

Versions terrestres d'hyper-télescopes:

2- CARLINA, un miroir fixe d'échelle kilométrique

- Séminaire à 15h15 par A.Boccaletti (Collège de France & Observatoire de Paris-Meudon)
Coronographie, recherche de planètes extra-solaires

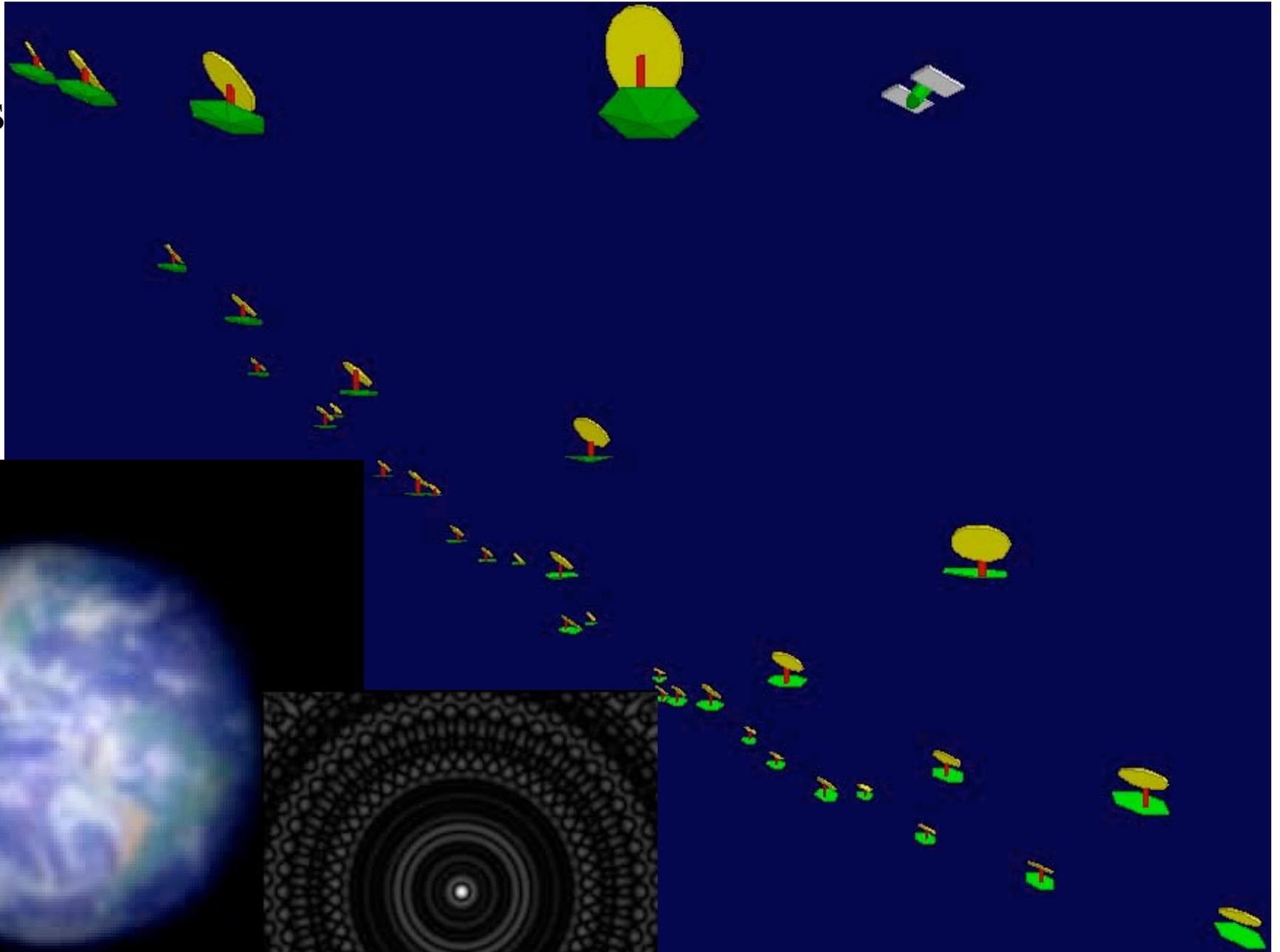


- Rappel des cours précédents
- Étude entamée d 'un grand hyper-télescope au sol , « CARLINA »:
 - Science
 - Technique
 - Construction progressive
 - Comparaison avec le télescope de 100m étudié par l 'Observatoire Européen Austral projet

Un hyper-telescope: Exo-Earth Imager

150 miroirs
de 3m
150 km

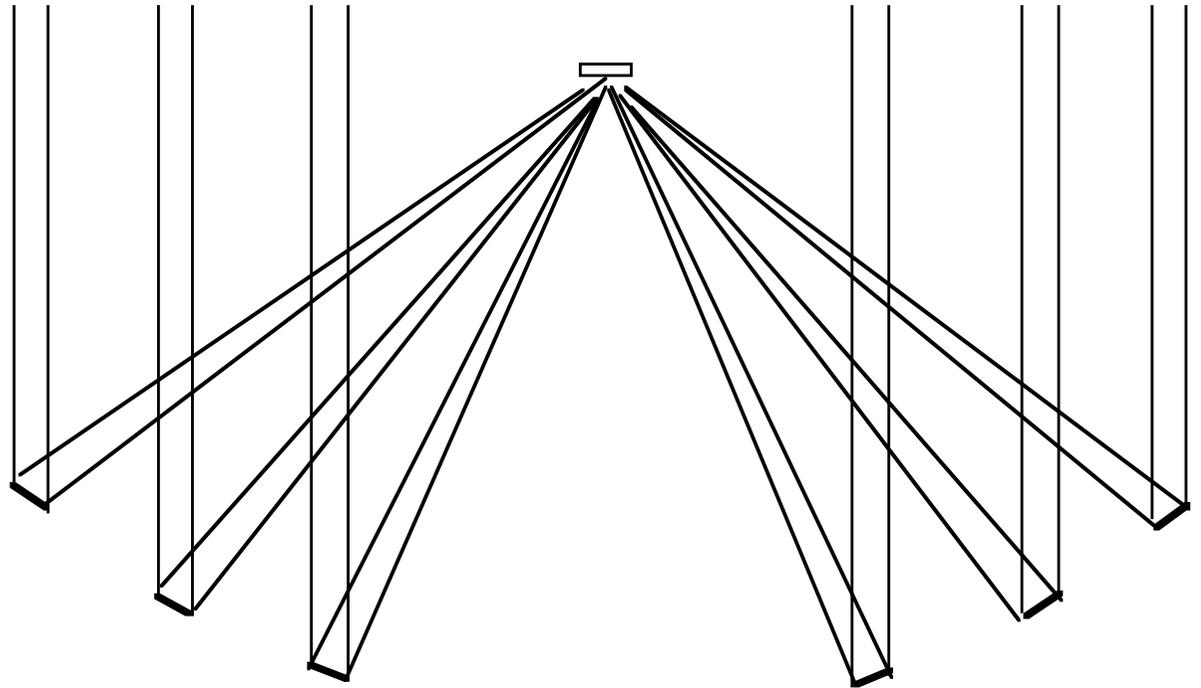
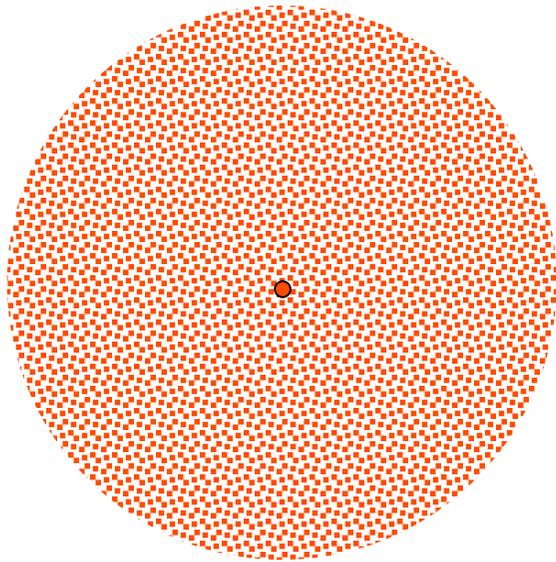
Terre à 3pc
Pose 30mn



Télescope géant dilué dans l'espace...

diamètre 150 km, éléments nombreux

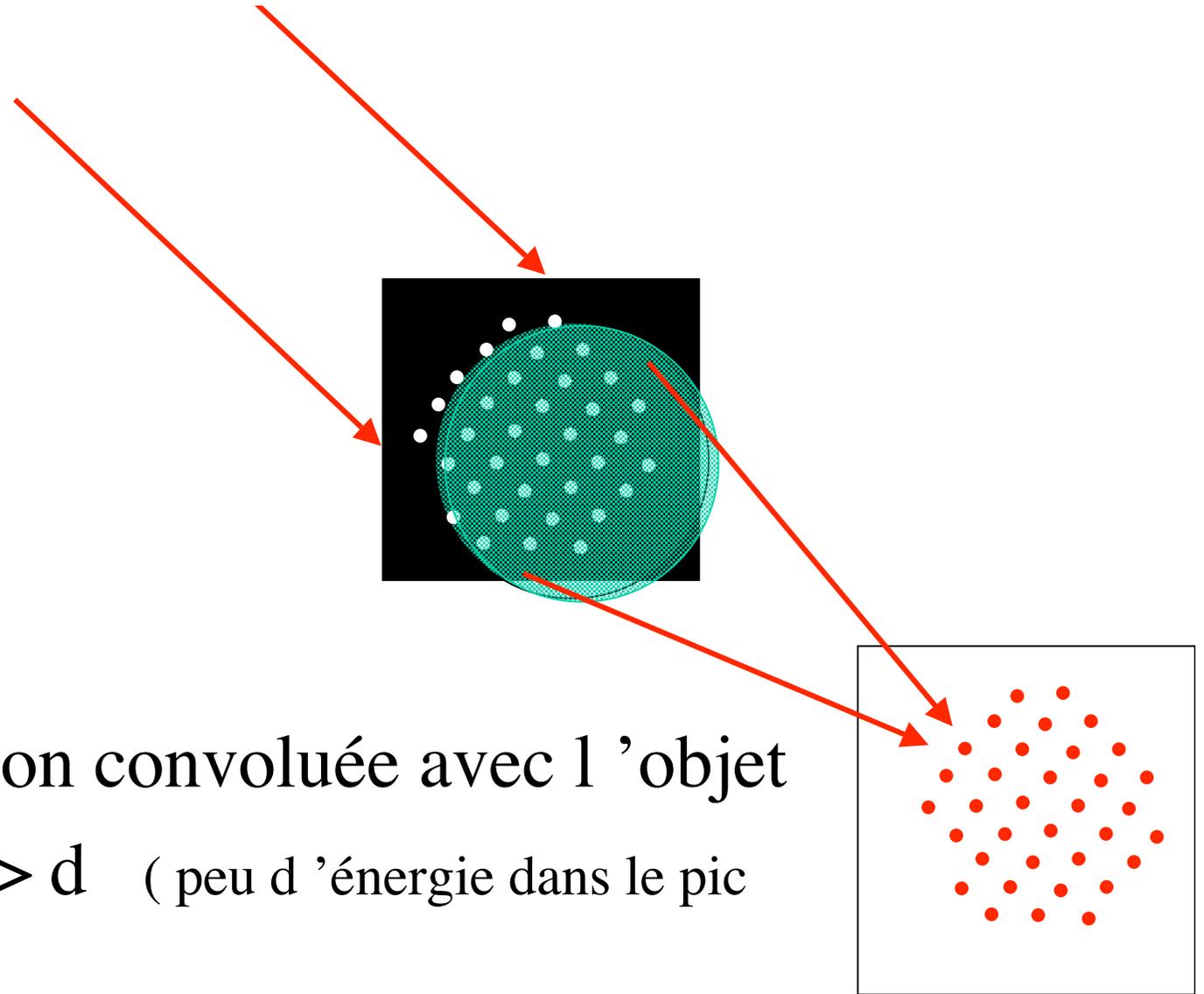
- L' image Fizeau directe est inutilisable : la lumière va surtout dans le large halo plutôt que dans le pic d'interférence



- une solution: « l'imagerie à pupille densifiée »

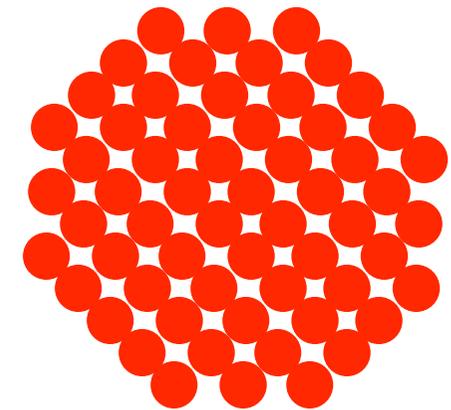
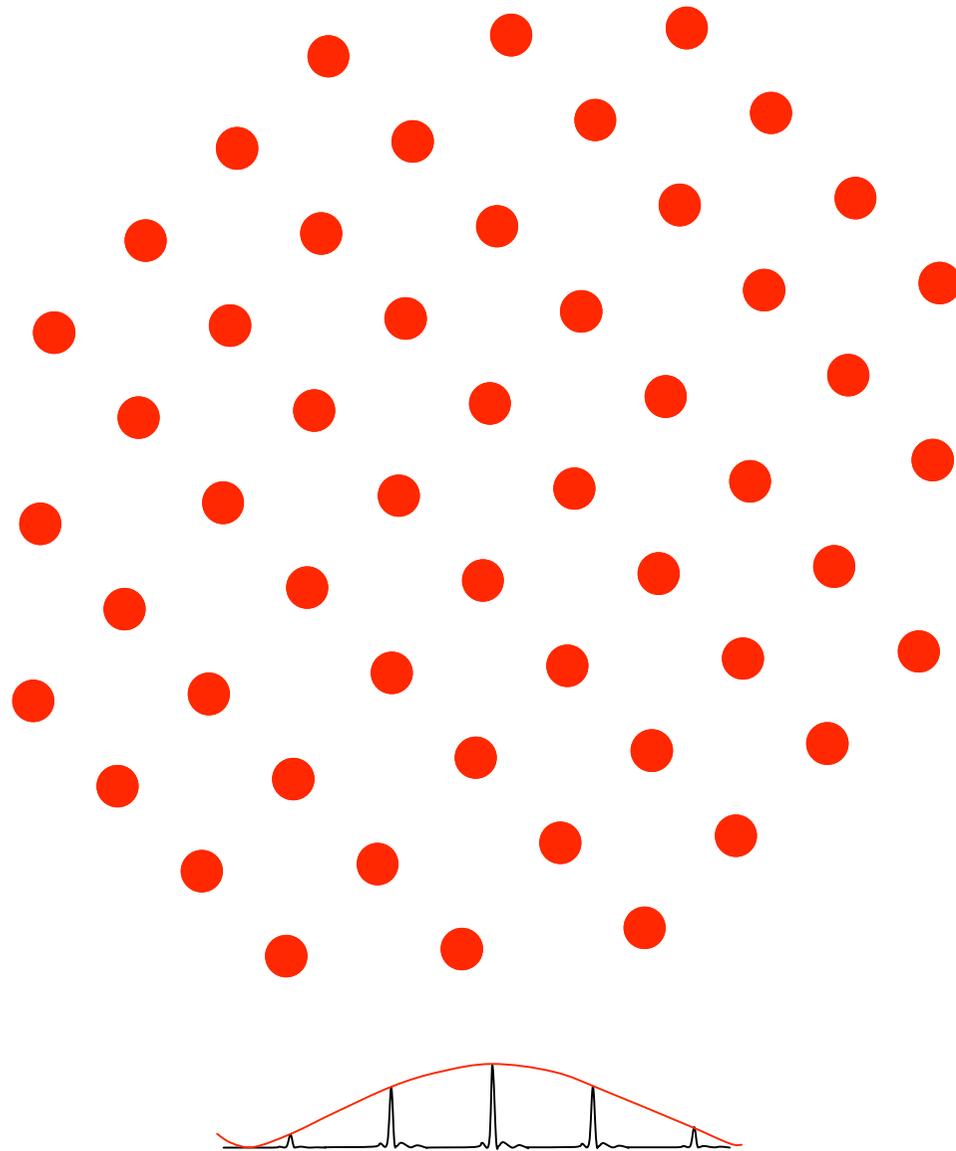
Interféromètre de Fizeau

diamètres: D et d
espacement: s



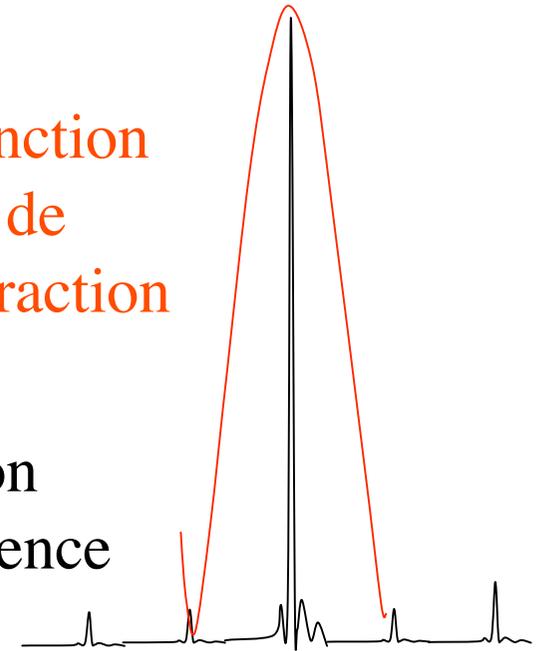
- Figure de diffraction convoluée avec l'objet
- Inutilisable si $s \gg d$ (peu d'énergie dans le pic central)
- Remède: **densifier la pupille**

