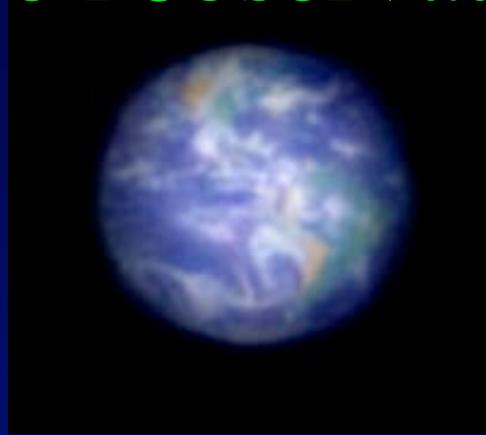


Collège de France

Chaire d 'Astrophysique Observationnelle

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



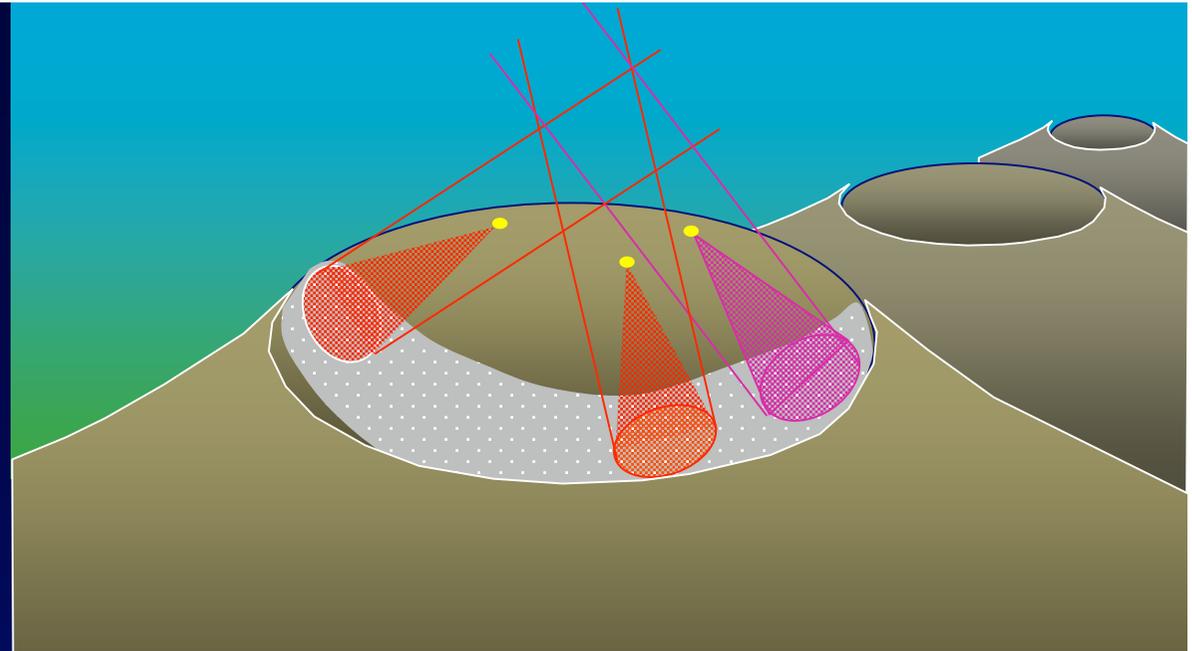
- Cours à Paris les mardis de Mars
- 2 cours & séminaires à Nice le 13 Mai
- Pages web sur www.college-de-France.fr
- les fichiers des projections y seront affichés

Plan du cours

- 1- Interférences à Hawaii et au Chili
- 2- Etude en cours d'un essai d'interféromètre en orbite géostationnaire
- 3- Optique adaptative pour les grands interféromètres : idées récentes
- 4- Construction d'un hypertélescope au sol
- 5- Observations cosmologiques avec des hypertélescopes : possibilités et limitations
- 6- Coronographie optique et infra-rouge pour l'observation d'exo-planètes dans l'espace

Aujourd'hui:

Construction d'un hypertélescope au sol



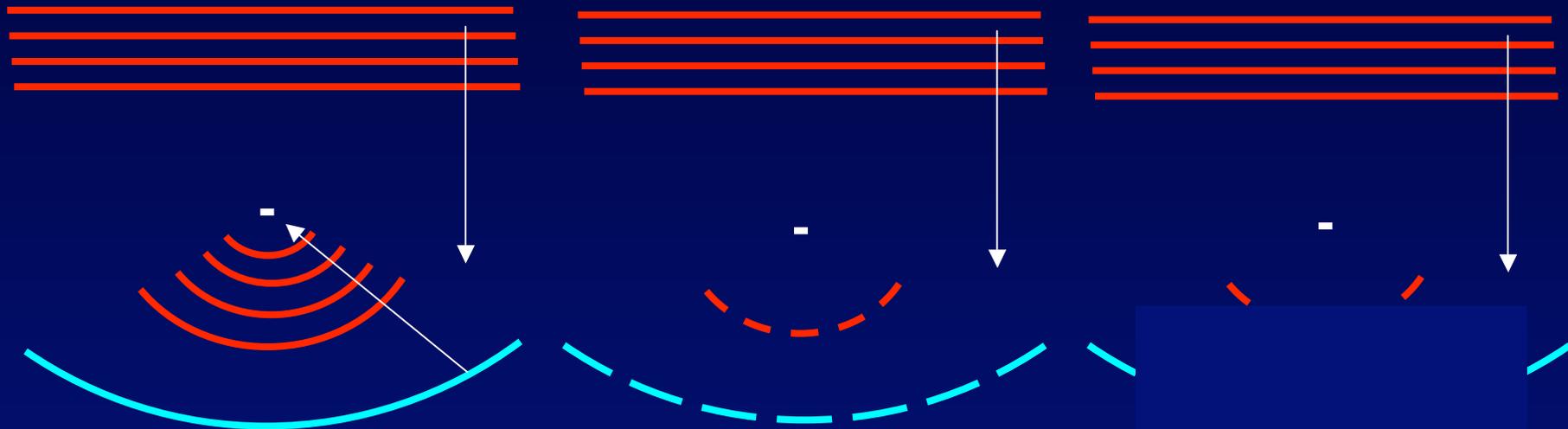
Séminaire à 15h15:

Jean-Louis Monin (Observatoire de Grenoble)

« Disques des étoiles »

Interférométrie

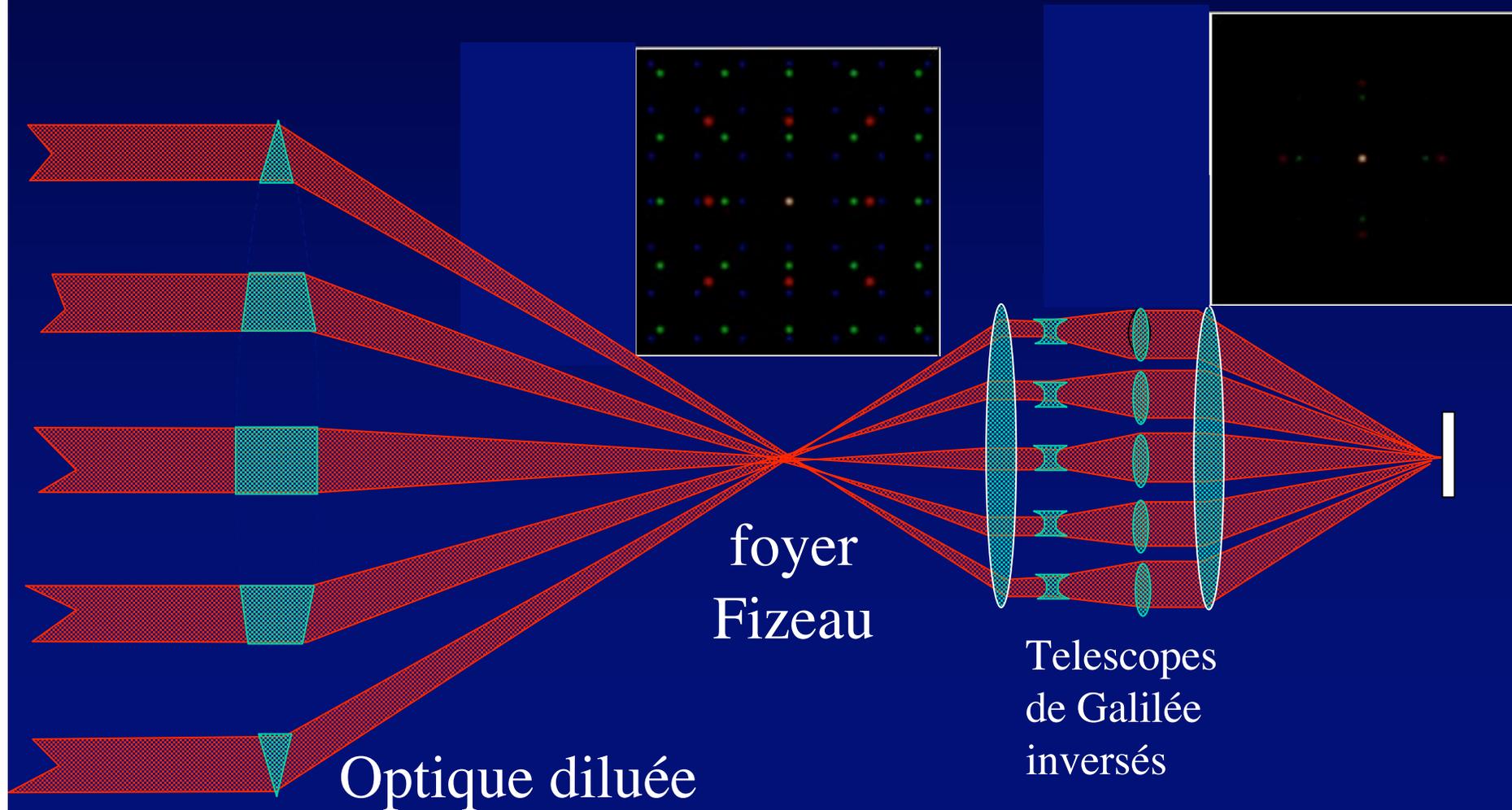
le télescope géant du pauvre



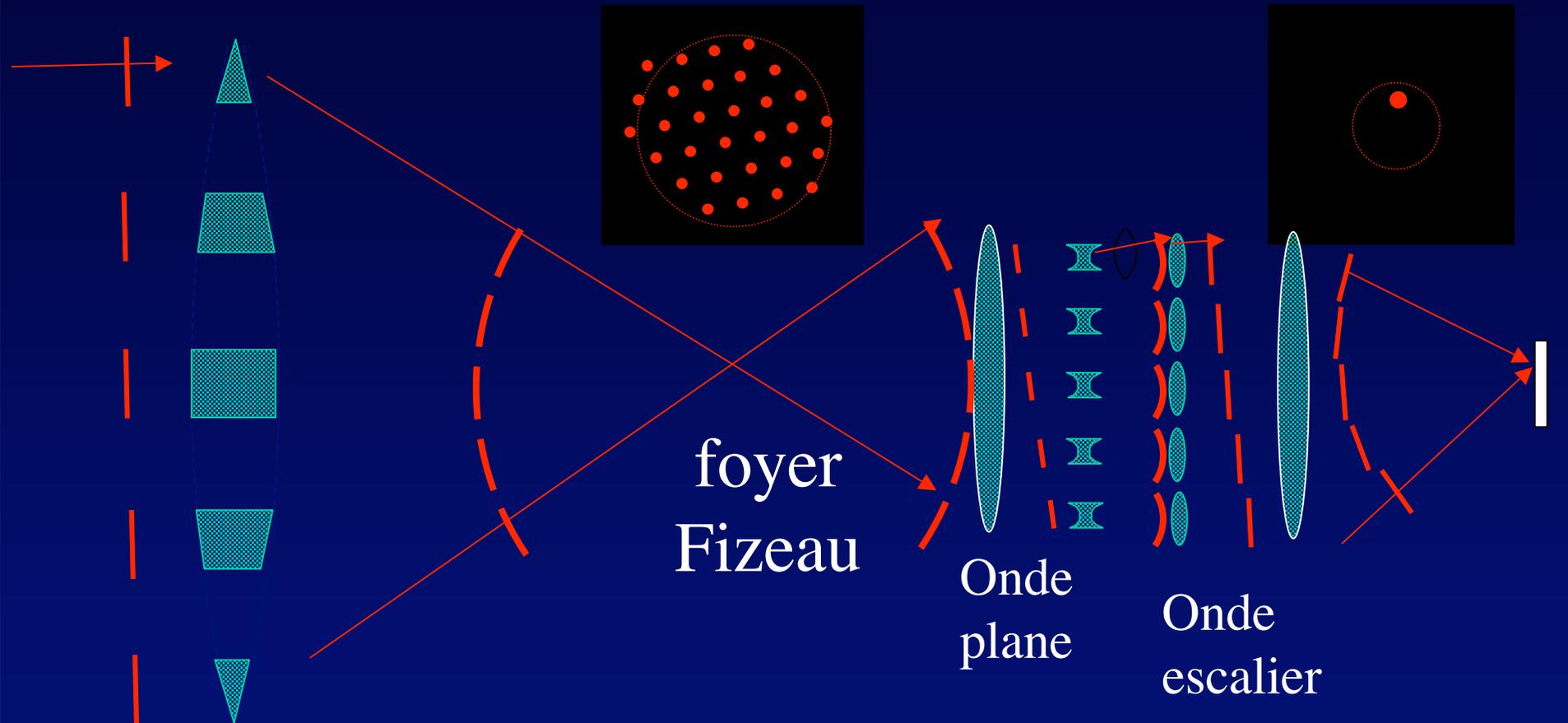
- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

