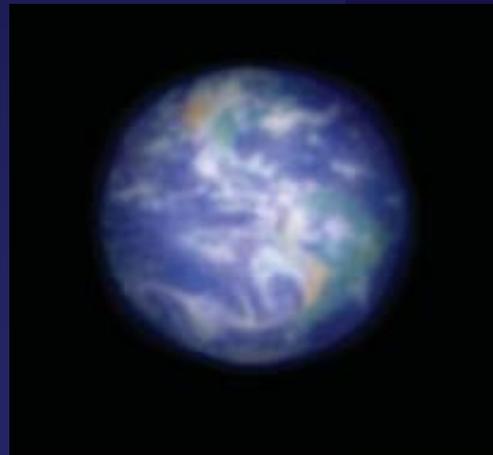


Journée Collège de France

Programme

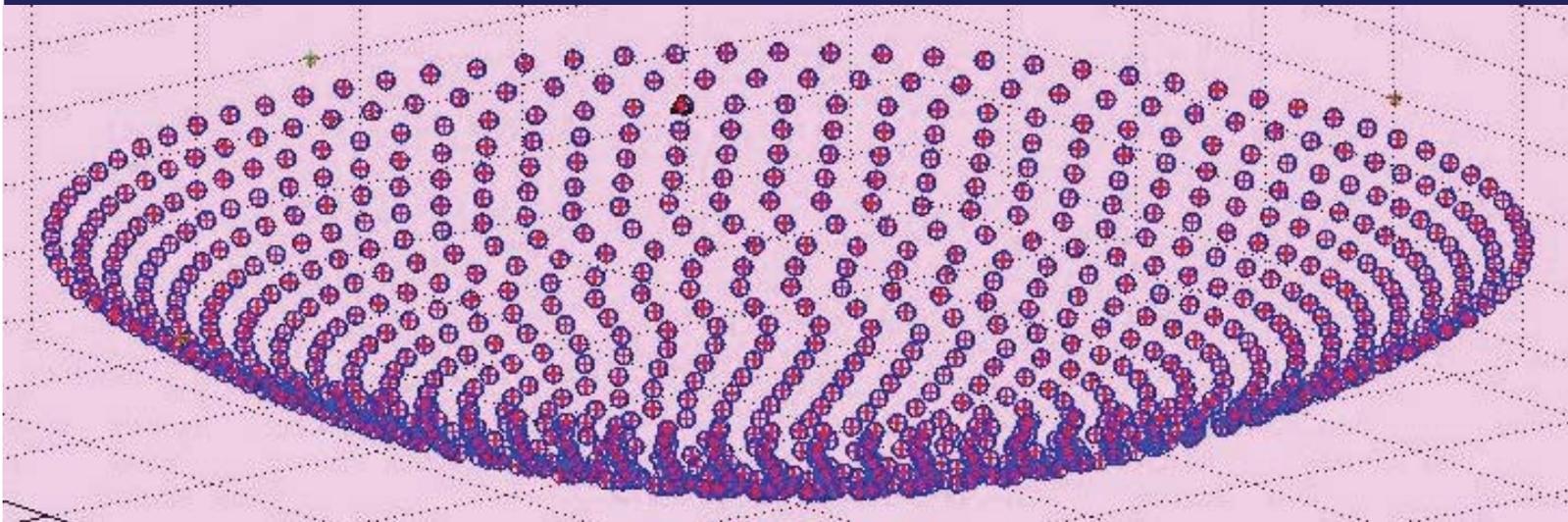
- 10h **Projection du film « Interférences en Astronomie » réalisé par Raoul Rossi en 1979**
- 10h30 Cours 1 de A.Labeyrie " Propriétés des hypertelescopes, imagerie directe et coronographie"
- 11h15 discussion
- 11h 30 séminaire de Tristan Guillot (OCA) « Regard sur les planètes en dehors de notre Système Solaire »
- 12h15 discussion
- 12h30 Casse-croûte astronomique sur la terrasse du Grand Chateau (apporter son casse-croute)
- 14h : Cours 2: « Concept d'un "Extremely Large Hypertelescope " terrestre »
- 14h45 discussion
- 15h : séminaire de Jean-Gabriel Cuby (OAMP) « Le projet de telescope géant de 40 mètres de l'ESO et programmes scientifiques »
- 15h45 discussion
- 16h pause-café
- 16h15 cours 3: "Hypertelescope et telescope géant européen: faut-il les coupler ? "
- 17h discussion
- 17h 15 séminaire de Lyu Abe (Département Fizeau, Université de Nice) "Les activités de recherche de planètes extrasolaires au Japon »
- 18h discussion générale et conclusions

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



- COURS sur www.college-de-france.fr , fichiers de projections
- Articles sur: www.oamp.fr/lise

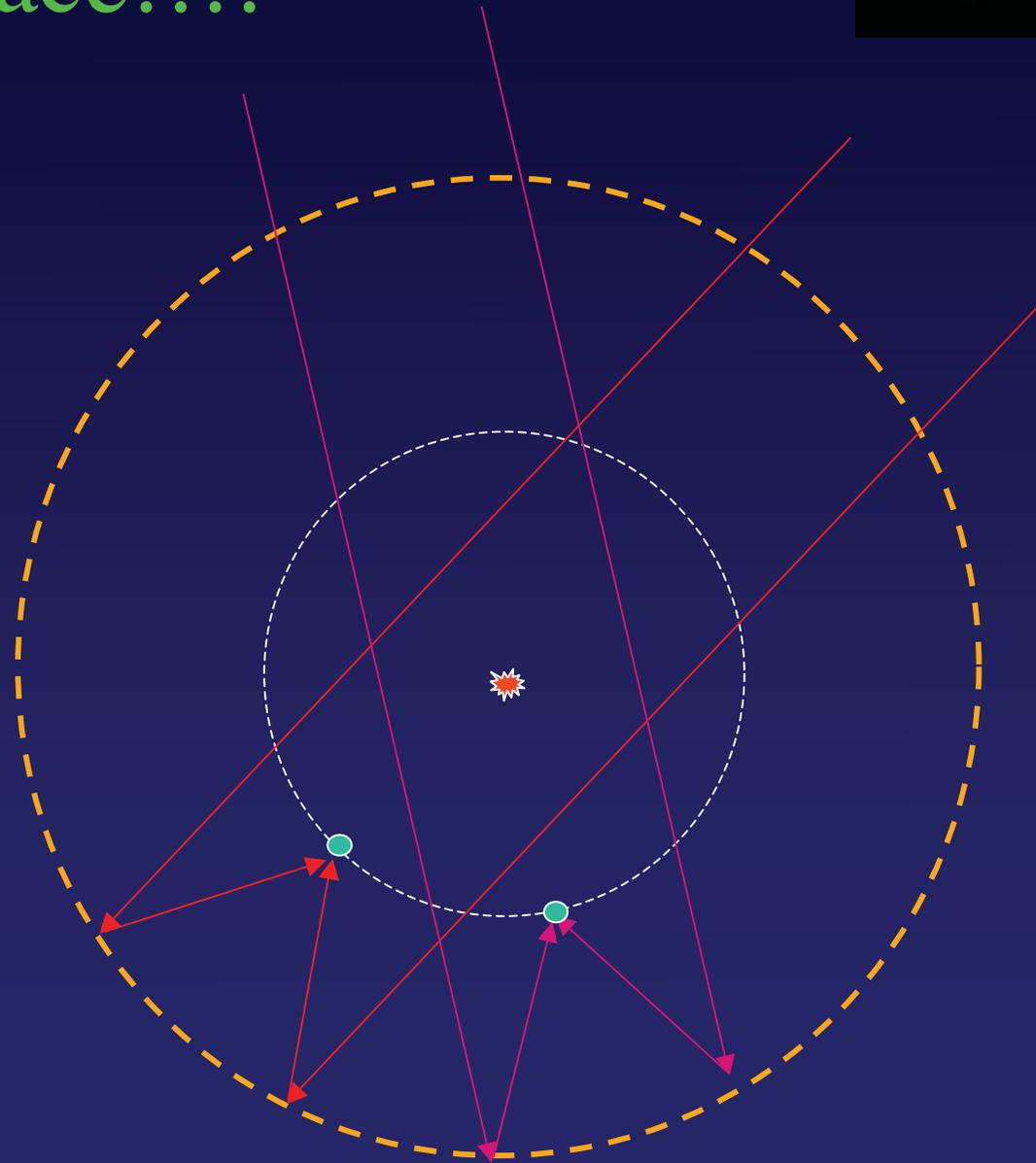
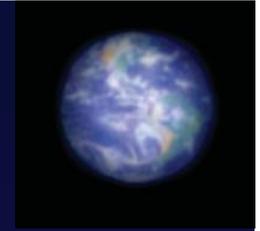
1- Propriétés des hypertélescopes imagerie directe et coronographie



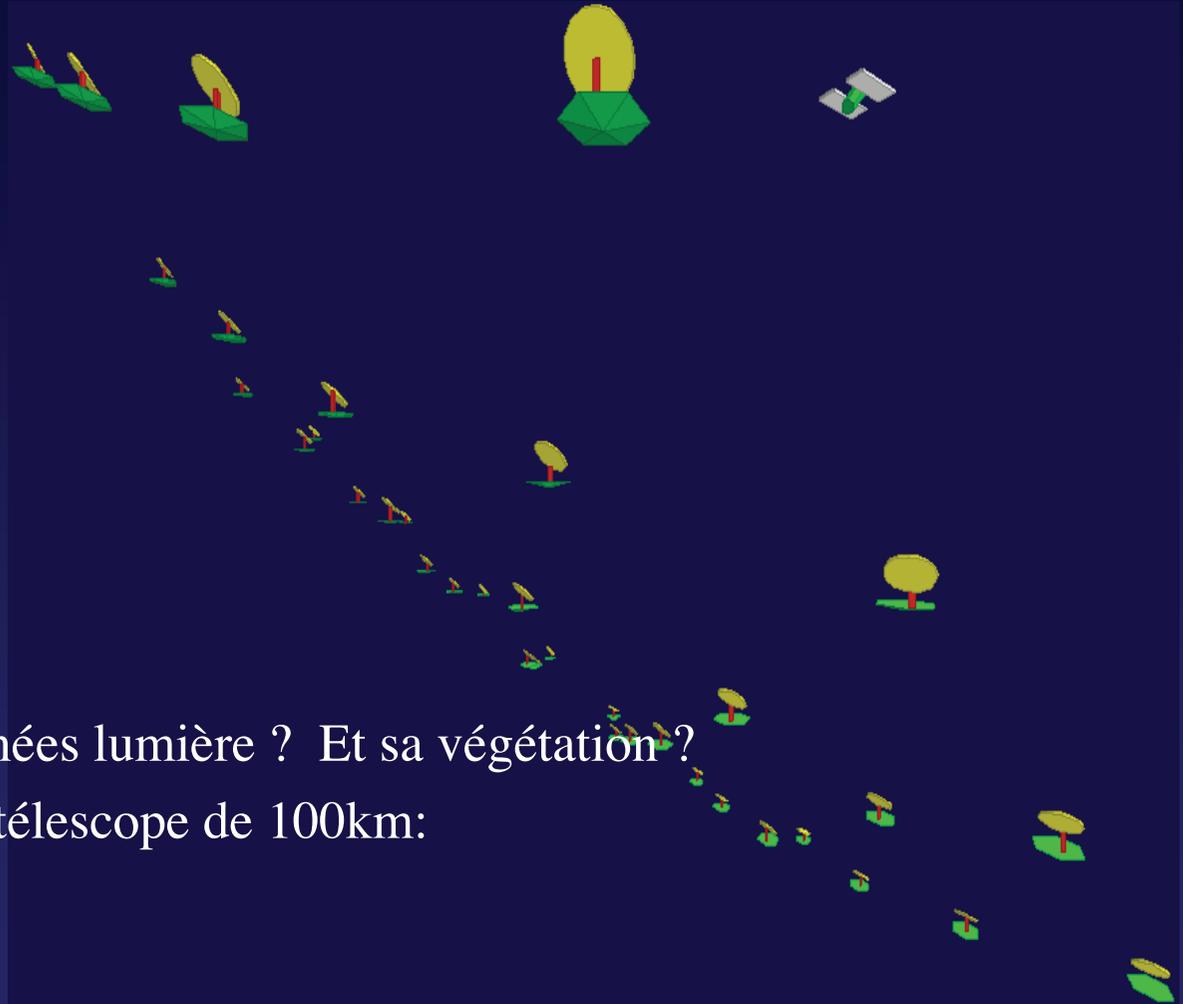
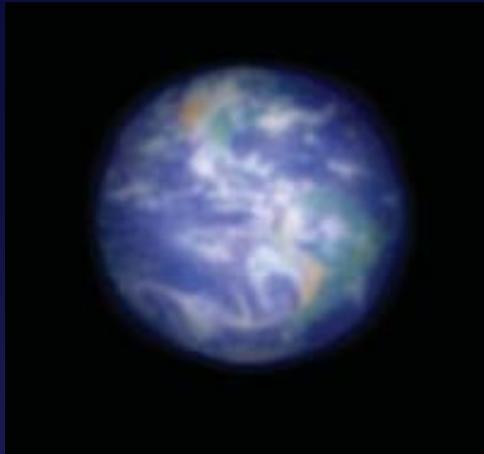


Mieux voir les étoiles,
leurs planètes,
les galaxies,
l'univers lointain

Un jour dans l'espace....



Vers la recherche de vie

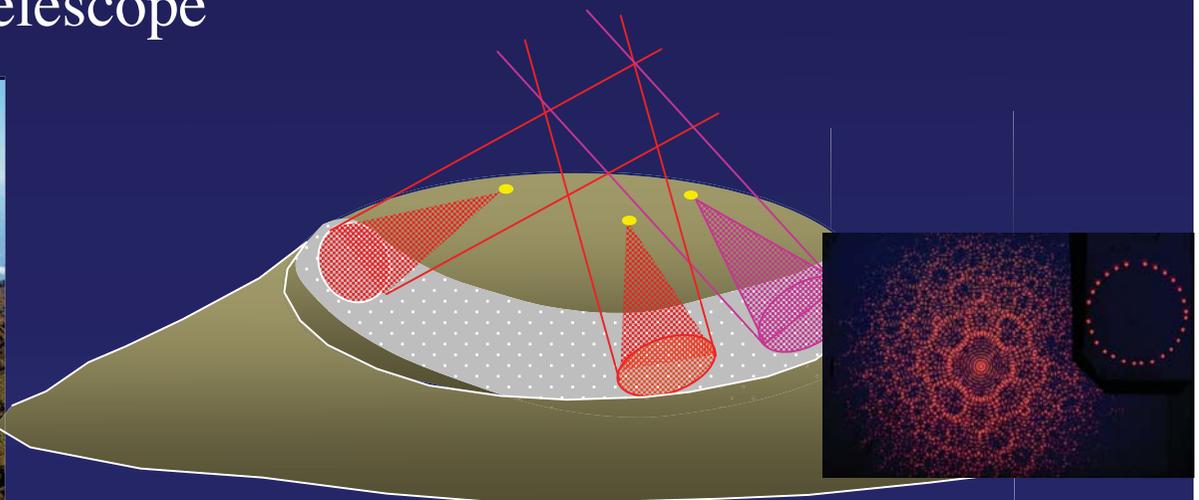
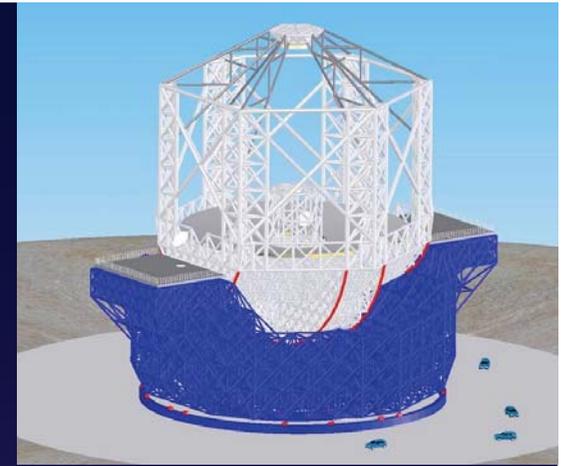


- Voir ainsi une Terre à 10 années lumière ? Et sa végétation ?
- C'est possible avec un hypertélescope de 100km:
 - 100 miroirs de 3m
 - ou 10 000 de 30cm
 - ou un million de 3cm, piégés par laser ?

-

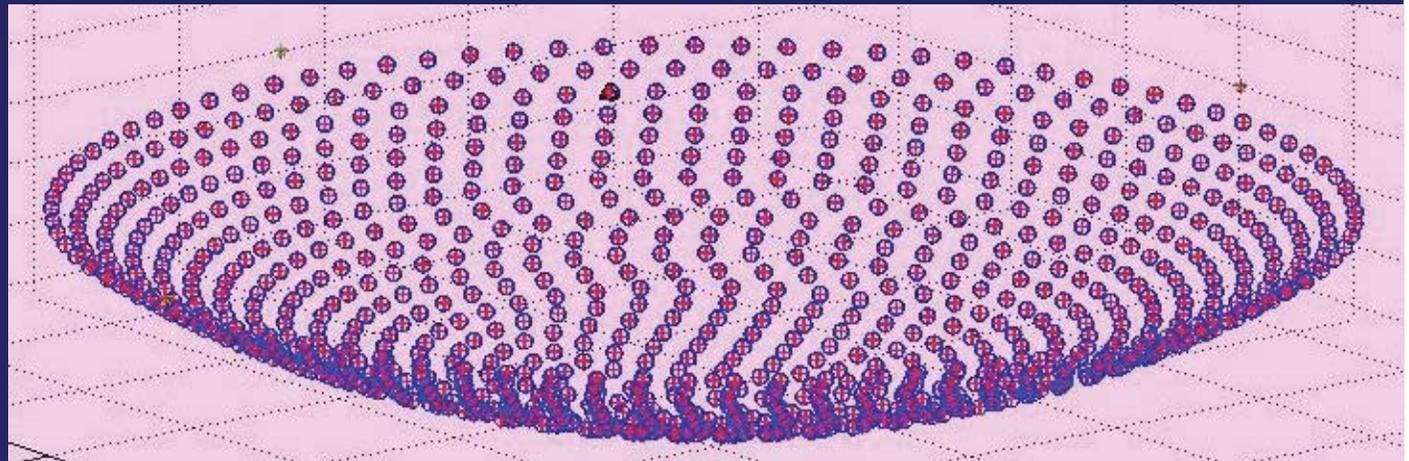
Pour mieux voir le ciel: Quatre voies actuelles

1. Miroir mosaïque compact « ELT »
2. Interféromètre comportant quelques grands télescopes => images par synthèse d'ouverture
3. Hypertélescope => images directes, instantanées
4. Couplage ELT-hypertélescope



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



Jet du quasar 3C273

- Rayons X, visible, radio
- Vitesses apparentes dépassant celle de la lumière
- ...explicable par effet de perspective



Grandes énigmes:

Matière sombre

- la rotation des galaxies, leur effet de lentille gravitationnelle sur des sources d'arrière plan, ne correspondent pas à l'effet gravitationnel de la matière observée
- Il semble y avoir de la masse invisible
- mais sous quelle forme ?

Masse cachée

Matière émissive X

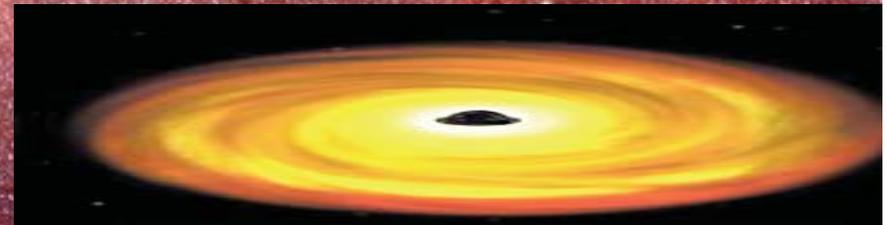
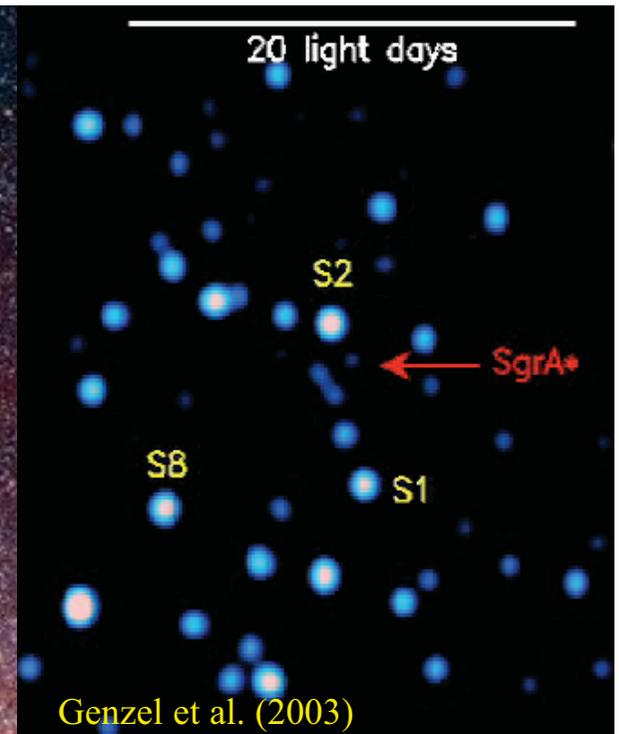


Grandes énigmes:

Energie sombre

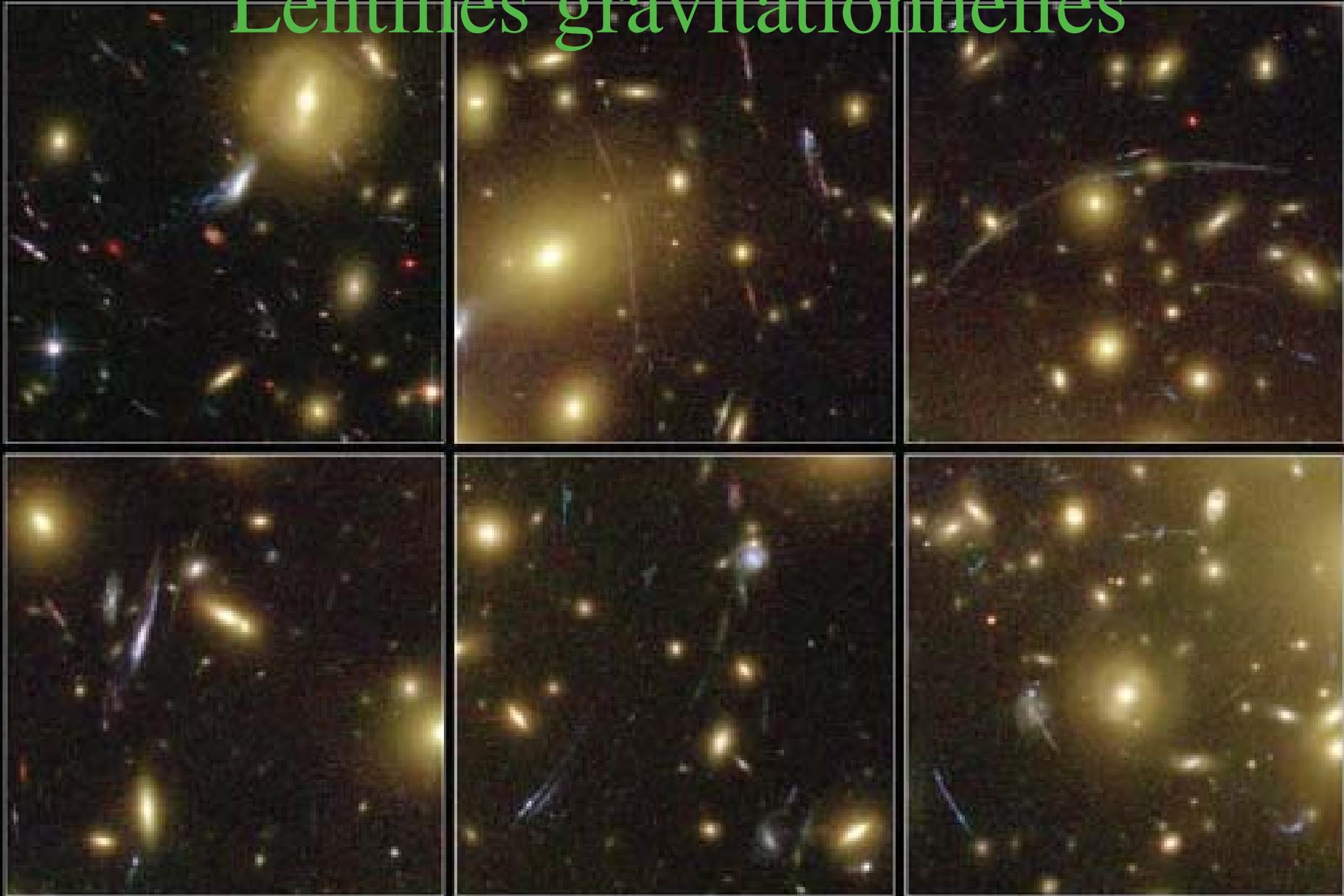
- Observations récentes de supernovae:
 - expansion accélérée de l'Univers ?
- Répulsion par une hypothétique "énergie sombre" ?

Hubble Space Telescope Ultra Deep Field



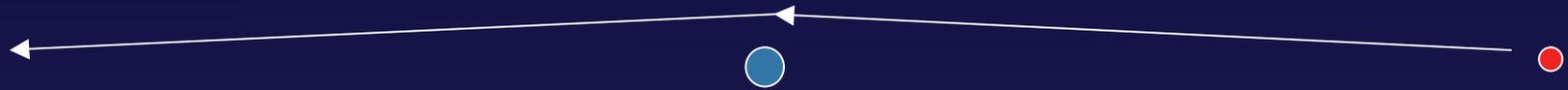
Distance du centre galactique: 35 000 années-lumière
Dimension du trou noir: 10 microsecondes d'arc
Masse: 3,6 millions de masses solaires

Lentilles gravitationnelles



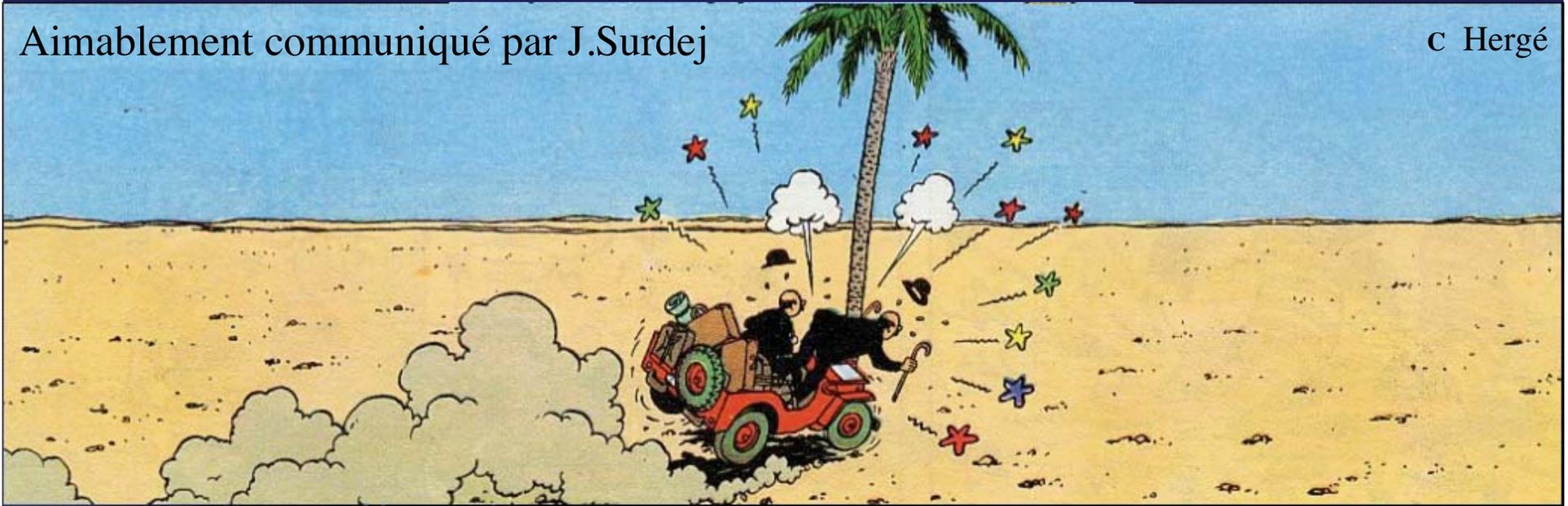
Galaxy Cluster Abell 1689 Details
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

Mirages gravitationnels



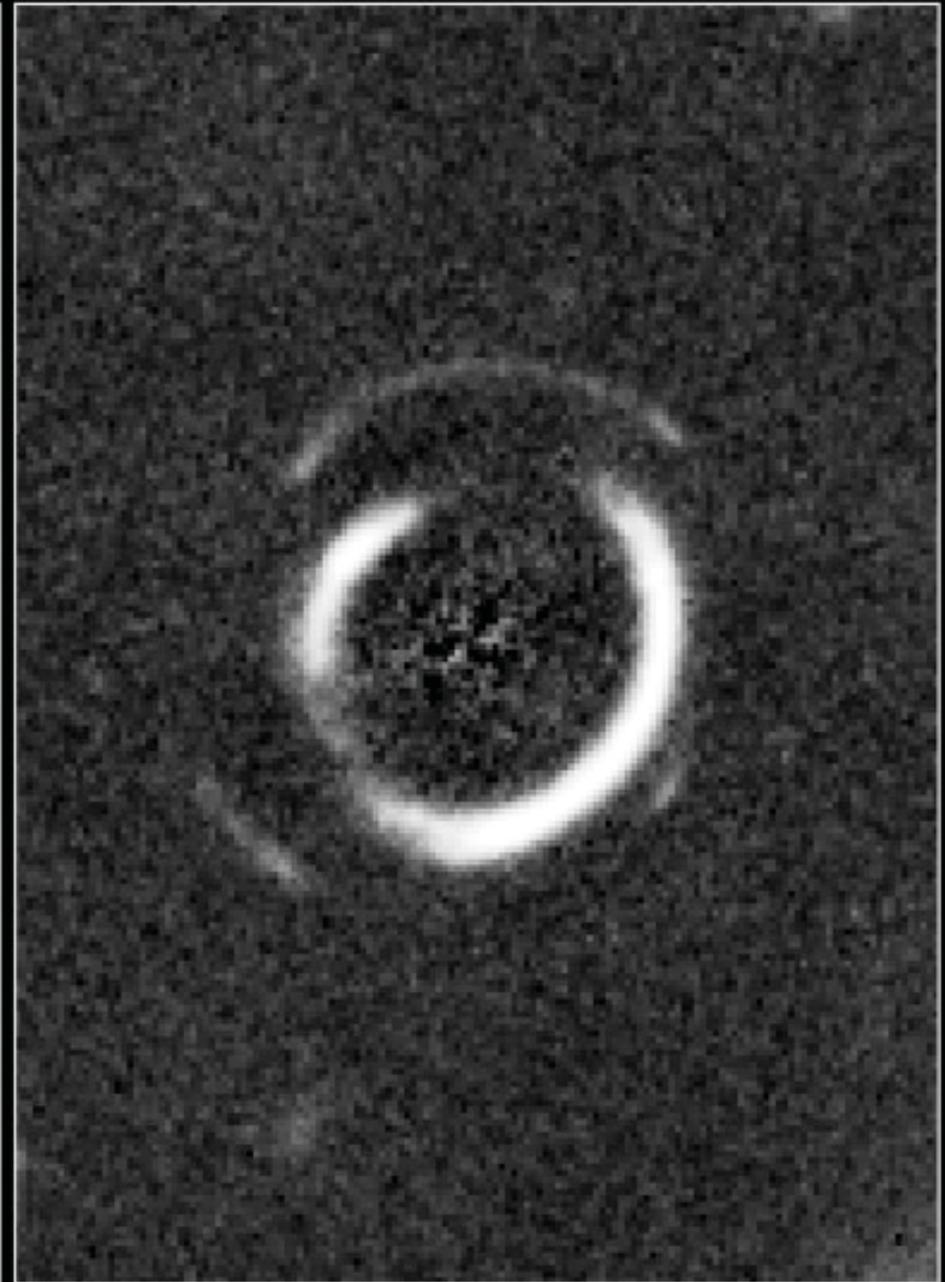
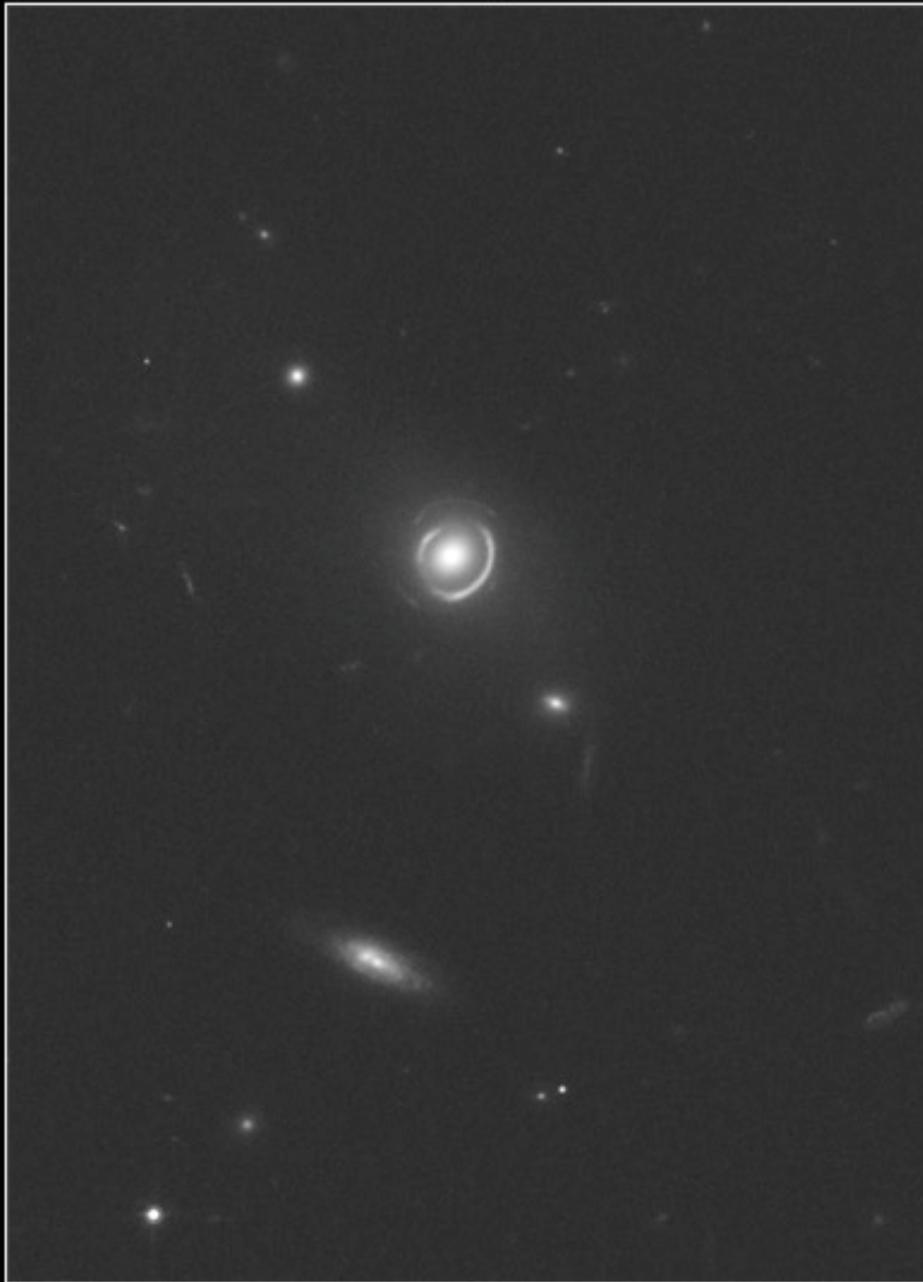
Aimablement communiqué par J.Surdej

c Hergé



Double Einstein Ring SDSSJ0946+1006

Hubble Space Telescope ■ ACS/WFC

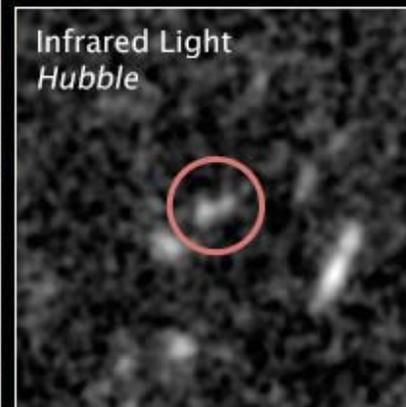
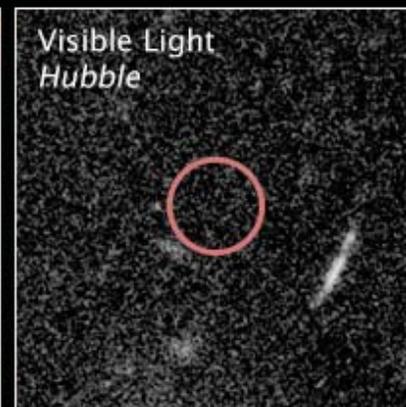
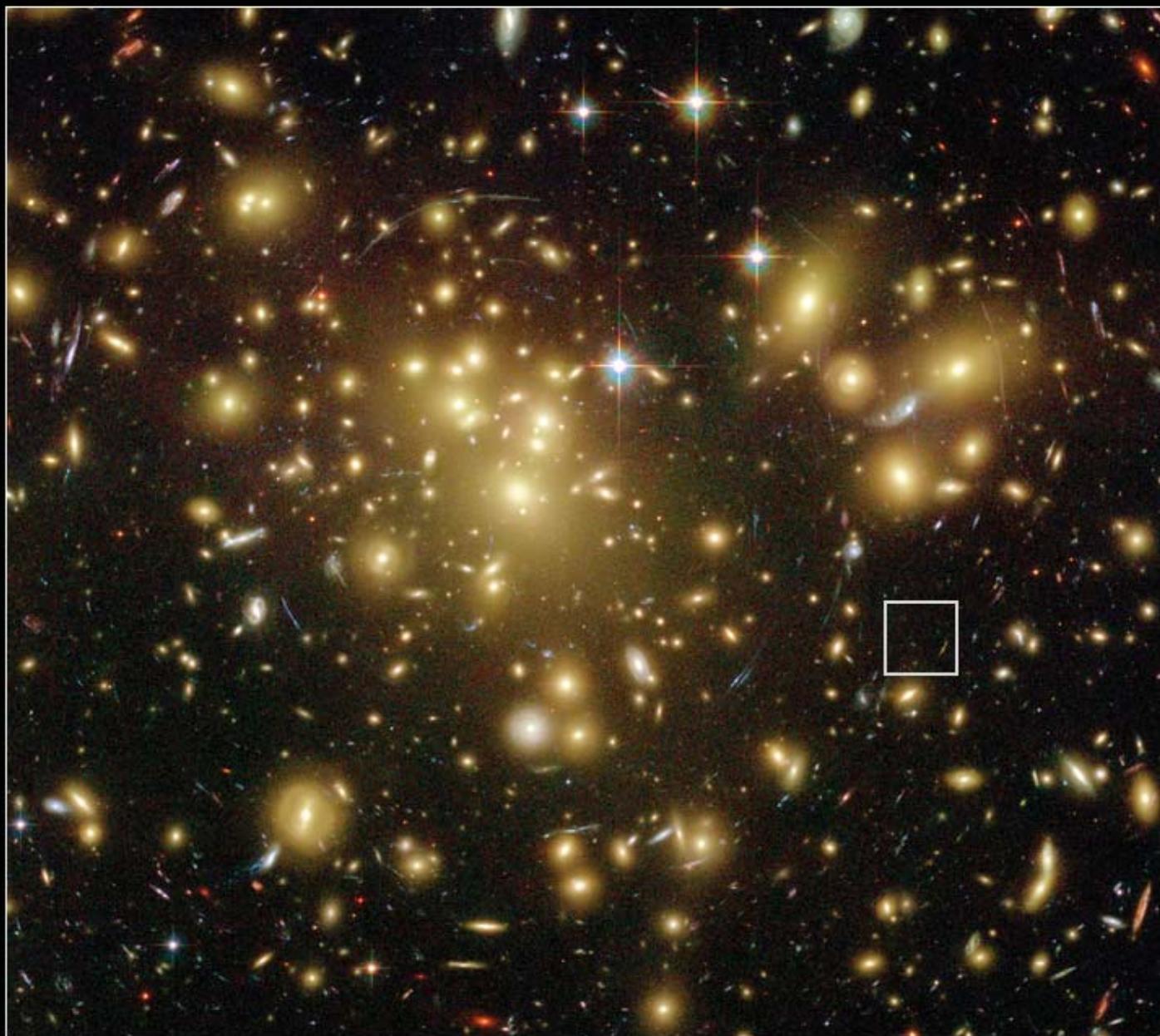


