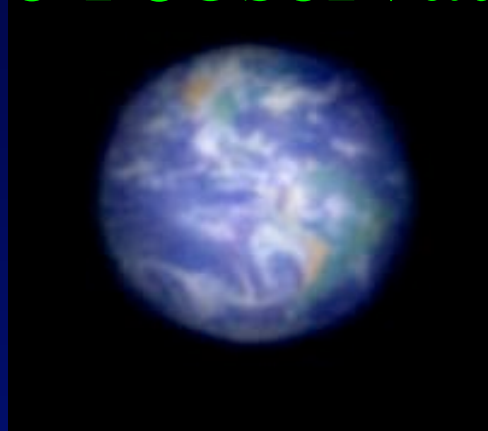


Collège de France

Chaire d'Astrophysique Observationnelle

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



- Cours à Paris les mardis à partir du 14 Janvier (sauf les 11, 18, 25 Février)
- 3 cours & séminaires à Nice en Avril-Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers des projections y seront affichés

Calendrier

affiché sur: www.college-de-france.fr/chaires/chaire11/lise.html

- 14 Janvier **Construction d'un hypertélescope au sol (suite)**
 - Séminaire: **P. Nisenson** "Detecting Extra-Solar Planets with SIM and TPF"
- 21 Janvier **Construction d'un hypertélescope au sol (suite)**
 - Séminaire: **V. Coudé du Foresto:** "Premiers resultats du VLTI et perspectives"
- 28 Janvier **Version "explosée" et version mixte du miroir ESO de 100 mètres**
 - Séminaire: **S. Ridgway:** "Coronagraphie et Exo-planetes"
- 4 Fevrier **Un coronographe actif à plusieurs-étages pour la recherche d'exo-Terres**
 - Séminaire: **D. Mochkovitch:** "Sursauts gamma : les plus violentes explosions de l'univers."
- **11, 18, 25 Février les cours et séminaires n'auront pas lieu**
- 4 Mars **Essai d'interféromètre en orbite géostationnaire (suite)**
 - Séminaire : sera précisé ultérieurement
- 11 Mars **Lentilles gravitationnelles diffractives: faisabilité d'un survey**
 - Séminaire : sera précisé ultérieurement
- 3 cours et séminaires sont aussi prévus a Nice en Avril - Mai , et seront annoncés ultérieurement

Plan du cours

- 14 & 21 Janvier **Construction d'un hypertélescope au sol (suite)**
- 28 Janvier **Version “explosée” et version mixte du miroir ESO de 100 mètres**
- 4 Février **Un coronographe actif à plusieurs-étages pour la recherche d'exo-Terres**
- 4 Mars **Essai d'interféromètre en orbite géostationnaire (suite)**
- 11 Mars **Lentilles gravitationnelles diffractives: faisabilité d'un survey**

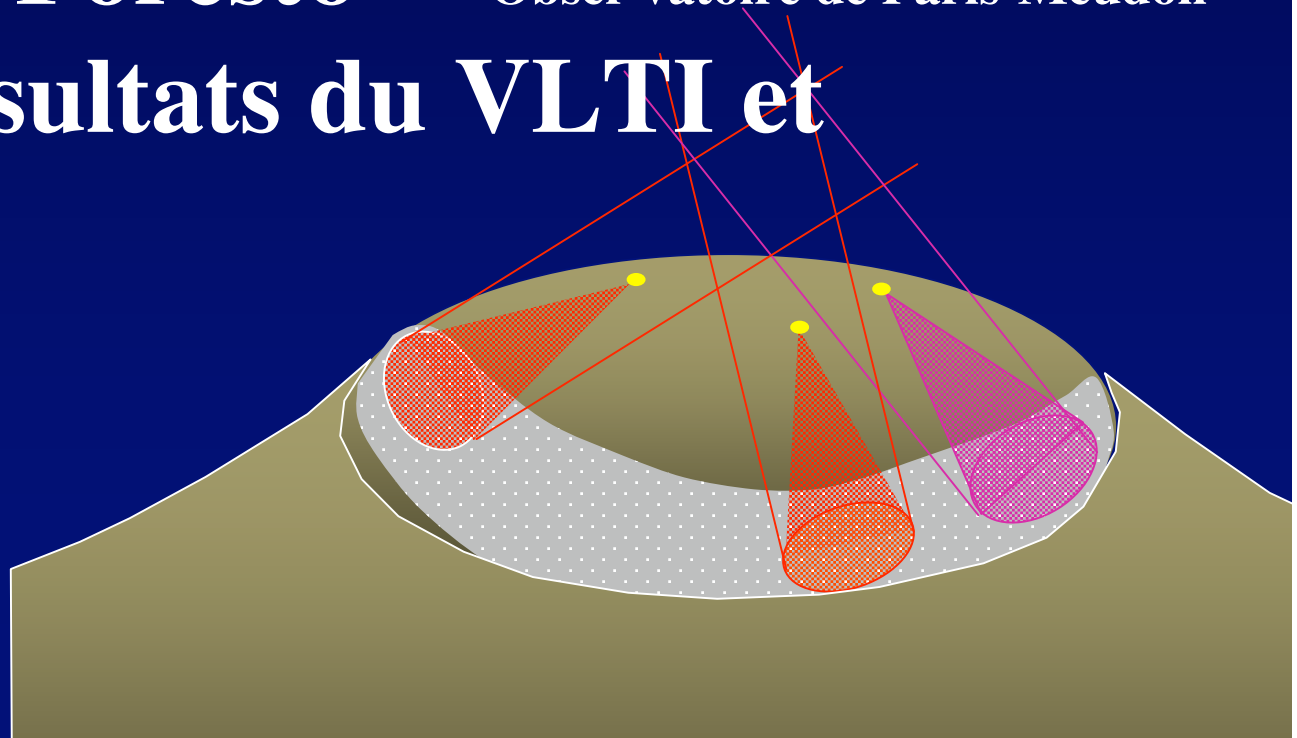
Aujourd'hui: **Construction d'un
hypertélescope au sol (suite)**

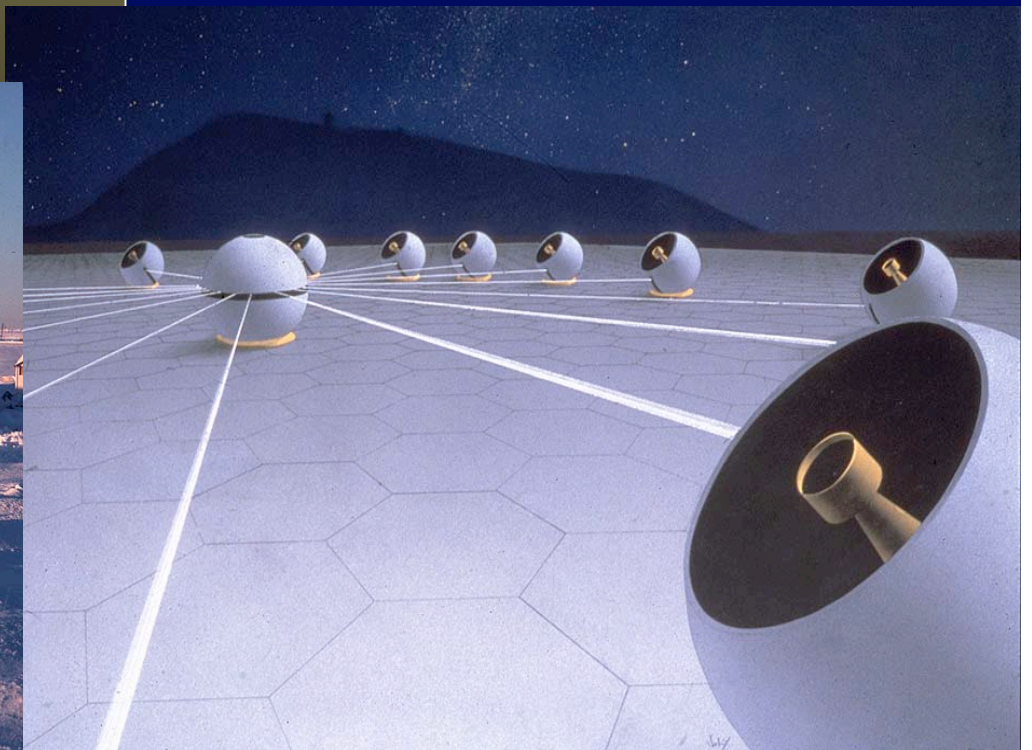
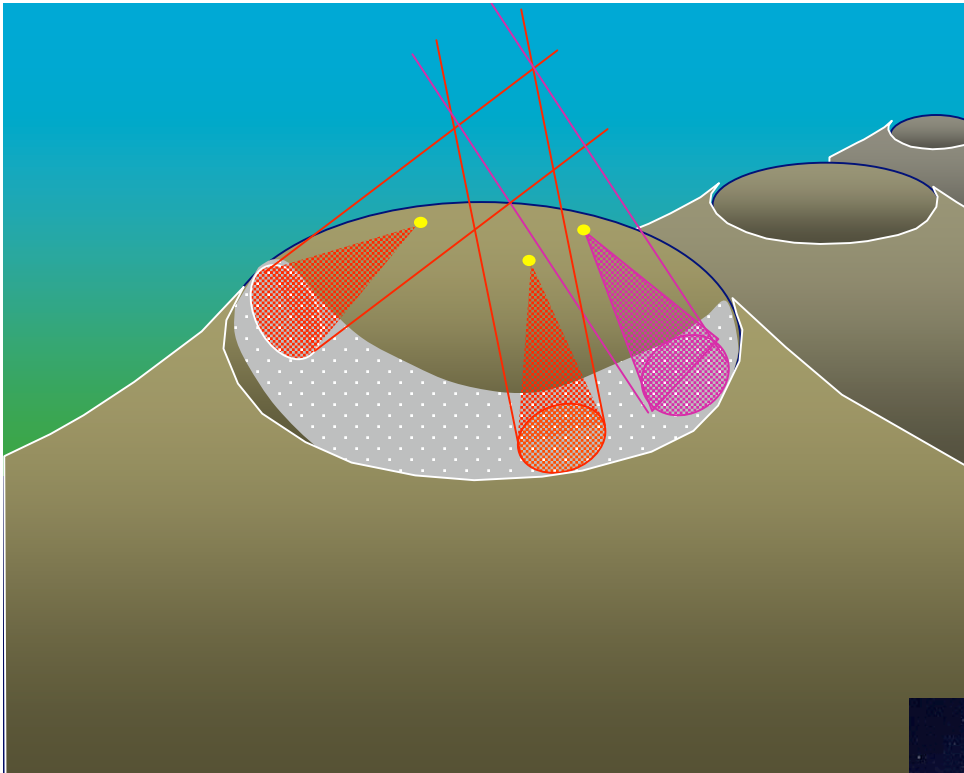
Séminaire à 15h15:

