

Comparaison des projets d'hyper-telescope et d' "Extrêmement Grand Telescope" , au sol et dans l'espace

- Séminaire à 15h15 par Mathieu de Naurois, IN2P3
- **"L'astronomie gamma au sol entre 30 et 300 GeV: l'expérience CELESTE"**
-

- Rappel: des interféromètres aux hyper-télescopes
- Projets d 'Extrêmement Grands Télescopes au sol
- Projets d 'Extrêmement Grands Télescopes dans l 'espace
- Comparaison avec les hyper-élescopes

One-kilometer hyper-telescope

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

Radio-télescope d'Arécibo (Porto Rico)



Sous le miroir

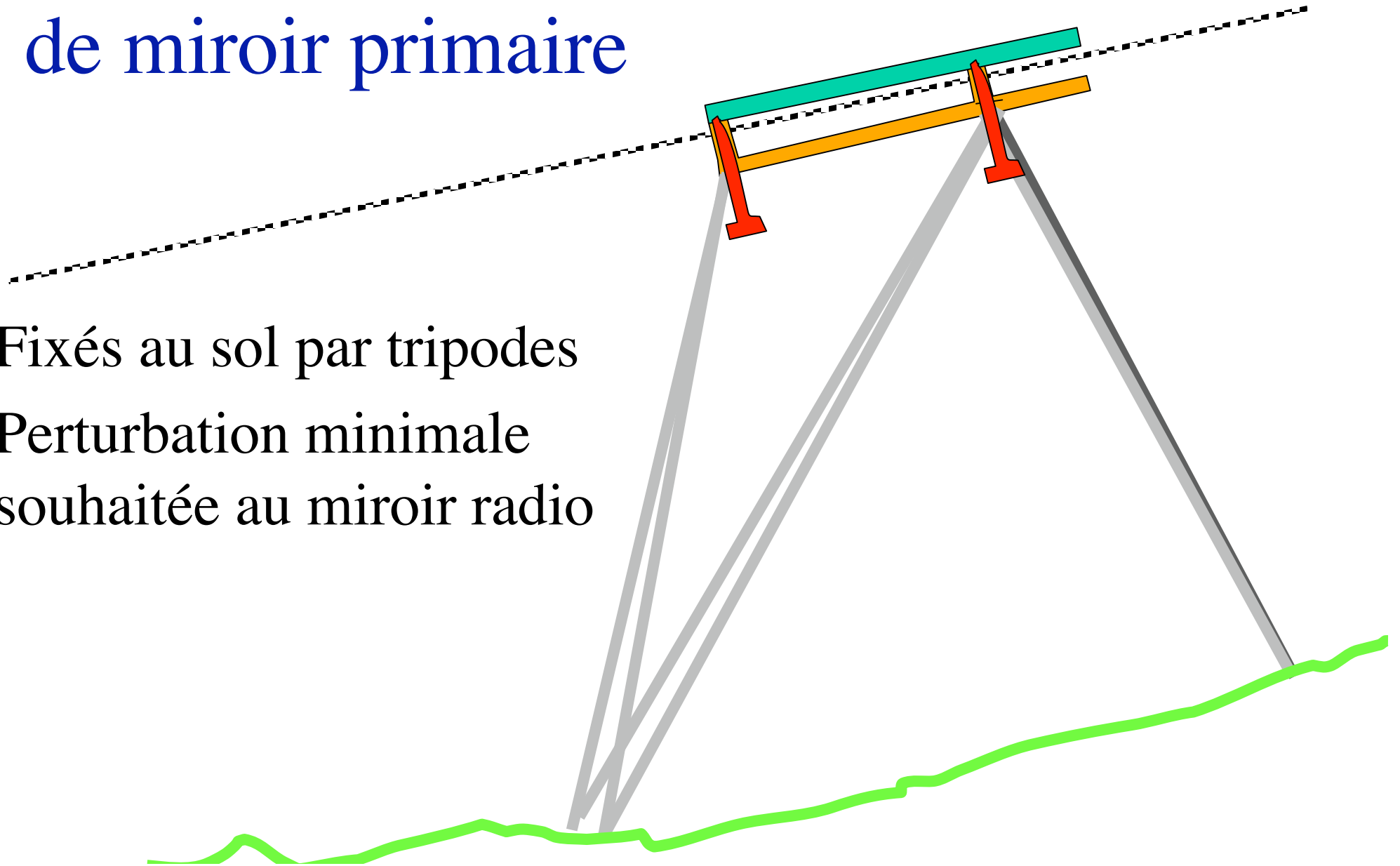


Rail focal orientable



Montage des éléments de miroir primaire

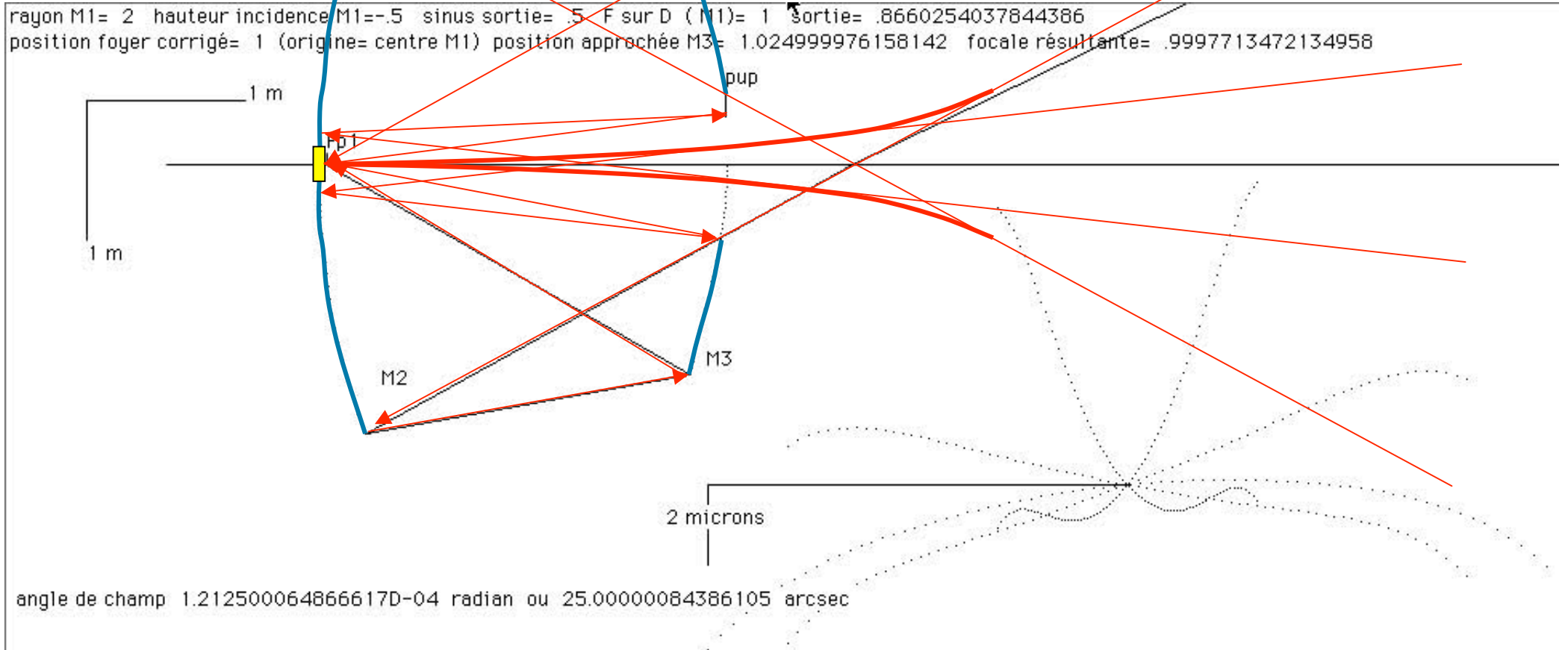
- Fixés au sol par tripodes
- Perturbation minimale souhaitée au miroir radio



