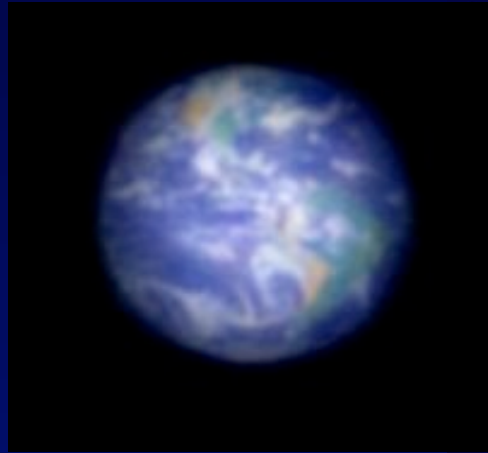


Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Cours à Paris les mardis à partir du 12 Février
- 3 cours & séminaires à Nice le 29 Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers des projections y seront affichés

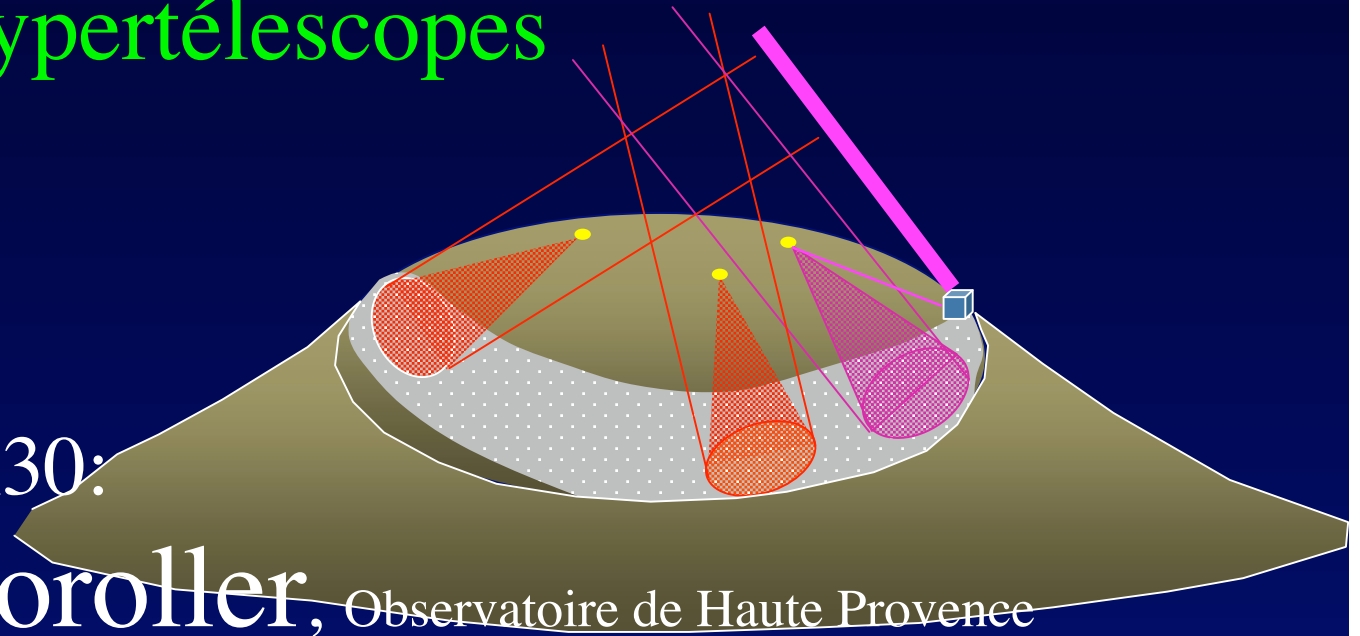
Calendrier 2008

- 18 Mars: Faisabilité d'une "Etoile Guide Laser" pour mettre en phase les hypertélescopes
 - Séminaire: H. Le Coroller , OAMP
- 25 Mars **"Propositions d'hypertélescopes pour l'espace: Stellar Imager et Luciola"**
 - 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

Faisabilité d'une Etoile Guide Laser pour mettre en phase les hypertélescopes (suite et fin)

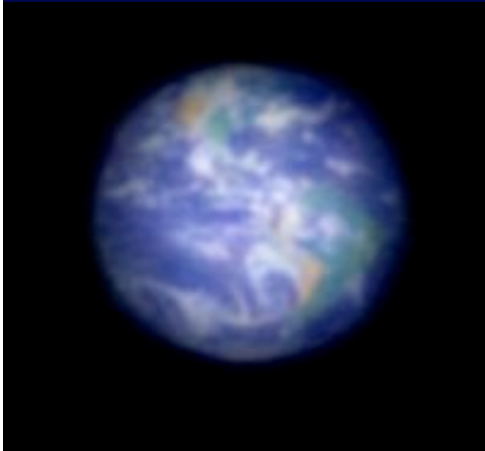


Séminaire à 17h30:

Hervé Le Coroller, Observatoire de Haute Provence

"Nouvelles de Carlina (Co-phasage des miroirs du prototype de l'OHP) ; « Dernières découvertes sur les exo-planètes à l'aide des nouveaux spectrographes Sophie, Harps et du Satellite COROT "

Vers la recherche de vie

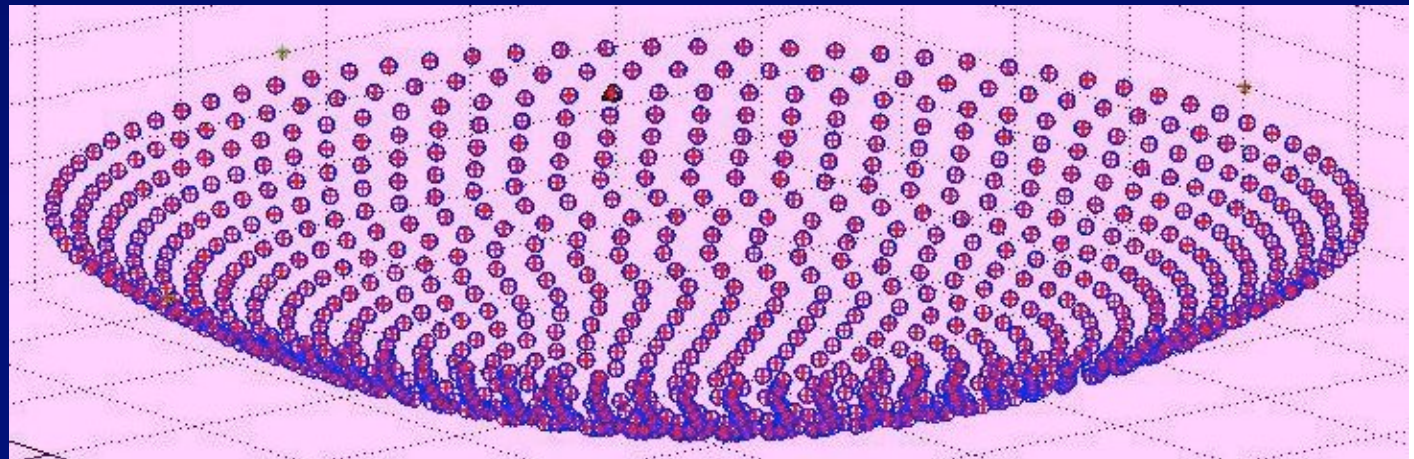


- Voir ainsi une Terre à 10 années lumière ? Et sa végétation ?
- C'est possible avec un hypertélescope de 100km:
 - 100 miroirs de 3m
 - ou 10 000 de 30cm
 - ou un million de 3cm, piégés par laser ?

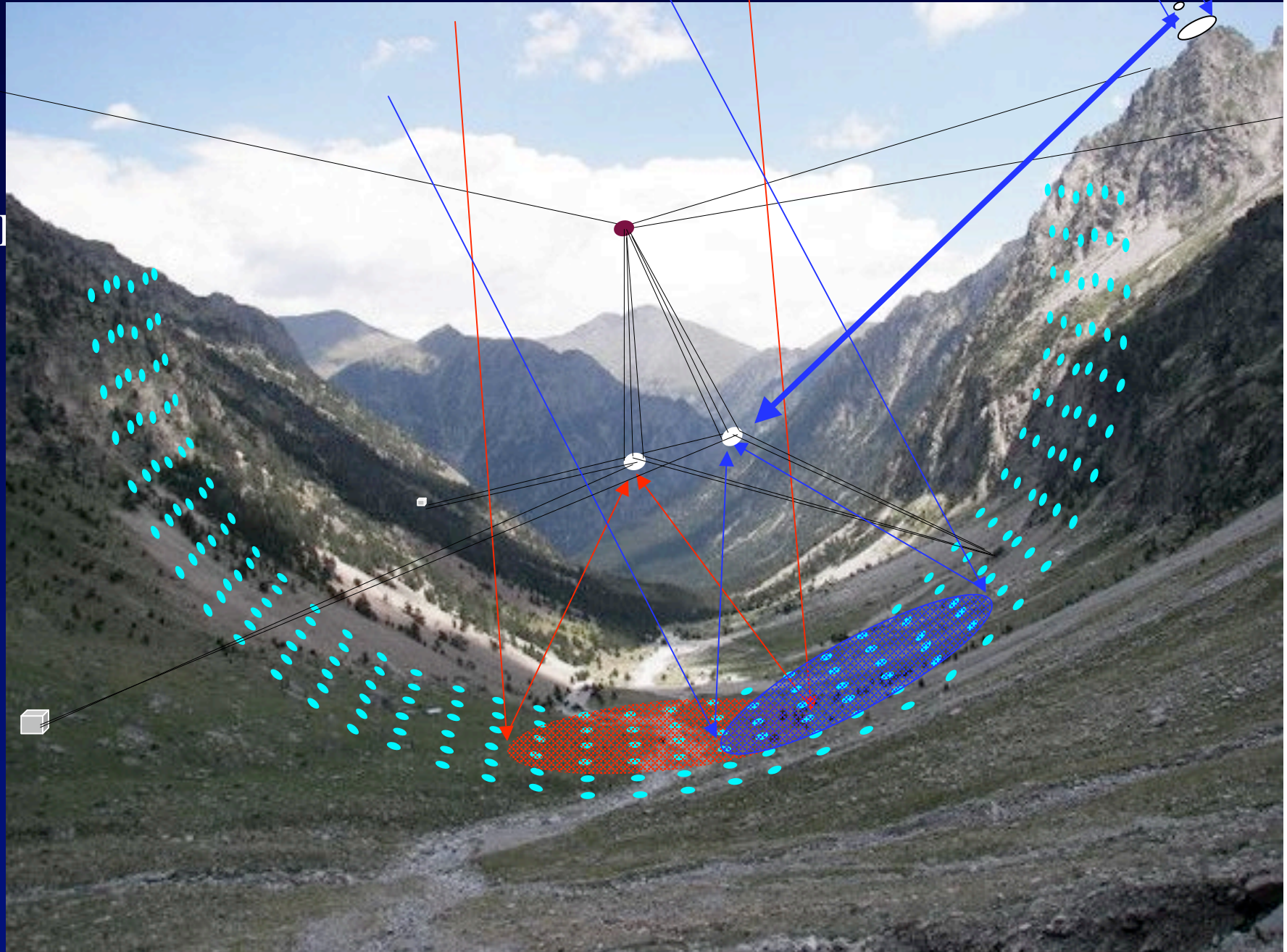
-

Une nouvelle famille d'interféromètres: les hypertélescopes

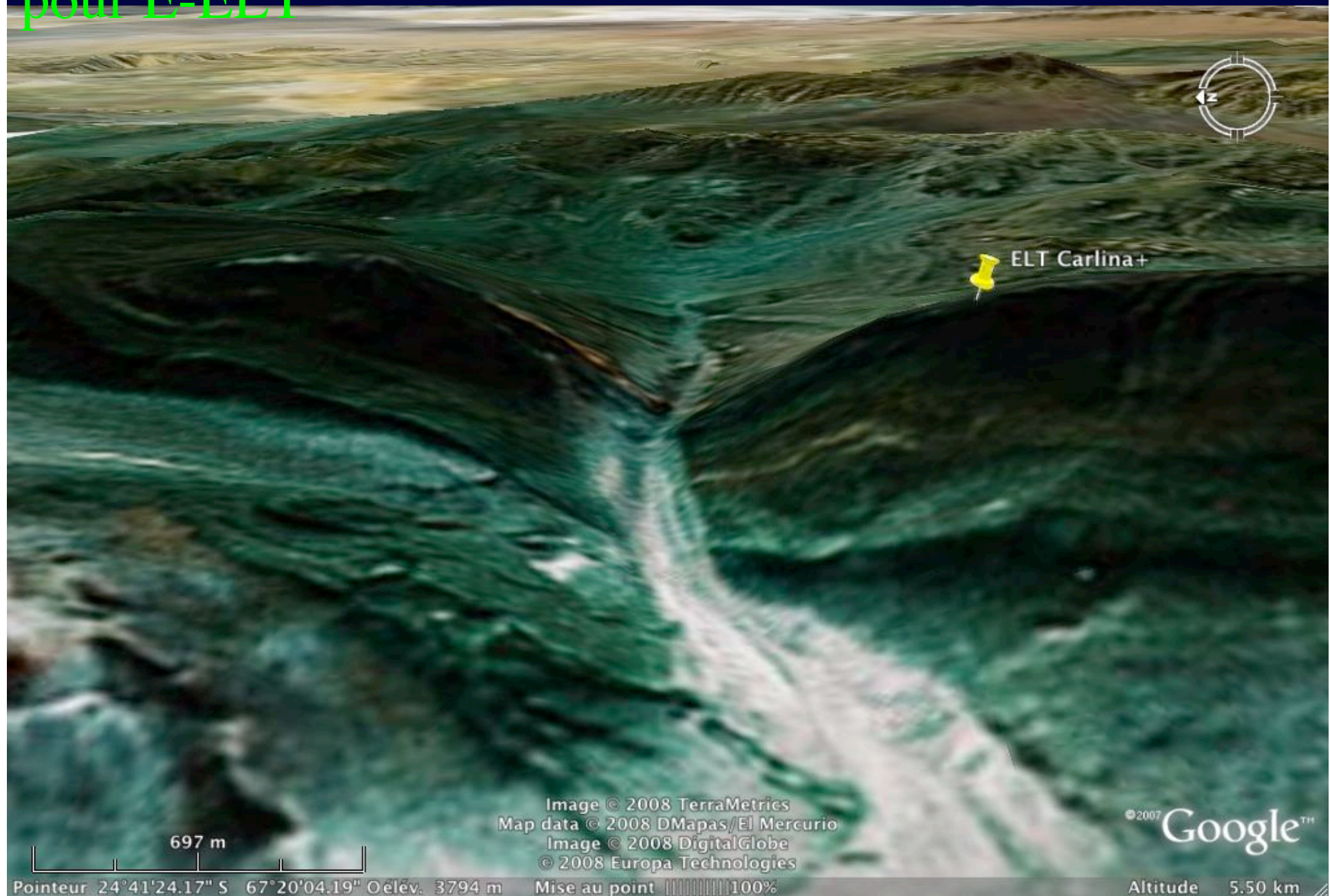
- Nombreuses ouvertures, petites ou grandes
- Permet l'imagerie directe
- ... et la coronographie
- Vastes perspectives au sol et dans l'espace

