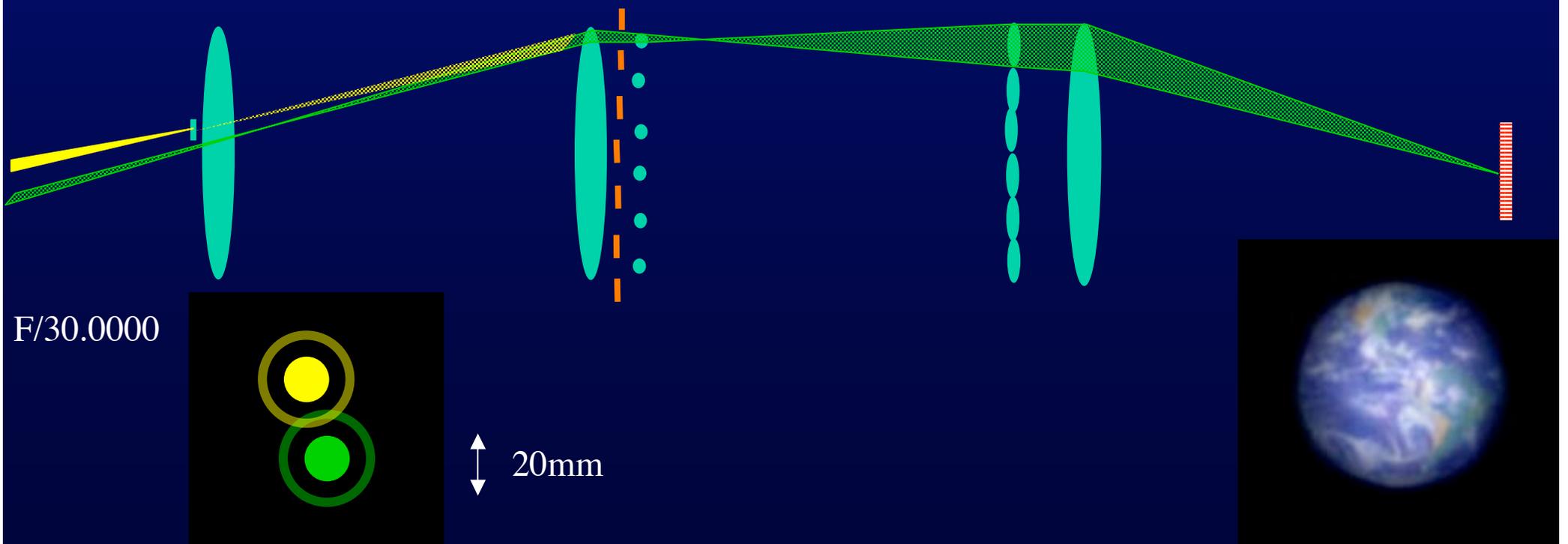
150 miroirs
de 3m
150 km

Terre à 3pc
Pose 30mn

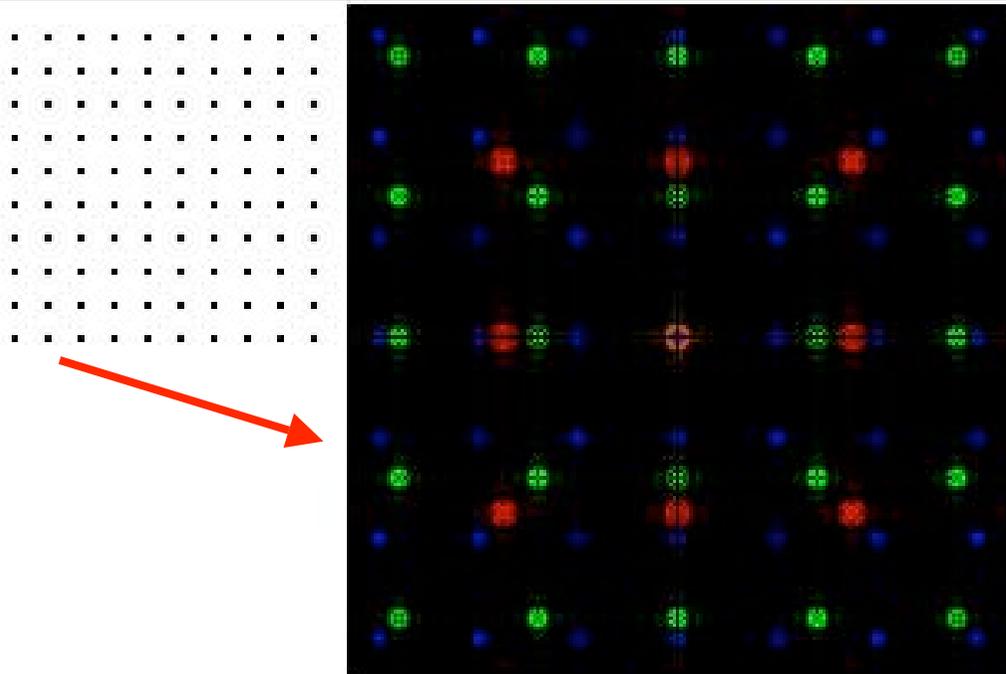


Concept Exo-Earth Imager

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

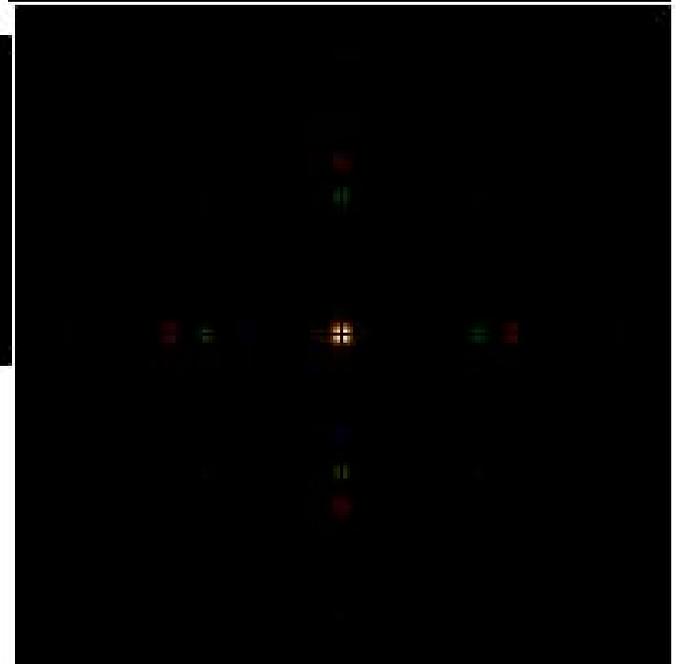
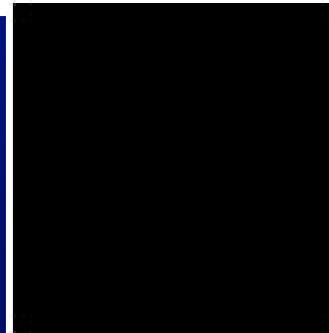
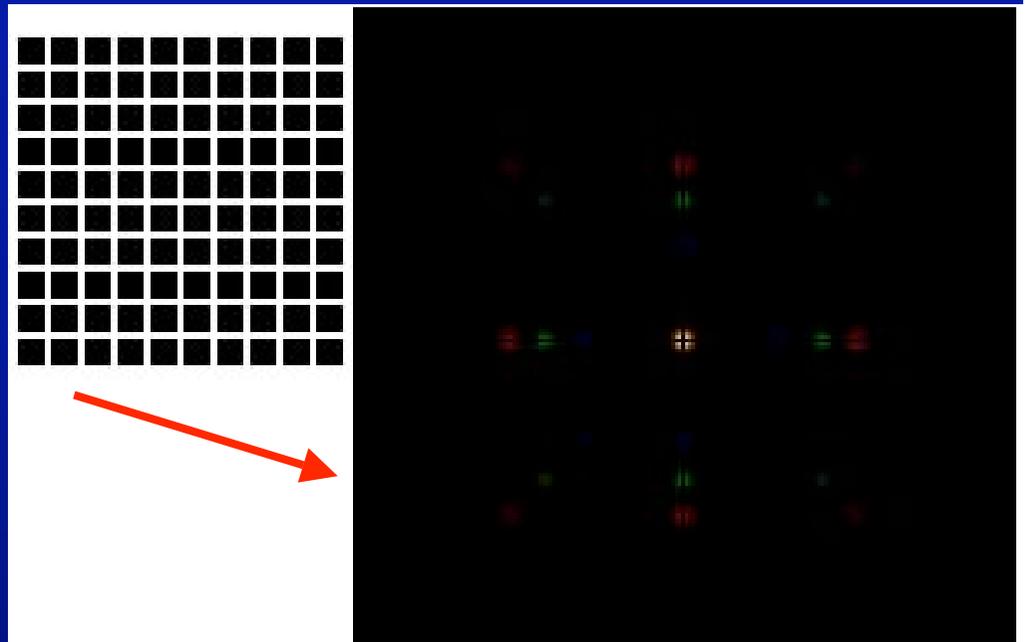


Figures de diffraction calculées