Principe de l'hypertélescope

ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »
(Labeyrie A&A, 1996)



Source hors d'axe

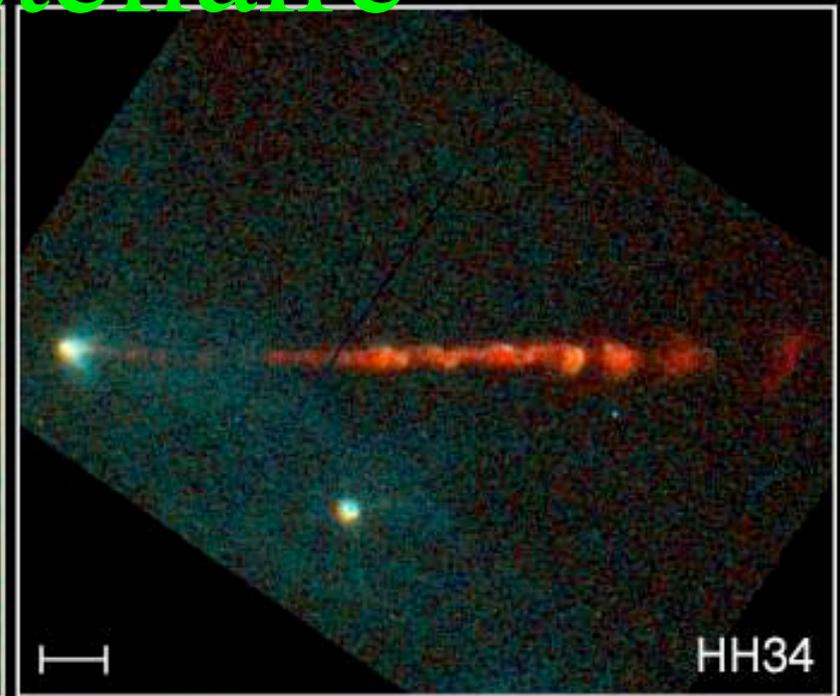
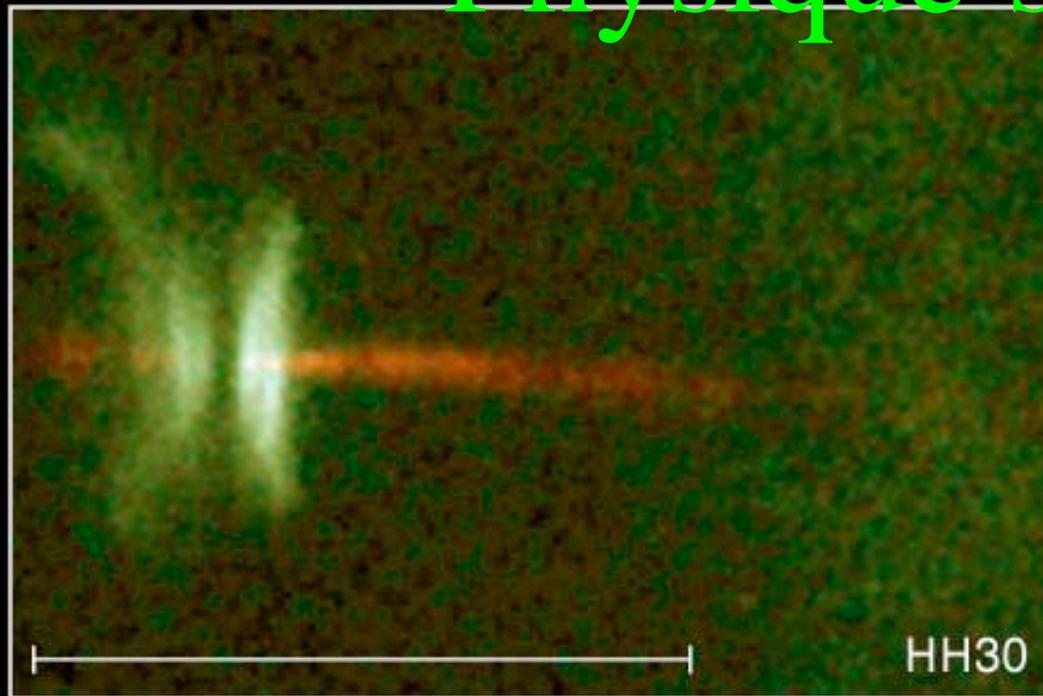


- l'onde plane devient "en escalier"
- l'image est décalée dans l'enveloppe
- pseudo-convolution, champ limité

Etoiles proches

- tirer leur portrait
- voir les détails comme sur le soleil
(seule étoile dont on possède le portrait)
- obtenir des spectro-images

Physique stellaire



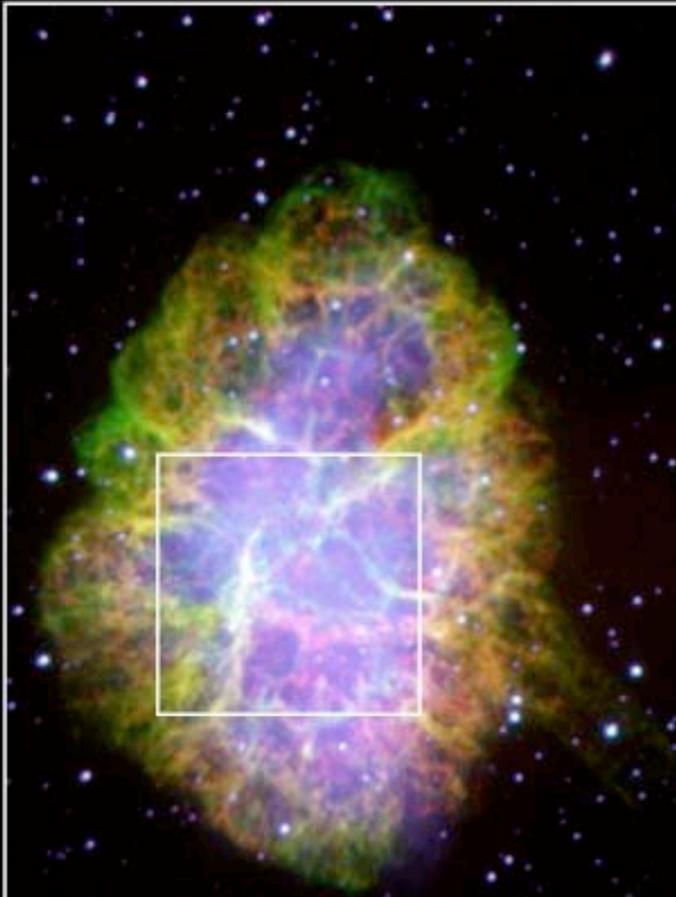
Jets from Young Stars

HST • WFPC2

Résoudre des étoiles à neutrons ?

- 20 km à 1000 années lumières
- Dimension nécessaire: un million de kilomètres

Crab Nebula



Galaxies lointaines et cosmologie

Imagerie
hypertélescope :
oui dans les
champs peu
remplis



Hubble Deep Field

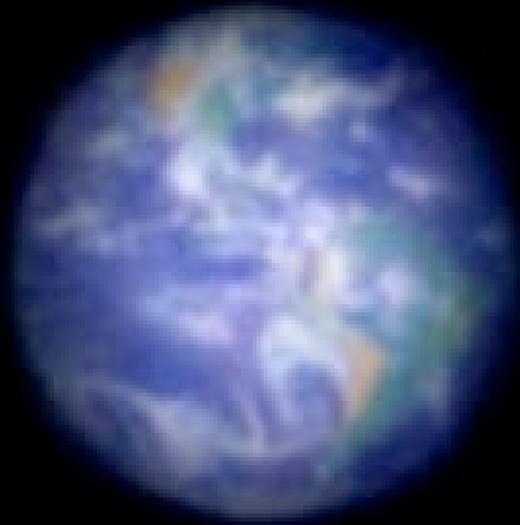
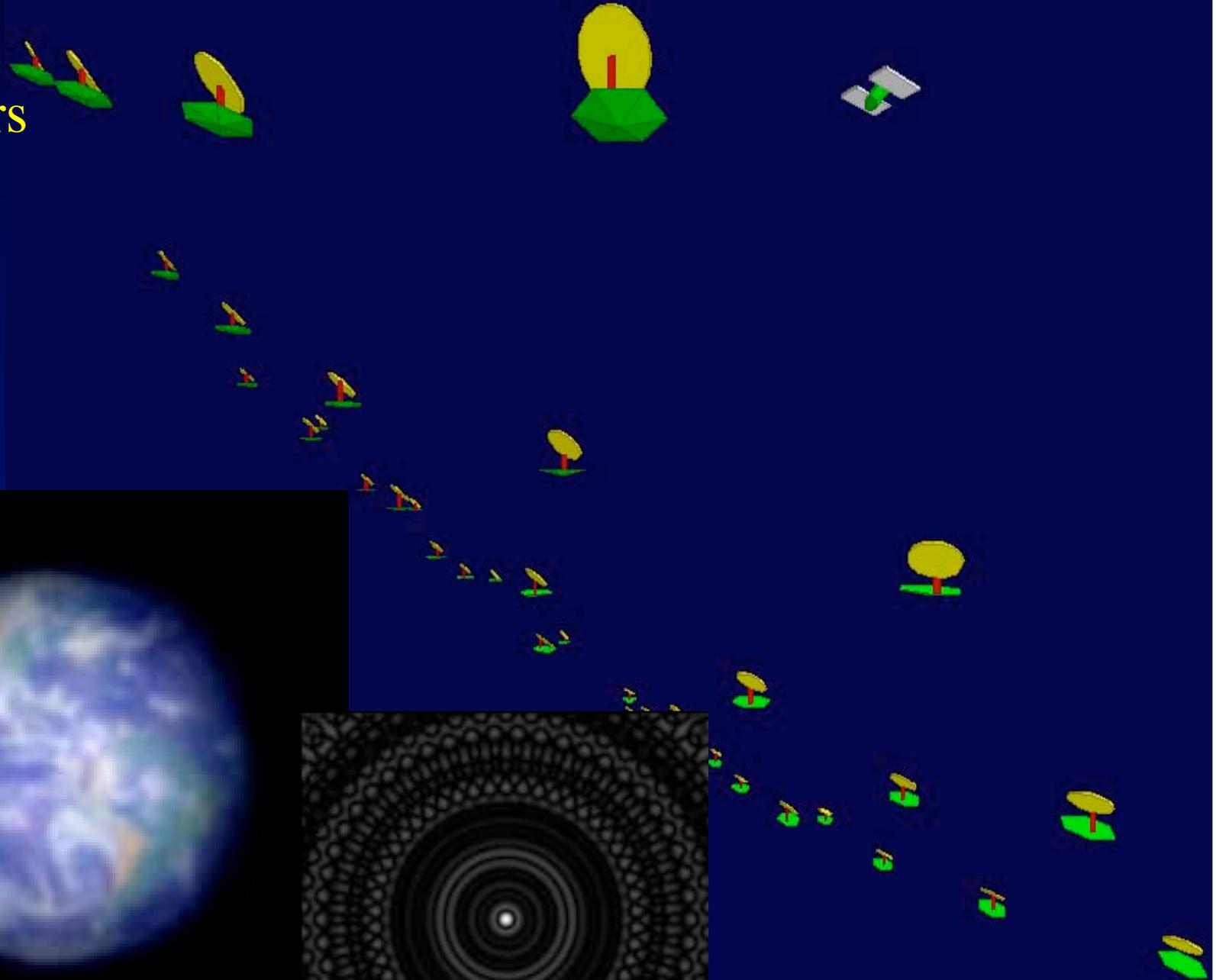
HST • WFPC2

PRC96-01a • ST Scl OPO • January 15, 1996 • R. Williams (ST Scl), NASA

Dans 20 ans ?