Deuxième chariot et détecteur



Correcteur d'aberration à f/1

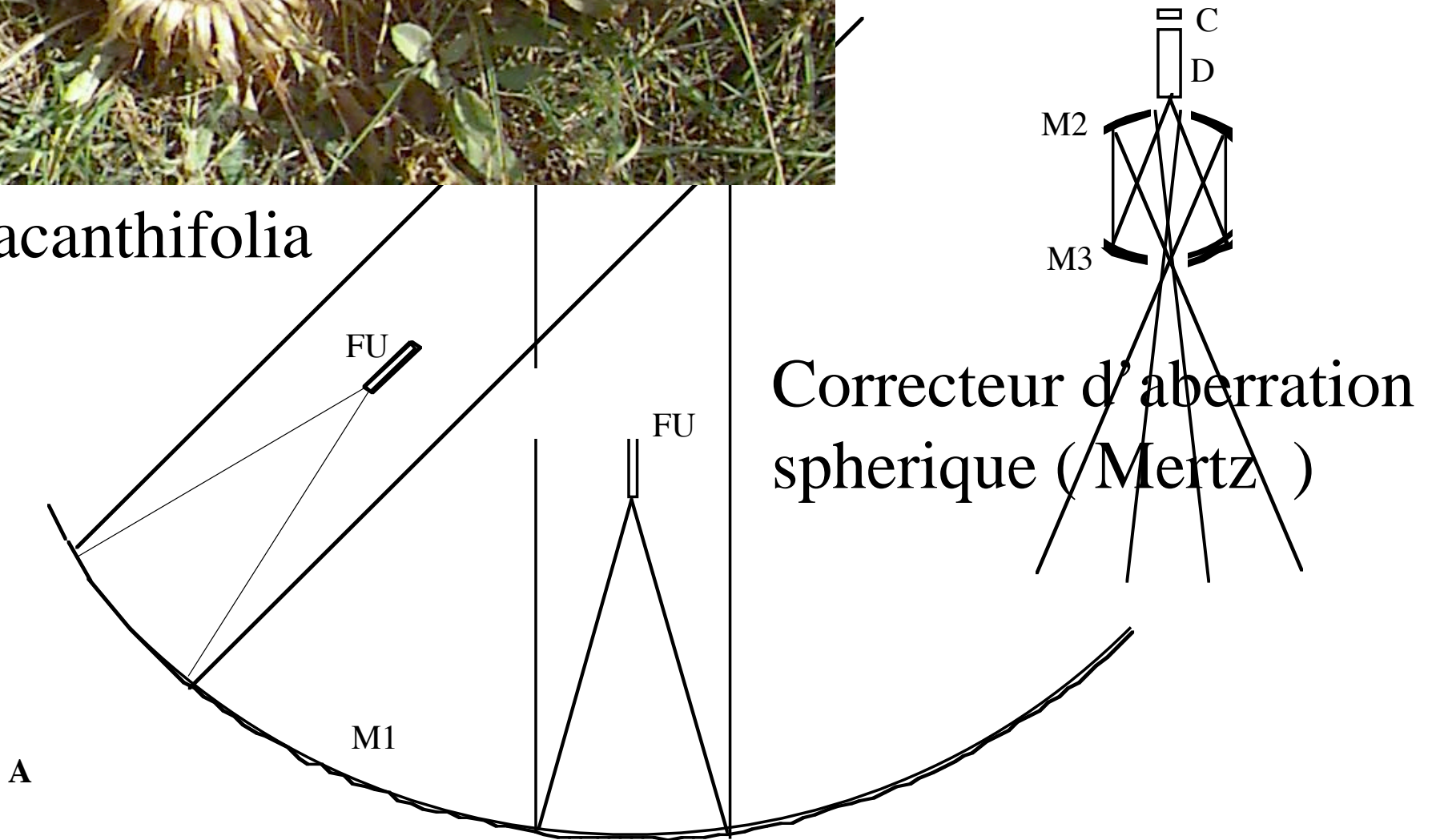


Diamètre 3,5m pour pupille 100m

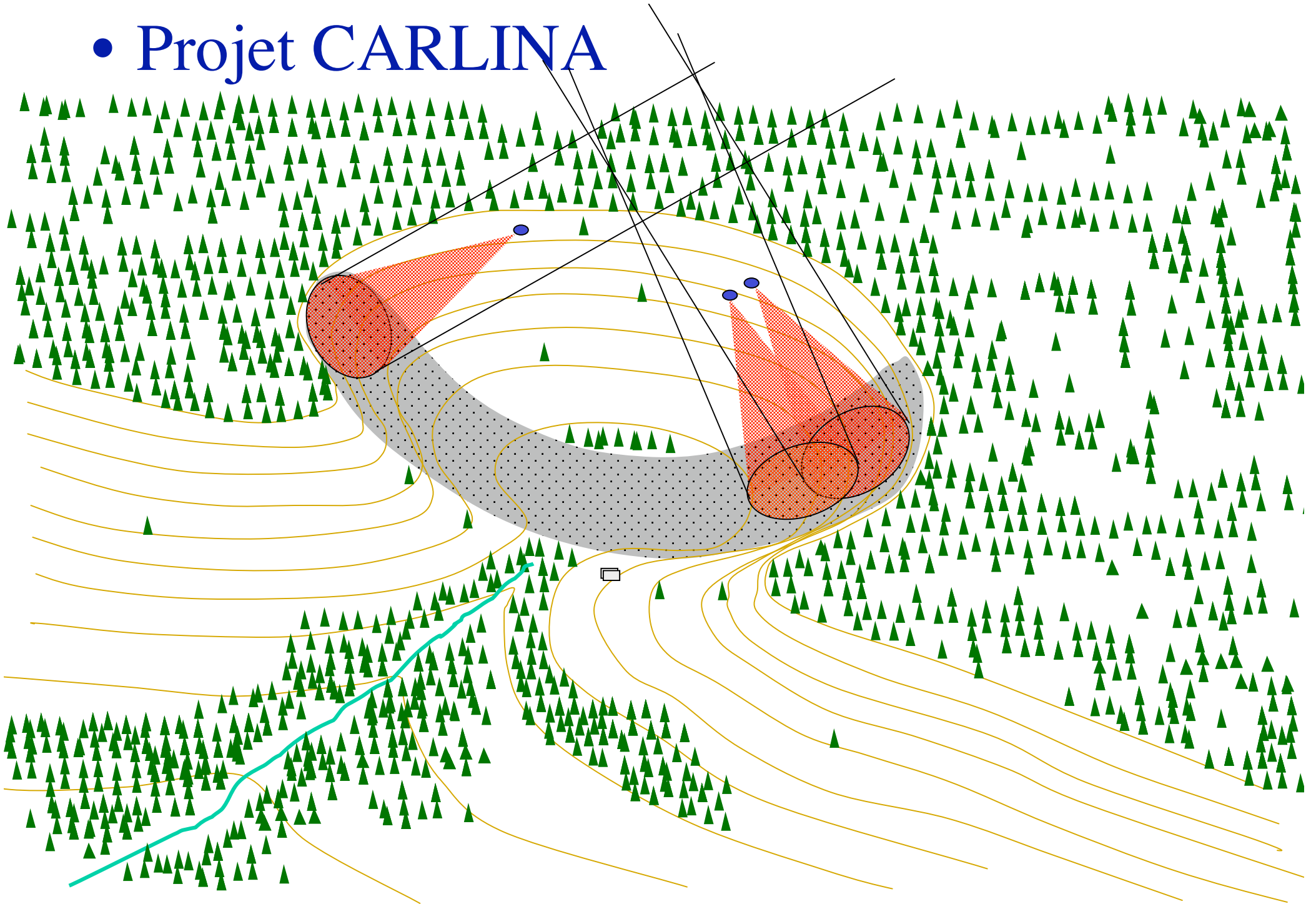


CARLINA, un hyper-telescope au sol

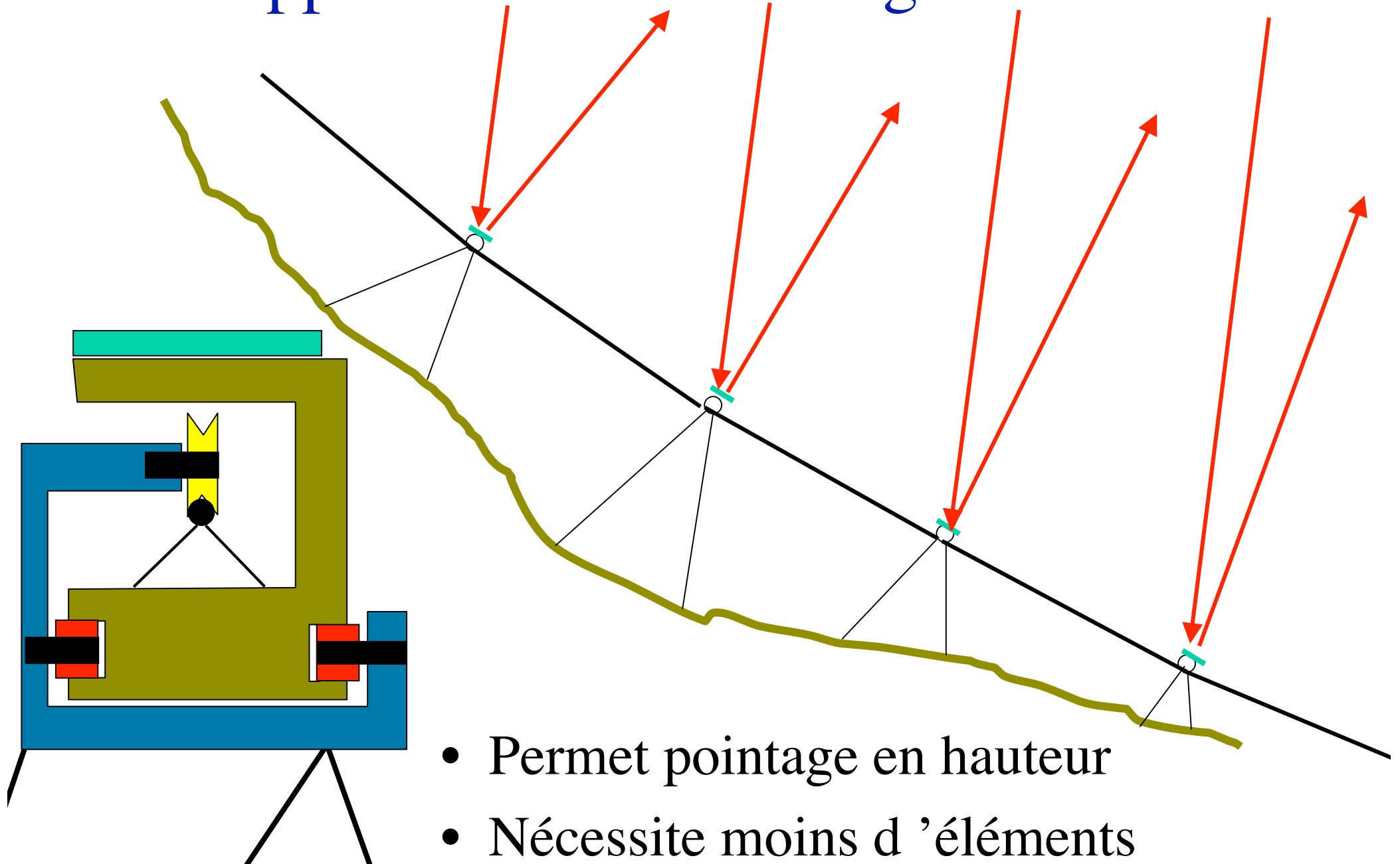
Carlina acanthifolia



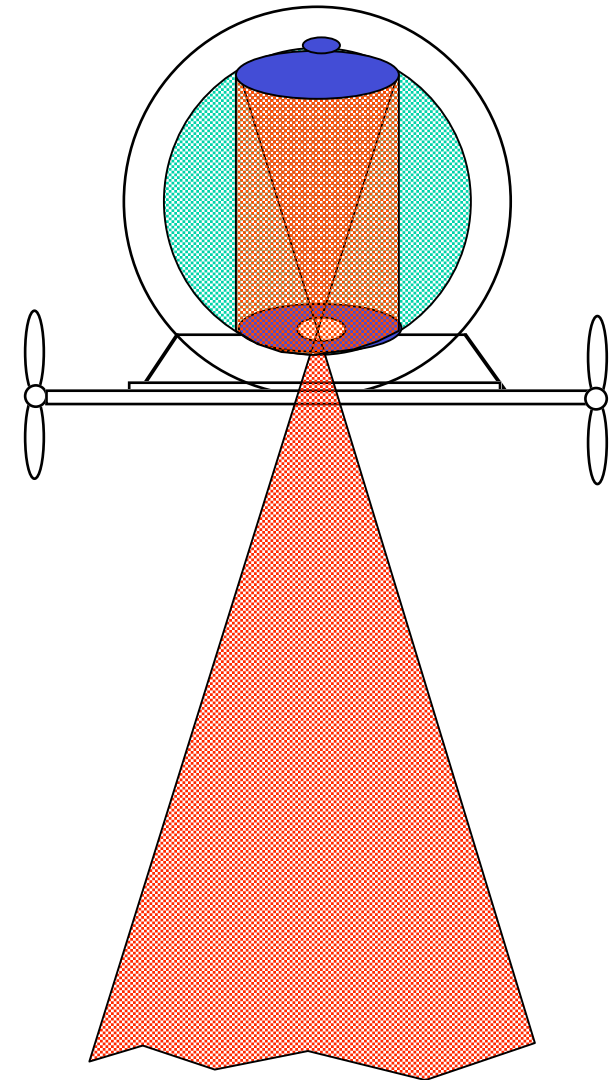
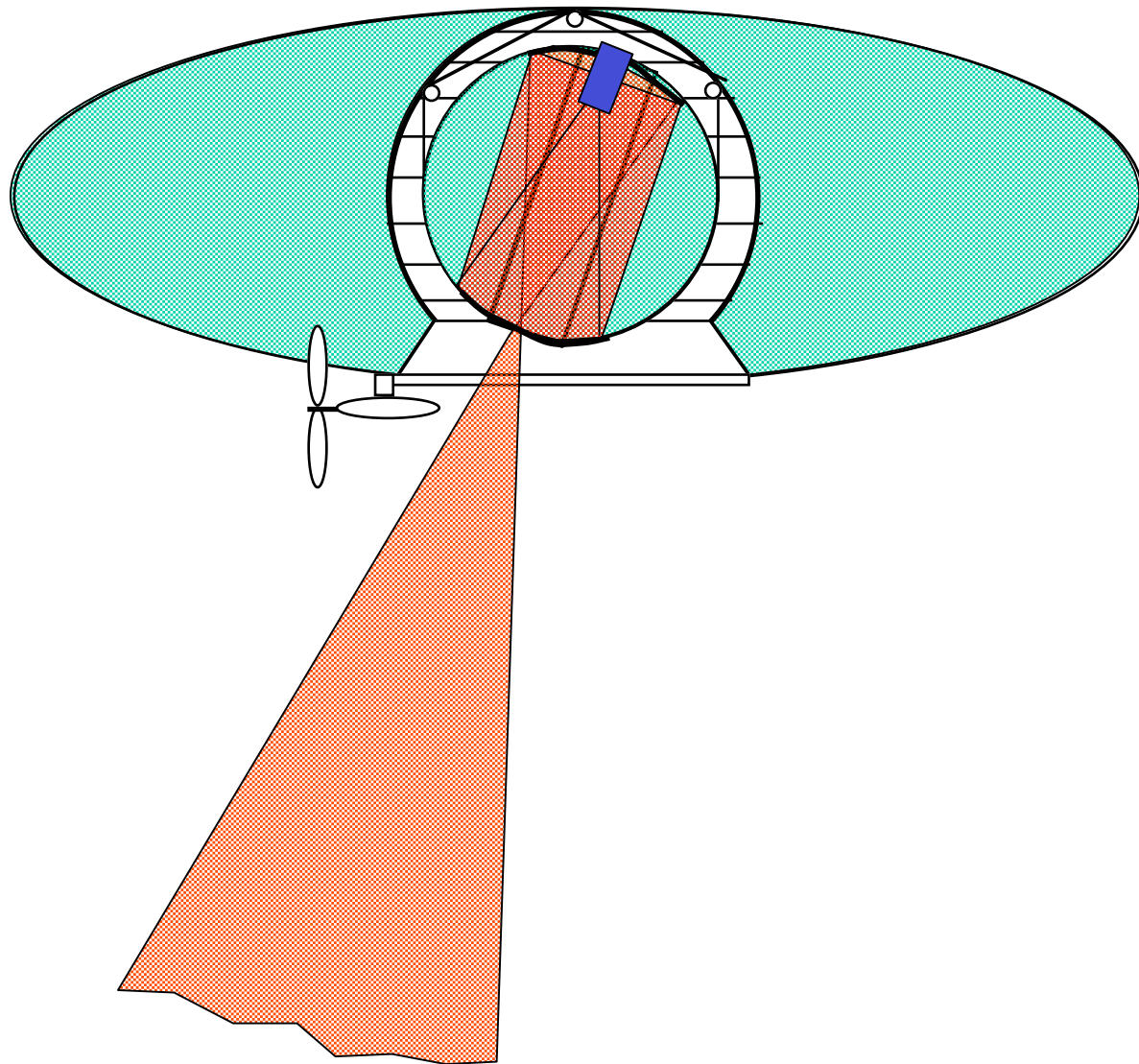
• Projet CARLINA