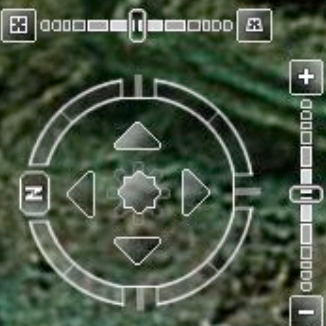


Couplage ELT/hypertélescope à Barrosa



Tolar Grande, 4600m, Argentine, prospecté par ESO pour E-ELT

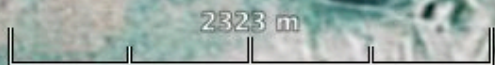




ELT Carlina+

Image © 2008 TerraMetrics

© 2007 Google™

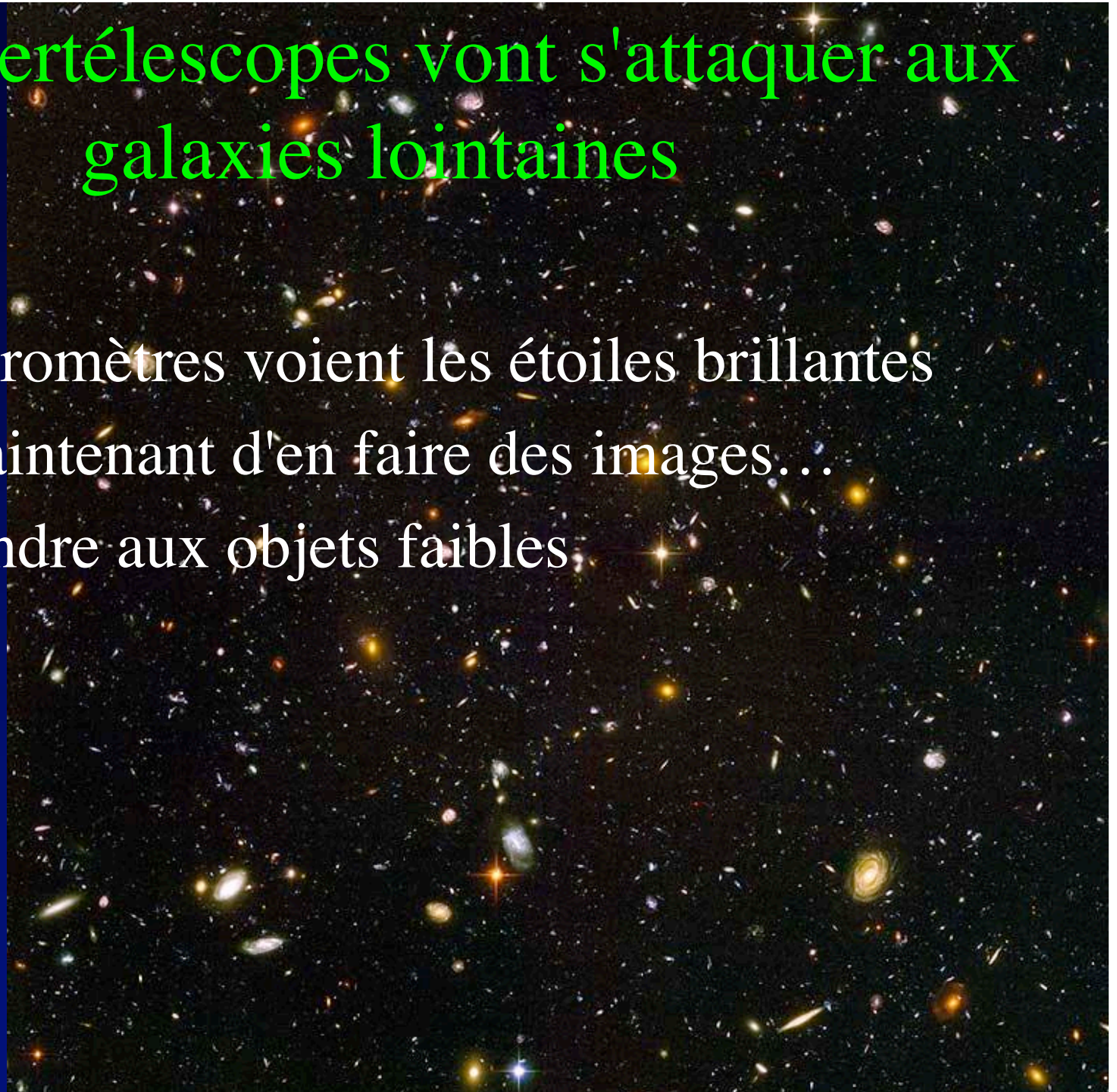


Pointeur 24°41'24.17" S 67°20'04.19" O élév. 3794 m Mise au point |||||100%

Altitude 11.64 km

Les hypertélescopes vont s'attaquer aux galaxies lointaines

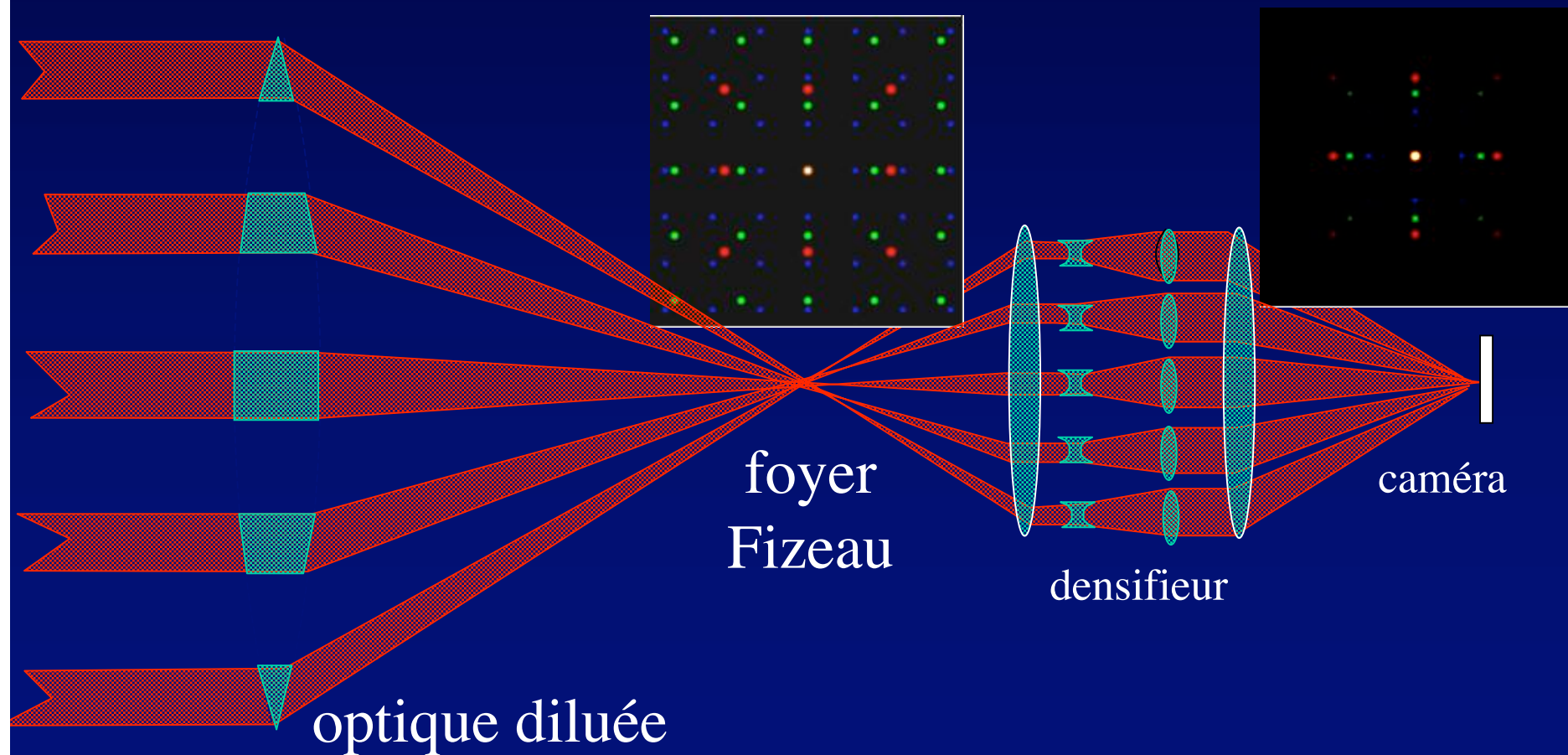
- Les interféromètres voient les étoiles brillantes
- Il s'agit maintenant d'en faire des images...
- ... et d'étendre aux objets faibles



Principe de l'hypertélescope

ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

(Labeyrie A&A, 1996)