Densifier la pupille pour intensifier l'image

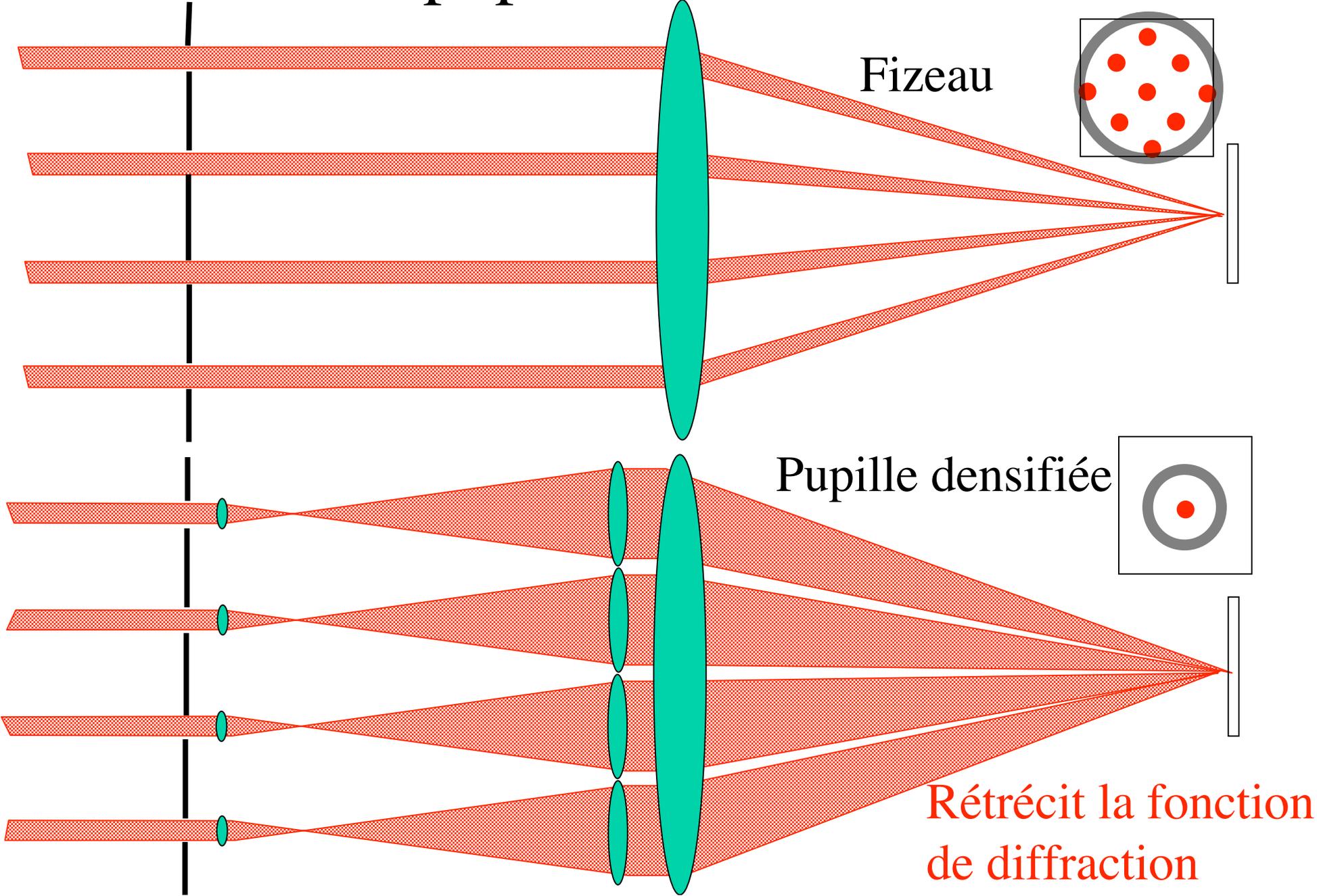


Fonction
de
diffraction

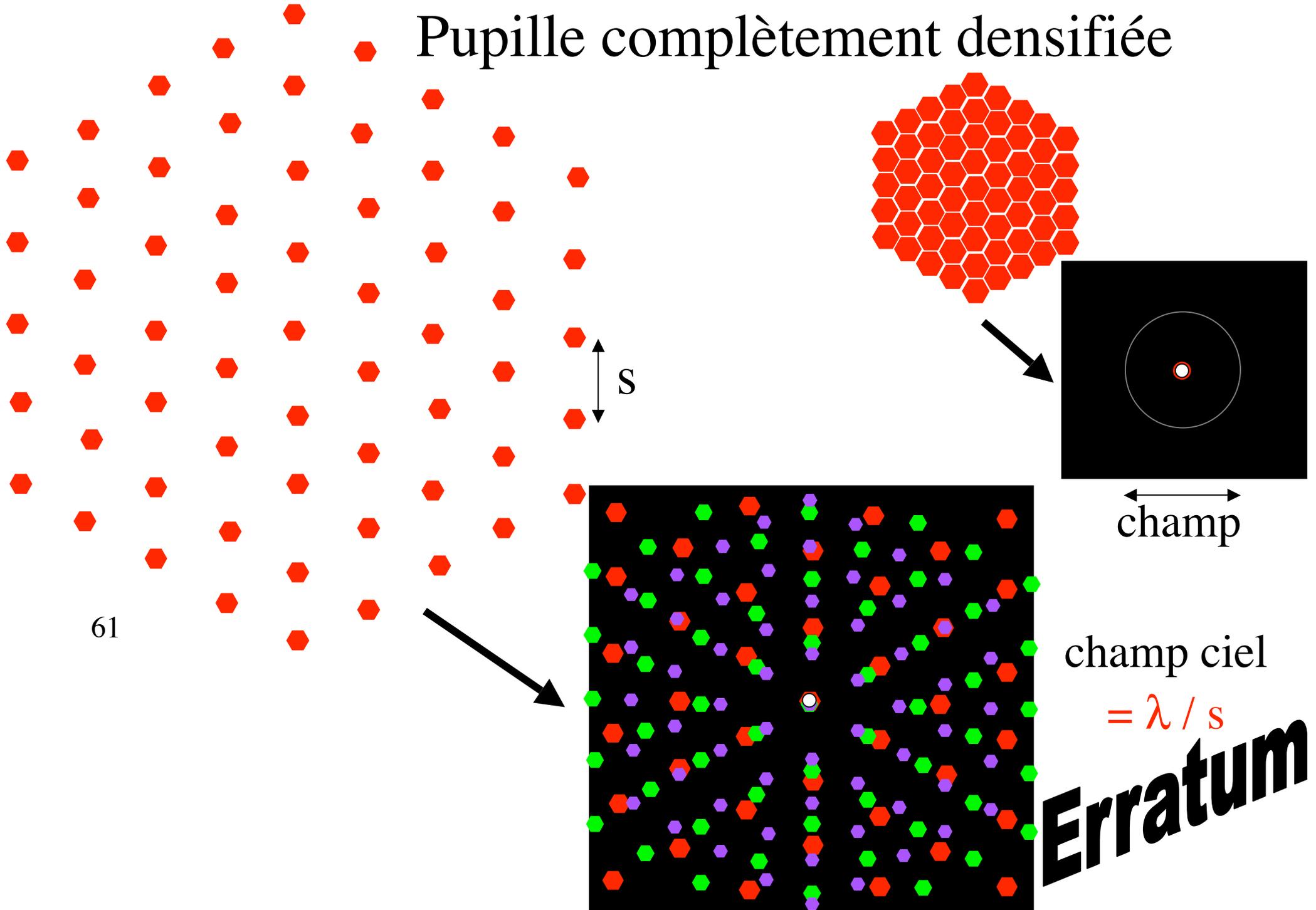
Fonction
d'interférence



Densification de pupille



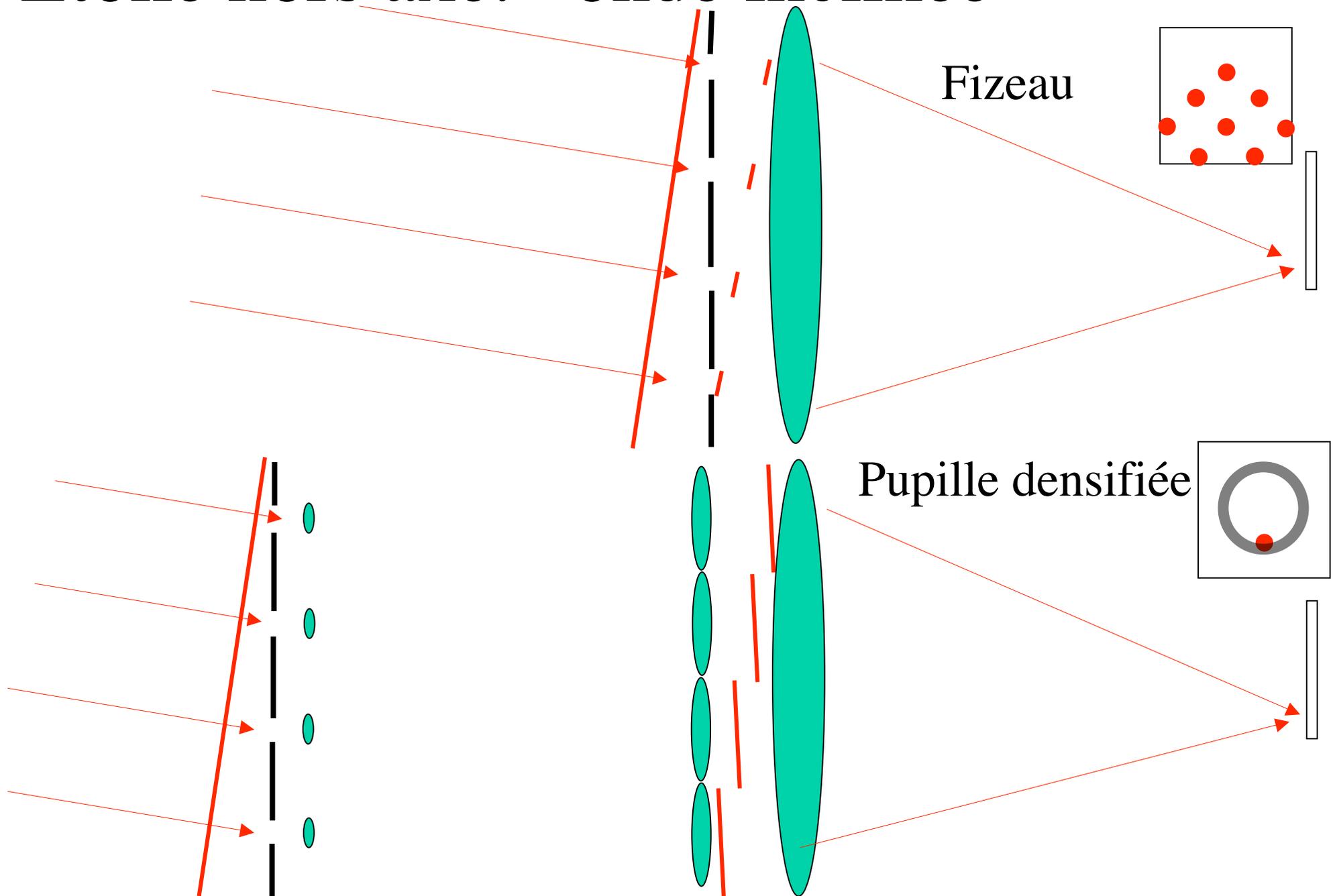
Pupille complètement densifiée



61

Erratum

Etoile hors axe: onde inclinée



Effet de la densification de pupille

$$O(x, y) = F(x, y) \otimes D(x, y)$$

ouverture « fakir Dirac » disque

TF \updownarrow

$$\tilde{O}(\alpha, \beta) = \tilde{F}(\alpha, \beta) \times \tilde{D}(\alpha, \beta)$$

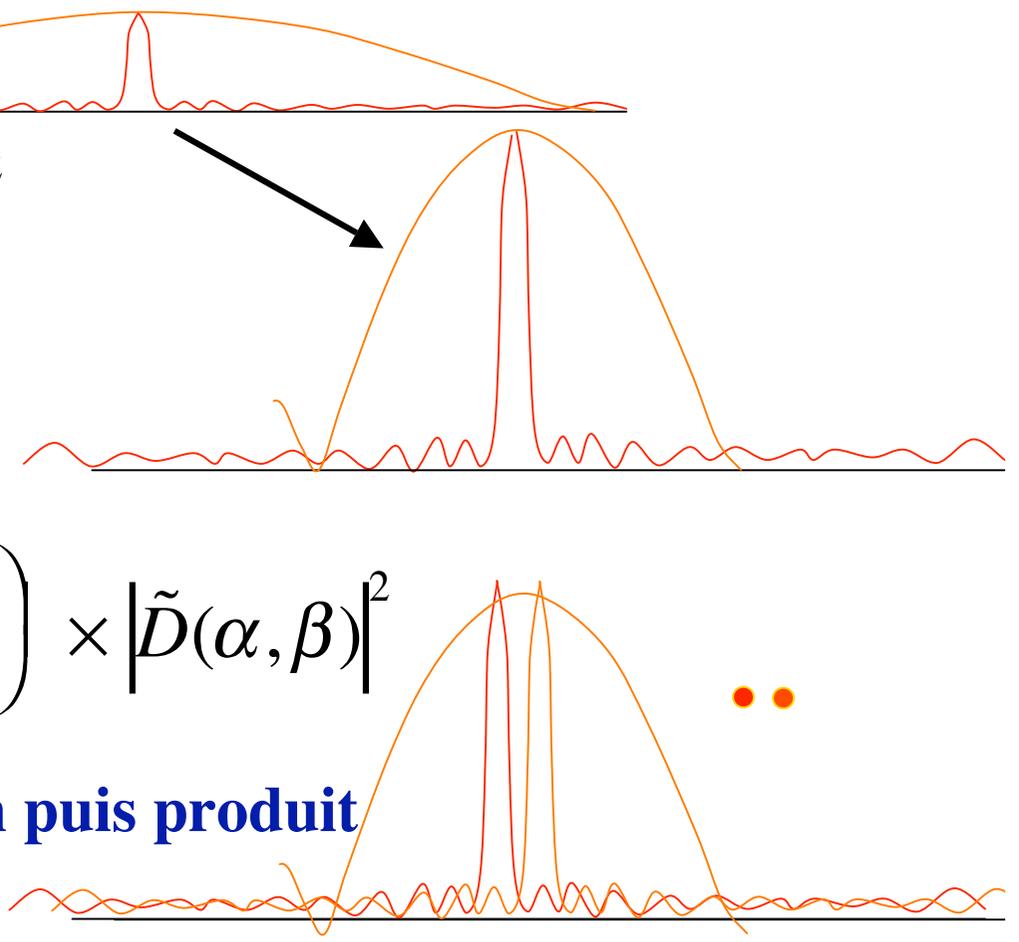
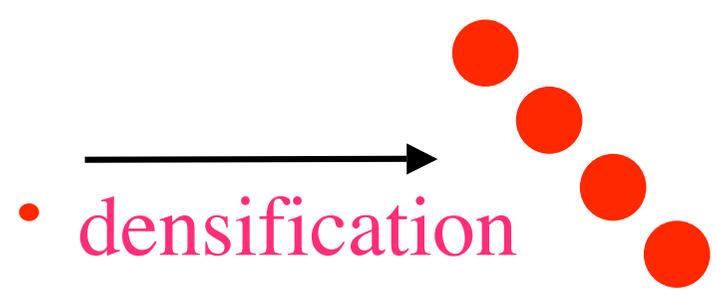
$$|\tilde{O}(\alpha, \beta)|^2 = |\tilde{F}(\alpha, \beta)|^2 \times |\tilde{D}(\alpha, \beta)|^2$$

image étoile résolue $S(\alpha, \beta)$ interference diffraction

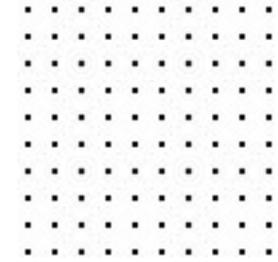
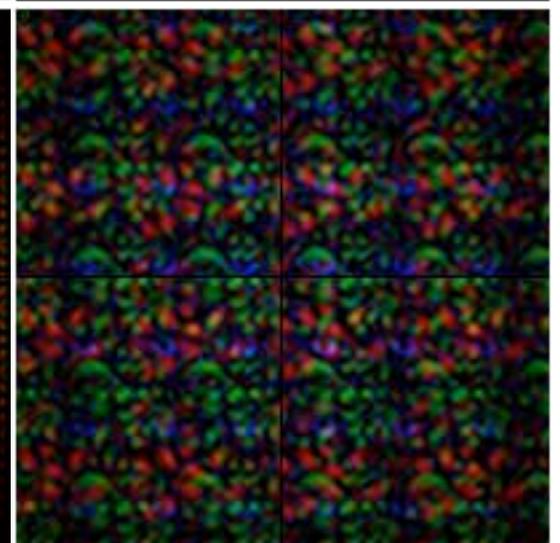
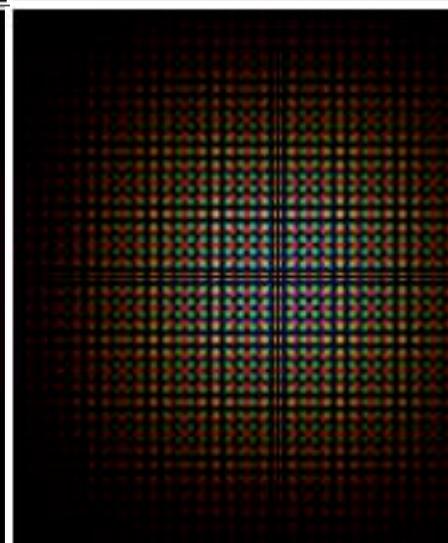
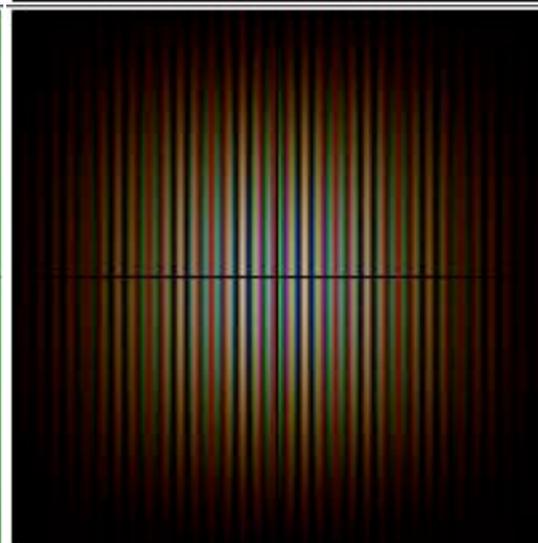
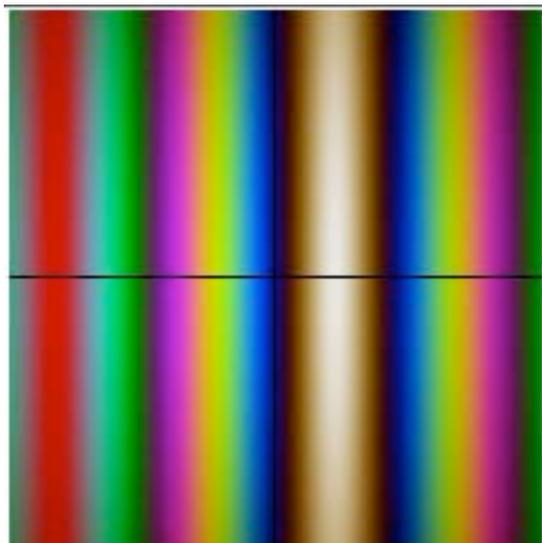
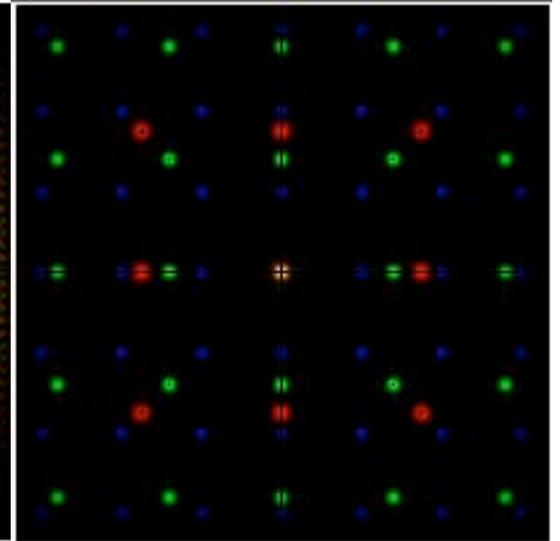
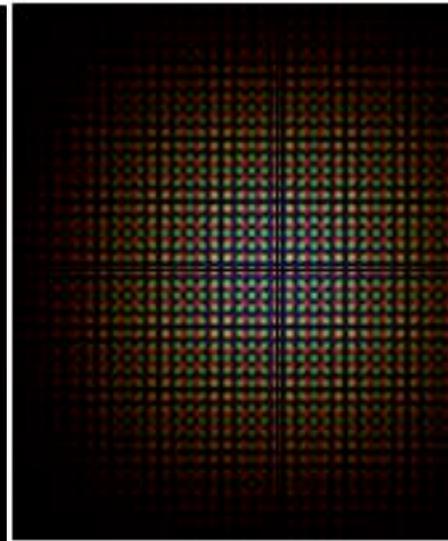
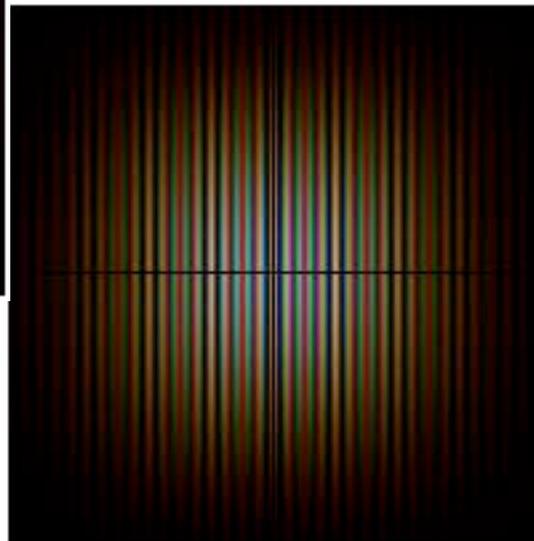
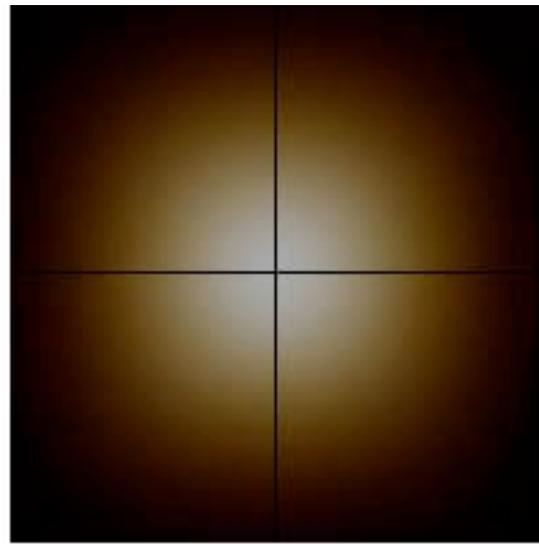
si $D \gg d$, l'enveloppe est fixe

$$|\tilde{O}(\alpha, \beta)|^2 = \left(|\tilde{F}(\alpha, \beta)|^2 \otimes S(\alpha, \beta) \right) \times |\tilde{D}(\alpha, \beta)|^2$$