NASA, ESA, R. Gavazzi and T. Treu (University of California, Santa Barbara),
and the SLACS Team

STScI-PRC08-04

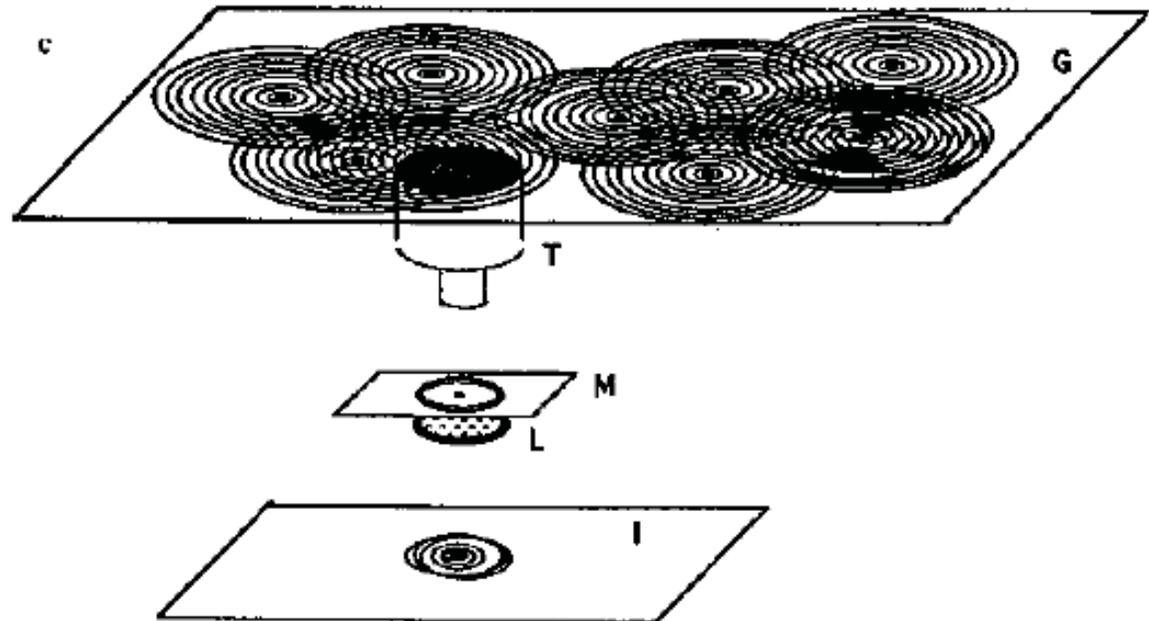
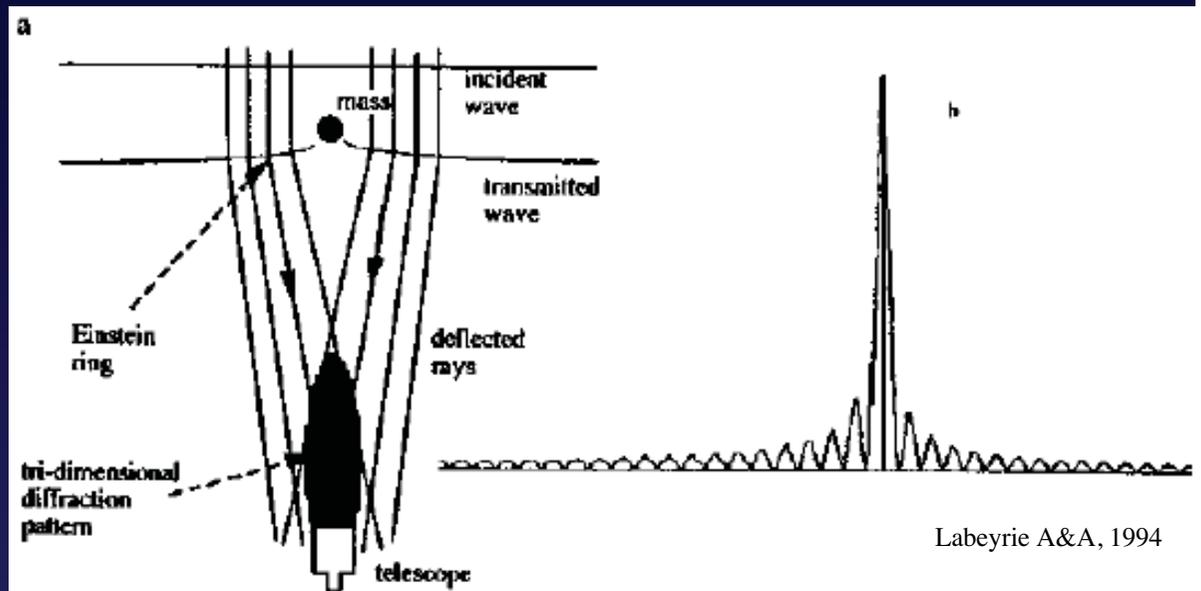
Distant Gravitationally Lensed Galaxy Galaxy Cluster Abell 1689

Hubble Space Telescope
ACS/WFC NICMOS



Focalisation diffractive d'une micro-lentille gravitationnelle

- Masse sub-stellaire, proche
- Flash bref observable avec un ELT ?

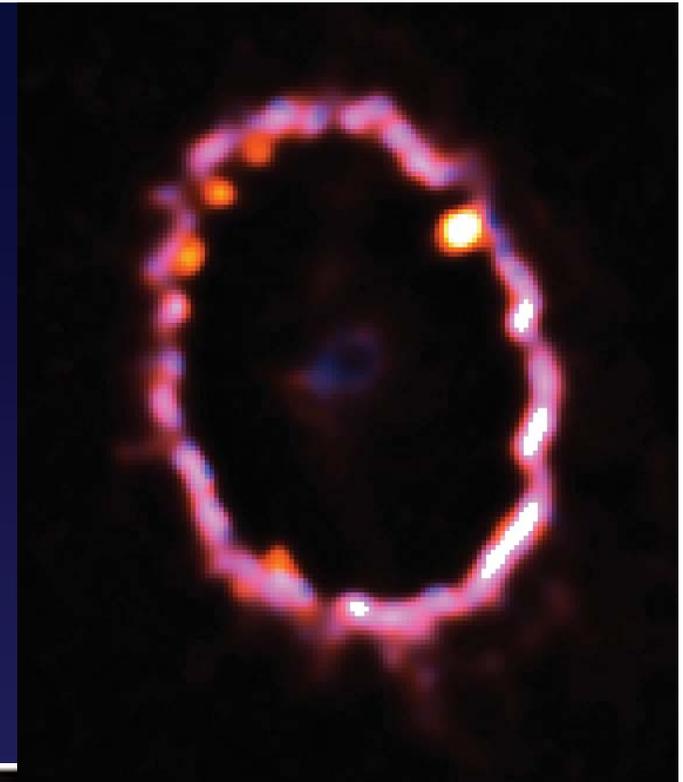


Supernova SN 1987A vue par Hubble

Supernova 1987A Rings

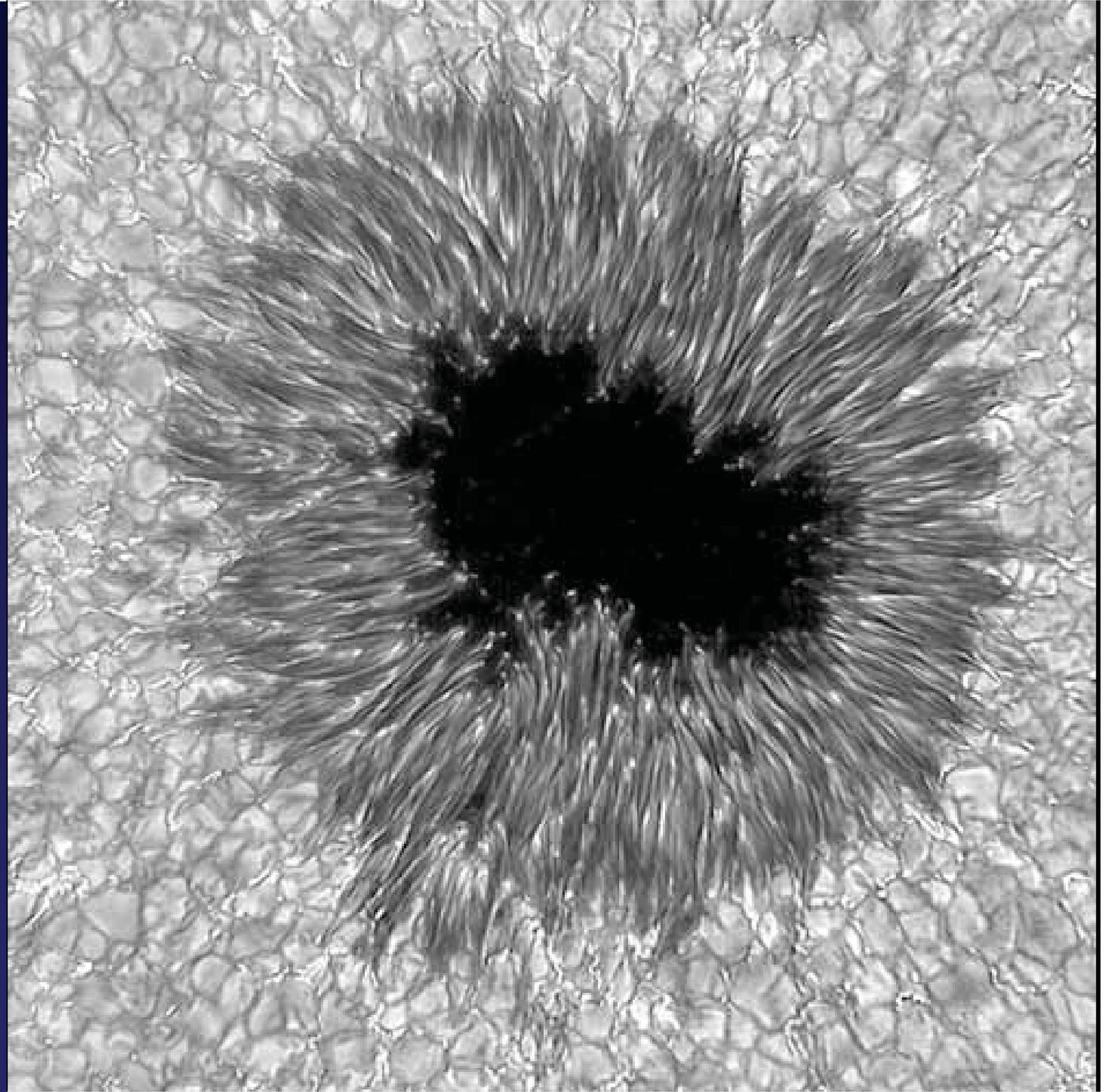


Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2



Tache solaire

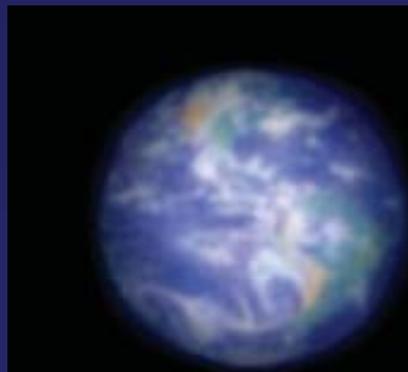
Voir les
taches
des
étoiles ?



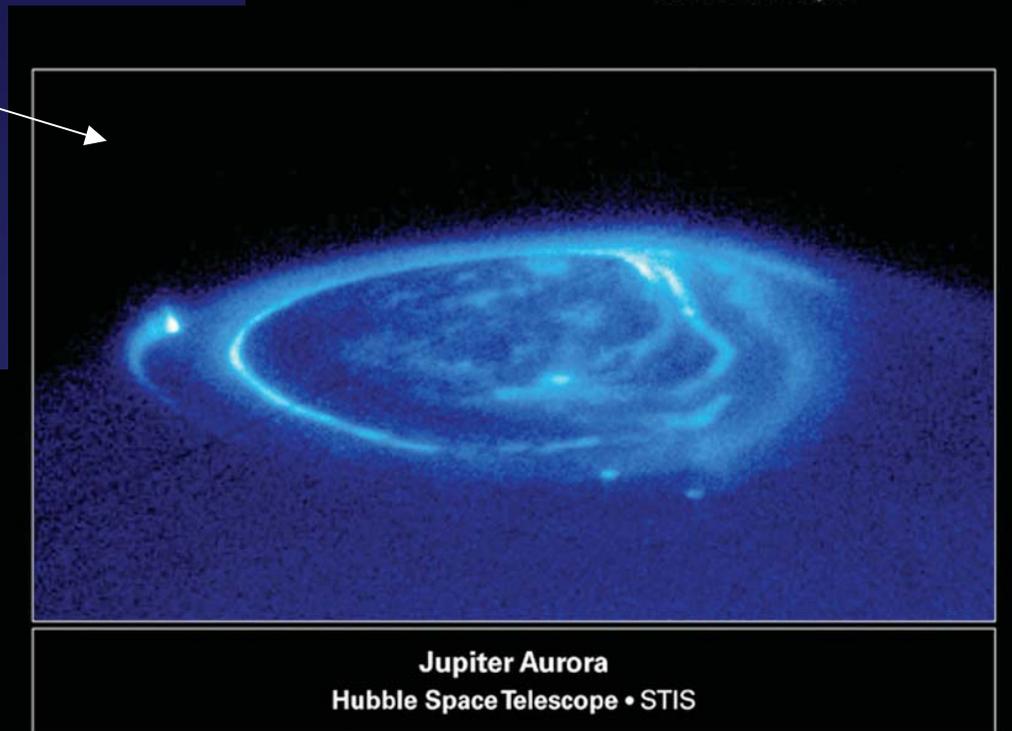
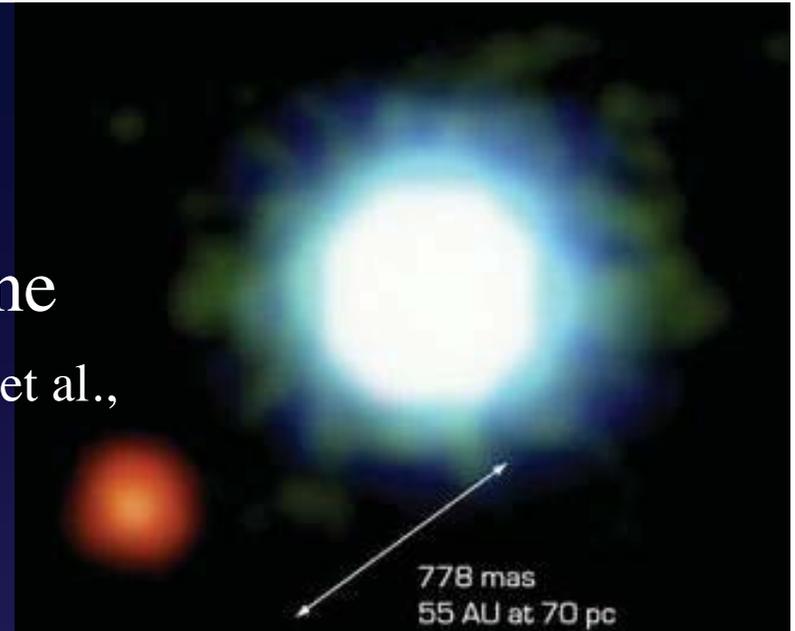
Voir des planètes d'étoiles

Première image d'une
exo-planète (Chauvin et al.,
2004)

- Pour en arriver là:
 - Bases de 10 à 100 km
 - > 100 ouvertures



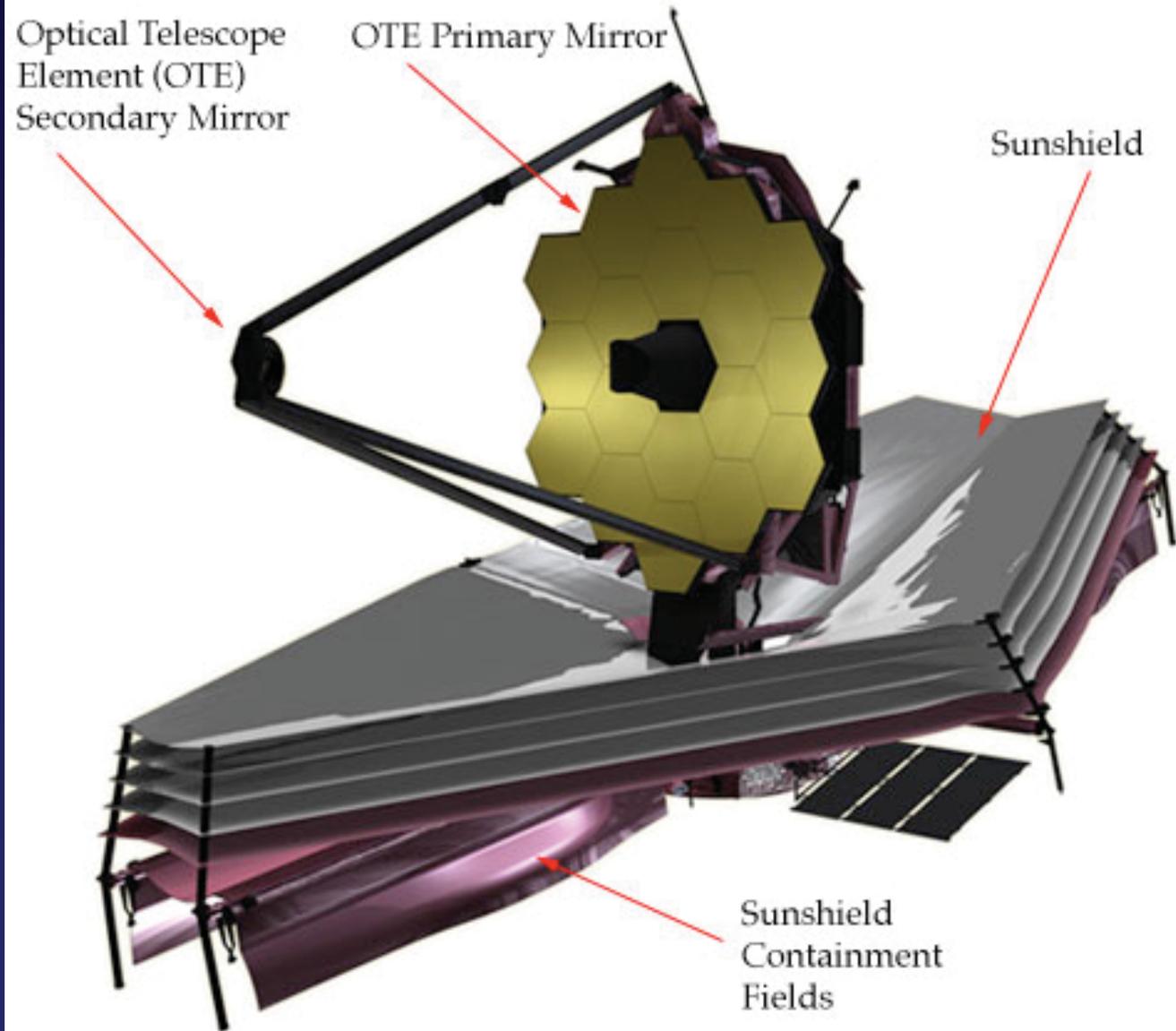
Terre à 10 années lumière



NASA and J. Clarke (University of Michigan) • STScI-PRC00-38

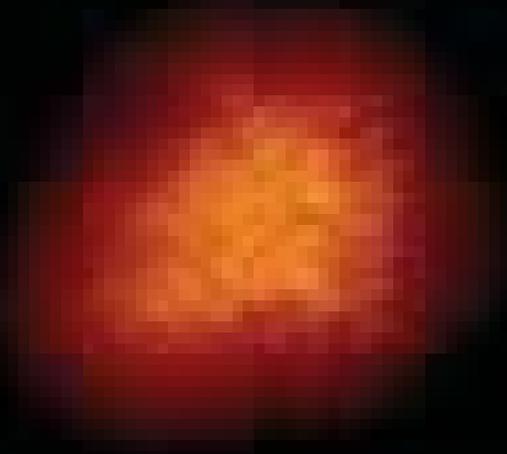
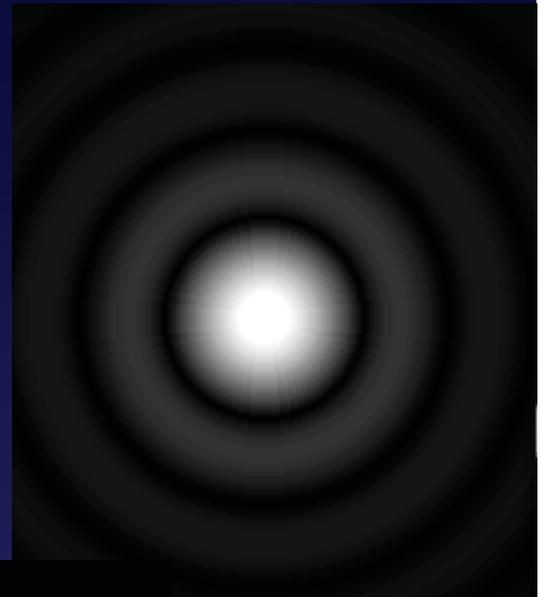
James Webb Space Telescope

- Successeur de Hubble
- Miroir mosaïque de 6m
- coronographe infra-rouge



Résolution d'un télescope

- ... c'est un interféromètre qui s'ignore
- ... des interférences forment l'image
- ... définissent le diamètre de la "tache de diffraction d'Airy"



Agrandir les télescopes pour mieux voir



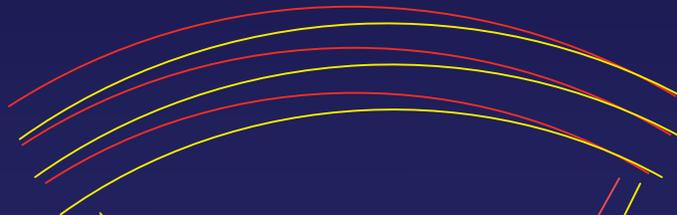
Ondes planes



Lentille



Ondes sphériques



Caméra



Première voie: miroirs mosaïques 30-60m

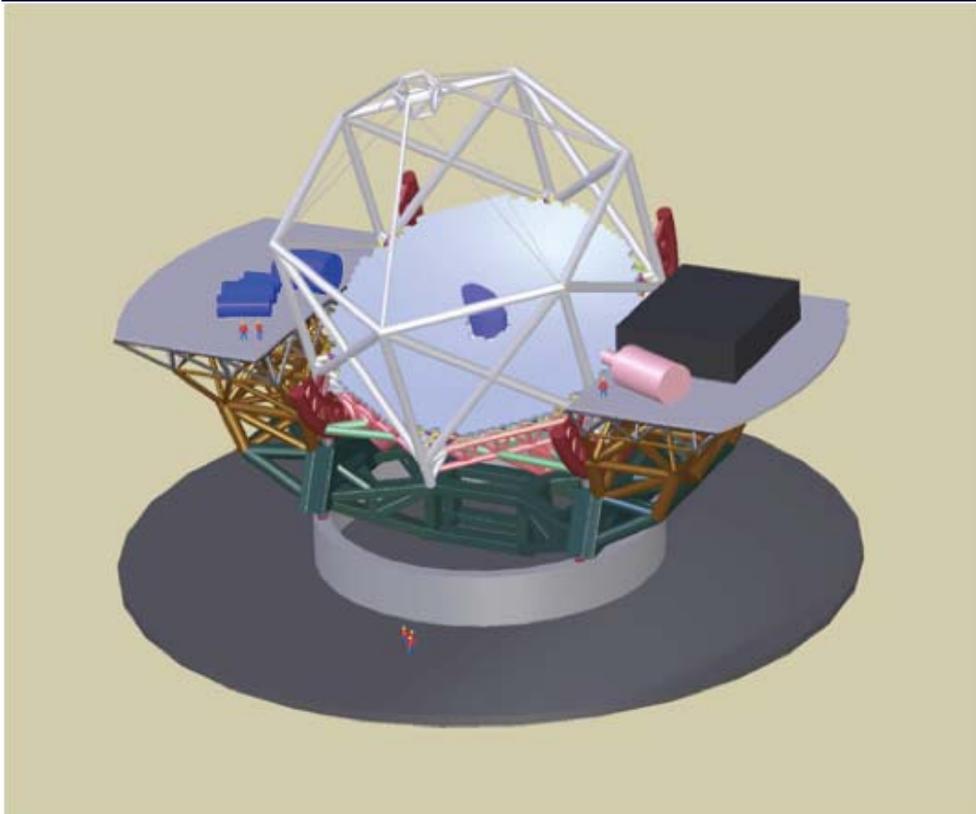
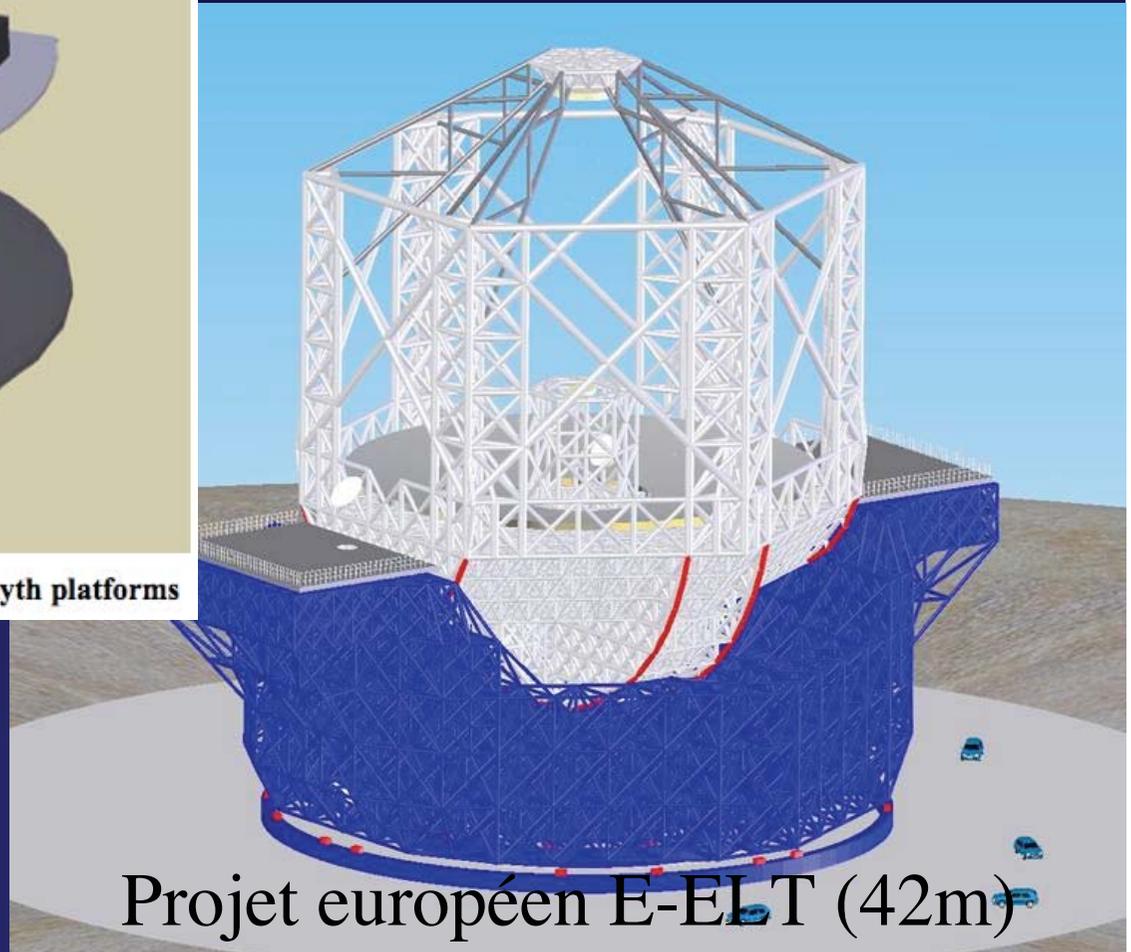


Figure 1 Thirty Meter Telescope with instruments on Nasmyth platforms

- Miroirs de 1m environ, ép. 45mm, Zerodur ou SiC
- Cout: 13 000 €/m²
- + 40% asphérisation
- + monture

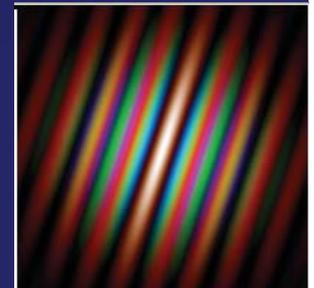


Projet européen E-ELT (42m)

Interféromètre



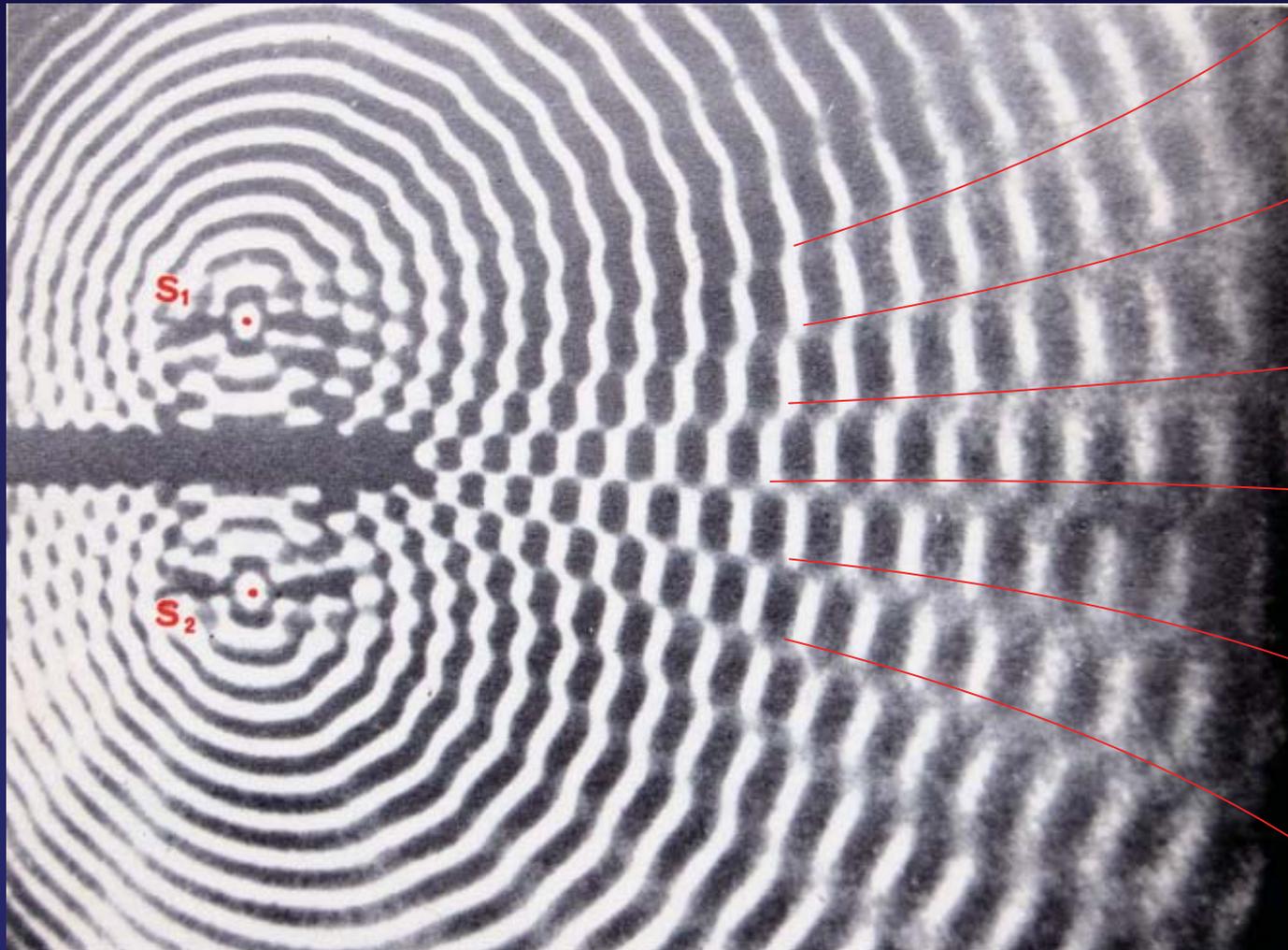
- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution



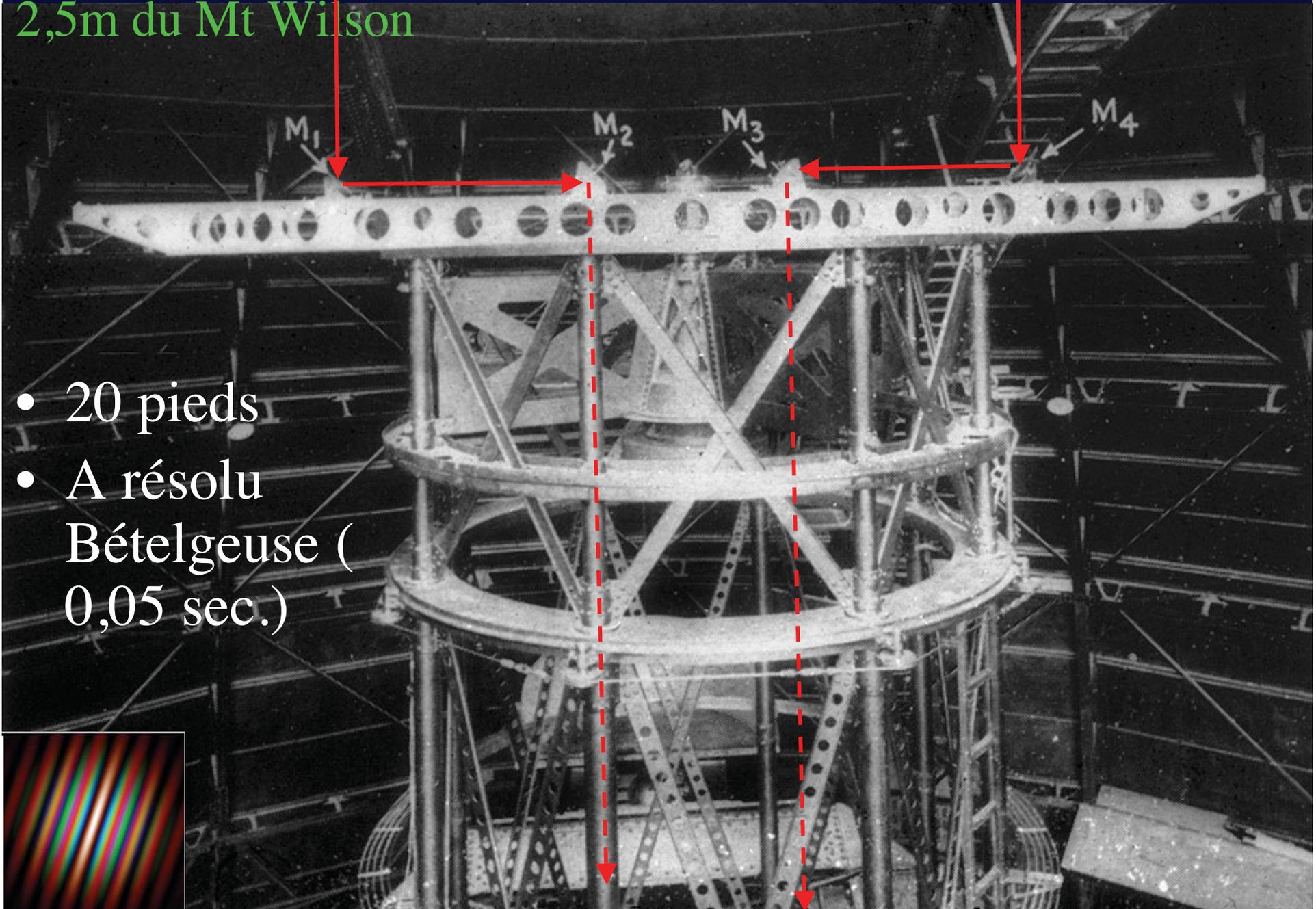
Interférence des vibrations

- ... d'une surface d'eau
- ... et de la lumière

Interférence destructive



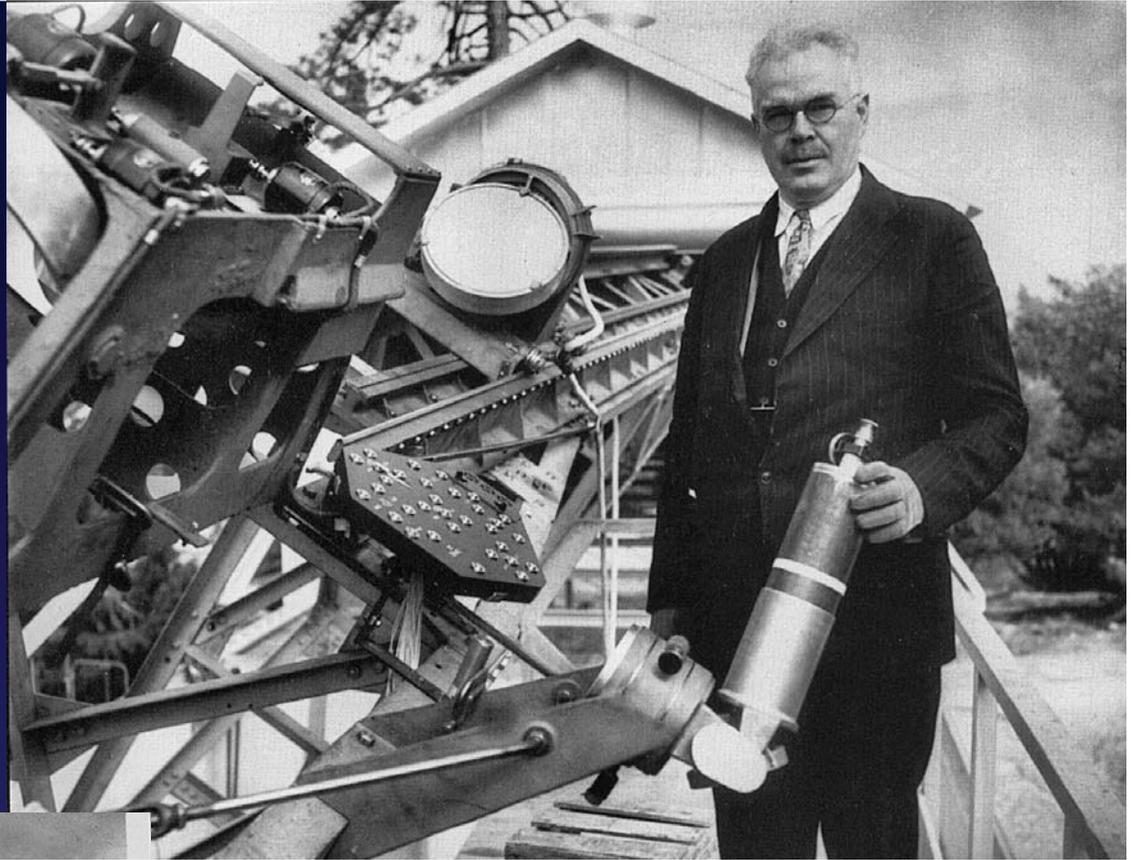
La poutre de Michelson (1920) sur le télescope de 2,5m du Mt Wilson



- 20 pieds
- A résolu Bételgeuse (0,05 sec.)