Câble support mobile « télésiège » ?

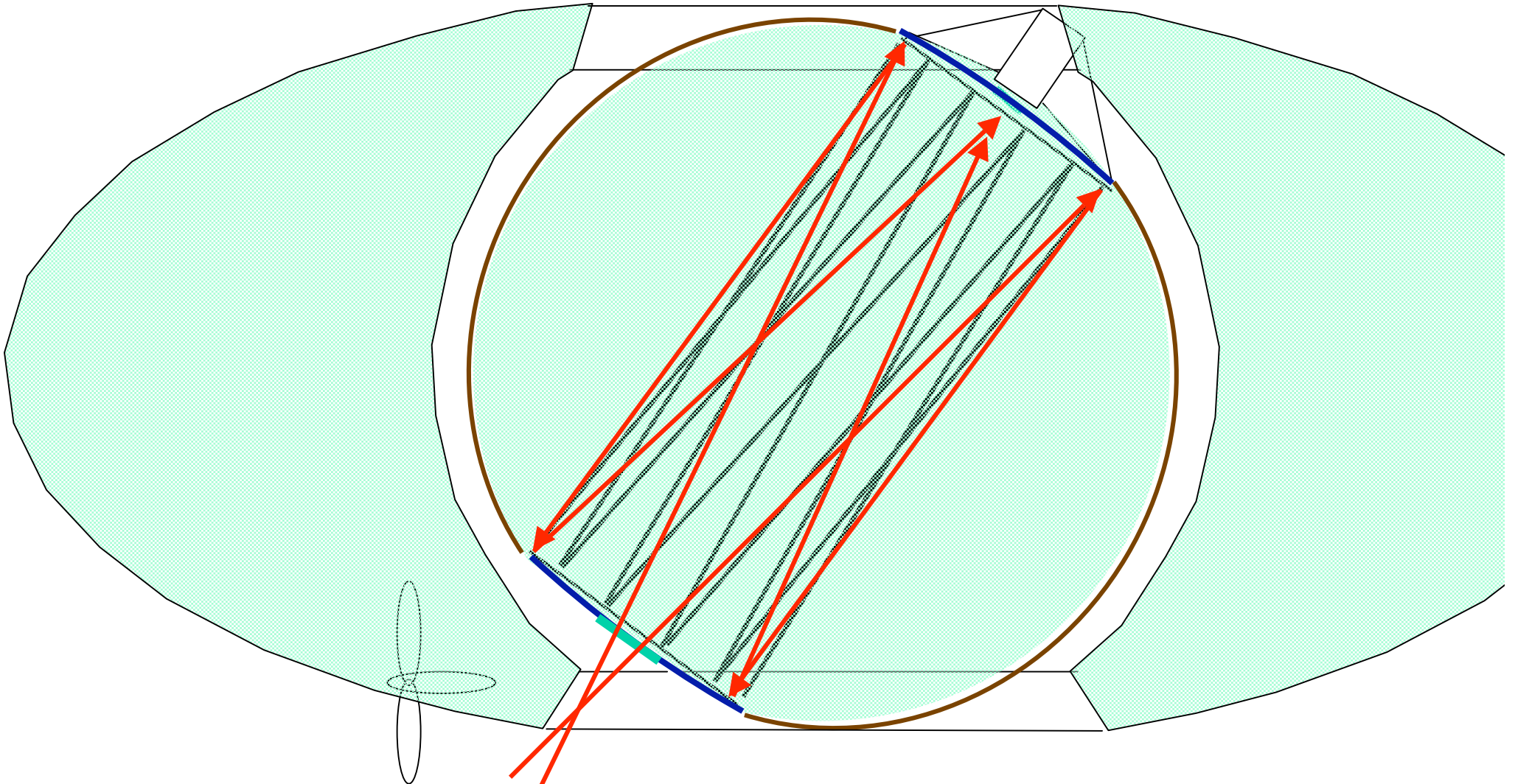


Optique focale en ballon dirigeable ?



Faisabilité d'un ballon stabilisé

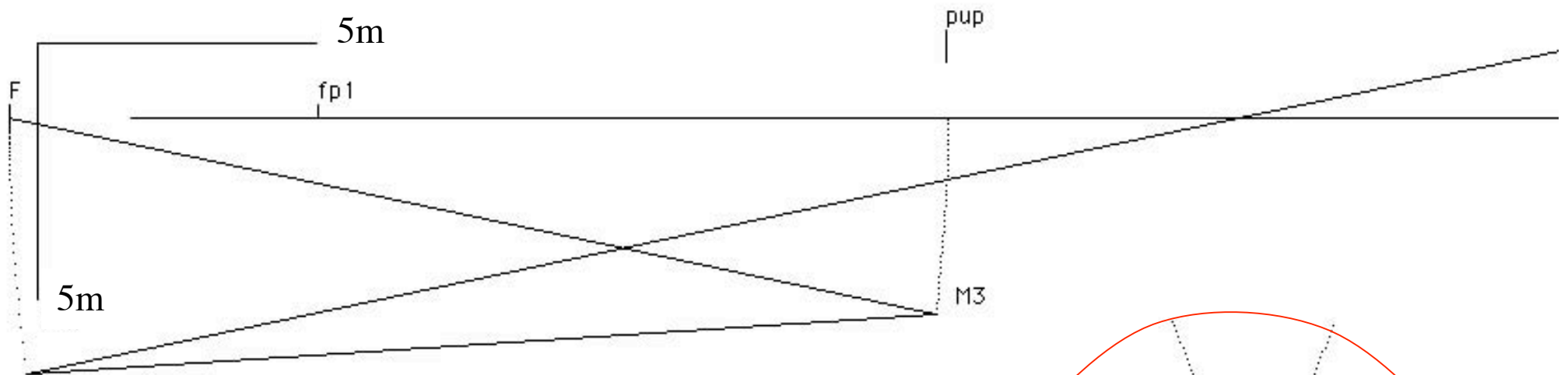
- Miroirs M2 ET M3 ultra-légers de 8m en nickel ou carbone
- Rigidifiés par gonflage



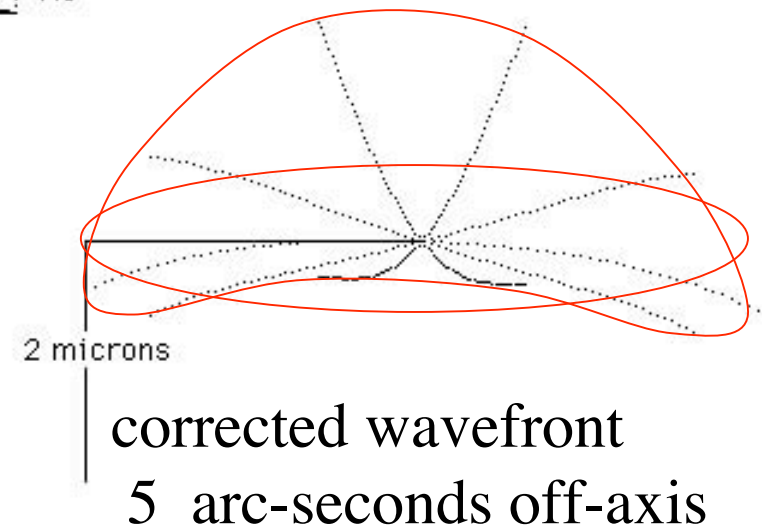
Two-mirror corrector of spherical aberration and

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

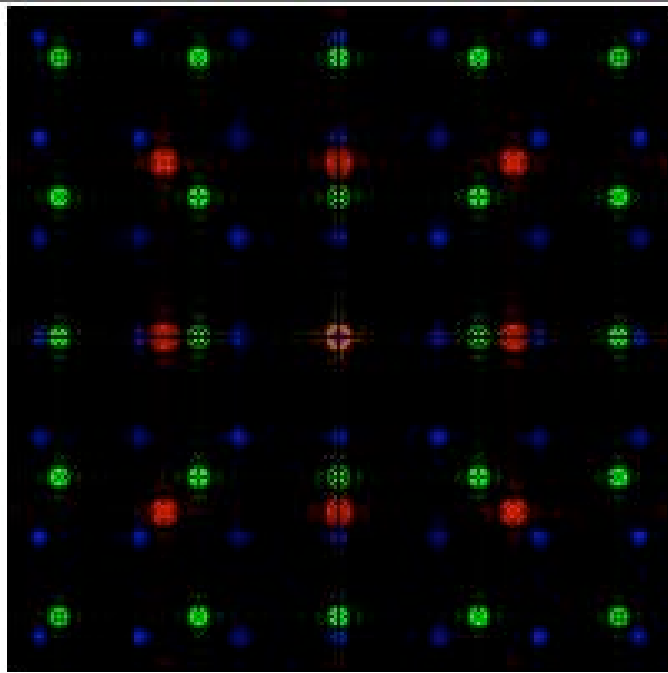
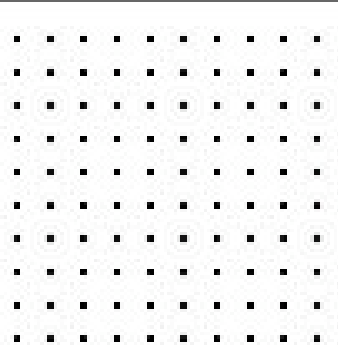
rayon M1= 12 hauteur incidence M1=-1.25 sinus sortie= .2070393413305283 F sur D (M1)= 2.4 sortie= 2.362673228089888
position foyer corrigé= 5.988999843597412 (origine= centre M1) position approchée M3= 6.022500038146973 focale résultante= 6.0