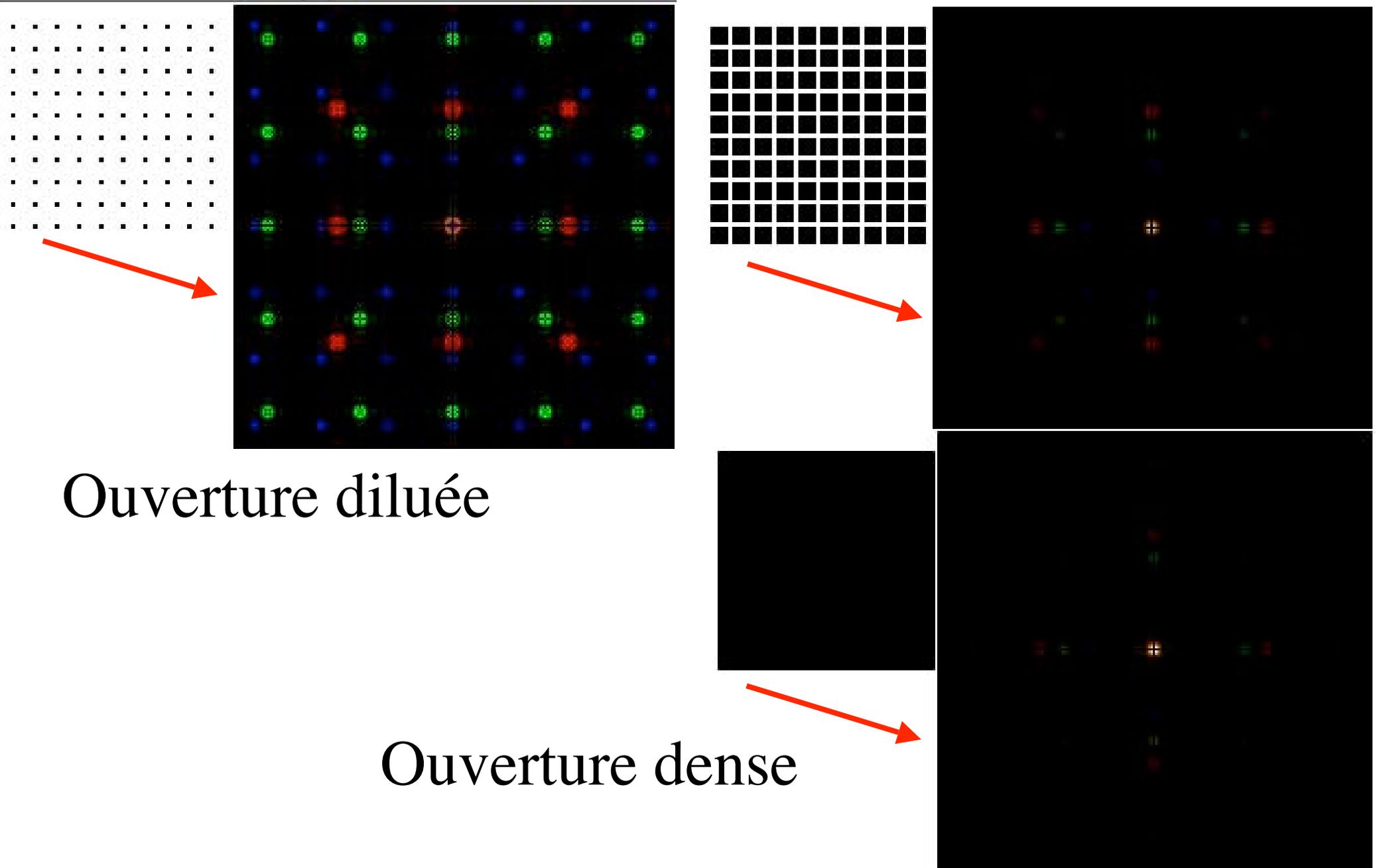
Image pseudo-convoluée: convolution puis produit



Diffraction par une ouverture multiple



Figures de diffraction calculées



Ouverture diluée

Ouverture dense

Reformuler la « règle d 'or des interféromètres imageurs »

- **Initialement:** « tout interféromètre imageur a une pupille de sortie identique à la pupille d 'entrée , à l 'échelle près » ou: « tout interféromètre imageur est un Fizeau »
- **Maintenant:** « tout interféromètre imageur a une pupille de sortie où les centres des sous-pupilles sont disposés comme dans la pupille d 'entrée »

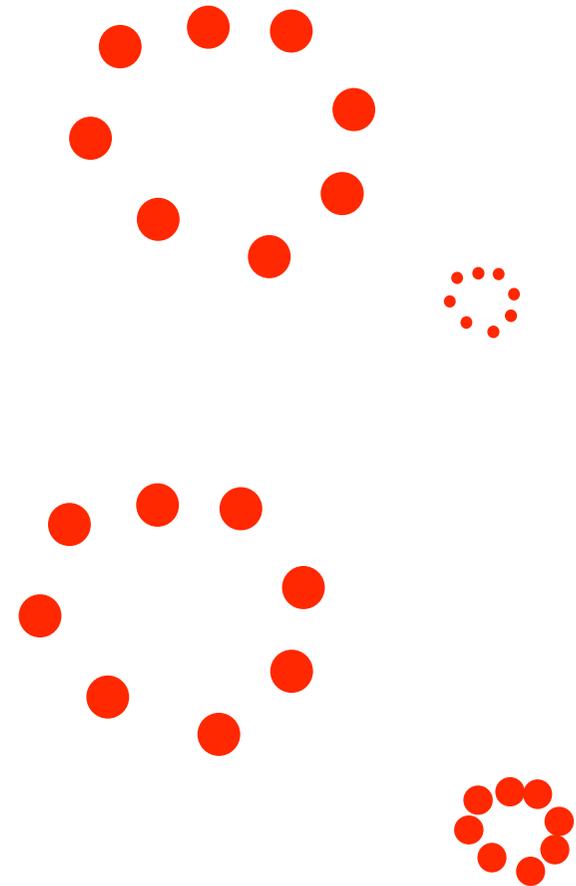
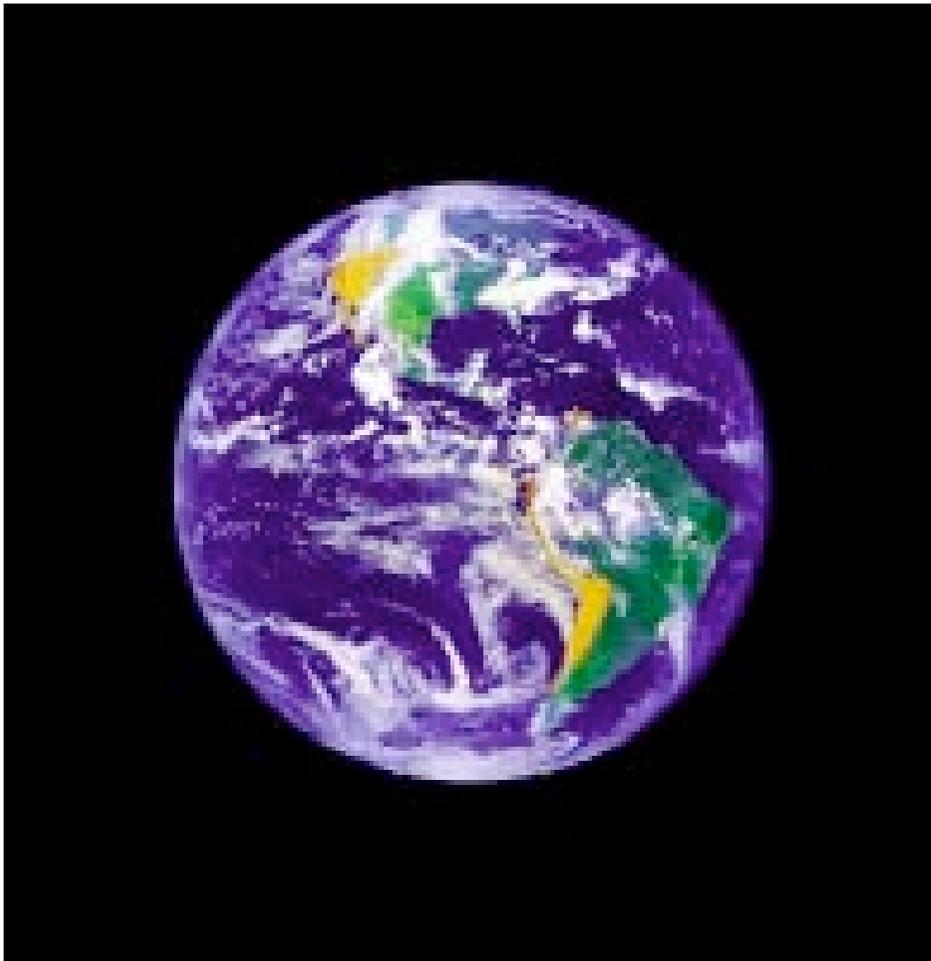


Image simulée d'une Terre vue à 10 années lumière par un hyper-telescope de 150km

150 miroirs de 3m,
pose 30mn

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



objet

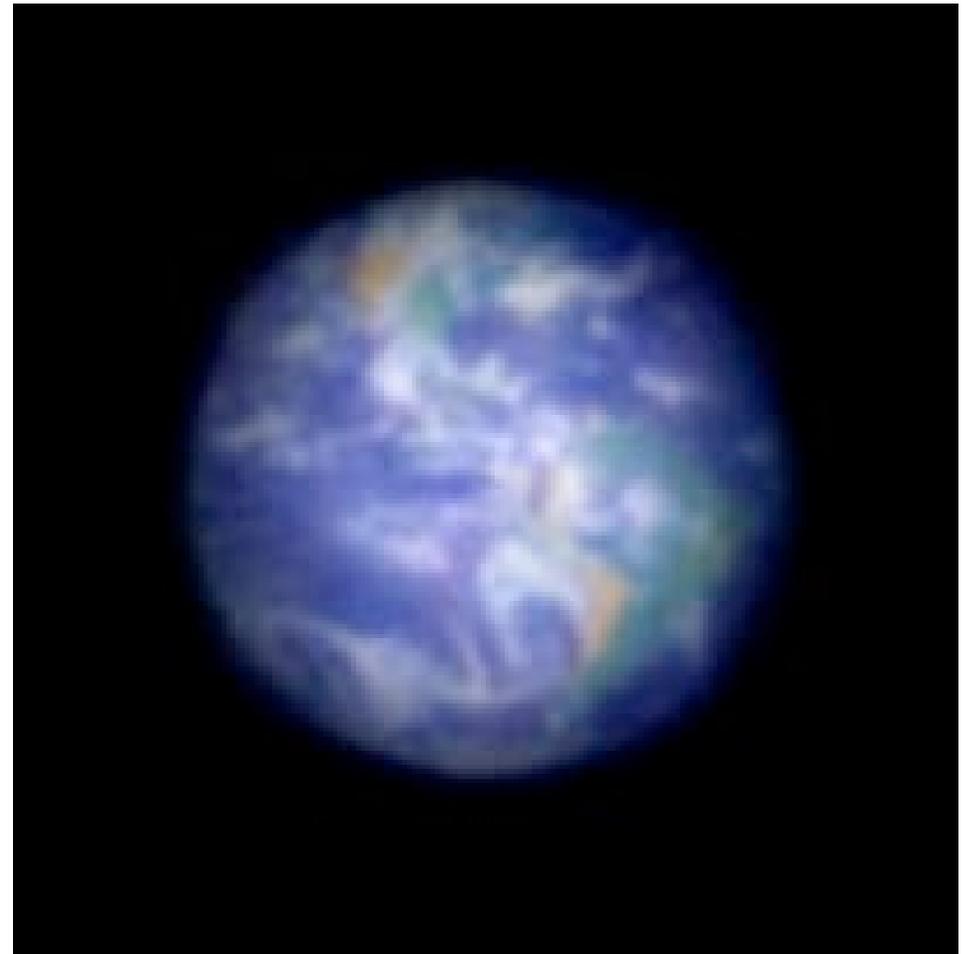
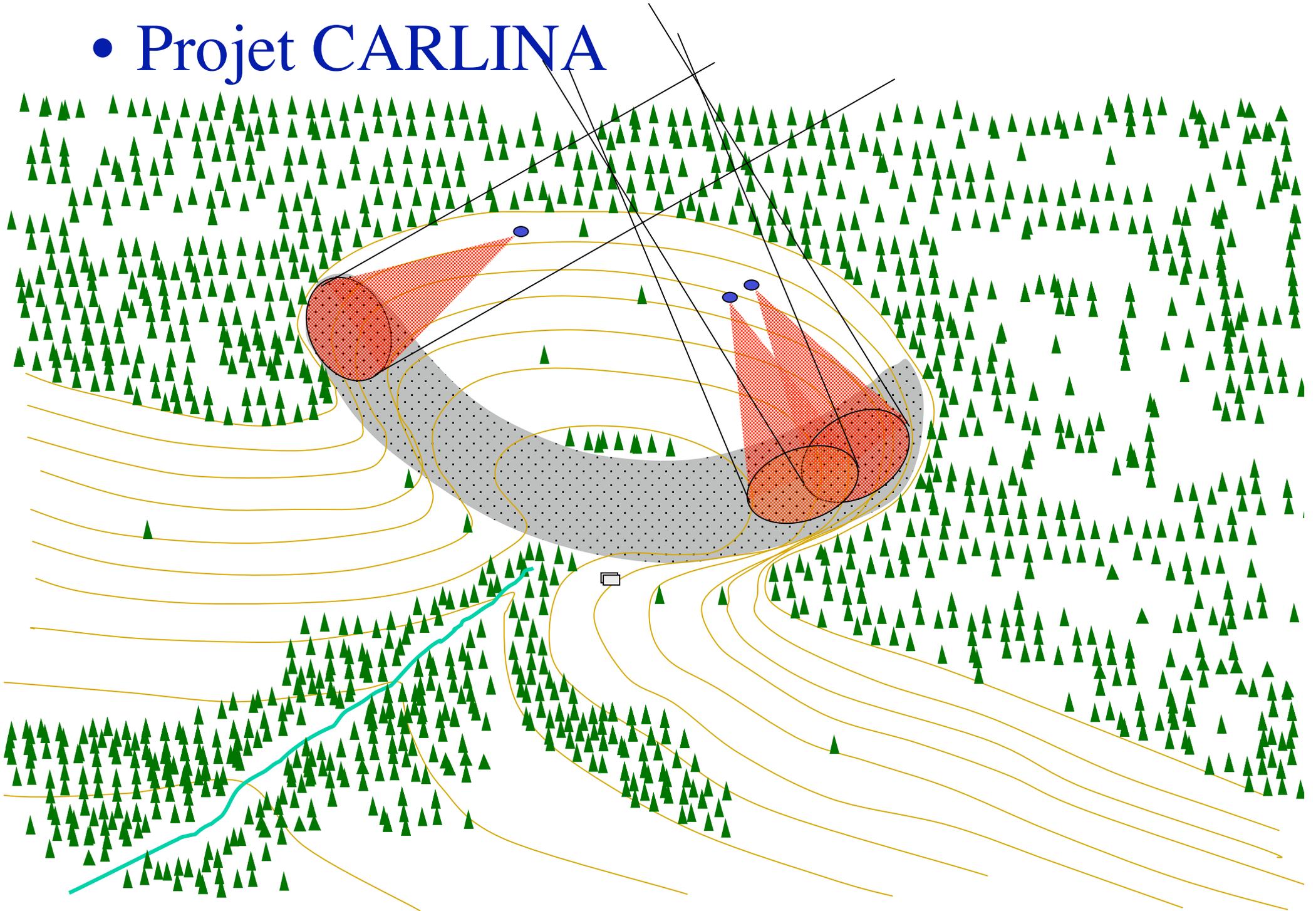