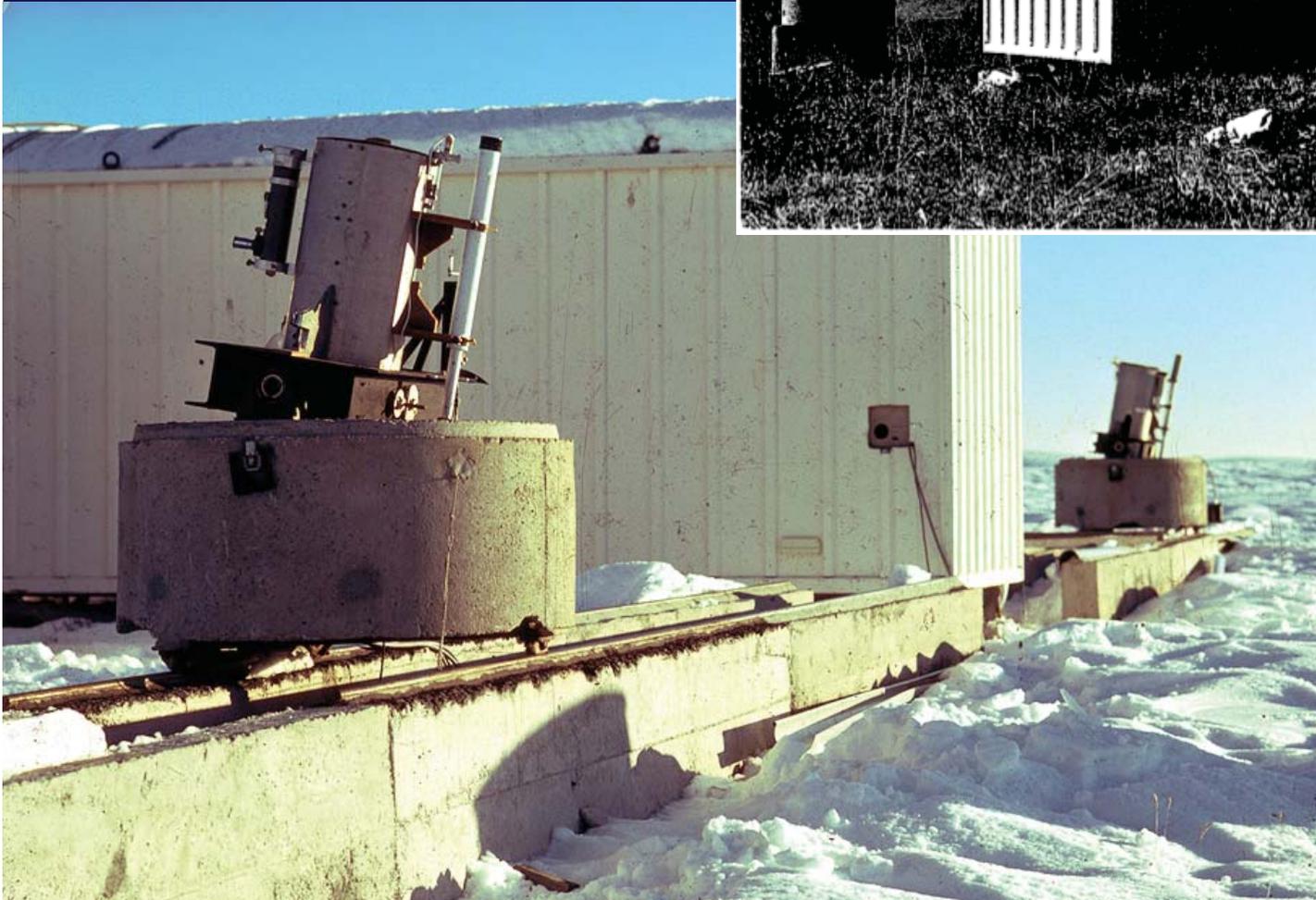
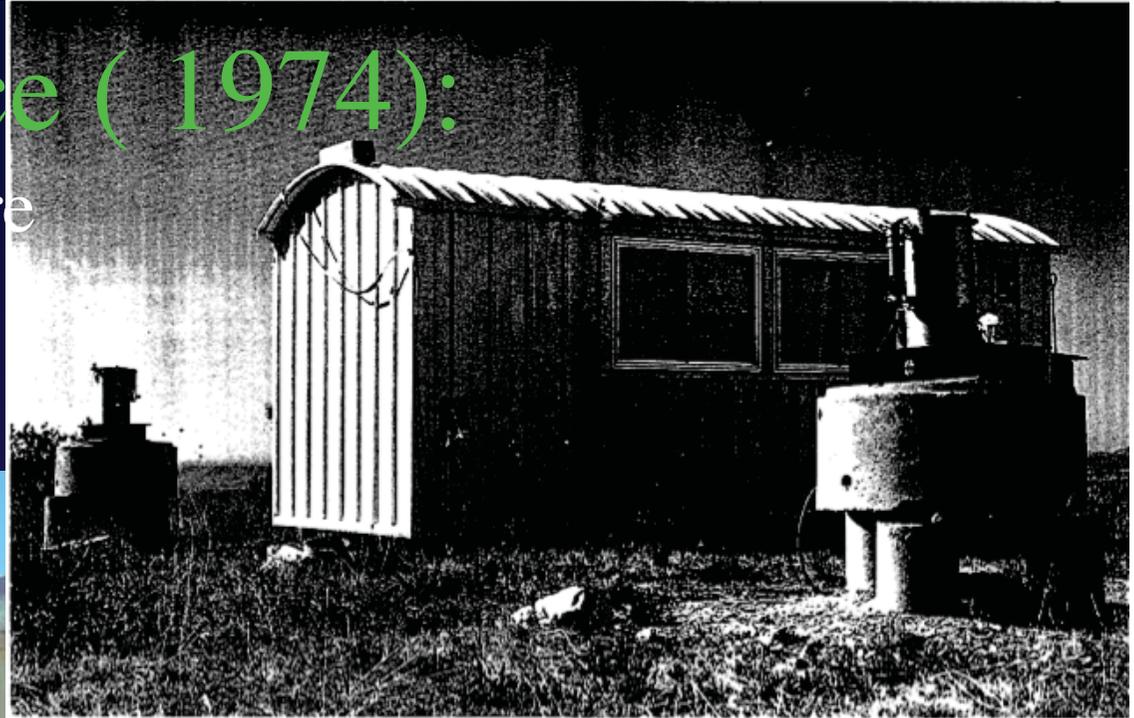
Interféromètre de 50 pieds

(Mt Wilson, 1930)



Observatoire de Nice (1974):

- premier « interféromètre à deux télescopes »
- L'ancêtre des géants



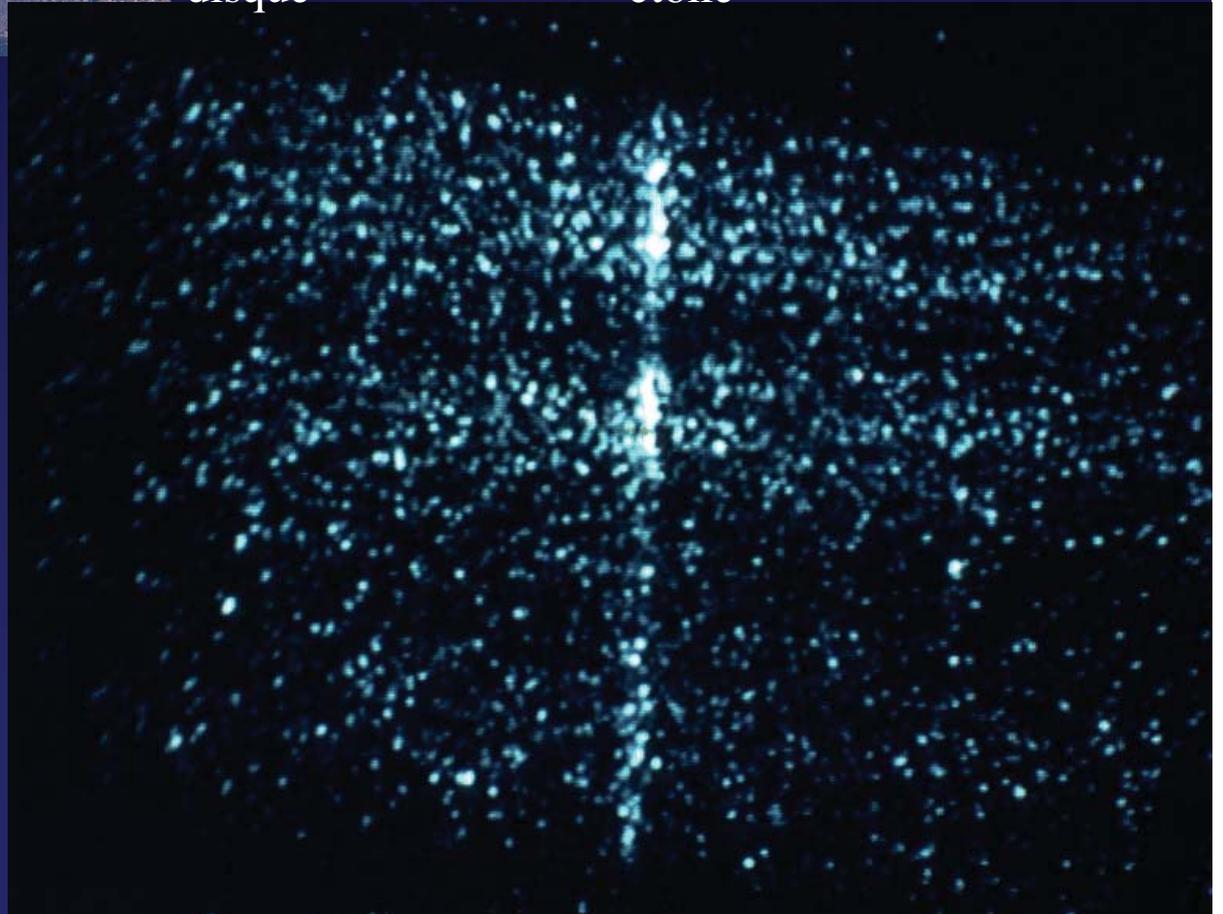


Grand Interféromètre à deux télescopes

Franges dispersées sur gamma Cassiopée

disque

étoile



- Keck : paire de télescopes de 10m à miroirs mosaïque



- Very Large Telescope Observatoire Européen Austral
- 4 télescopes de 8m, couplés pour interférométrie



Interféromètre CHARA au Mont Wilson

(Mc Alister et al.)

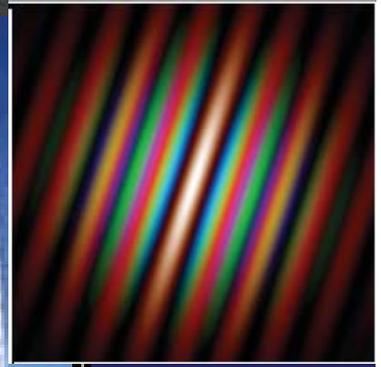
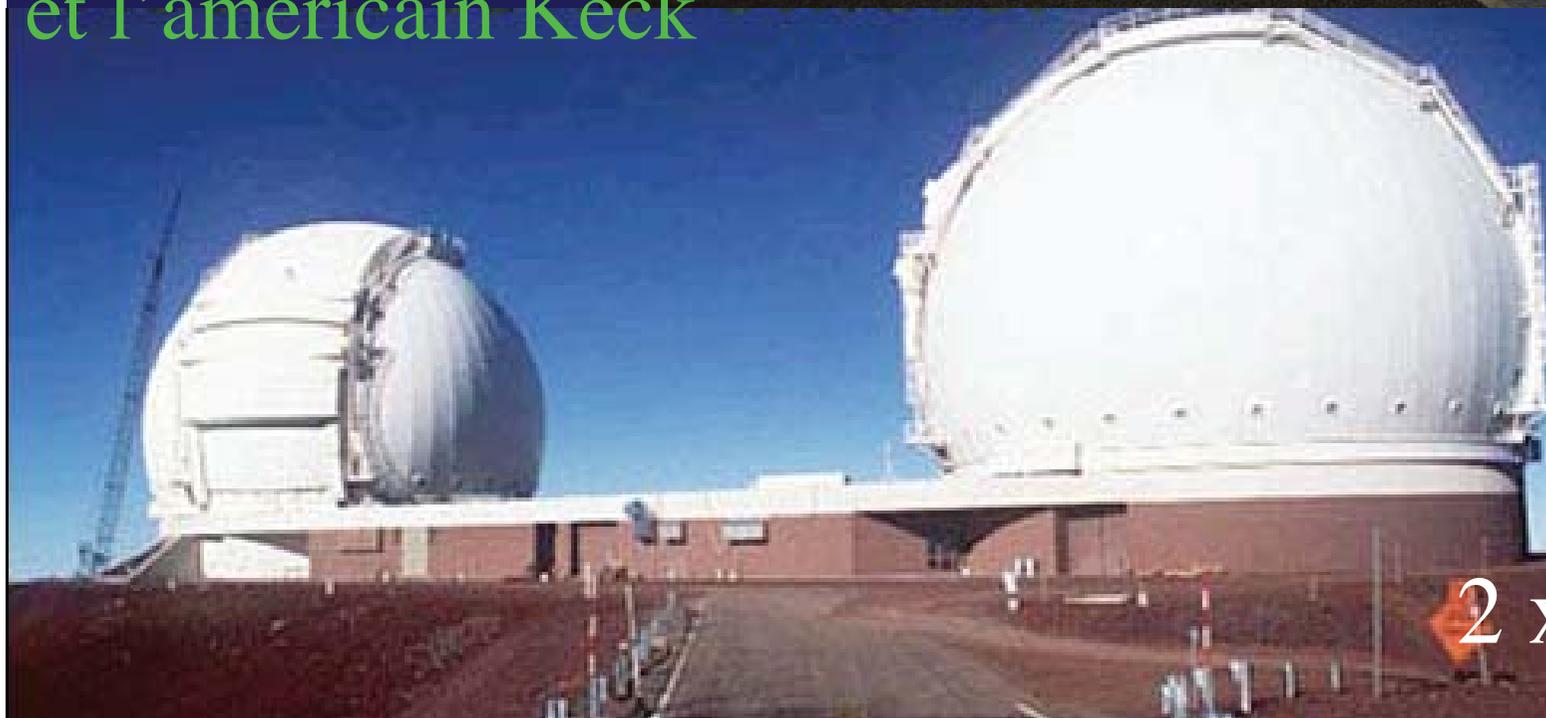
- 6 télescopes de 1m
- Bases atteignant 330m
- Lignes à retard de 45m



- Infra-rouge proche
- étendu au visible
par D.Mourard et al.

4 x 8m

L'européen VLTI
et l'américain Keck



2 x 10m

Résultats récents du grand interféromètre européen au Chili

- Distance de l'étoile γ 2 Velorum, Millour et al.
- Detection d'un disque Keplerien autour de α Arae, étoile Be, Meilland et al.
- η Carinae, Weigelt et al.
- Nova RS Ophiuchi , 5 jours après , Chesneau et al. Aussi au Keck
- Interaction disque-vent dans l'étoile jeune MWC 297, Malbet et al.
- Supergéante Be CPD-57 2874, Domiciano de Souza et al.
- Variable Mira S Orionis, Wittkowsky et al.
- Diamètre angulaire de V3879 Sgr
- Achemar, Kervella
- Disque d'accrétion d'étoile Herbig Be, Kraus et al.
- Instantané sur la poussière d'une étoile variable RCrB
- Débuts d'observations extra-galactiques: noyau actif de la galaxie de Seyfert NGC 1068
- Étoile super-géante d'une galaxie voisine



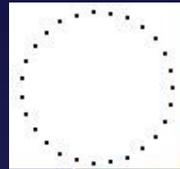
Deuxième voie: interférométrie avec quelques grands télescopes

- Après les précurseurs français I2T et GI2T
- « Keck Interferometer » à Hawaii: 2 fois 10m
- « Very Large Telescope Interferometer (VLTI) » européen au Chili:
4 fois 8m
- belle moisson de résultats
- évolution: N télescopes de 8m, bases 1km ?
- grandes lignes à retard coûteuses, limitent N
- concurrence prévisible des
versions spatiales, hypertélescope

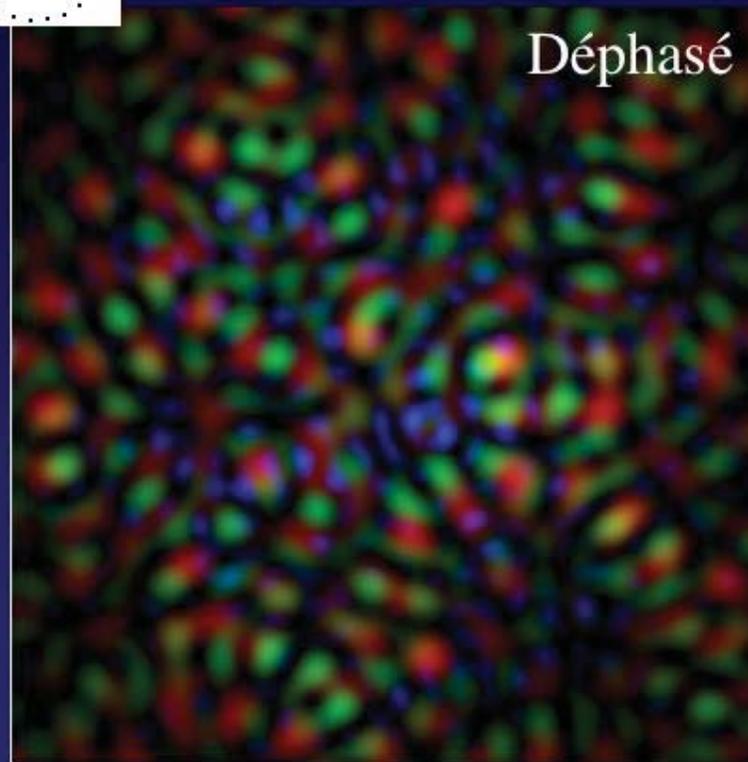


Mettre en phase les interféromètres

- ... en présence de turbulence



27 ouvertures en cercle



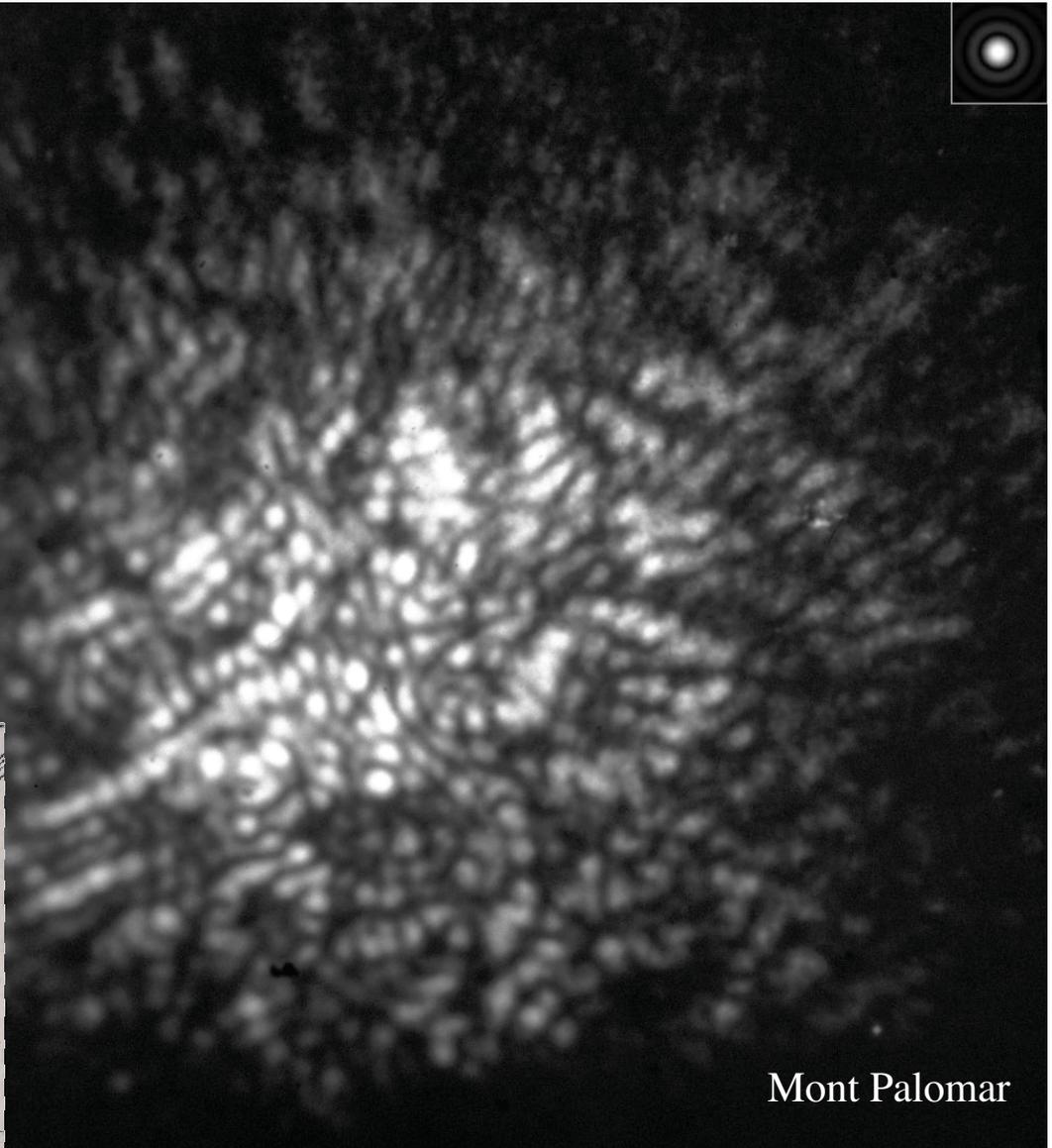
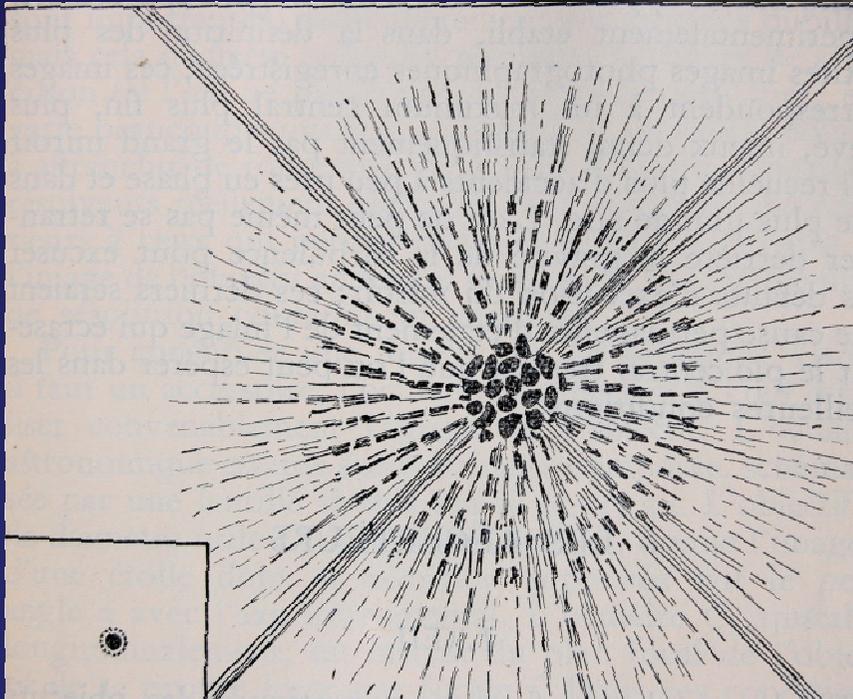
Déphasé



En phase

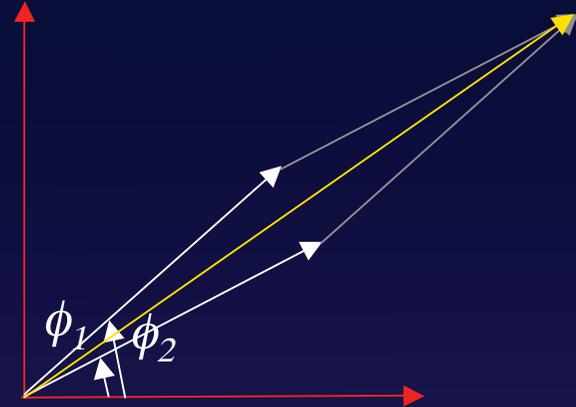
Mettre en phase la lumière

J. Texereau, La construction
du télescope d'amateur (1960)

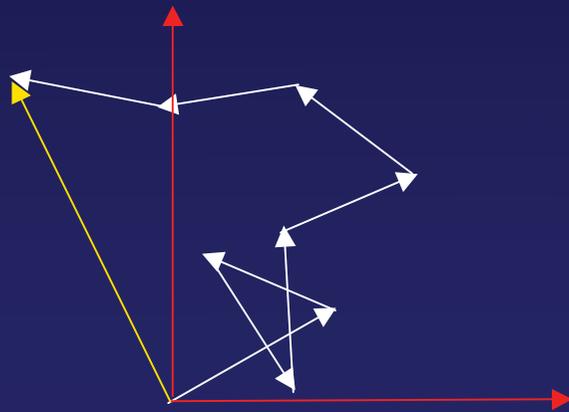


Mont Palomar

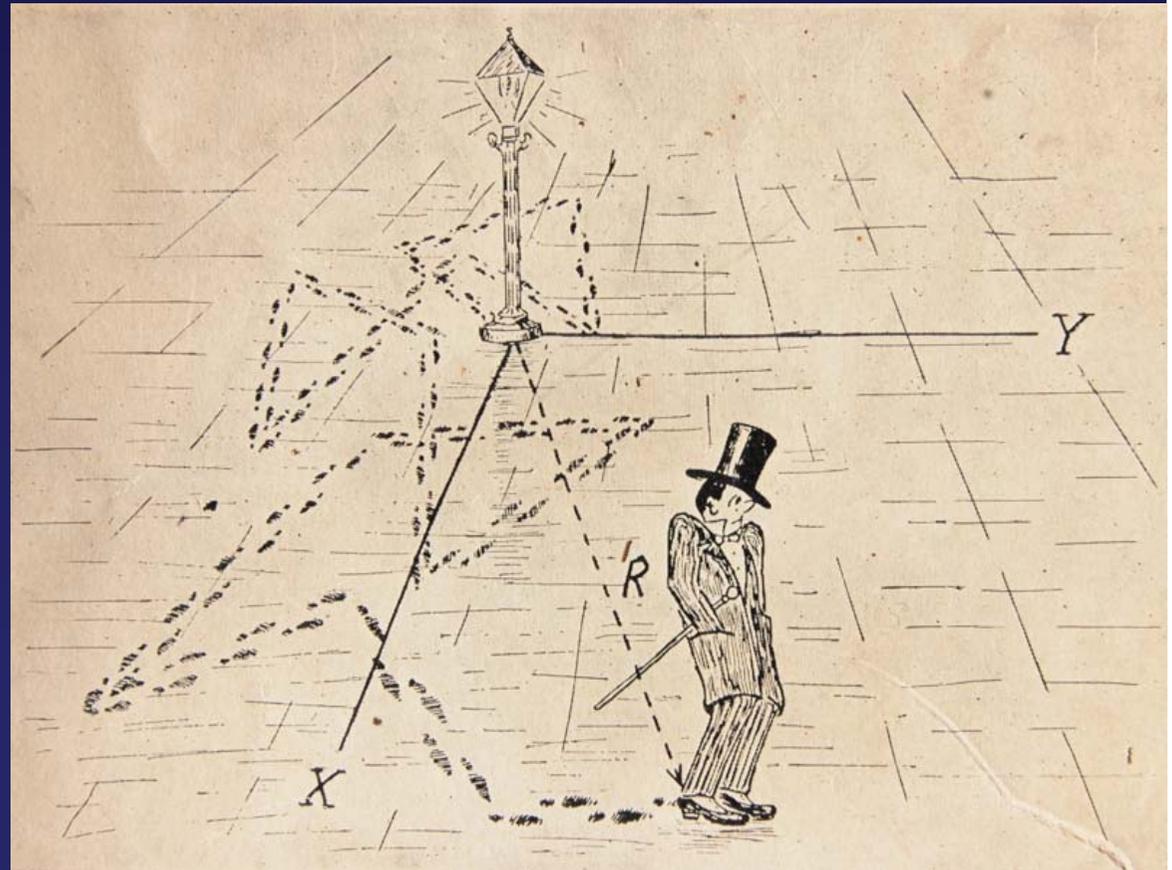
Ajouter des vibrations



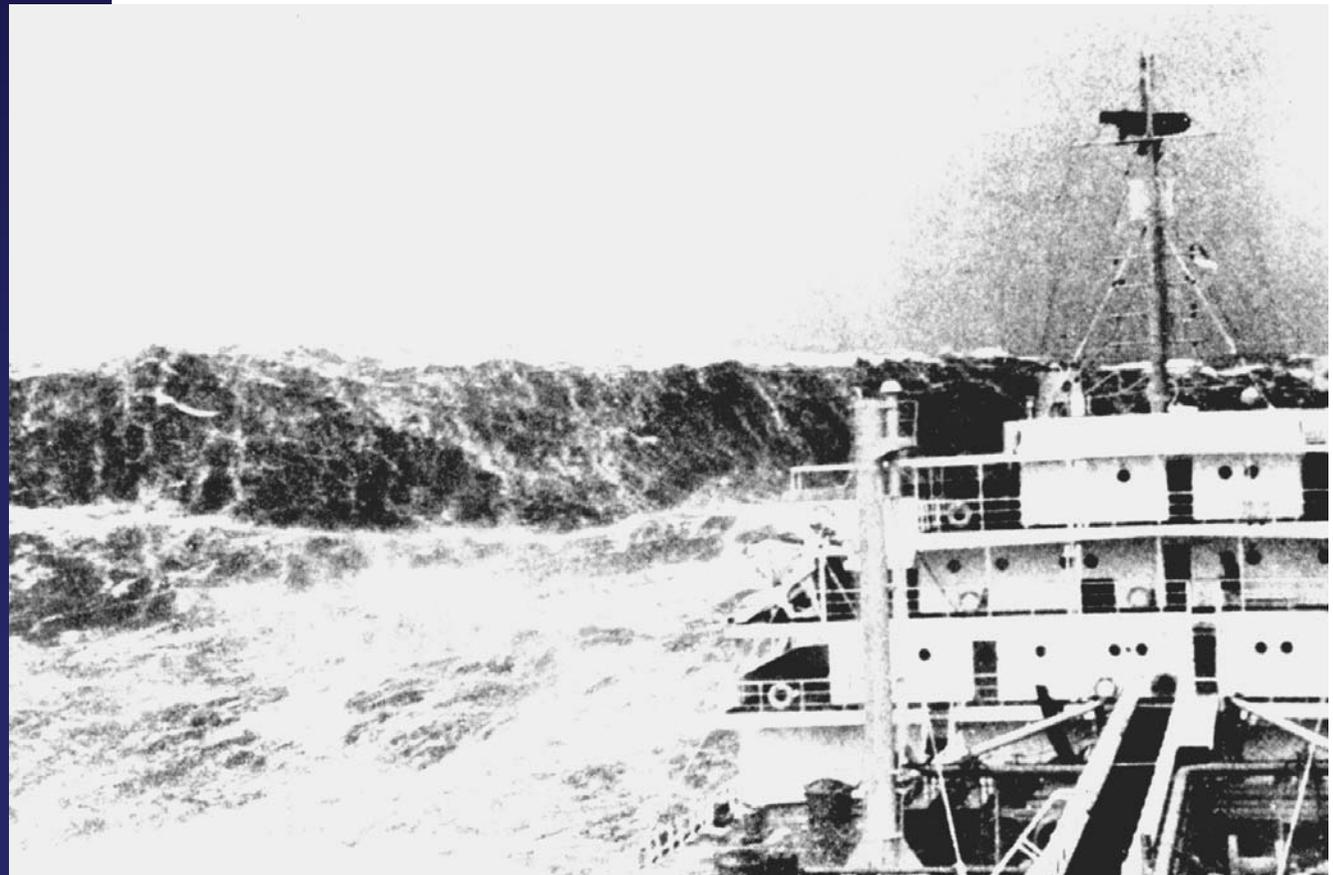
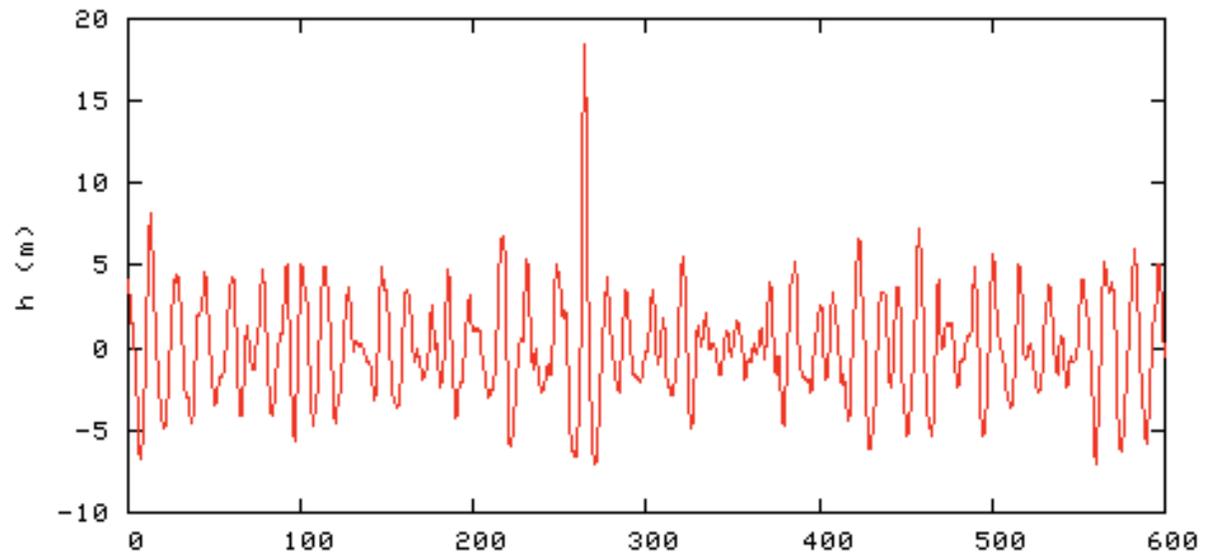
- Représentées par des "vecteurs de Fresnel"
- N vibrations à phase aléatoire



Marche aléatoire, selon G.Gamow
(Un, deux, trois, l'infini..) →



Mise en phase: la vague monstre



Optique adaptative

- Mesure et compense instantanément les déformations de l'onde
- ... avec un miroir déformable