150 miroirs
de 3m
150 km

Terre à 3pc
Pose 30mn

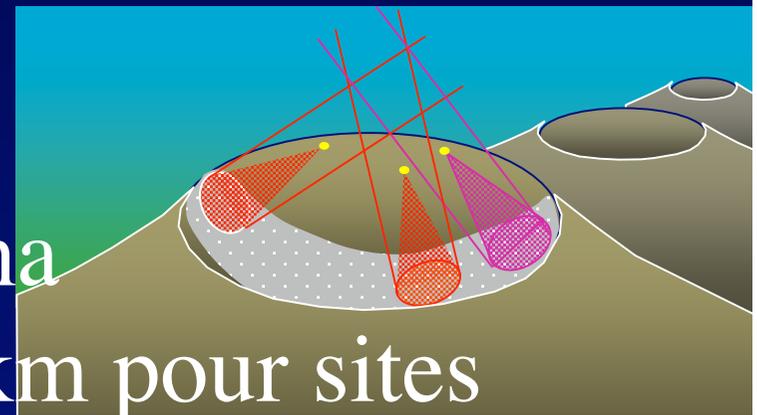


Faut-il attendre l'espace ?

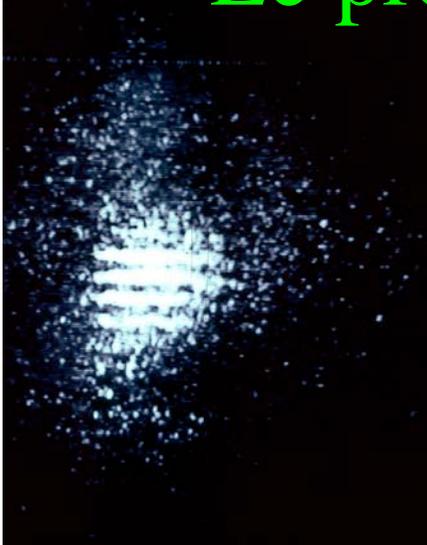
- durée d'attente imprédictible
- imagerie hypertélescope modeste possible au VLT
- espoirs d'optique adaptative à forte couverture céleste:
 - satellites porteurs d'étoiles artificielles
 - laser sonde: LIDAR de Townes
- essais justifiés pour OVLA et CARLINA

Hypertélescopes au sol

- deux voies possibles:
 - 1- site plat: OVLA
 - 2- site concave: Carlina
- limitation d'ouverture à 1 km pour sites concaves, mais:
 - optique simplifiée
 - multi-objets dans le champ primaire



Le premier interféromètre à deux télescopes (1974 à Nice, puis Caussols)



Caussols: Interféromètre à 2 Télescopes



GI2T (2 x 1,5 m, base 67 m)