V. Coudé du Foresto

Observatoire de Paris-Meudon

**"Premiers résultats du VLTI et
perspectives"**





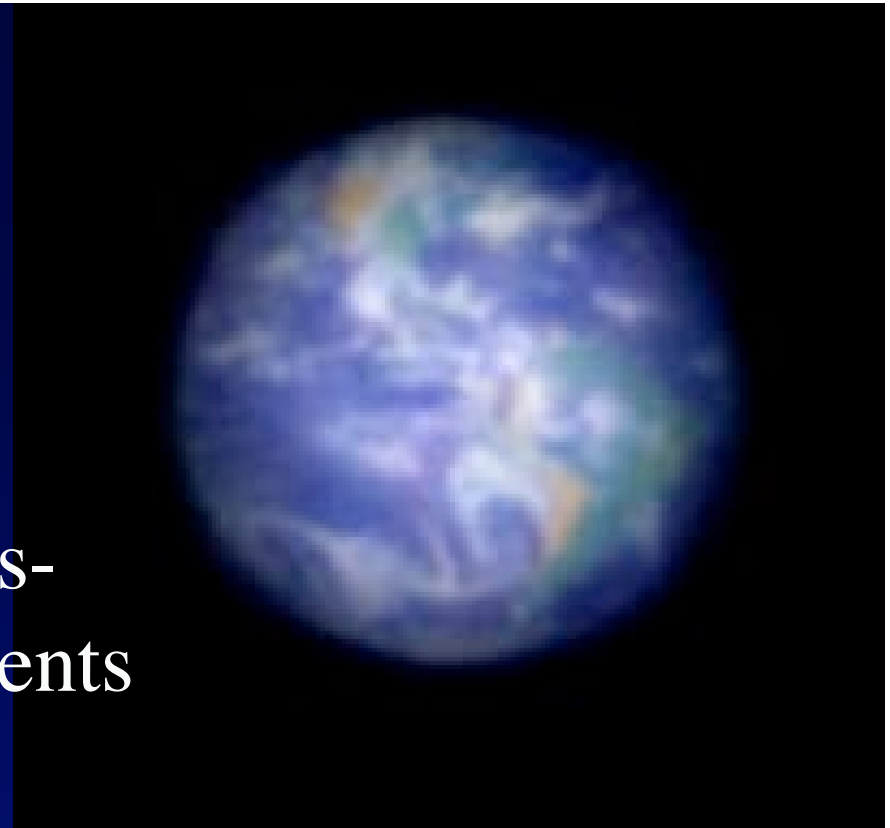
Version hypertélescope proposée pour TPF (étude NASA)

vue d'artiste par Boeing /SVS



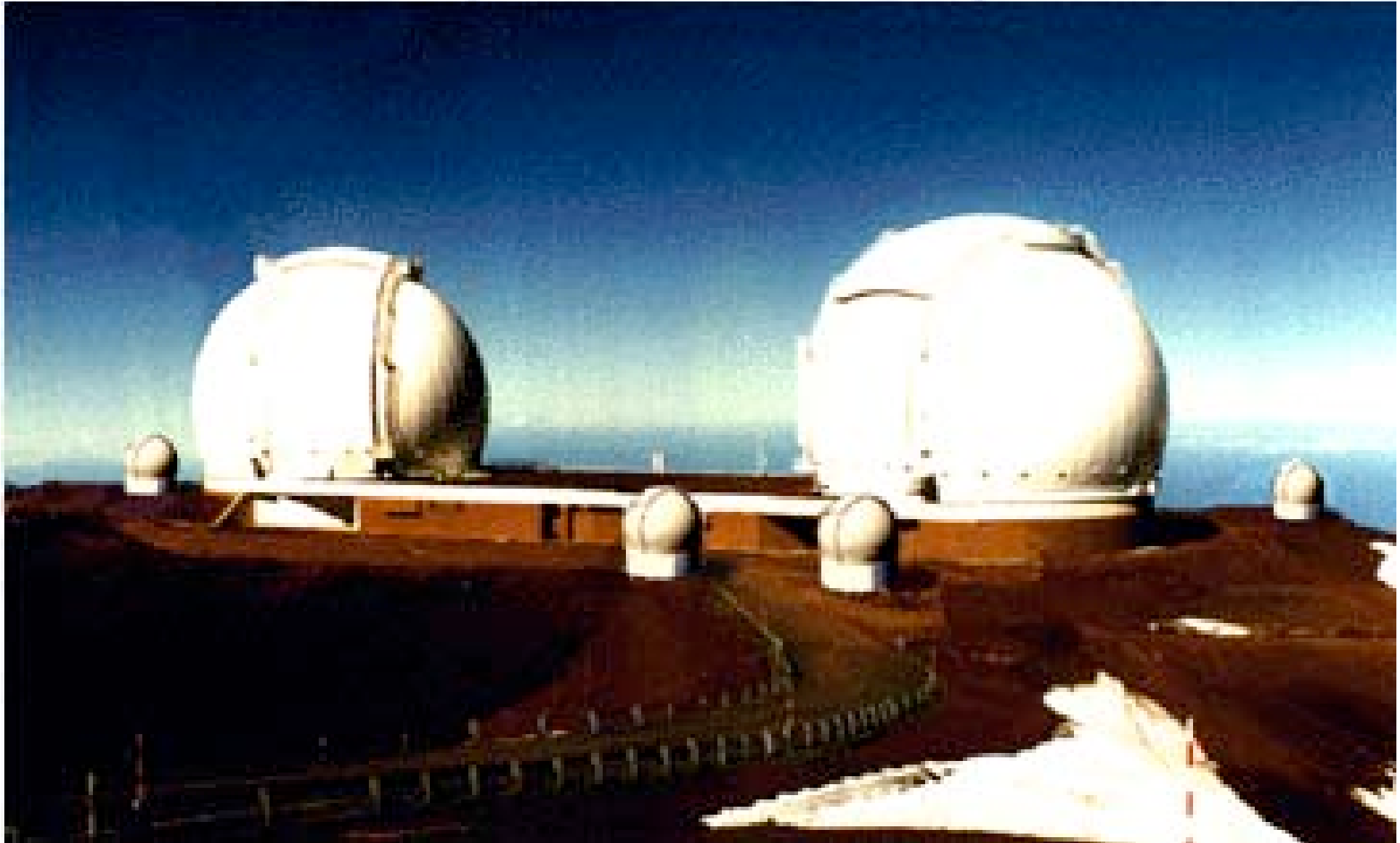
Voir la vie sur des images résolues

- Exemple : Terre à 10 années-lumière, vue avec 150 éléments de 4m, diamètre 150 km
- Poses 30 mn
- La verdure réfléchit l'infrarouge proche
- Coronographe pour chaque ouverture



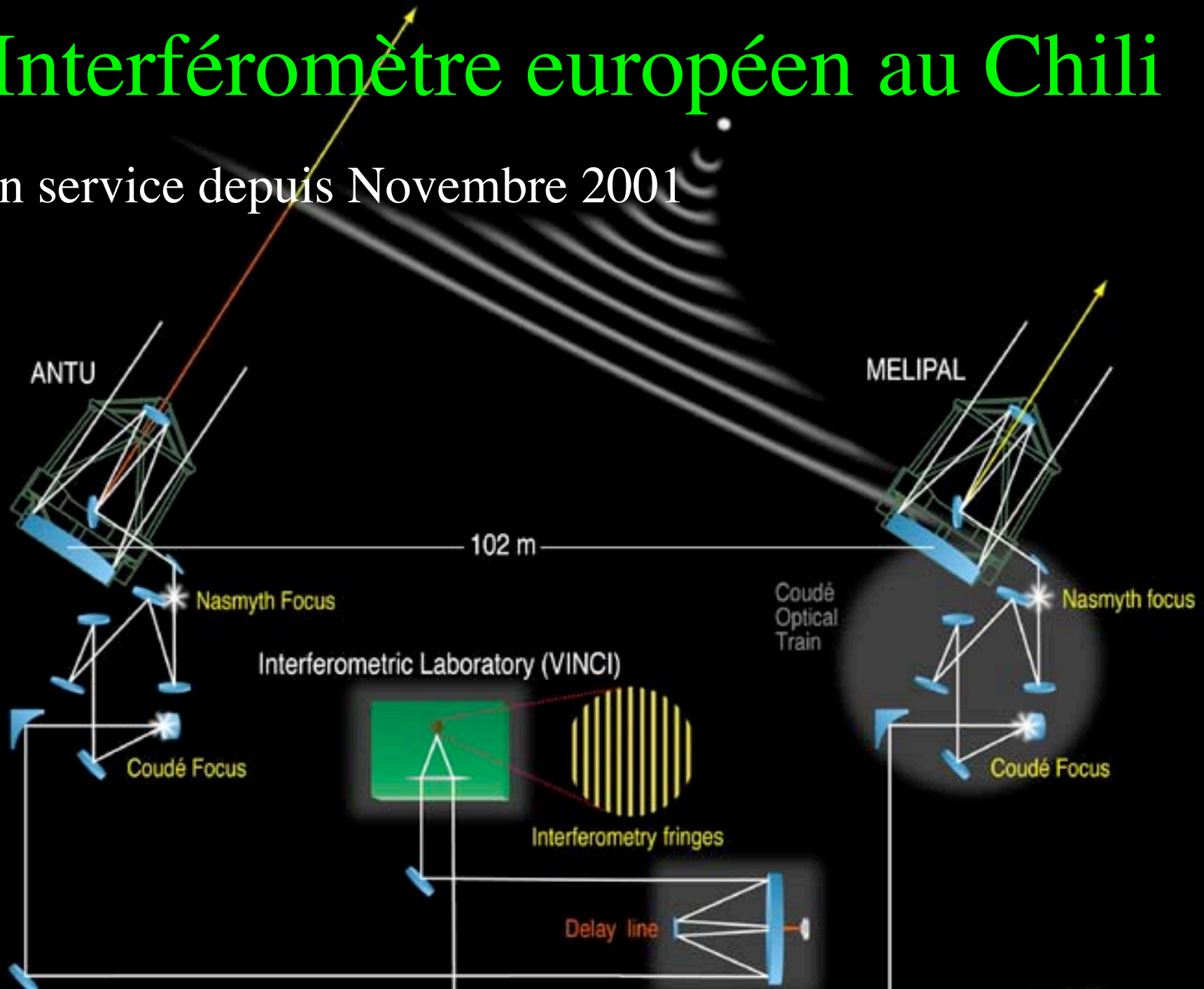
```
from eppor on a e res por am a es  
st double zoom=5, contraction=10,  
st unsigned int Nt=50, rolMax=3;
```

Interférométrie à Hawaïï : deux télescopes Keck de 10m



Interféromètre européen au Chili

- En service depuis Novembre 2001



l'interféromètre européen VLTI au Chili



ESO: Over Whelmingly Large telescope (OWL)

- Diamètre 100 m, surface 7 000 m²
- Magnitude 35 à 38, avec optique adaptative
- Étude en cours