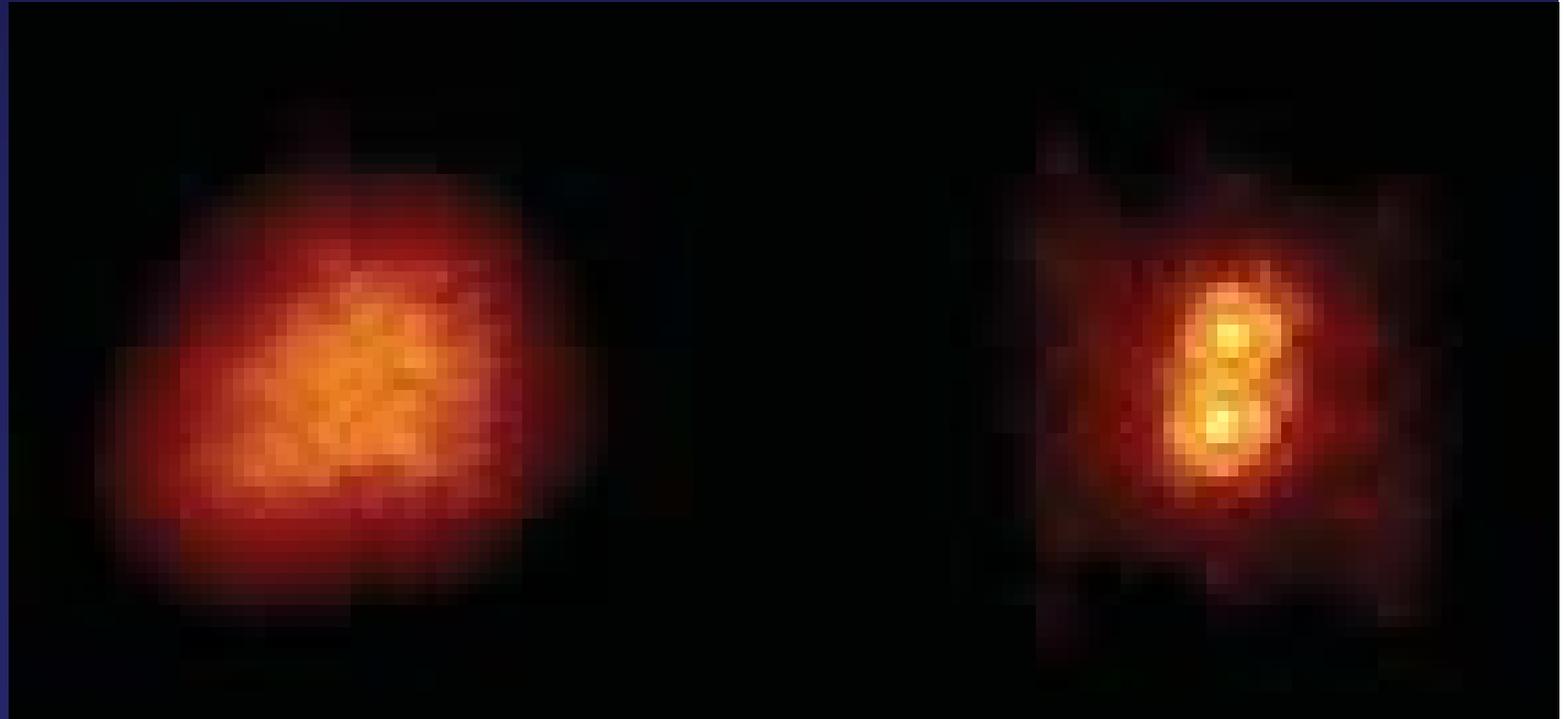
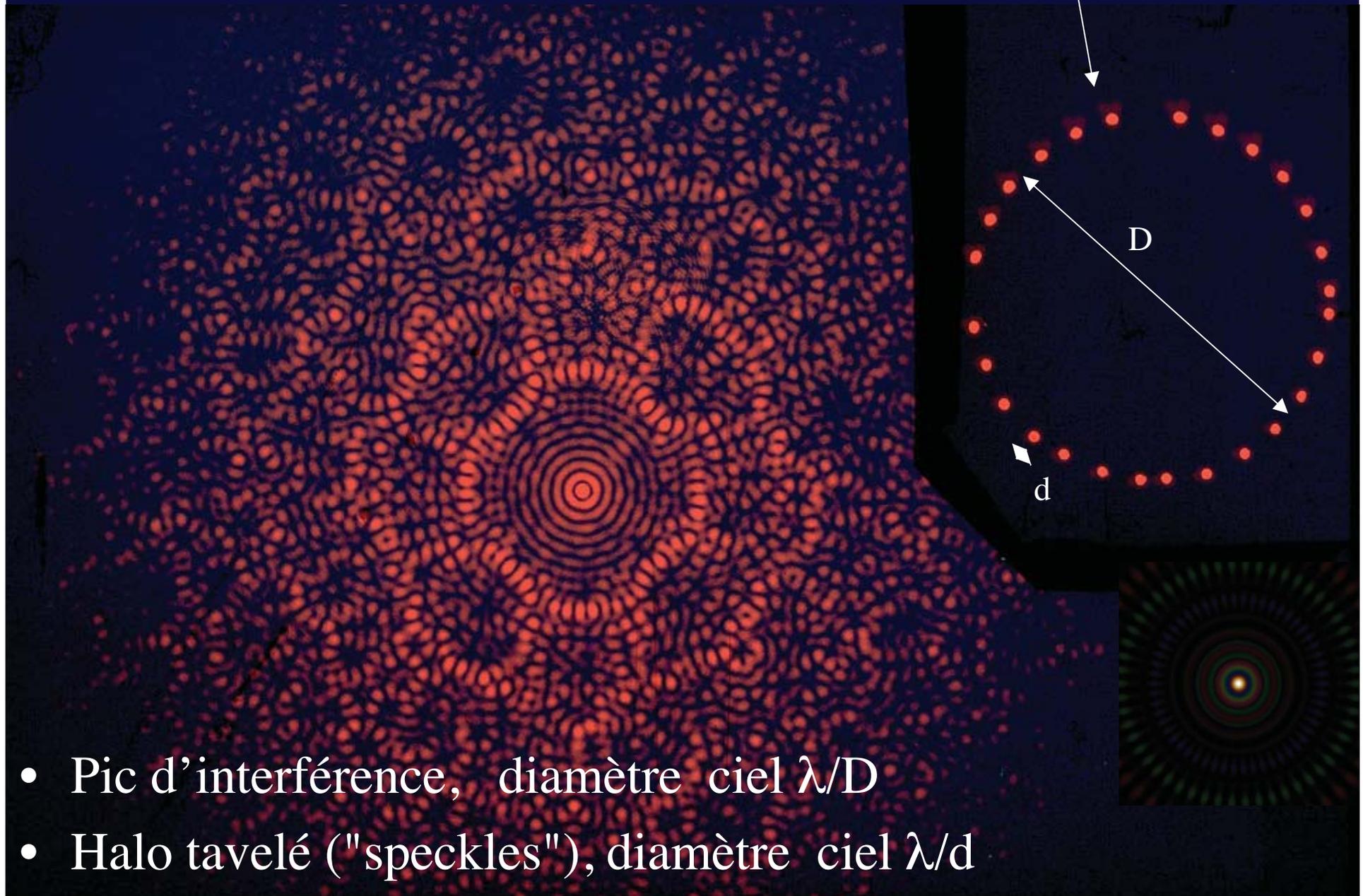
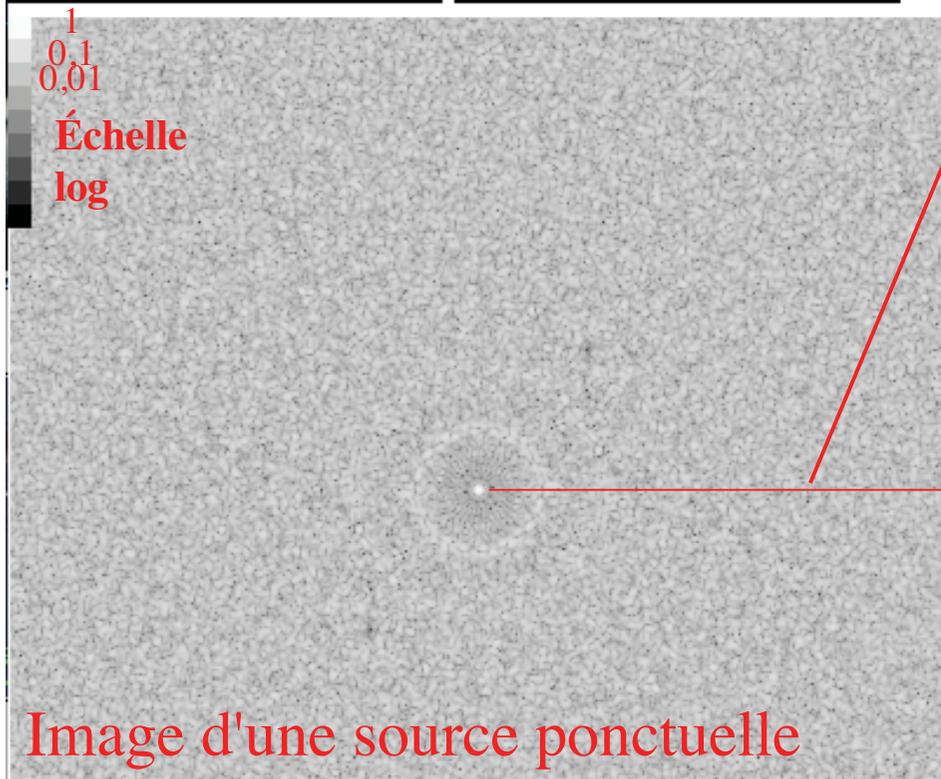
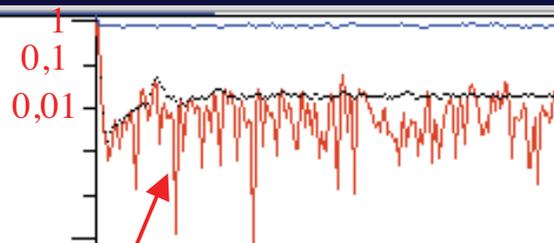
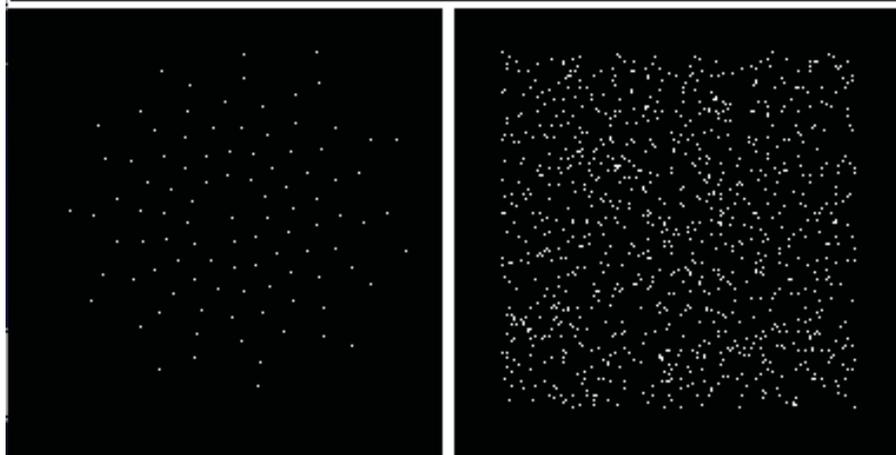


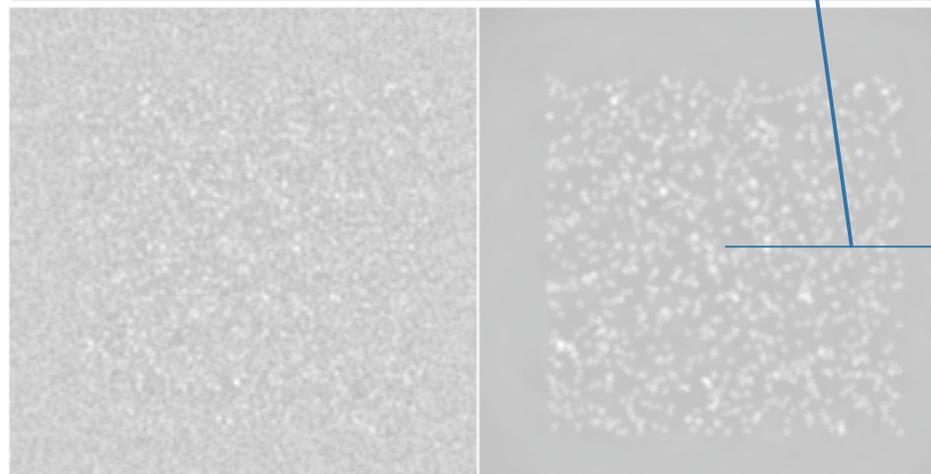
Image Fizeau d'un point source, par 27 ouvertures



Simulations d'imagerie Fizeau: 100 miroirs et 1000 étoiles

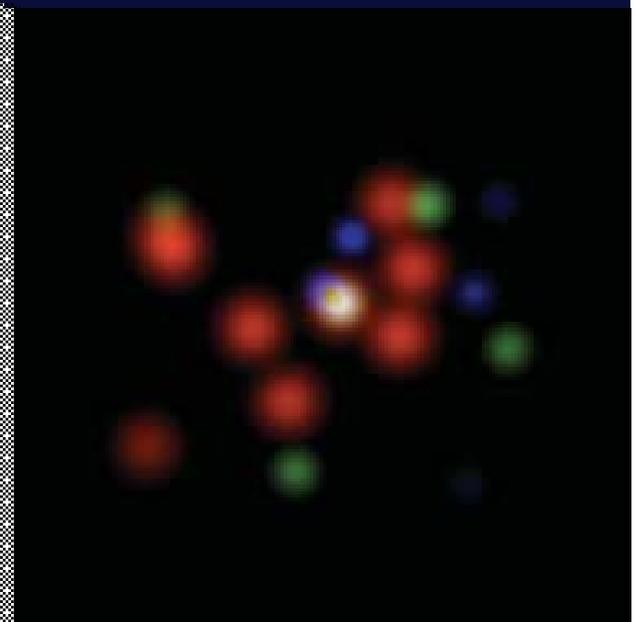
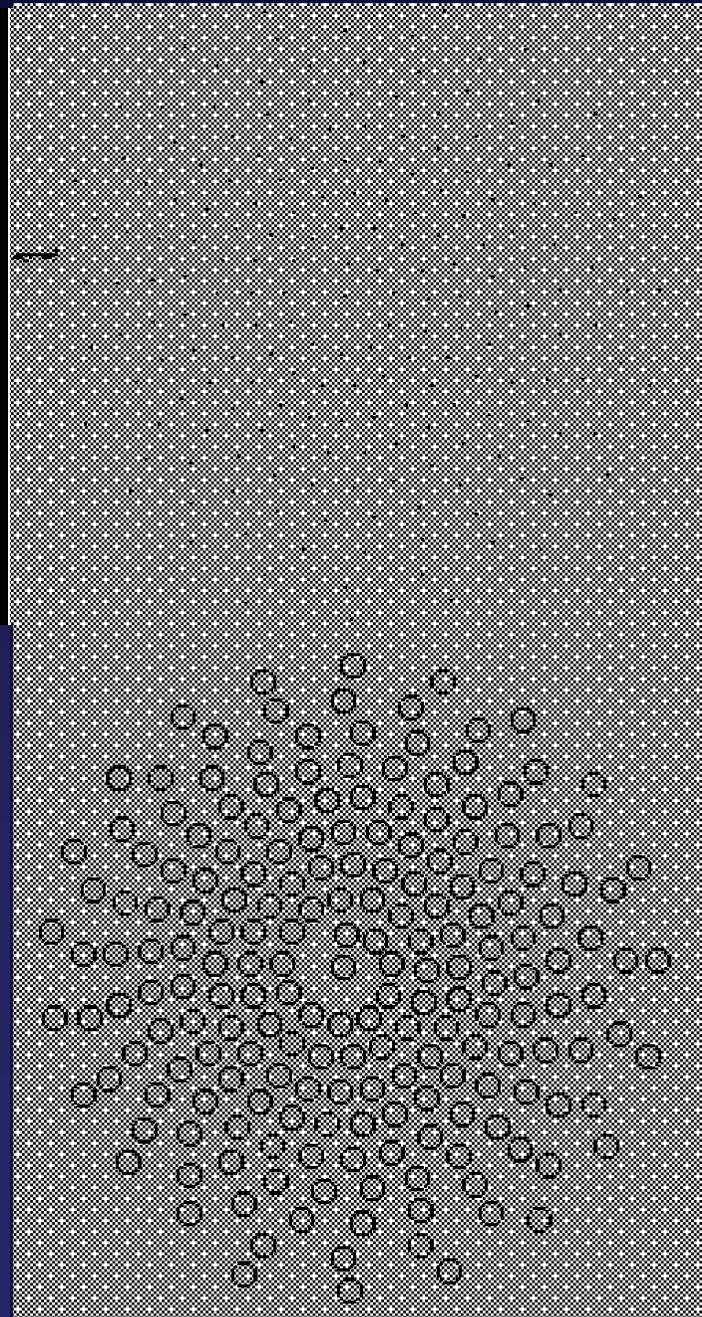
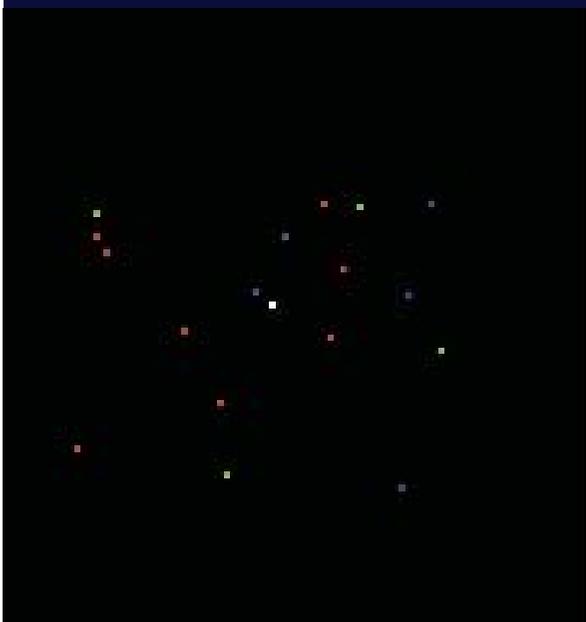


Rotation
Sans Avec



La troisième voie :

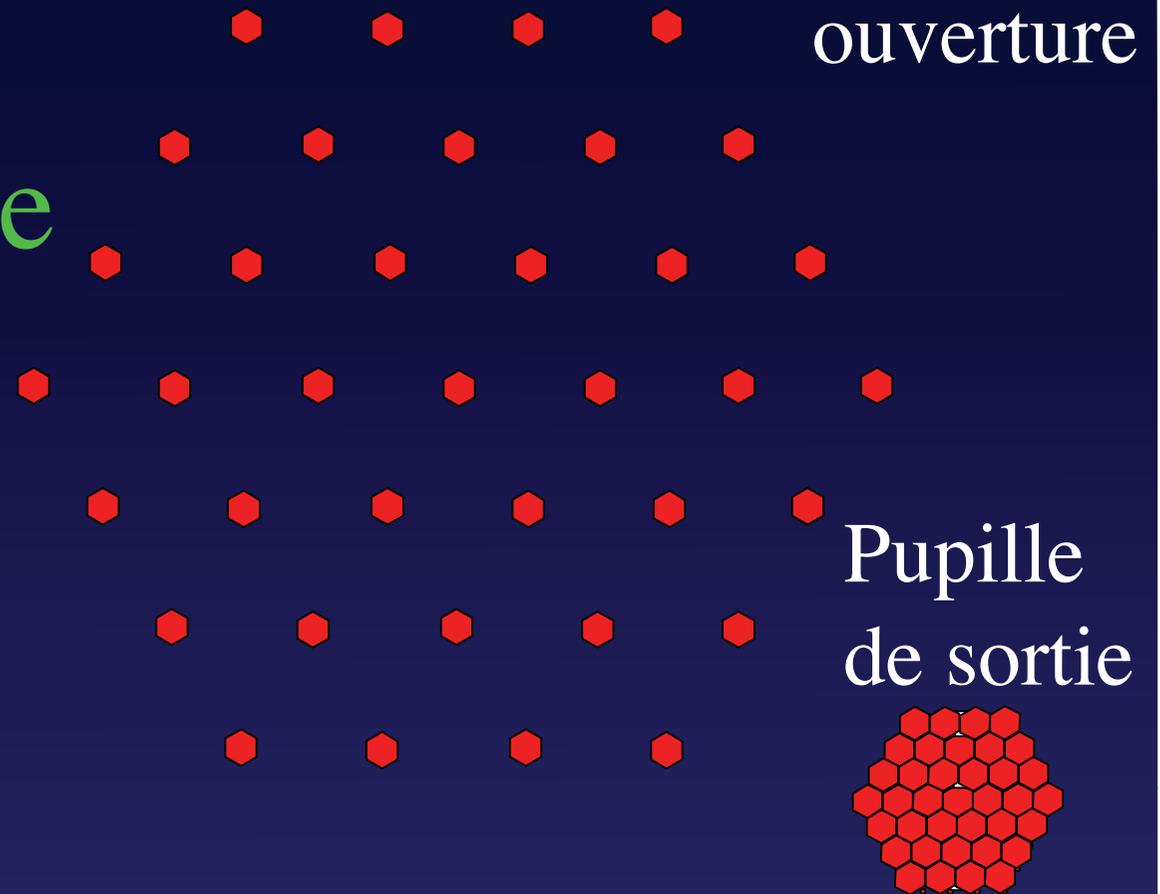
Hypertélescopes



- miroir géant en pointillés
- formant une image directe "à pupille densifiée"

Hypertélescope

(Labeyrie, A&A, 1996)

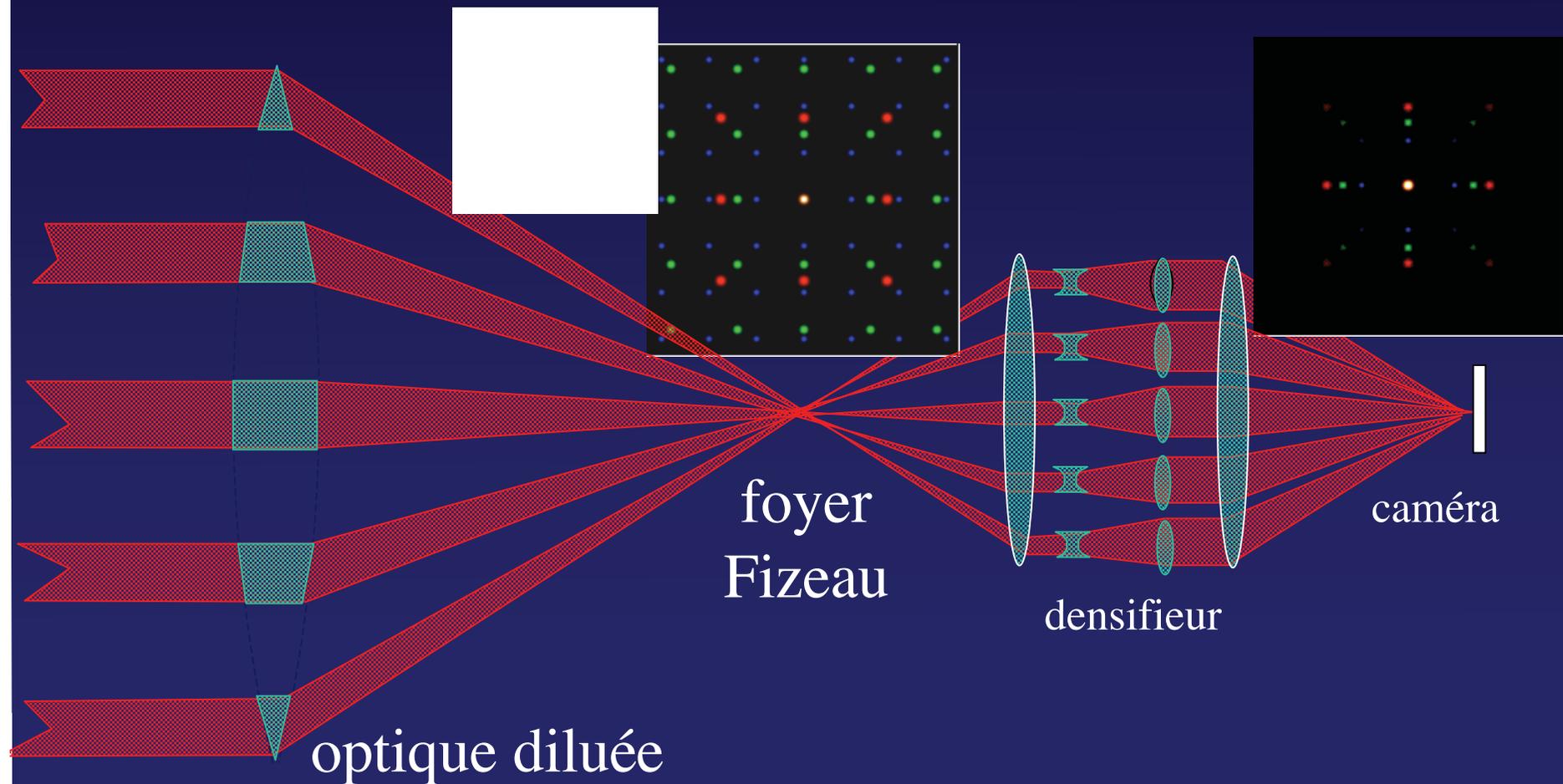


- Interféromètre imageur, multi-ouvertures, à pupille densifiée
- Forme directement des images....
- ...dans un champ plus réduit qu'un Fizeau, mais plus lumineux

Principe de l'hypertélescope

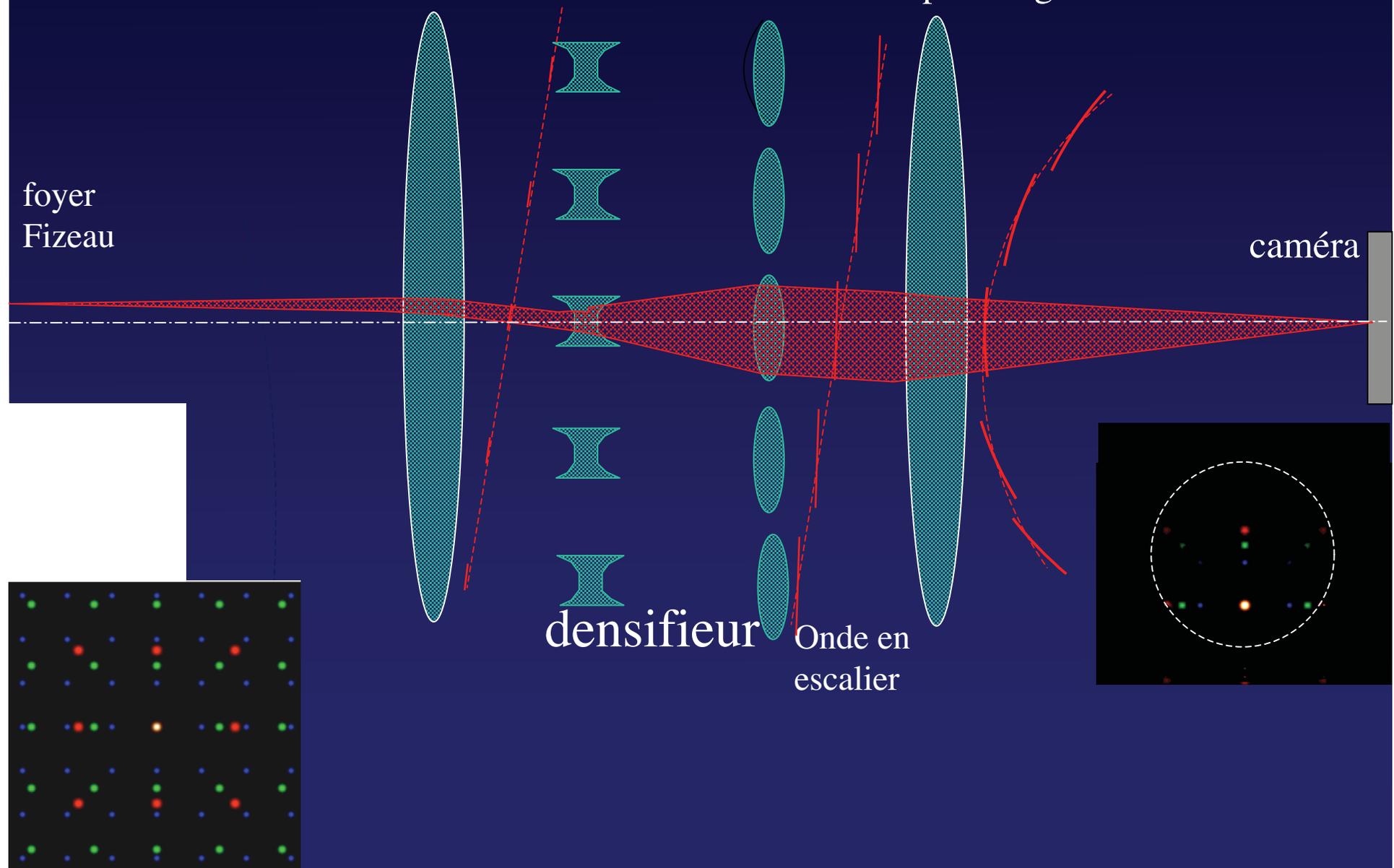
ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

(Labeyrie A&A, 1996)



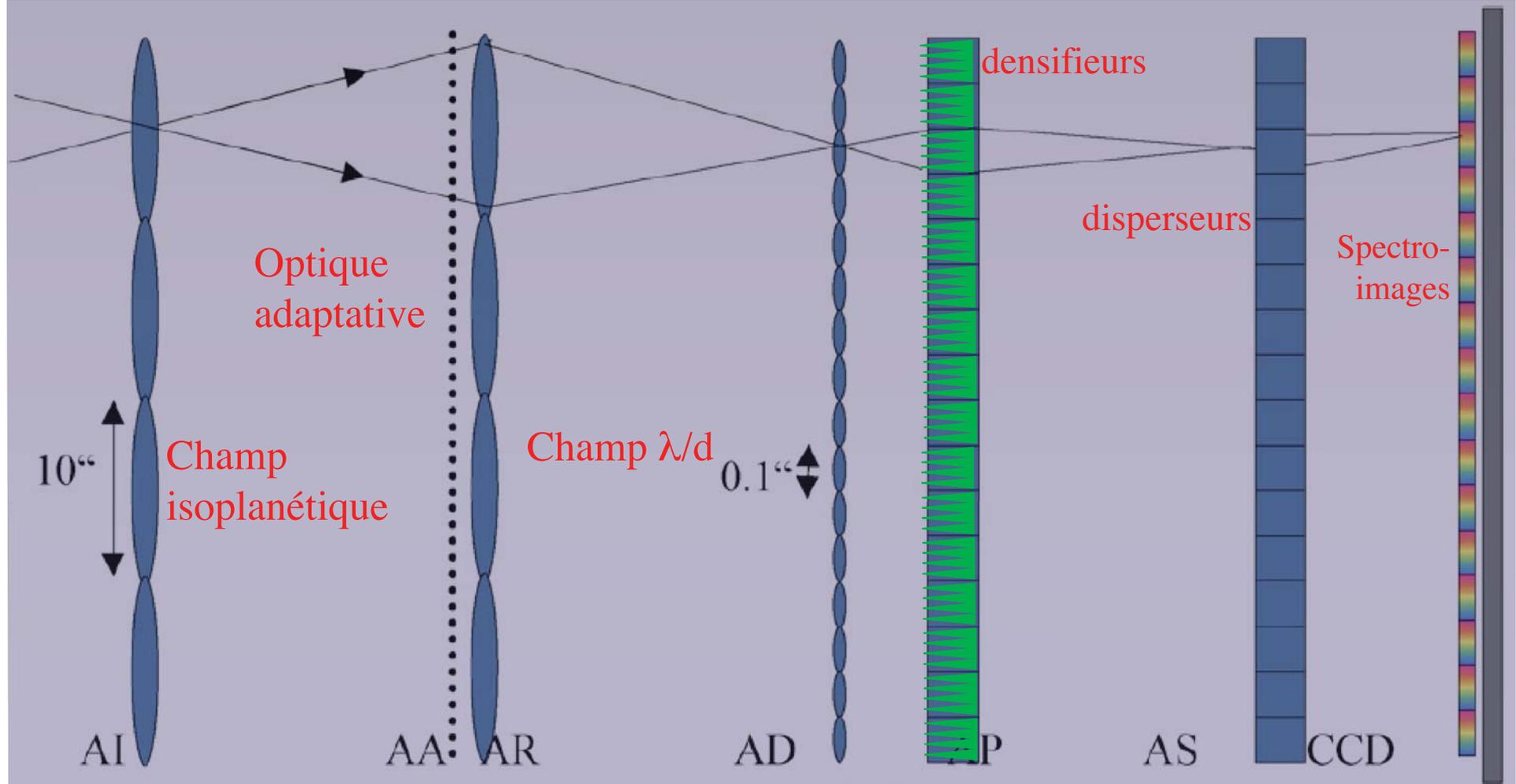
Étoile dépointée

- Son image se décale plus que l'enveloppe
- ... et en sort éventuellement => limitation du "champ d'imagerie directe"

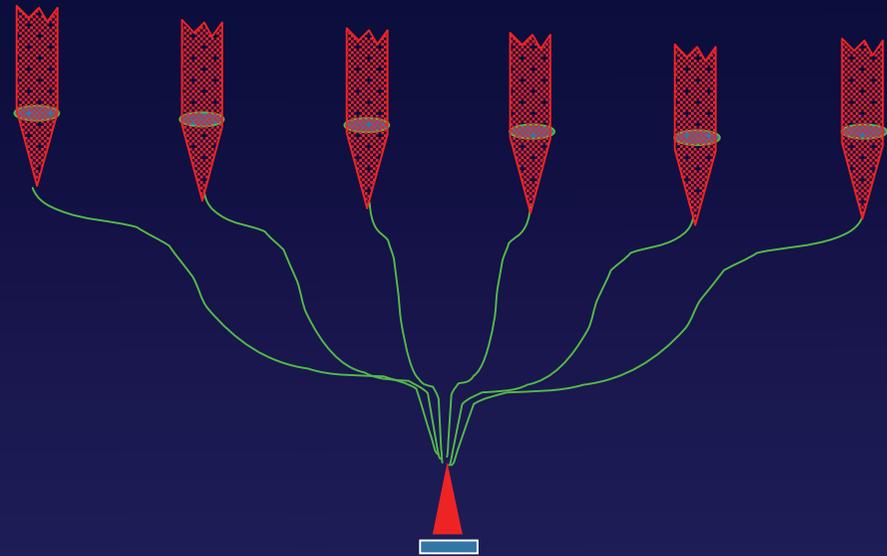


Grille de densifieurs, pour exploiter les "lobes" adjacents

- ... et y corriger séparément la turbulence

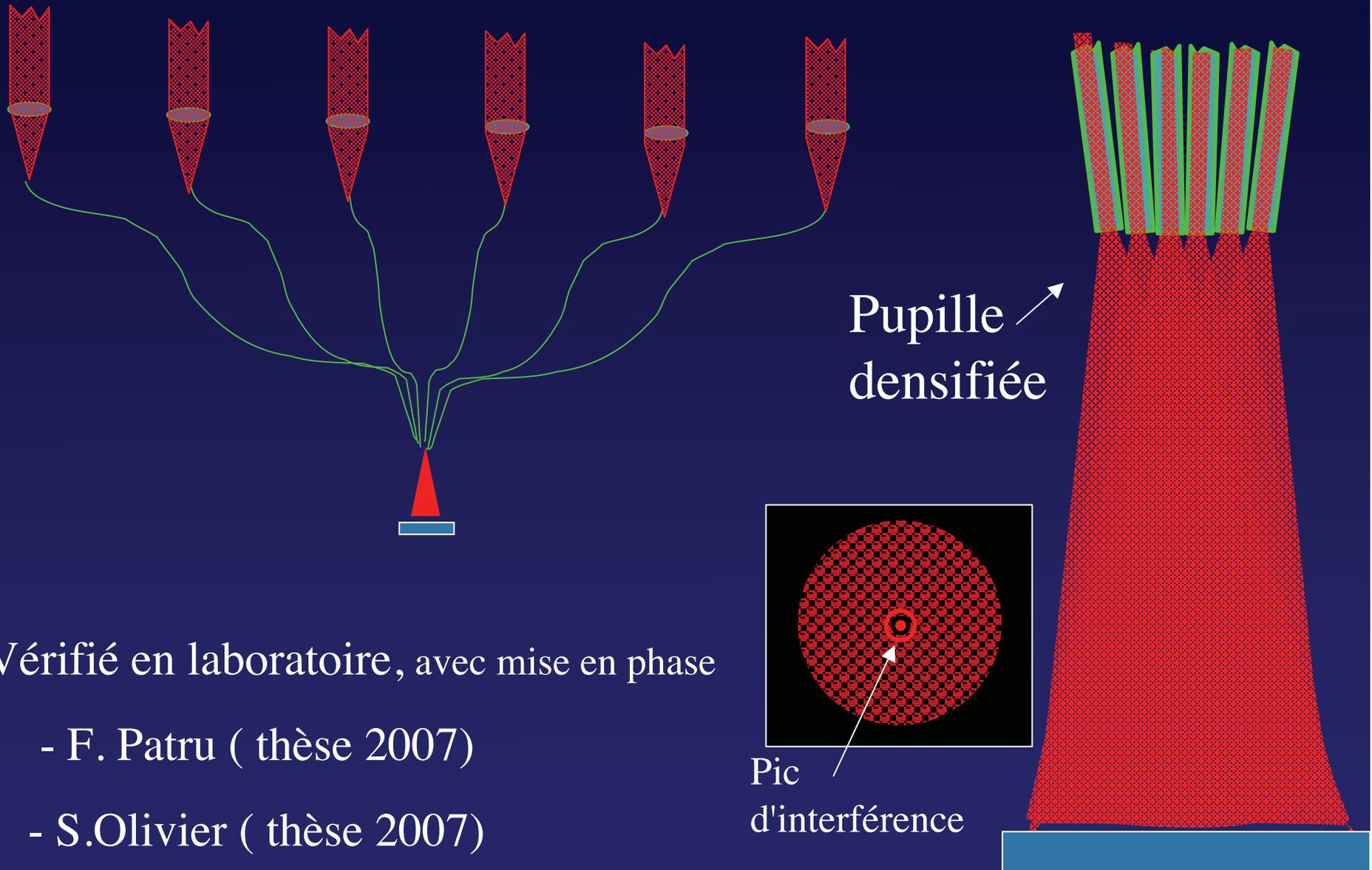


Hypertélescope à fibres optiques



- Ne supprime pas le besoin de lignes à retard....
- ...dont le coût limite le nombre d'ouvertures
- Peu adapté pour l'espace (fluorescence et effet Cerenkov dans les fibres)