Ouverture diluée

Ouverture dense

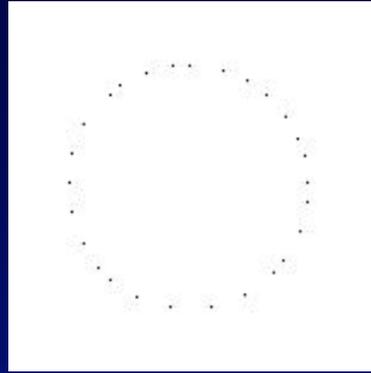


Formation de l'image

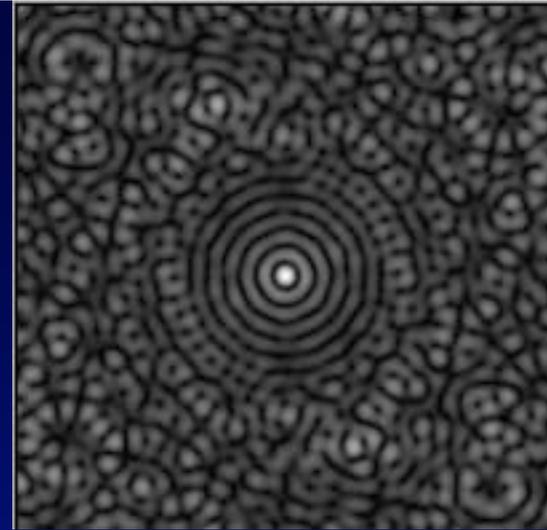
- Ouverture: $N=150$, 3 cercles de 50 éléments
- Fonction d'interférence \Rightarrow
- L'échantillonnage planète/rayon d'Airy est critique
- Nombre d'éléments résolubles = N^2
- Perte de contraste si $> N^2$