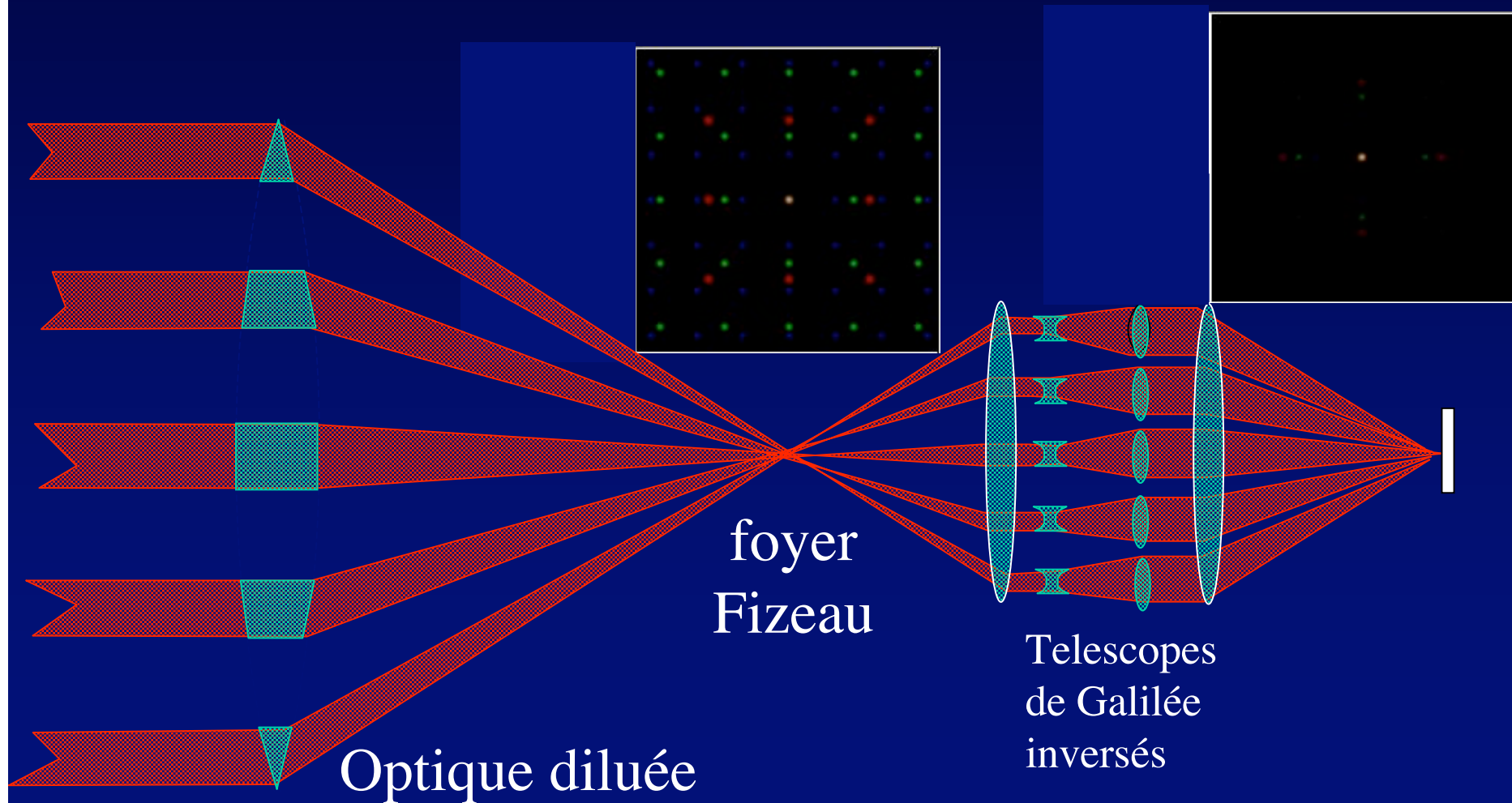


Une nouvelle famille d'interféromètres: les hypertélescopes

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

Principe de l'hypertélescope

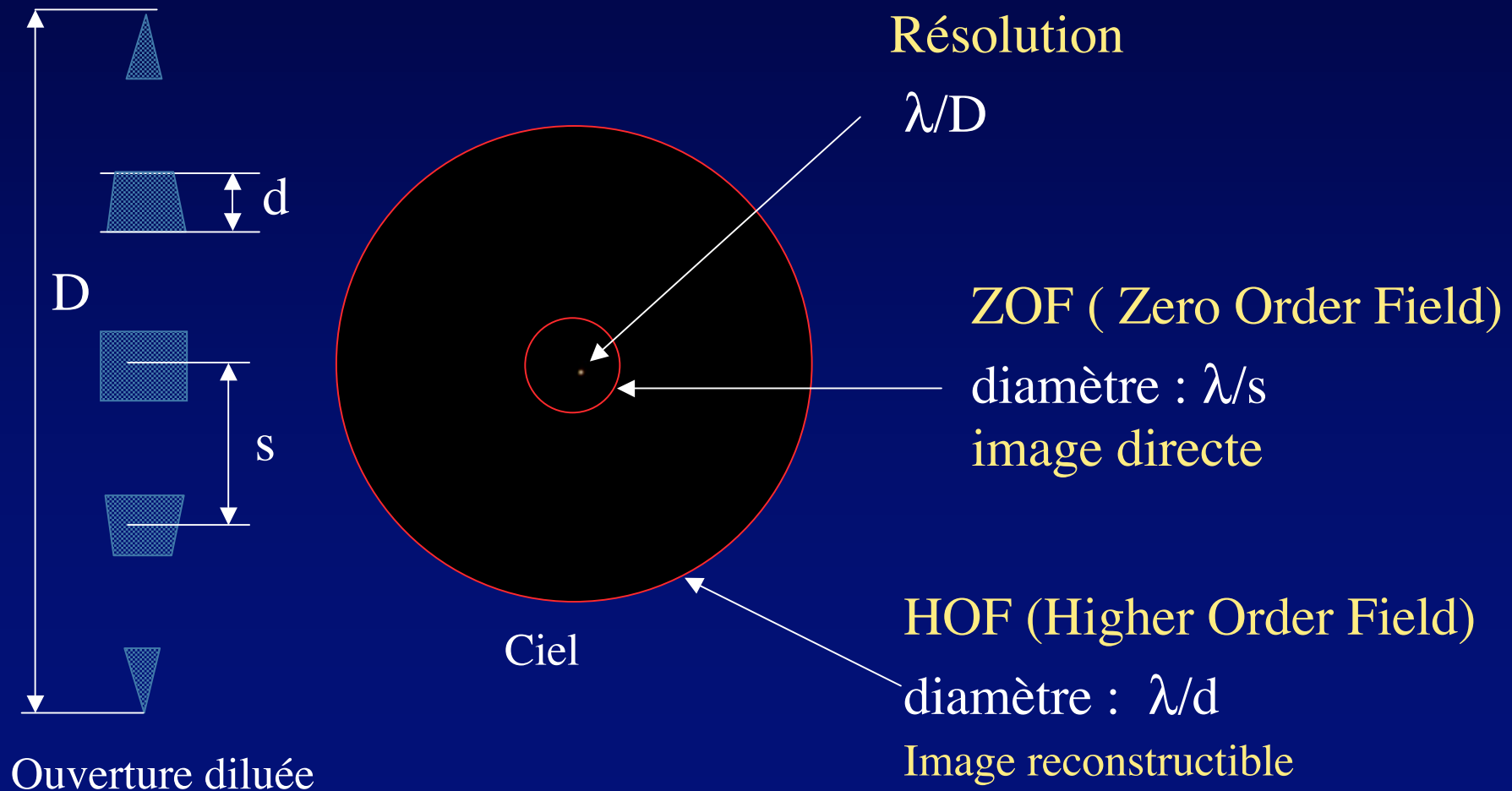
ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »
(Labeyrie A&A, 1996)



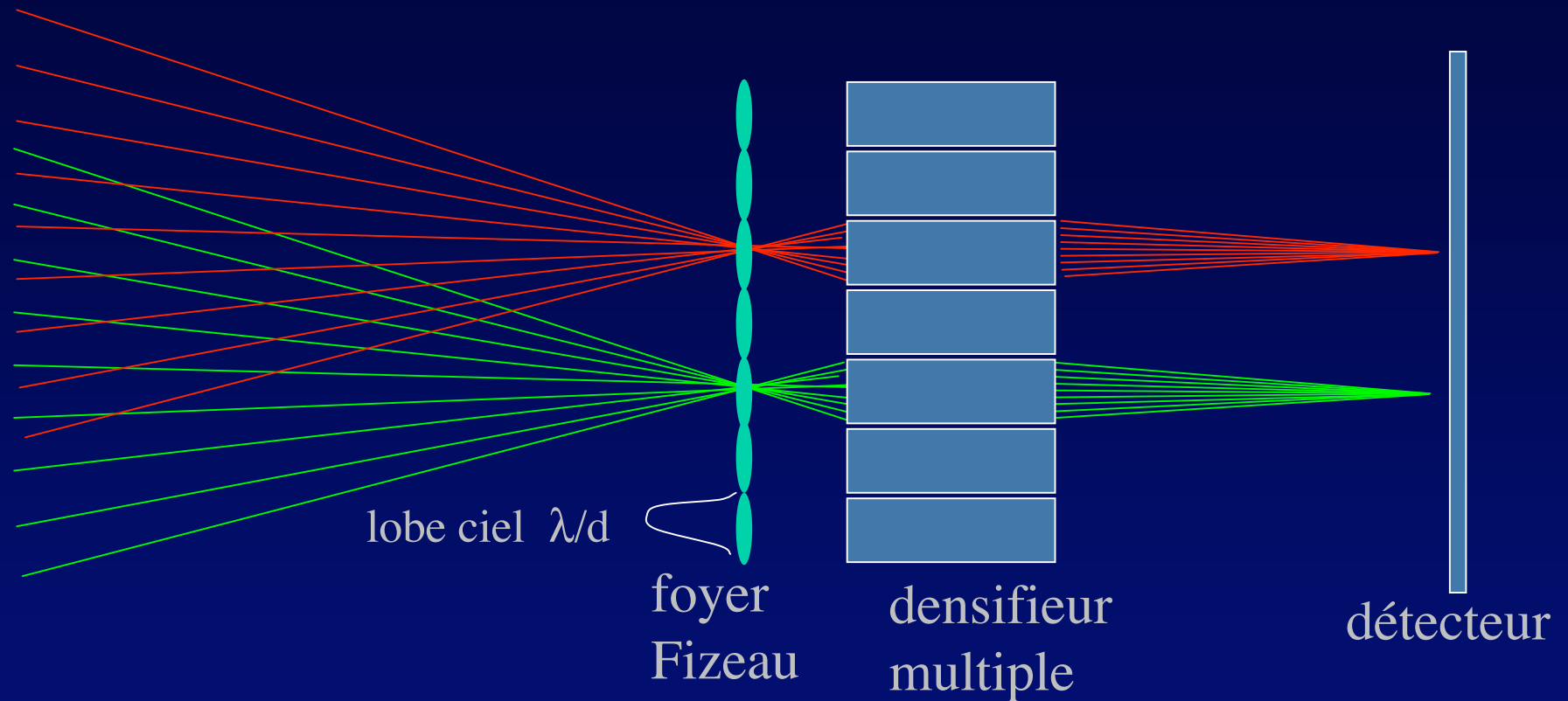
Propriétés des hypertélescopes

- Image intensifiée, par rapport à l'imagerie Fizeau
- Imagerie directe de N à N^2 resels actifs avec N ouvertures, selon la redondance
- Champ limité et limitation d'encombrement: « resels actifs »
- Plusieurs champs avec autant de densifieurs exploitant des HOFs adjacents
- Les limitations disparaissent quand le nombre d'ouvertures tend vers l'infini

Champ d'un hypertelescope périodique & complètement densifié:



Densifieur multiple pour étendre le champ



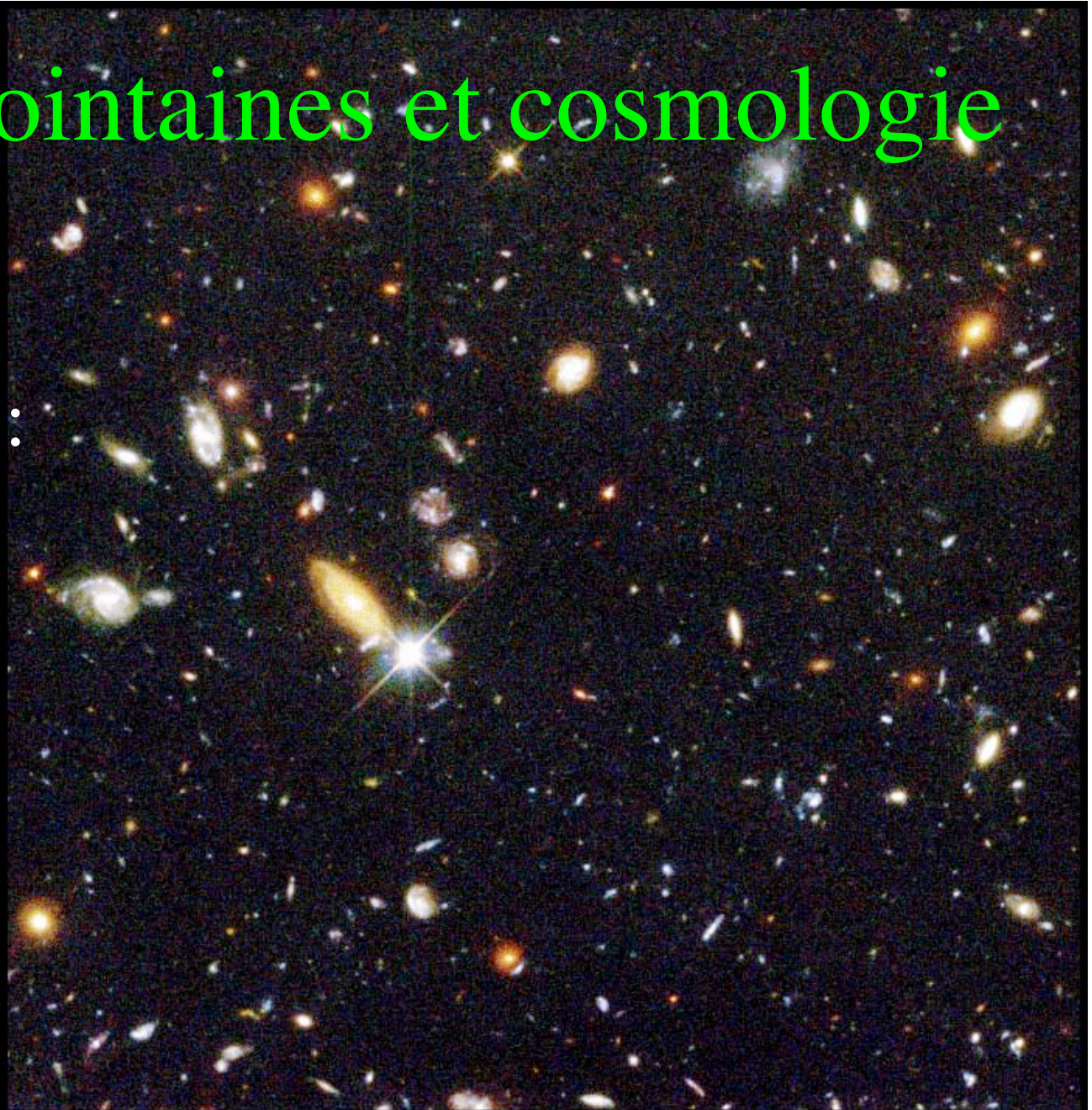
- Optique intégrée pour 1 000 x 1 000 densifieurs
- Poses décalées pour reconstruction mosaïque