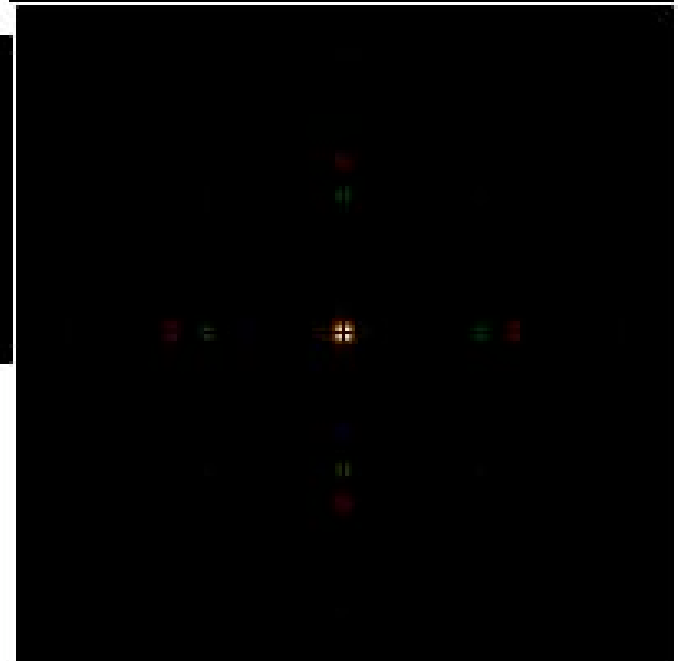
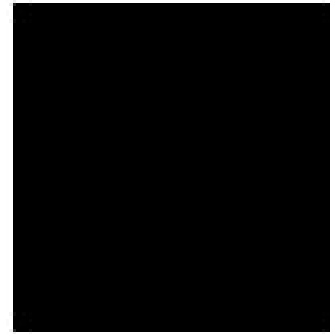
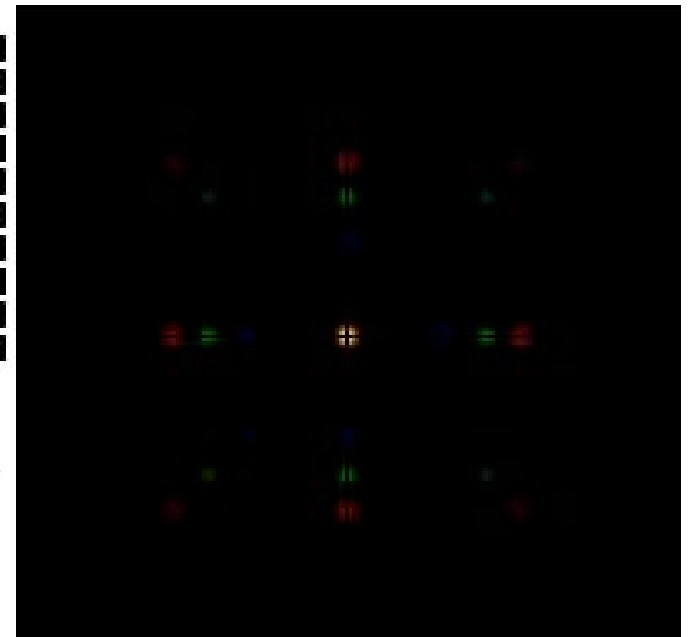
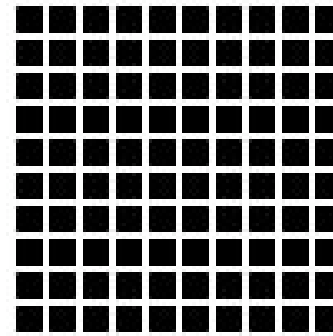
- 8m diameter for 1000m aperture at F/2.4