Hypertélescope à fibres optiques



- Vérifié en laboratoire, avec mise en phase

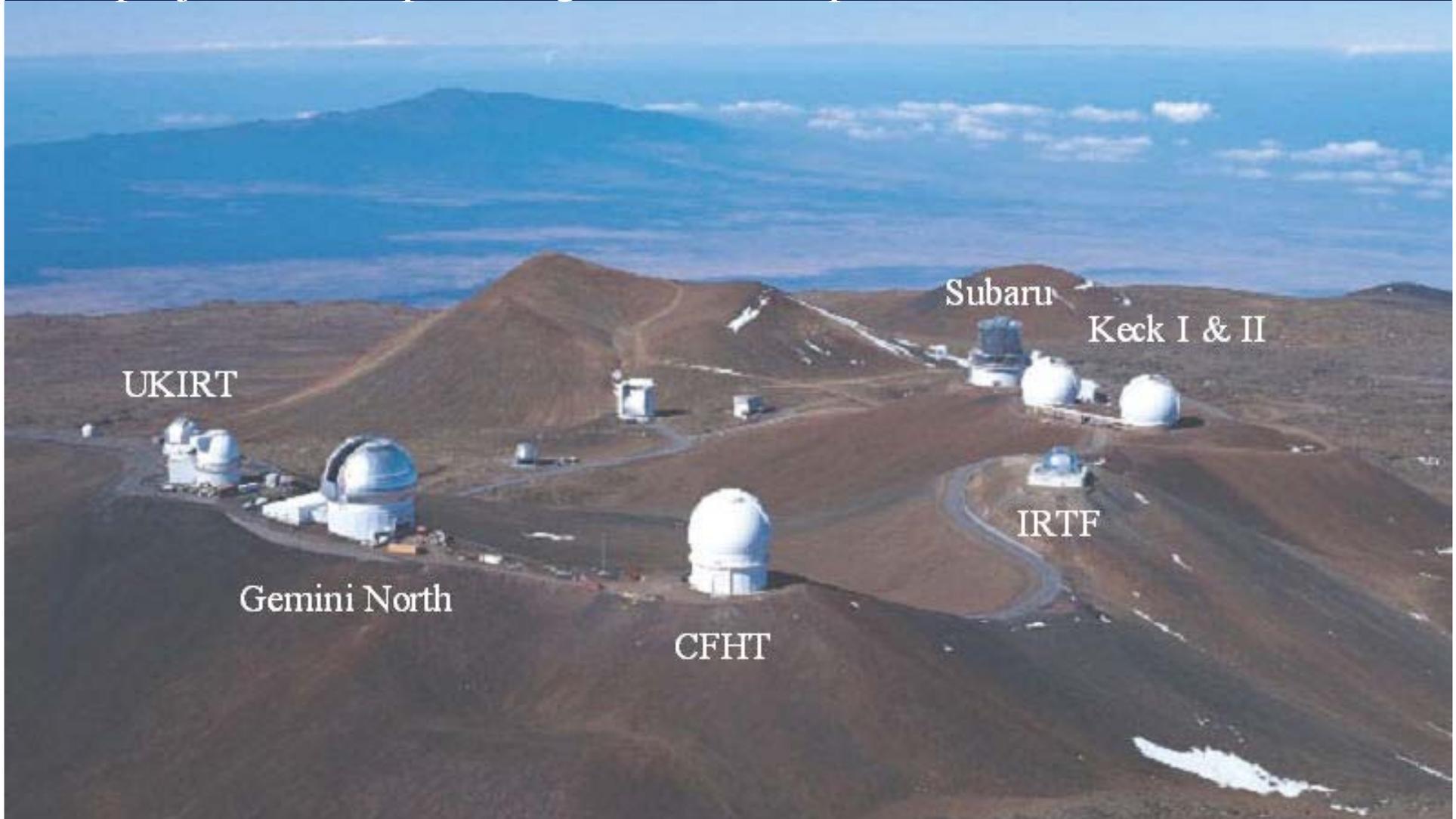
- F. Patru (thèse 2007)

- S.Olivier (thèse 2007)

- proposé pour coronographie par Serabyn (2007)

Interférométrie à travers des fibres optiques

- Essais par Guy Perrin à Mauna Kea, Hawaii
- Il projette de coupler les grands telescopes

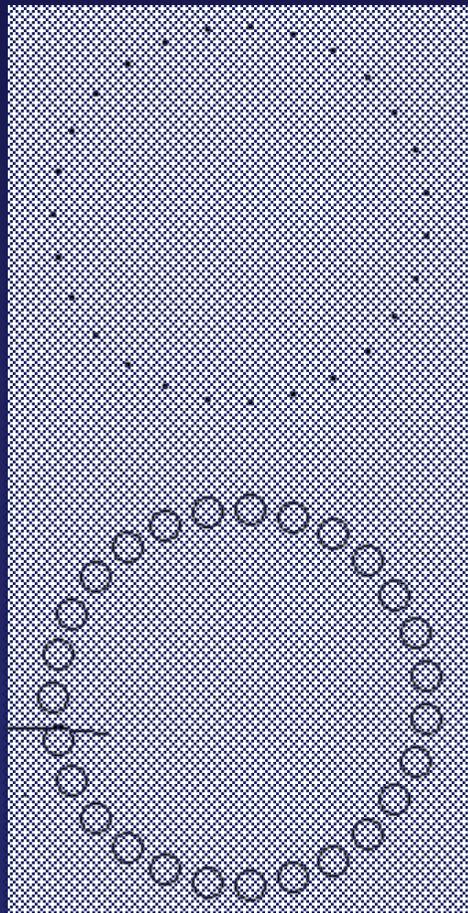


Propriétés des hypertélescopes:

Encombrement des images

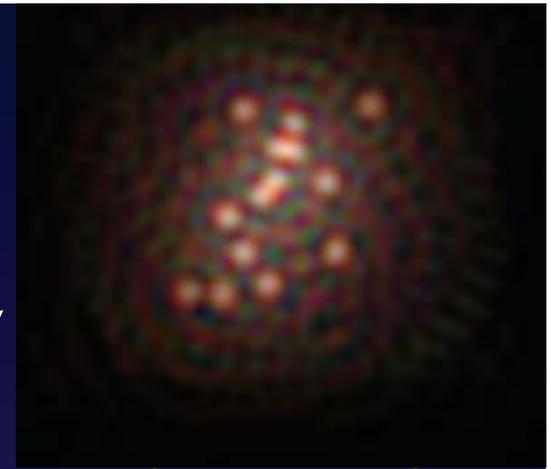
- Contamination par les pieds
- Exemple: 27 ouvertures

entrée

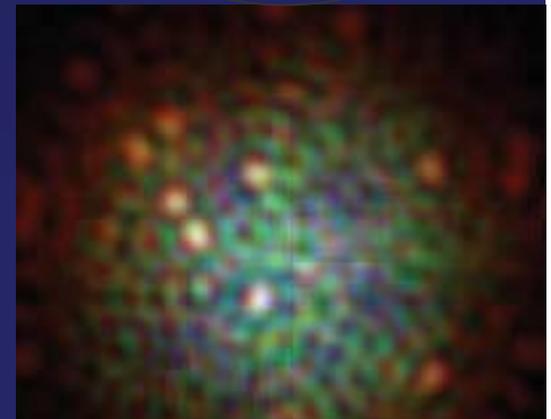
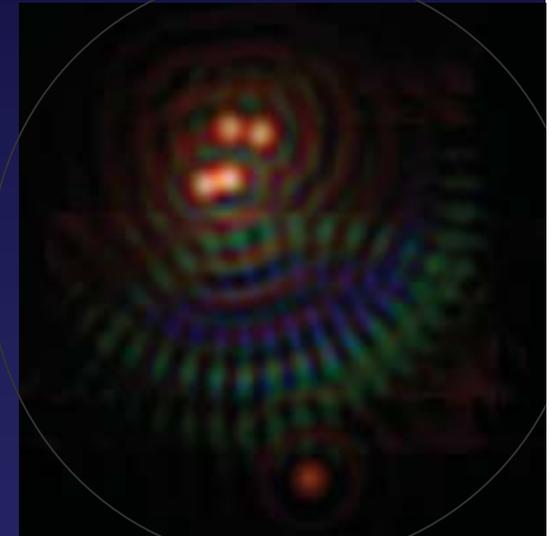


sortie

15 étoiles



60 étoiles



Limite d'encombrement de l'image,

selon le nombre d'ouvertures (Labeyrie SPIE Lund 2008)

• Objets brillants, avec rotation de l'ouverture (E poses)

- par "lobe de sous-ouverture"
- par (seconde d'arc)²

$$R_{s \max} = N^2 E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{as} &= 3.8 \cdot 10^{-11} R_{s \max} (d / \lambda)^2 = 3.8 \cdot 10^{-11} N^2 E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} (d / \lambda)^2 = 6.2 \cdot 10^{-11} E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} A^2 d^{-2} \lambda^{-2} \\ &= 4.85 \cdot 10^{-11} E N \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} A \lambda^{-2} \end{aligned}$$

• Objets faibles, avec bruit de photons

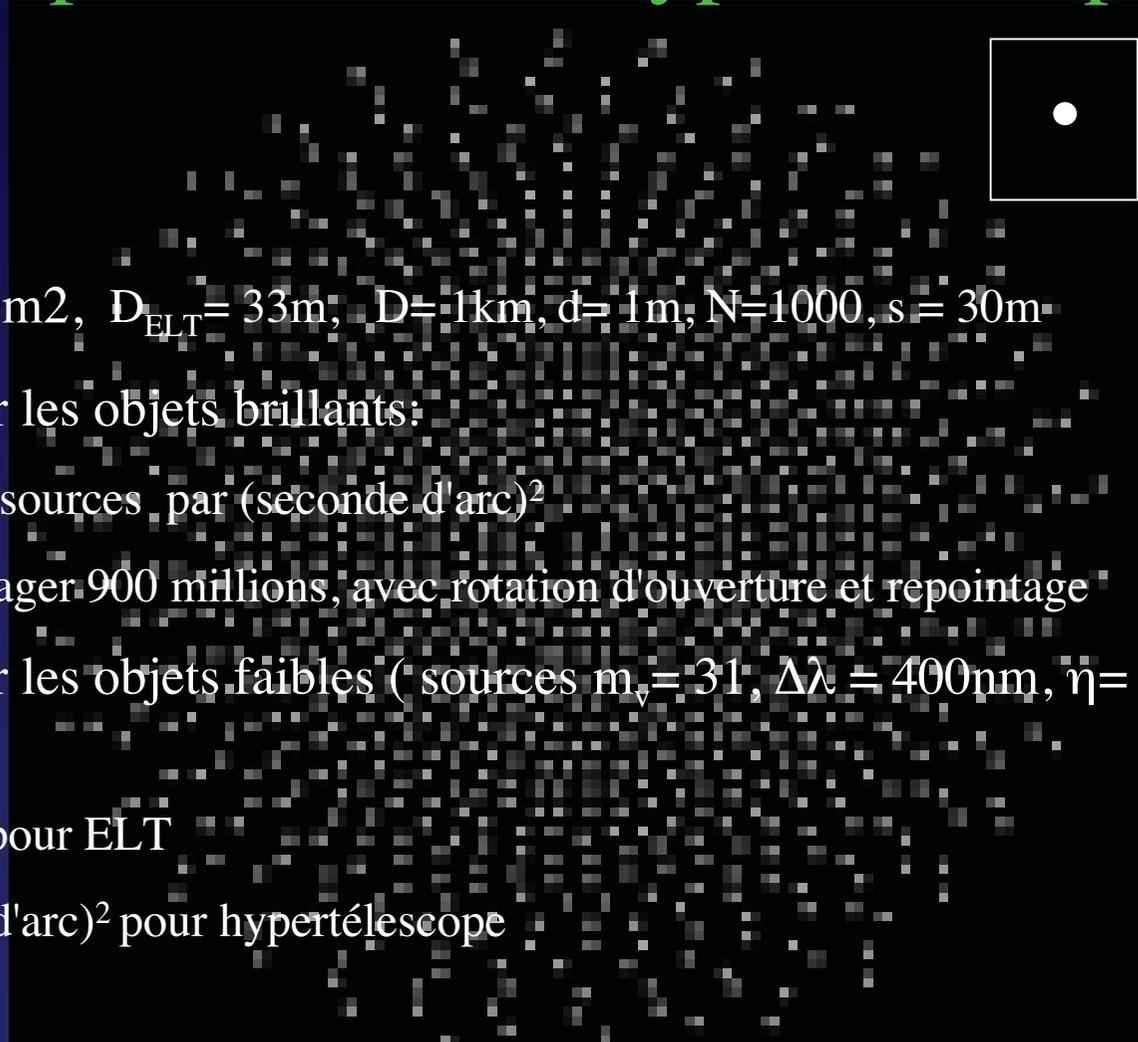
- par "lobe de sous-ouverture"
- par (seconde d'arc)²

$$R_{s \max \text{ Phot}} = N^2 P_t \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{as \text{ phot}} &= 3.8 \cdot 10^{-11} R_{s \max \text{ phot}} (d / \lambda)^2 = 3.8 \cdot 10^{-11} N^2 A P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1} (d / \lambda)^2 \\ &= 3.8 \cdot 10^{-11} N A^2 P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1} \lambda^{-2} = 4.8 \cdot 10^{-11} A^3 d^{-2} P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} \left(R + \frac{4}{\pi} A d^{-2} \right)^{-1} \lambda^{-2} \end{aligned}$$

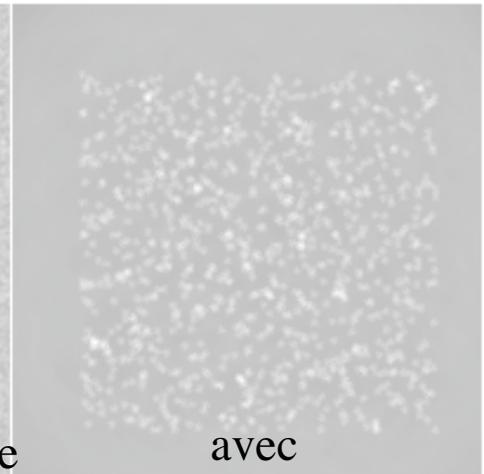
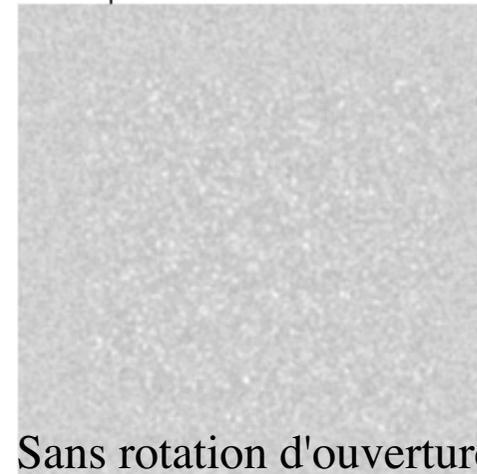
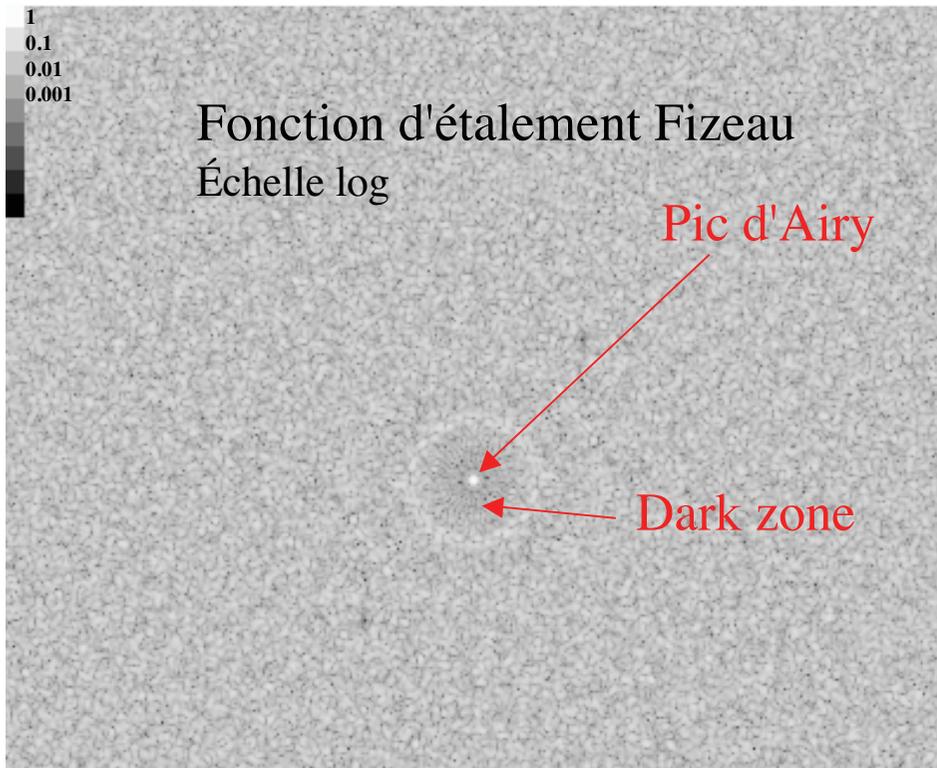
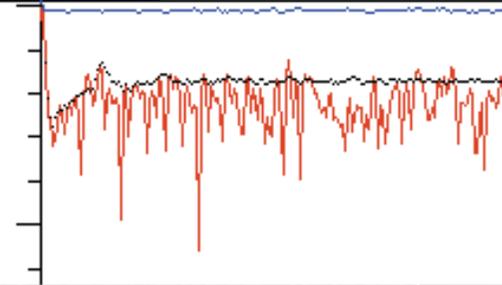
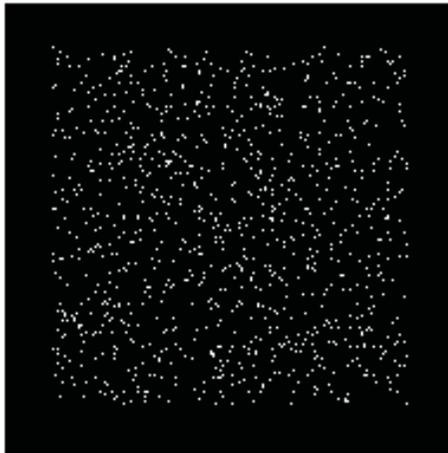
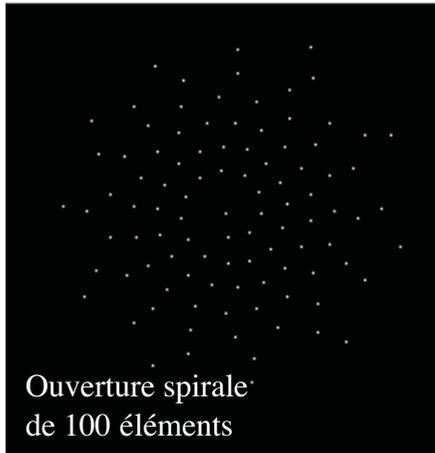
Limite d'encombrement de l'image:

Exemple de comparaison ELT/hypertélescope

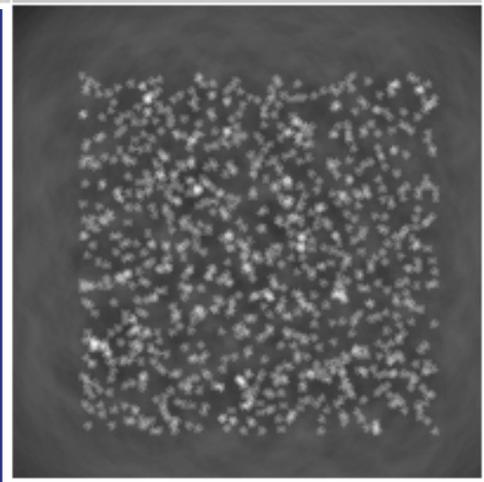


- Surface égale $A = 1000\text{m}^2$, $D_{\text{ELT}} = 33\text{m}$, $D = 1\text{km}$, $d = 1\text{m}$, $N = 1000$, $s = 30\text{m}$
- Encombrement du champ sur les objets brillants:
 - ELT peut imager 100.000 sources par $(\text{seconde d'arc})^2$
 - Hypertélescope peut en imager 900 millions, avec rotation d'ouverture et repointage
- Encombrement du champ sur les objets faibles (sources $m_v = 31$, $\Delta\lambda = 400\text{nm}$, $\eta = 0,5$, $t = 60\text{s}$, $\text{SNR}_{\text{phot}} = 5$)
 - Valeur inchangée 100.000 pour ELT
 - 2,7 millions par $(\text{seconde d'arc})^2$ pour hypertélescope
 - 2700 en mode Fizeau

Image Fizeau de 1000 étoiles avec 100 ouvertures non redondantes



Soustraction d'un
niveau uniforme
65% du max.



Synthèse d'ouverture ou imagerie directe ?

- Avec quelques grandes ouvertures: reconstruction d'images par « synthèse d'ouverture »
- Comparer, a surface collectrice égale, avec l'image instantanée des hypertélescopes

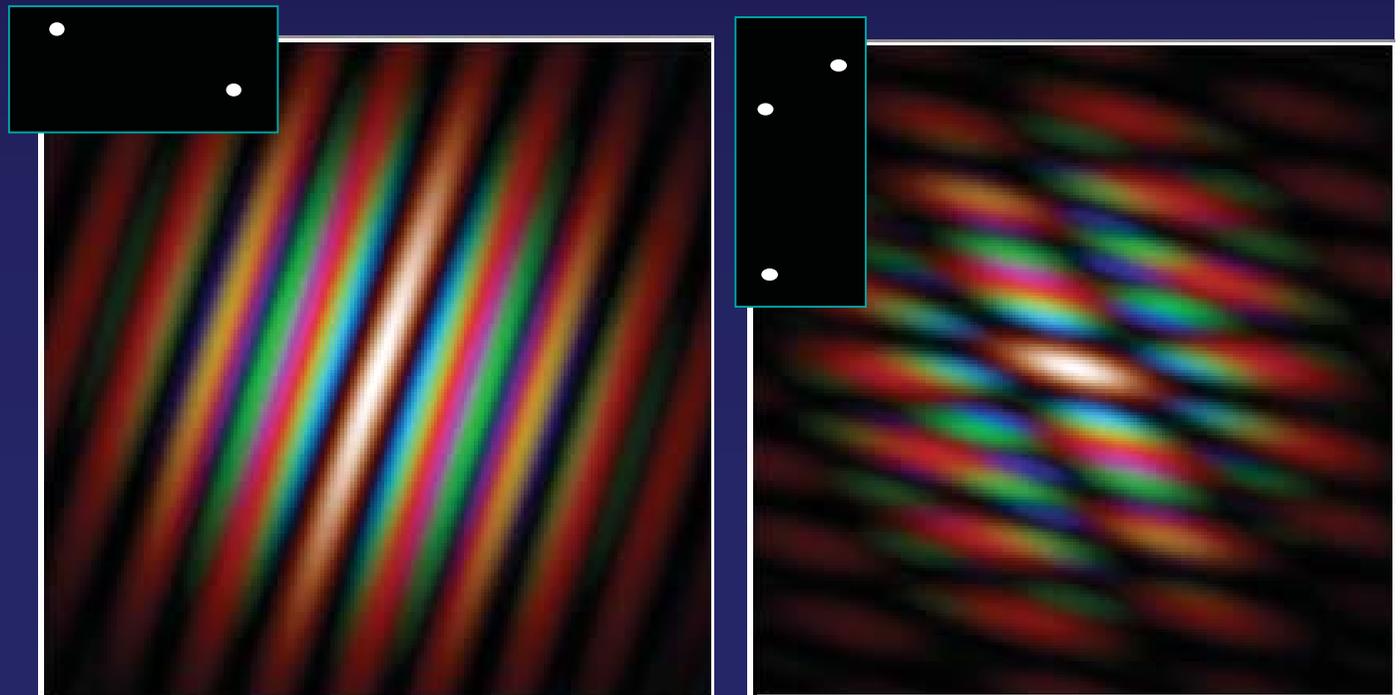
La synthèse d'ouverture



- C'est cohérent en radio... grâce à la détection hétérodyne, sensible à la phase
- Mais incohérent en optique ... où l'on combine des signaux **défectés** ... donc moins sensible que la combinaison cohérente de N images "tout en un"
gain d'un hypertélescope en signal/(bruit de photons)
- Hétérodyne optique :
 - tenté en infra-rouge par Townes et al., Gay et al.
 - Nécessiterait des milliers de canaux spectraux pour être compétitif

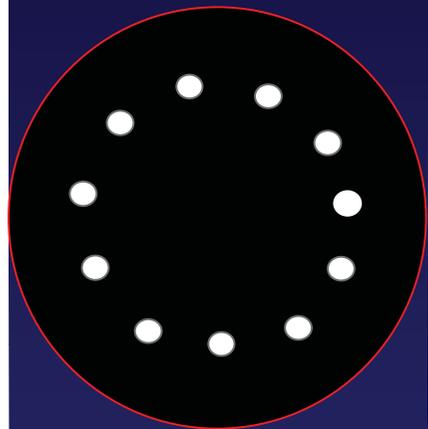
Synthèse d'ouverture

- Paires ou triplets
- Déformation de la base ou rotation
- Image par synthèse de Fourier

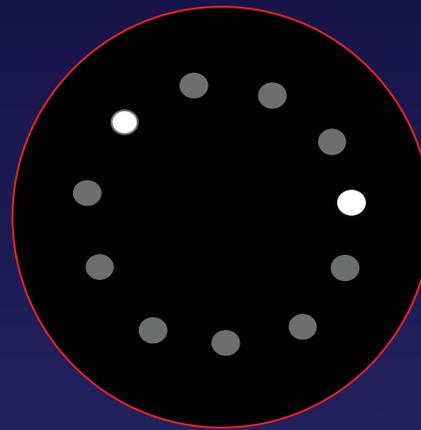


Comparaison en masquant des ouvertures

- Gain pic/fond
 - Pic plus haut $\times N/2$
 - Fond plus bas
- => bruit de photons atténué



A



B

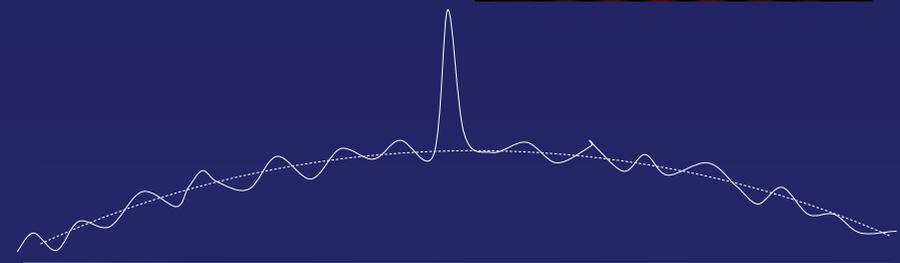
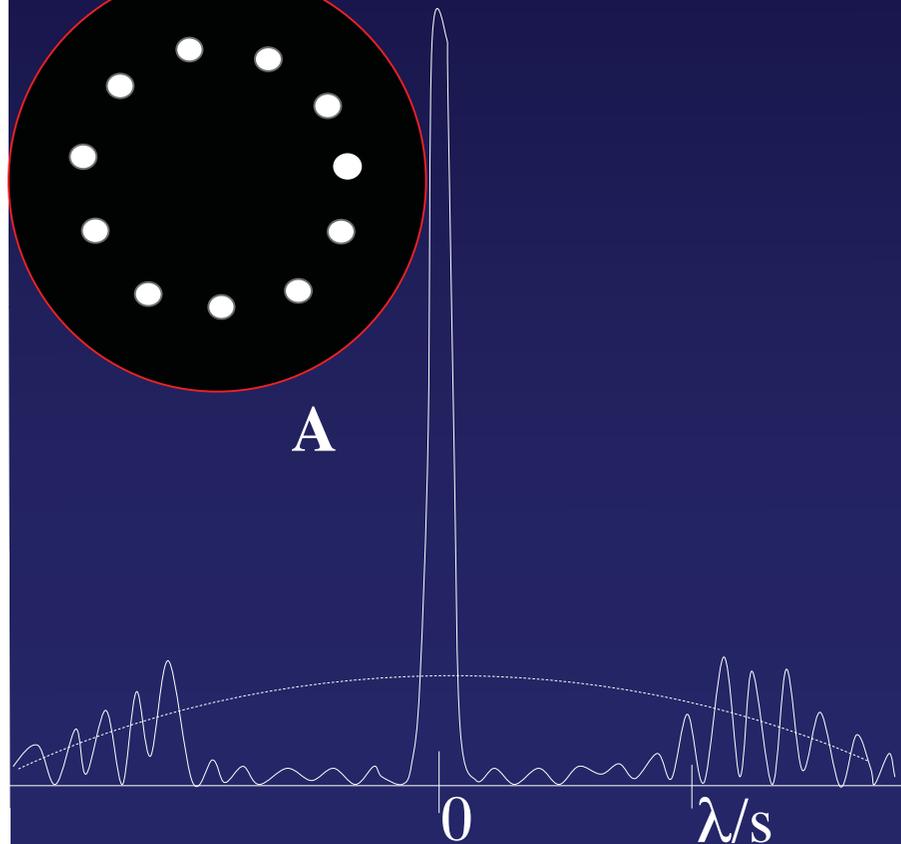
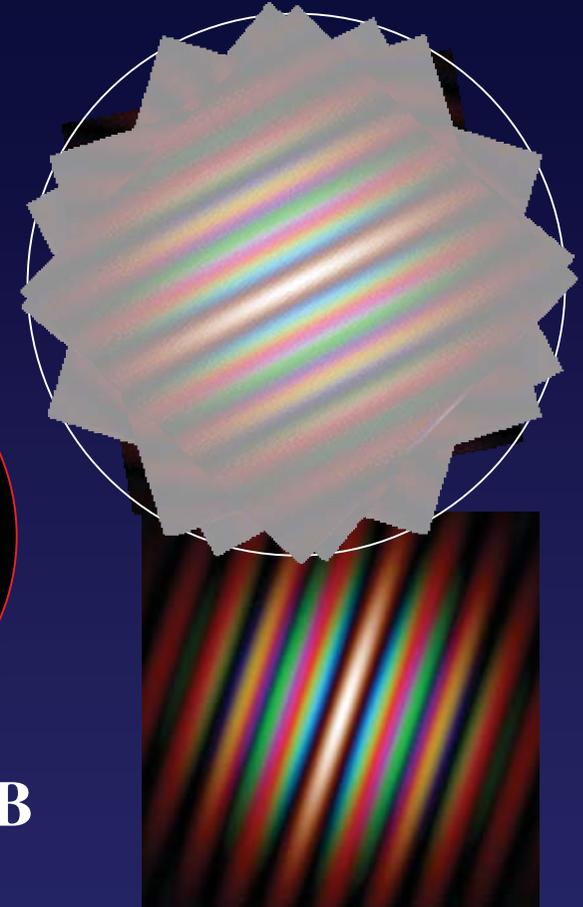


Image intégrée

Gain de l'hypertélescope par rapport à la synthèse d'ouverture incohérente

- Signal/(bruit de photons) d'un hypertélescope périodique , complètement densifié (Labeyrie 2007) :

$$\text{SNR}_h = \text{sqr} (N P_t / k_d) = 1.29 N^{5/4} P_t^{1/2}$$

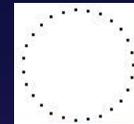
- Relativement à la synthèse d'ouverture:

$$\text{gain en signal/bruit} : G_{\text{hyper}} = 0,64 N^{7/4}$$

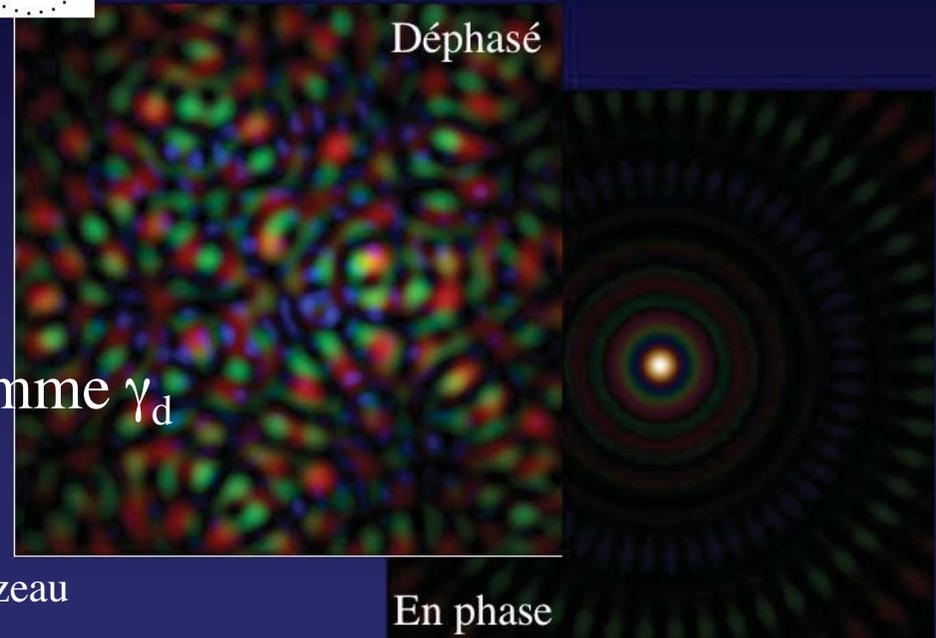
- Soit gain 2000 avec 100 ouvertures

En densifiant la pupille: gain de sensibilité sur les objets faibles

(Labeyrie et al., SPIE Marseille 2008)



27 ouvertures en cercle



- Pic / (bruit de photons) croît comme γ_d
- en mode "speckle" (non co-phasé) :

$$\text{signal/bruit} = \gamma_d \text{ signal/bruit}_{\text{Fizeau}}$$

facteur de densification de pupille

- Mais on peut déconvoluer l'image Fizeau pour mieux exploiter ses photons : calcul plus délicat (**avis aux amateurs !**)

Simulations d'imagerie Fizeau

objet

ouverture

fonction
d'étalement

image

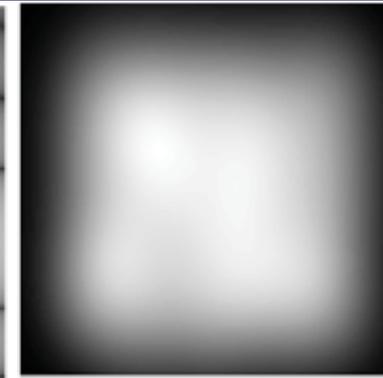
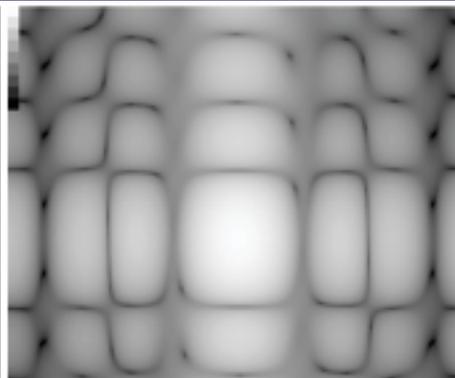
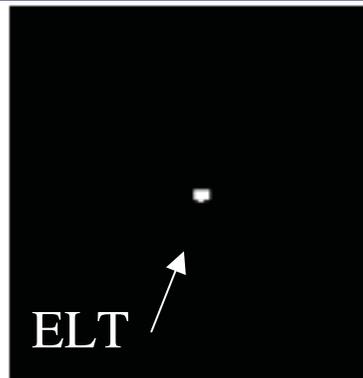
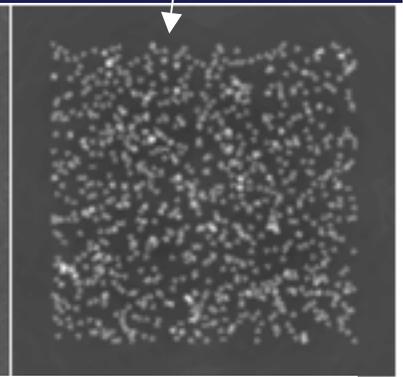
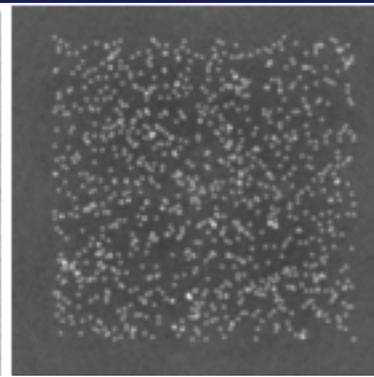
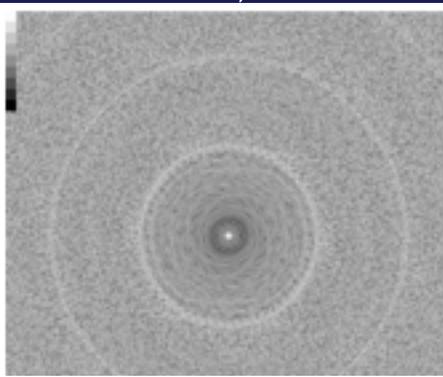
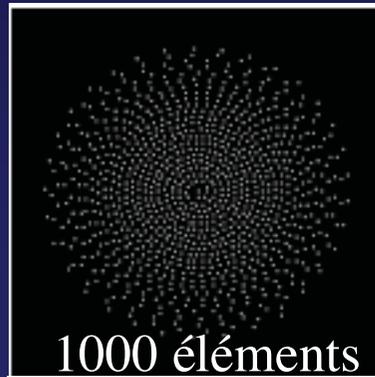
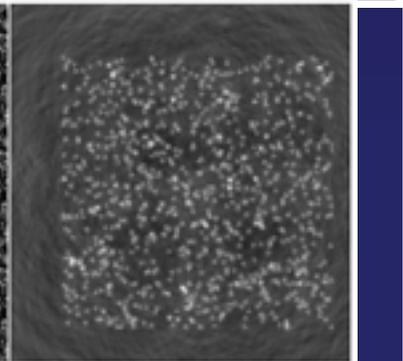
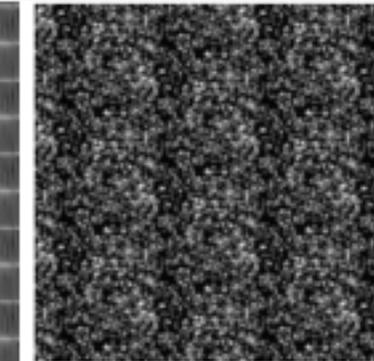
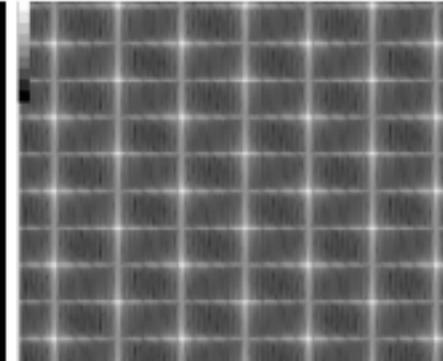
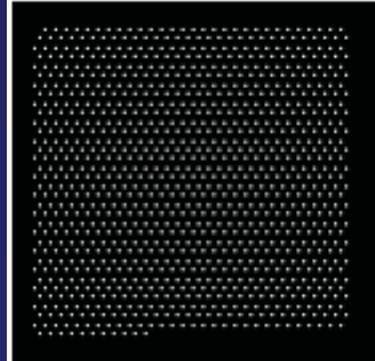