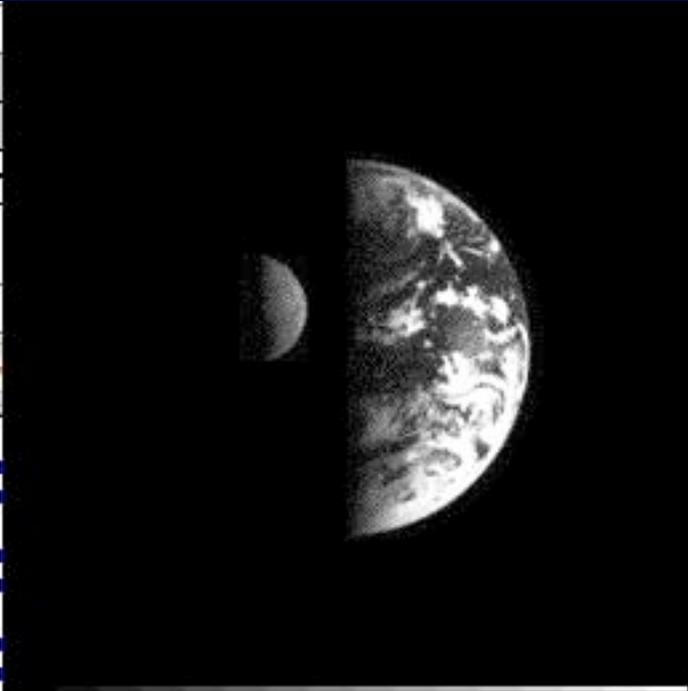
- **Un cercle ne suffit pas**



ouverture



Fonction
d'interférence



Terre et Lune

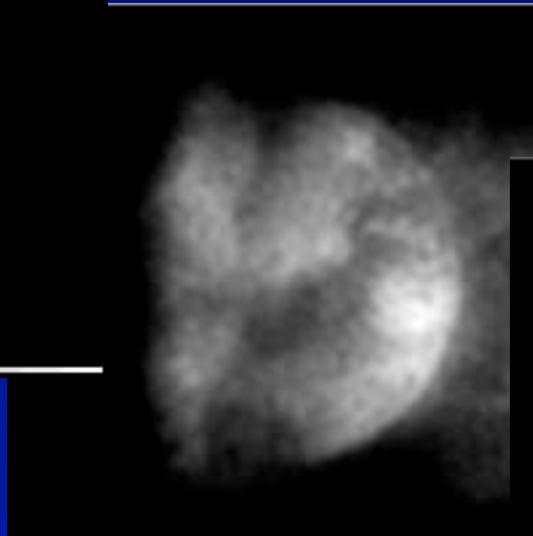


Image i3

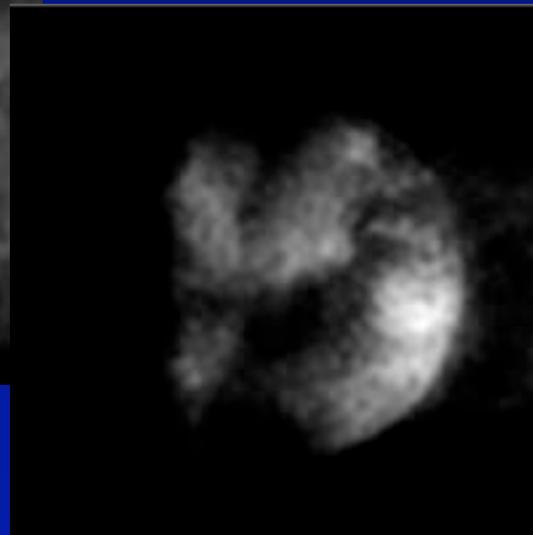


Image i2

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

150 miroirs de 3m,
pose 30mn

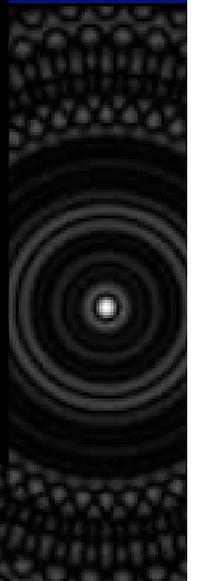
(Labeyrie, **Science**, 17 Septembre 1999)



objet



image brute



Signal et bruit

- Halo résiduel de l'étoile, avec bruit de photons
- Bruit de photon de la planète
- Fond de ciel

"Resolved imaging of extra-solar planets with future 10-100 km optical interferometric arrays", Labeyrie, A., 1996, A&AS Ser. **118**, 517-524

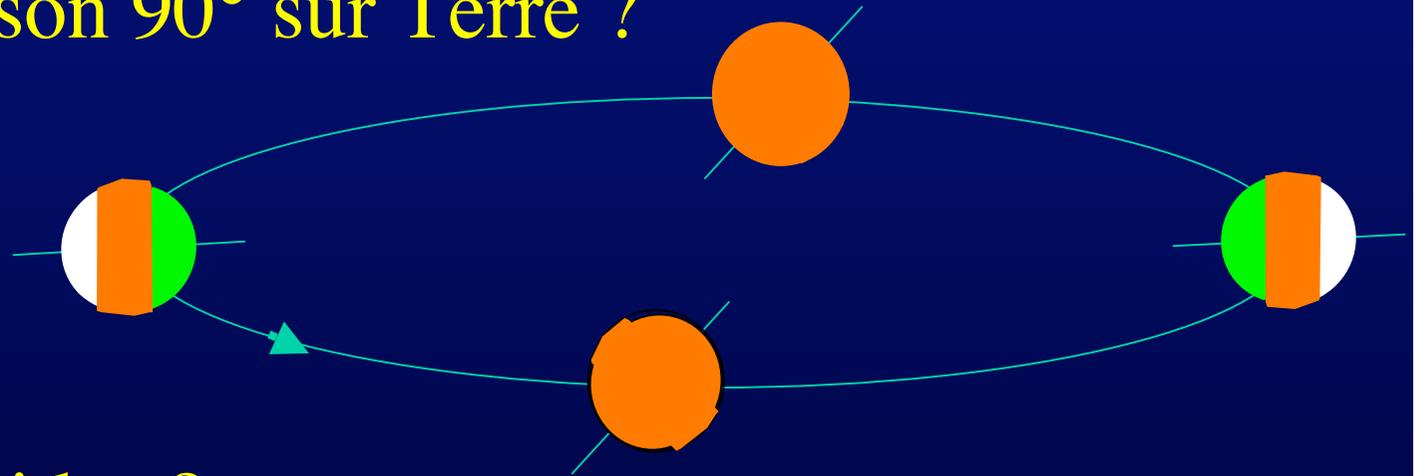
"Visible and infra-red imaging with DARWIN:: feasibility of a visible precursor" , Labeyrie,A. Boccaletti, A., Moutou,C. Riaud, P., Rabou,P., Schneider,J., Abe,L. proc. DARWIN workshop, Stockholm, Nov. 1999, ESA pub.