Figures de diffraction calculées

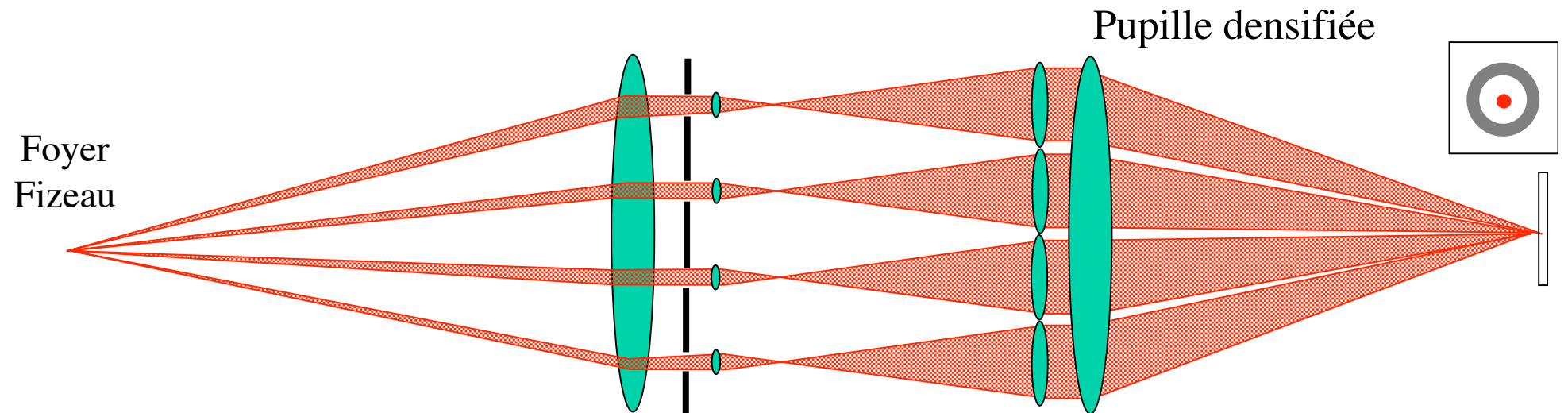


Ouverture diluée

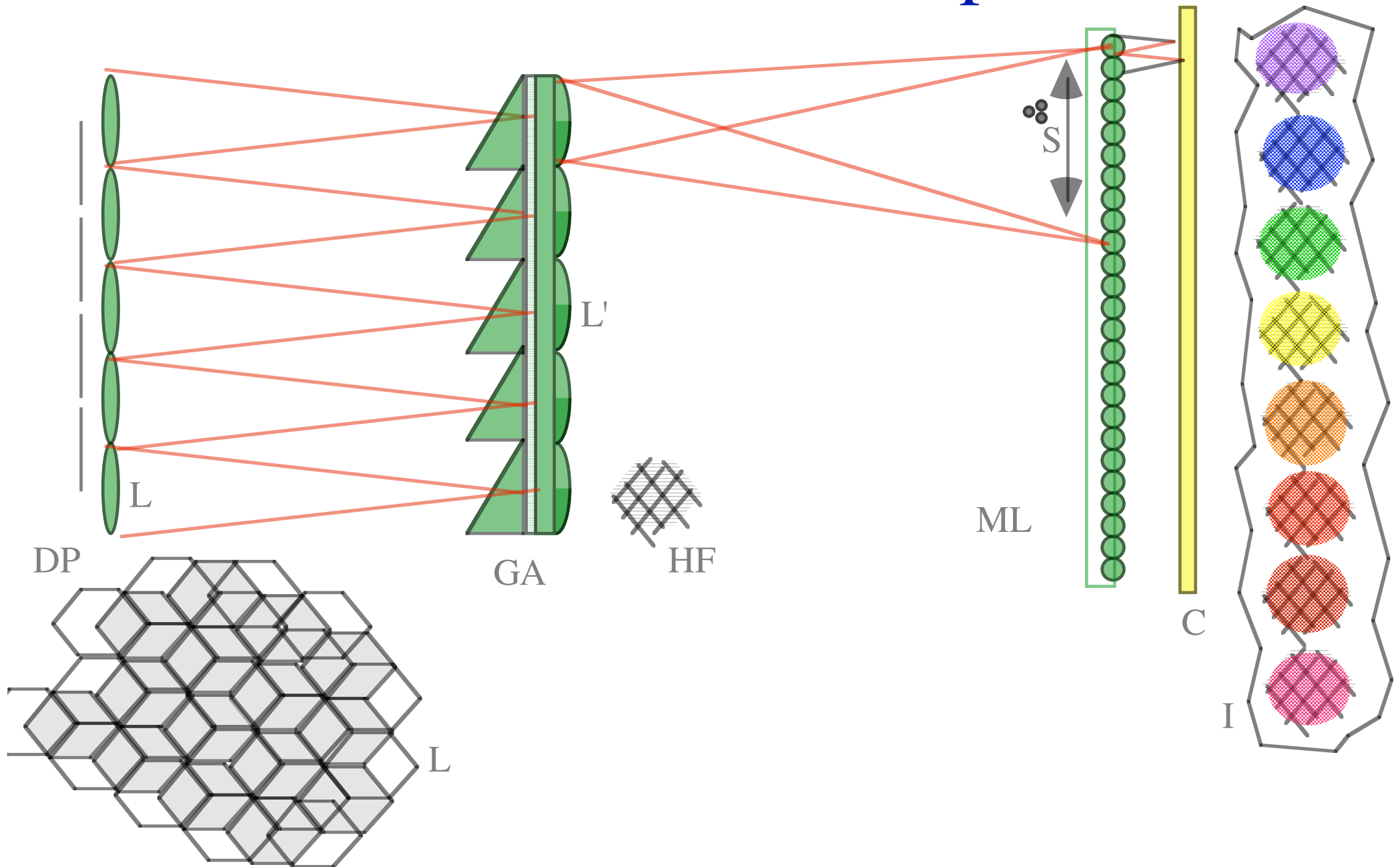


Ouverture dense

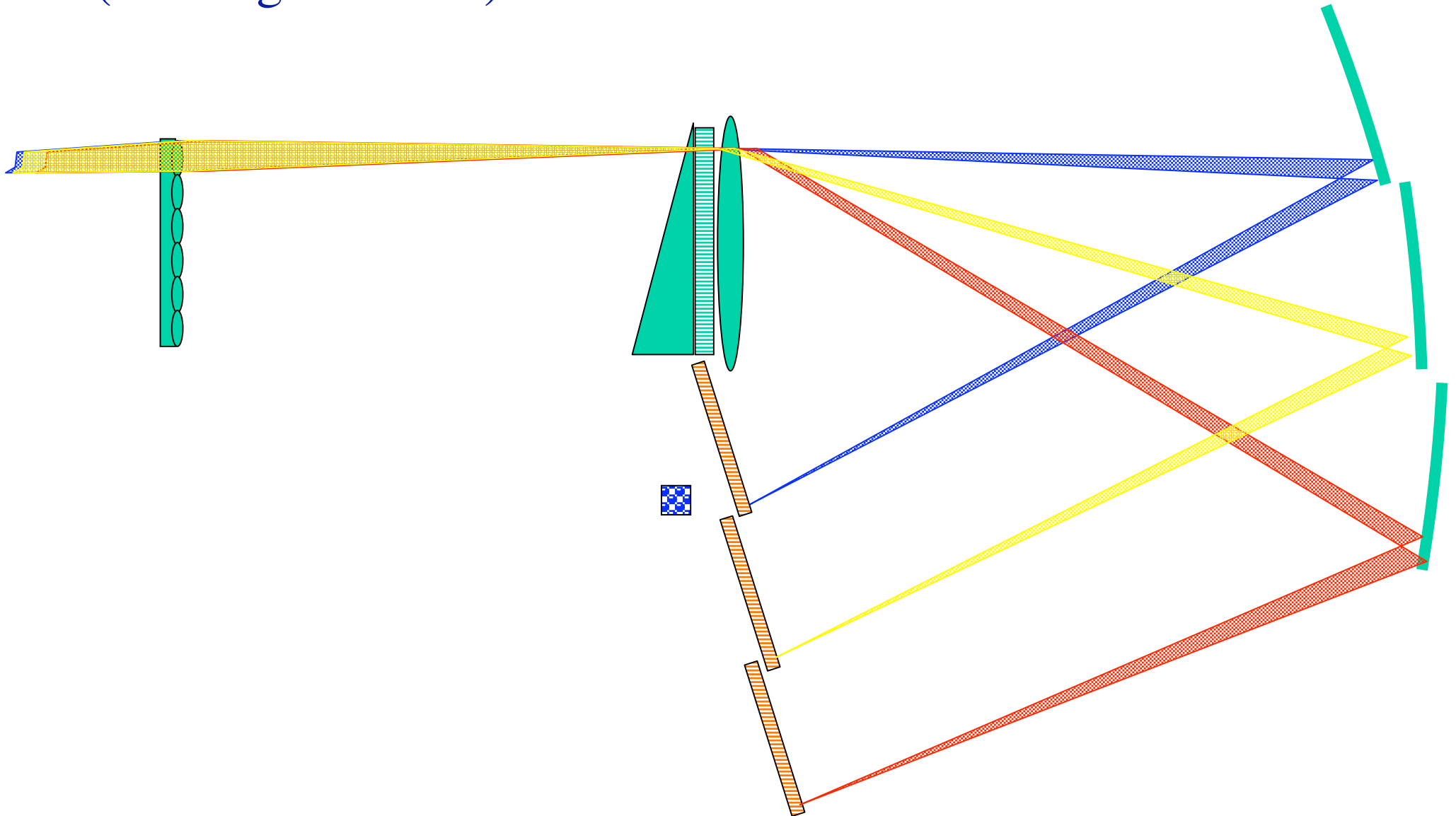
Densifieur de pupille



Mise en cohérence et phase



Extension de l'analyseur de Shack-Hartmann mesure de piston et inclinaisons en lumière polychromatique (montage Courtès)



Dimension possible d'un CARLINA

- Exemple: pupille de 1000m a $f/2$
- Nécessite vallée large de 5600m pour $\pm 45^\circ$
(champ moyen)
- Profondeur 1170m, orientation Est-Ouest
- Correcteur de 8m ? Miroirs membrane M2 et M3
(pupilles 8mm sur M3 si éléments M1 de 1m)
- Miroirs de 1m tous les 10m ? (1 hectare/km²)
- **Rechercher les sites possibles**

Science avec CARLINA

- Résolution 0,1 milliseconde d 'arc (visible)
(0,01 potentiellement pour OVLA)
- Champ élémentaire 10 millisecondes
- Imagerie stellaire résolue et circumstellaire
- Noyaux actifs de galaxies, quasars

Modes d 'observation avec CARLINA

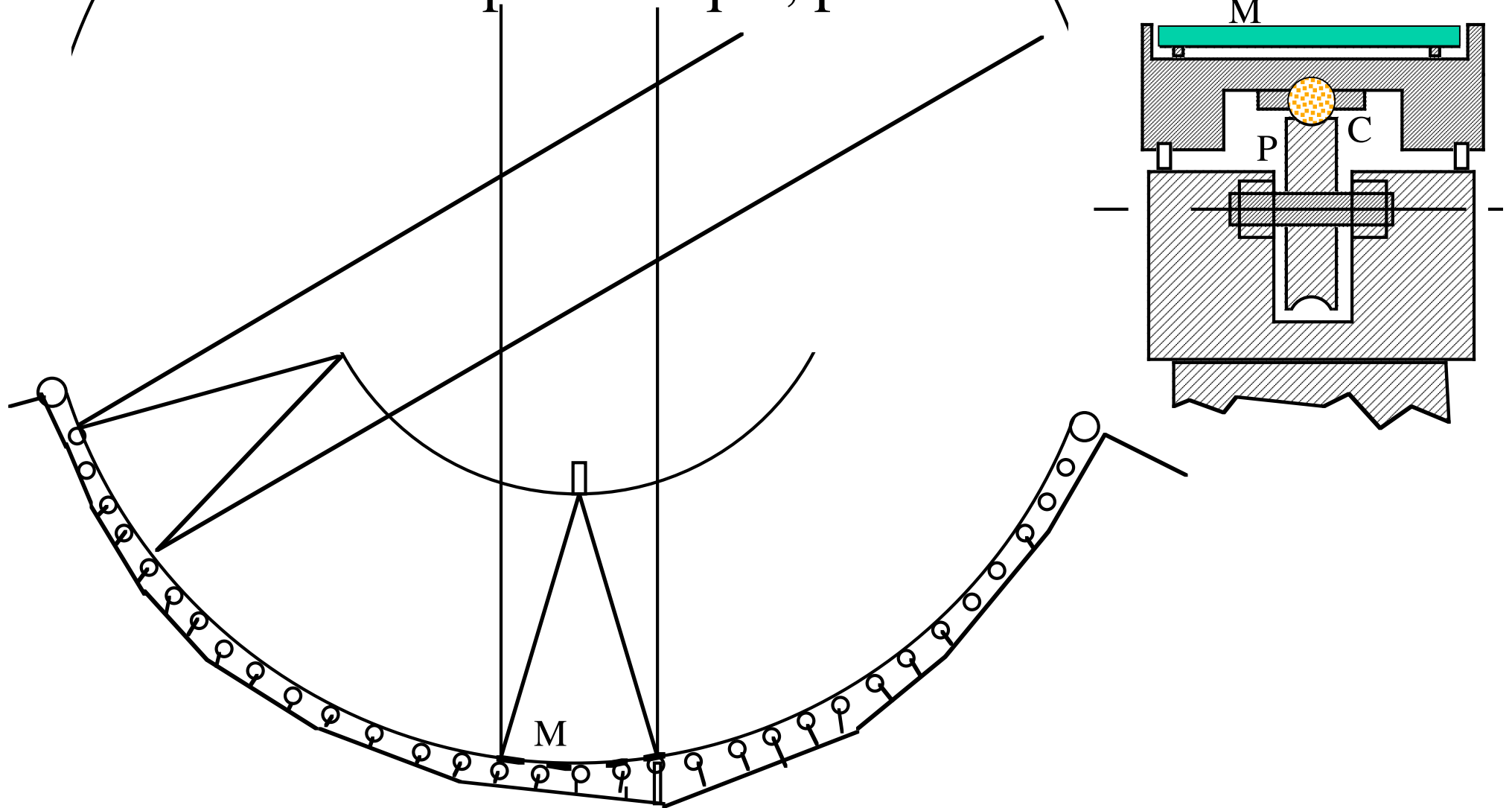
- Sans optique adaptative: tavelures
- Avec optique adaptative: imagerie directe
- Stations focales spécialisées: visible, infra-rouge, coronographie etc...

Miroir CARLINA fixe ou inclinable ?

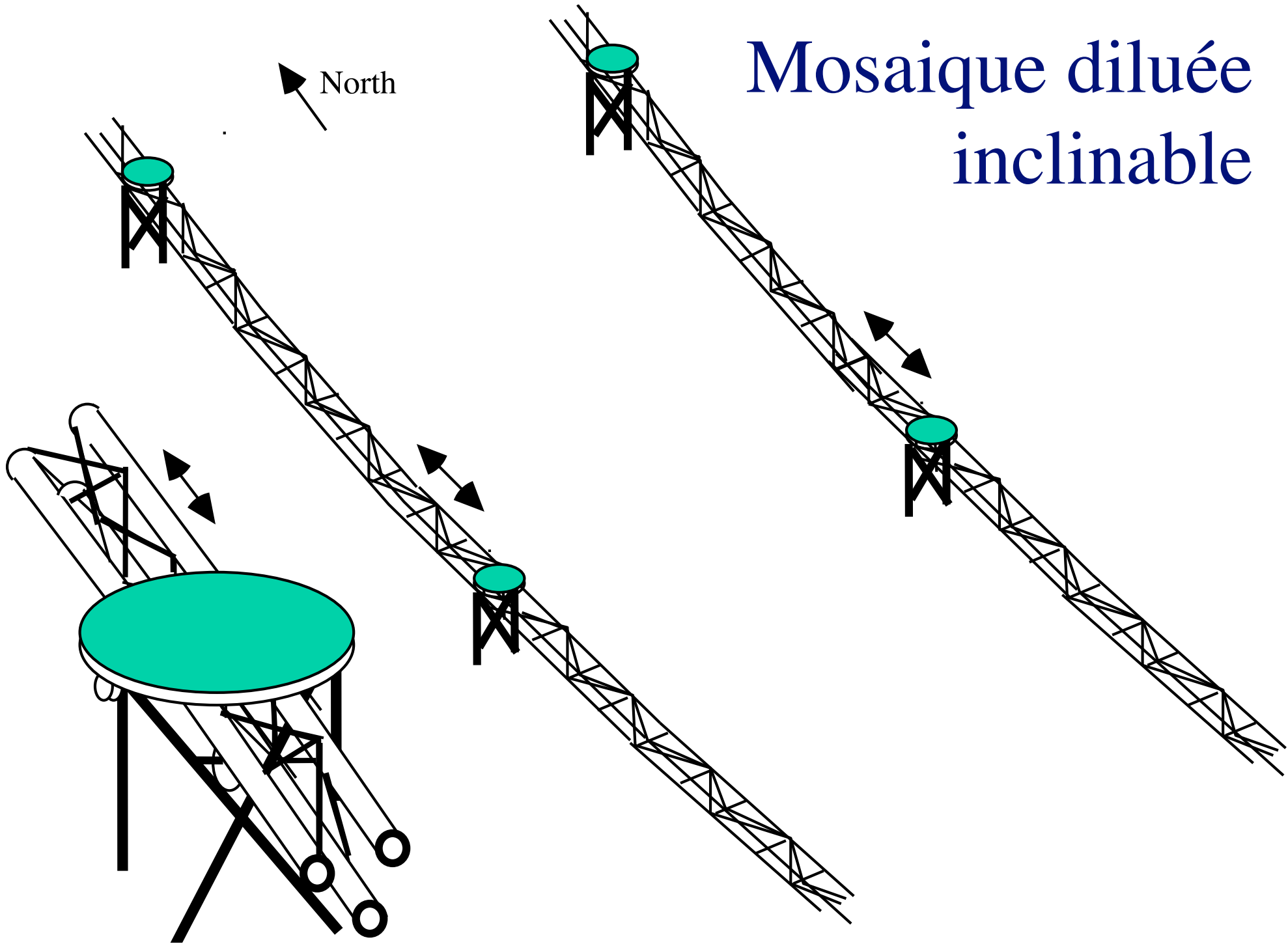
- Inclinable: analogue dilué et méridien de OWL , etc....
- Fixe: diluer plus pour extension Nord-Sud
 - Luminosité moindre, compensée par les observations simultanées

version « télésiège » de CARLINA

- Moins d 'éléments miroir
- Possibilité de M1 parabolique, plus ouvert



Mosaïque diluée inclinable



Concept « Overwhelmingly Large telescope » (OWL de l'ESO)