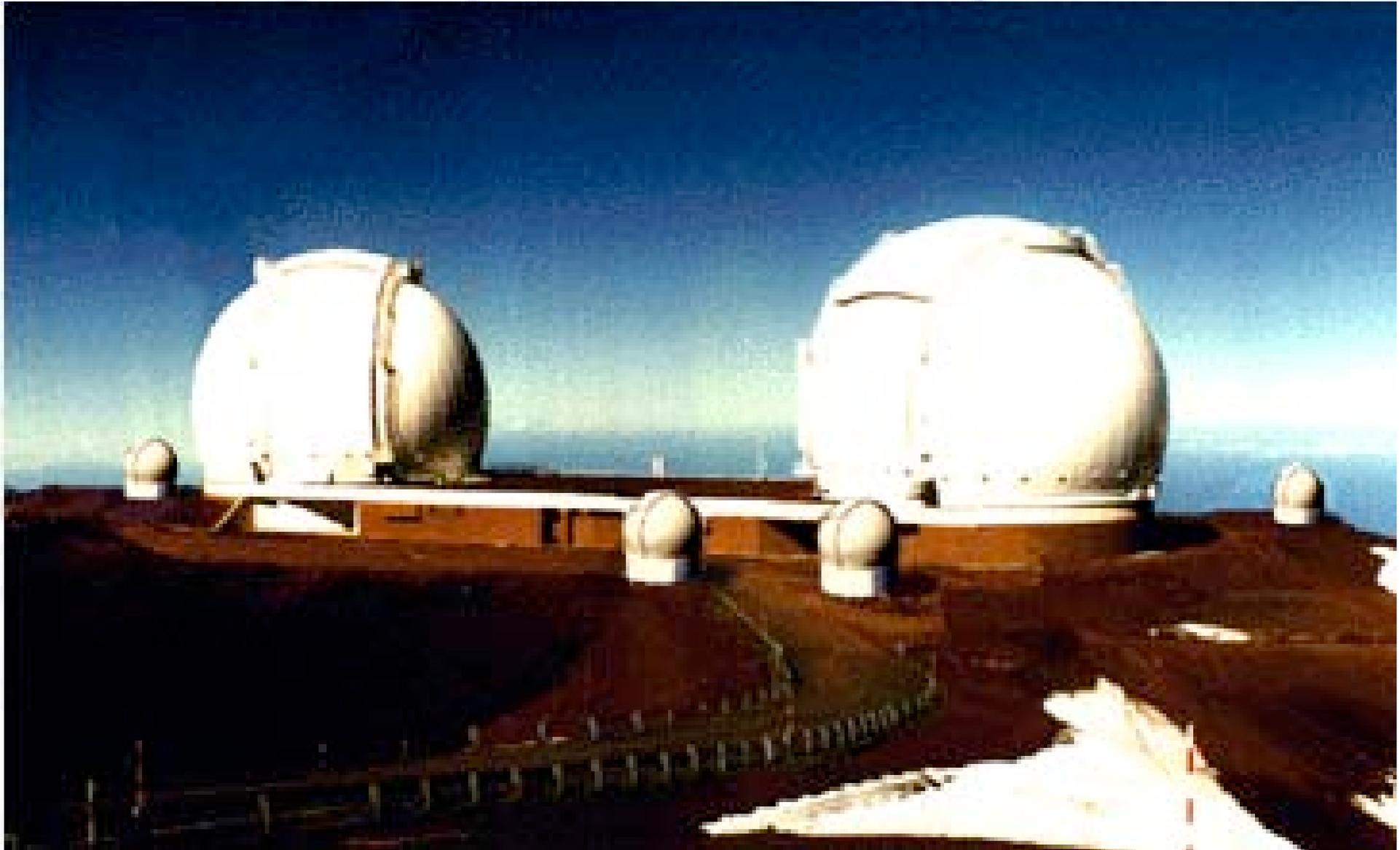


Origines de l'interféromètre



Spectre frangé obtenu au GI2T

Interférométrie à Hawaïï : deux télescopes Keck de 10m



l'interféromètre européen VLTI au Chili

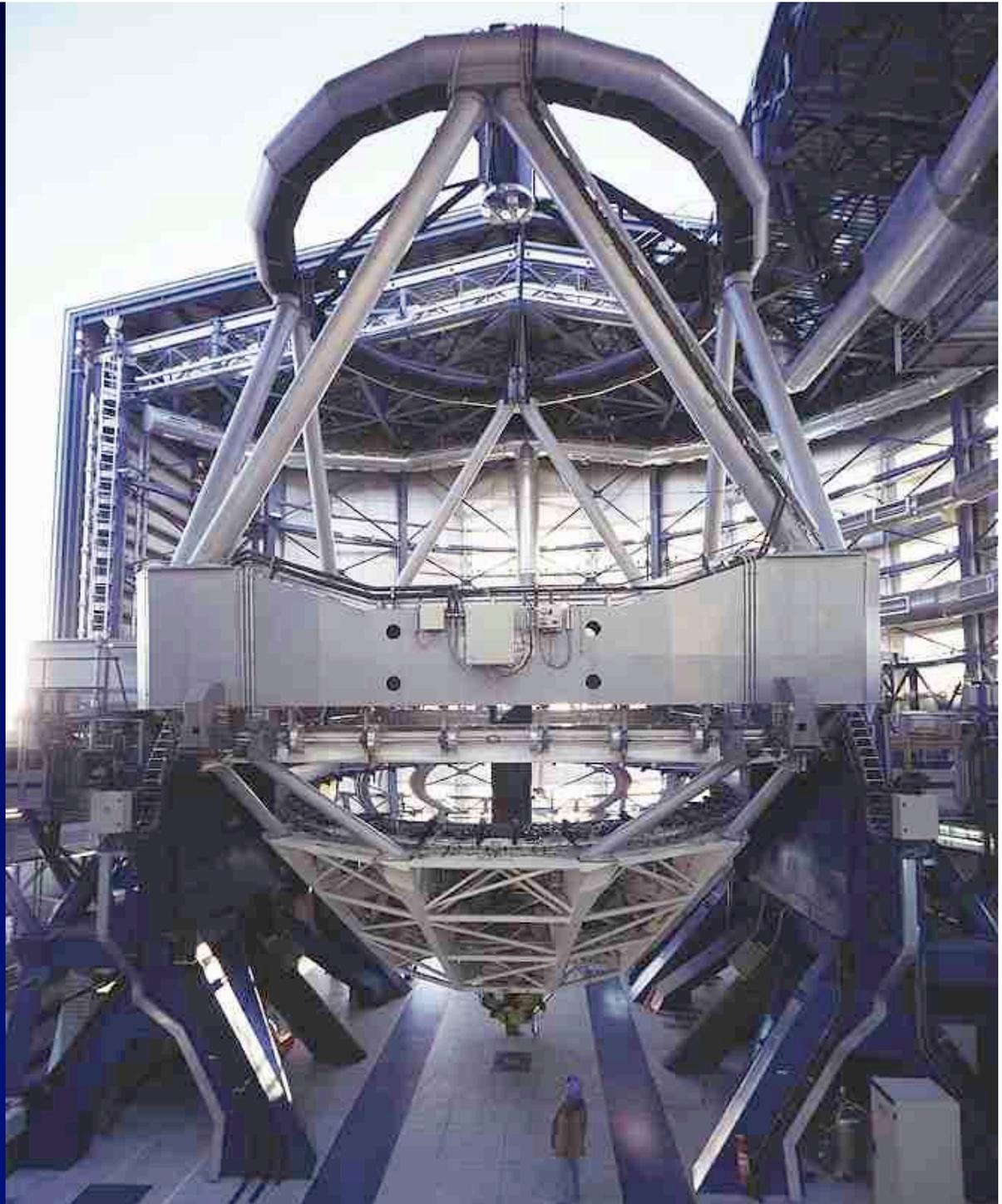




Pierre Kervella 2001

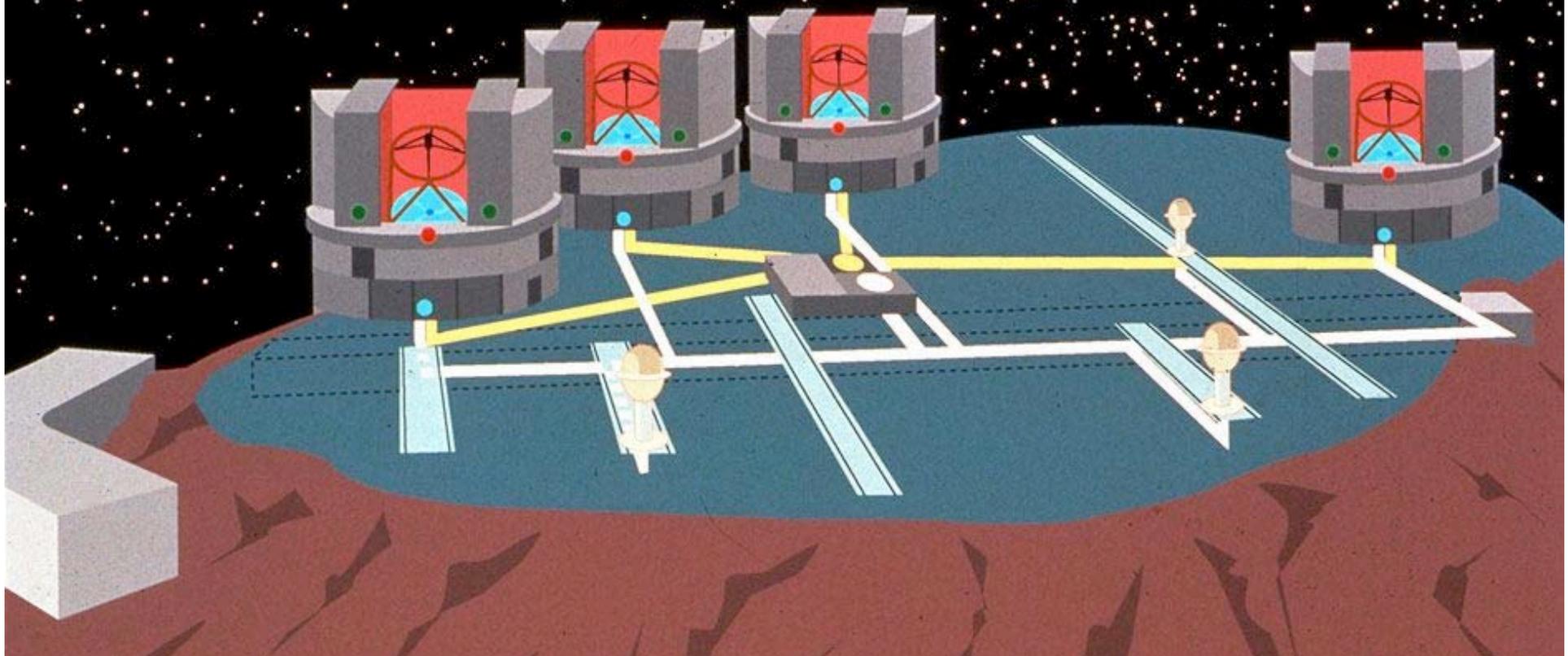
télescope de 8 m

- bon ...
- mais couteux



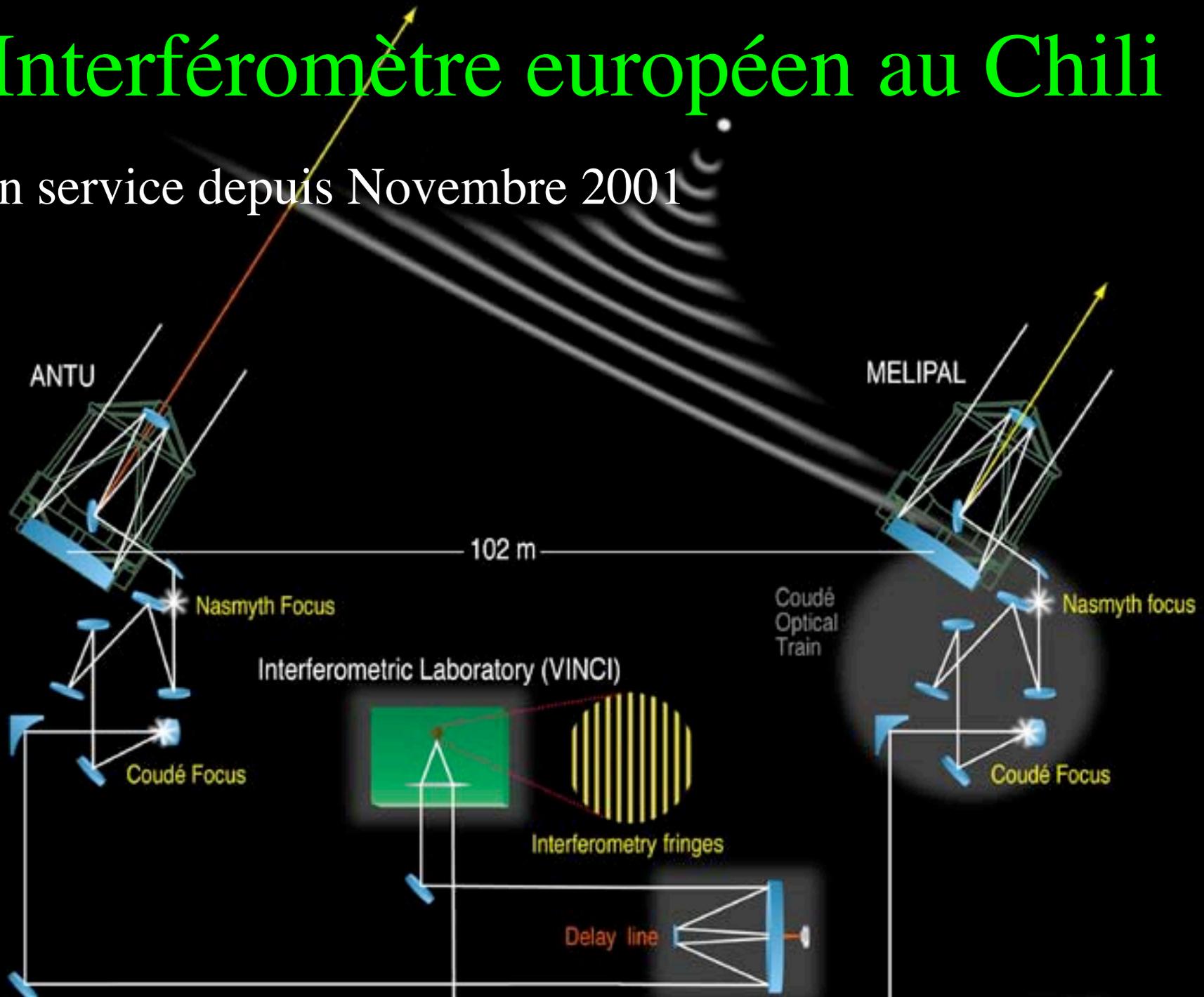
Very Large Telescope Interferometer ESO, Chili

- 3 x 8m + 4 x 1.8m



Interféromètre européen au Chili

- En service depuis Novembre 2001



Les tunnels du VLTI

- prévus pour 8 lignes à retard



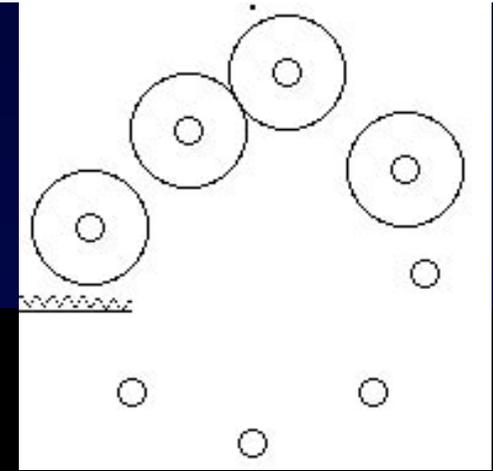
Les tunnels du VLT



Origines de l'interféromètre VLTI (1972-2001)

- 1972 : « a synthetic telescope consisting of several large telescopes...the largest general purpose telescopes are invaluable for this application ... It is therefore suggested that interferometer-compatible designs be adopted for those future large telescopes which are still in the planning stage... » (Labeyrie, proc. ESO/CERN conf., 1972)
- 1974: Interféromètre à 2 Télescopes à Nice
- Etude ESO d'un VLT capable d'interférométrie
- Groupe de travail ESO dirigé par P. Léna
- 2001 : premières franges au Chili

Image hypertélescope au VLTI



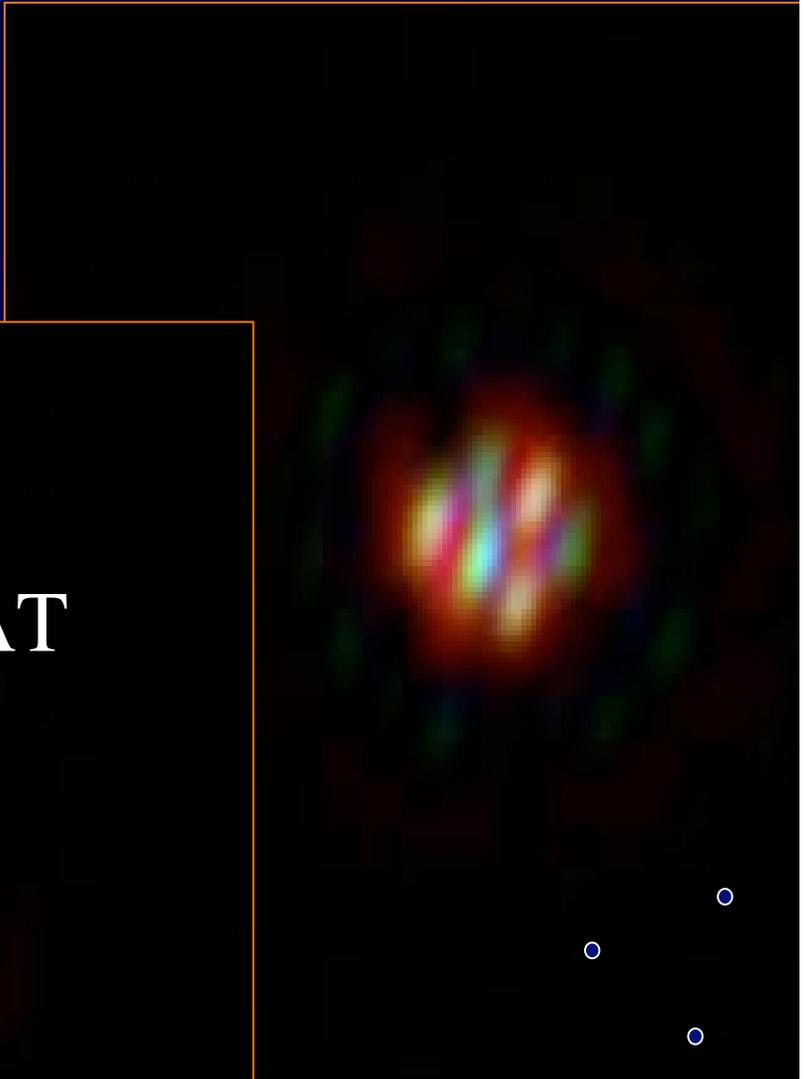
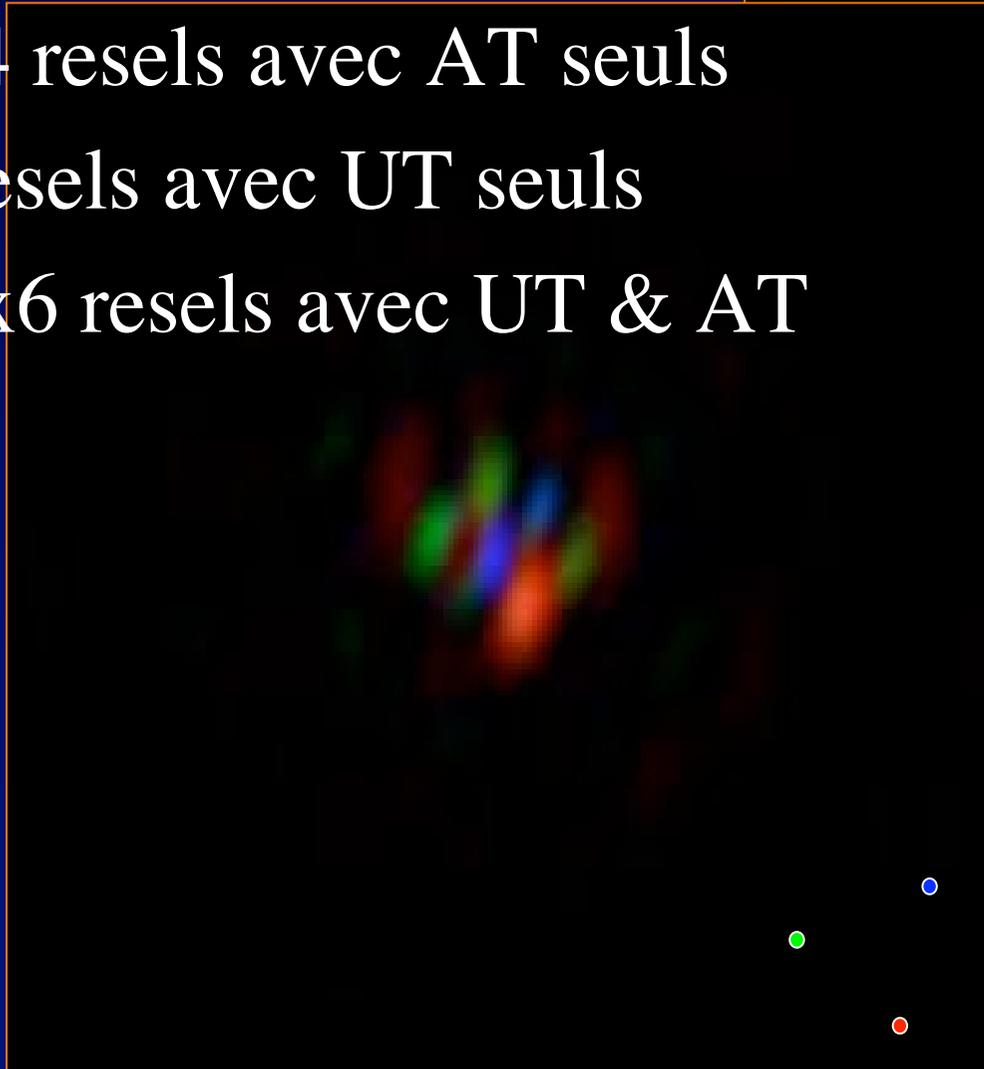
4 UT