Autres difficultés

- Éliminer la lumière de l'étoile mère
- Peu de photons par pixel de la planète

Toutes les inclinaisons orbitales sont-elles possibles ?

- Traces d'inclinaison 90° sur Terre ?

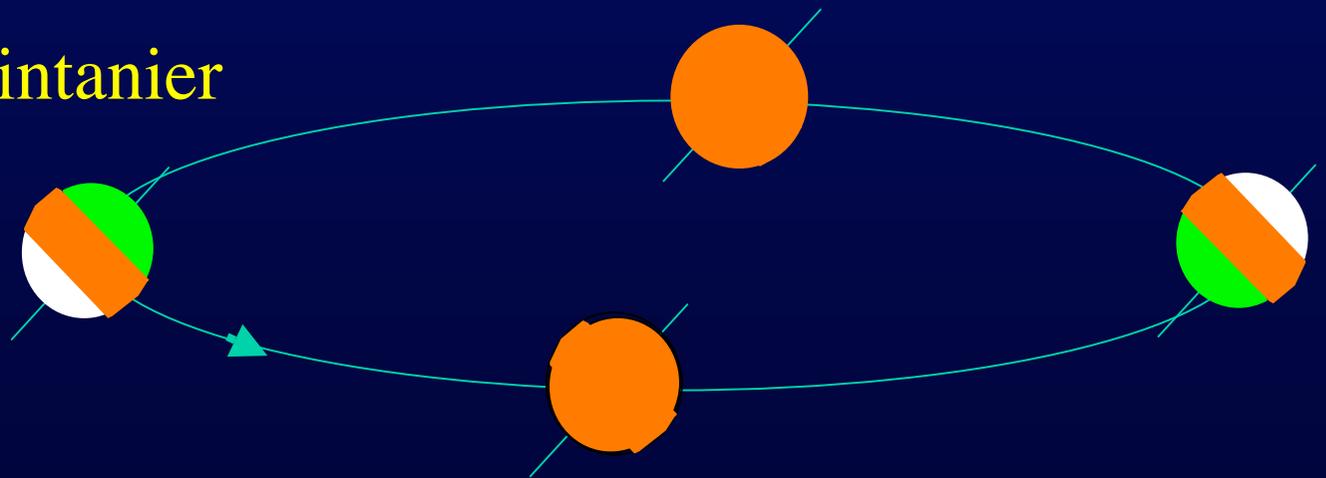


- Retournement rapides ?

– Modèles de T.Kiceniuk « Earthflip hypothesis »

Rechercher la présence de vie

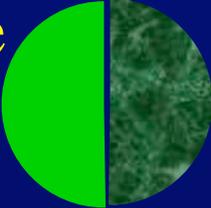
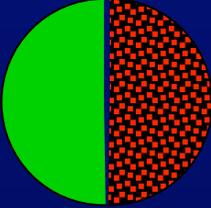
- Comment éviter les réponses ambiguës ?
 - Exemple: sonde Viking sur Mars: « non, quoique... »
 - J.Schneider: raies de H₂O, CO₂, O₃, O₂ insuffisantes
 - Photolyse de H₂O possible (exemple: catalyse par sels de Ruthénium)
- Observer les colorations saisonnières ?
 - Verdissement printanier



Formes de vie

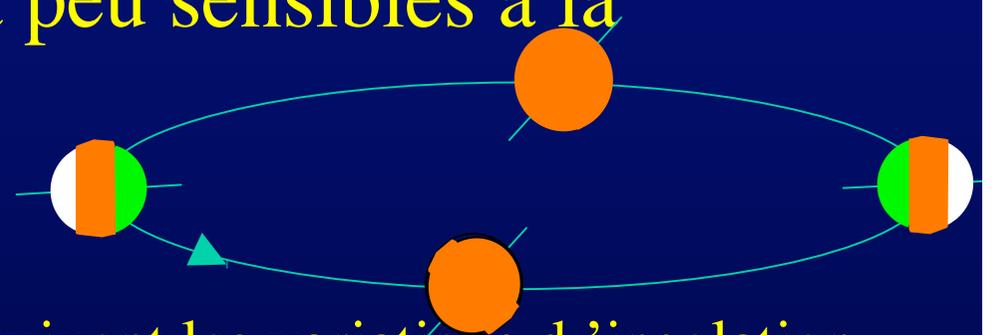
- Chimiosynthèse ?
 - Durée de vie du stock d 'énergie chimique ?
 - Vie possible sans étoile ?
- Photosynthèse:
 - Nécessite eau liquide, nuages 50% ?
 - Plus longue durée de vie ? (milliards d 'années)
 - Vie primitive sans oxygène libre

Stades observables de la vie

- 1- Végétal & animal: faible bio-luminescence possible 
- 2- Intelligence paléolithique: feu 
– Durée: quelques millions d'années ?
- 3- Intelligence néolithique:
 - Captation agricole de l'énergie « solaire », à grande échelle
 - Proliférante
 - Modifie l'environnement, urbanise
 - Instable: désertification, guerres
 - Stades évolués: photopiles, émissions radio (non détectées par SETI), laser, satellites artificiels, flashes nucléaires ?