Science avec des hypertélescopes au sol

- physique stellaire: images résolues d'étoiles
- Exo-planètes
- Physique extra-galactique et cosmologie

Galaxies lointaines et cosmologie

Imagerie
hypertélescope :
oui



Hubble Deep Field

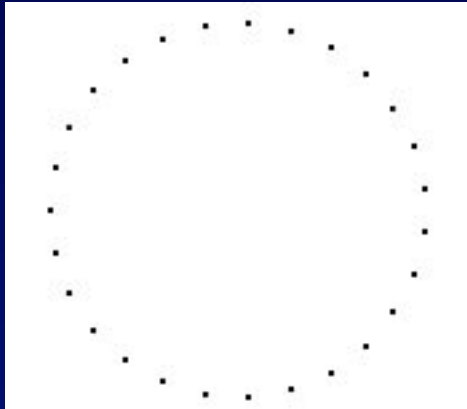
HST • WFPC2

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

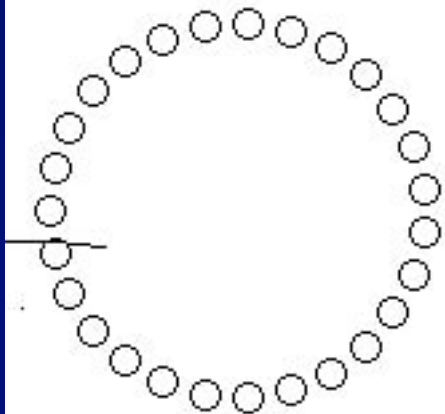
Encombrement des images

- Exemple: 27 ouvertures

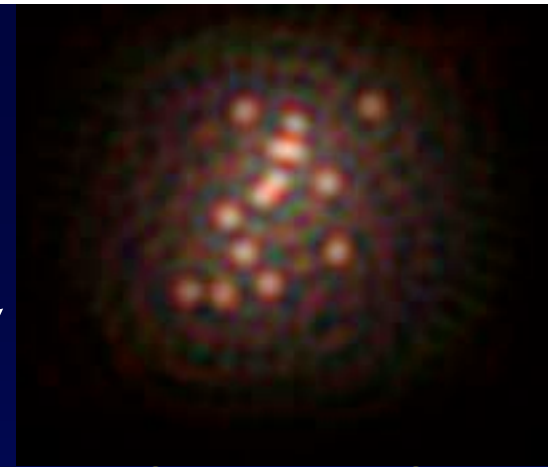
entrée



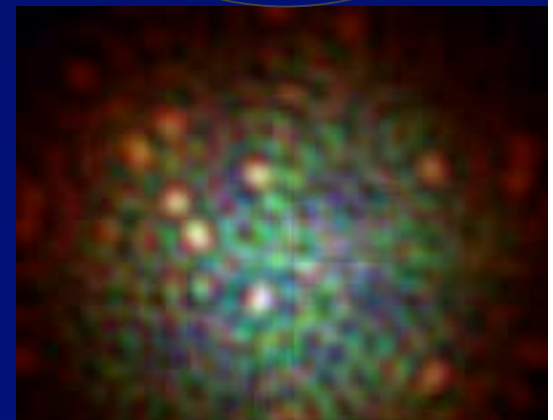
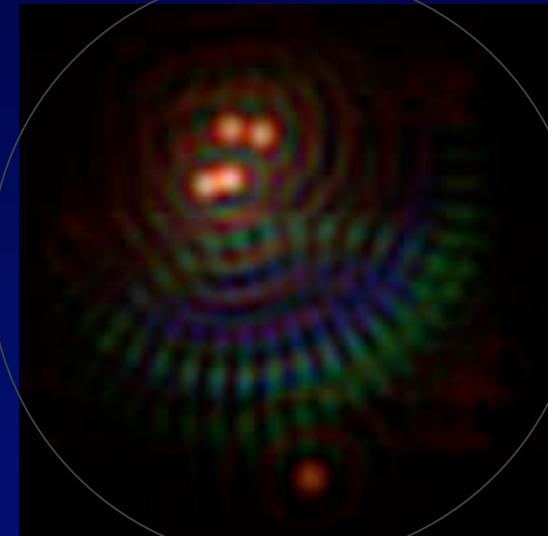
sortie



15 étoiles



60 étoiles



VIDA (Lardière et al. 2002):

imageur hypertélescope et coronographe au VLTI

- Accroissement prévisible de sensibilité
- Instrument réalisable à court terme en mode « speckle »

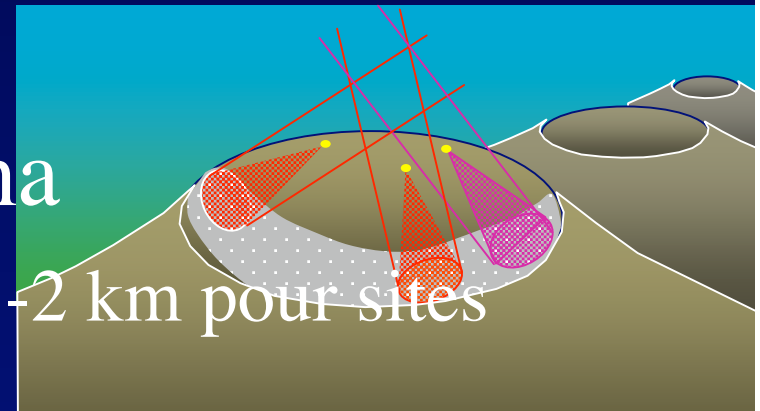


Hypertélescopes au sol

- deux voies possibles:
 - 1- site plat: OVLA

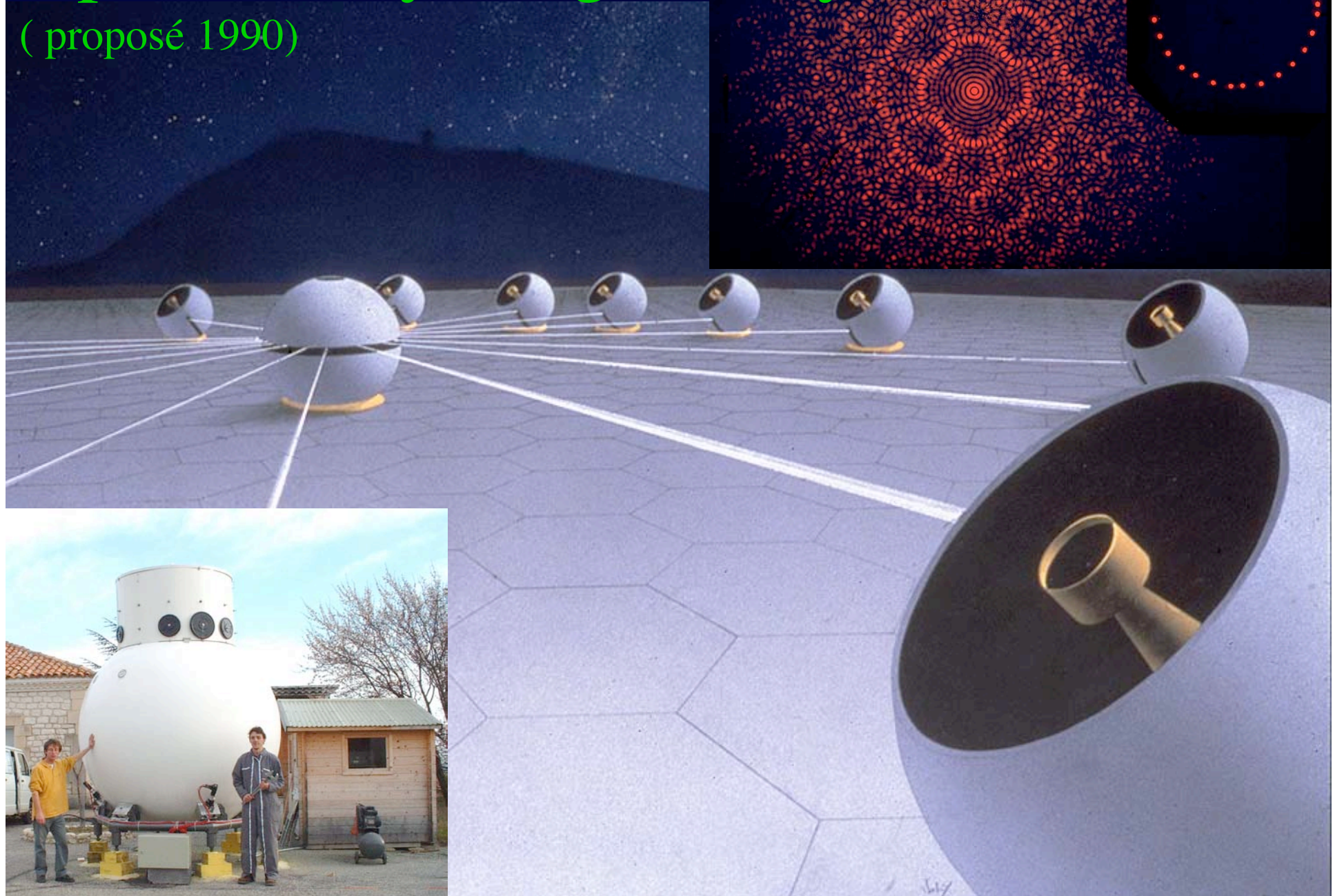


- 2- site concave: Carlina
 - limitation d'ouverture à 1-2 km pour sites concaves, mais:
 - optique simplifiée
 - multi-objets dans le champ primaire
 - nombreuses ouvertures utilisables



Optical Very Large Array

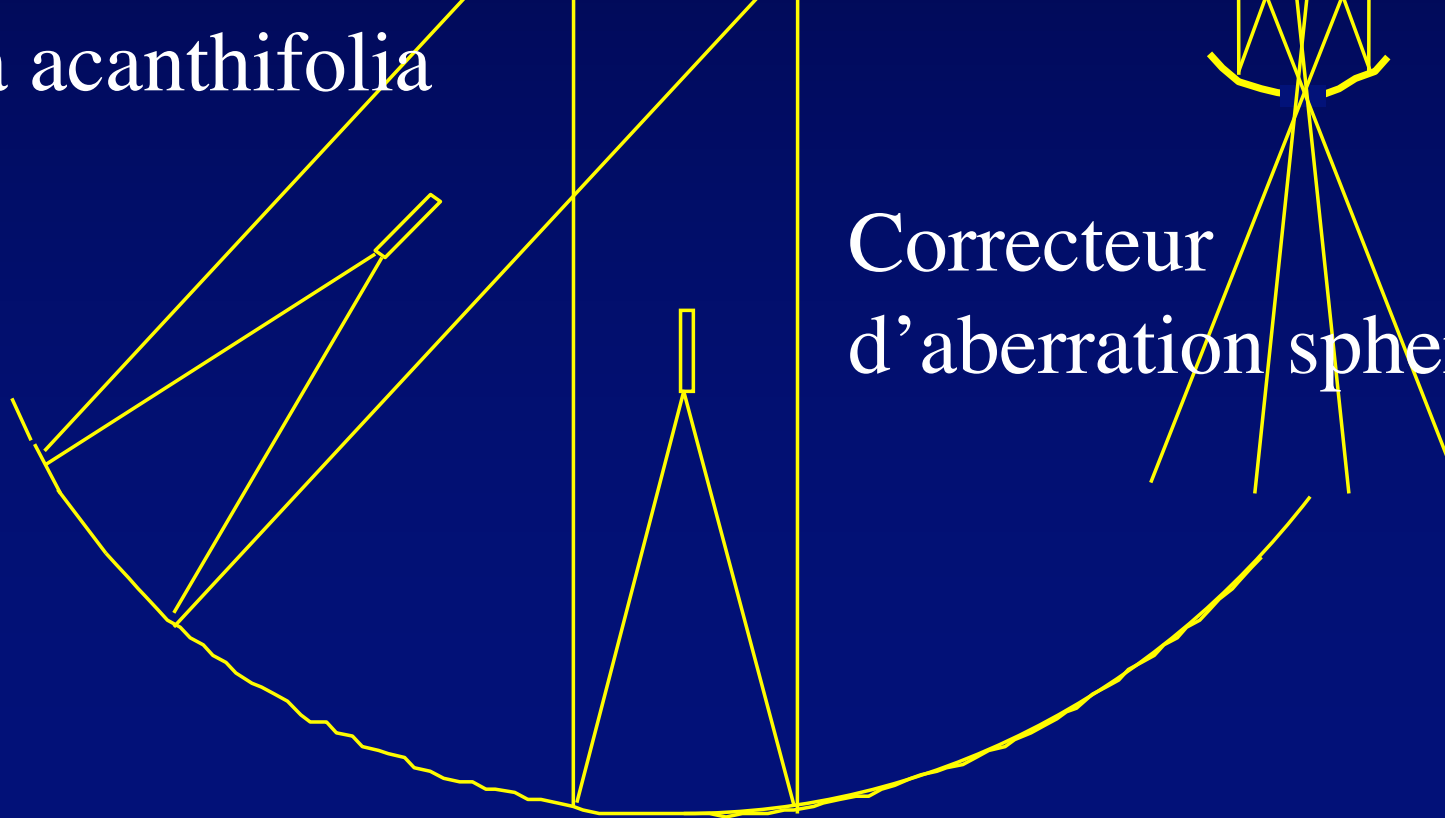
(proposé 1990)