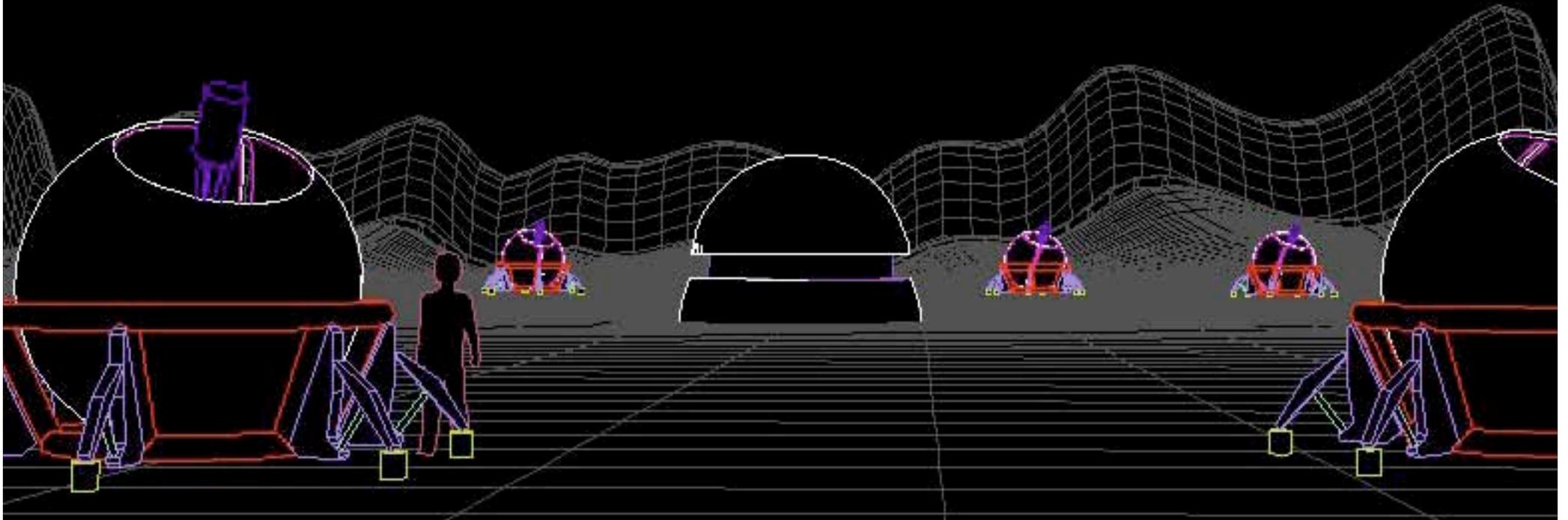
image brute

• Projet CARLINA



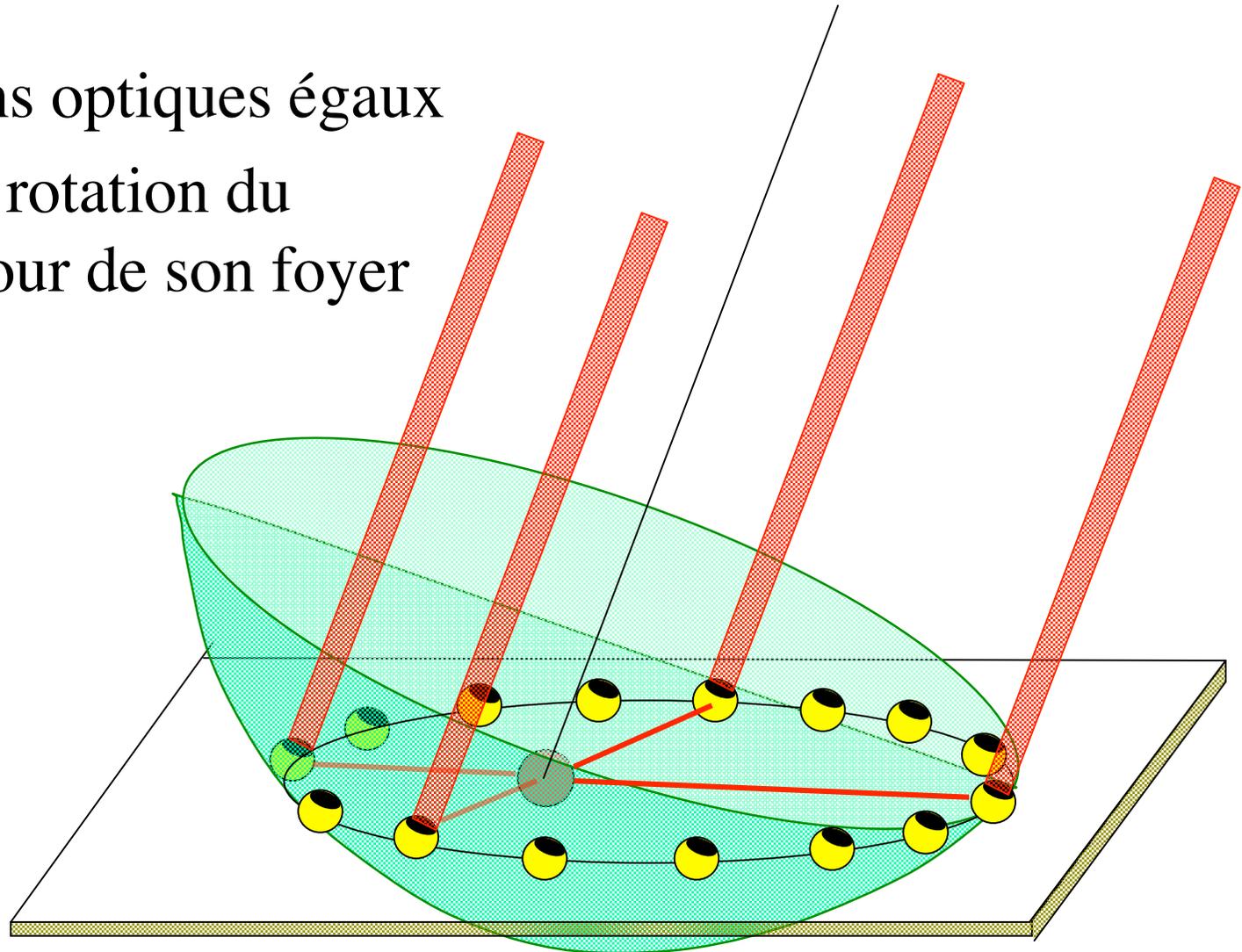
The Optical Very Large Array

Artist's concept by Julien Dejonghe



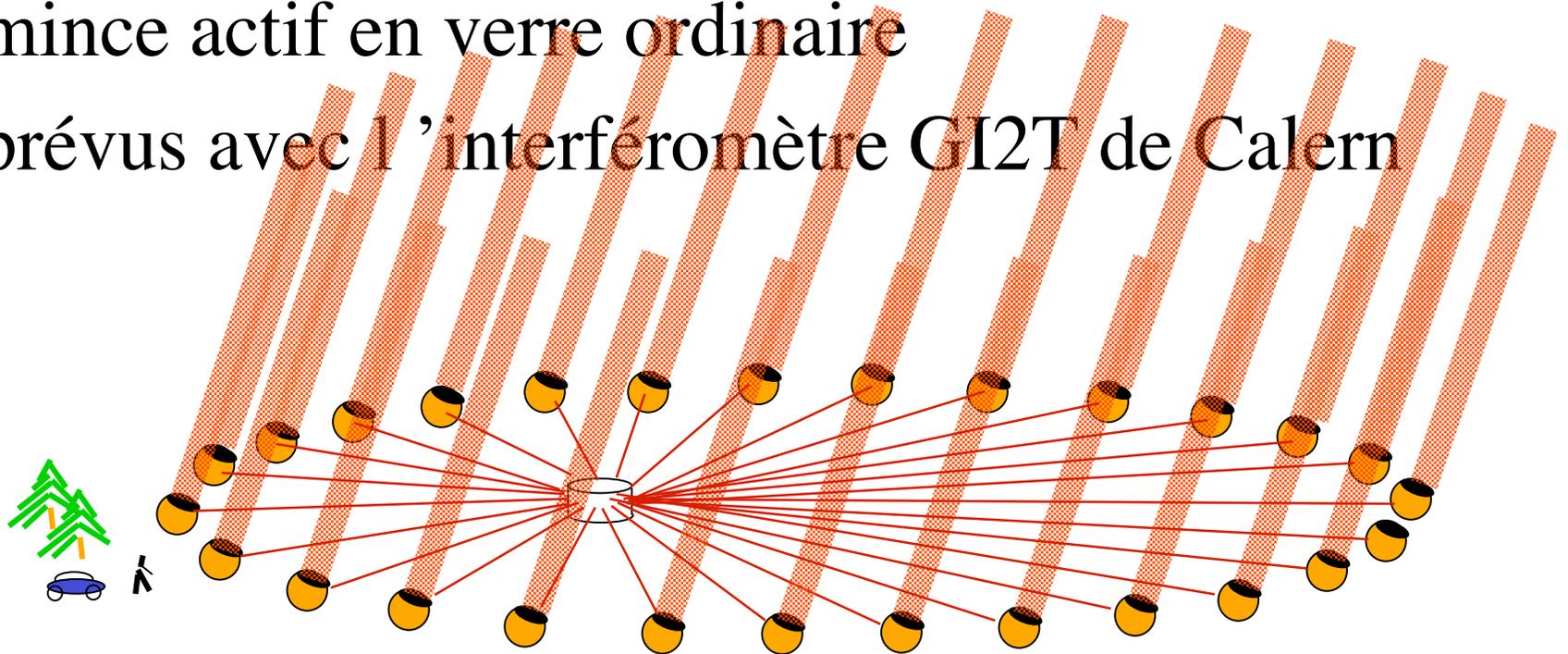
Section plane d'un paraboloïde

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

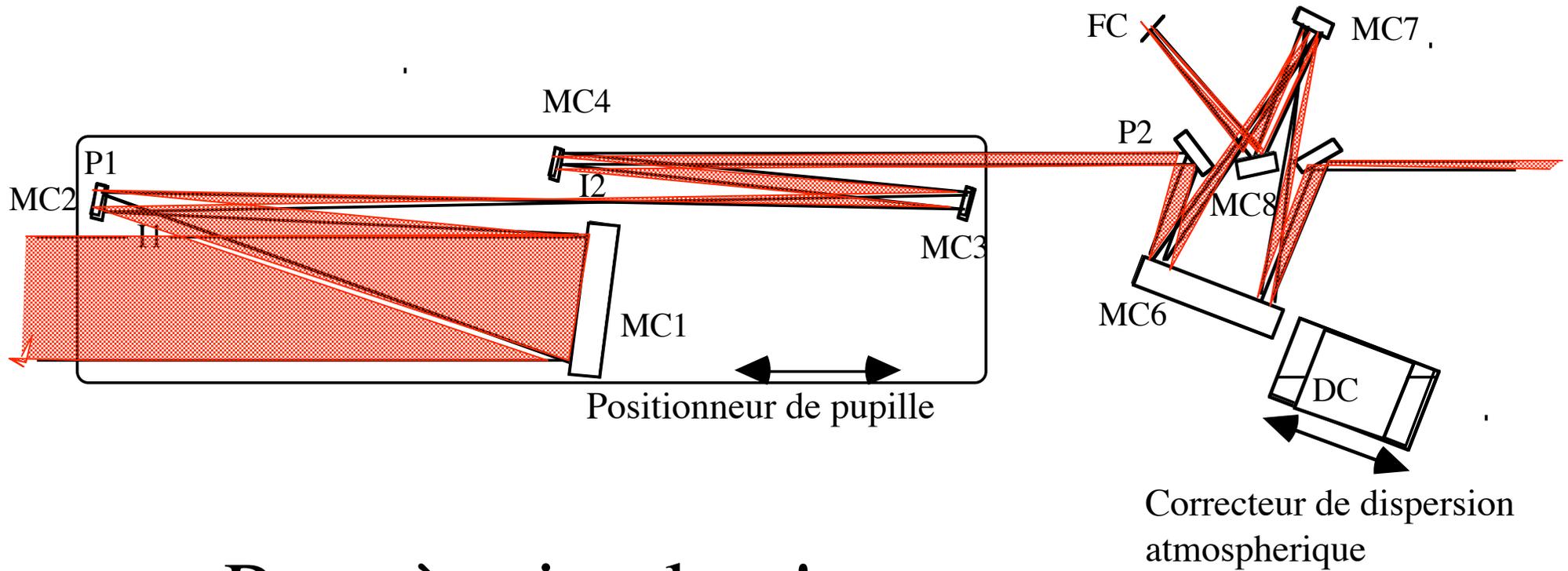


Le Optical Very Large Array

- télescopes de 1.5m, mobiles par hexapodes,
- dimension 1 à 10 km
- combineur modifié pour pupille densifiée
- Construction d'un élément à Obs. Haute Provence: miroir mince actif en verre ordinaire
- Essais prévus avec l'interféromètre GI2T de Calern

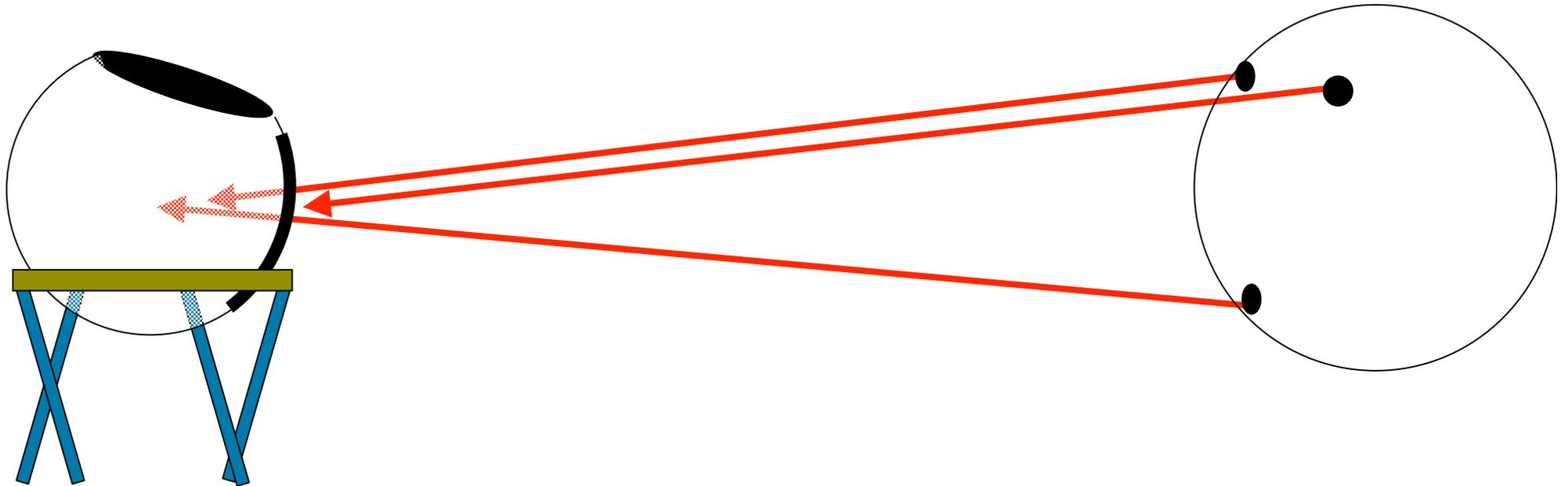


Combineur OVLA



- Pas très simple !

Mesure de position



- 3 sources laser polychromatiques, cohérentes
- Comptage de franges

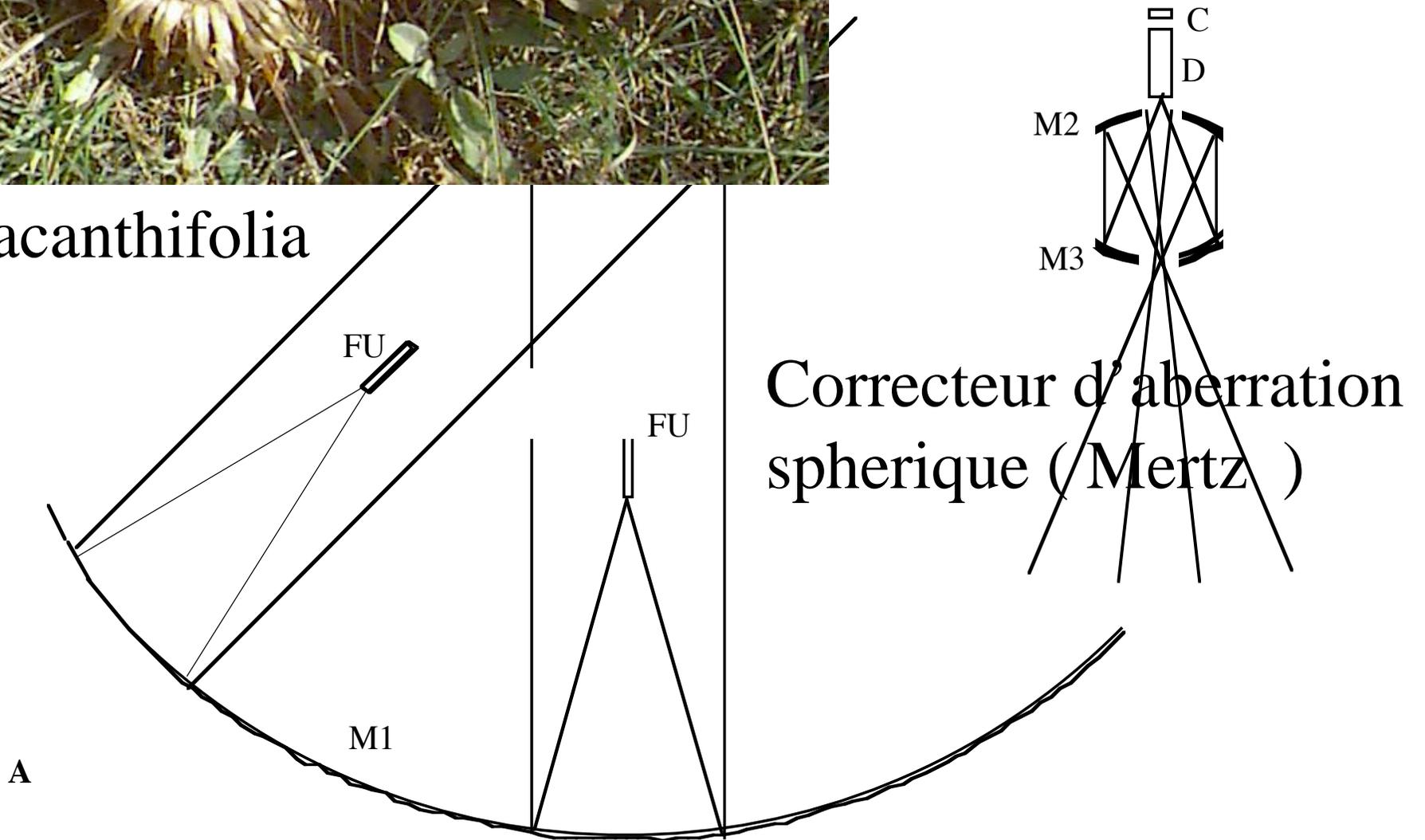
Radio-télescope d'Arécibo (Porto Rico)



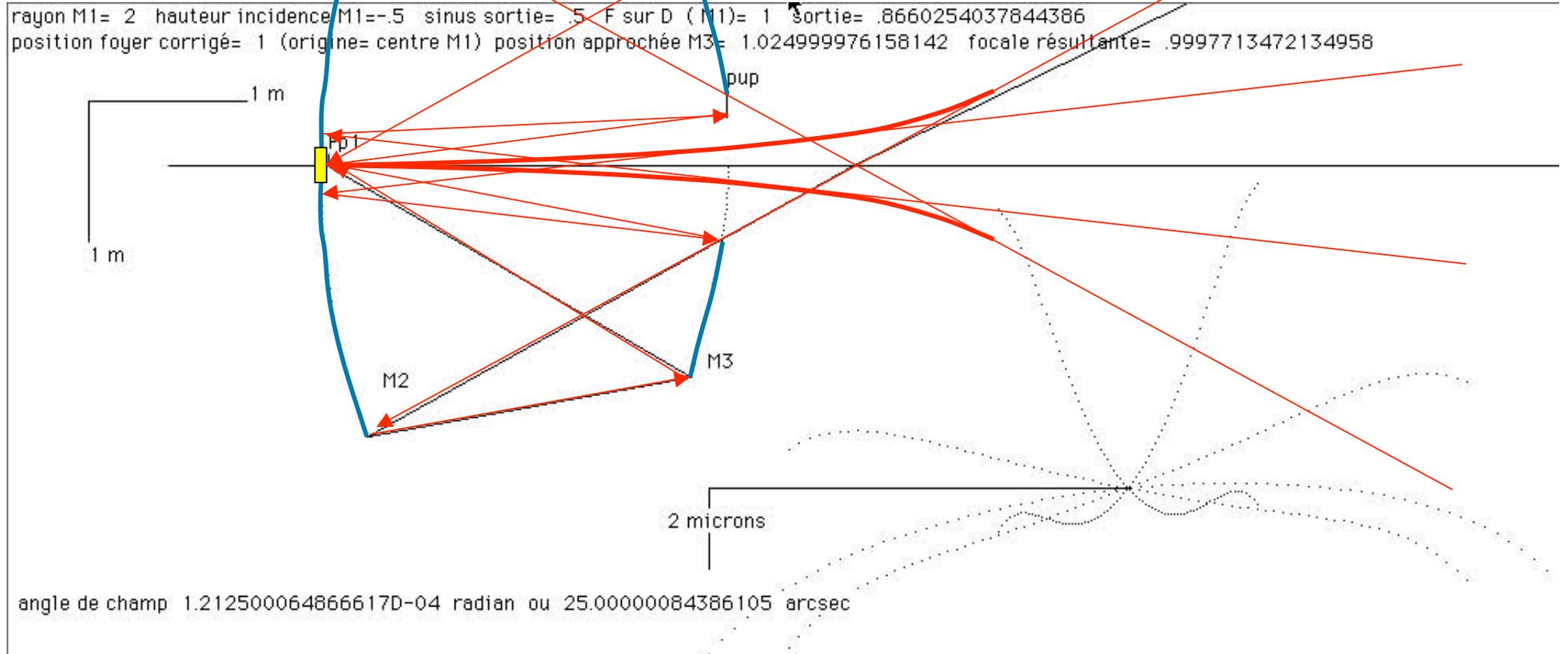


CARLINA, un hyper-telescope au sol

Carlina acanthifolia

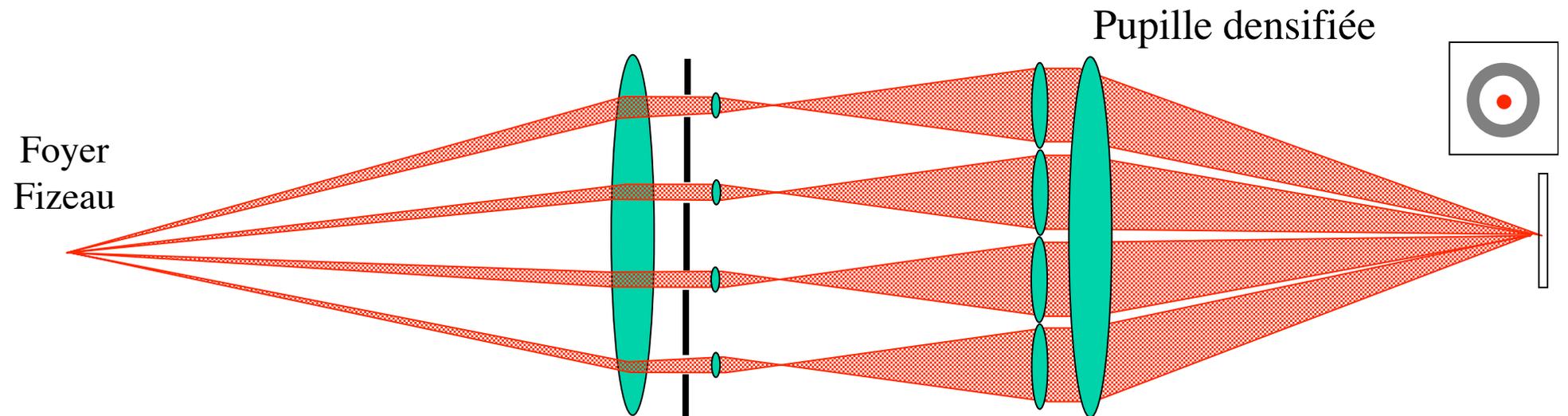


Correcteur d'aberration à f/1

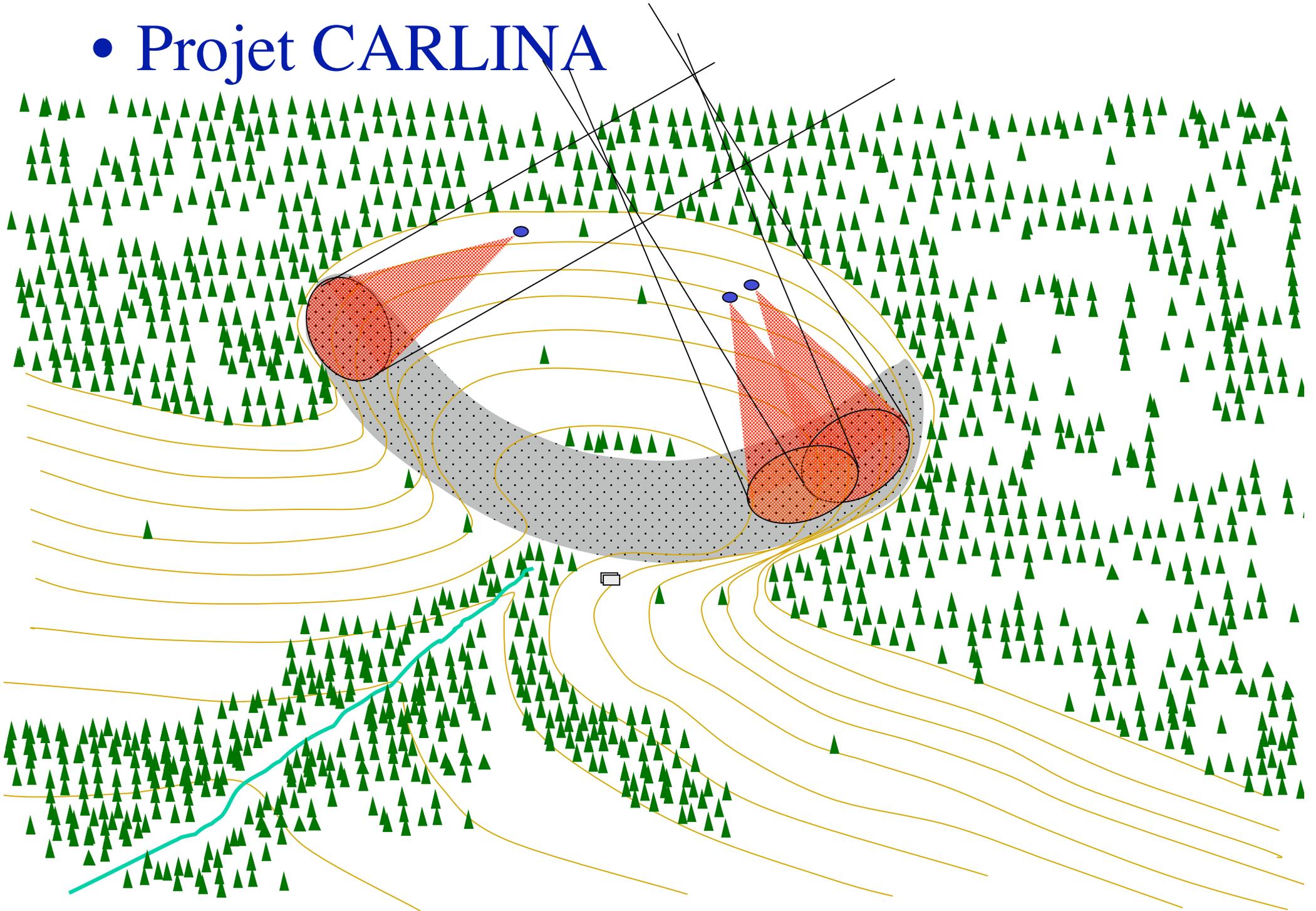


Diamètre 3,5m pour pupille 100m

Densifieur de pupille



• Projet CARLINA



Caractéristiques du concept CARLINA

- Miroir primaire fixe, sphérique, dilué
- Utilise une dépression naturelle
- Optique focale portée par ballon stabilisé
- Plusieurs ballons et stations focales utilisables
- Imagerie directe à pupille densifiée
- Optique adaptative