4 UT + 4 AT

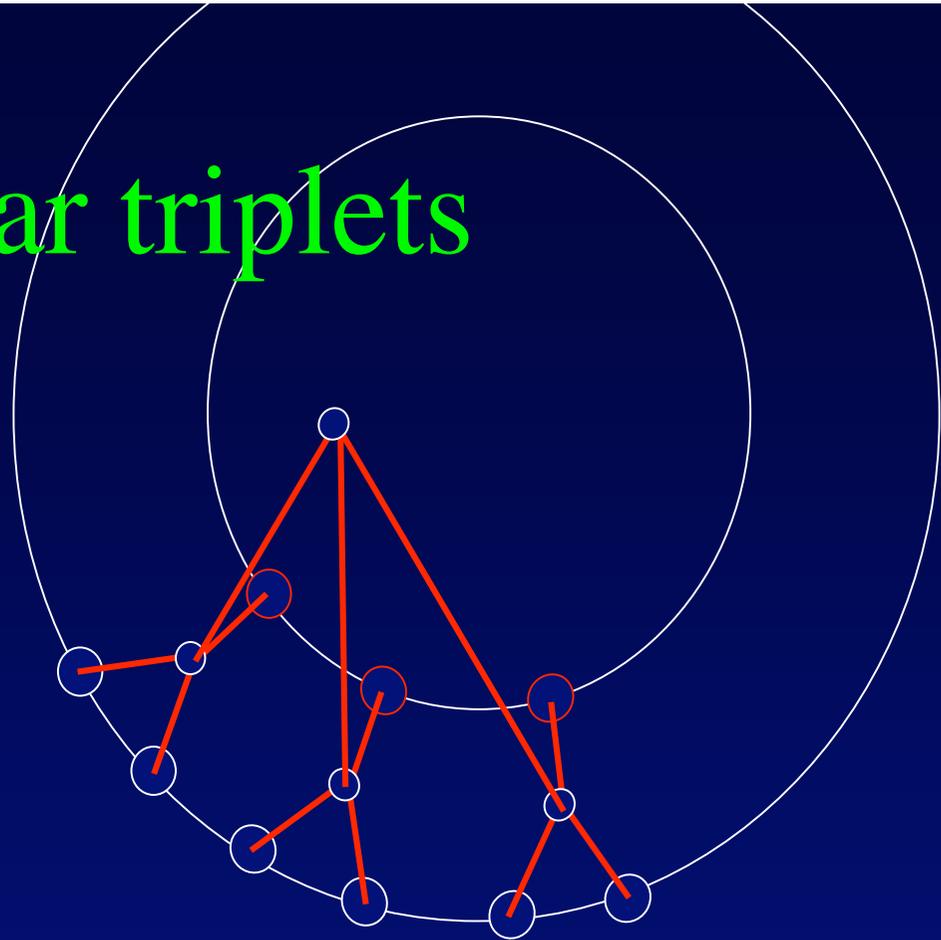
- Les 4 télescopes de 1.8 mètre contribuent faiblement

Richesse du champ

- avec une pupille complètement densifiée:
 - 24x24 resels avec AT seuls
 - 6x6 resels avec UT seuls
 - > 6x6 resels avec UT & AT

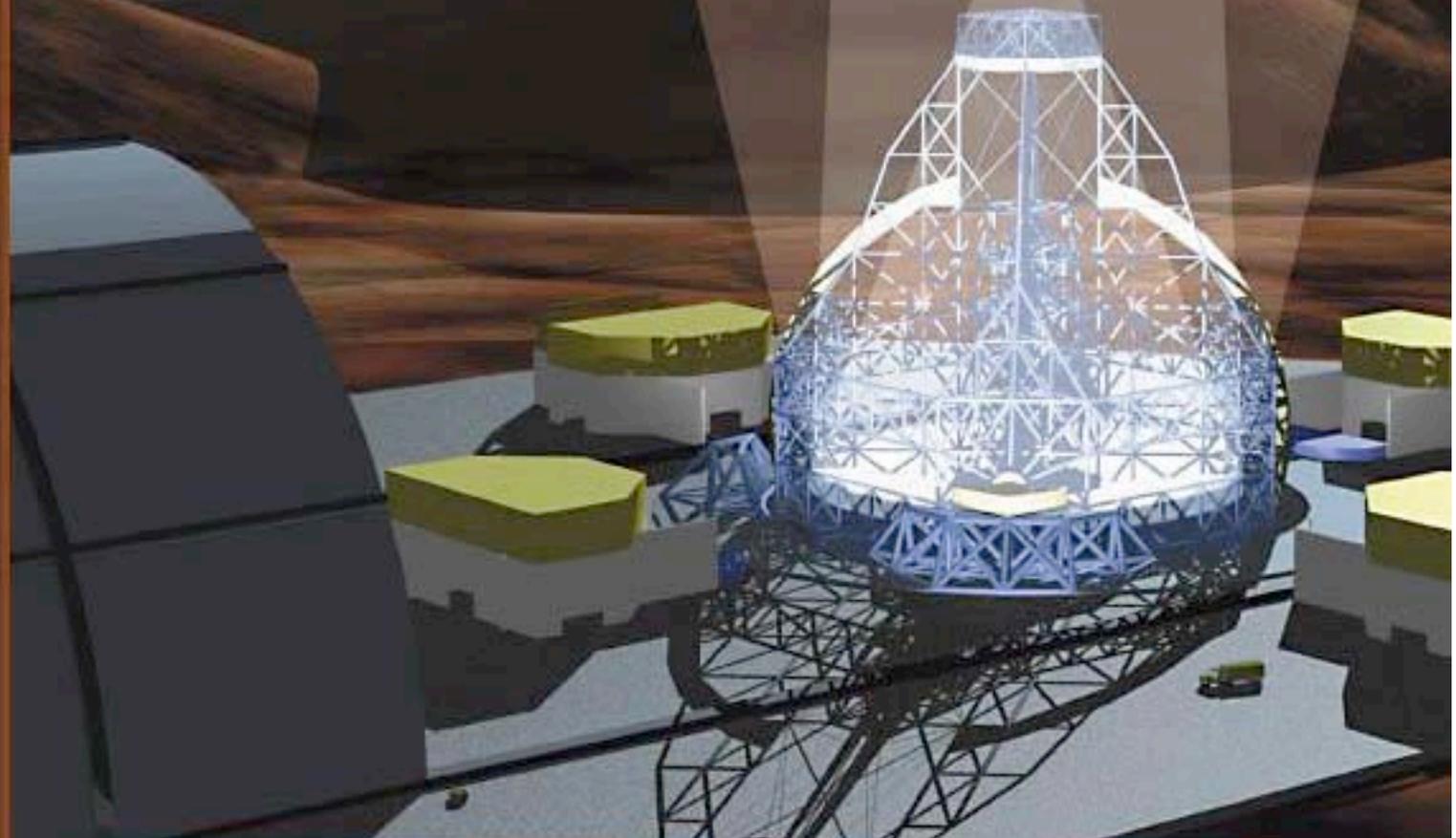


Solution 1: ATs combinés par triplets hiérarchisés



- Combineurs mobiles remplacent les lignes à retard
- Exemple: 1 seule ligne à retard pour raccorder 27 AT aux UT (soit 4 lignes au total)

Un télescope de 100m ? Projet européen OWL



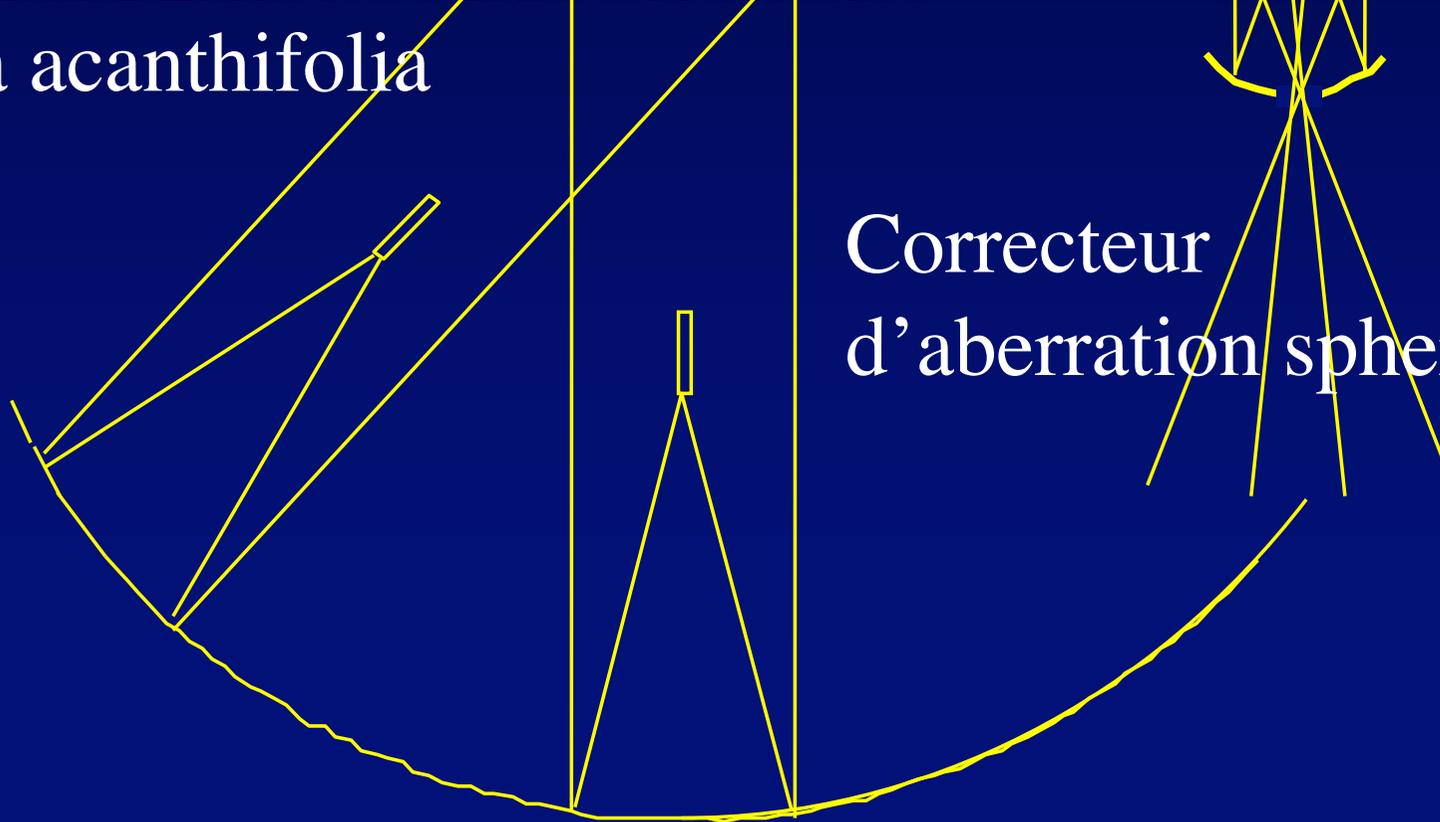
Faisabilité d'une version « éclatée » de OWL