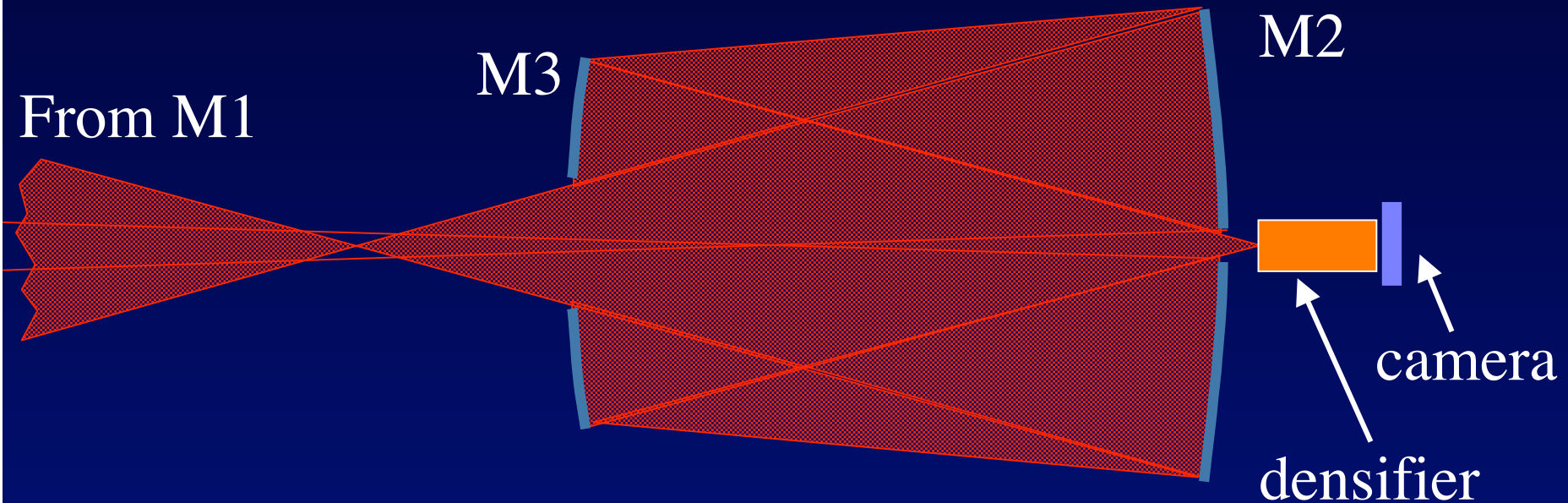
CARLINA
hypertélescope
au sol

Carlina acanthifolia



Correcteur
d'aberration sphérique

F/2 Mertz corrector : 1% of M1 diameter

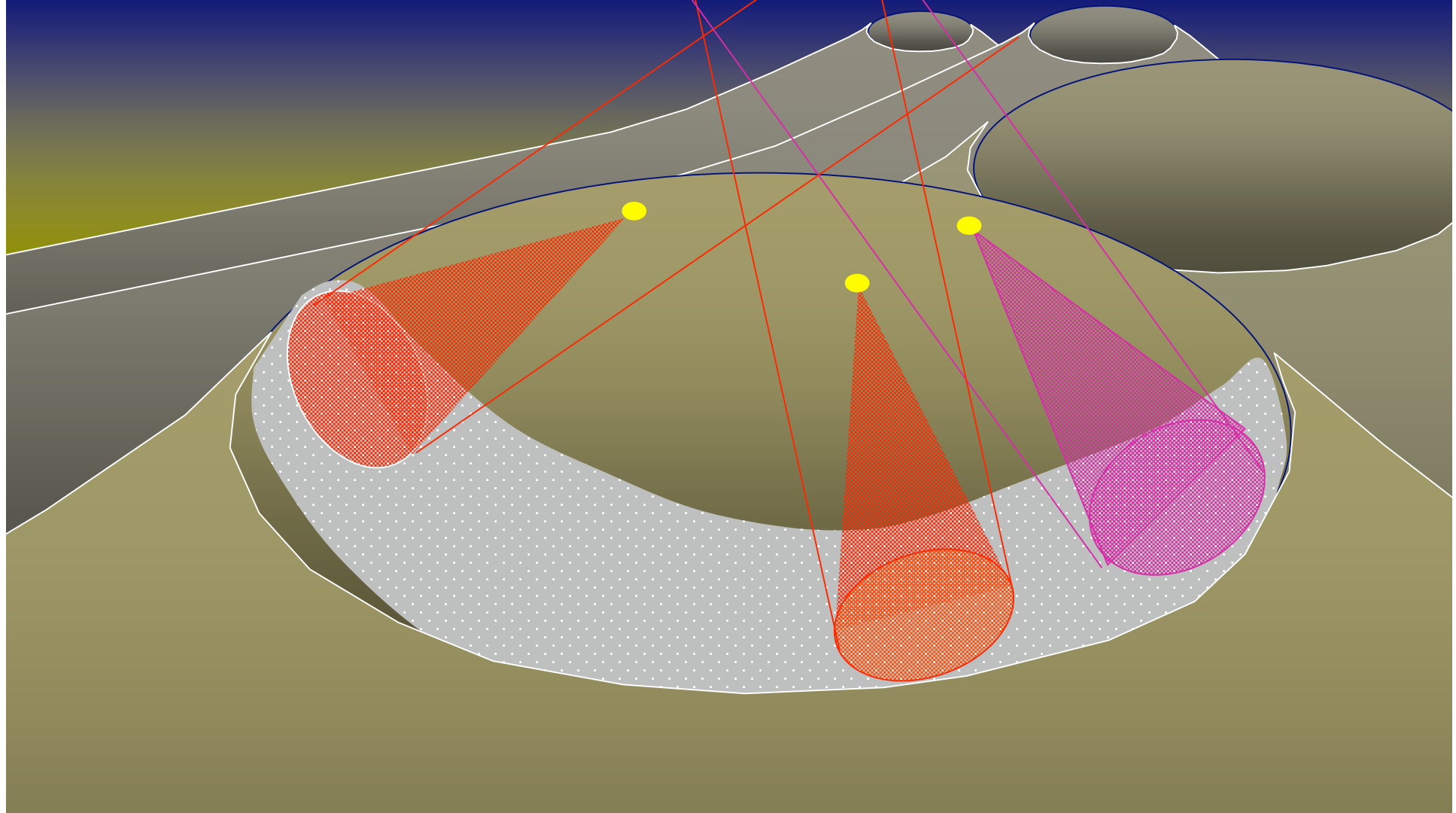


- Corrects spherical aberration and coma of spherical primary mirror

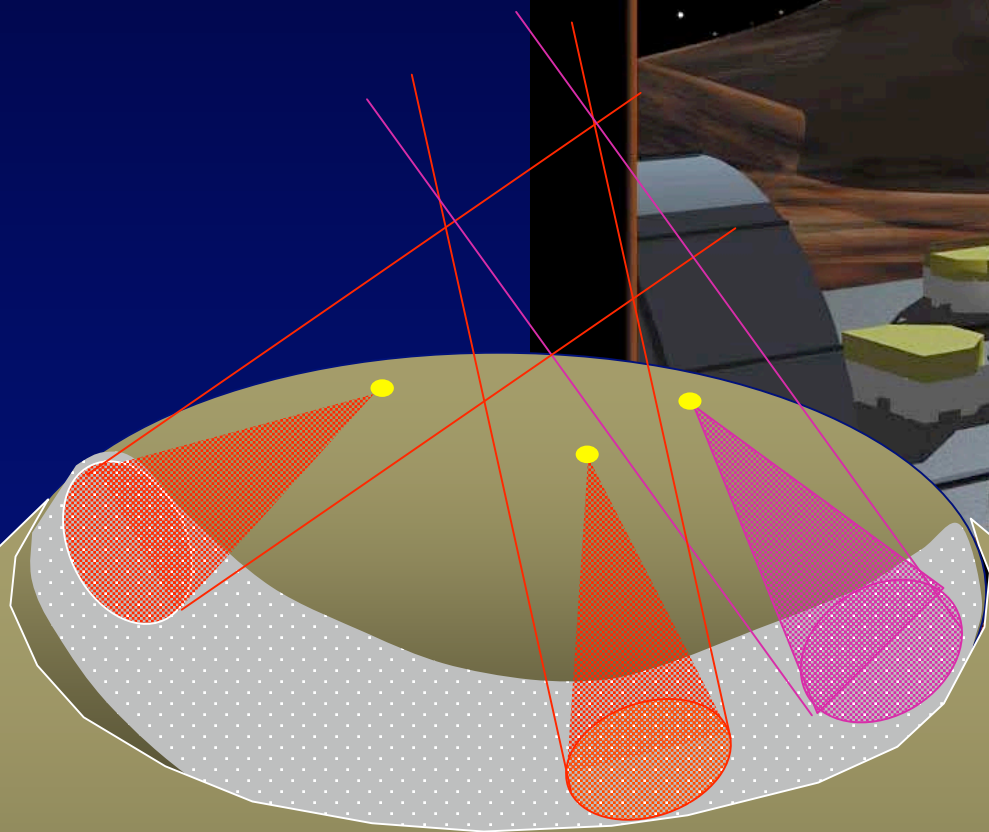
hypertelescope CARLINA kilometrique

10,000 miroirs de 1m, étalés sur 5 km

Imagerie mag. 38, cosmologie



Eclater OWL ?