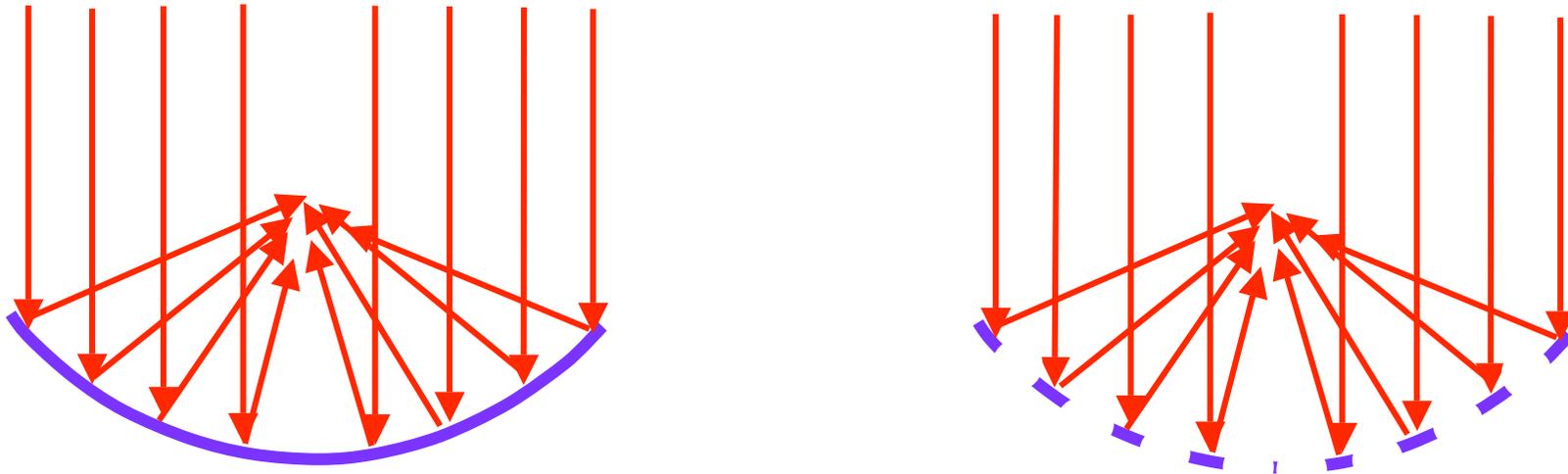
Science

- 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

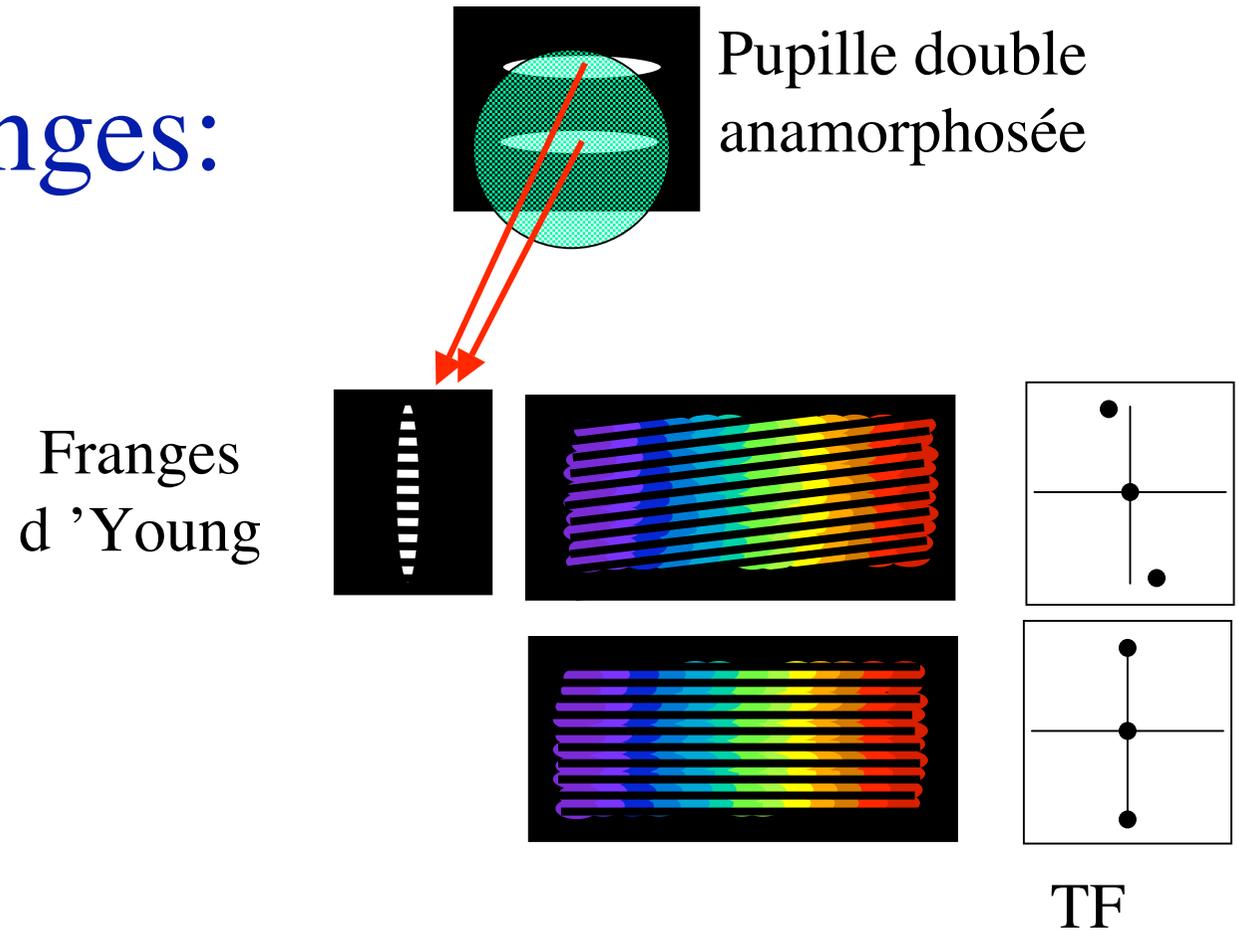
- Sans optique adaptative: tavelures
- Avec optique adaptative: imagerie directe
- Stations focales spécialisées: visible, infra-rouge, coronographie etc...

difficulté: mise en cohérence et en phase



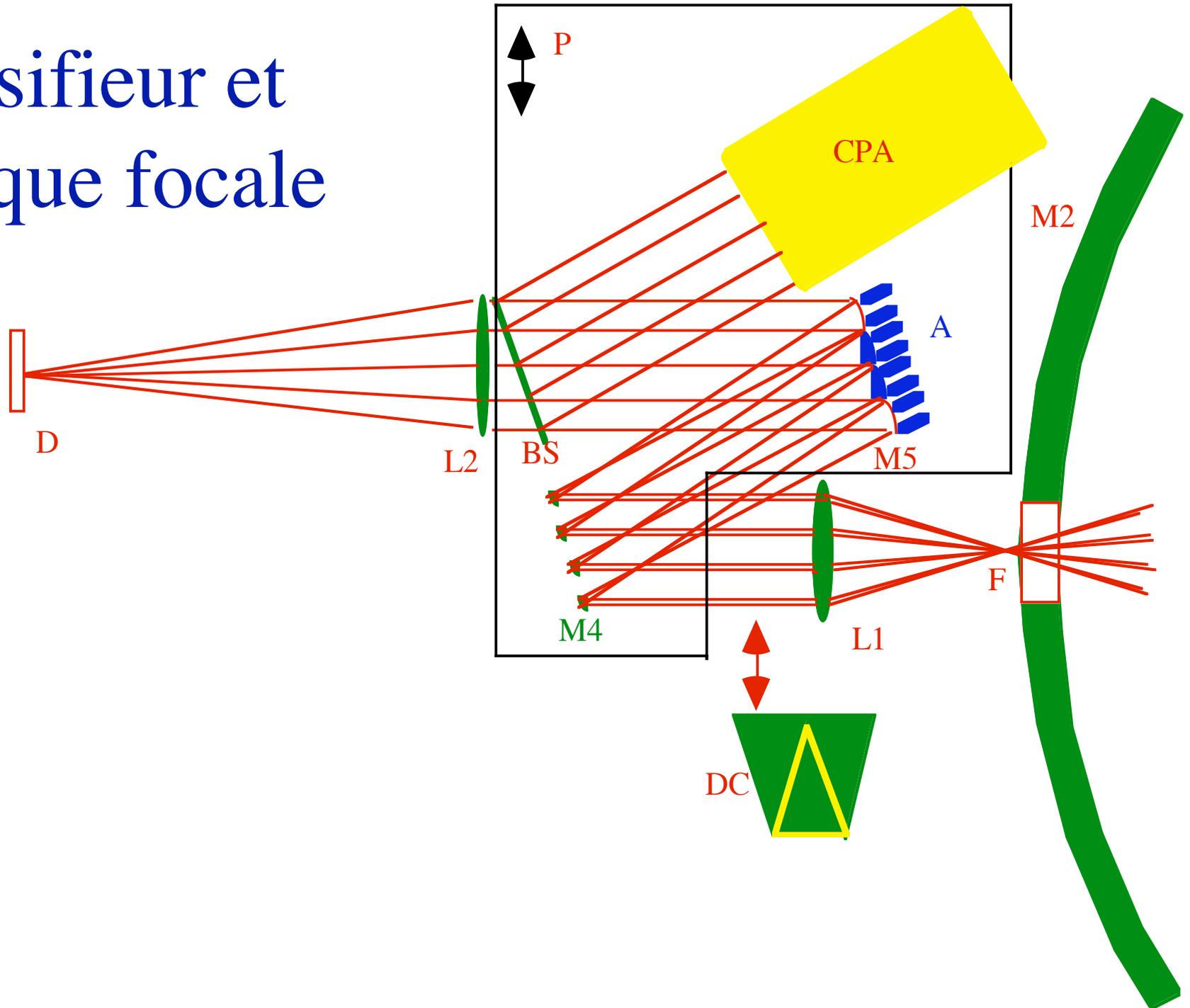
- Longueur de cohérence $\lambda^2/d\lambda$
- Tolerance de phase : tolérance de Rayleigh $\lambda/4$,
moins pour coronagraphie
- techniques de l'optique adaptative non directement applicables à des éléments d'onde séparés

Trouver les franges: methode spectrale



- Transformée de Fourier pour extraire le signal de chemin optique
- information de phase aussi dans les pics
- version automatisée sur GI2T (Koechlin et al.)

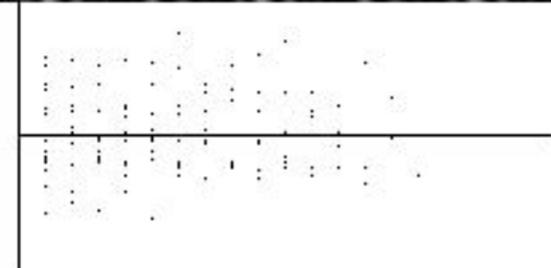
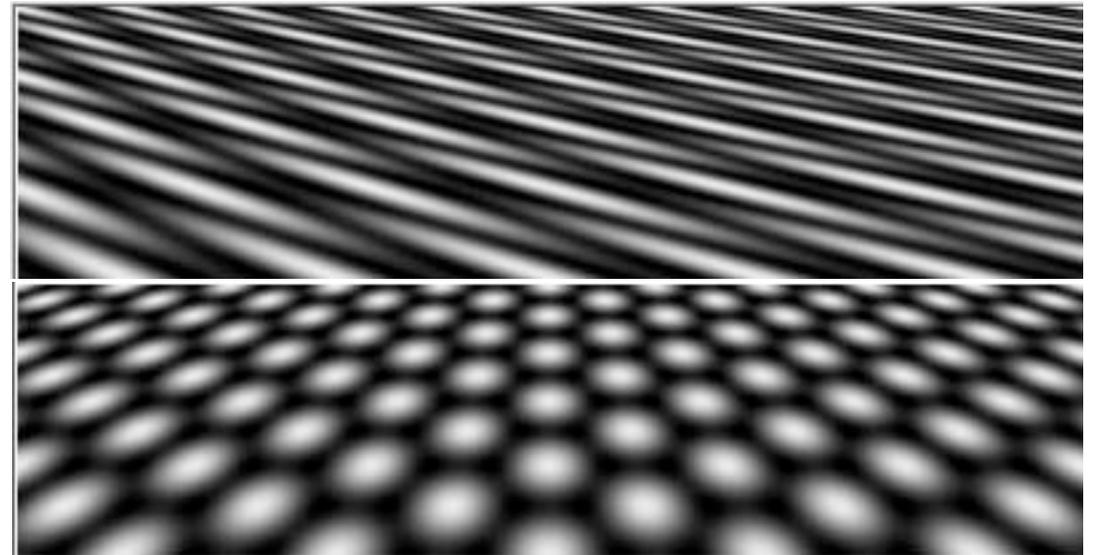
Densifieur et optique focale