Simulations d'imagerie hypertélescope

objet

ouverture

fonction
d'étalement

image

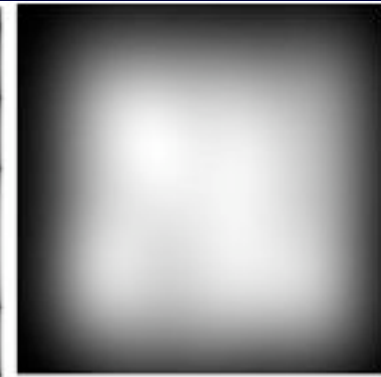
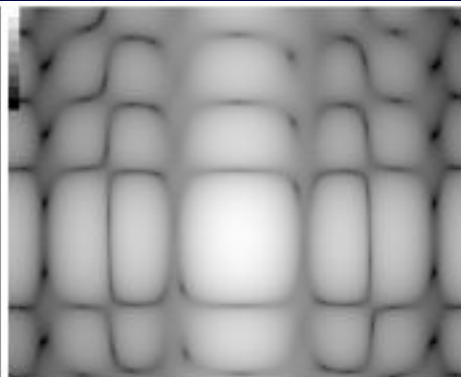
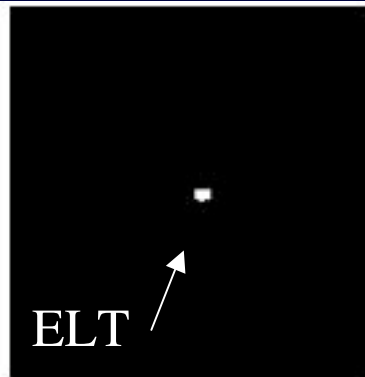
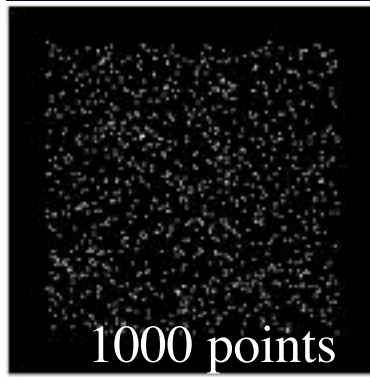
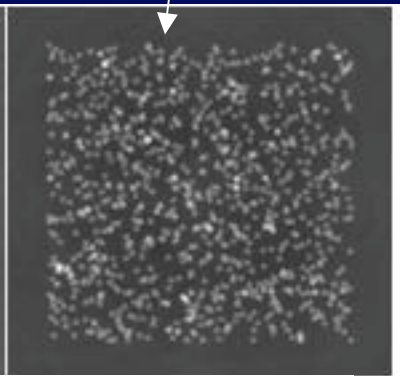
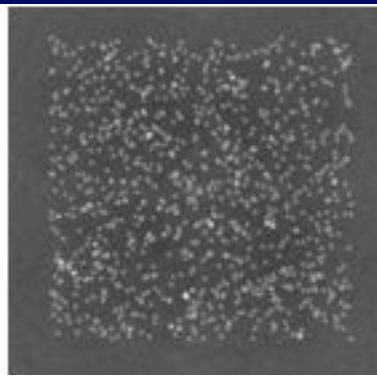
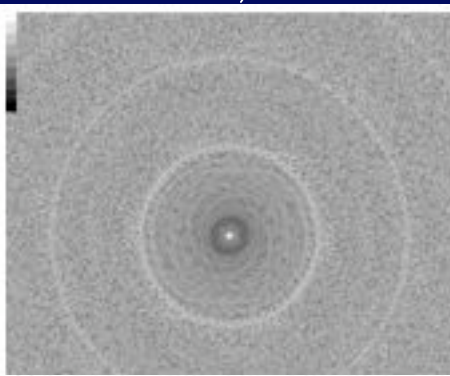
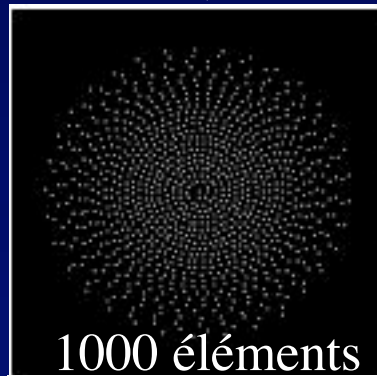
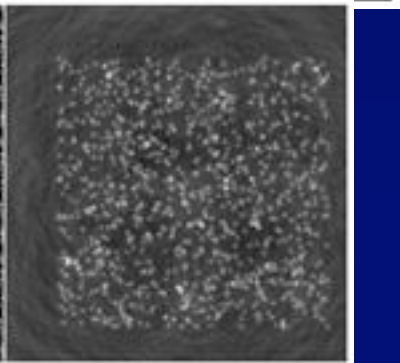
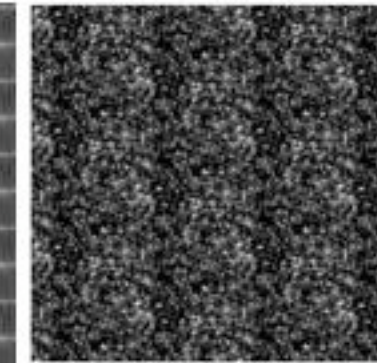
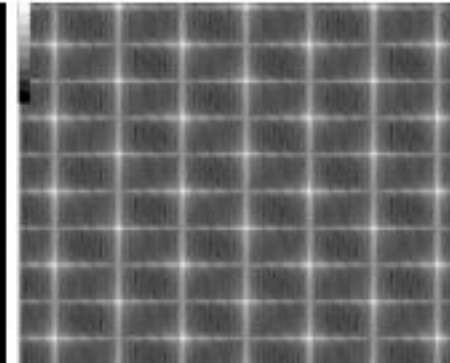
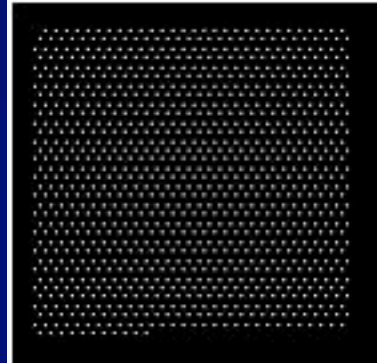


Image avec
rotation

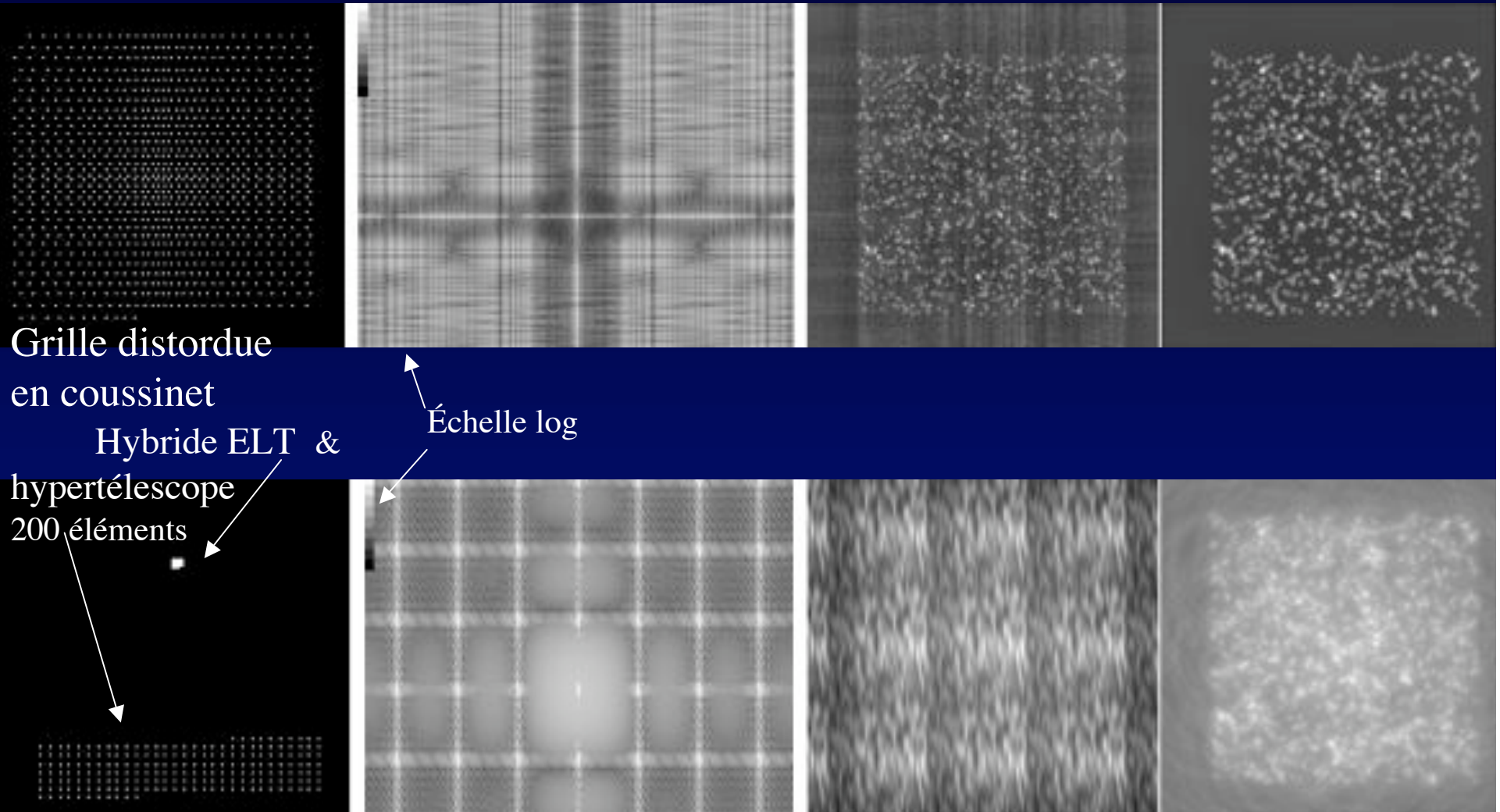
spirale



grille

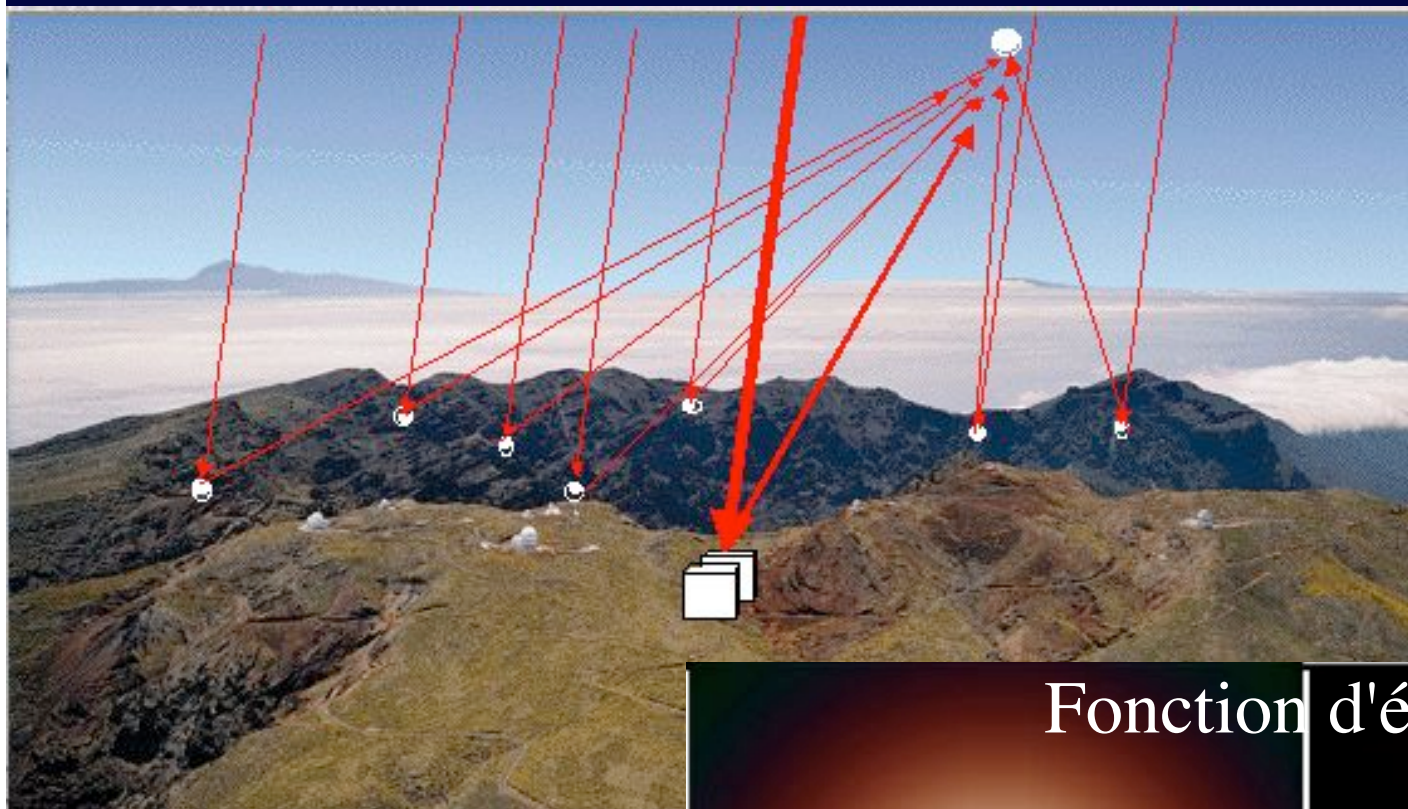


Simulations d'imagerie hypertélescope (suite)

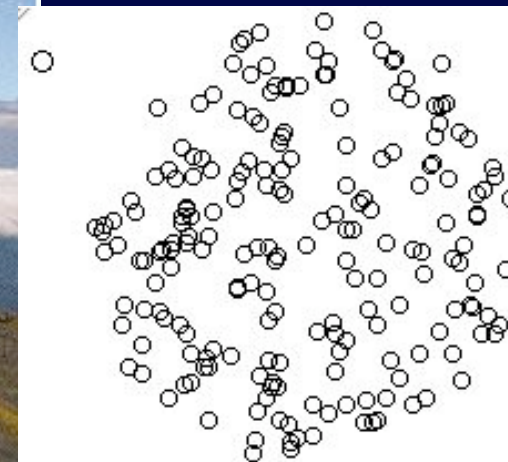


- la rotation d'ouverture améliore l'image en lissant les pieds
- le couplage ELT & hypertélescope est un peu moins bon

Une synergie intéressante: ELT et hypertélescope couplés



Densification de pupille
inéegale: 1 et 40



- ELT de 50m + hypertélescope 1km,
à 200 ouvertures de 1m
- pic rétréci et intensifié x 17