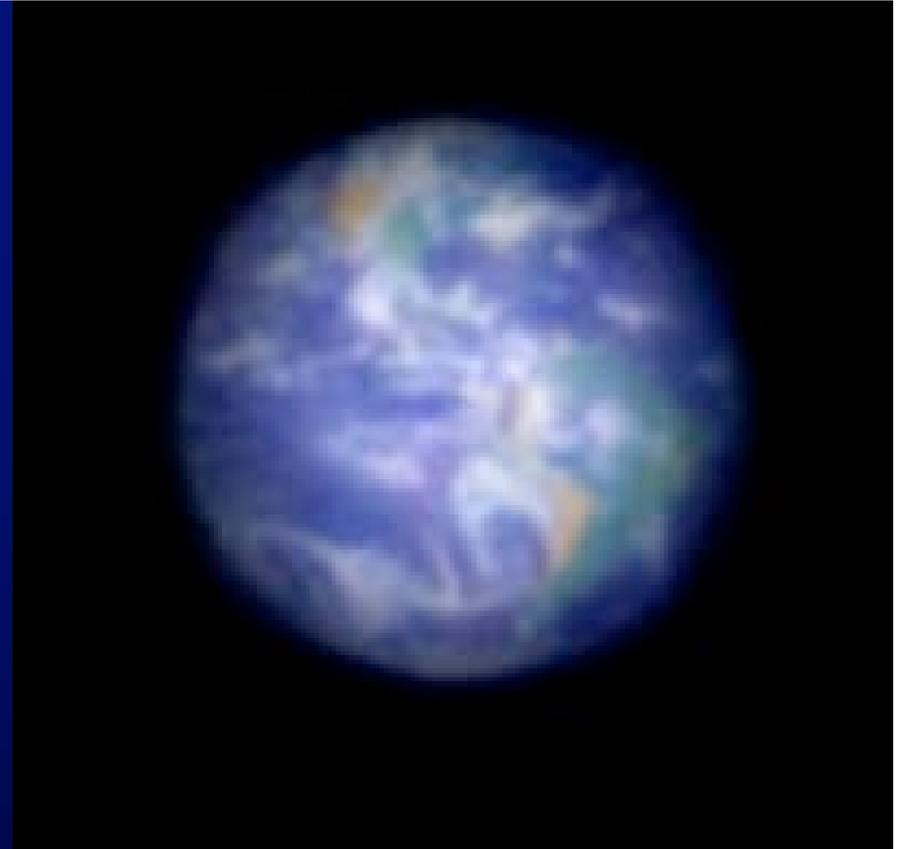
Spectro-morphologie des exo-planètes

- Neige et nuages
- Les colorations minérales sont peu sensibles à la température et l'insolation
- A la limite des neiges:
 - les absorptions photo-synthétiques suivent les variations d'insolation avec un décalage d'un mois
 - Verdissement printanier, « indian summer »
 - Exceptions: conifères, tourbières
- Un critère sensible: variations spectrales à la limite des neiges

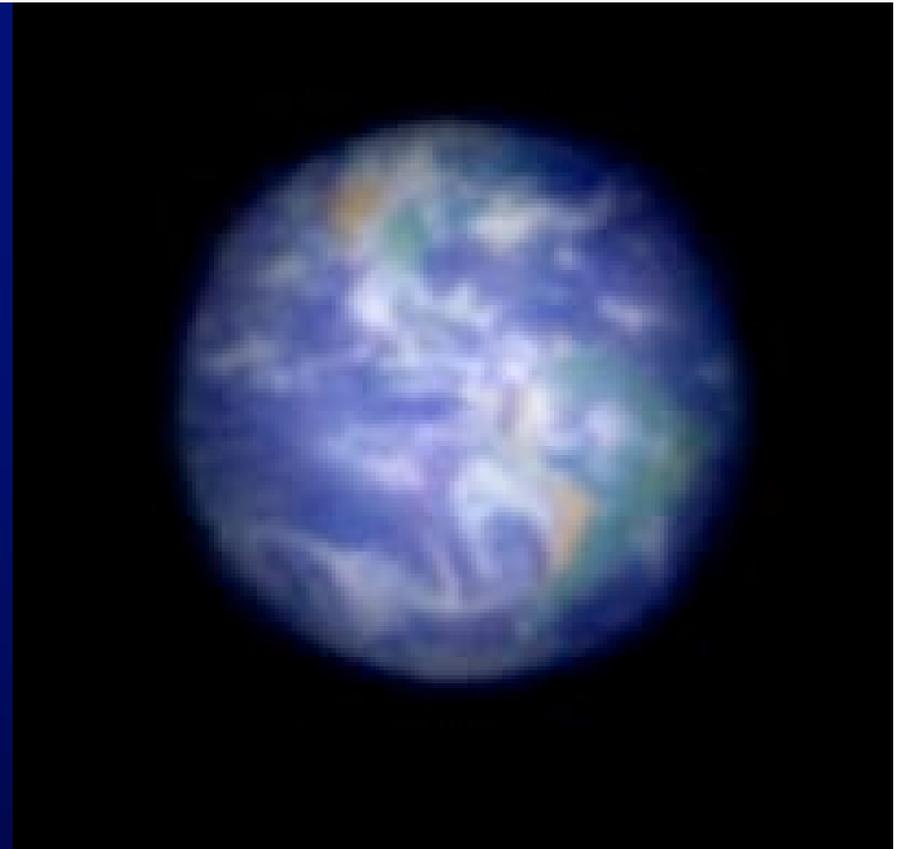


Discrimination des colorations biologiques

- Critères:
 - Spectre: absorption accordée à l'émission stellaire
 - variations saisonnières
 - Présence de nuages H₂O
 - Présence d'étendues liquides
- Couleurs minérales prêtant à confusion
 - Oxydes de fer: Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺ (argiles, schistes)
 - Chrome, nickel, etc..
 - Opales: spectres quelconques



Dans combien de décennies ?