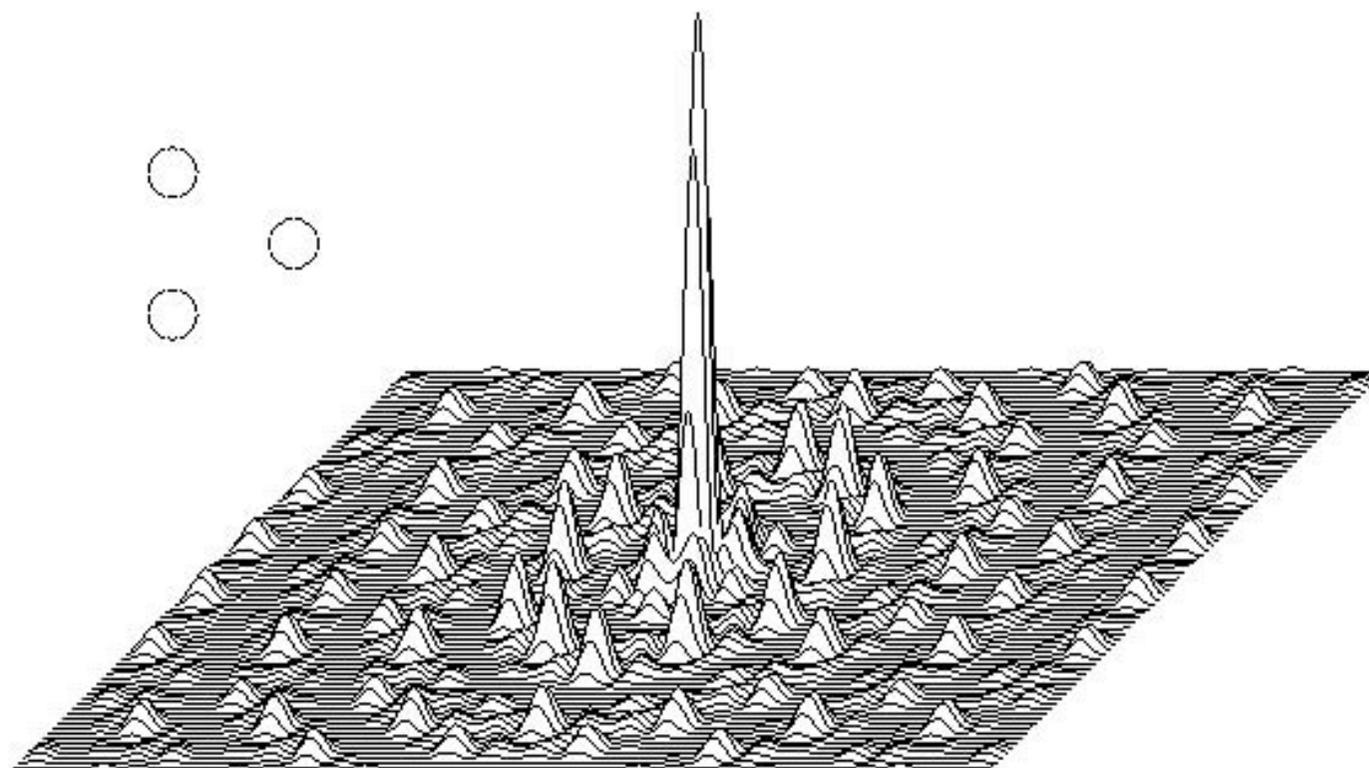
Phasage d'un réseau linéaire

Franges dispersées

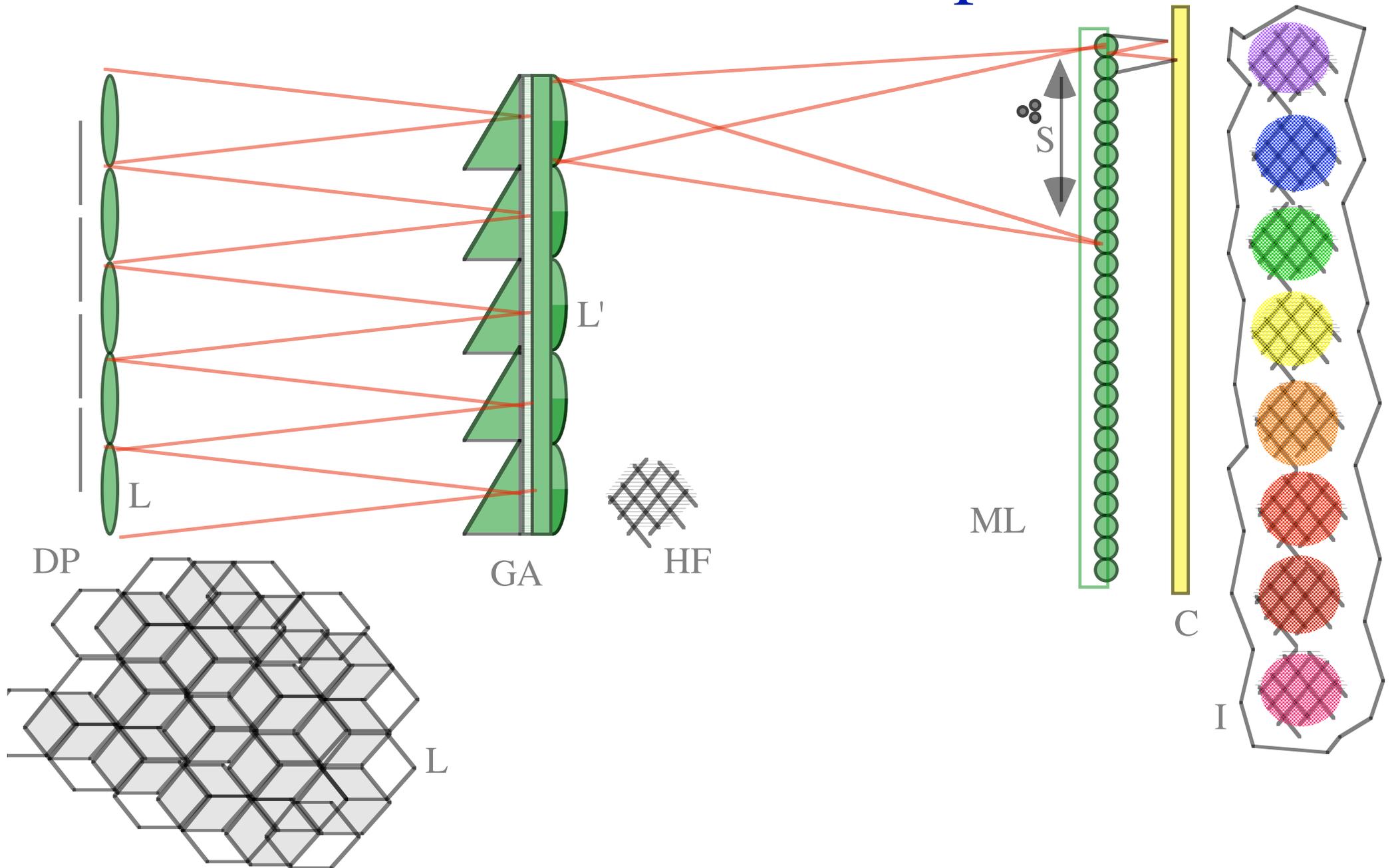
λ



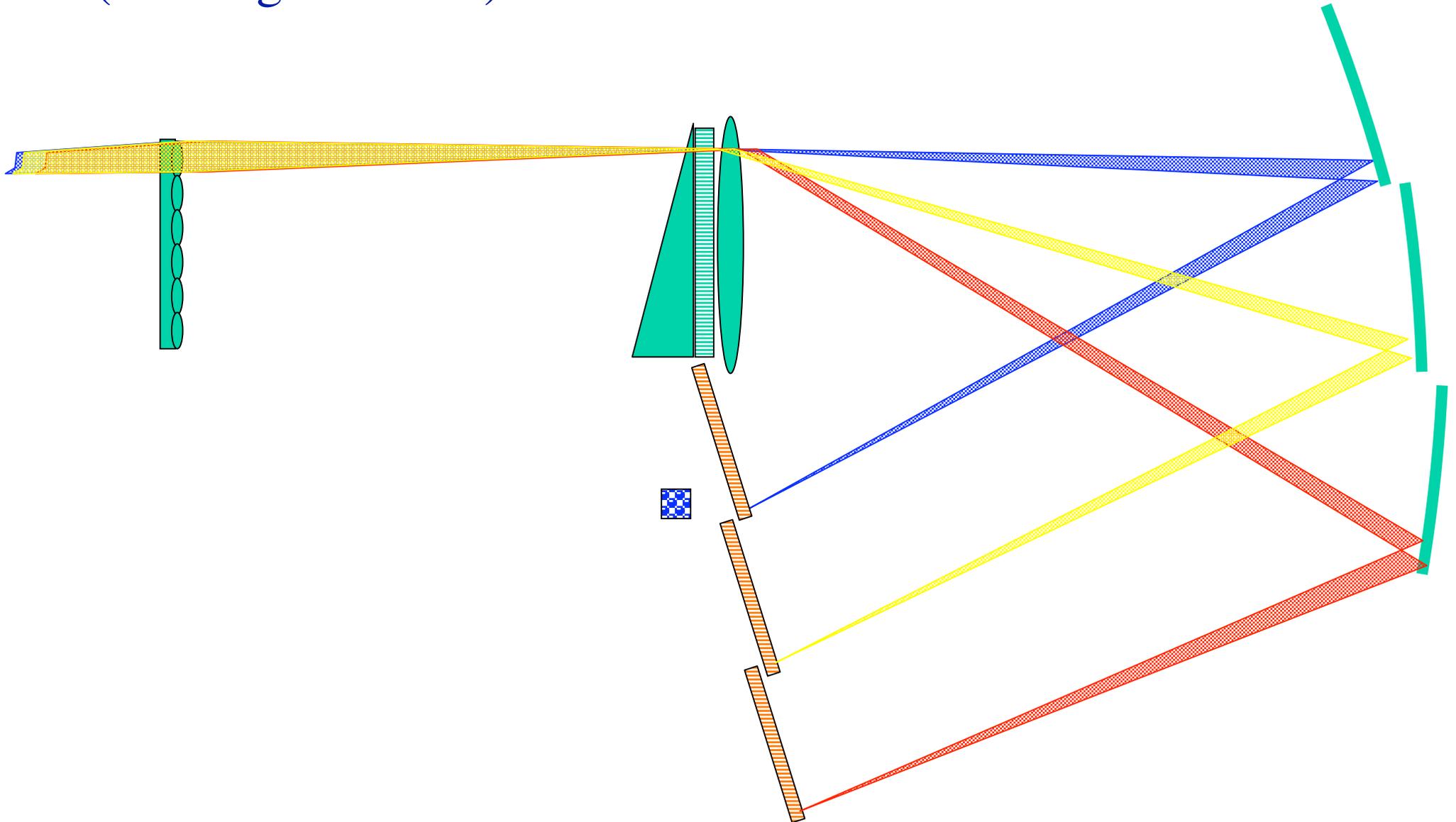
number of apertures= 50 x3 R/r= 3.3



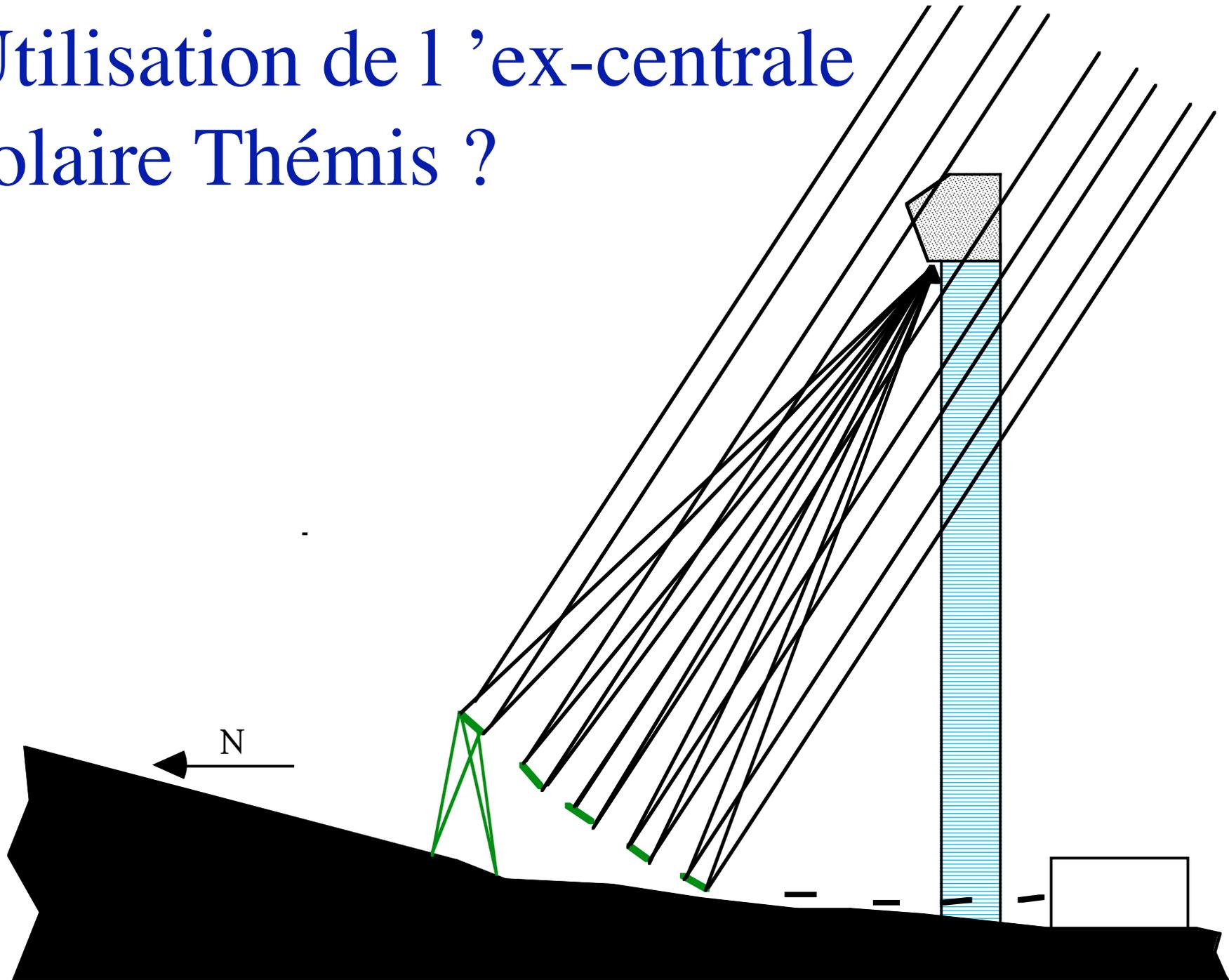
Mise en cohérence et phase

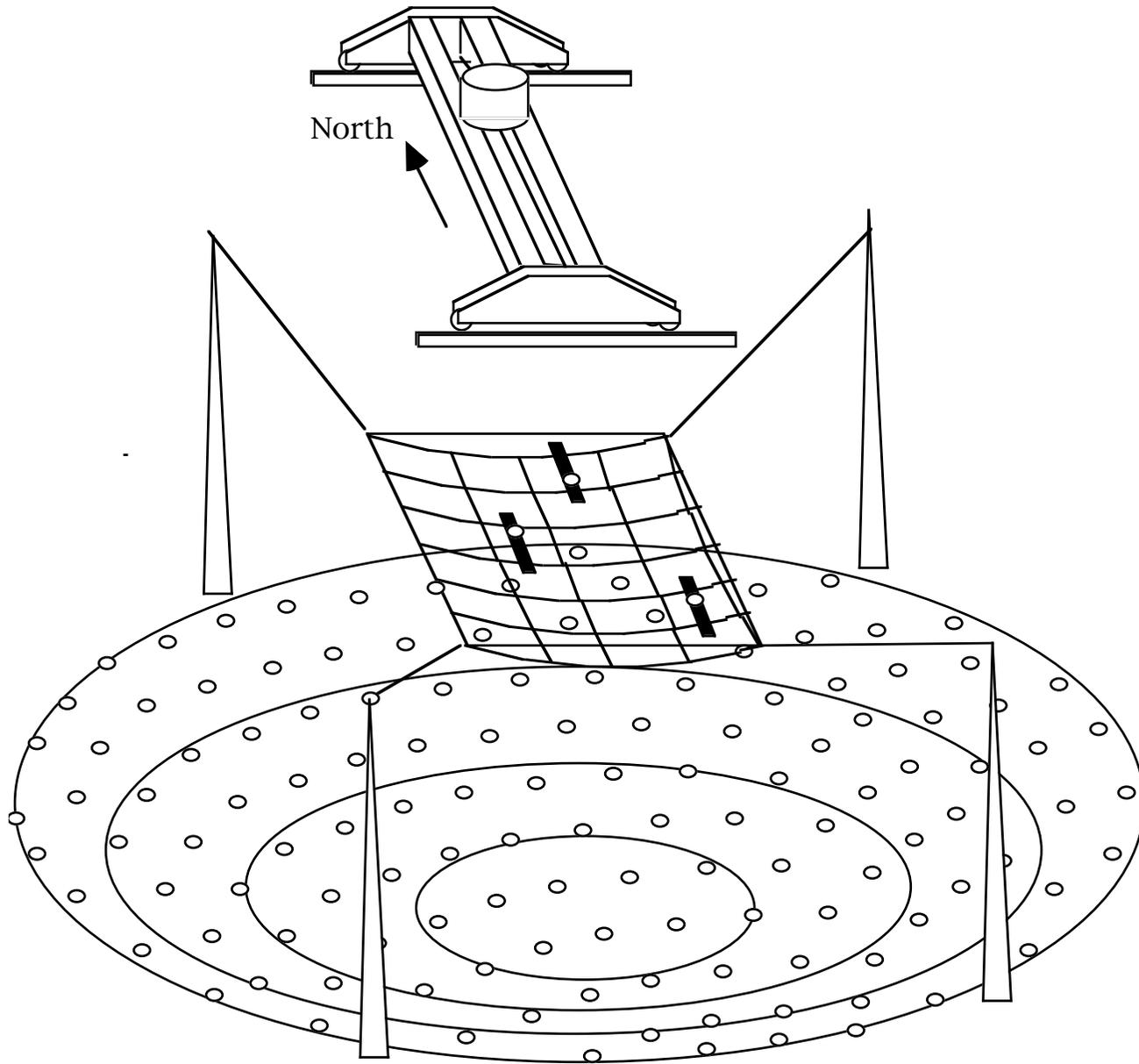


Extension de l'analyseur de Shack-Hartmann mesure de piston et inclinaisons en lumière polychromatique (montage Courtès)

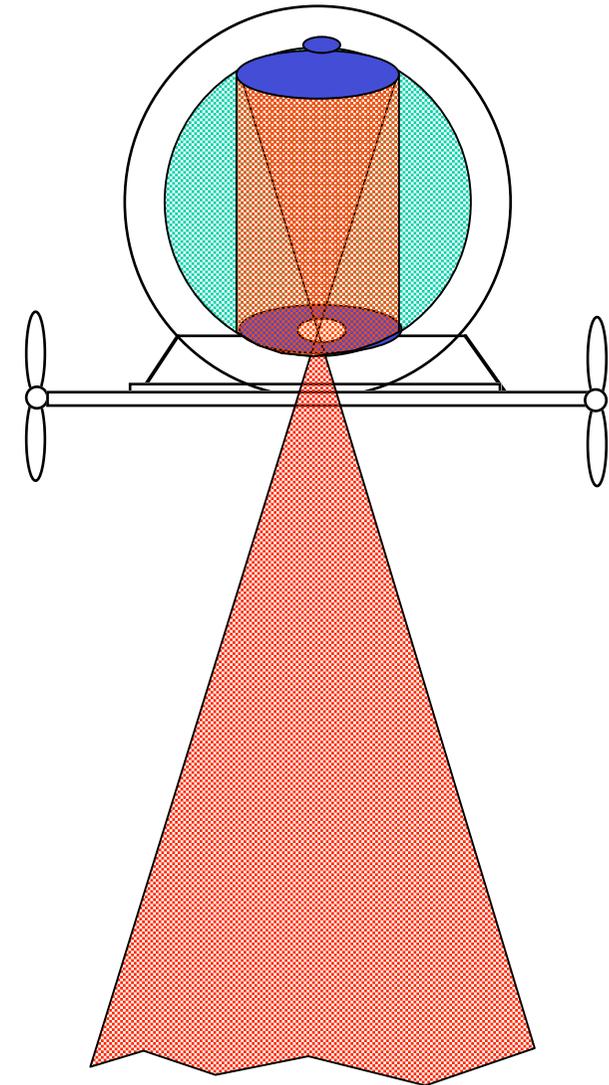
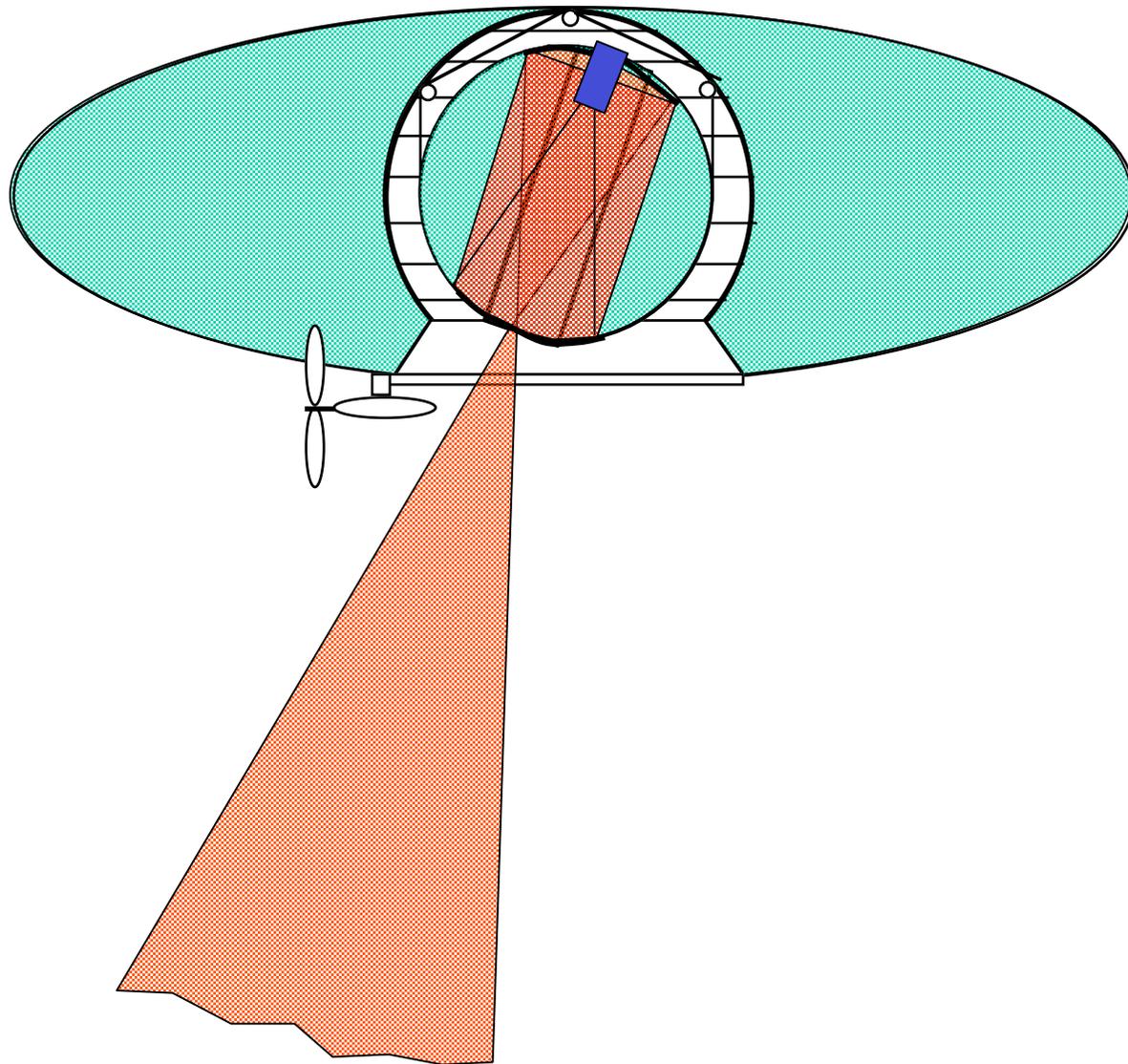


Utilisation de l'ex-centrale solaire Thémis ?



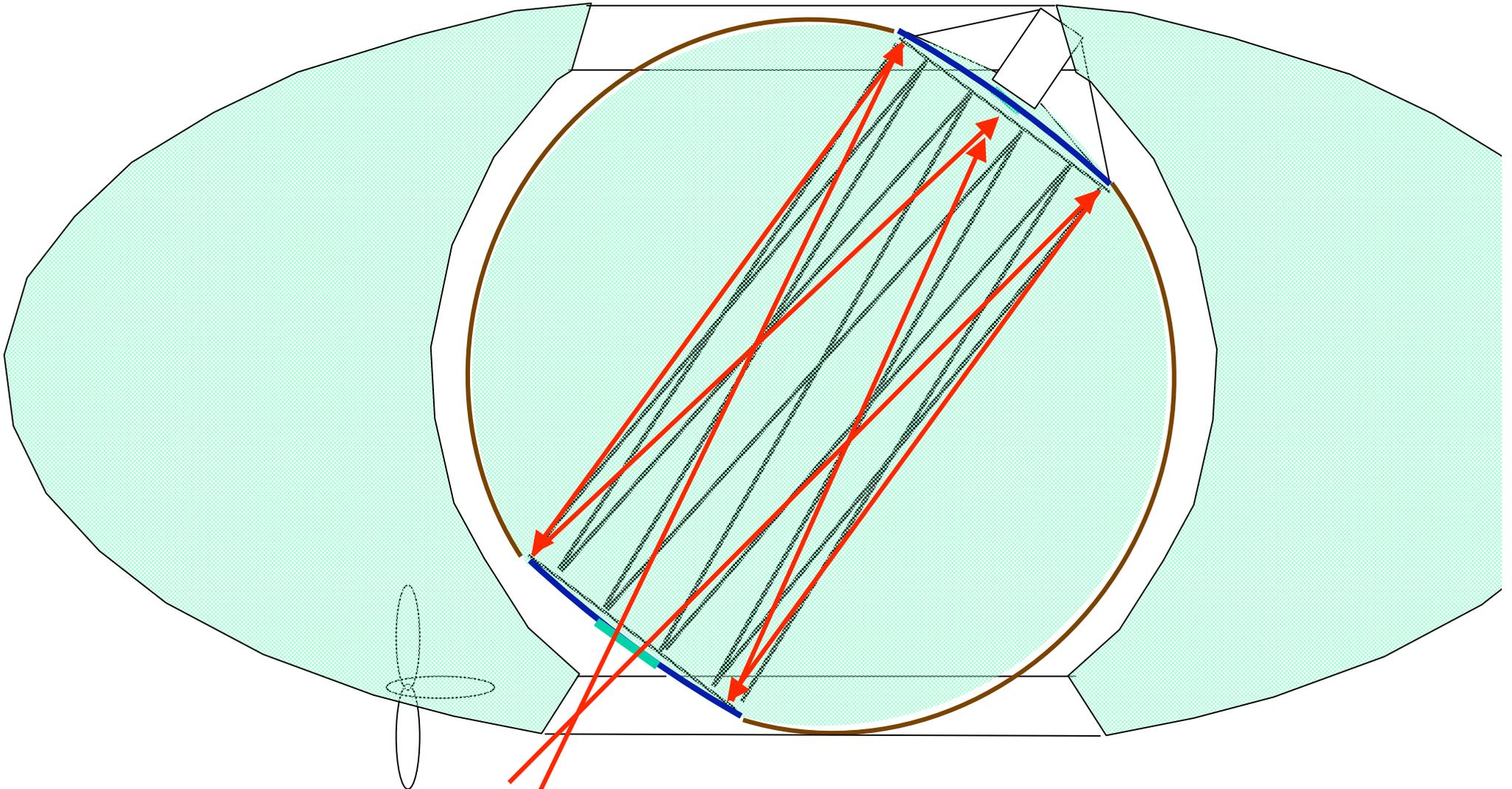


Optique focale en ballon dirigeable ?