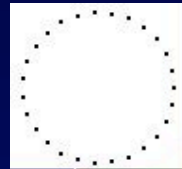
Fonction d'étalement

ELT seul

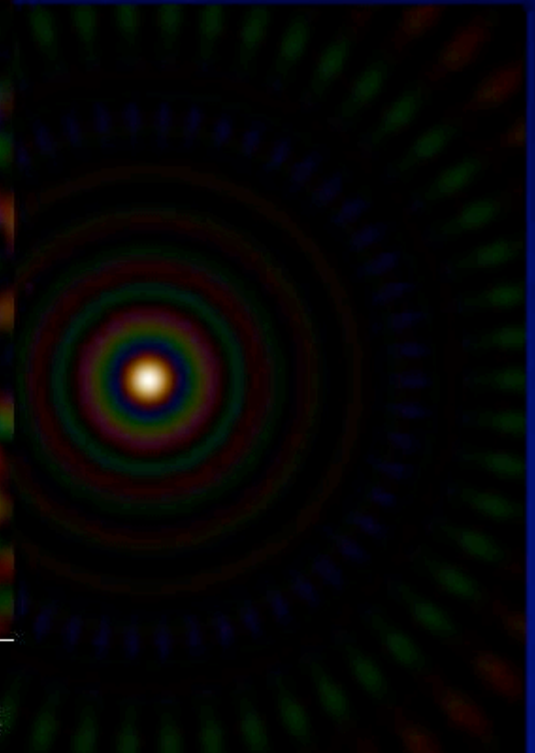
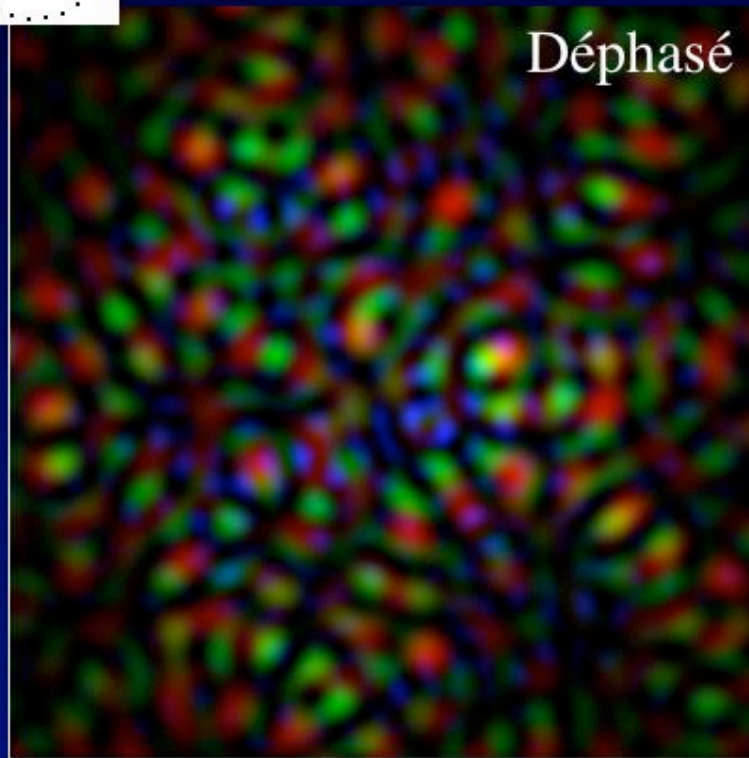
ELT couplé

Mettre en phase les interféromètres

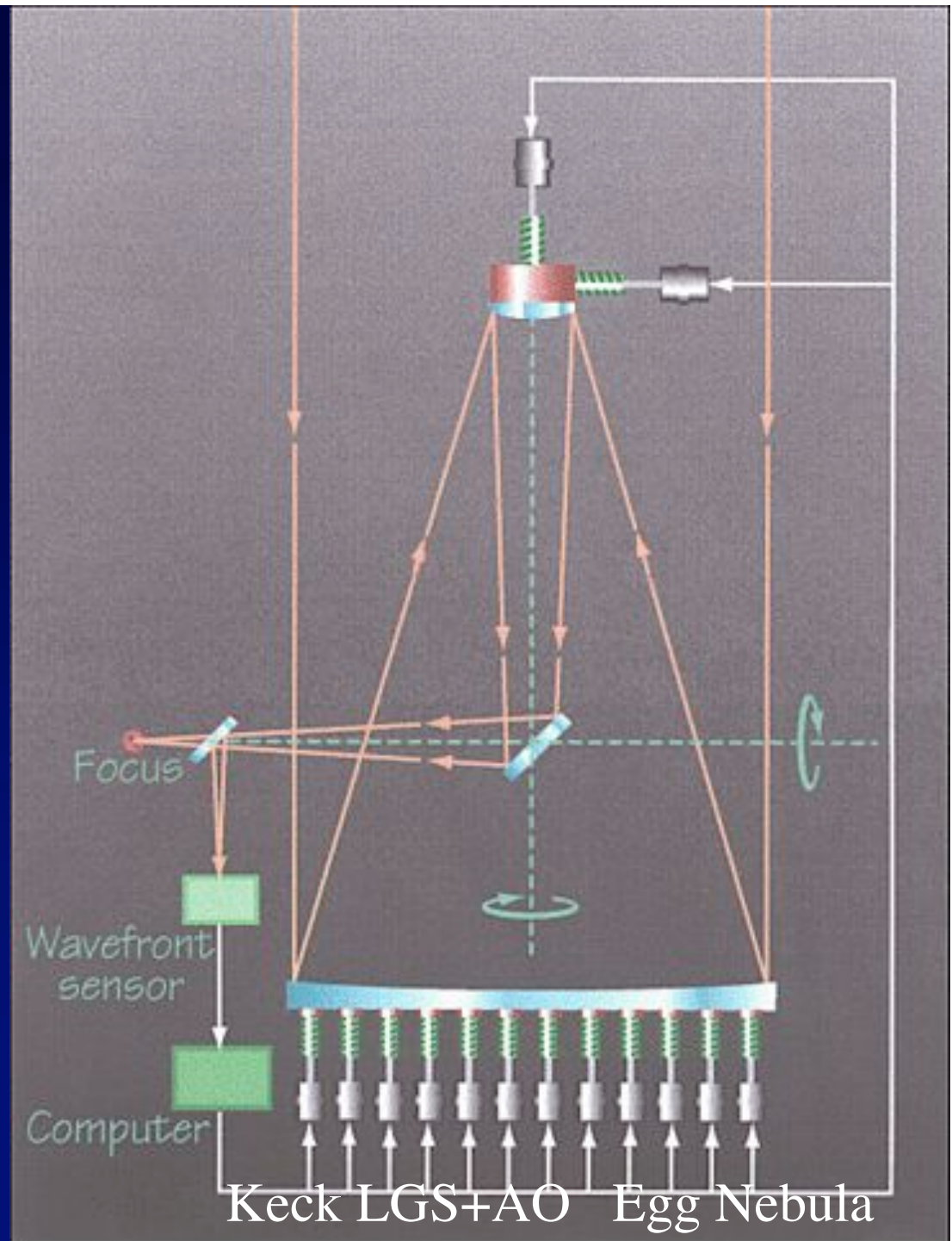
- ... en présence de turbulence



27 ouvertures en cercle

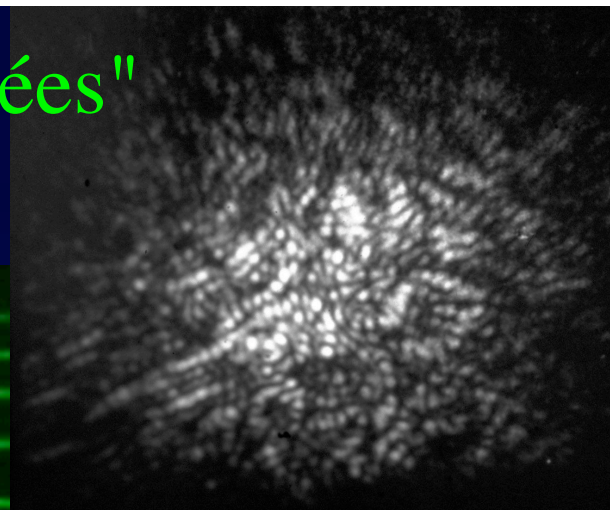


Optique adaptative



Senseur d'onde par "tavelures dispersées"

(Labeyrie, Borkowski & Martinache 2005)



9+1 ouvertures
non redondantes

$$\Delta_{\max} = 0,35 \text{ mm}$$

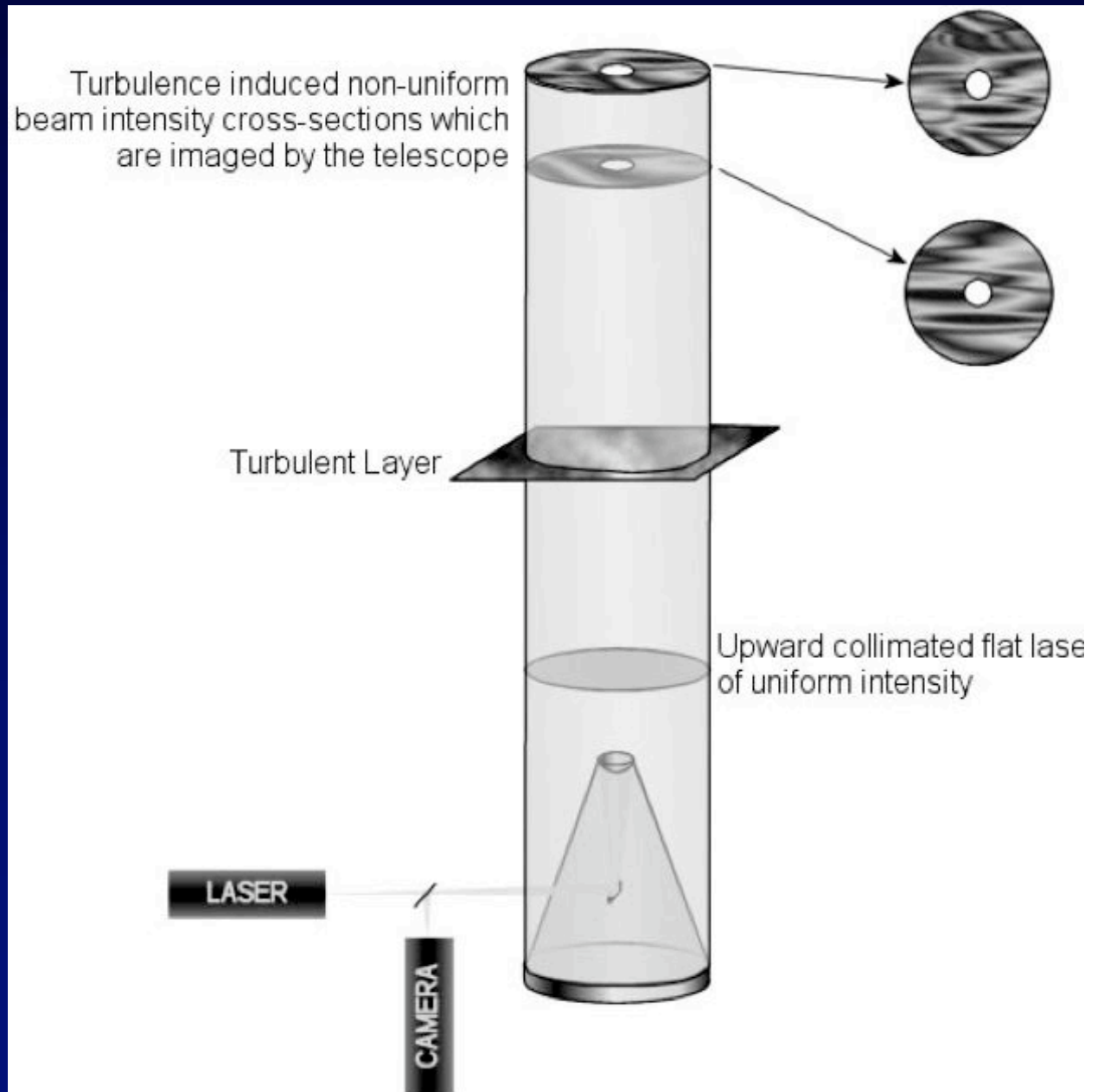
Mise en phase adaptative sur les objets faibles:

Etoile guide laser

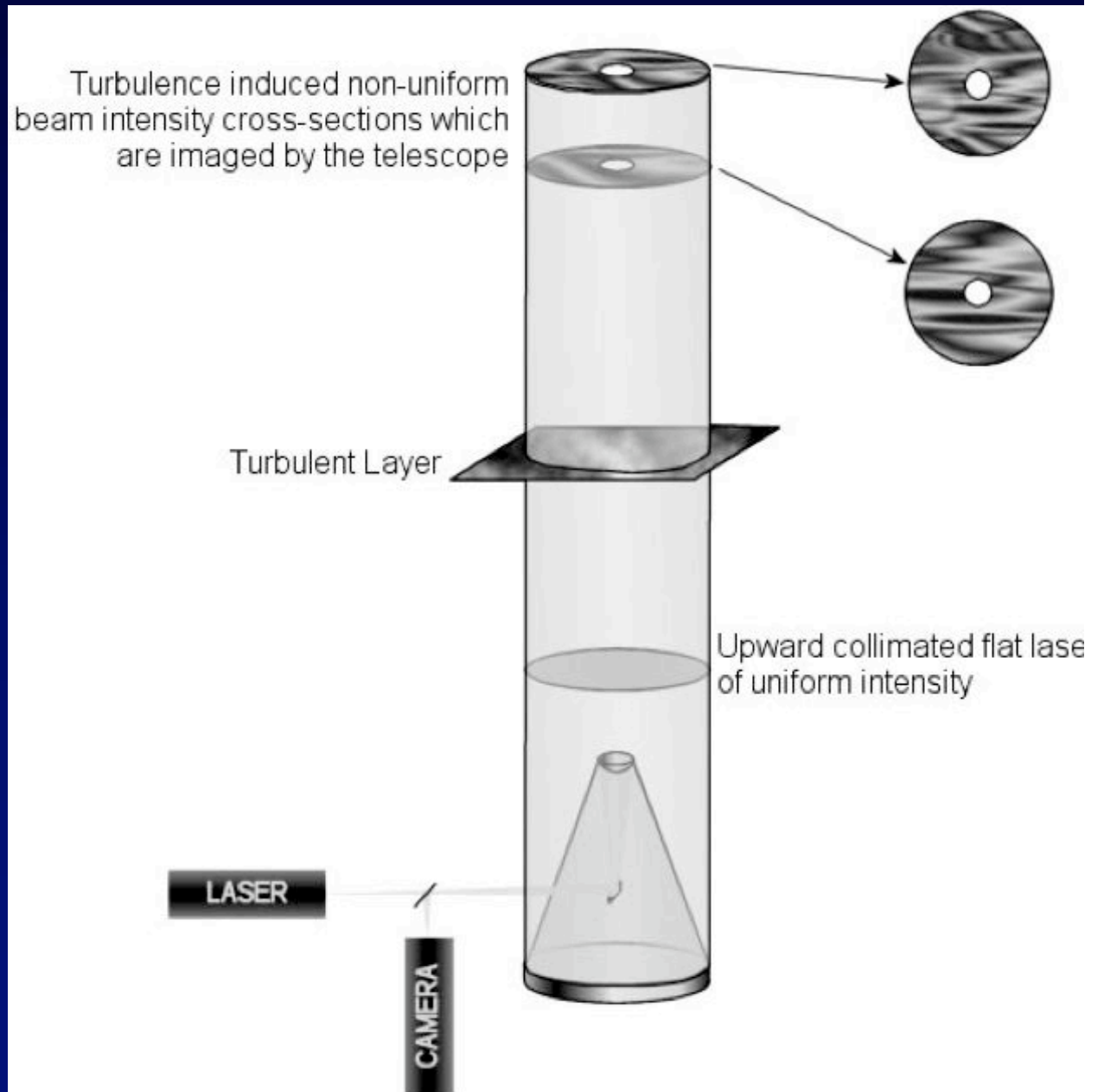
- Fonctionne sur quelques télescopes (Keck, VLT)
- Anime l'optique adaptative en l'absence d'étoile brillante
- Inutilisable pour relayer les phases des ouvertures diluées....
- ...Quoique:
... version modifiée "Hypertelescope Laser Guide Star"