- Etapes
 - Essai d'interférométrie avec deux petits « free-flyers » (2005)
 - Découverte de planètes terrestres, habitables
 - DARWIN/TPF: hyper-télescope de 300m ?
 - Extension vers EEI
- 15-20 ans selon l'effort financier

One-kilometer hyper-telescope

for details see : www.obs-hp.fr/~labeyrie/

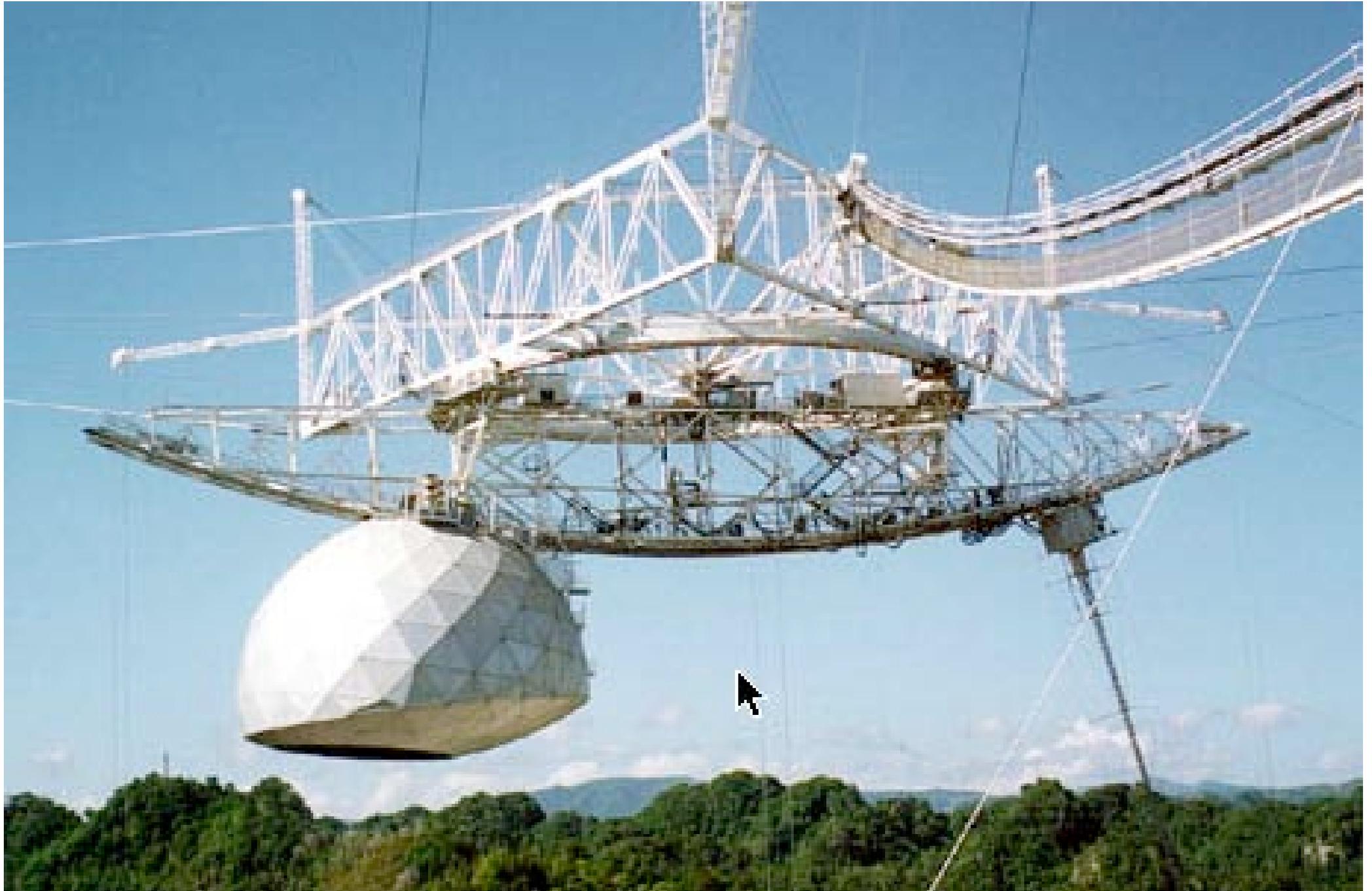
Radio-télescope d'Arécibo (Porto Rico)