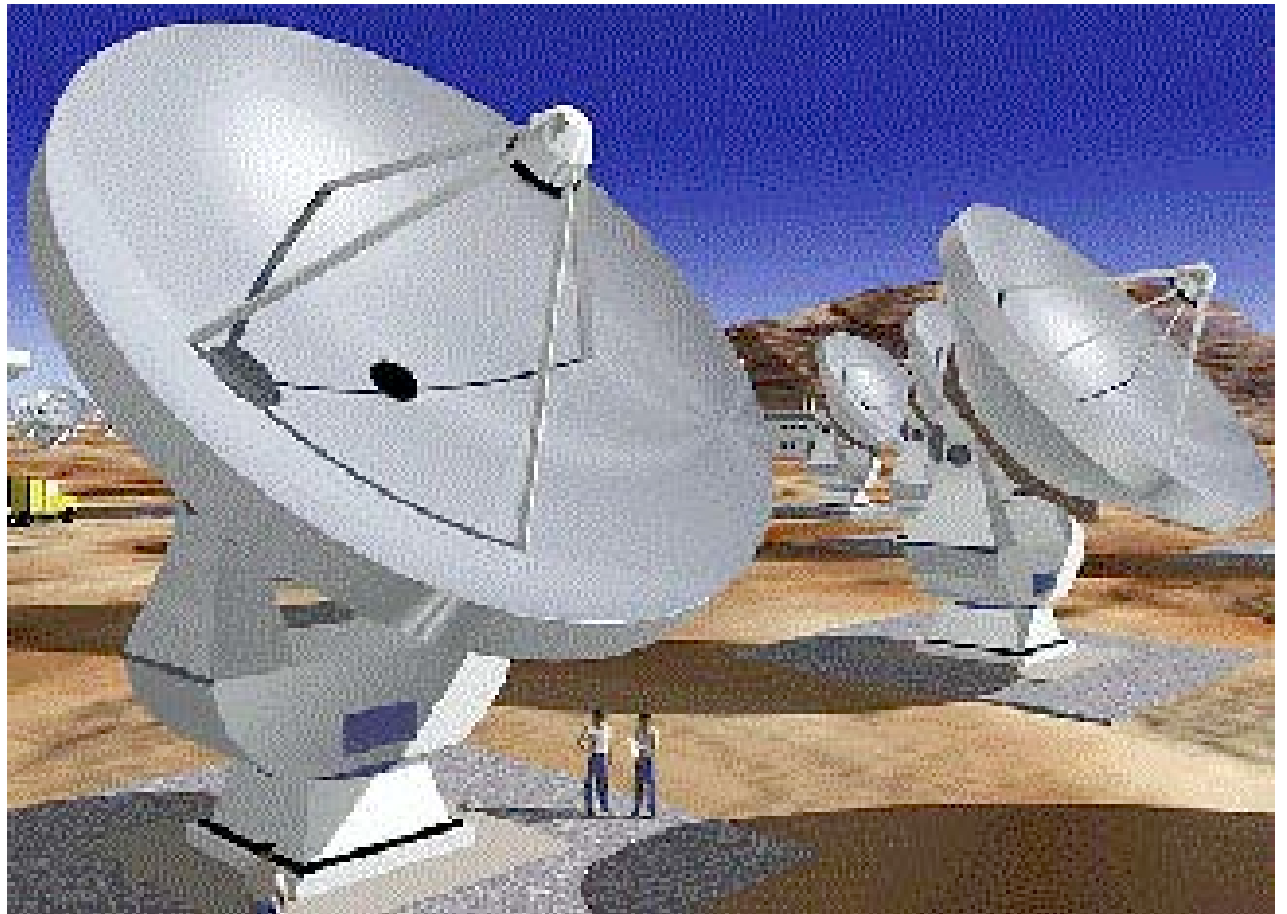
- Miroir de 100m, mosaïque pleine à F/1.5
- Monture alt-azimuthale
- Optique adaptative

Concept « California Extremely Large Telescope » (CELT, Nelson et al.)

- Étudié par J.Nelson et al. , constructeurs des télescopes Keck
- Mosaïque de 30-40m
- éléments de 1m à supports passifs
- Mise en phase active et adaptative
- Financé par Intel (1 milliard de dollars)

Projet Atacama Large Millimeter Array (ALMA)

- 10 km
- 64 antennes de 15m, mobiles



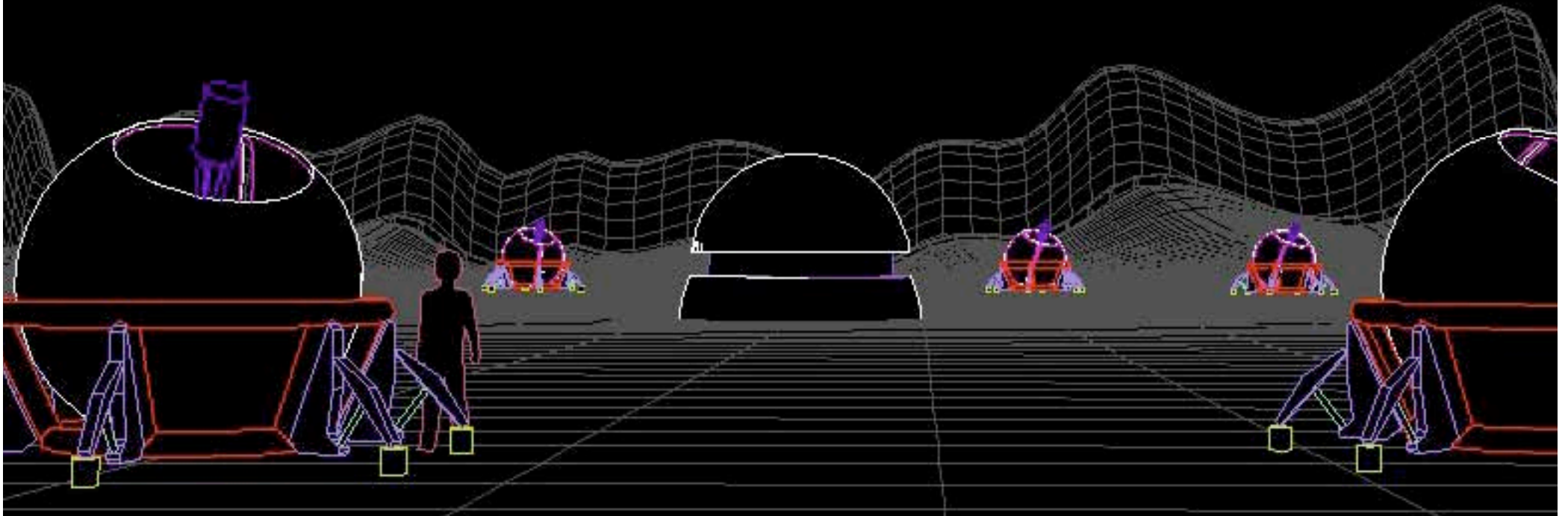
Utilisation optique d 'ALMA ?

(V. Coudé du Foresto, J.Schneider, et al.)

- Fibres optiques à demeure dans les conduits
- Quelques antennes de qualité optique, « au centre »
- Lignes à retard avec tronçons fixes commutables

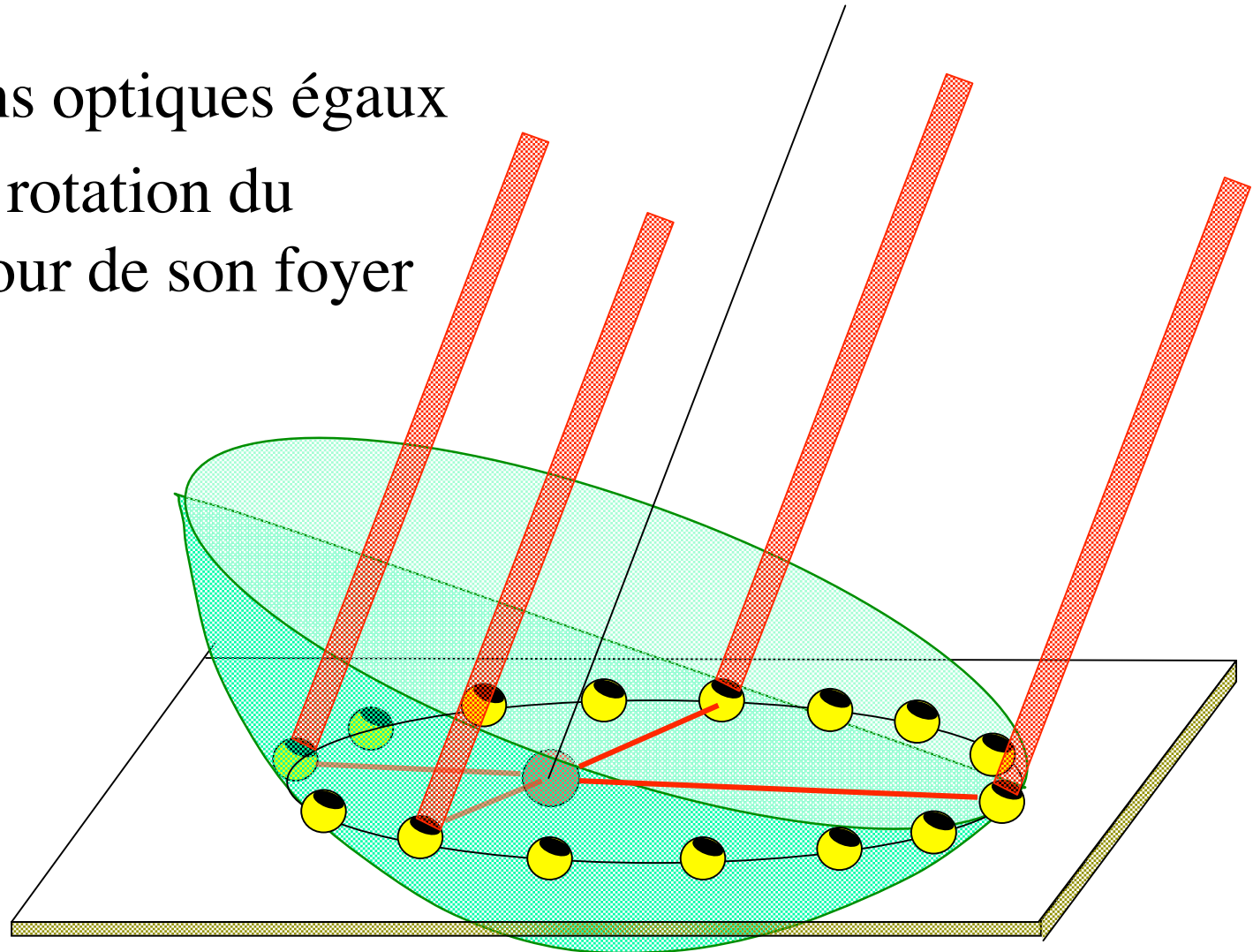
The Optical Very Large Array

Artist's concept by Julien Dejonghe



Section plane d'un paraboloïde

- Ellipse
- Lieu des chemins optiques égaux
- Déformable par rotation du paraboloïde autour de son foyer