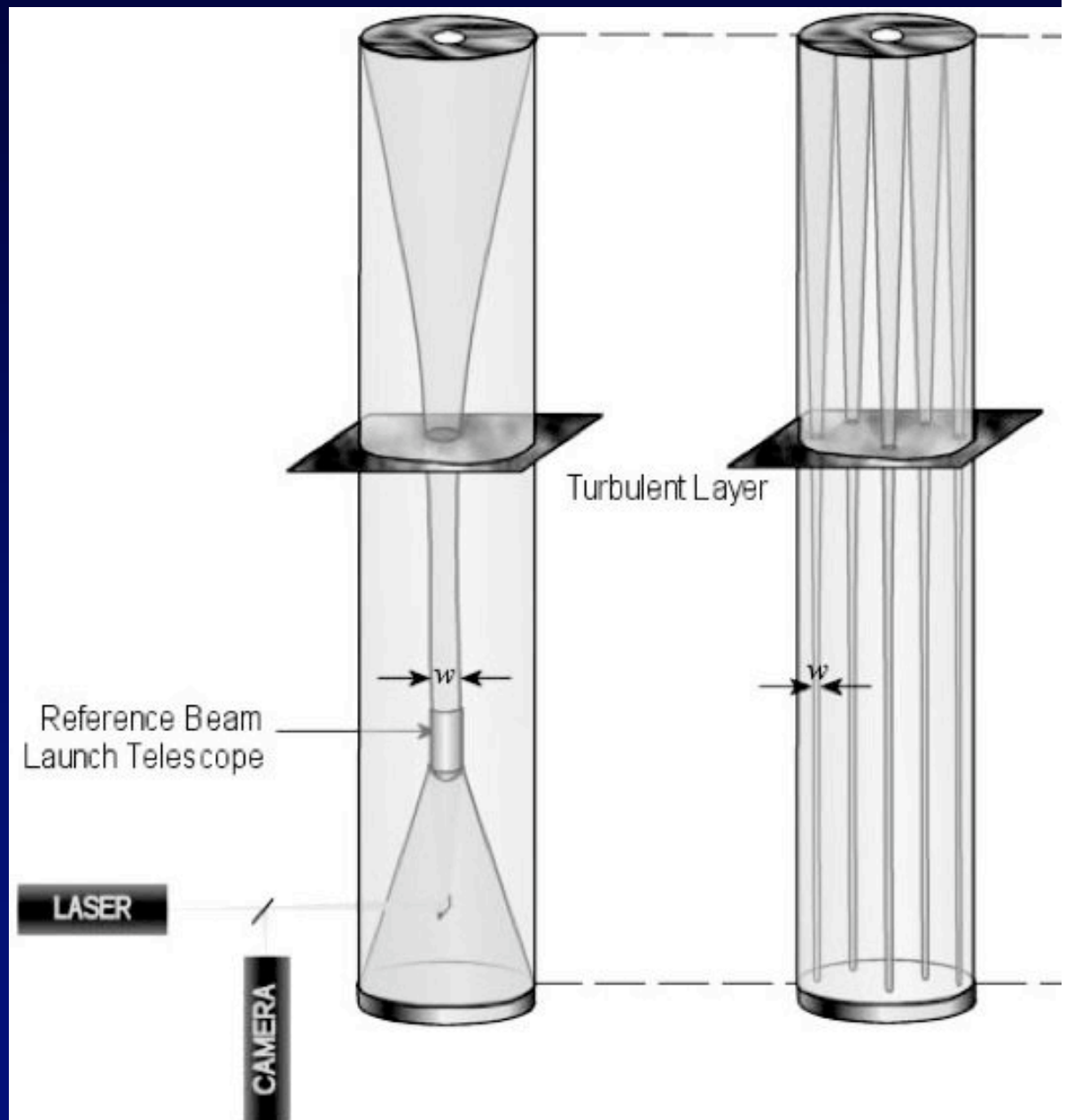
"Projected Pupil Plane Patterns" (Buscher et al., 2002)



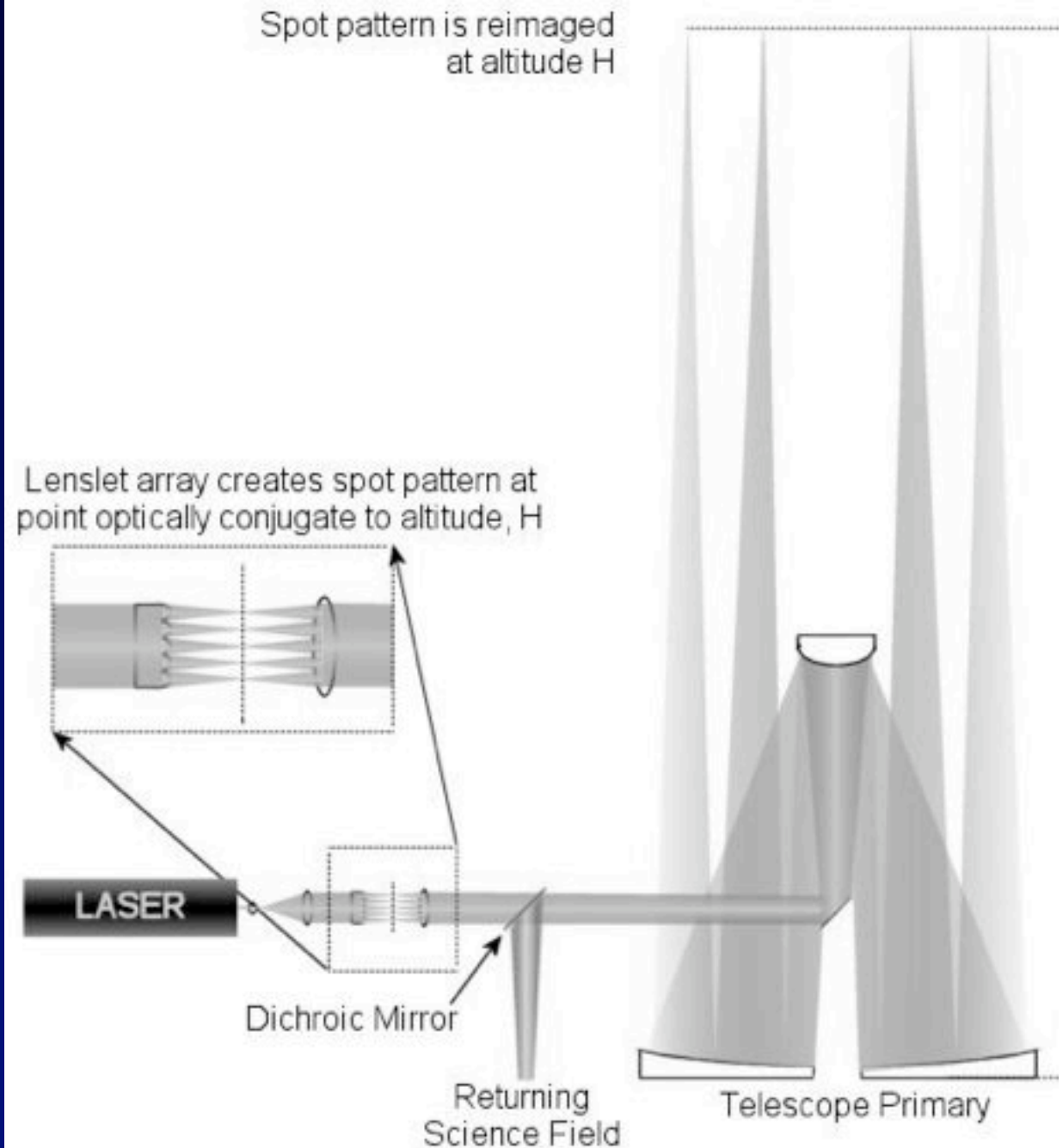
"Projected Pupil Plane Patterns" (Buscher et al., 2002)



"P4-LGS" avec onde de référence



Shack- Hartmann projeté (SPLASH)

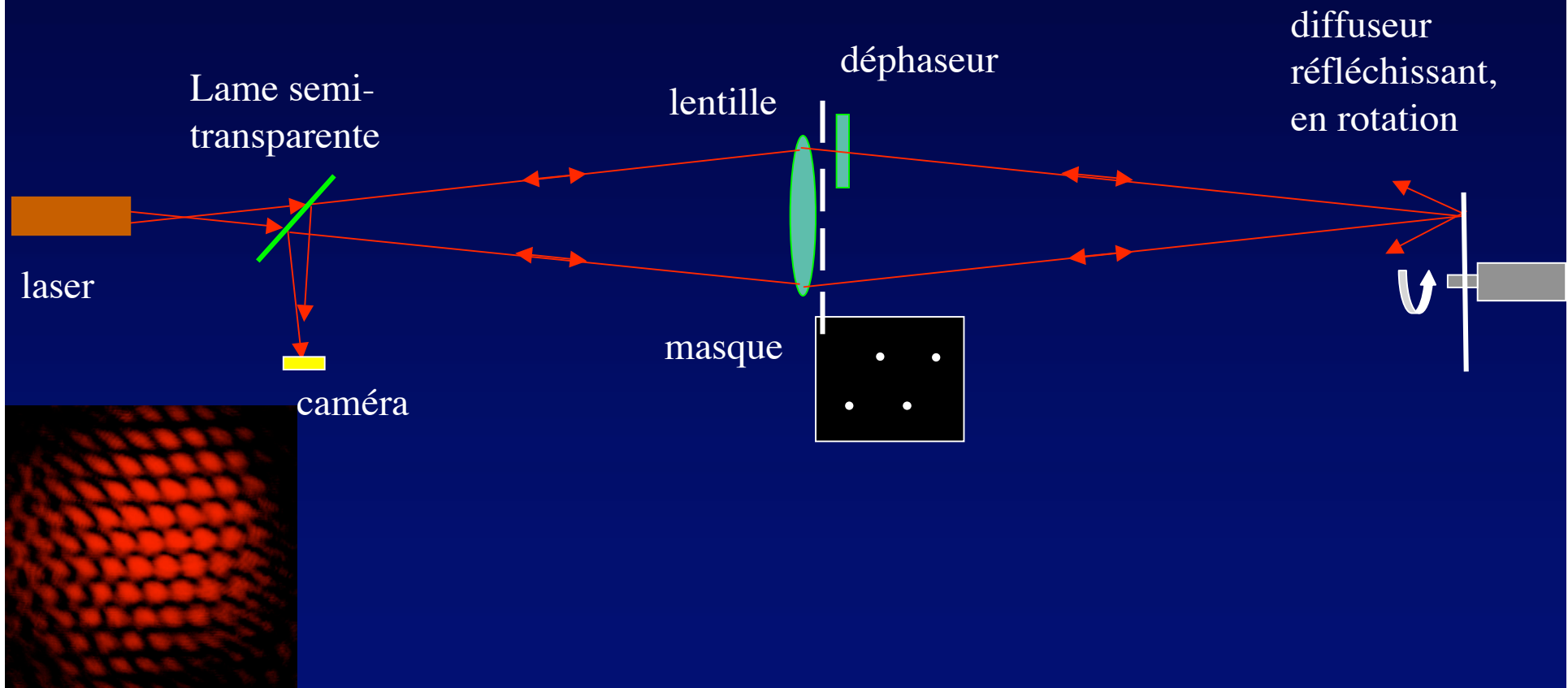


Etoile guide laser:

modifiable pour hypertélescopes ?