Image avec rotation

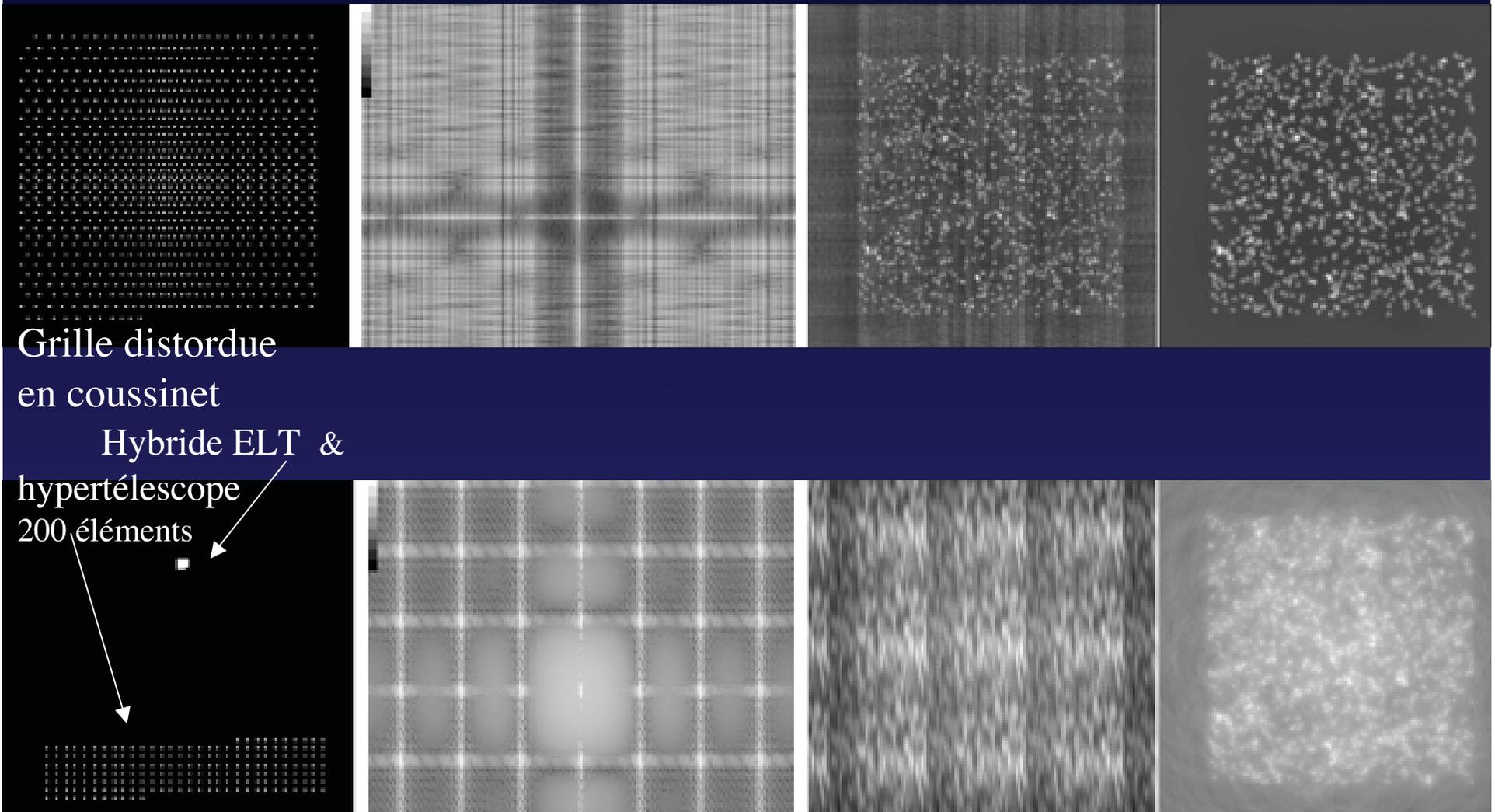
spirale



grille



Simulations d'imagerie Fizeau (suite)



Grille distordue
en coussinet

Hybride ELT &
hypertelescope
200 éléments

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

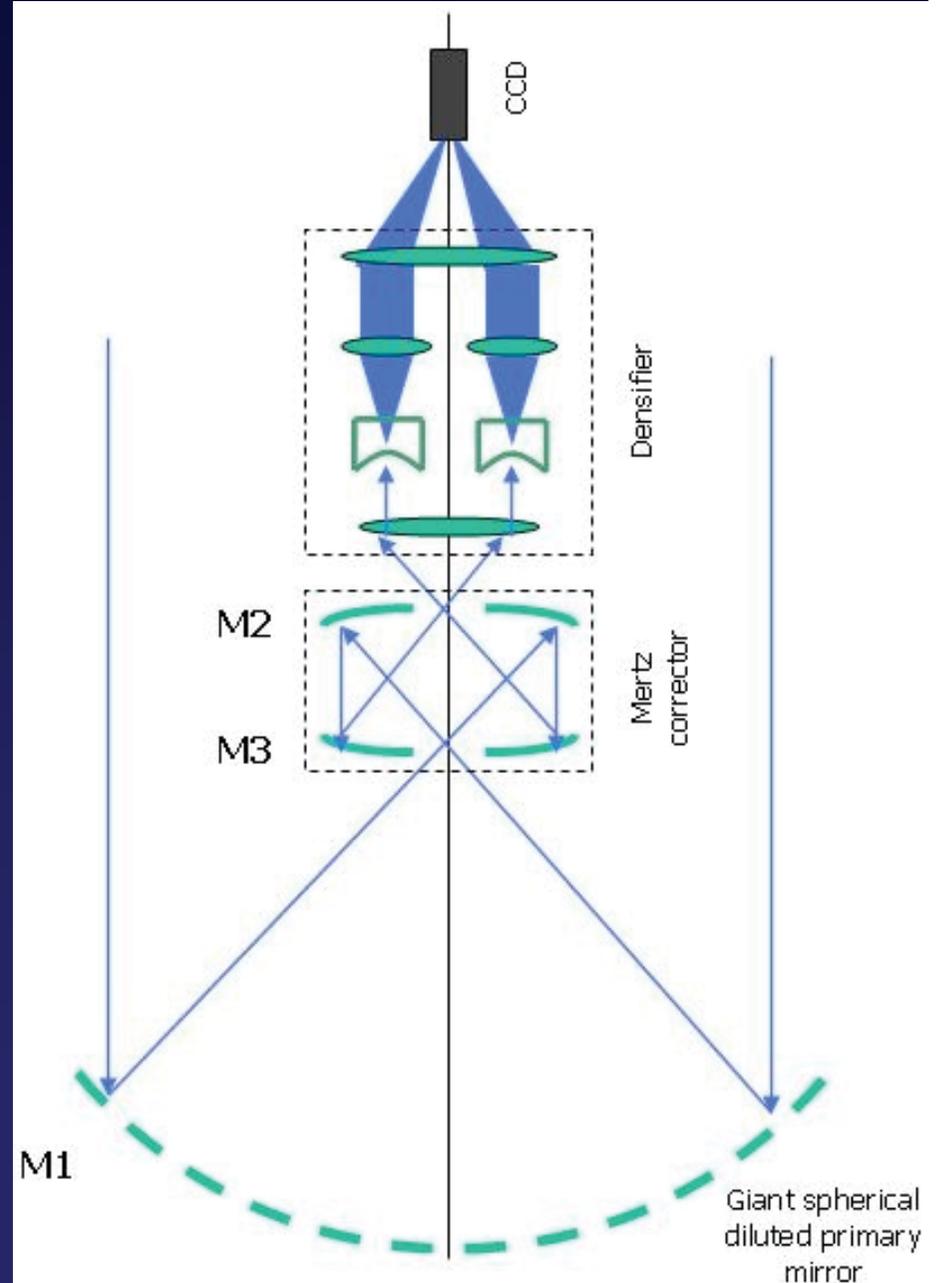
Faire une version diluée du radio-télescope d'Arécibo



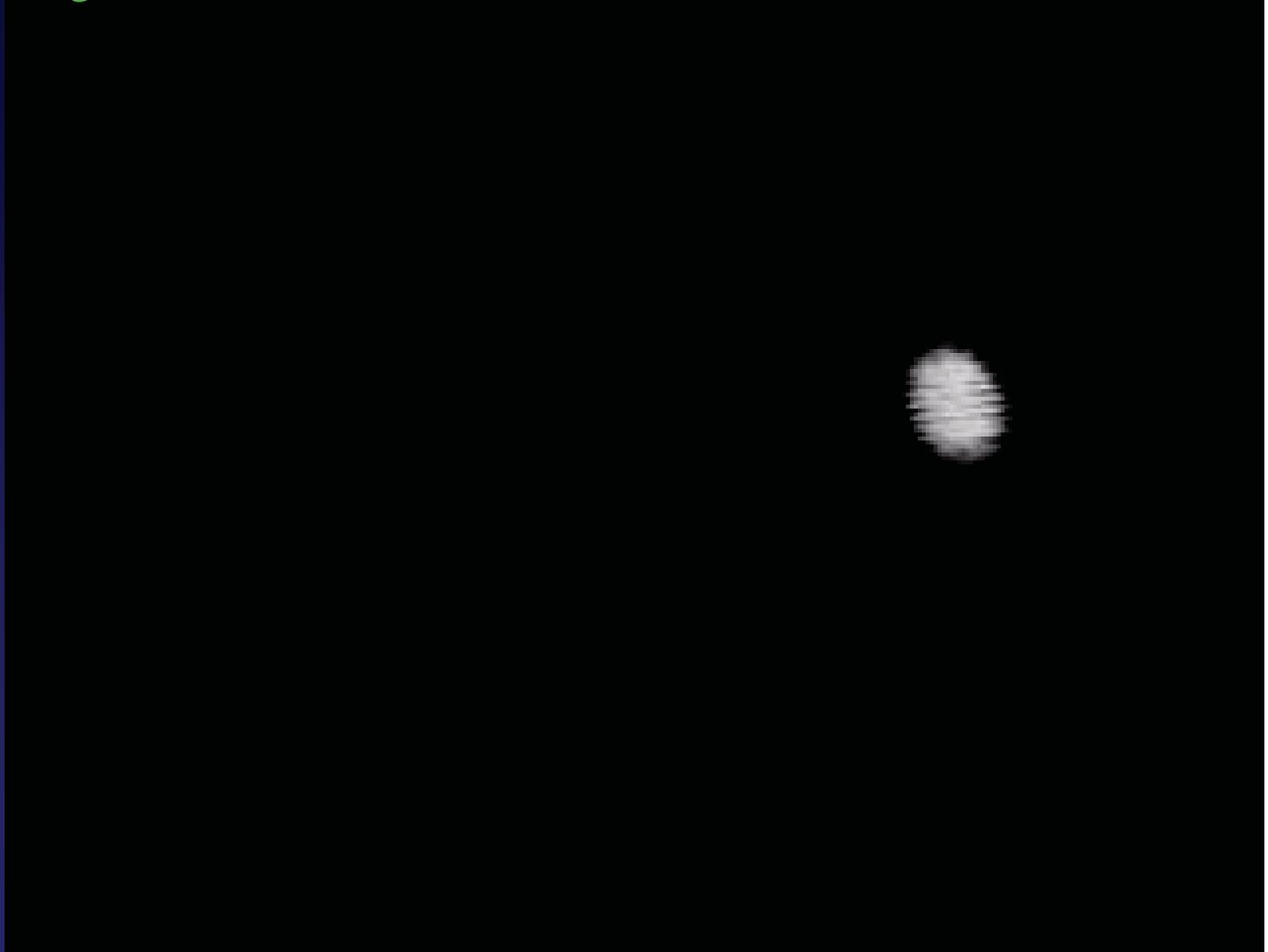
- Diamètre 330m
- Détecteur "Grégorien" et séparé



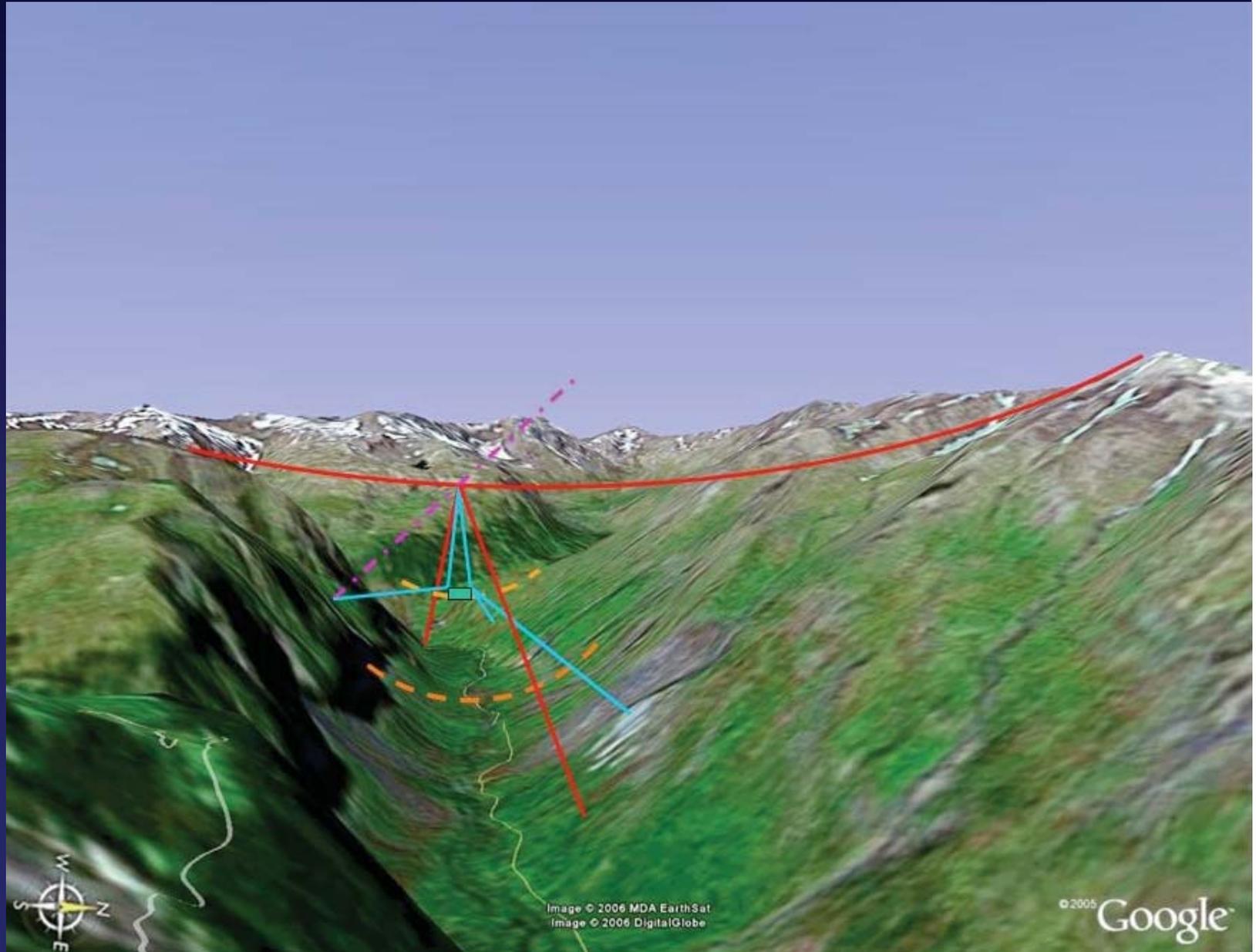
Optique d'un hypertélescope sphérique "Carlina"



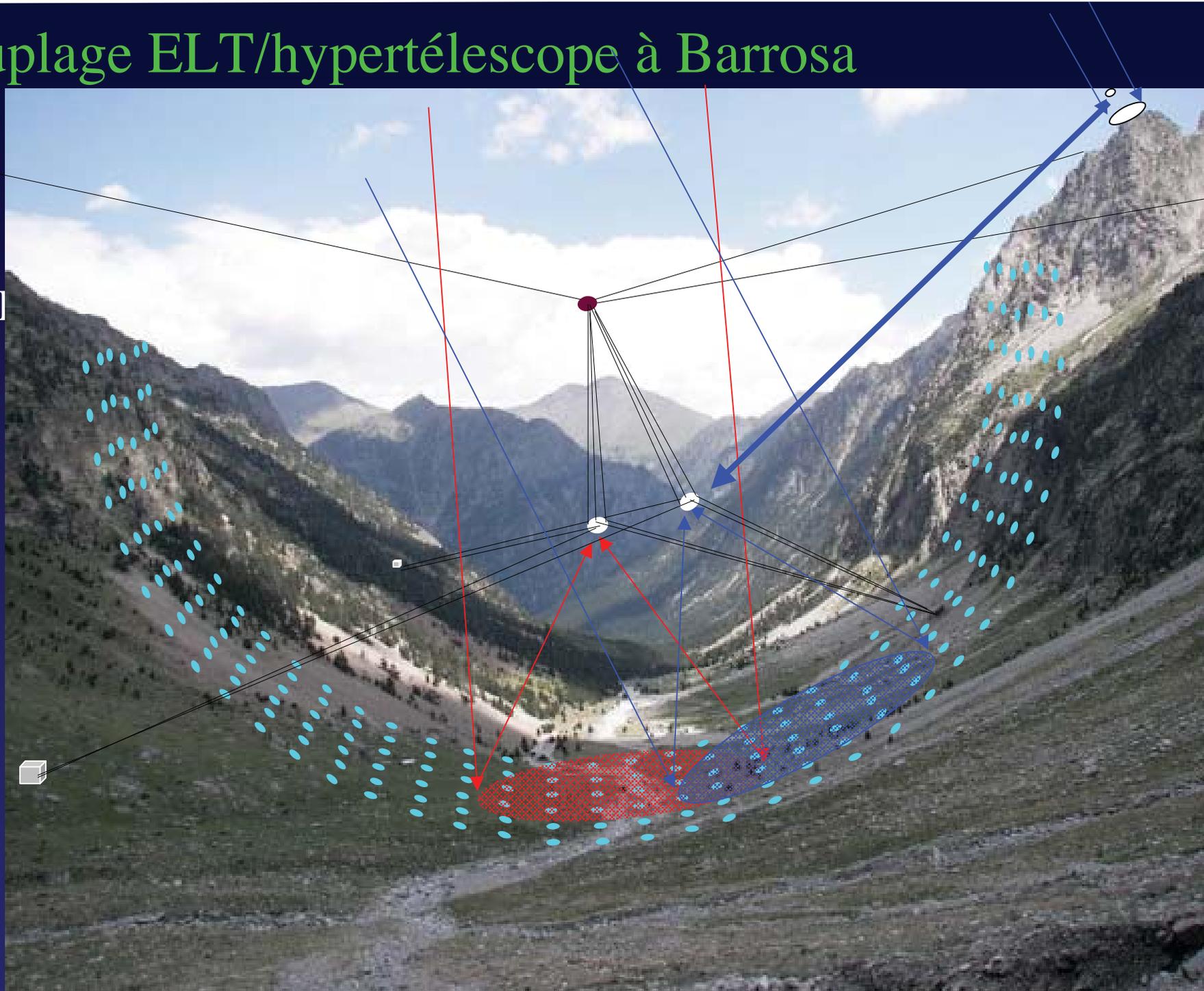
Franges sur Vega de Carlina-1 (Le Coroller et Dejonghe 2005)



Utilisation d'une vallée glaciaire



Couplage ELT/hypertélescope à Barrosa



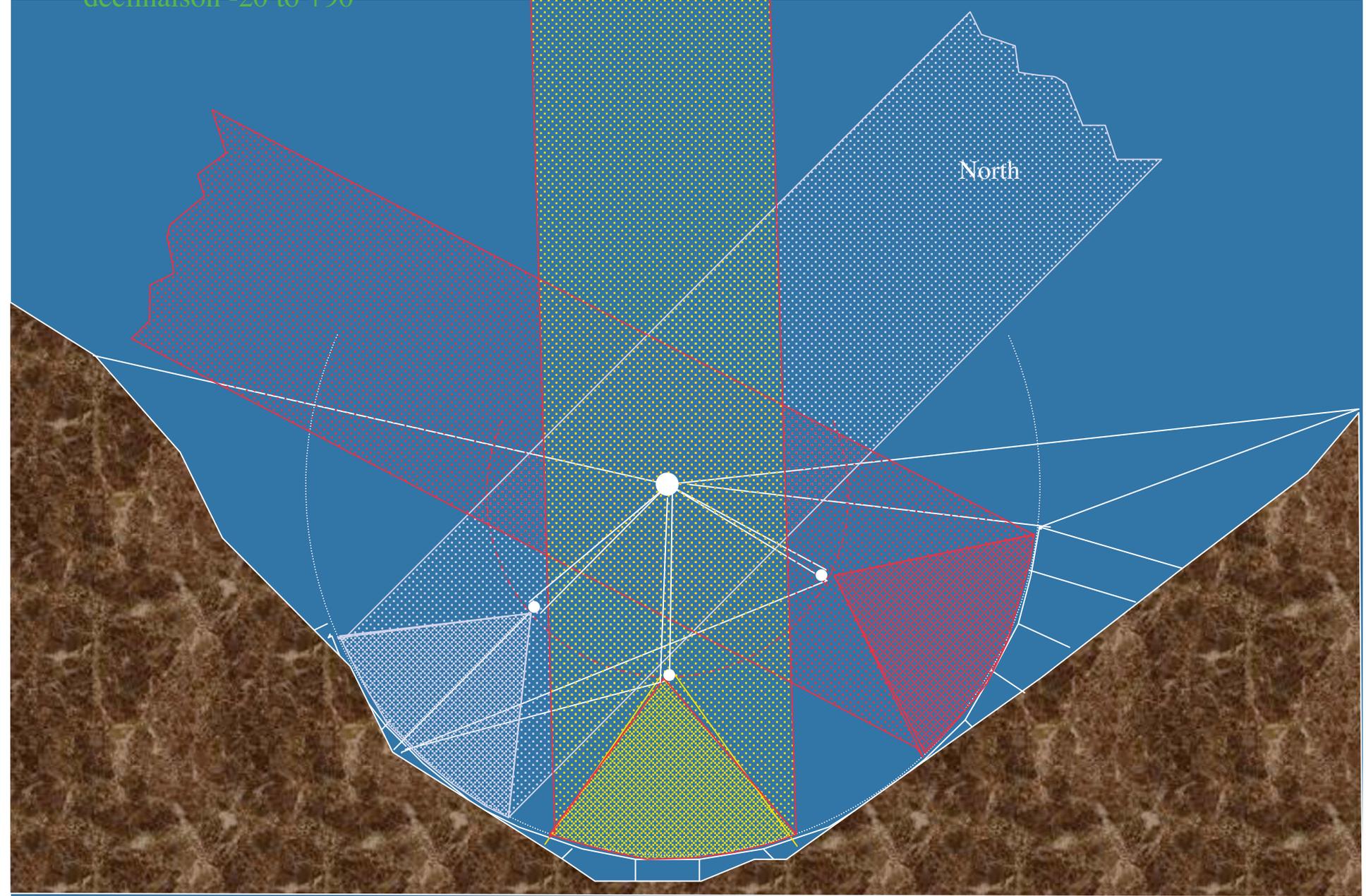
Un site pour Carlina dans les Pyrénées espagnoles ?

- vents d'altitude 2 fois plus faibles que dans le Haut Atlas
- moins de trainées d'avions que dans les Alpes
- topographie favorable pour ouverture de 150m, sans ballon



Insertion à Barrosa pour distance focale 200m

déclinaison -20 to +90°

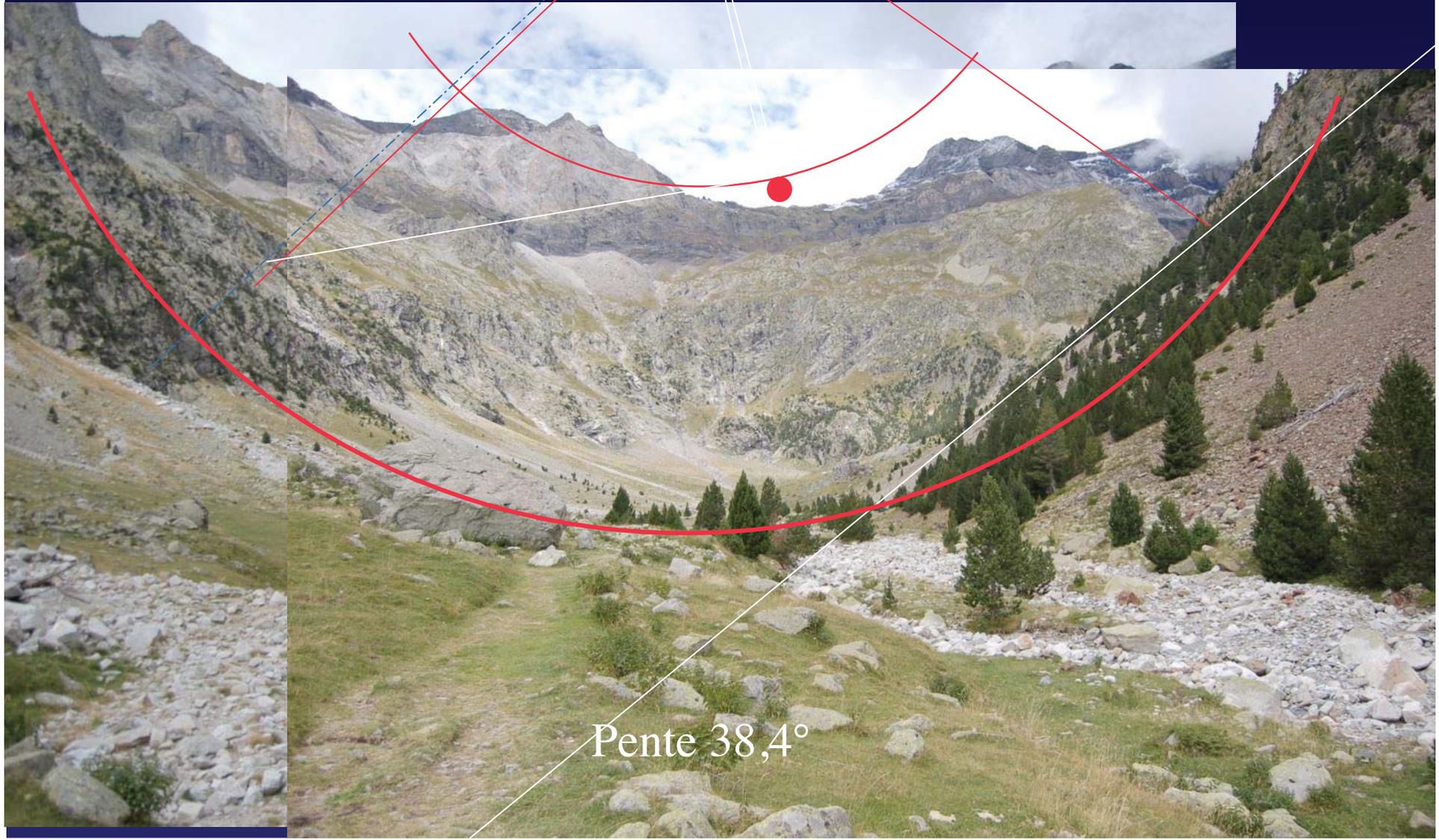




Nord

Barrosa

Vue vers l'amont (vers l'Ouest)



Pente 38,4°

Concept d'un
"Extremely Large
Hypertelescope " terrestre

Optique adaptative essentielle !

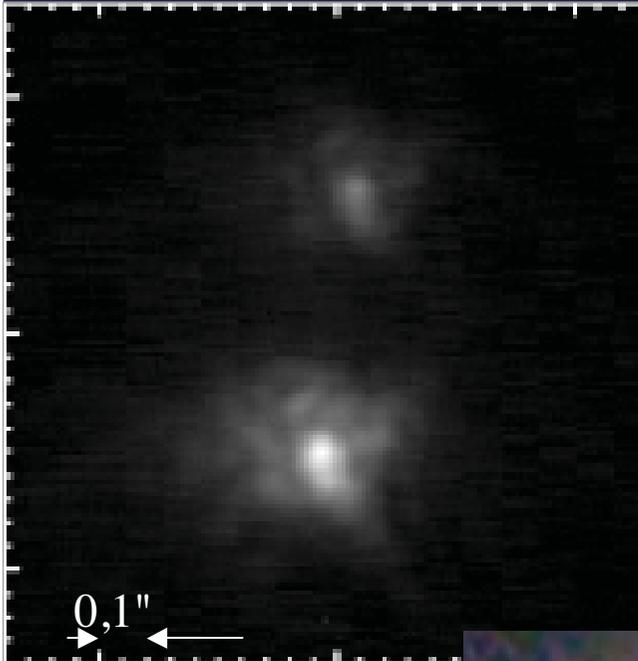
- Senseur d'onde sur les étoiles brillantes
- Étoile artificielle laser souhaitable pour les champs profonds: à expérimenter

Etoile guide laser

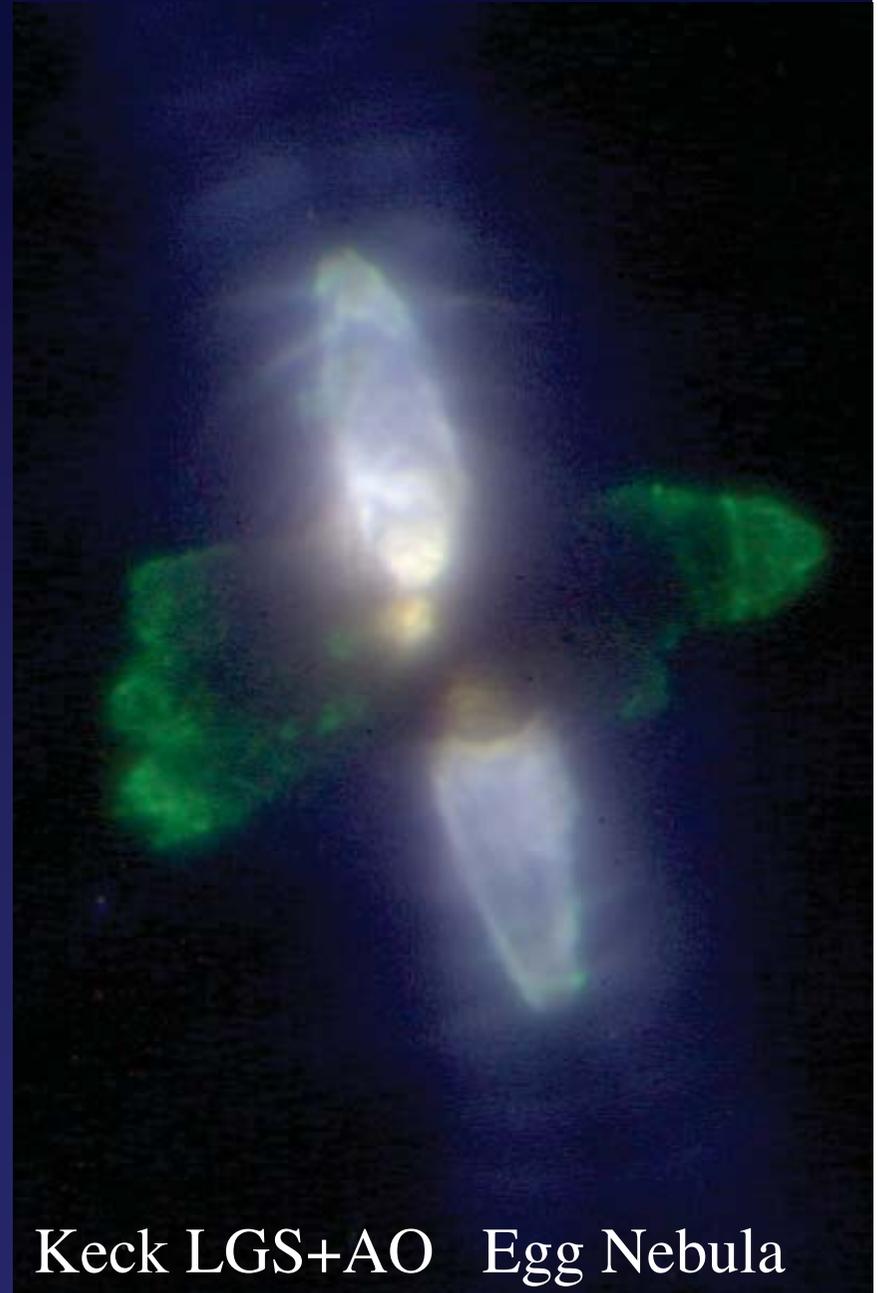
- Fonctionne sur des télescopes (VLT, Keck...)
- Anime l'optique adaptative en l'absence d'étoile brillante
- Modifiable pour relier les phases des ouvertures diluées ?



Etoile guide laser à Keck



Noyau binaire de galaxie



Keck LGS+AO Egg Nebula

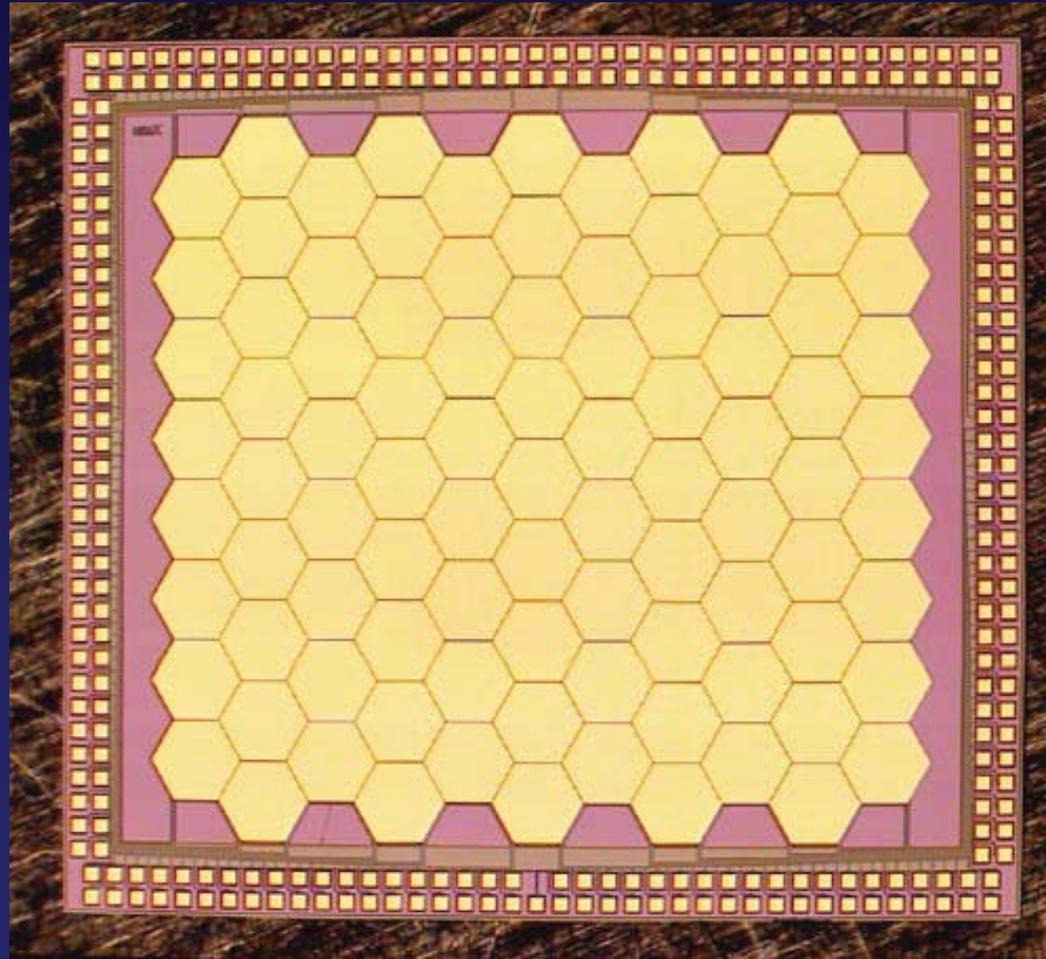
Sites: qualités recherchées

- Tant pour un ELT qu'un hypertélescope:
 - faible turbulence angulaire
 - Turbulence lente, liée à des vents faibles
 - Nombreuses nuits claires
- Problème avec les alizés dans la zone des tropiques : nuits claires mais venteuses . Exemple canaries, Hawaii, Chili
- Cas du Dôme C (Antarctique).... spécial
-

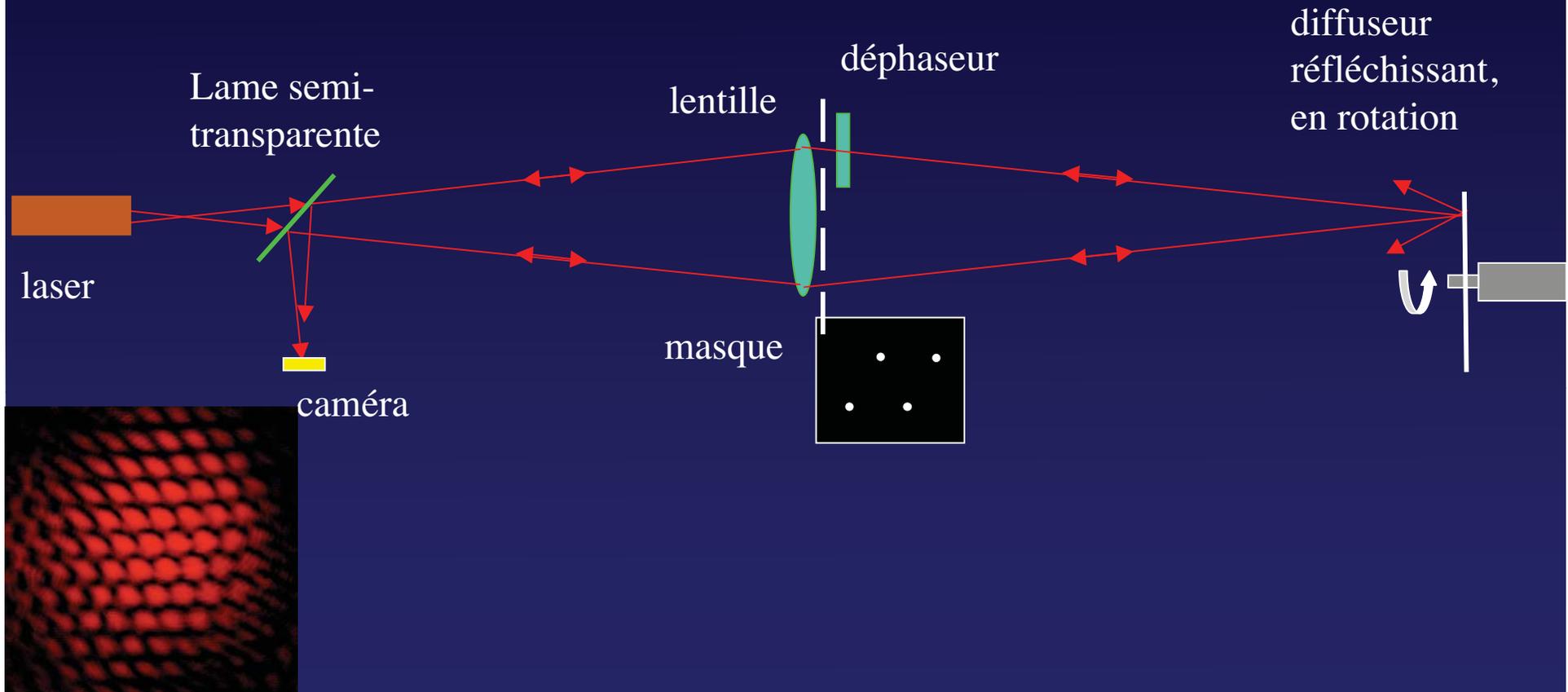
Etoile guide laser: modifiable pour hypertélescopes ?