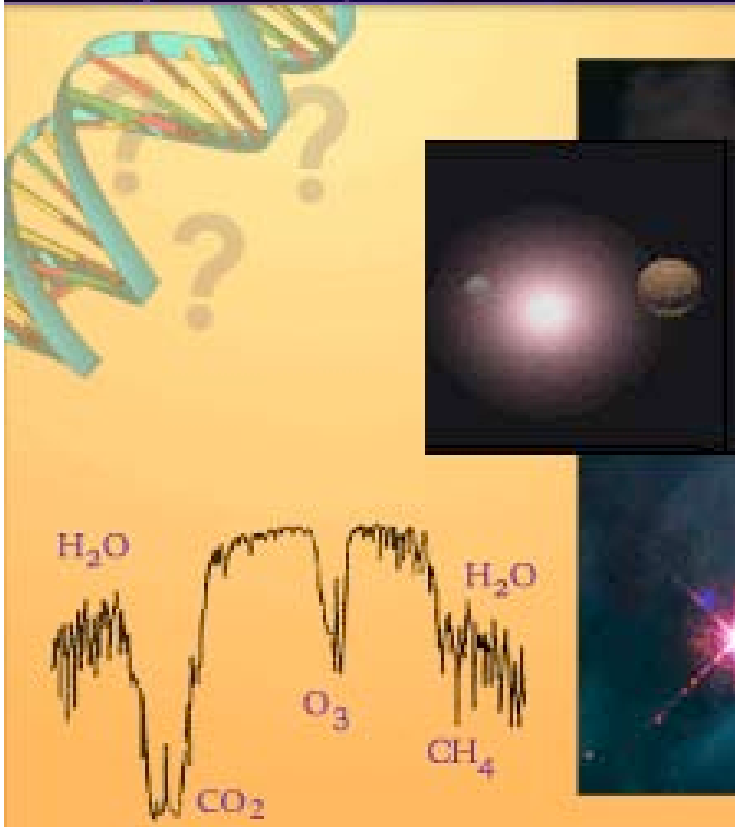
Concept de télescope spatial de 35m

(TRW)

- Mosaïque dense légère
- Déploiement automatique

DARWIN (Mariotti et al.) étude par ESA



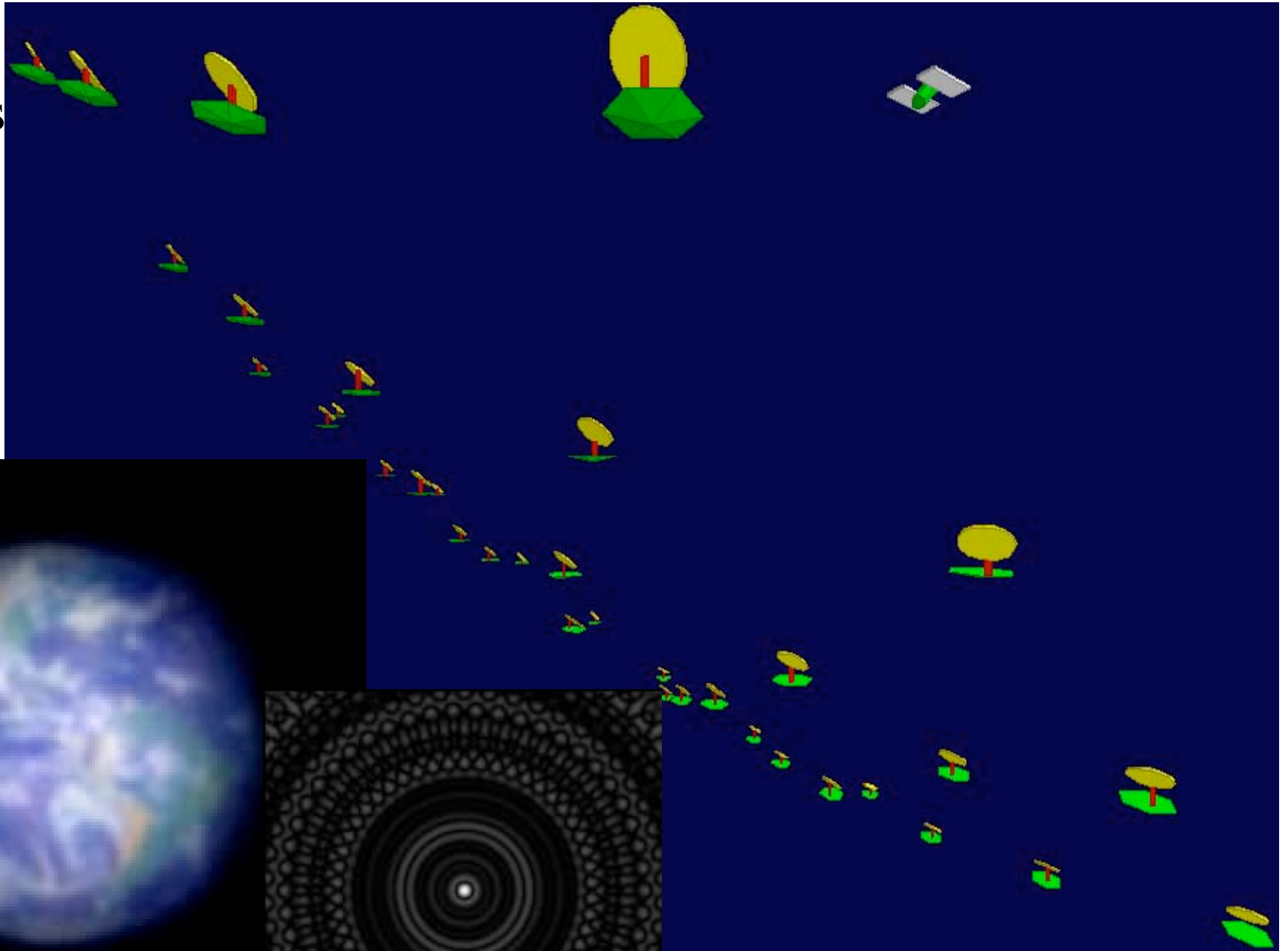


- Détection infra-rouge de planètes
- Etude industrielle entamée: participation de l'OSU Marseille-Provence
- Architecture « hyper-télescope » prise en compte

Un hyper-telescope: Exo-Earth Imager

150 miroirs
de 3m
150 km

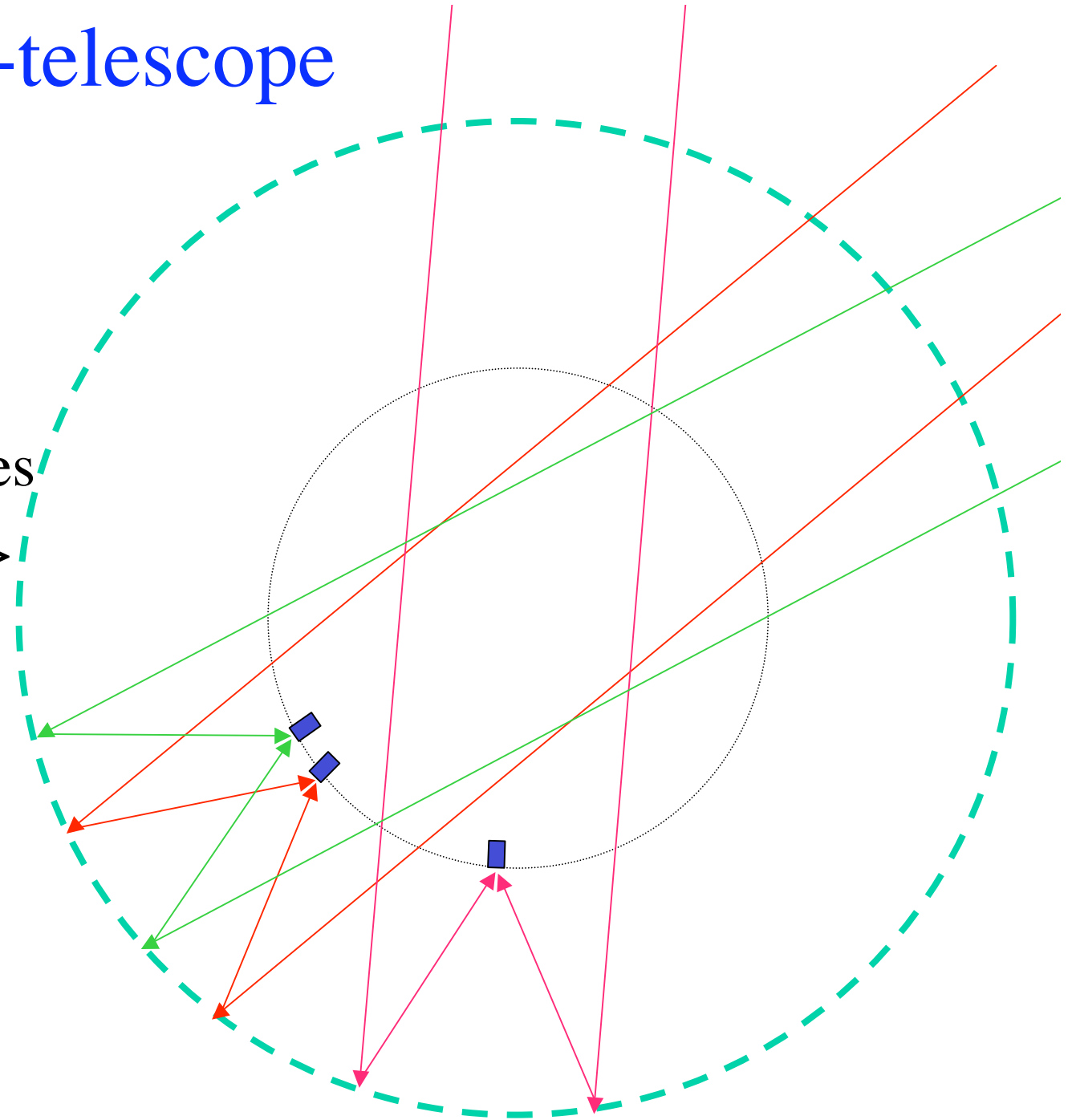
Terre à 3pc
Pose 30mn



Moth-Eye Hyper-telescope

Labeyrie, Cargèse 1998

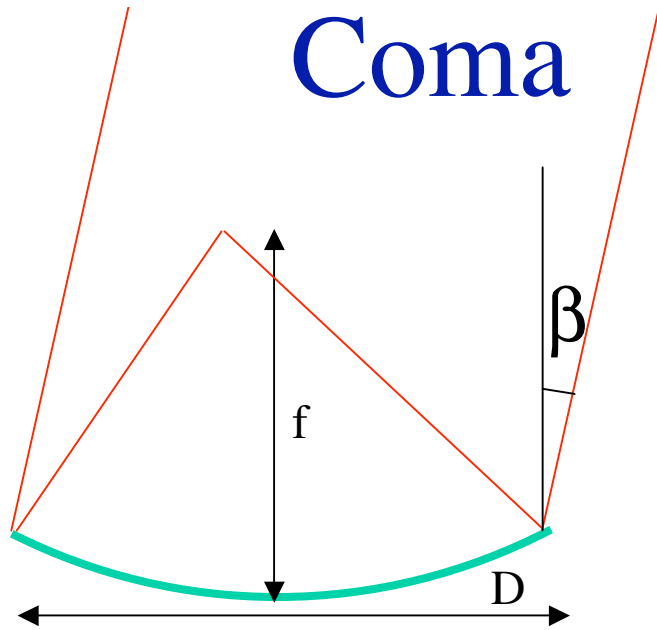
- Panoramique
- Sphère diluée fixe, stations focales mobiles
- Partage des miroirs => économie



Pourquoi diluer un grand miroir?