Sous le miroir



Rail focal orientable



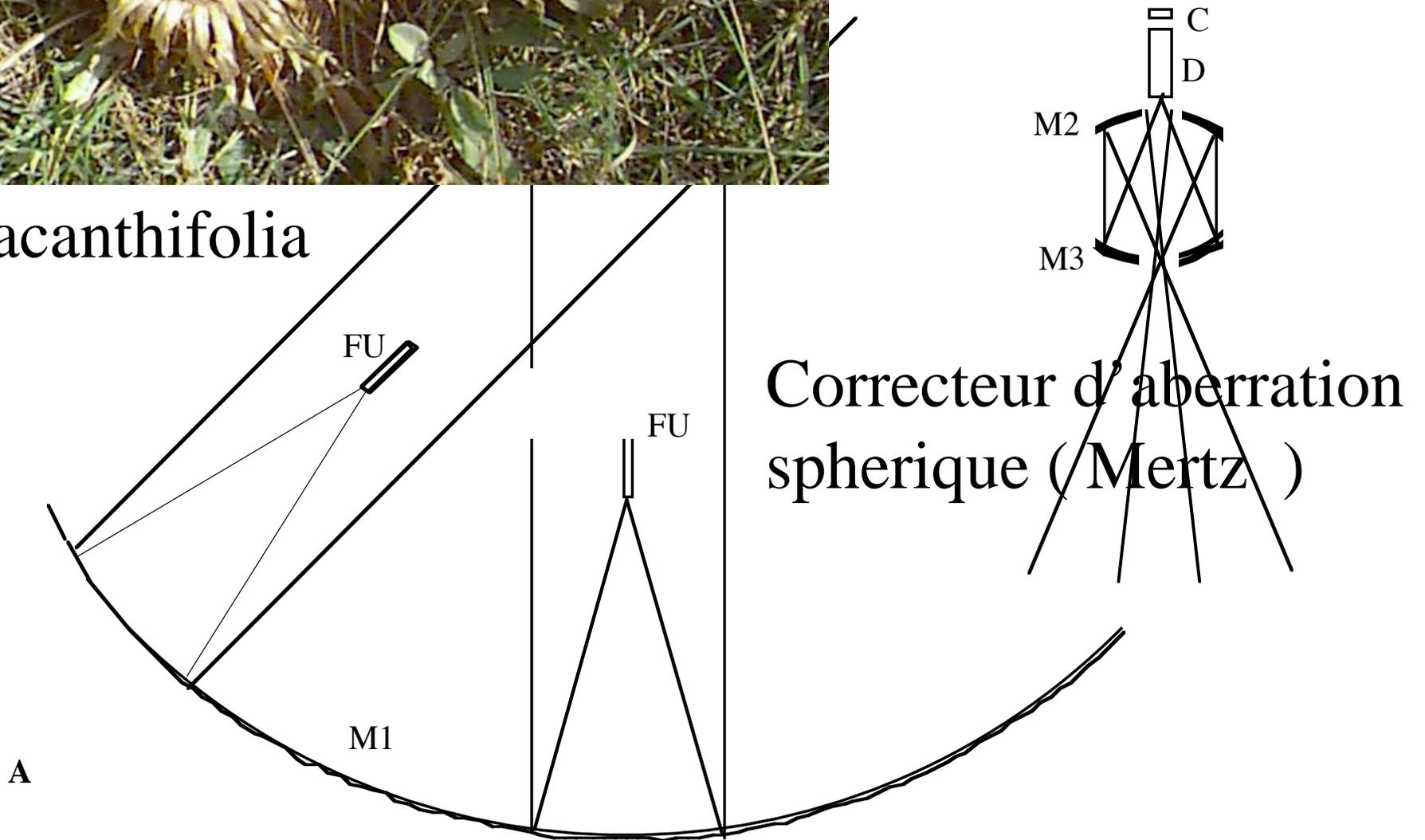
Deuxième chariot et détecteur



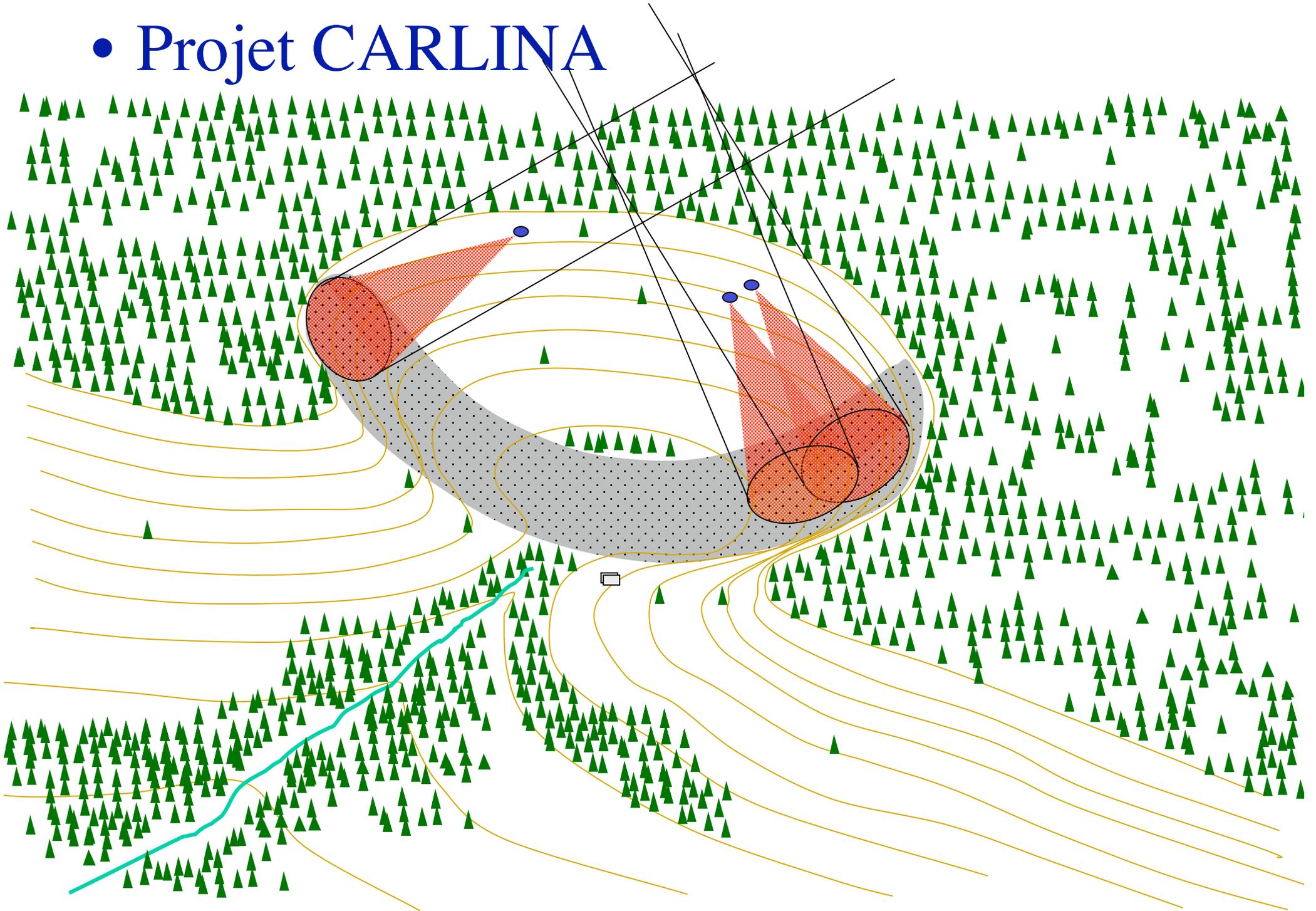


CARLINA, un hyper-telescope au sol

Carlina acanthifolia



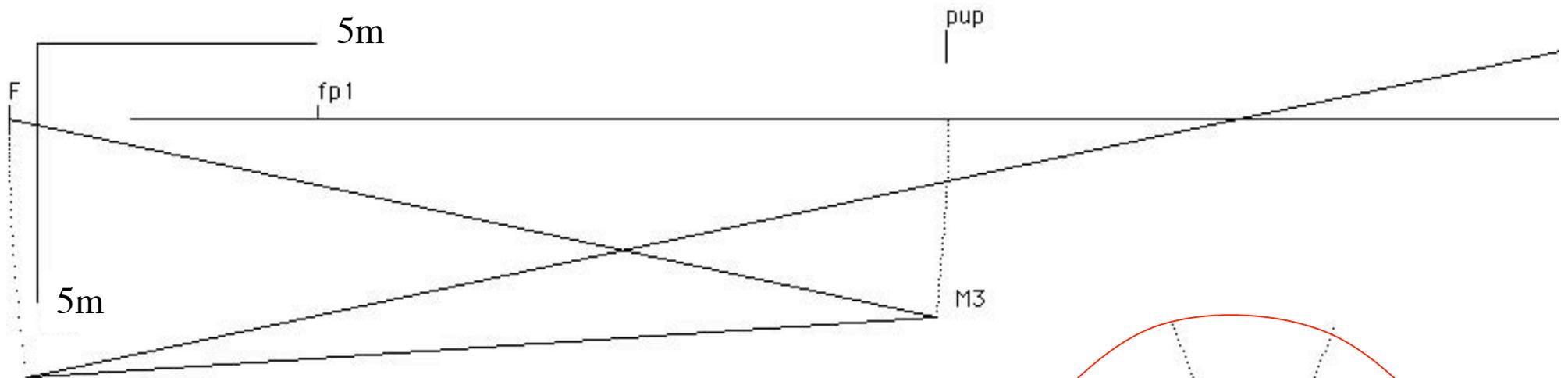
• Projet CARLINA



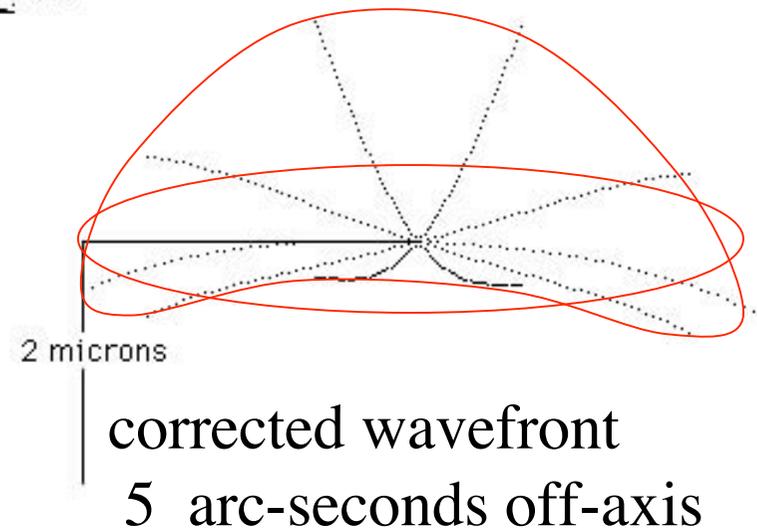
Two-mirror corrector of spherical aberration and

coma (derived from analytical code of Mertz, 1996, modified by A.Labeyrie; ray-trace verification of field correction by P.Rabou)

rayon M1= 12 hauteur incidence M1=-1.25 sinus sortie= .2070393413305283 F sur D (M1)= 2.4 sortie= 2.362673228089888
position foyer corrigé= 5.988999843597412 (origine= centre M1) position approchée M3= 6.022500038146973 focale résultante= 6.0



- 8m diameter for 1000m aperture at F/2.4



Concept de télescope spatial de 35m

(TRW)

- Mosaïque dense légère
- Déploiement automatique

Conclusions

- Dans l'espace:
 - Ouverture diluée avantageuse
- Au sol:
 - Ouverture diluée plus puissante, mais:
 - Vérifier les performances d'optique adaptative

Quelques adresses :

- Programmes cours : www.college-de-france.fr
- OVLA: Www.obs-hp.fr/~lardiere
- OVLA: Www.obs-hp.fr/~dejonghe
- Projets sol et espace: Www.obs-hp.fr/~labeyrie