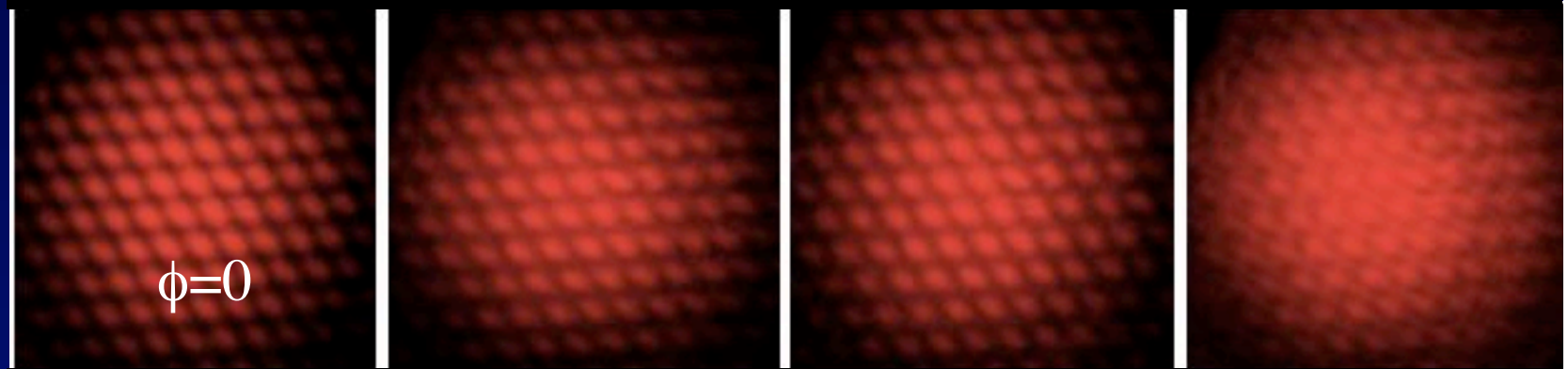
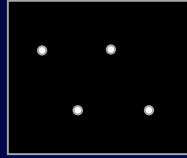
- Fonctionne sur des télescopes, sur Keck
- Anime l'optique adaptative en l'absence d'étoile brillante
- Inutilisable pour relier les phases des ouvertures diluées.... Quoique ...

Etoile guide laser pour hypertélescopes: simulateur en laboratoire

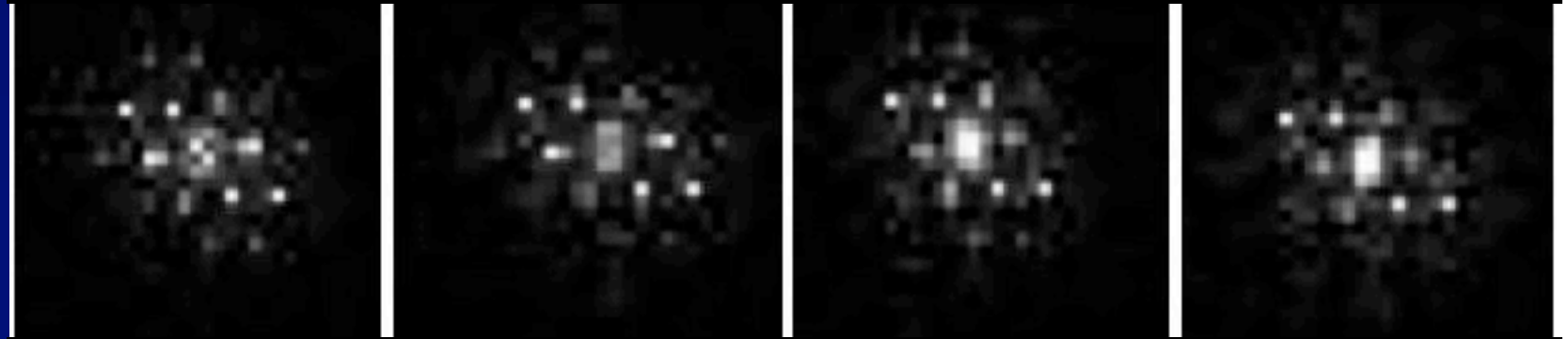


Etoile guide laser pour hypertélescopes: simulation au laboratoire

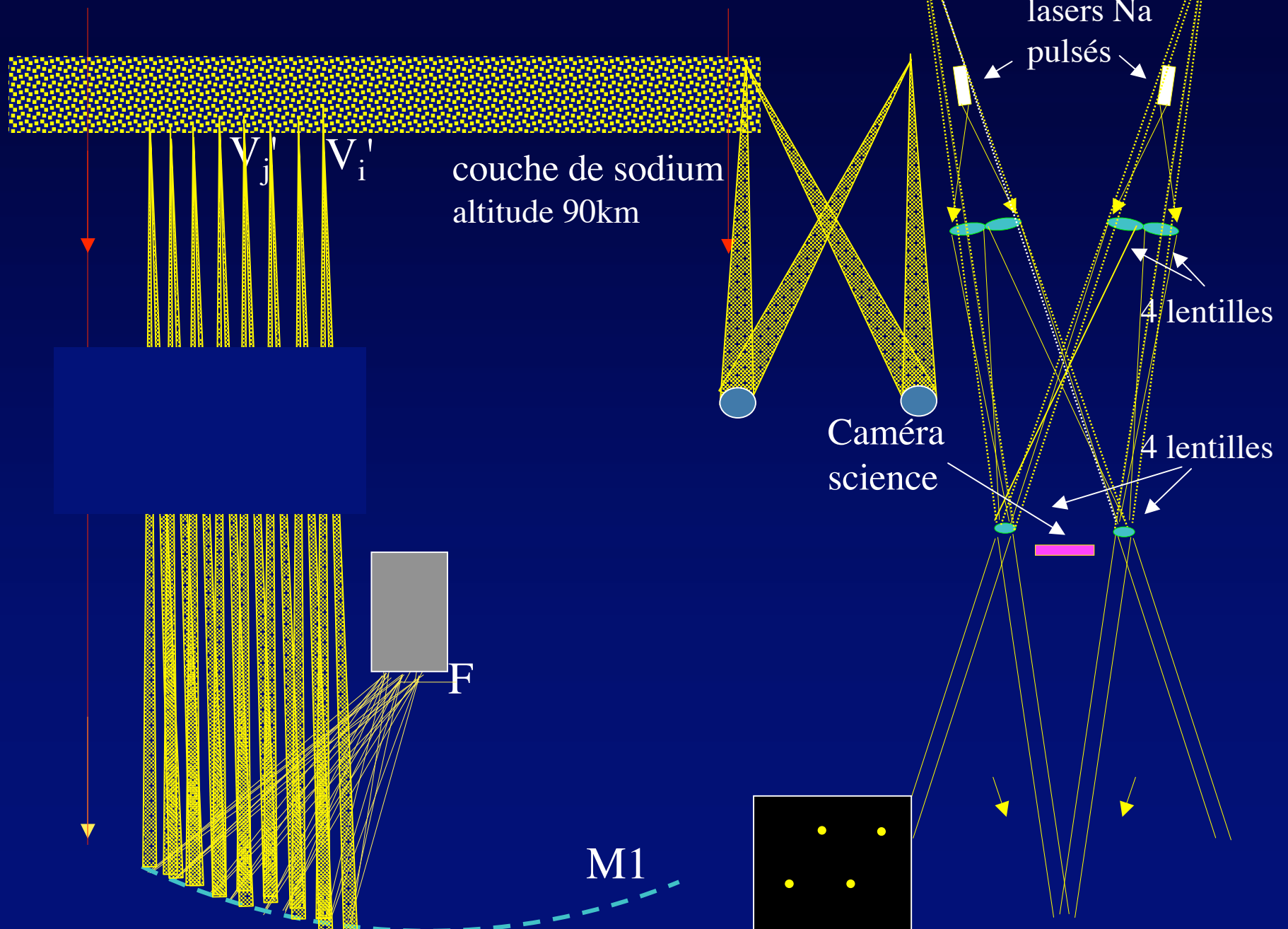
4 ouvertures
poses longues



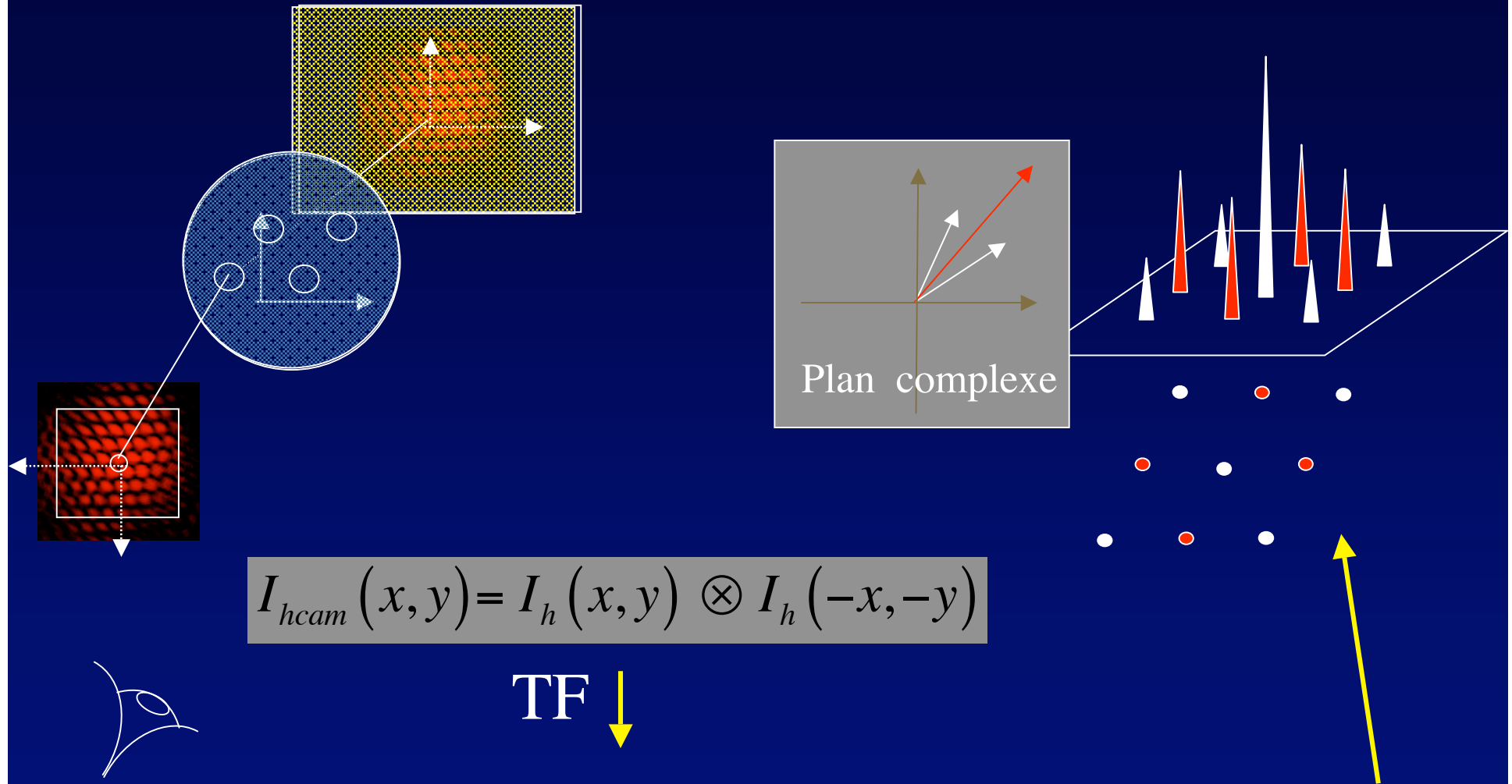
Transformées
de Fourier



"Hypertelescope Laser Guide Star" V_i (H-LGS)



Etoile guide laser pour hypertélescope: calcul de la phase

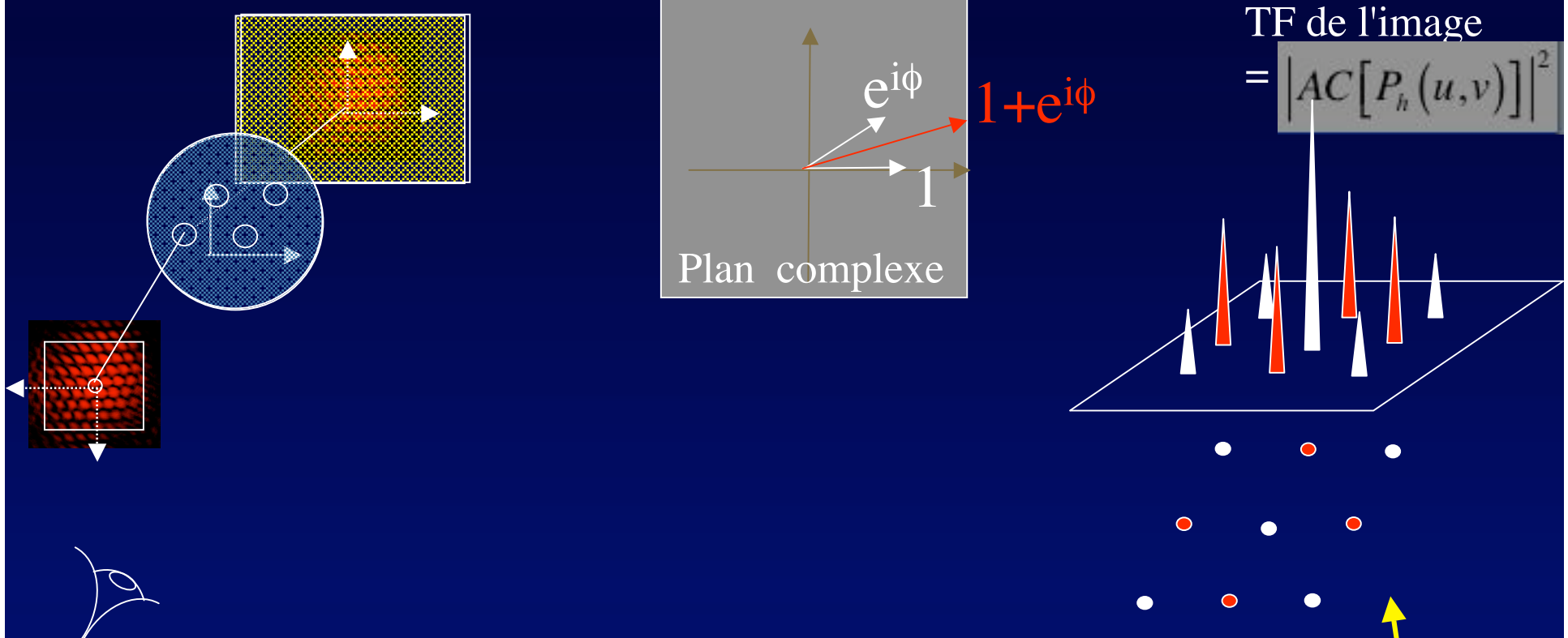


$$I_{hcam}(x, y) = I_h(x, y) \otimes I_h(-x, -y)$$

TF ↓

$$i_{hcam}(u, v) = AC[P_h(u, v)] \quad AC[P_h(-u, -v)] = AC[P_h(u, v)] \quad \overline{AC}[P_h(u, v)] = |AC[P_h(u, v)]|^2$$