Scientific Organizing Committee

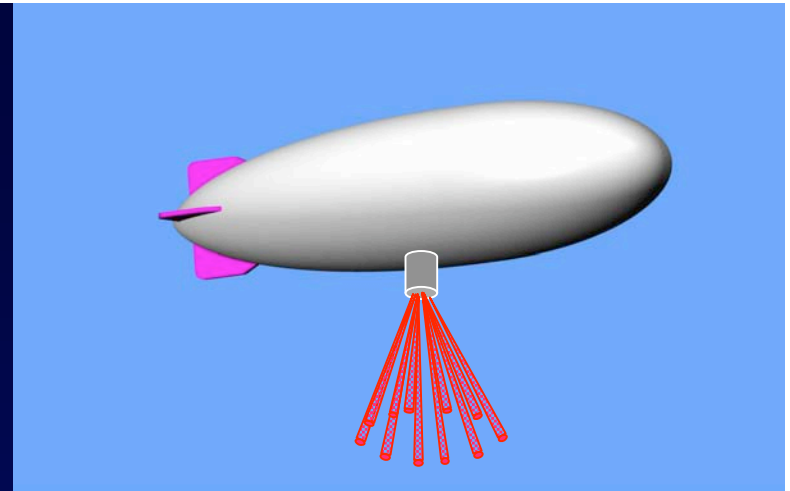
- Torben Andersen - University of Lund, Sweden
- Francesco Bertola - University of Padova, Italy
- Chris Dainty - Imperial College, UK
- Rick Dekany - Caltech, USA
- Brent Ellerbroek - Gemini, USA
- Ed Kibblewhite - University of Chicago, USA
- Gerard Rousset - ONERA, France
- Michel Tallon - University of Lyon, France
- Wiznawich - Keck, USA

lescopes

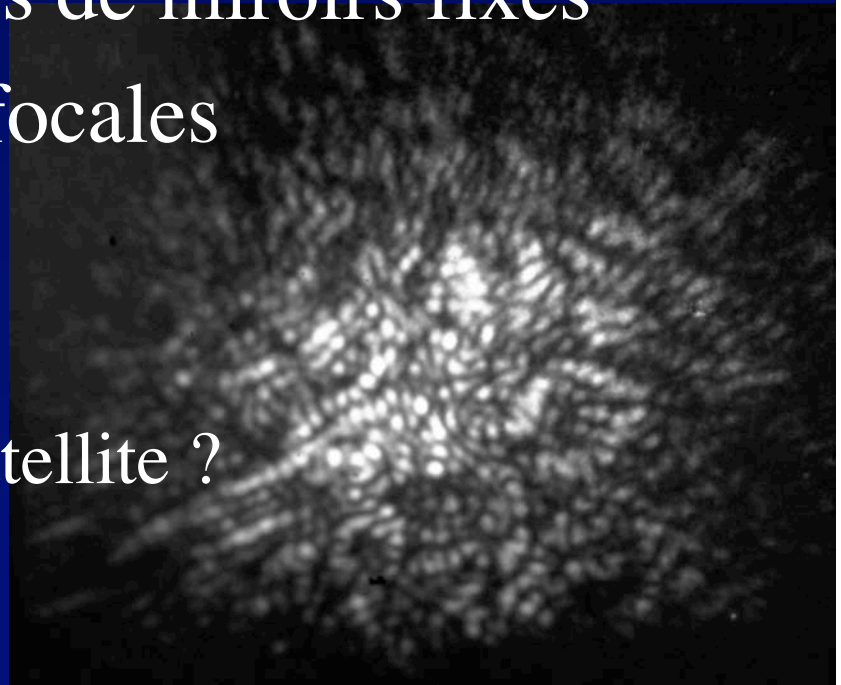
Observatory of Padova, Italy
 Observatory of Arcetri, Italy
 Observatory, Germany



Faisabilité d'une version « éclatée » de OWL



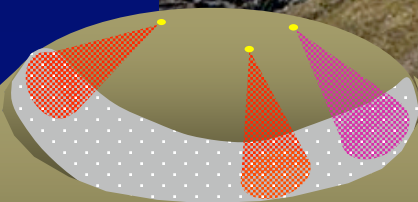
- Hypertélescope à ouverture diluée de 1 ou 2 km
- Cratère de 5 km, avec milliers de miroirs fixes
- Ballons portant les optiques focales
- Optique adaptative:
 - Multi-conjuguée ?
 - avec étoile artificielle sur satellite ?
 - méthode de Townes ?



recherche d'un site

Canaries

Roque de las
Muchachos





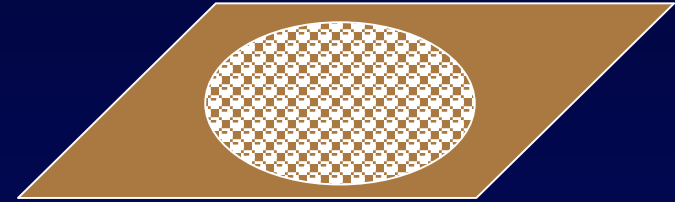
Caldera de
Taburiente

Intersection cratère/sphère

- Lignes de niveau sphère: 100m



Hypertélescopes au sol: plusieurs solutions opto-mécaniques



- 1- à plat (site plateau) : « Optical Very Large Array »

- 2- concave (site cratère):

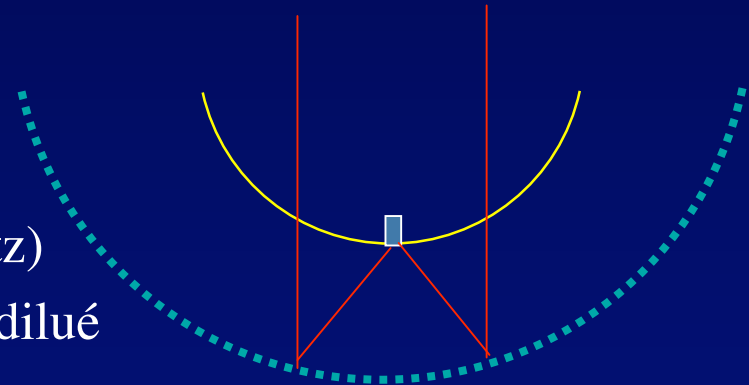
- M1 sphérique:

- correcteur M2-M3 « palourde » (Mertz)
- version compacte possible avec M2 dilué

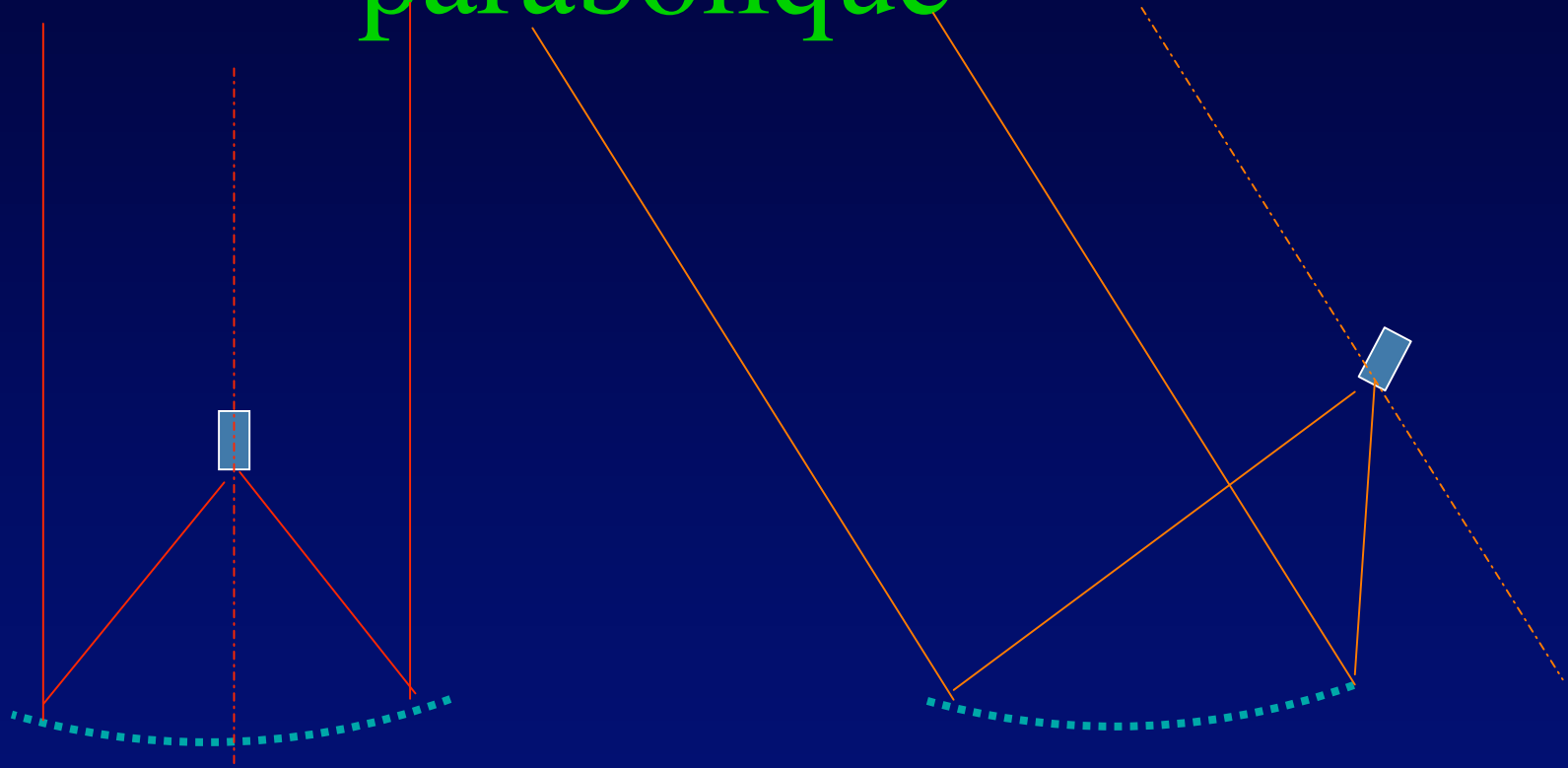
- M1 parabolique déformable par « onde de déformation »

- M1 parabolique semi-déformable (segments inclinables)

- M1 parabolique peu ouvert et correcteur focal actif (Dohlen et al. 2002)