- Hypertélescope à ouverture diluée de 1 kilomètre



CARLINA, a
ground-based
hypertelescope

Carlina acanthifolia



Correcteur
d'aberration sphérique

Radio-télescope d'Aréçibo (Porto Rico)



Arécibo ne convient pas

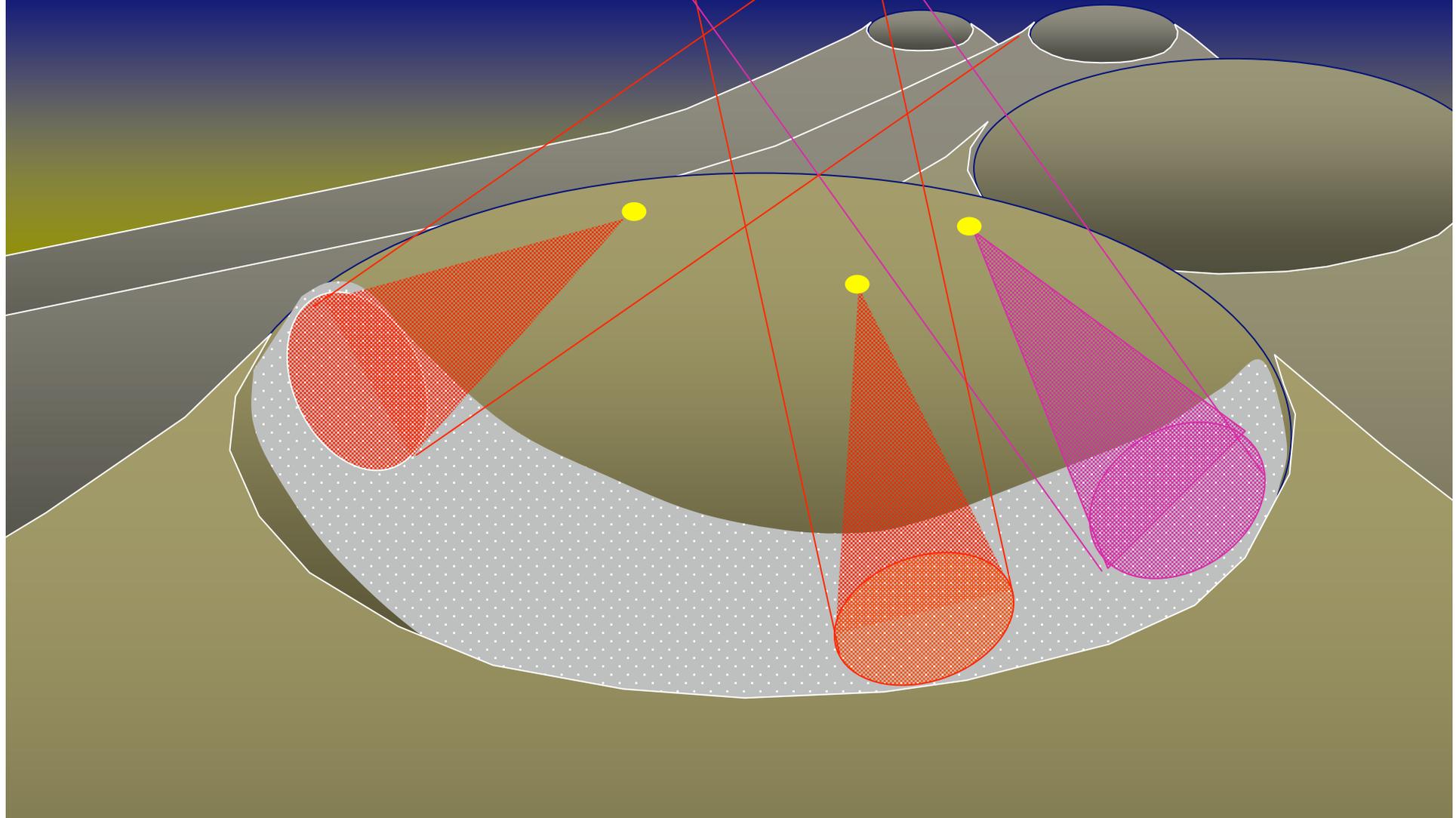
- nuage dans la cuvette, émissions radar, flexions
- disponibilité: quelques nuits par an ?
-