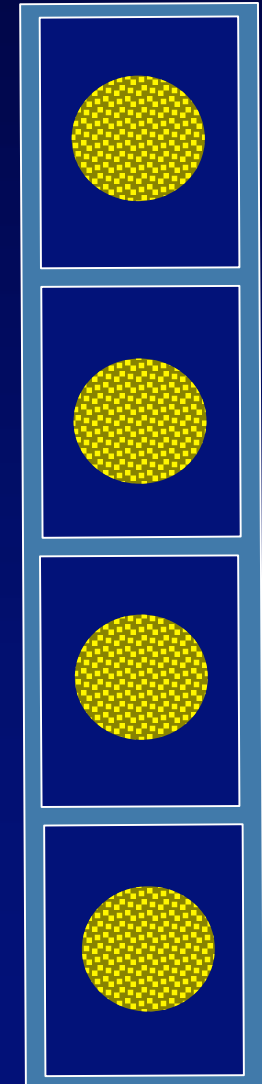
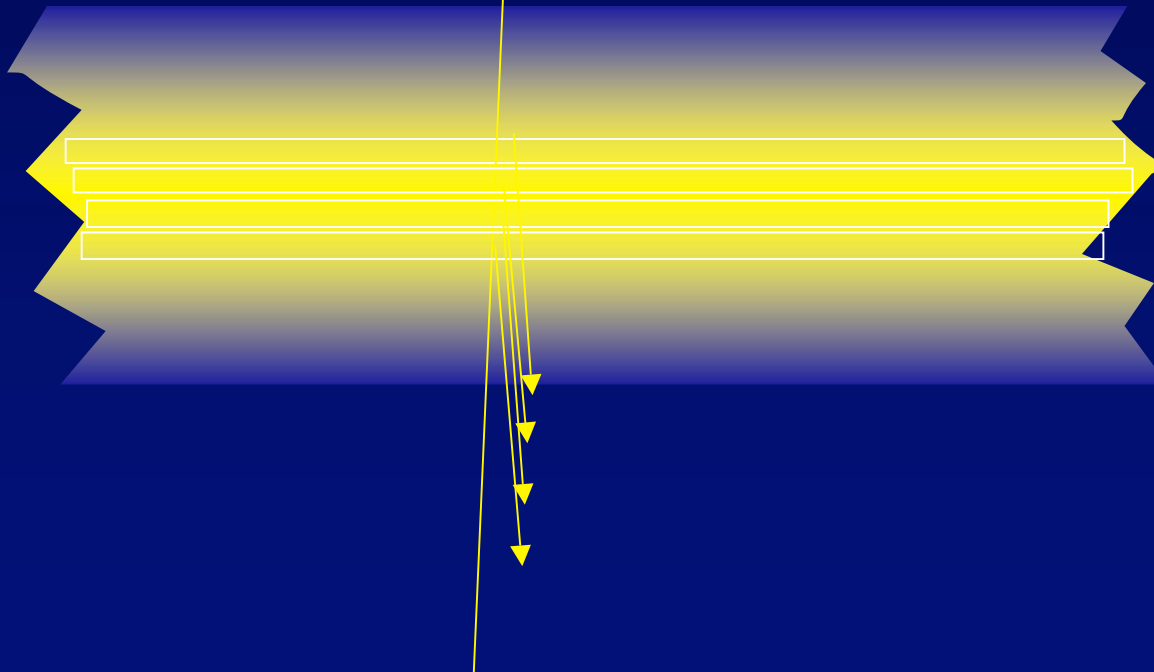
Calcul de la phase de la quatrième ouverture



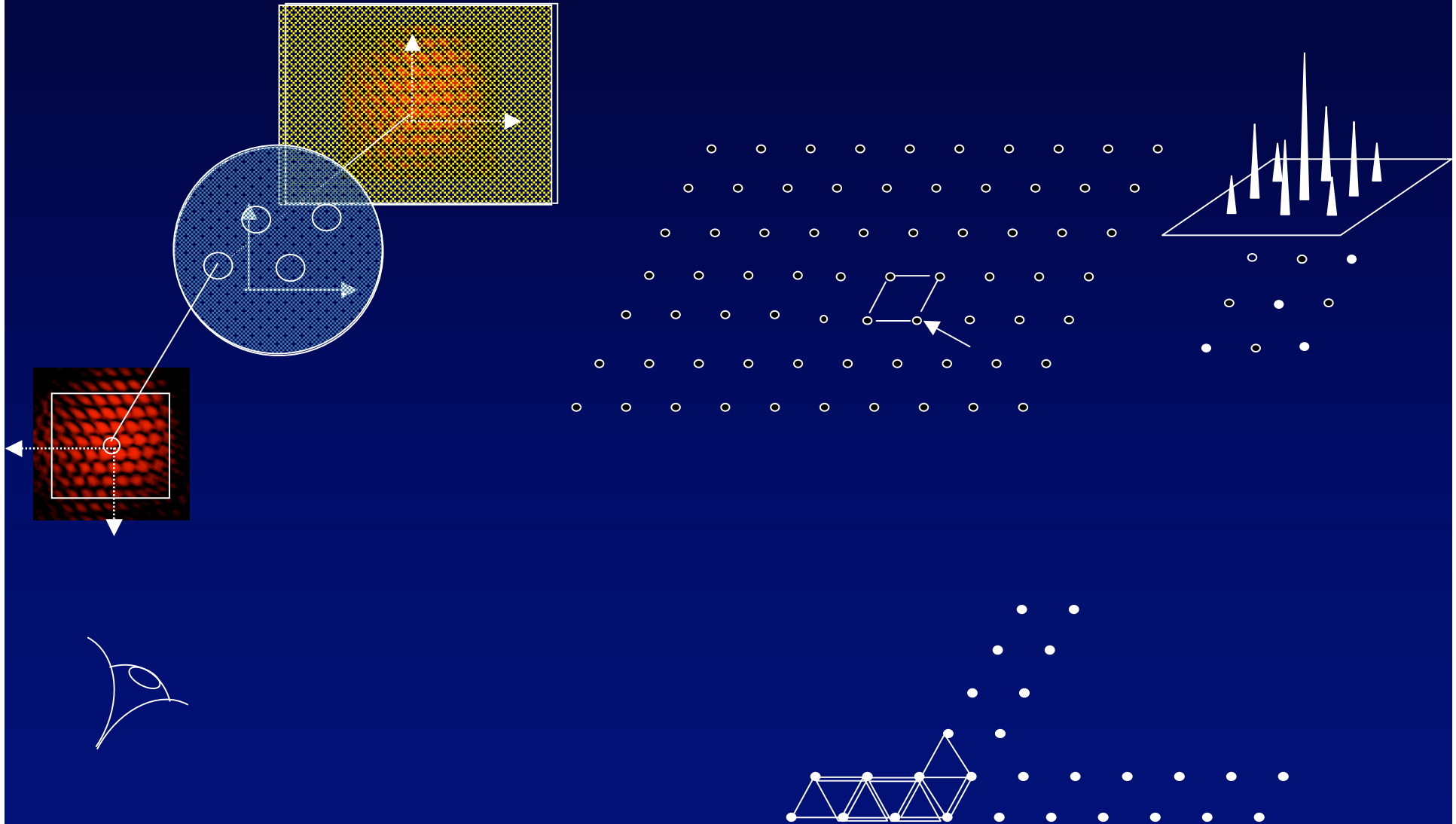
- intensité pic: $I_{\text{pic}} = (1+e^{i\phi})(1+e^{-i\phi}) = 2(1+\cos\phi)$
 $\phi = \pm \arccos\{(I_{\text{pic}}/2) - 1\}$
- ambiguïté de signe levée par "phase diversity" ...
- avec plusieurs poses à altitudes différentes

Sous-couches de sodium

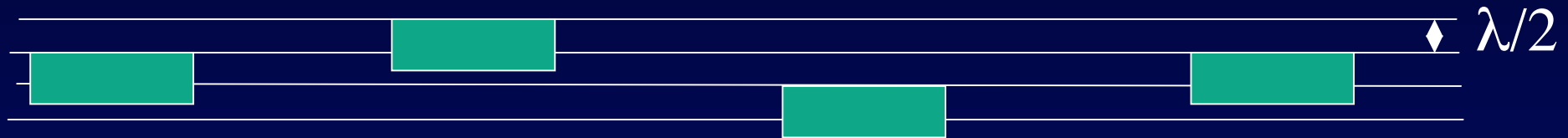
- Sélectionnées par impulsions brèves de laser...
- et caméra ultra-rapide
- Exploitable pour :
 - "diversité de phase" par défocalisation
 - sensibilité accrue



Etoile guide laser pour hypertélescope: propagation de la phase



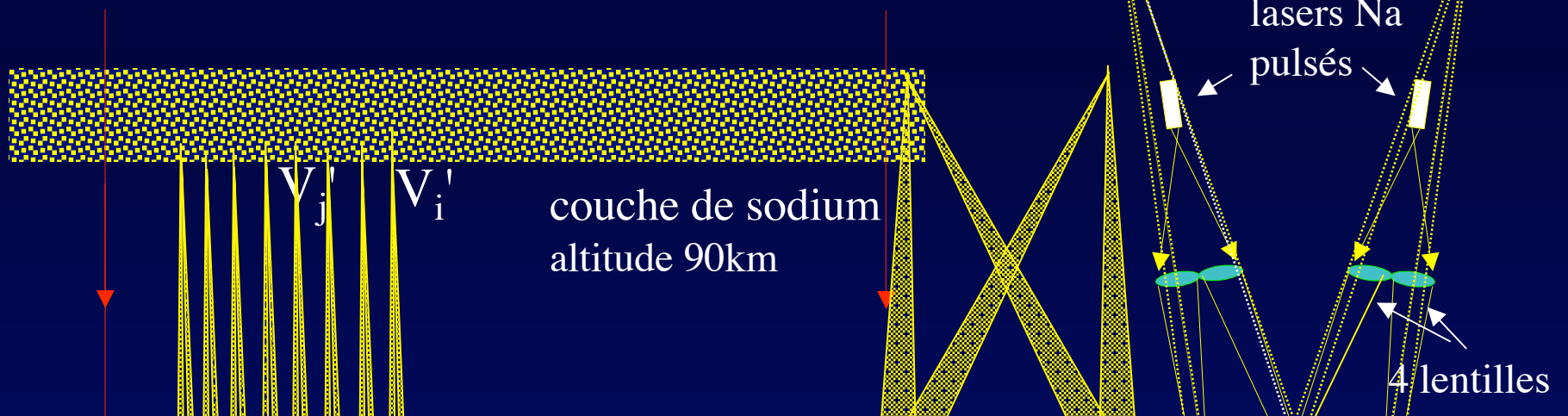
Phase modulo 2π



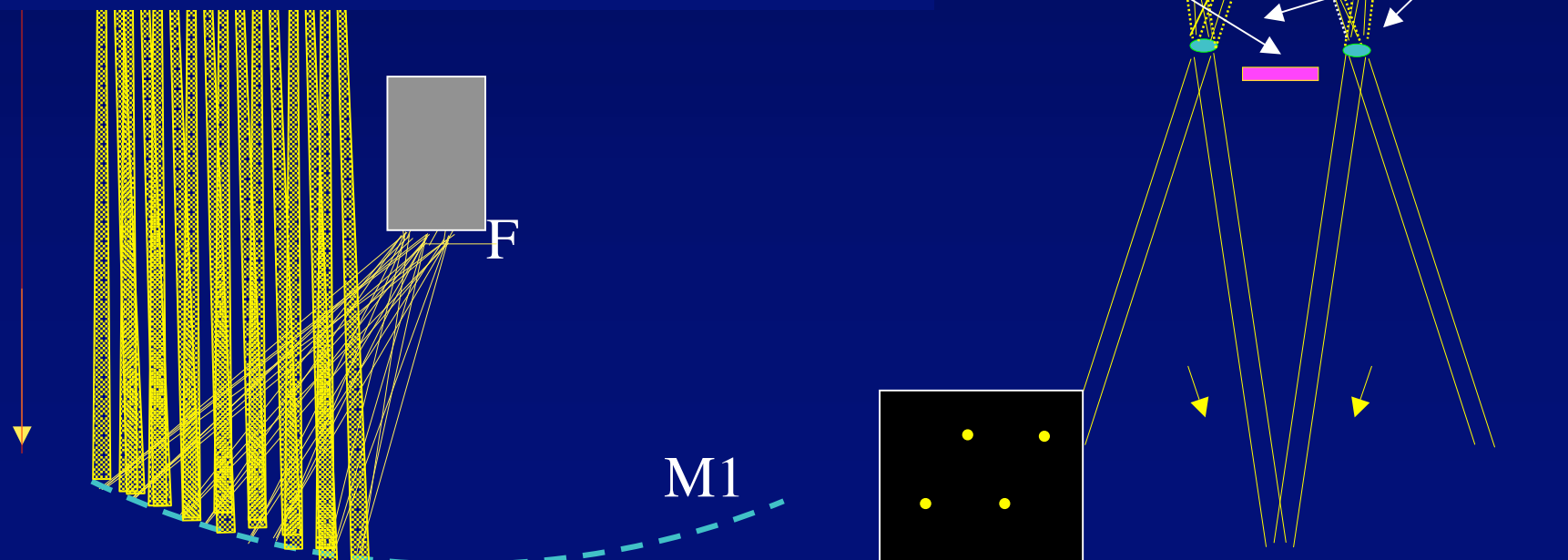
- Miroir en marches d'escalier
- Convient pour étoile monochromatique...
- ... mais pas blanche !
- Solution: laser à plusieurs longueurs d'ondes pour lever l'indétermination
- exploiter les atomes de fer (386nm) et potassium (770nm), en plus du sodium (589nm)