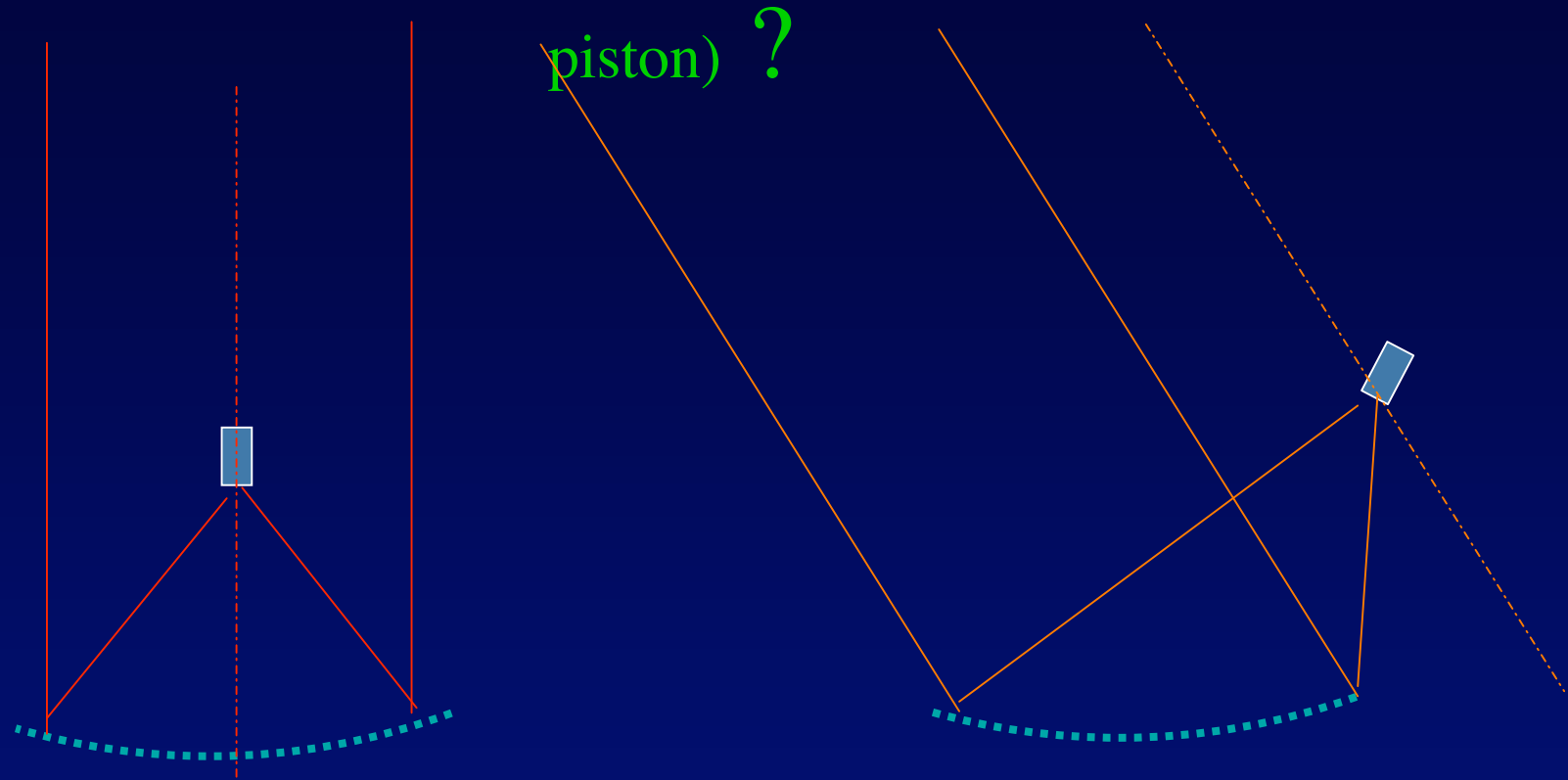


« onde de déformation » parabolique



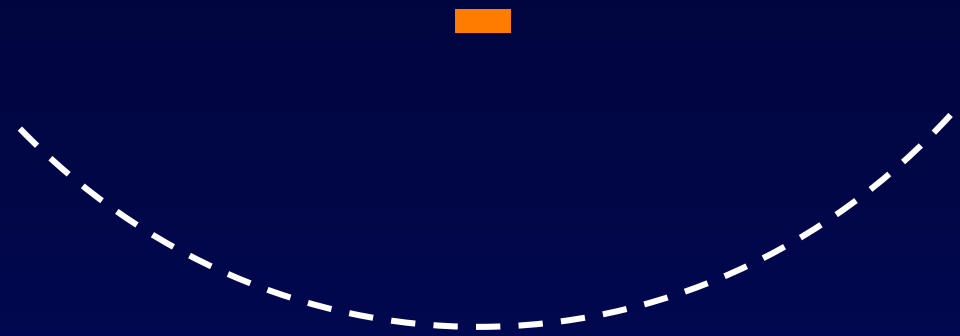
- Déformer pendant l'observation le paraboloïde....
- ...avec actuateurs x, y, z sur chaque miroir
- Déformer aussi chaque miroir

Repousser vers l'aval la correction en z (



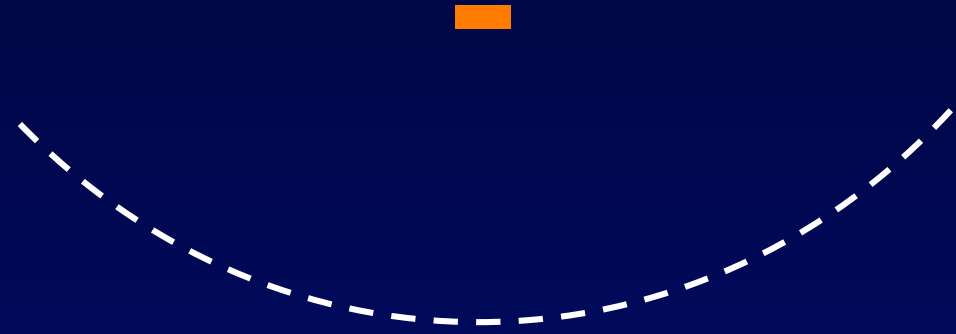
- M1 « en escalier »
- actuateurs x,y seulement sur chaque miroir
- Corrections de piston dans le combineur: simplification mécanique ?

M1 parabolique semi-déformable



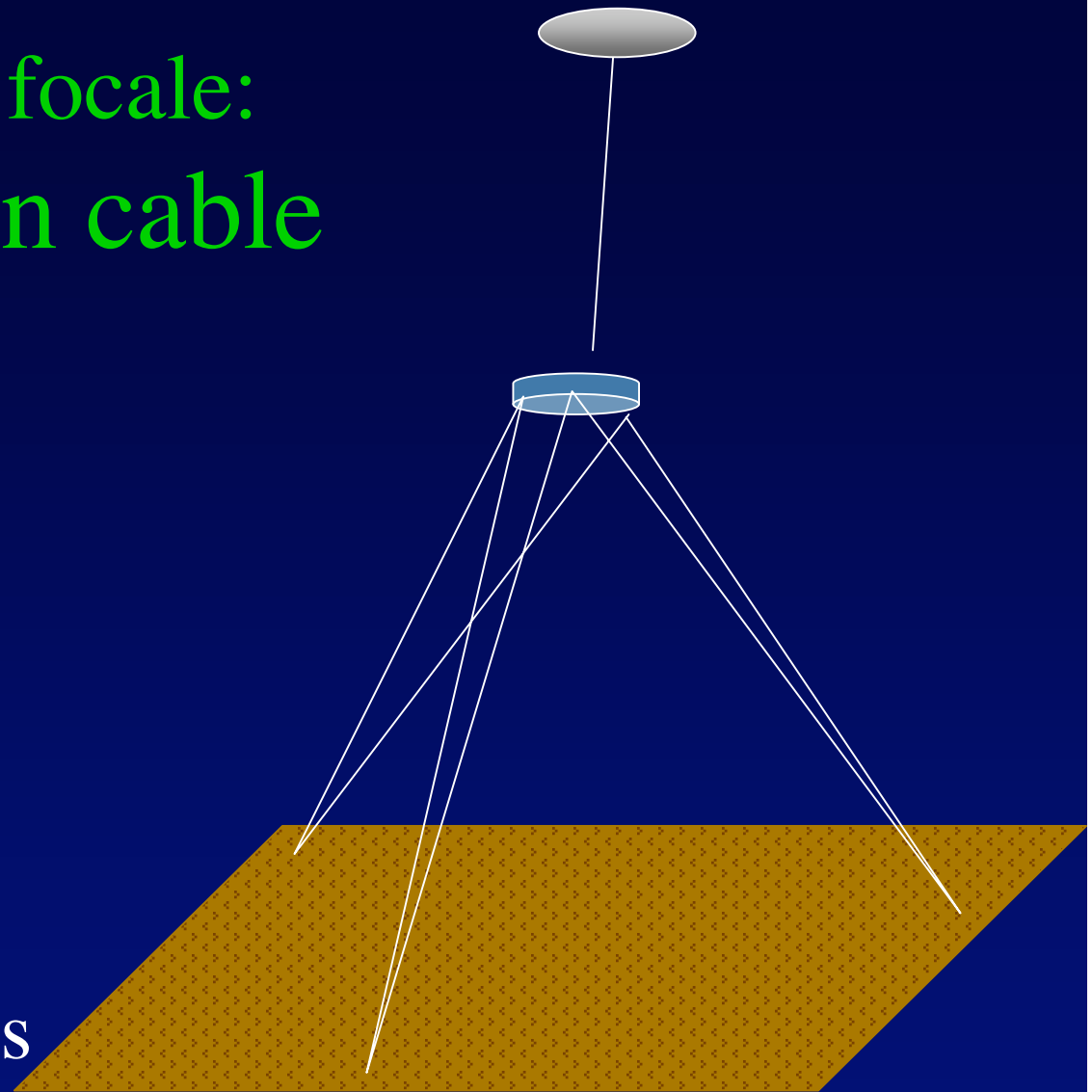
- Segments inclinables pour maintenir la superposition des images
- Erreurs de piston corrigées par lignes à retard (petites) au foyer coudé
- Avantage: nacelle compacte
- Inconvénients:
 - 2 moteurs par miroir M1, lignes à retard
 - Une seule nacelle
-

M1 parabolique déformable



- Onde de déformation sur le miroir
- Nécessite 3 moteurs par élément, grands mouvements verticaux
- Solution étudiée pour un radio-télescope en Chine

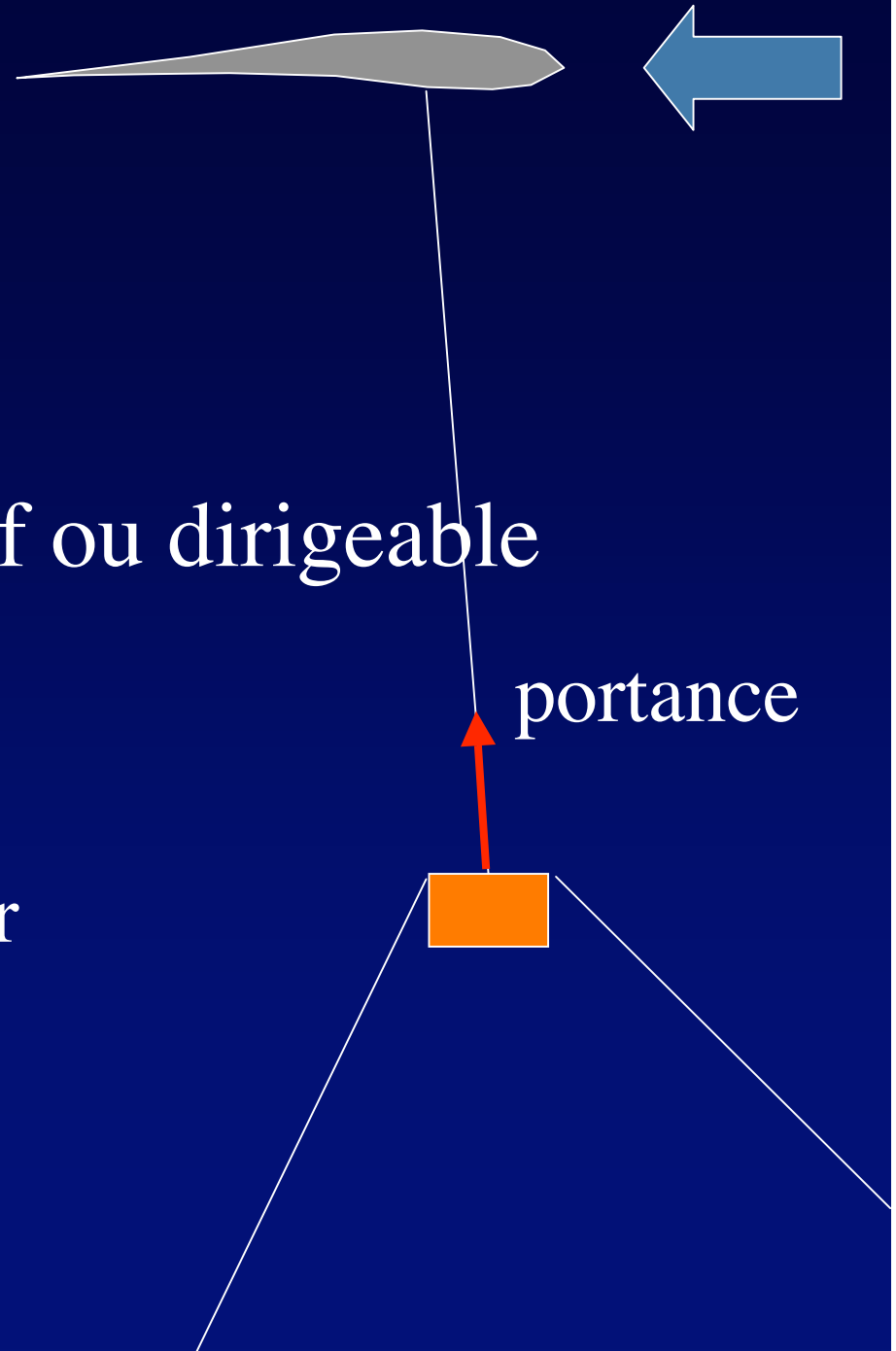
Stabiliser l'optique focale: trépied en câble



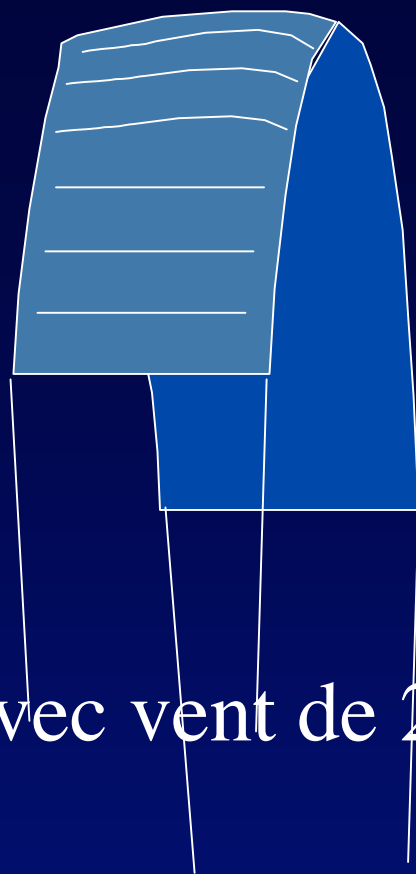
- Cables peu élastiques
- 6 treuils numériques pour pilotage complet
- Faible perturbation par les mouvements du ballon

Machines volantes

- vent faible: ballon captif ou dirigeable
- Vent moyen:
 - cerf-volant
 - Planeur ou moto-planeur
- .