- 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 ...

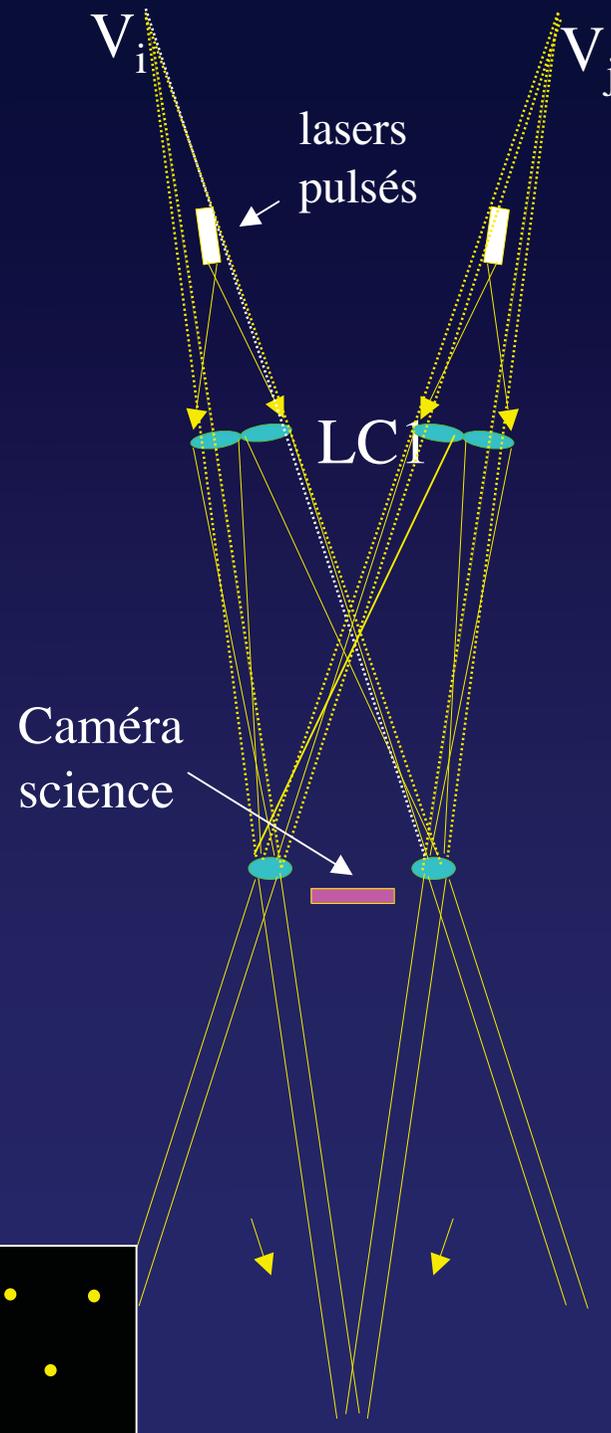
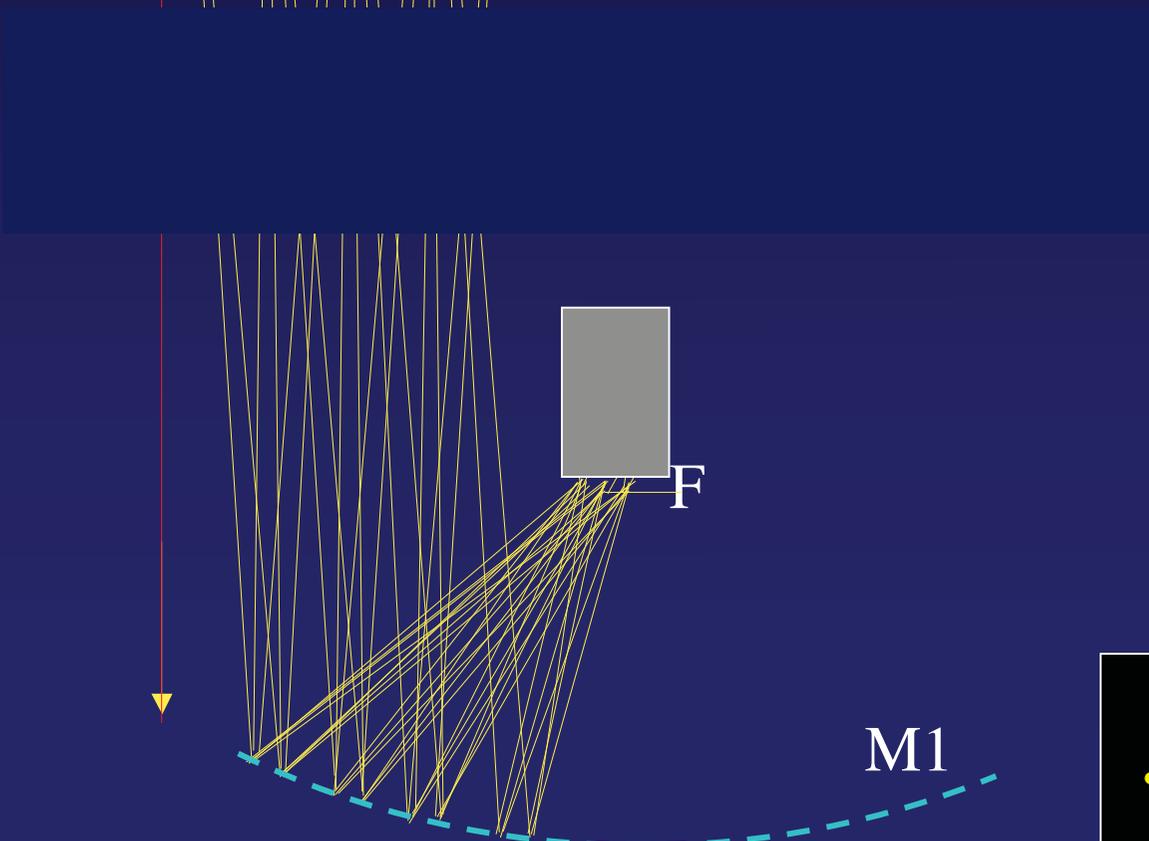
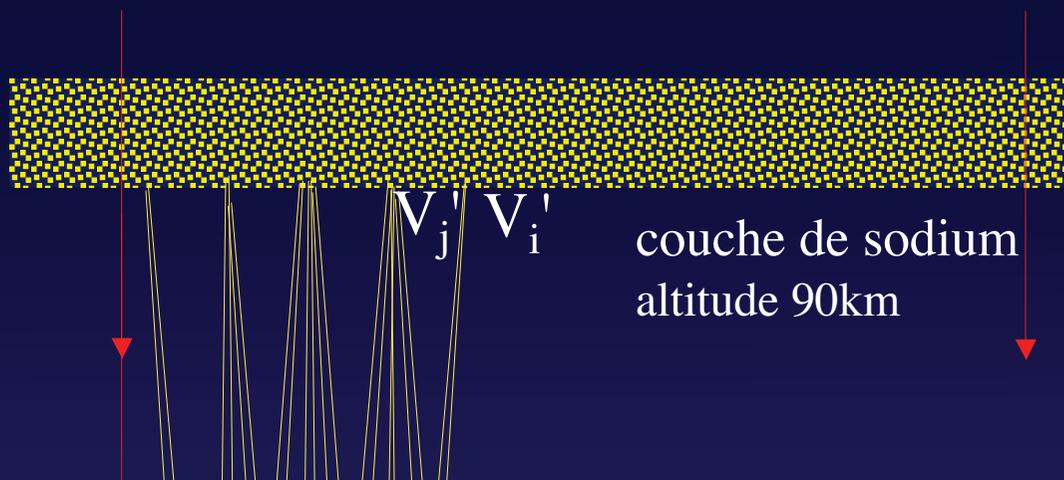
Miroir déformable micro-mécanique pour optique adaptative



Etoile guide laser pour hypertélescopes: montage d'essai en laboratoire

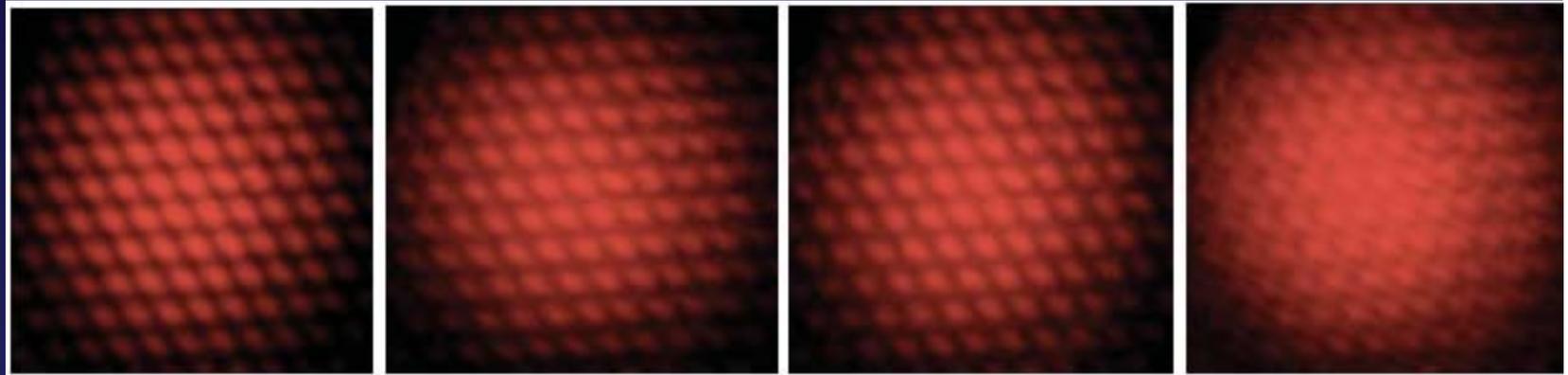


Etoile guide laser pour hypertélescopes

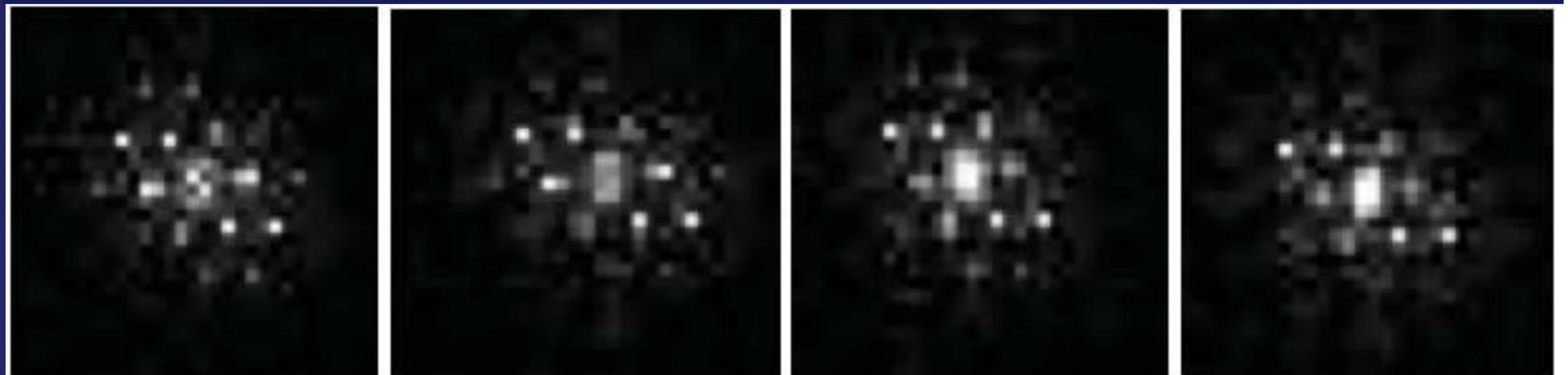


Etoile guide laser pour hypertélescopes

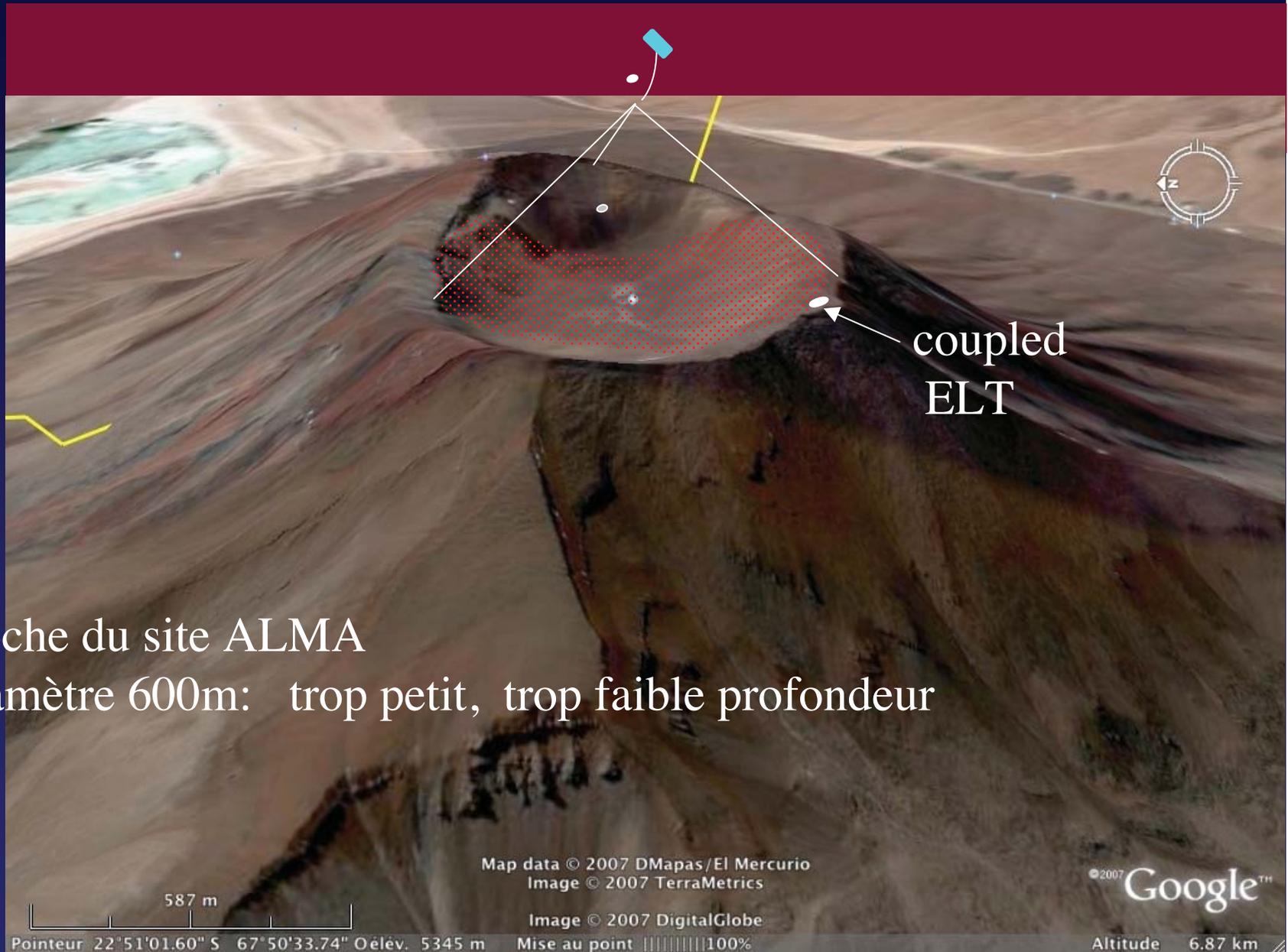
Images retour, pour différents déphasages



Transformées de Fourier



Cratère au Nord du Chili (altitude 5300m)



- Proche du site ALMA
- Diamètre 600m: trop petit, trop faible profondeur

Vallée au Nord du Chili (altitude 4800m)



455 m

Pointeur 22°42'31.91" S 67°24'18.89" O élév. 4846 m

Image © 2007 DigitalGlobe
Map data © 2007 DMapas/El Mercurio
Image © 2007 TerraMetrics
© 2007 Europa Technologies

Mise au point ||||| 100%

© 2007 Google

Altitude 5.98 km

Vallée du Haut Atlas (Maroc)



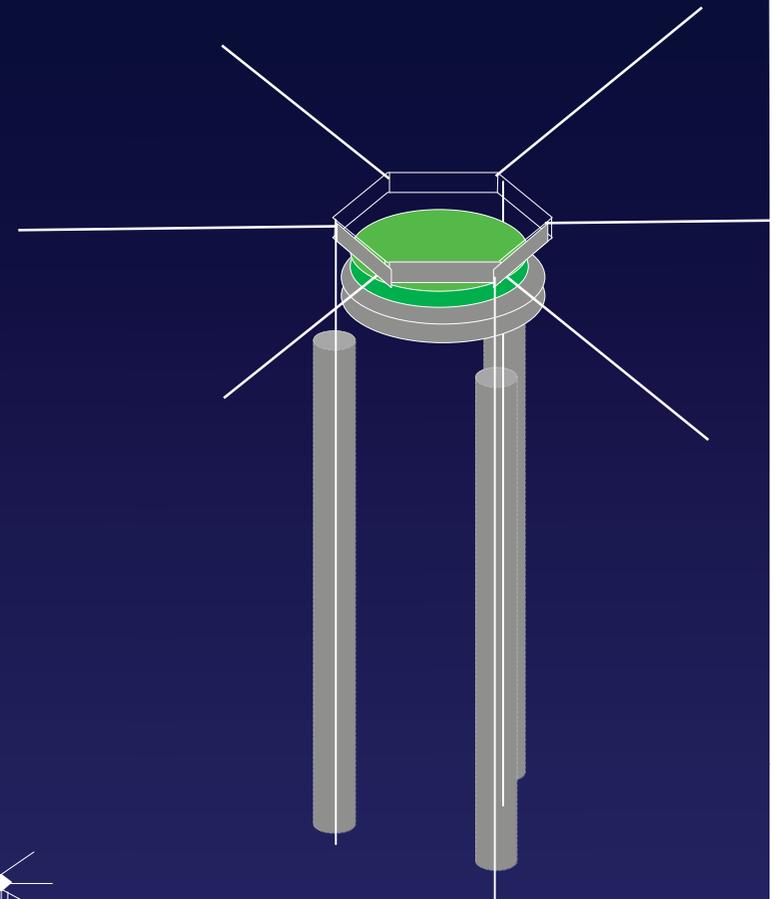
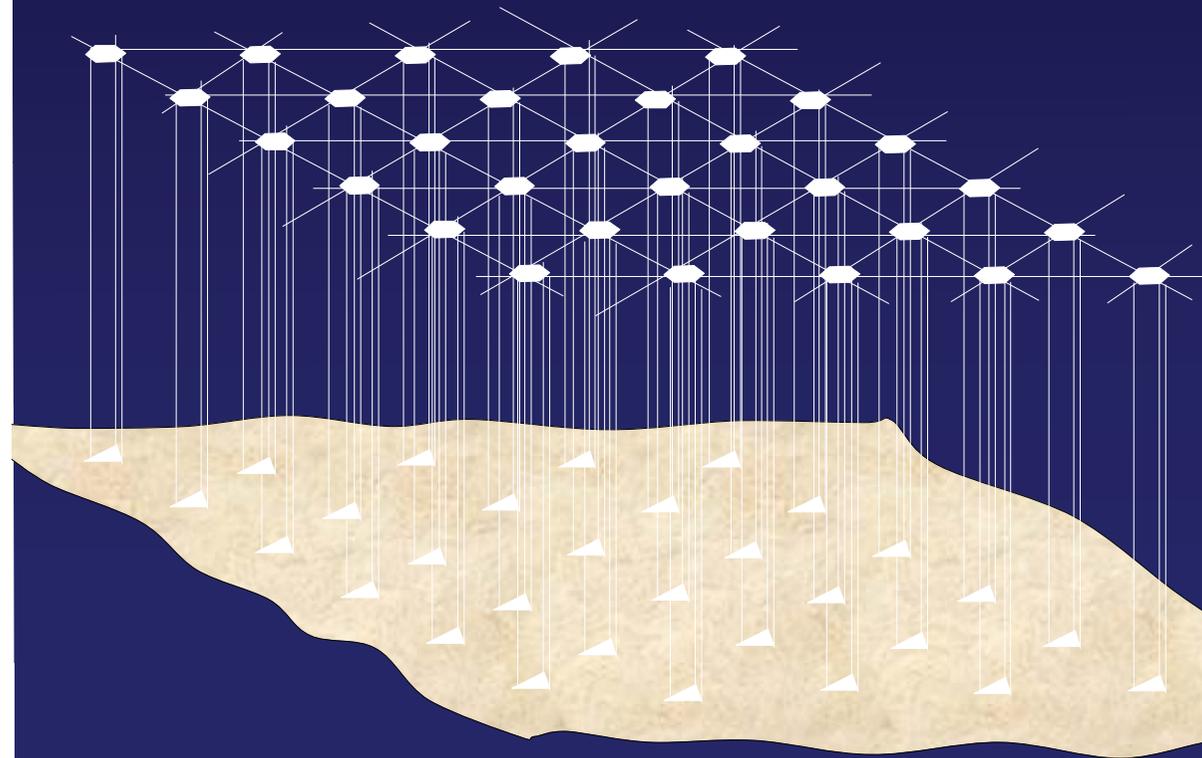
Miroirs portés par des câbles ?



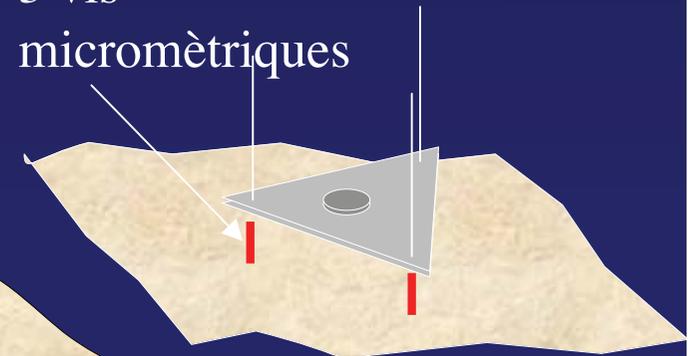
- C'est le cas du radiotélescope d'Arécibo (330m)
- S'affranchit de la topographie
- Solution utilisable en optique ?



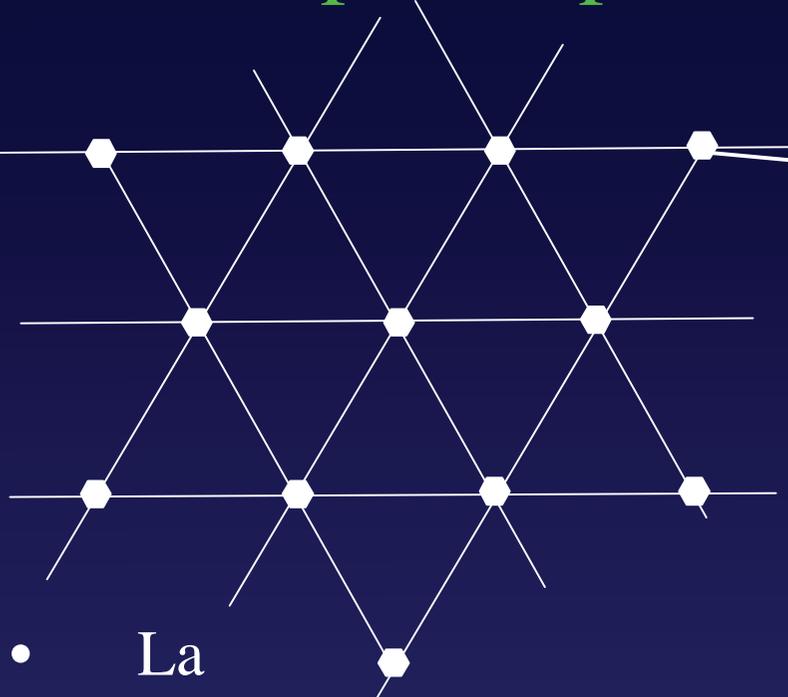
Miroirs suspendus



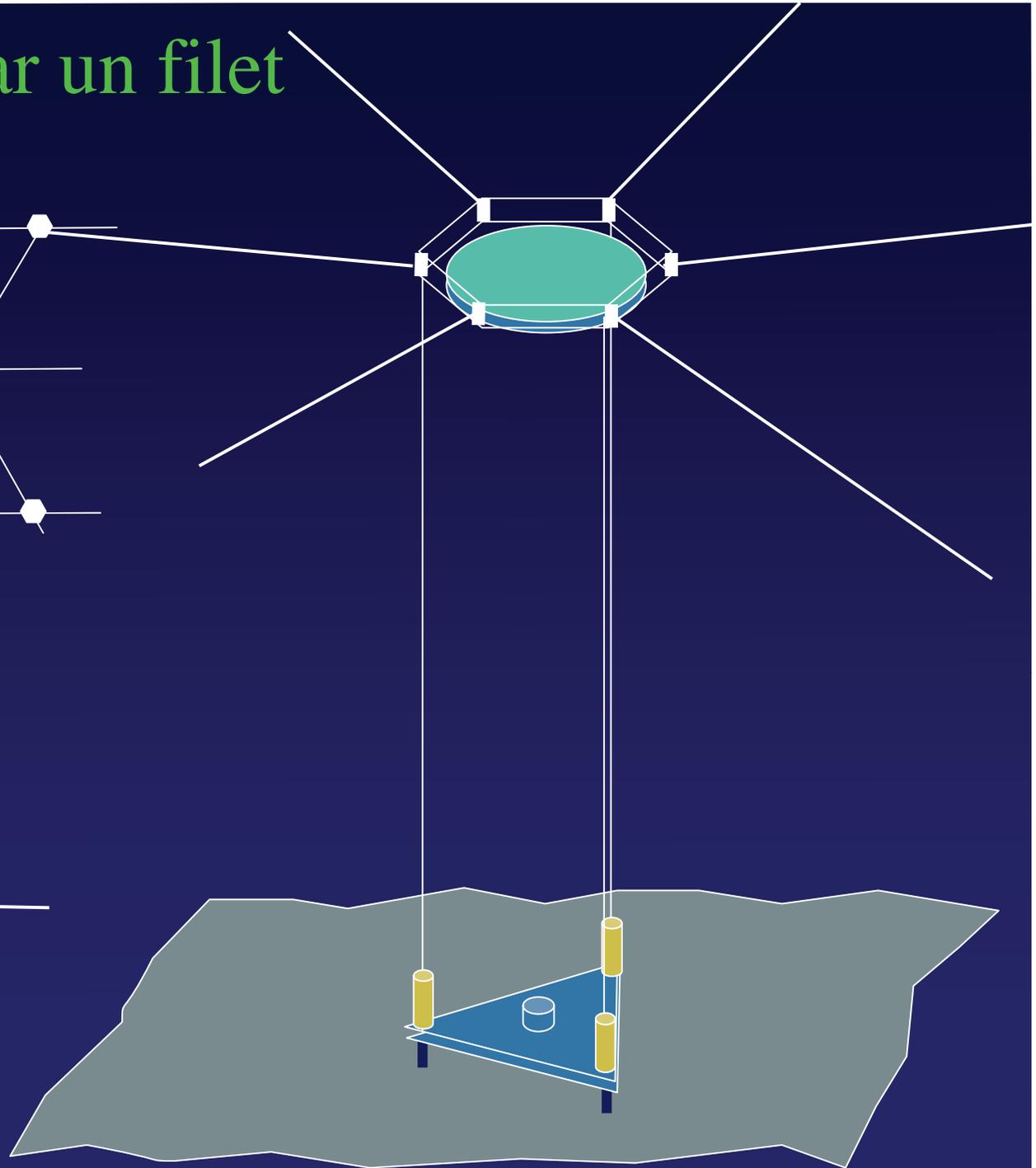
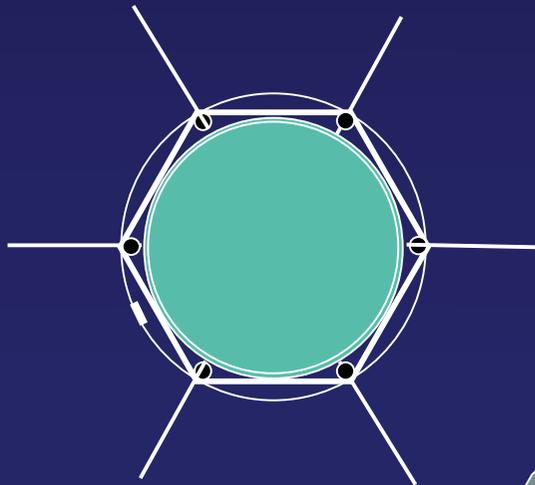
3 vis
micrométriques



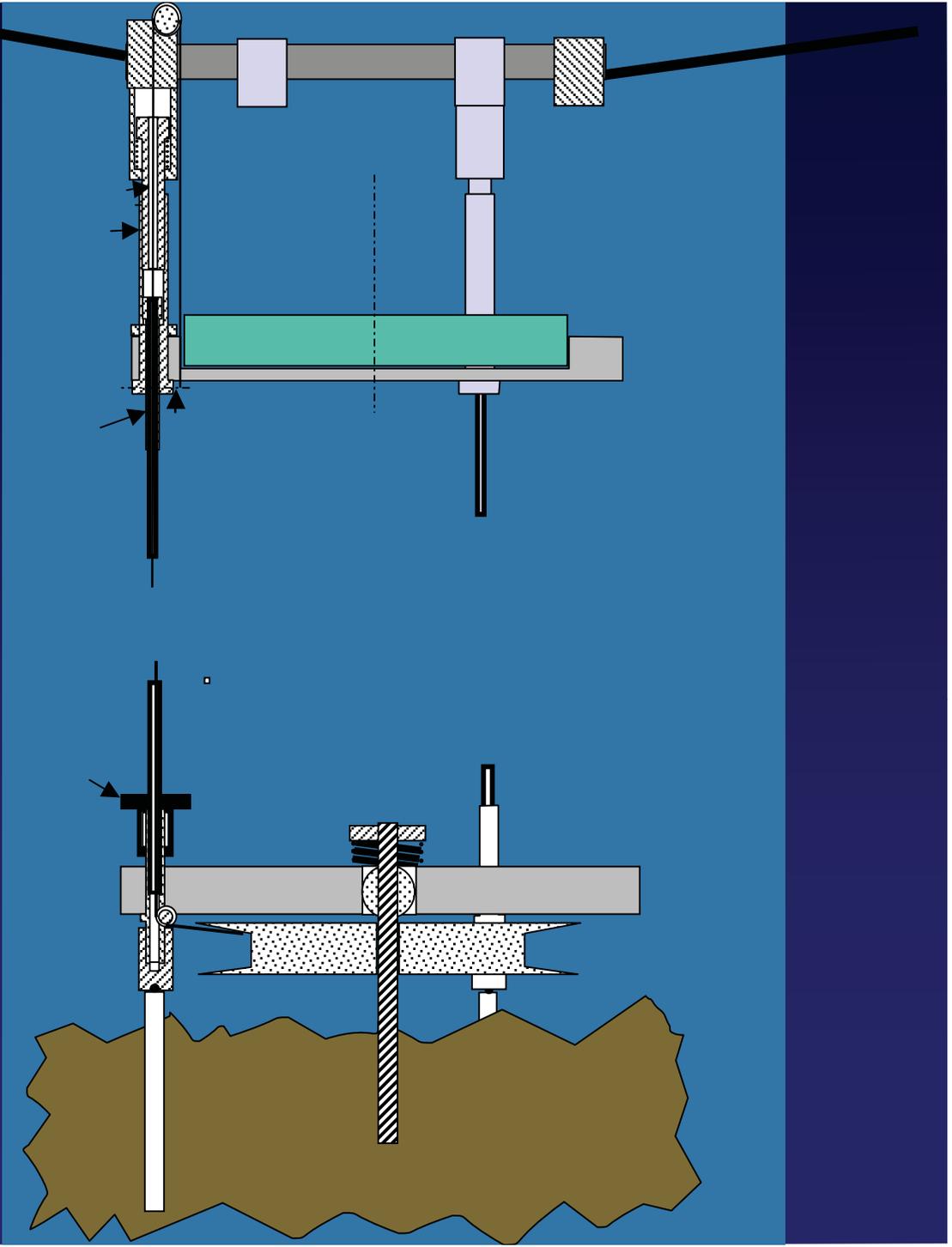
Miroirs portés par un filet



• La



L



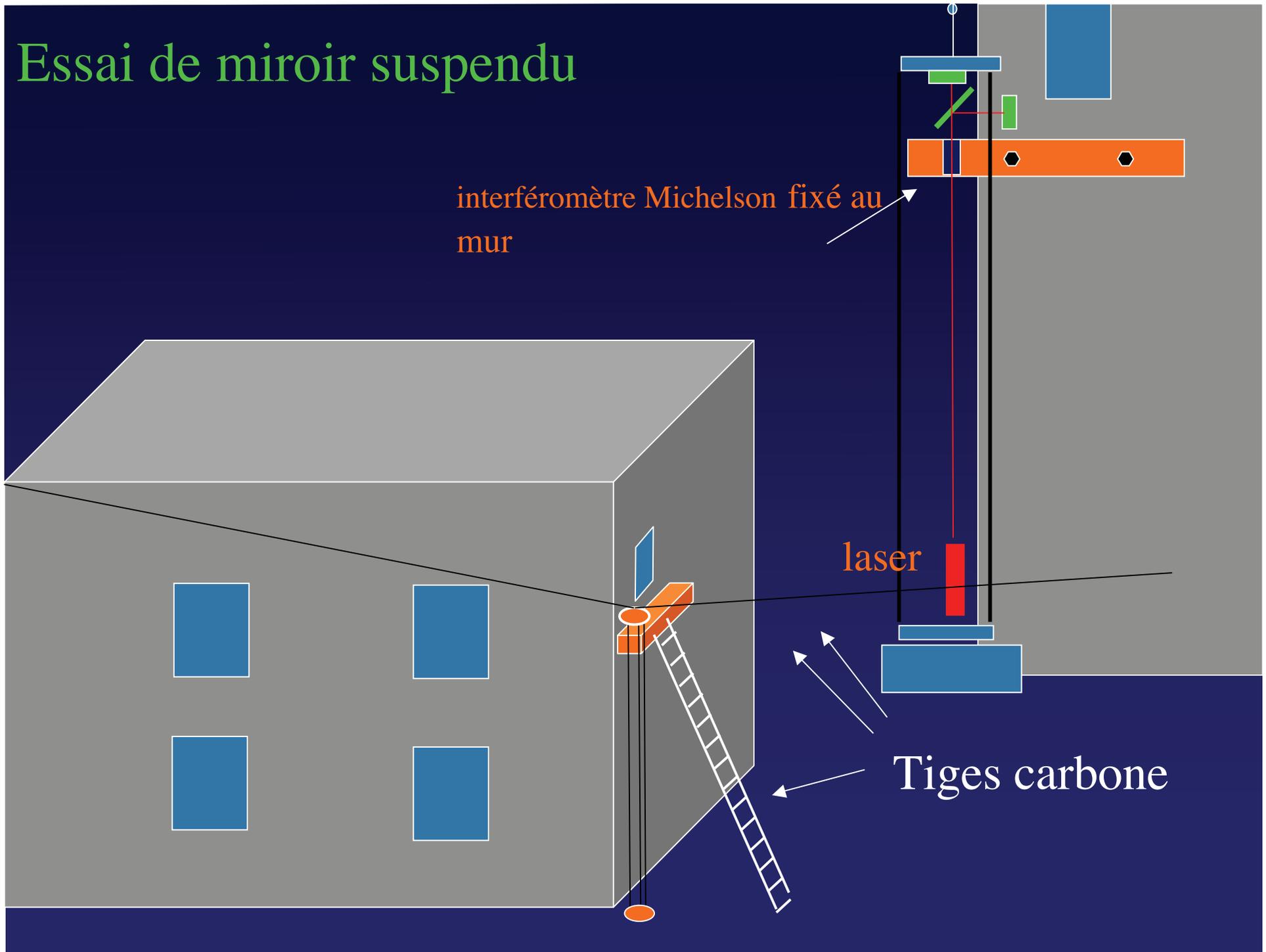
• La

Essai de miroir suspendu

interféromètre Michelson fixé au mur

laser

Tiges carbone



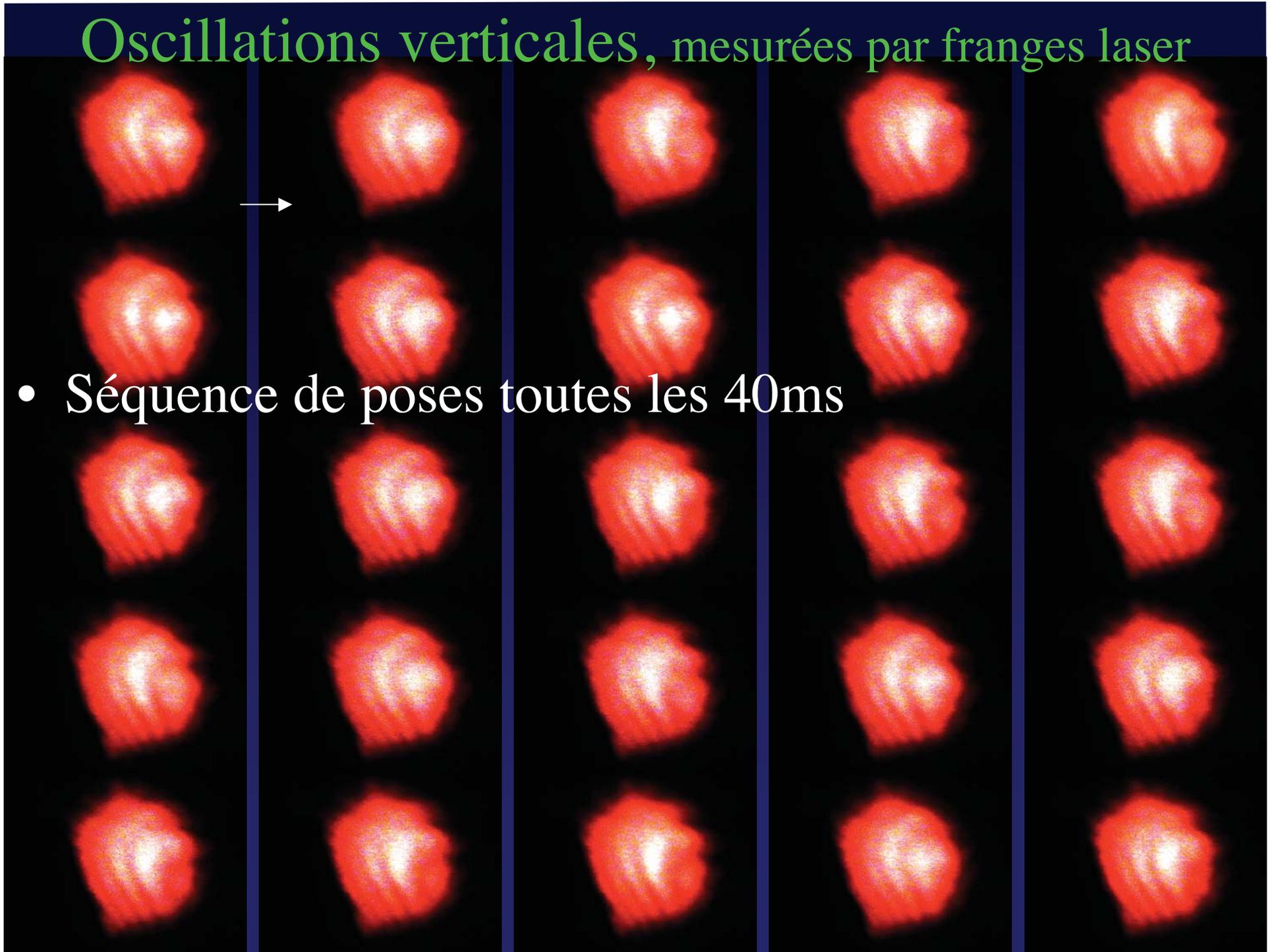
Essai de miroir porté par un filet: franges laser