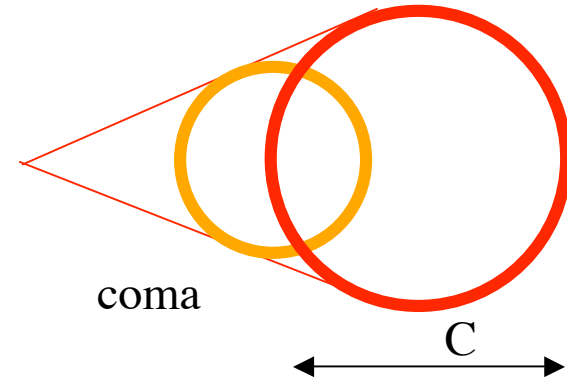
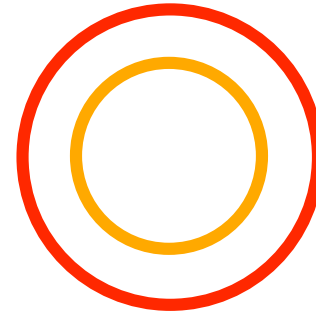
- Augmenter la résolution
 - Diminue le champ => suffit pour disques stellaires, noyaux galactiques, etc...
- Champ peu utile sur les objets compacts
- utile sur un amas d 'objets (galaxies etc..)
 - pour statistiques (vitesses radiales, spectroscopie, etc...)
- Part respective des découvertes ? À étudier
- cas biologique:
 - champ étroit chez les prédateurs (aigle, etc...)
 - panoramique chez les proies (cheval, etc...)

Coma



$$C = (1/16) f (D/f)^2 \beta$$

Ouverture annulaire



- Exemple pour Arécibo:
- distance focale 130m
- diamètre d'ouverture 60m
- demi-champ β 3.7 degrés
- largeur de l'aigrette 0,112
- Delta 10 mm

Limitation de champ par les aberrations

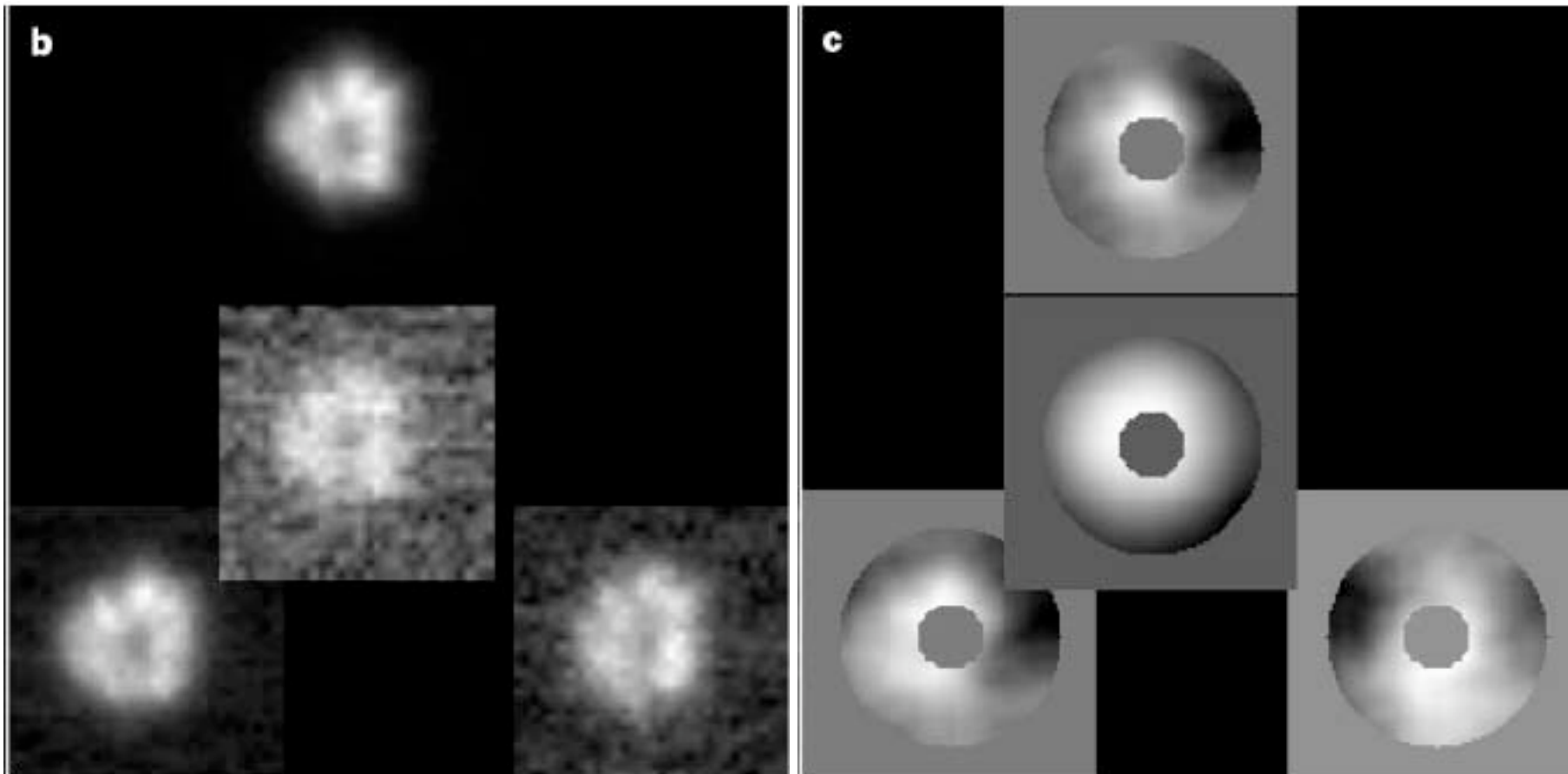
- Sur l'onde:
 - coma, astigmatisme, etc...augmentent proportionnellement au diamètre du télescope
 - La tolérance reste $\lambda/4$
- Champ angulaire:
 - Homothétie des aberrations: étalement angulaire indépendant du diamètre
 - Mais la tolérance fixée par la diffraction est $< \lambda/D$
- Exemple: miroir parabolique: coma = $(3/16) \delta / N^2$
(arc-seconde, δ = écart angulaire, $N=F/D$)
 - Résolution théorique visible: $= 0,1/D$ (arc-seconde, D =diamètre en mètres)
 - Demi-champ: $\delta_{\max} = (1,6/3) N^2 / D$ **0,1" pour $D=1000\text{m}$ à $F/1.4$**

Optique adaptative

Optique adaptative

tomographie de l'atmosphère

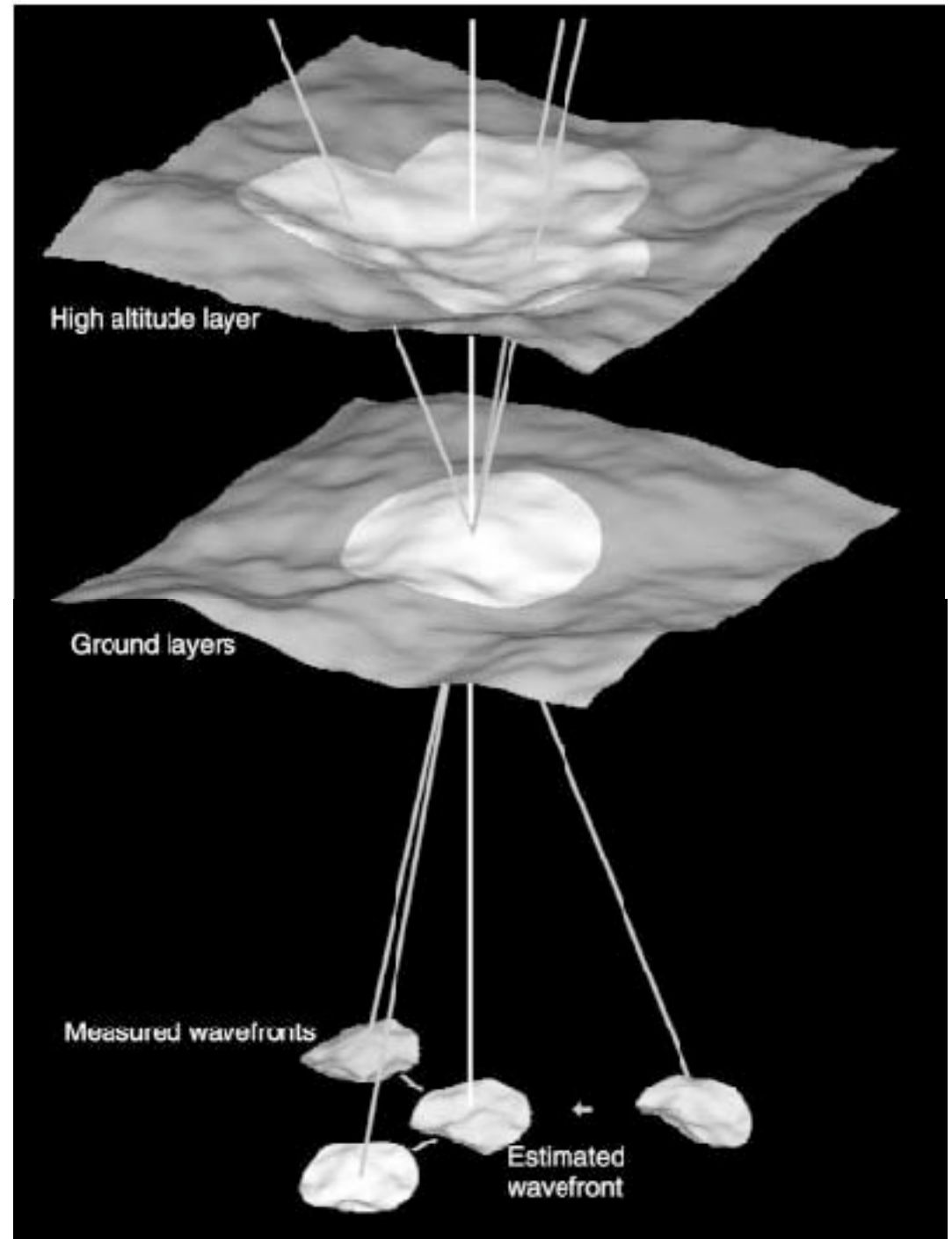
Ragazzoni et al. , Nature, 6 janvier 2000



Déformations cumulées de l'onde

Ragazzoni et al. :

- Obtenir une carte $n(x,y,z)$ en observant plusieurs étoiles
- Magnitude limite 17 pour telescope de 100m ?
- Étoiles de référence dans champ de $10'$
- « problème virtuellement résolu, sans laser »



- Ragazzoni et al. Ne discutent pas le cas des ouvertures diluées :
- Tomographie plus difficile ? Étoiles guides plus brillantes nécessaires ?
- À explorer ...

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

Articles

- **Theorie de l'imagerie à pupille densifiée:**
Labeyrie, A., »Resolved imaging of extra-solar planets with future 10-100km optical interferometric arrays » , Astron.Astrophys. Suppl. Series, 118, 517-524 , 1996.
- Labeyrie, A., « Direct searches: imaging, dark speckle and coronagraphy » in *Planets outside of the solar system: theory and observations*, p.261-279, J.M.Mariotti and D.Alloin (eds.), 1999, Kluwer

- **Interféromètre spatial:**
- Boccaletti et al. , Icarus ,Mai 2000.

- Labeyrie "Standing waves and pellicle: a possible approach to very large space telescopes", Labeyrie,A. Astron. Astrophys., 77, ppL1-L2, 1979.
- Labeyrie 1999, Napa Workshop on Ultra-Light Space Optics Challenge ULSOC
- Warrant, E., Bartsch,K. and Günthe, C. "Physiological optics in the humming-bird hawkmoth: a compound eye without ommatidia", J. Exp.Biology (in press)