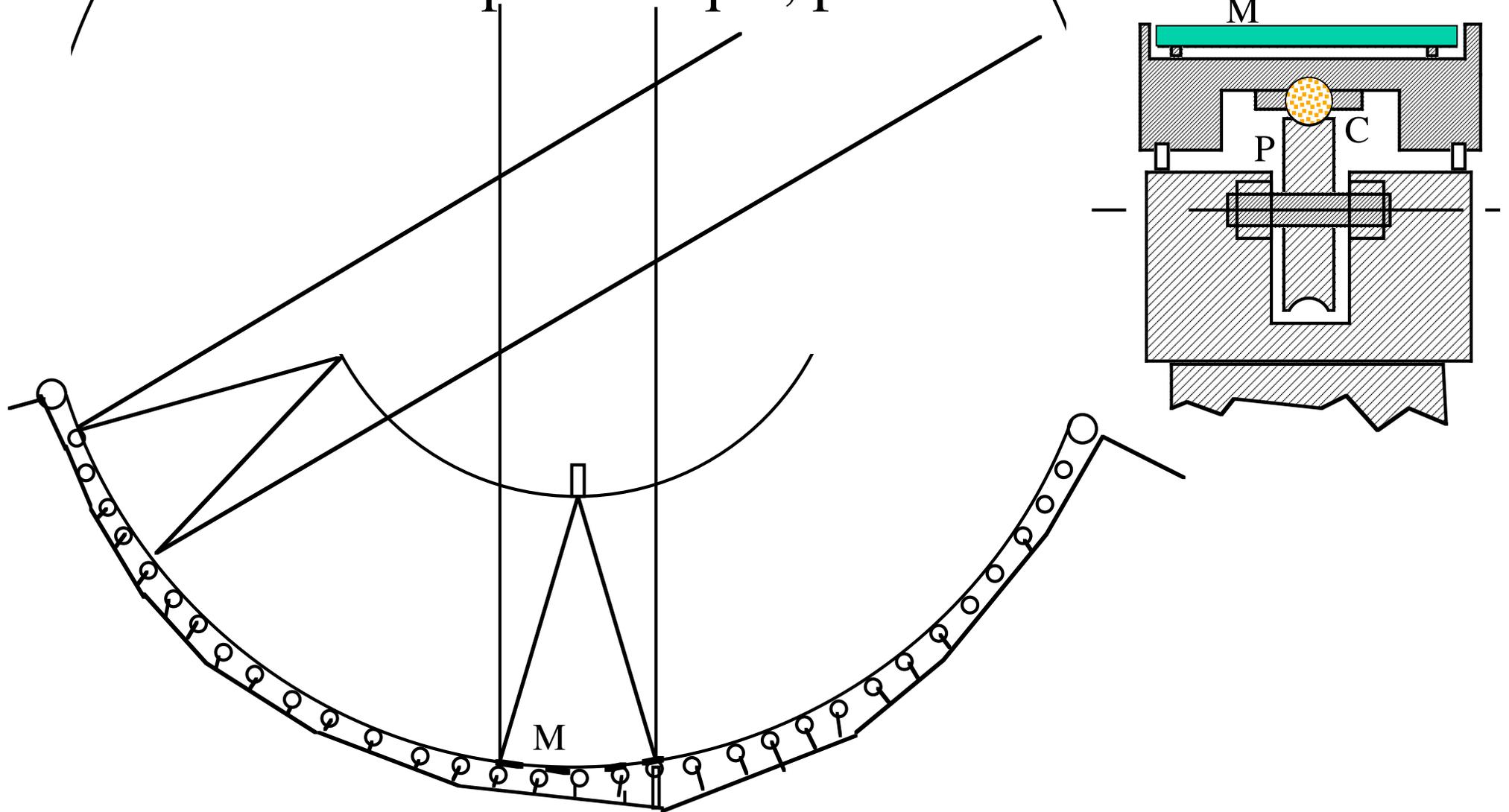
Faisabilité d'un ballon stabilisé

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

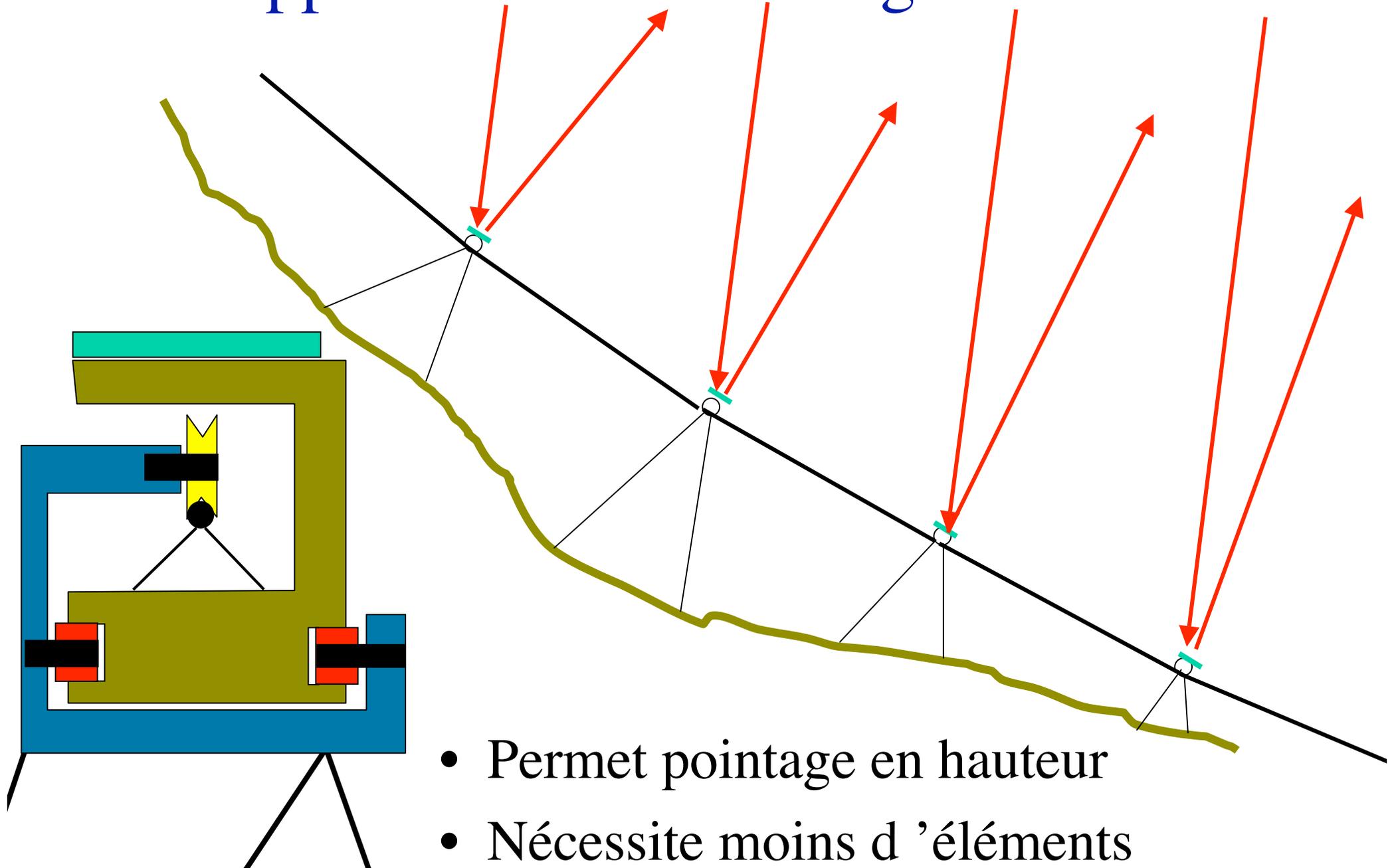


version « télésiège » de CARLINA

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



Câble support mobile « télésiège » ?

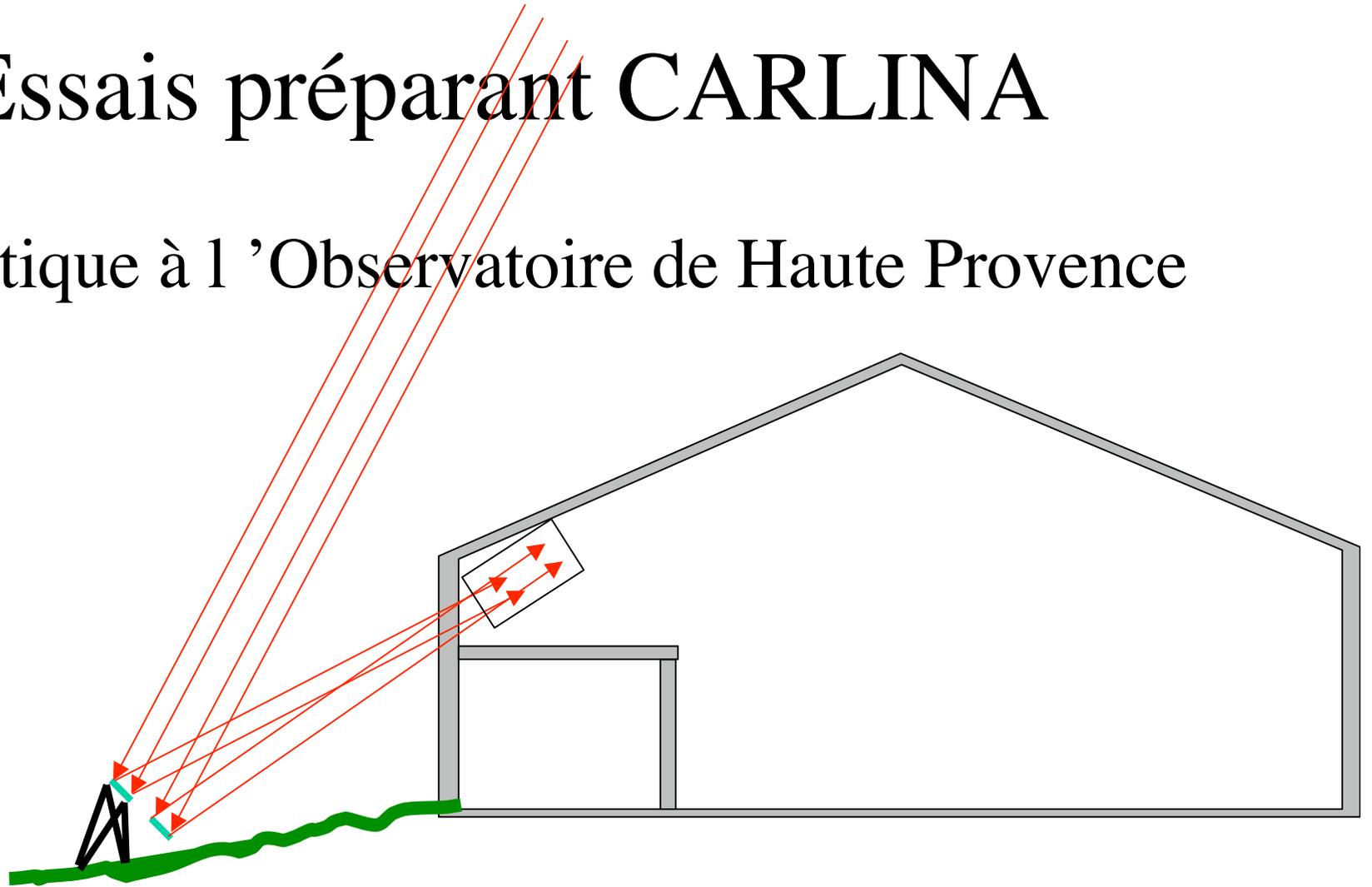


Dimension possible d'un CARLINA

- 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**

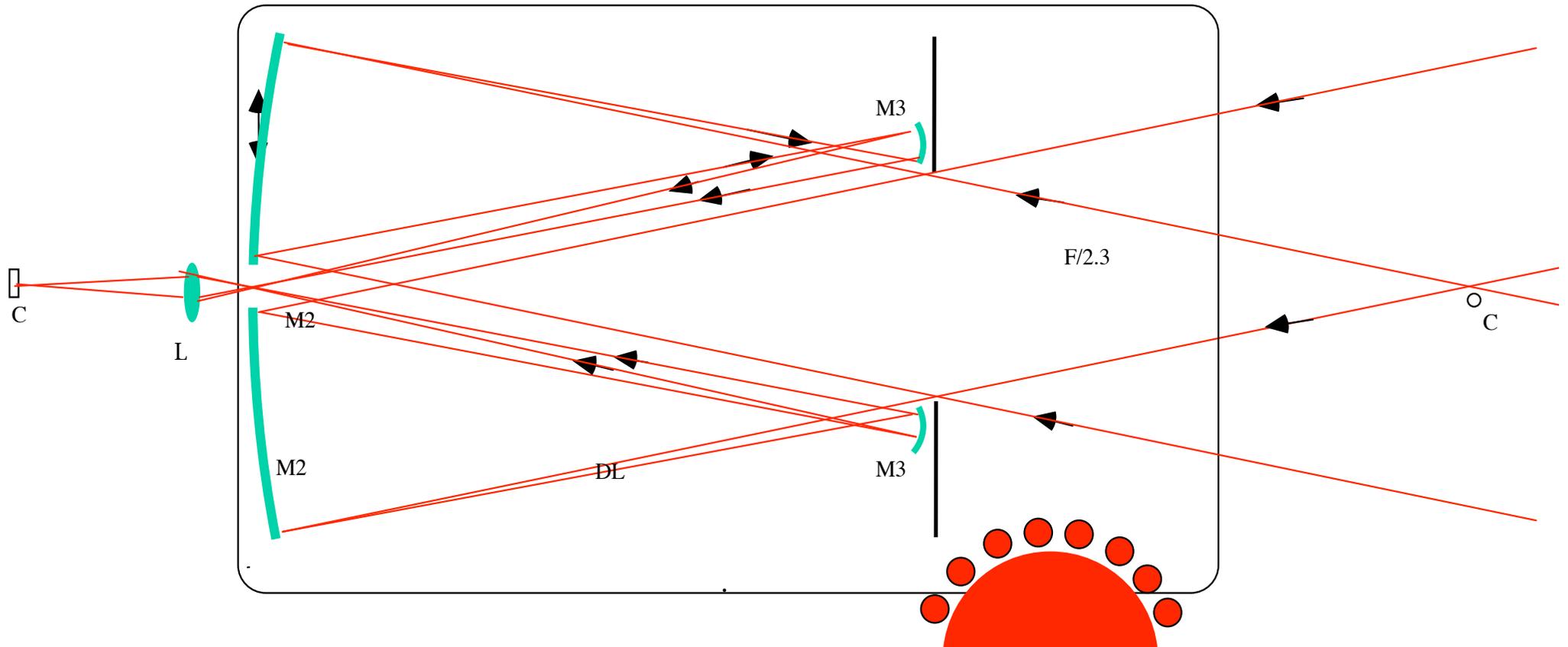
Essais préparant CARLINA

- Essai optique à l'Observatoire de Haute Provence



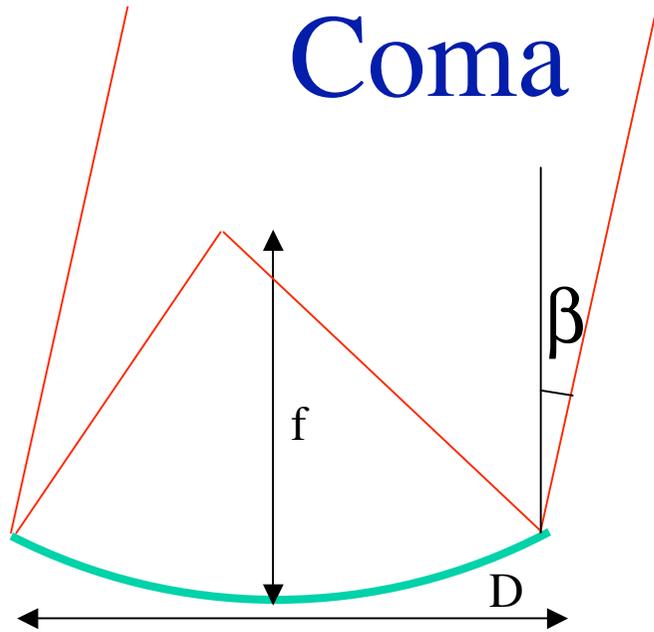
- Essai au radio-télescope d'Arécibo ?