- vent faible



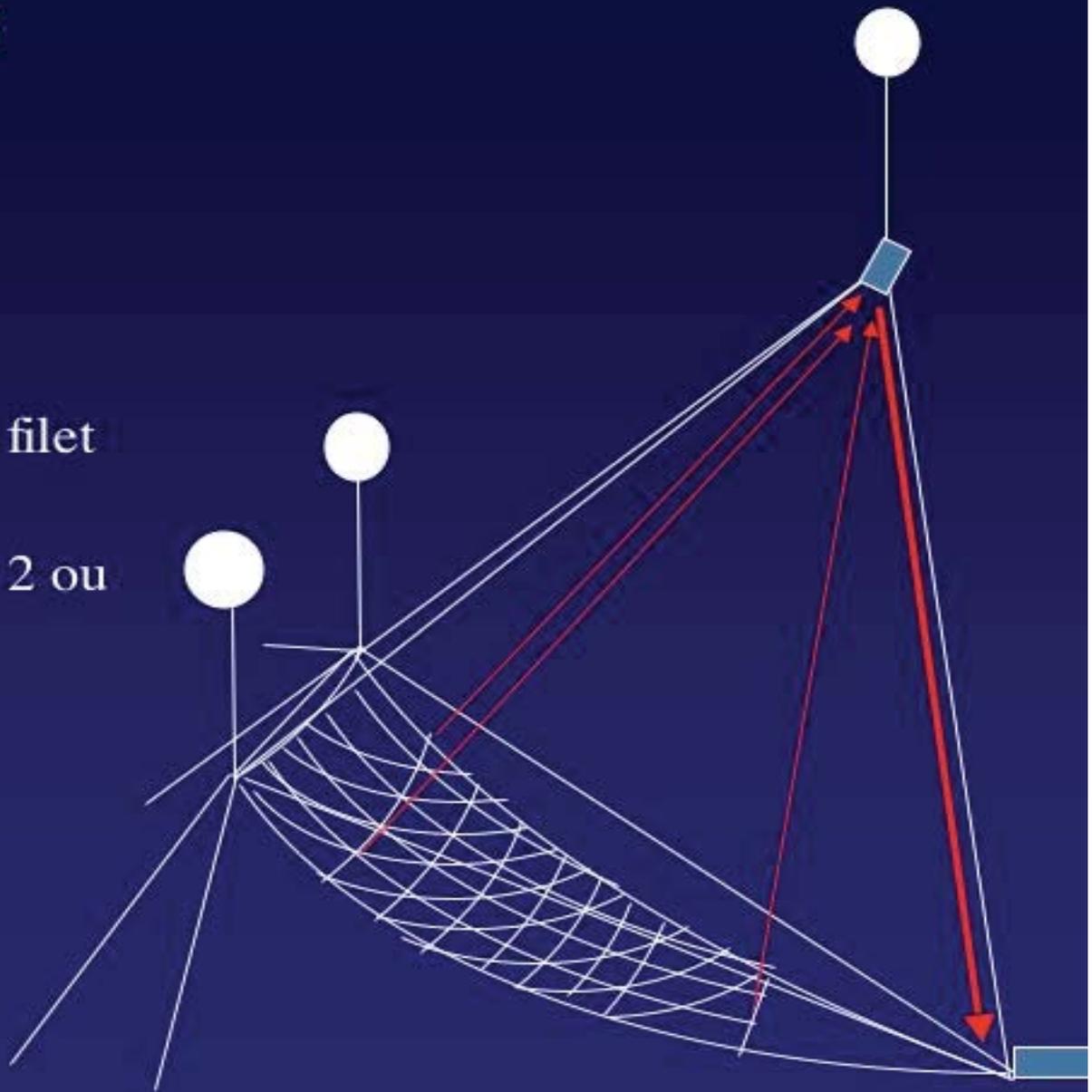
Oscillations verticales, mesurées par franges laser

- Séquence de poses toutes les 40ms



Hypertélescope au Dôme C (Antarctique)

- suspendu à 3 ballons
- Miroirs aux nœuds d'un filet
- Forme parabolique $F/1$
- Globalement pointé par 2 ou 3 treuils
- Dimension 1 km ?



Dimensions d'un "Extremely Large Carlina Hypertelescope"

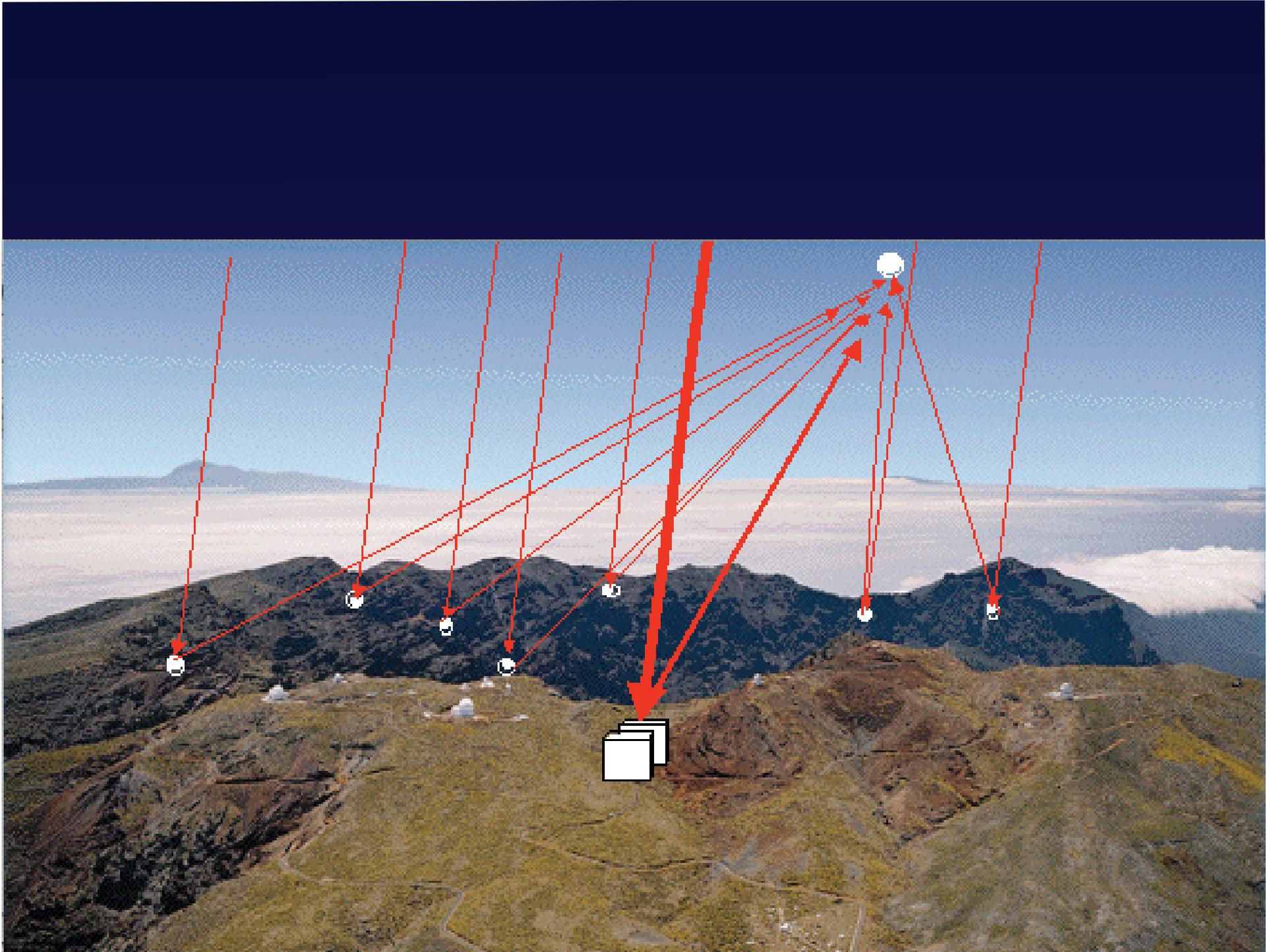
- Dimension d'ouverture D : 1 à 2 km
- Exige une cuvette de 4 à 5km , profondeur > 1 km
- 1000 m² de miroirs
- Dimension optimale d des miroirs:
 - 25cm à 1m ?
 - "crowding" empire si d augmente
 - Compromis à trouver pour le coût de la mécanique
- Filet de suspension ? Ballon focal ?

Dimensions d'un "Extremely Large Flat Hypertelescope"

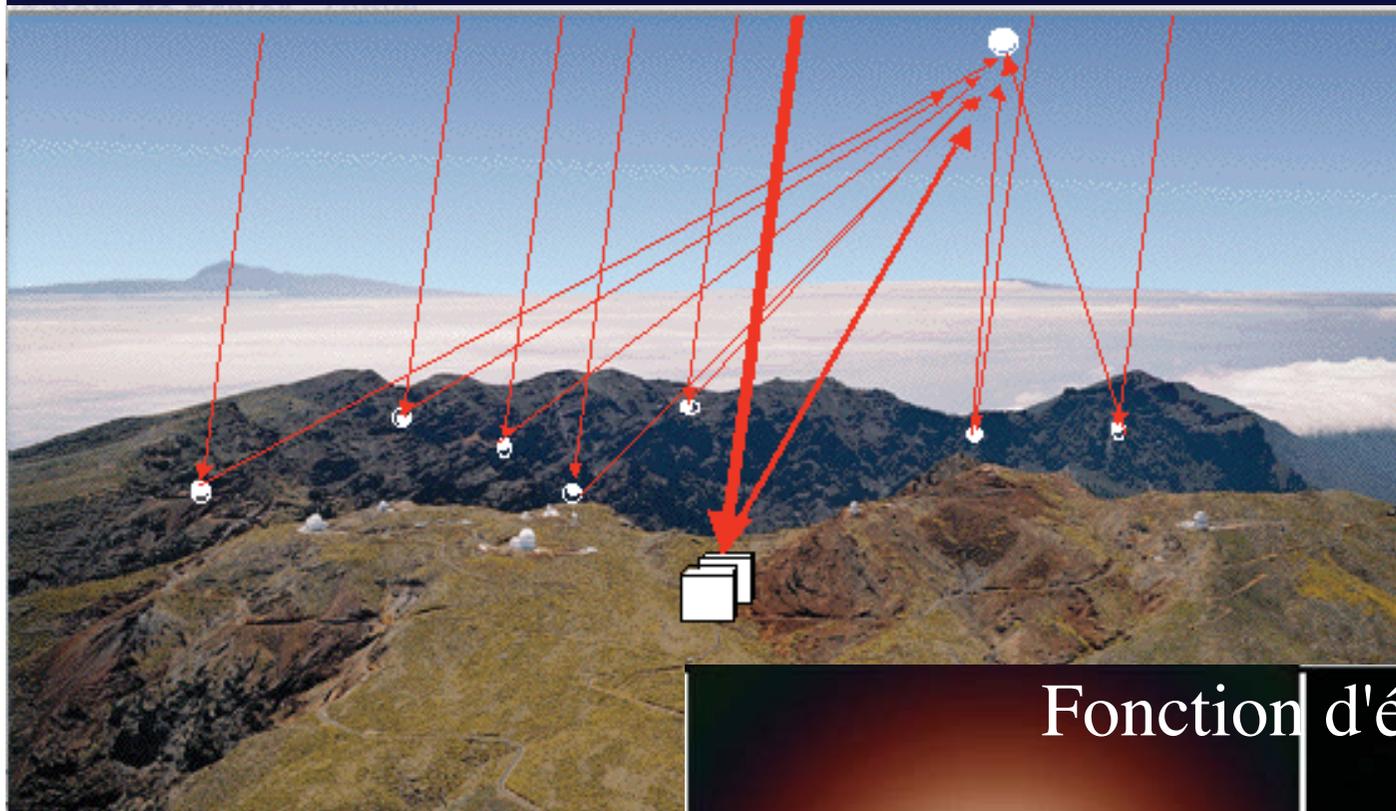


- Dimension d'ouverture D : 10 km ?
- Exige un plateau, télescopes et lignes à retard
- 1000 m² de miroirs =
 - 15 télescopes de 8m ou 62 de 4m ou 250 de 2m
- Imagerie moins riche, mais mieux résolue ?
- .

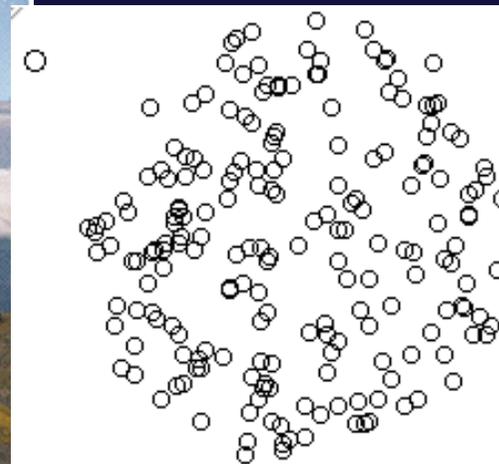
Hypertélescope et télescope
géant européen E-ELT:
faut-il les coupler ?



Une synergie intéressante: ELT et hypertélescope couplés



Densification de pupille
inégal: 1 et 40

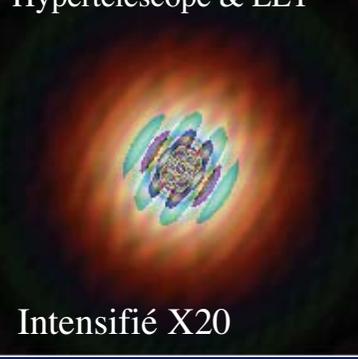
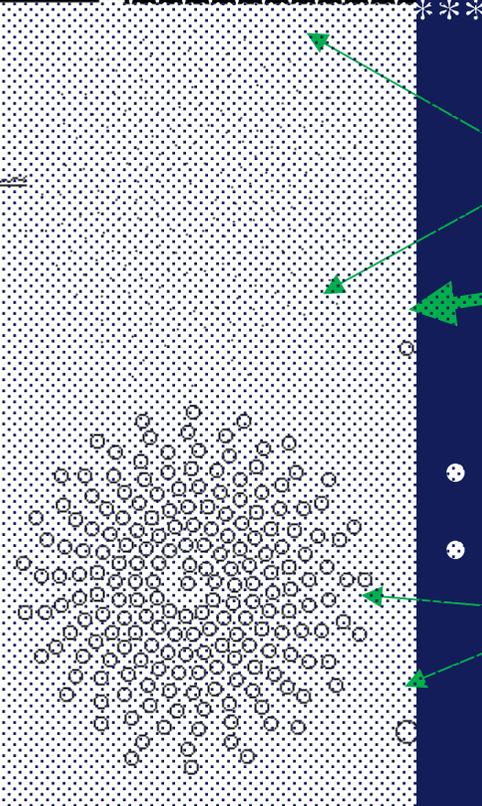
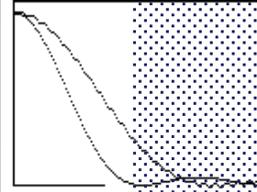
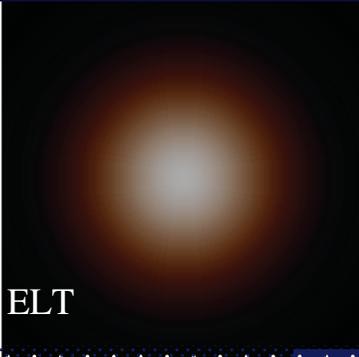
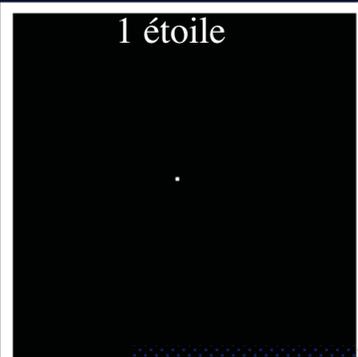


- ELT de 50m + hypertélescope 1km,
à 200 ouvertures de 1m
- pic rétréci et intensifié x 17

Fonction d'étalement

ELT seul

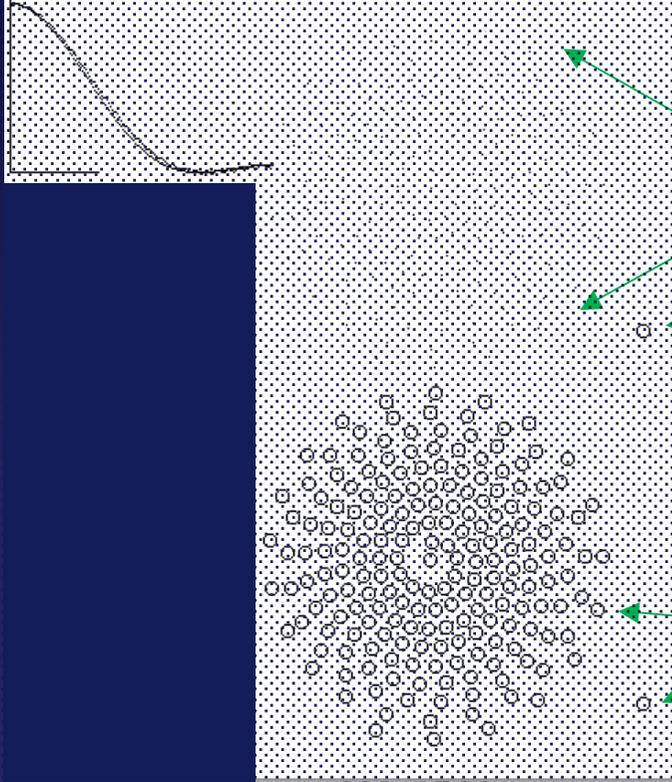
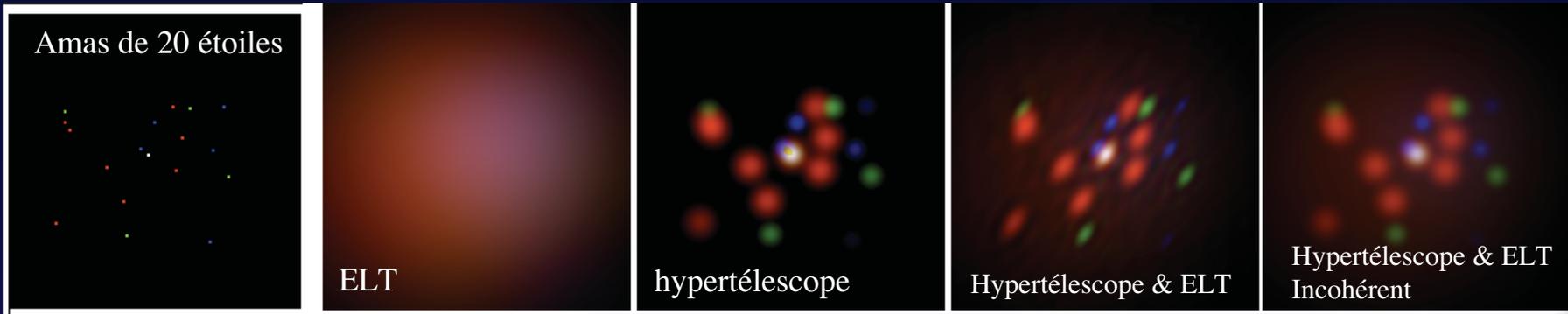
ELT couplé



plé à un

- 200 miroirs de 1m & 1 de 42m
- Densification inégale de la pupille de sortie

```
collecting areas 200 1764 theoretical peak intensity ratio hyper/ELT 28.566058
densif UT; AT = -1.5 -40 intensite max AT 20.567562 UT 2.25 AT+UT 36.423004
central green intens: UT 2.25 AT 20.567562 UT&AT 36.423004
ELT + 200 UT, 1 stars, white at center
```

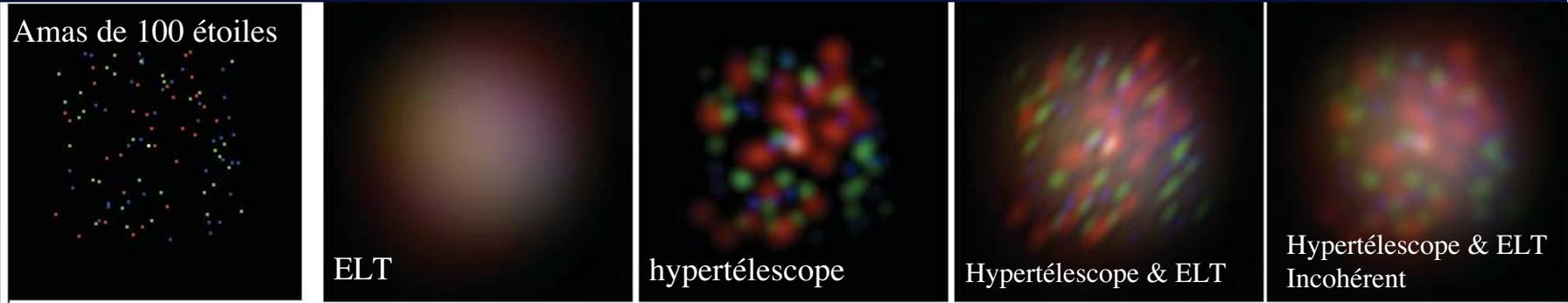


***** Images directes *****

Hypertélescope couplé à un télescope géant

- 200 miroirs de 1m & 1 de 42m
- Densification inégale de la pupille de sortie

```
collecting areas 200 1764 theoretical peak intensity ratio hyper/ELT 64.273631
densif UT; AT = -1 -40 intensite max AT 24.295346 UT 7.408007 AT+UT 37.849953
central green intens: UT 2.720313 AT 20.579908 UT&AT 32.273162
ELT + 200 UT, 18 stars, white at center
```



***** Images directes *****

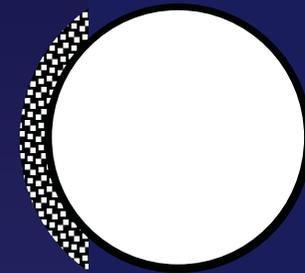
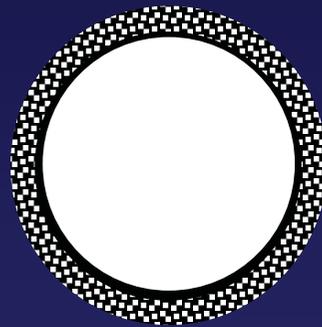
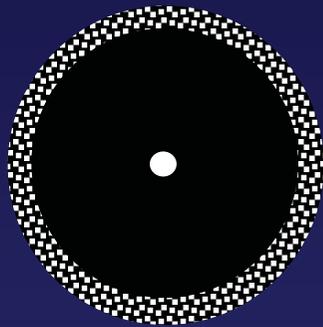
Hypertélescope couplé à un
téléscope géant

- 200 miroirs de 1m & 1 de 42m
- Densification inégale de la pupille de sortie

```

collecting areas 200 1764 theoretical peak intensity ratio hyper/ELT 28.566058
densif UT; AT = -1.5 -40 intensite max AT 50.062917 UT 64.914312 AT+UT 115.042941
central green intens: UT 36.825738 AT 20.982248 UT&AT 72.367836
ELT + 200 UT, 100 stars, white at center
  
```

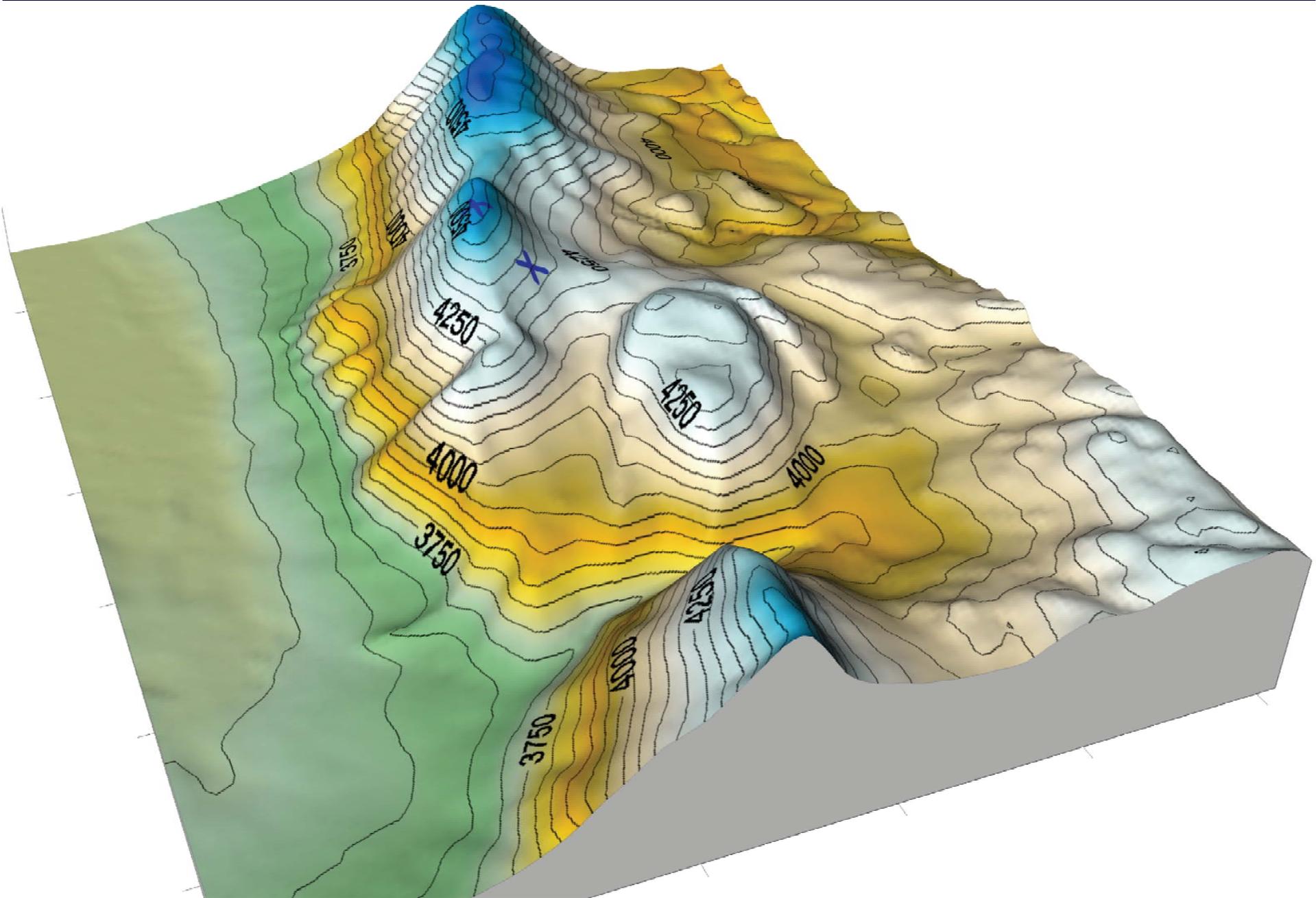
Couplage et densification inégale



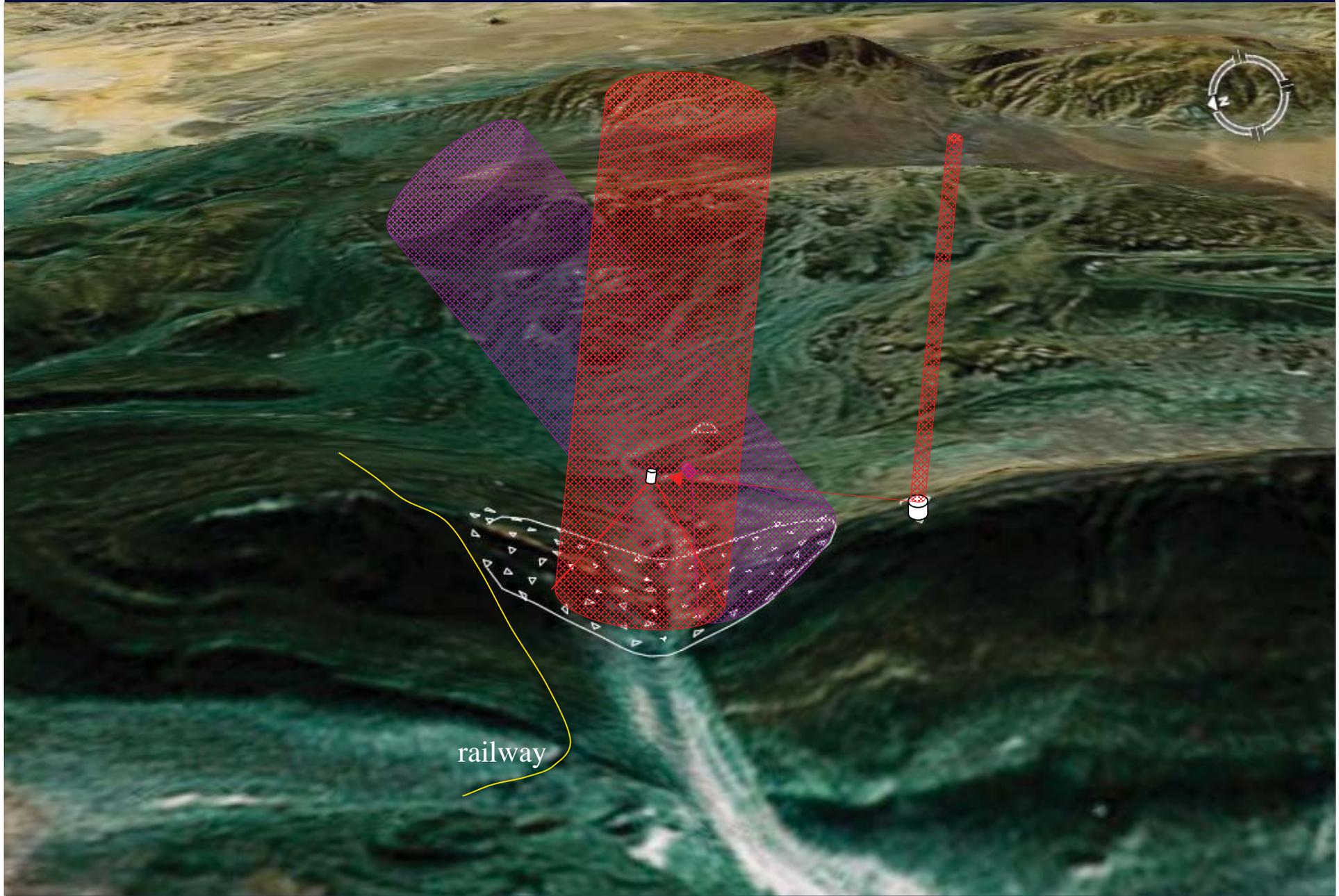
Une quatrième voie au sol:

Couplage d'un hypertélescope avec un ELT

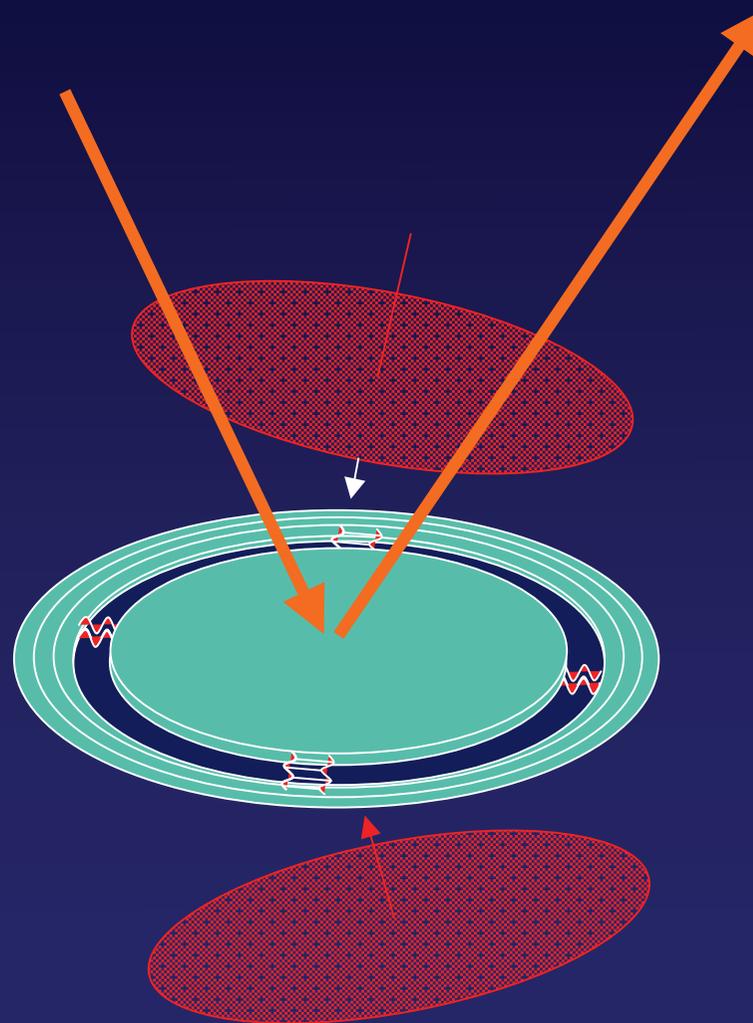
- Apporte une résolution accrue à l'ELT
- Bénéficie de sa luminosité



Hypertelescope et ELT couplés à Macon (Argentine)



Dans l'espace:
Miroirs piégés par laser



Conclusion

Pour l'Europe, aujourd'hui:

Vaut-il mieux faire un ELT de 42m?

une version "dispersée", hypertélescope de 1 à 10km ?

ou les deux, séparés ?

ou encore les deux, couplés ?

- Premiers éléments de réponse:
 - Science comparée par la théorie et la simulation (Labeyrie 2008, SPIE) favorise l'hypertélescope **à surface égale**
 - Couplage ELT/hypertélescope également intéressant
 - Faisabilité, sites possibles et coûts à préciser
- une étude plus poussée est nécessaire avant d'investir