•

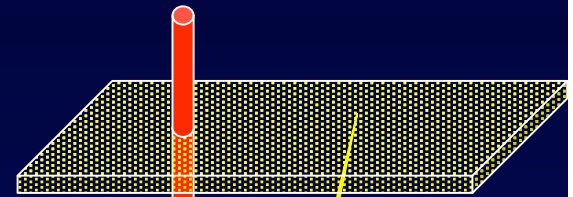
Pourquoi séparer les sources laser ?



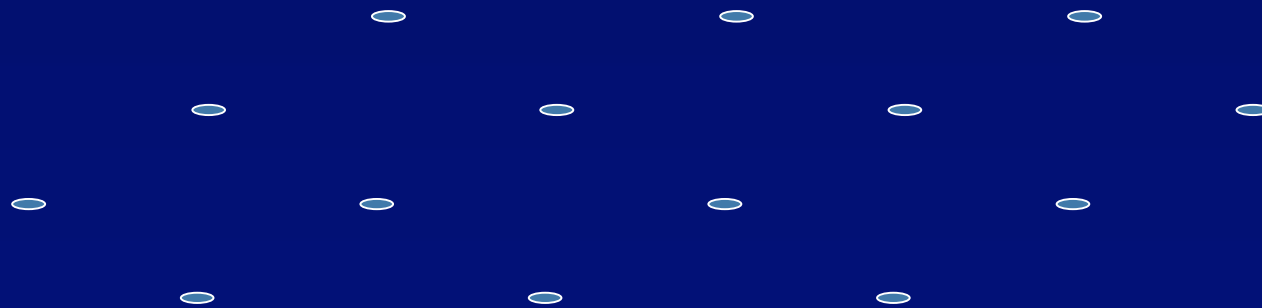
- Pour que les rayons laser suivent ceux de l'étoile au mieux



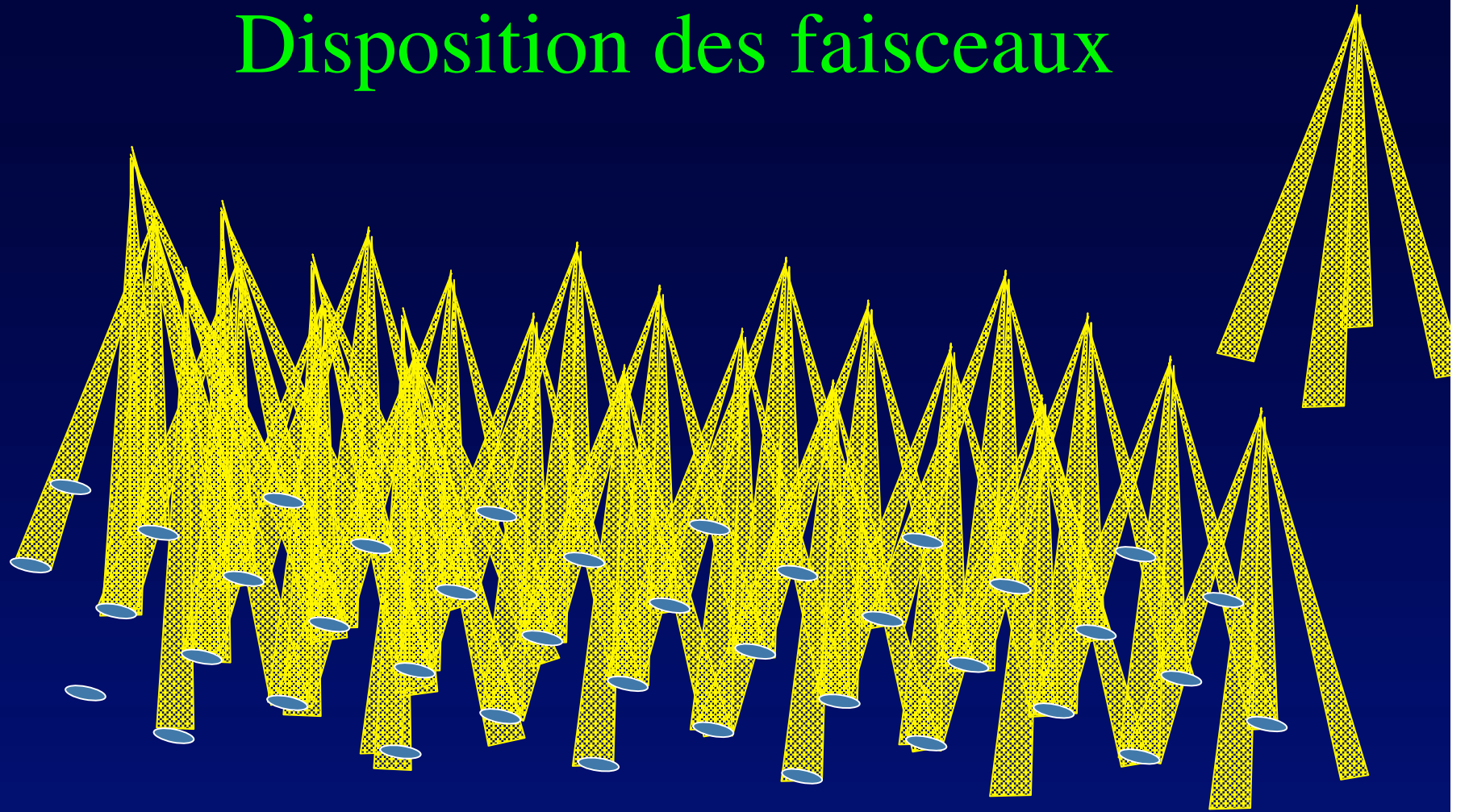
Pourquoi séparer les sources laser ?



- Pour rapprocher les rayons des lasers de ceux de l'étoile...
- ...afin de sonder la même atmosphère
- Exemple: écart de 10m à 90km,
- Se réduit à 11cm à 1km
- Et 1,1cm à 100m $< r_0$
- .

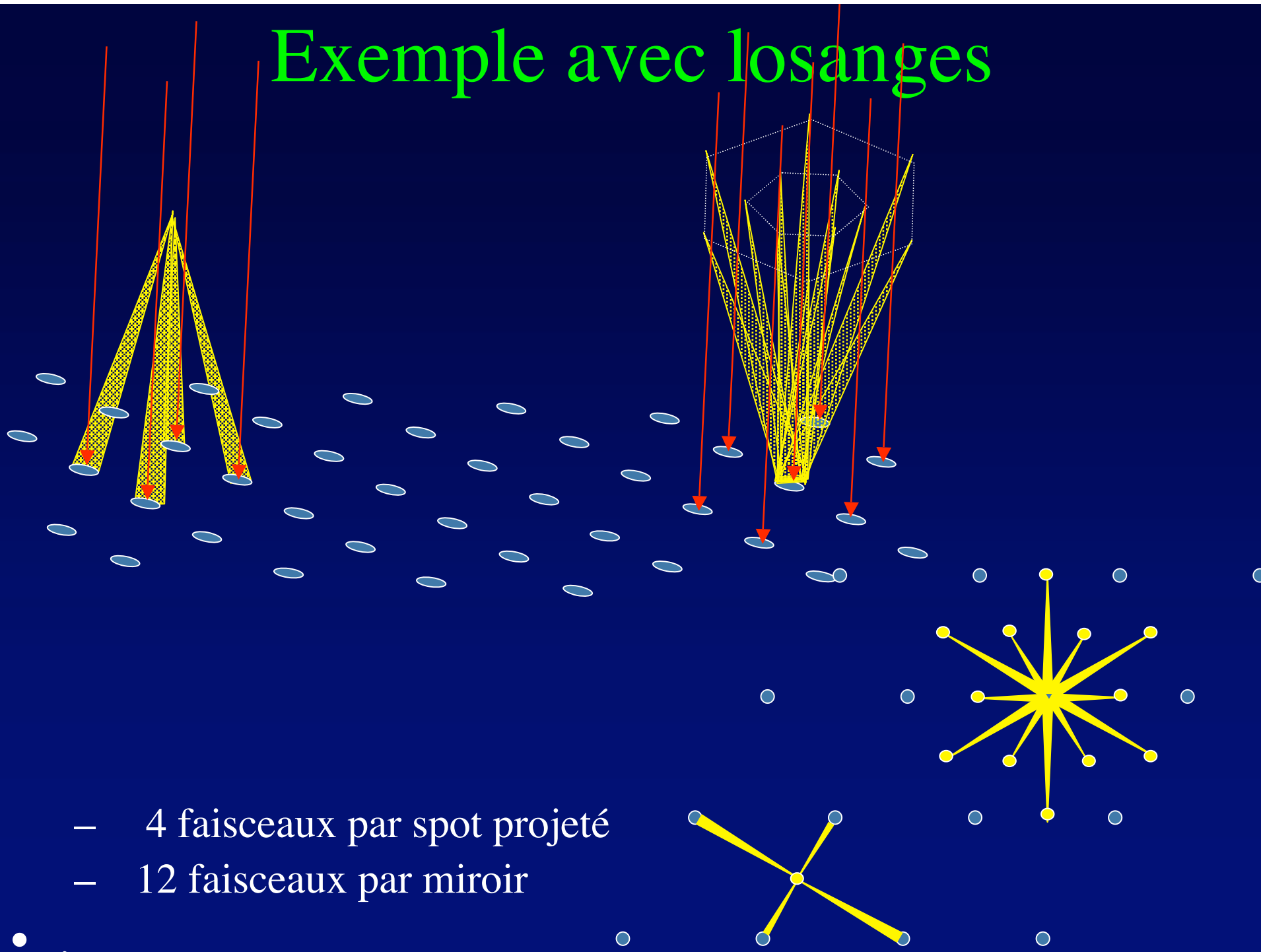


Disposition des faisceaux



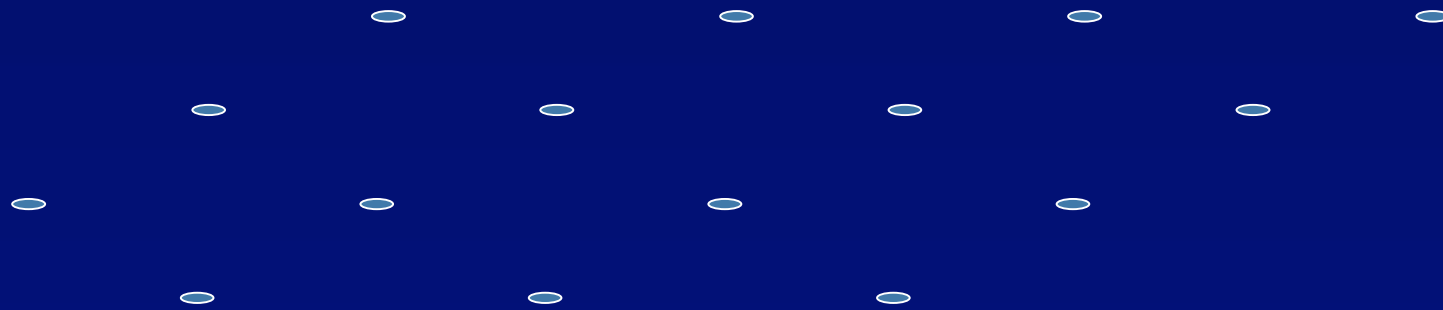
Faisceaux qui se marchent sur les pieds

Exemple avec losanges



Quelle puissance de laser ?

- laser 7W : étoile laser magnitude apparente 13,5



Conclusion

- Vérifier si "H-LGS" fonctionne....
- ... auquel cas les hypertélescopes terrestres pourront imager des champs profonds ...
- Et contribuer à la cosmologie