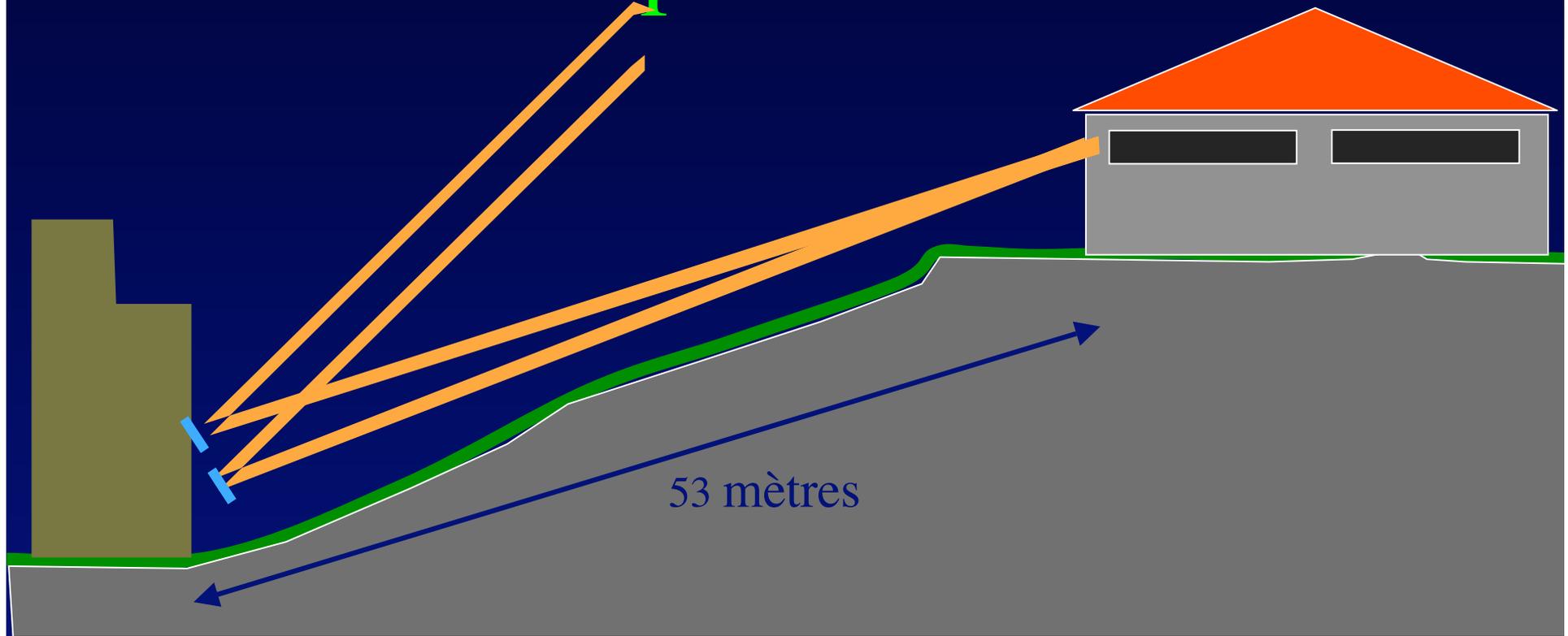
One-kilometer hypertelescope

10,000 mirrors of 1m, 5 km array

Imaging to mag. 38, cosmology

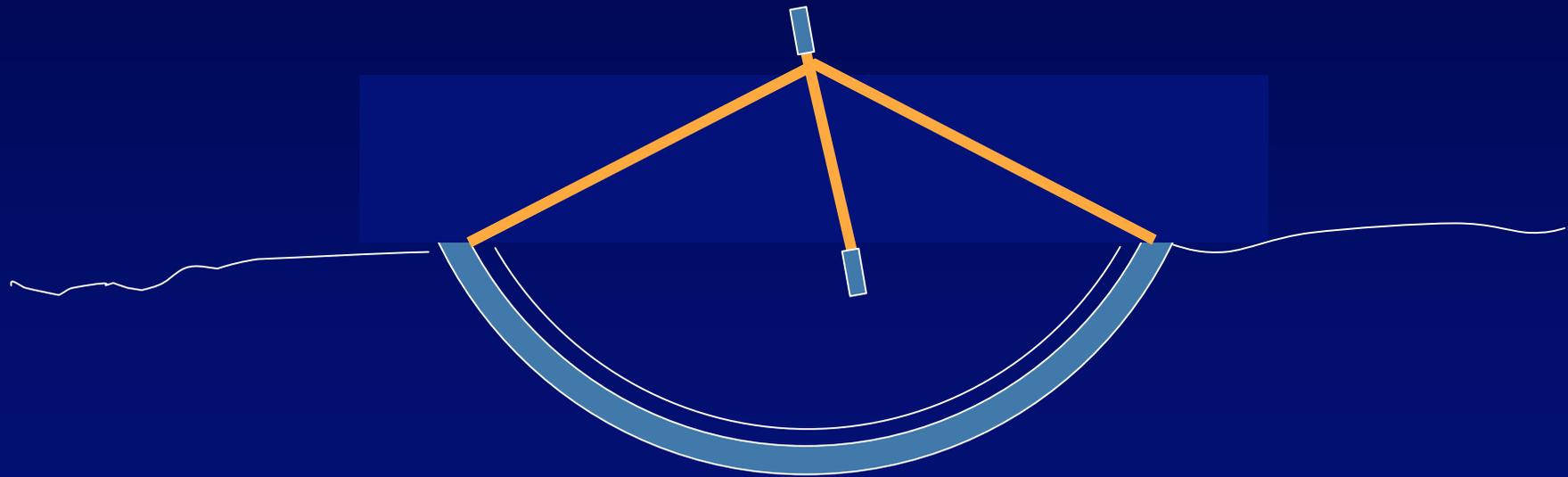


Montage hypertelescope sur l'étoile polaire



- essai entamé à l'OHP

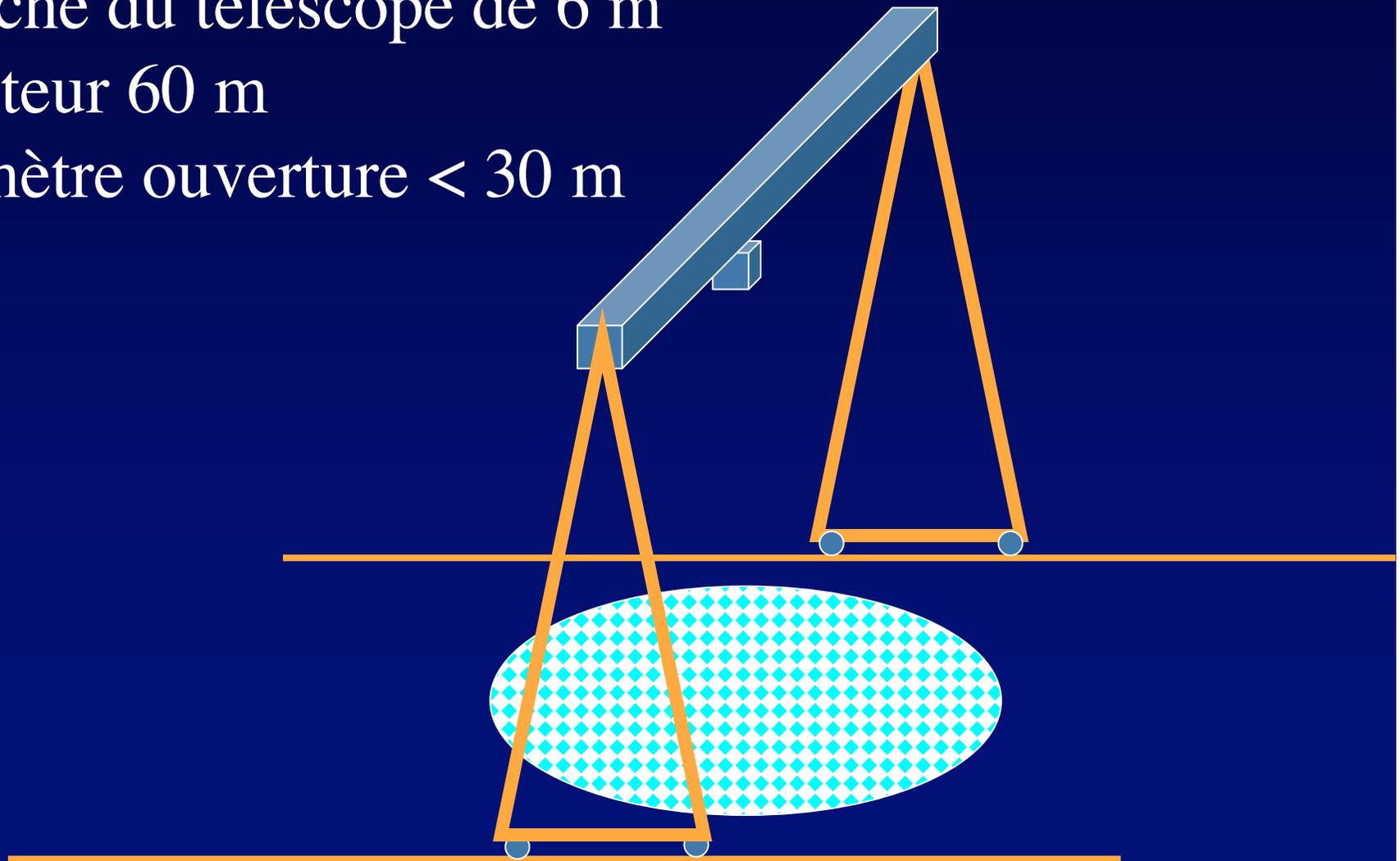
Radio-télescope en Arménie ?



- diamètre 50 m
- nécessite remise en état

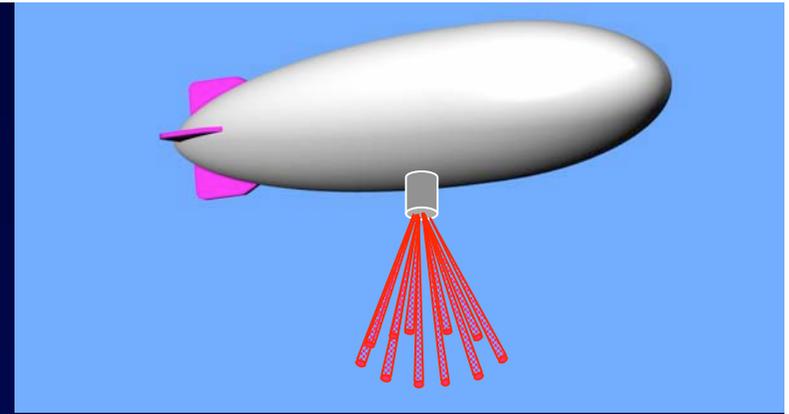
Pont roulant à Zelenchuk ?

- proche du télescope de 6 m
- hauteur 60 m
- Diamètre ouverture < 30 m

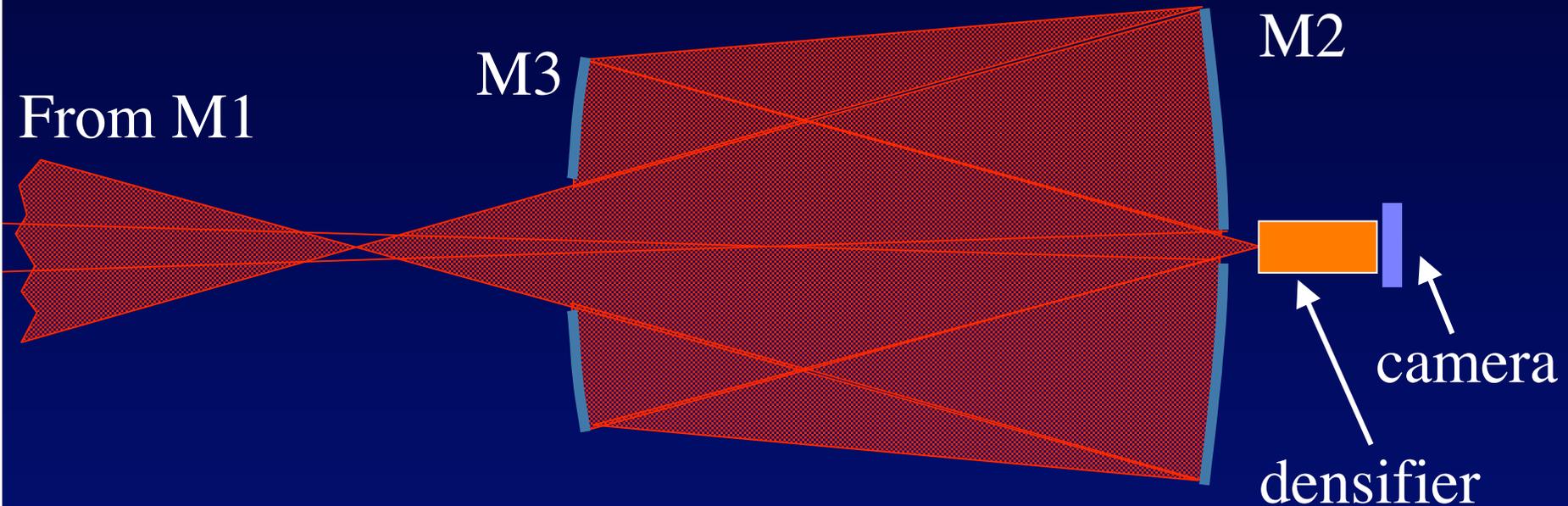


Le rêve : ballon stabilisé

- essai prochain d'un ballon en mode captif (H. Le Coroller)
- nombreux sites utilisables (cratères , mines...)

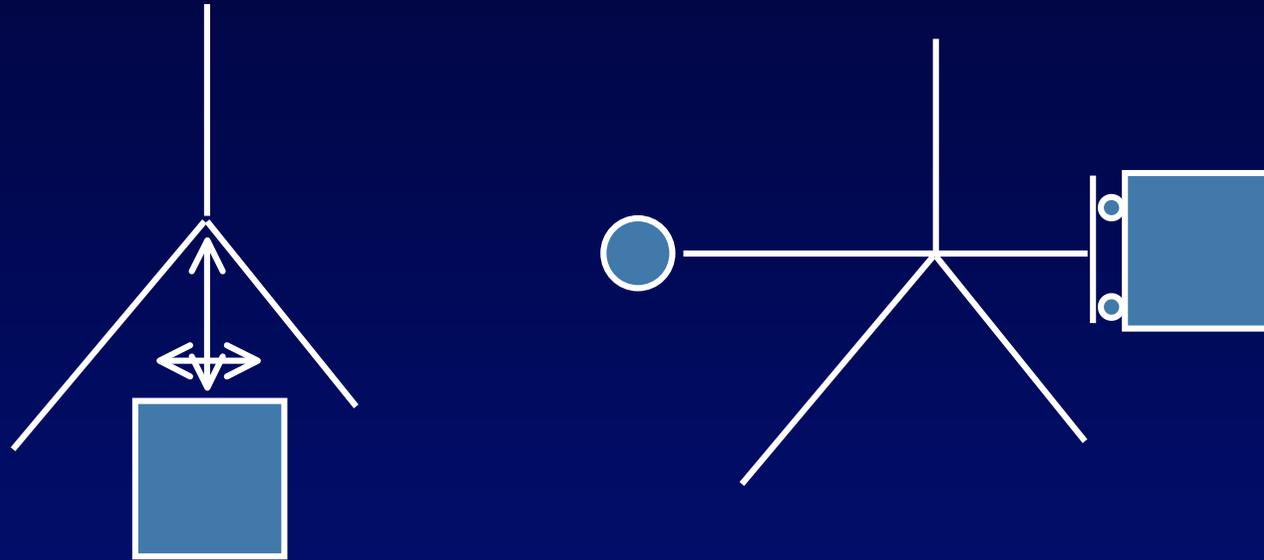


F/2 Mertz corrector : 1% of M1 diameter



- Corrects spherical aberration and coma of spherical primary mirror

Un essai crucial: ballon focal stabilisé



- ballon de H. Le Coroller
 - essais en mode captif
 - puis: essais en mode libre, motorisé
 - filtrage mécanique & stabilisation active
- nacelle asservie , mesure de position par laser

Optical Very Large Array

(proposed in 1990)



Combineur mobile



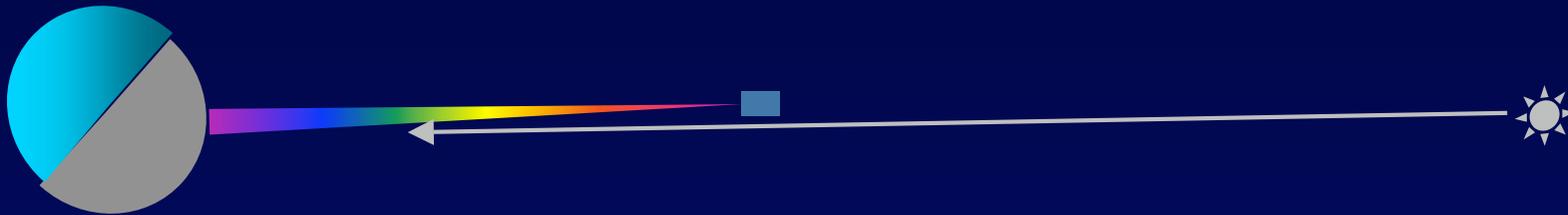
- La rotation de champ est évitée si le faisceau intermédiaire pointe vers l'étoile

Mettre en phase....