Combineur de faisceaux collimatés



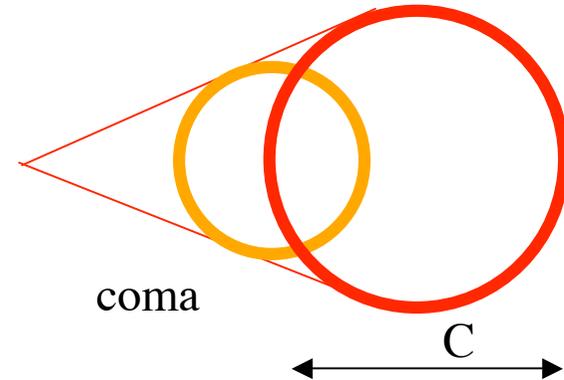
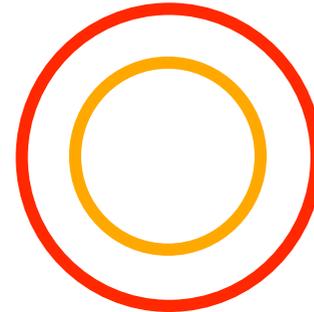
- Utilisable avec éléments M1 plans, mais.....
- Correcteur Mertz inutilisable:
 - nécessite lignes à retard
 - éclatement du point de croisement (coma)

Coma



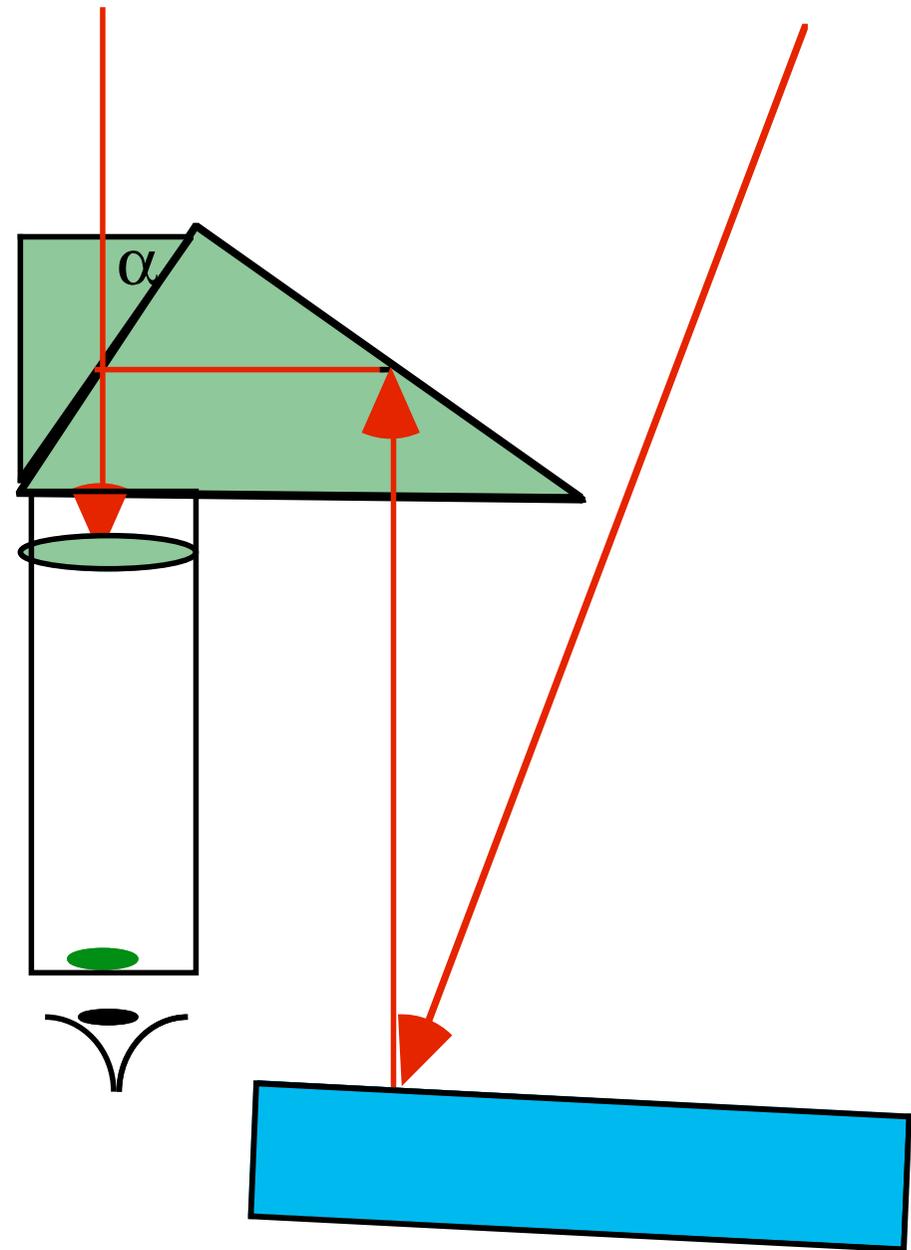
$$C = (1/16) f (D/f)^2 \beta$$

Ouverture annulaire

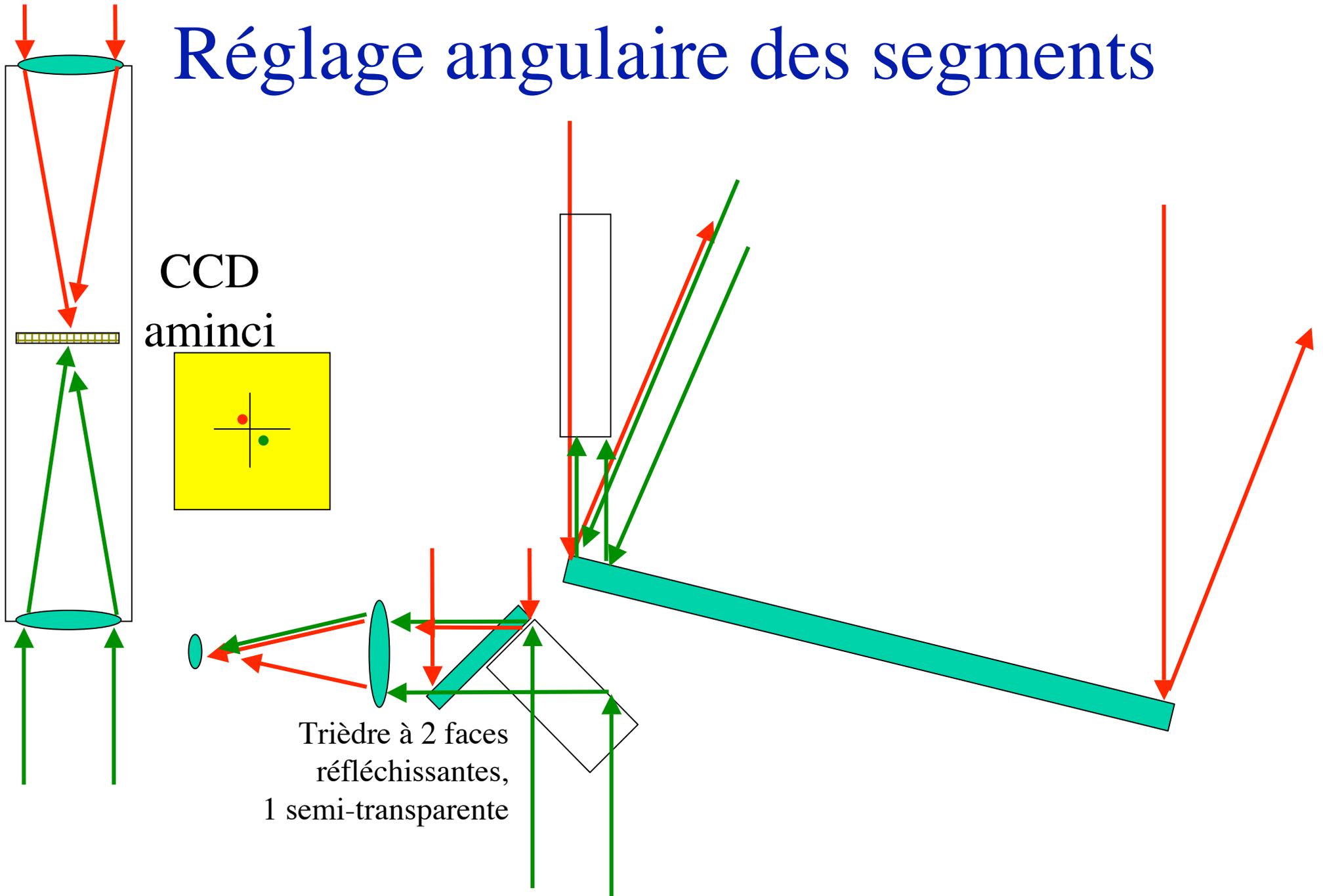


- Exemple pour Arécibo:
- distance focale 130m
- diamètre d'ouverture 60m
- demi-champ β 3.7 degrés
- largeur de l'aigrette 0,112
- Delta 10 mm

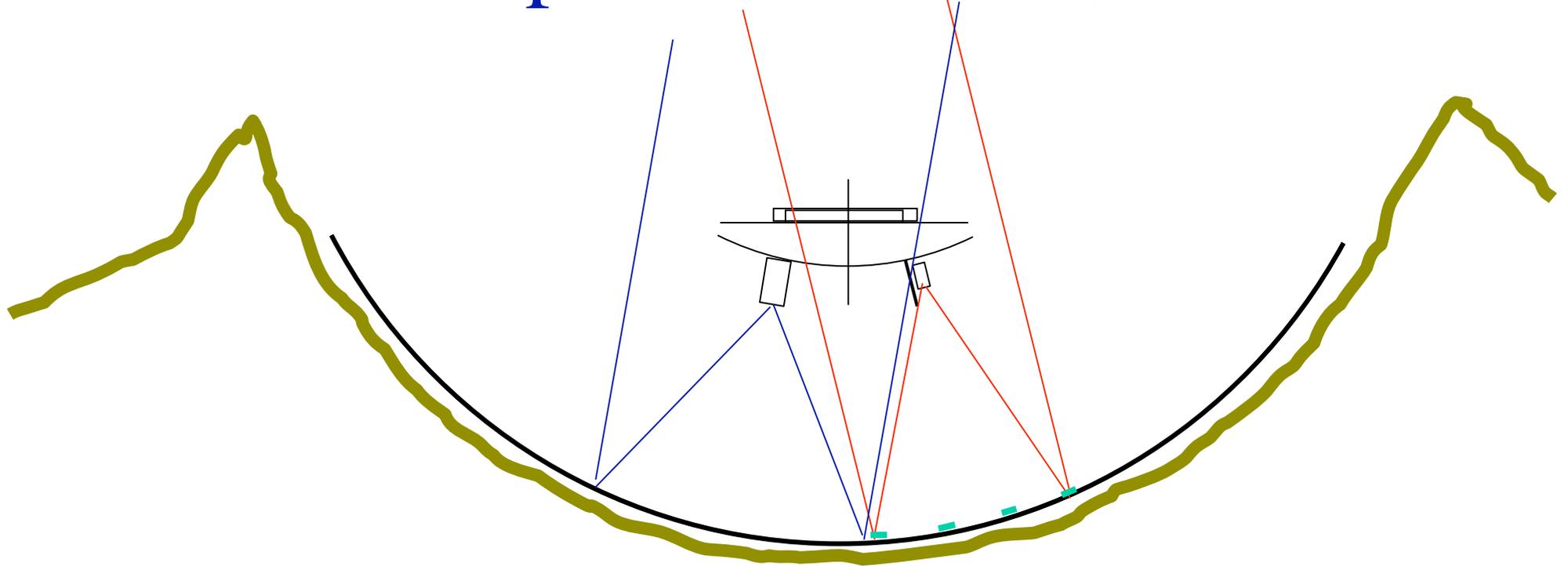
Viseur de réglage



Réglage angulaire des segments



Le radio-telescope d 'Arecibo (Porto Rico)

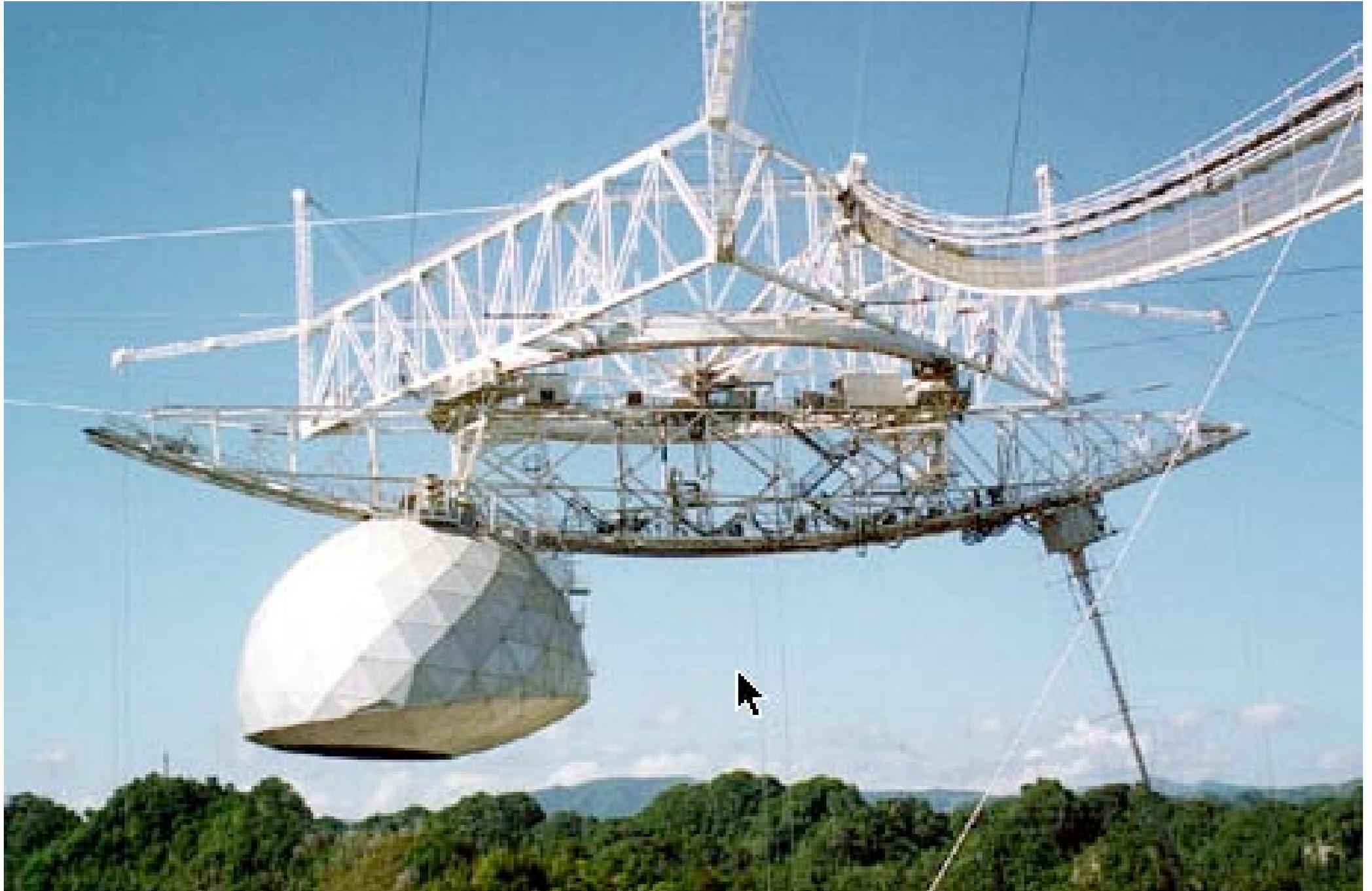


- « bol » de 305m, focale 130m
- Découverte du pulsar binaire (prix Nobel de Hulse et Taylor)
- Plusieurs détecteurs mobiles, $z < 20^\circ$
- Utilisable pour essais d 'hyper-télescope optique ?

Radio-télescope d'Arécibo (Porto Rico)



Rail focal orientable



Sous le miroir



Deuxième chariot et détecteur

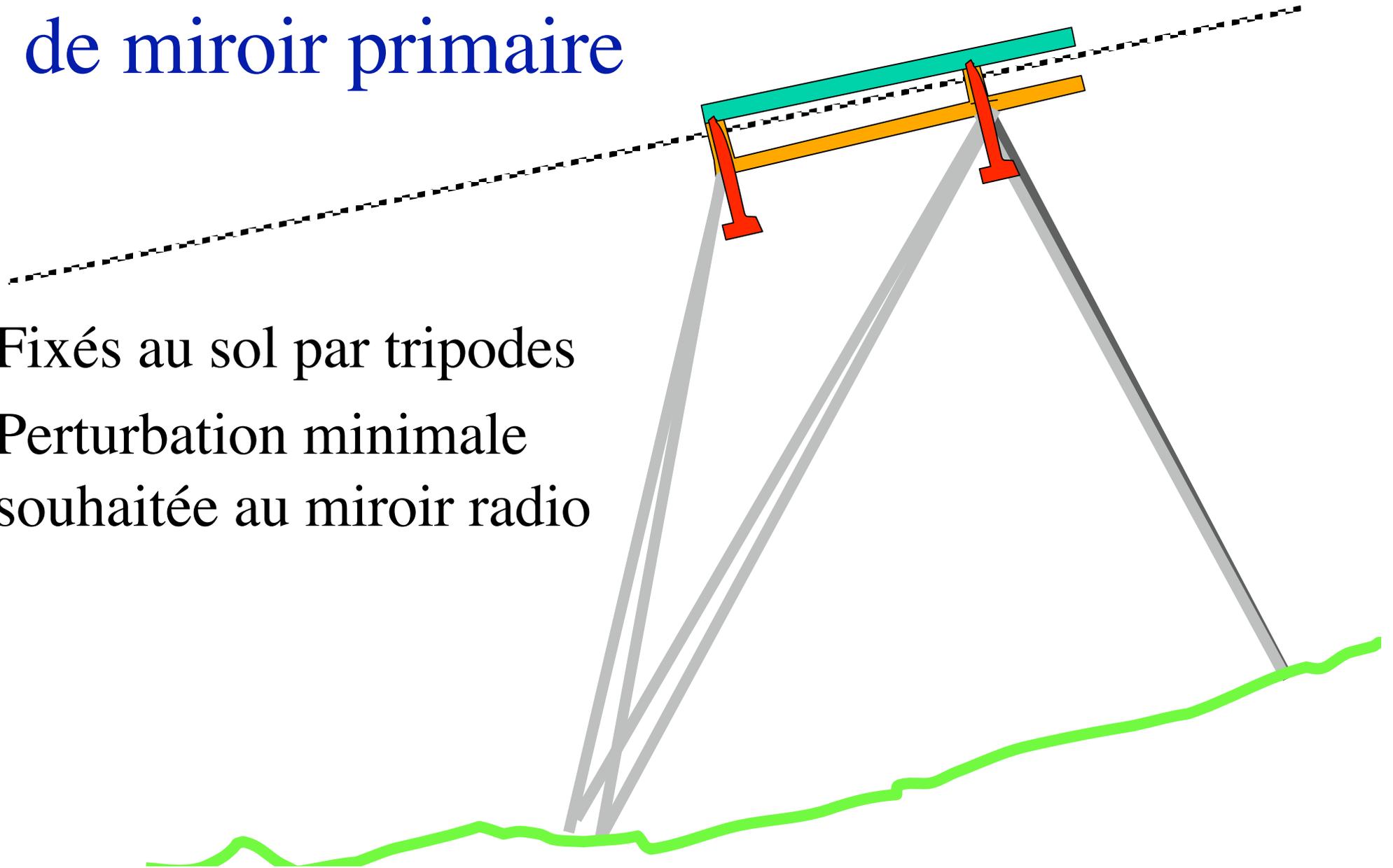


Essais à Arecibo ?

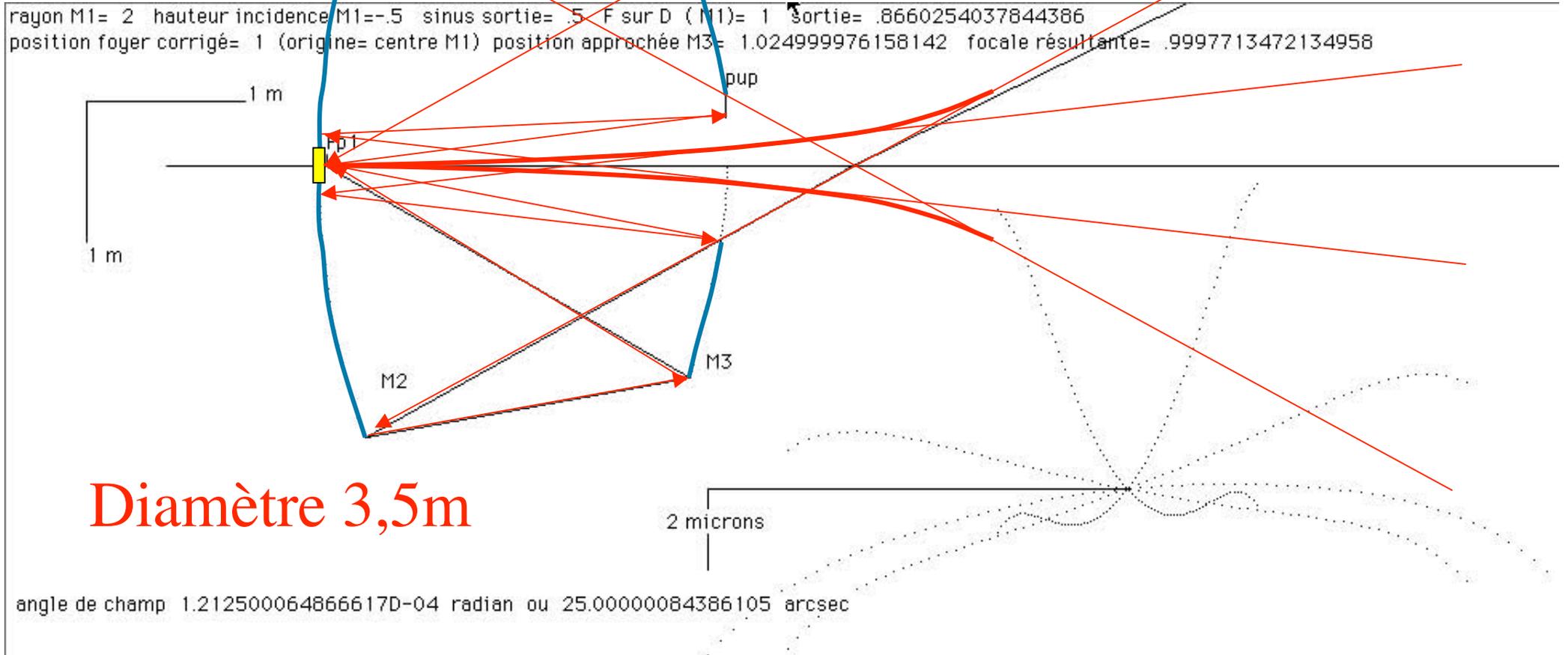
- caméra suspendue
- Utiliser le guidage existant (précision 1mm)
- Erreurs de guidage et foyer tolérables, période 1s
- Déclinaison de -2° à $+38^{\circ}$ (Sirius, Algol, exclus, mais Tau Boo avec planète à 10^{-4} , 3 m“)

Montage des éléments de miroir primaire

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



Correcteur d'aberration à f/1 pour Arecibo



Conclusions

- OVLA: $> 10\text{km}$, foyer unique, complexe
- CARLINA:
 - plus simple que OVLA, foyers multiples
 - Mais difficultés: **ballon, site**
 - limité à 1 km ($> 1\,000\text{ km}$ dans l'espace)

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)