- c'est crucial !
- c'est difficile ! Mais c'est payant !
- Plus facile dans l'espace lorsque l'on saura piloter les miroirs

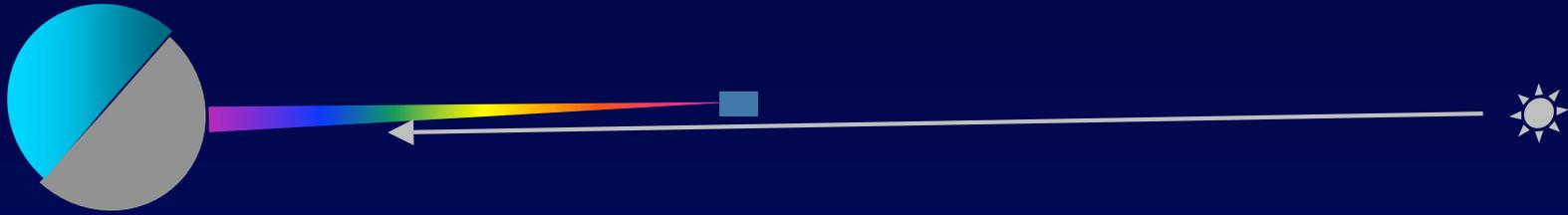
“speckles” enregistrés au Mont Palomar

Etoile de référence dans l'espace avec voile solaire



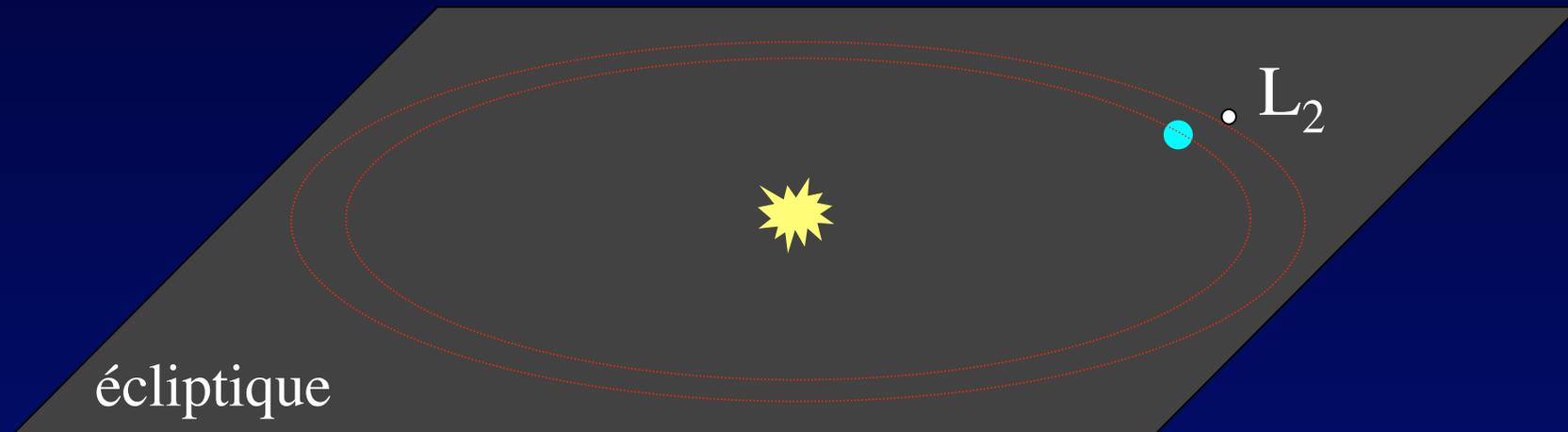
- source laser mobile à volonté
- Exemple: déplacement apparent 41° en 100 heures si $10 \text{ grammes} / \text{m}^2$ à $60\,000 \text{ km}$
- Petites voiles avec diode laser multi-lambda, pointable

Etoiles laser dans l'espace



- vieille idée , mais une masse fixe par rapport aux étoiles tombe sur Terre!
- orbite excentrique proposée par A.Greenaway (concept FEROS, ca. 1990) : pas assez controlable
- maintenant: solutions stationnaires avec voiles solaires, pilotables ?
- Mieux que les fusées ioniques ?

Satellites porteurs d'étoiles artificielles

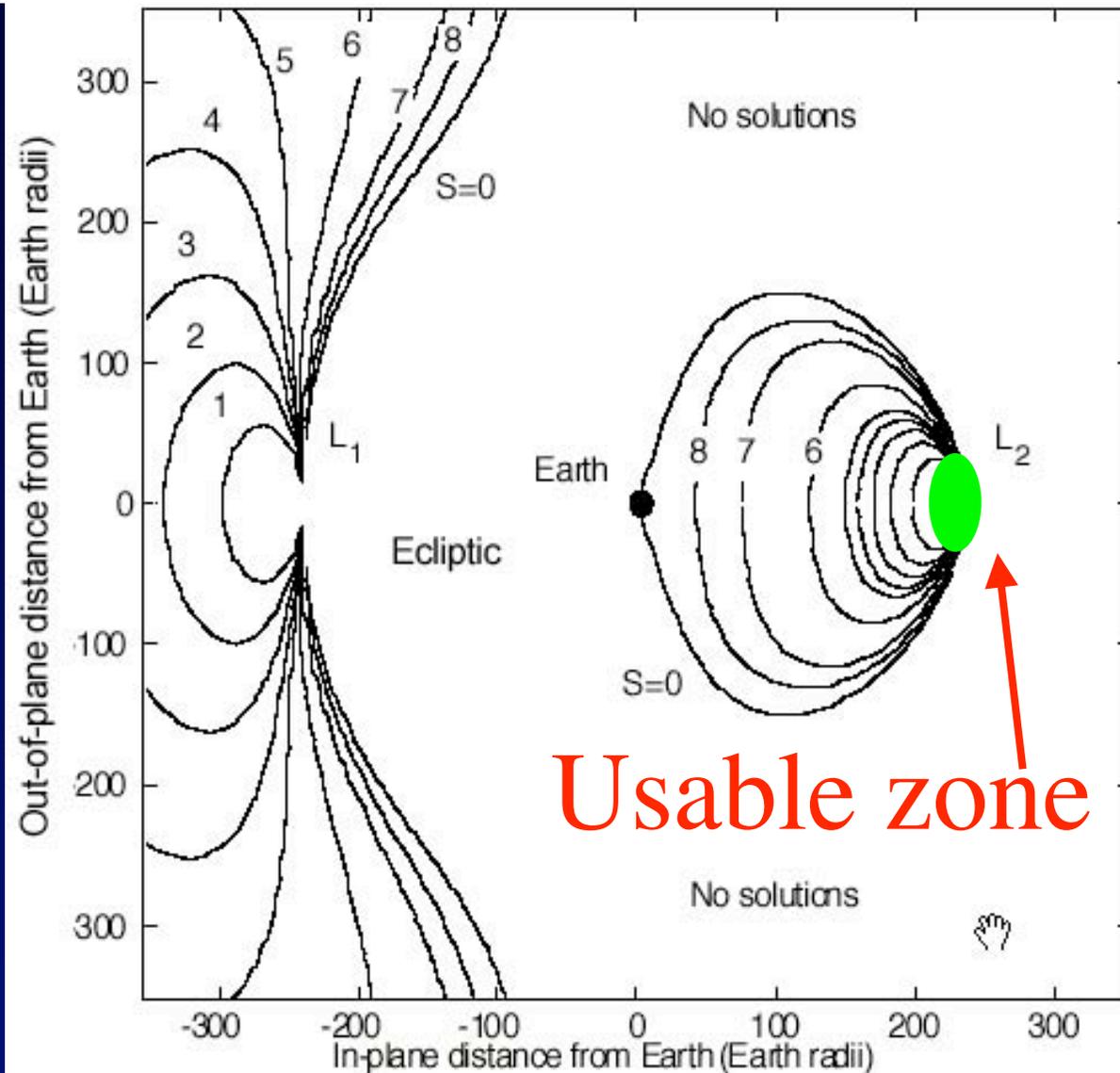


- utilisables jusqu'à quelques degrés de l'écliptique (6% du ciel)
- pilotage par petites voiles solaires
- latitude terrestre optimale : 50°

Artificial Lagrange points

(McInnes,
ESA report,
Nov. 2000)

•



Equilibrium points

Figure 5.13 Artificial equilibria for a solar sail reflectivity of 0.9. $S=0$ delineates the region of existence of equilibrium solutions

L 'idée de Charles Townes

(Ap.J., 565, 1376-1380, 2002, Feb. 1)

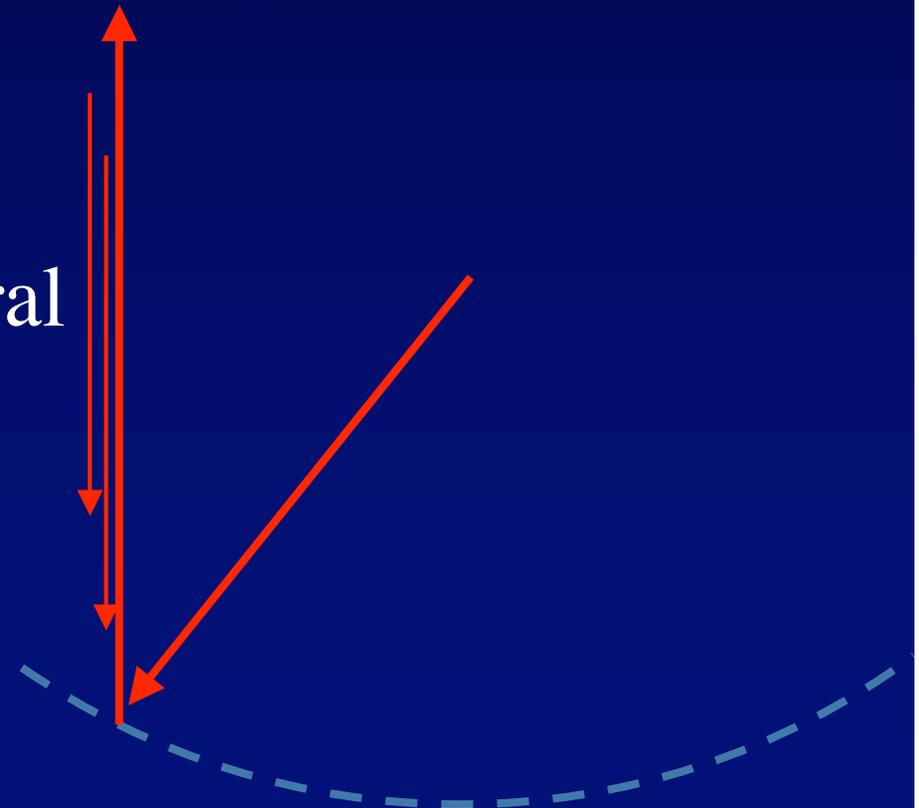
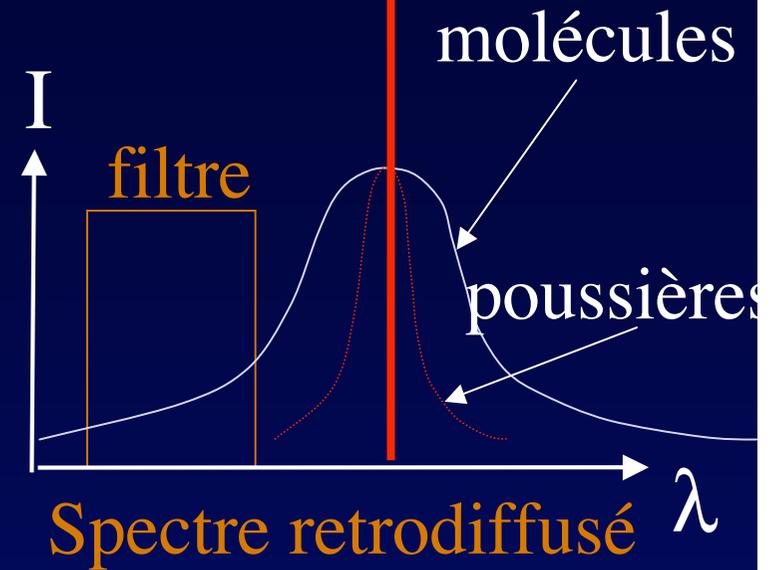
- cartographier l 'indice de refraction le long des faisceaux
- LIDAR: localement $(n-1)$ est proportionnel à la rétrodiffusion Rayleigh ou Raman
- effet des poussières éliminé par filtrage
- altitudes repérées par impulsions
- laser Xe Cl a 305 nm , puissance moyenne 50 W

Atmosphère: une idée de Charles Townes (Ap.J., 2002)

- Lidar: impulsions laser \Rightarrow
densité locale de l'air \Rightarrow
 $n(x,y,z)$

- Composante poussières:
éliminée par filtrage spectral

- Applicable aux
interféromètres ?



Conclusions

- Que manque-t-il pour des hypertélescopes au sol ?
 - ... un ballon stabilisé
 - ... ou des éléments OVLA
 - ...de l'optique adaptative infra-rouge, visible, et pour objets faibles
- ...toutes choses qui semblent accessibles