« kite surf »
« cerf-volant de traction »



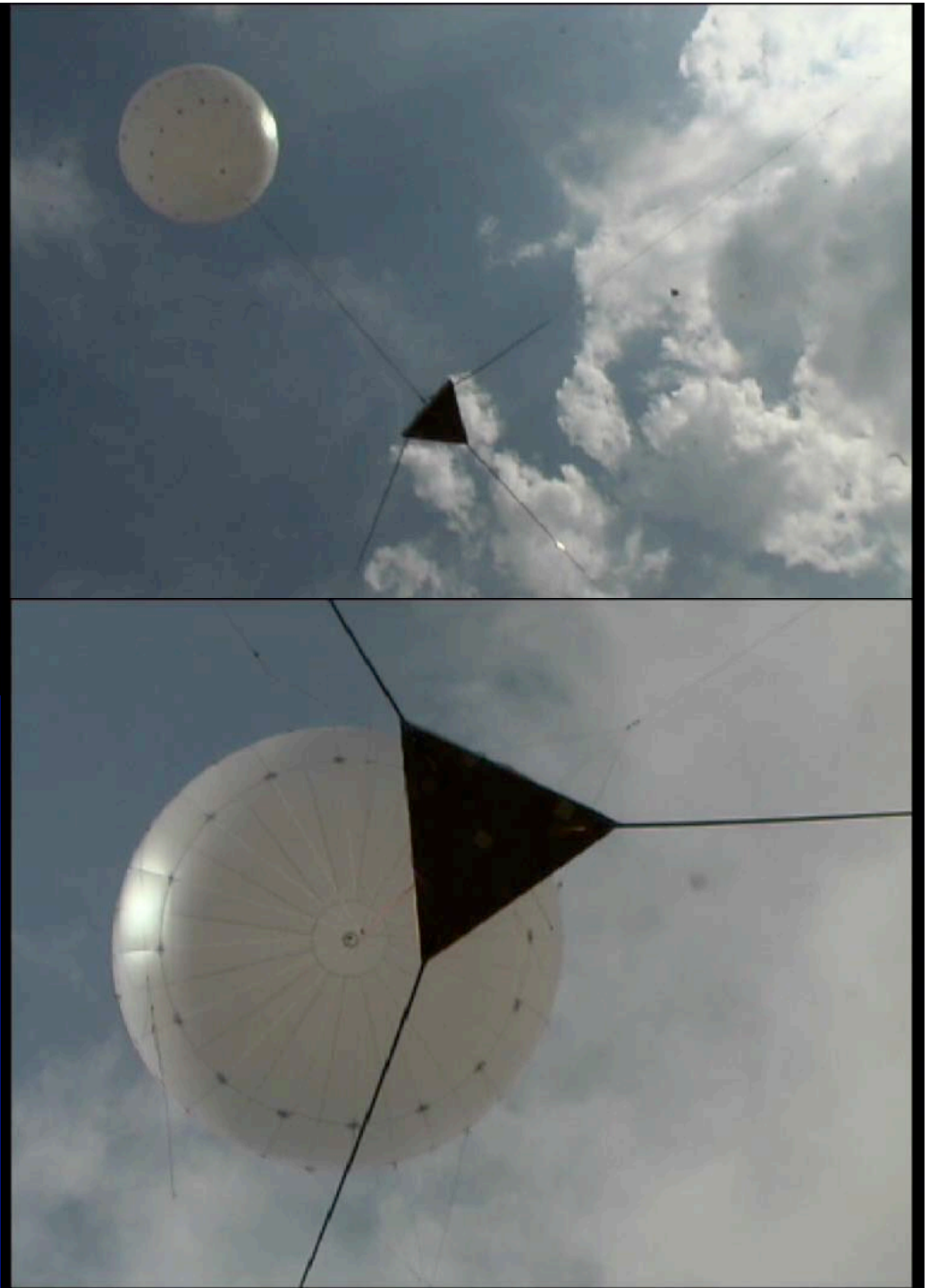
- 20 mètres carrés portent 100 kg avec vent de 20 km/h
- Stabilité passive ou pilotage actif
- Remplace avantageusement un ballon lorsque le vent est suffisant
- Plus économique (achat et emploi)

Kite-surf



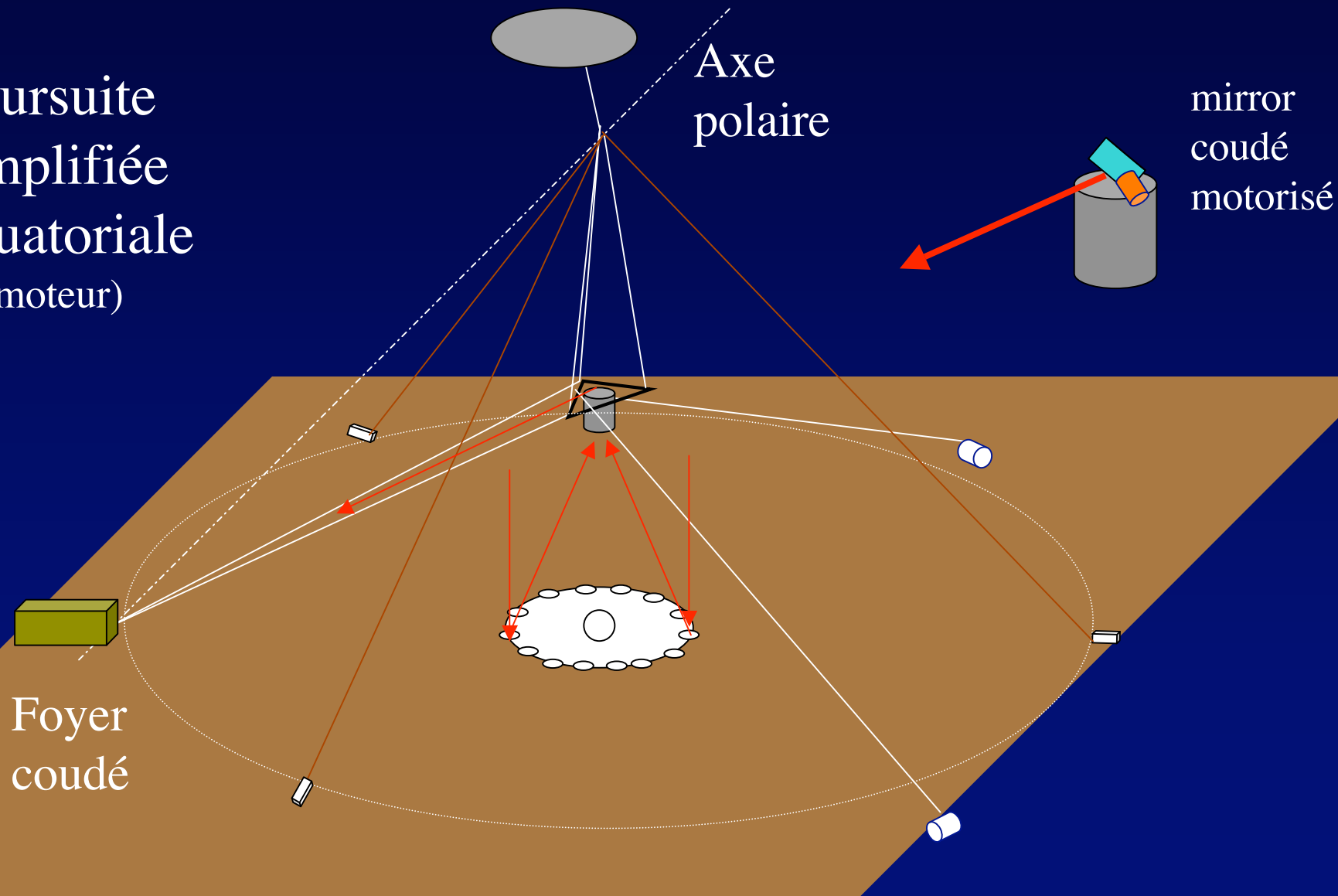
Vers CARLINA: essais de ballon stabilisé

- Essais entamés à l'Observatoire de Haute Provence
- poursuite envisagée à Calern et aux Canaries

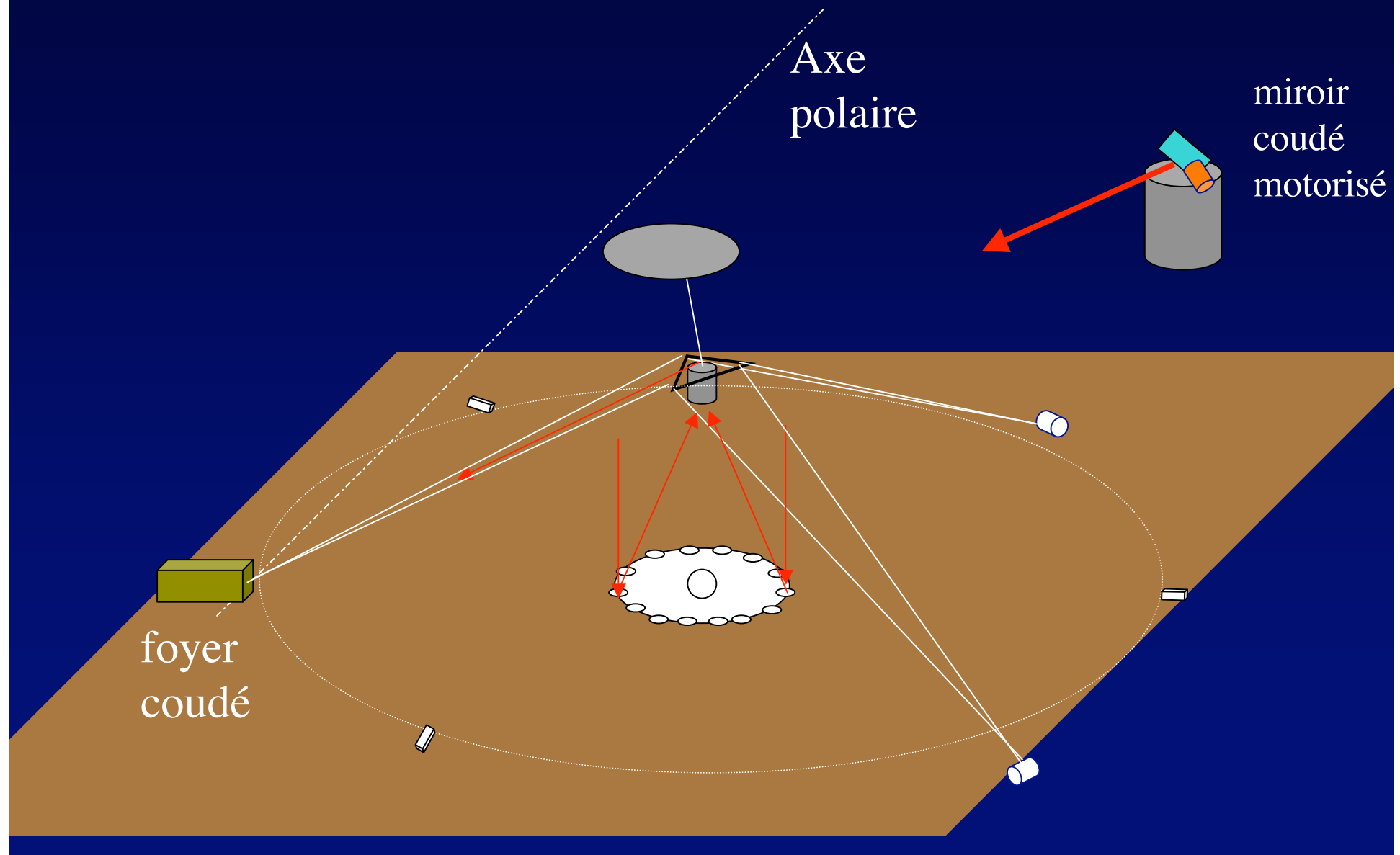


Essai avec ballon (Le Coroller, en préparation)

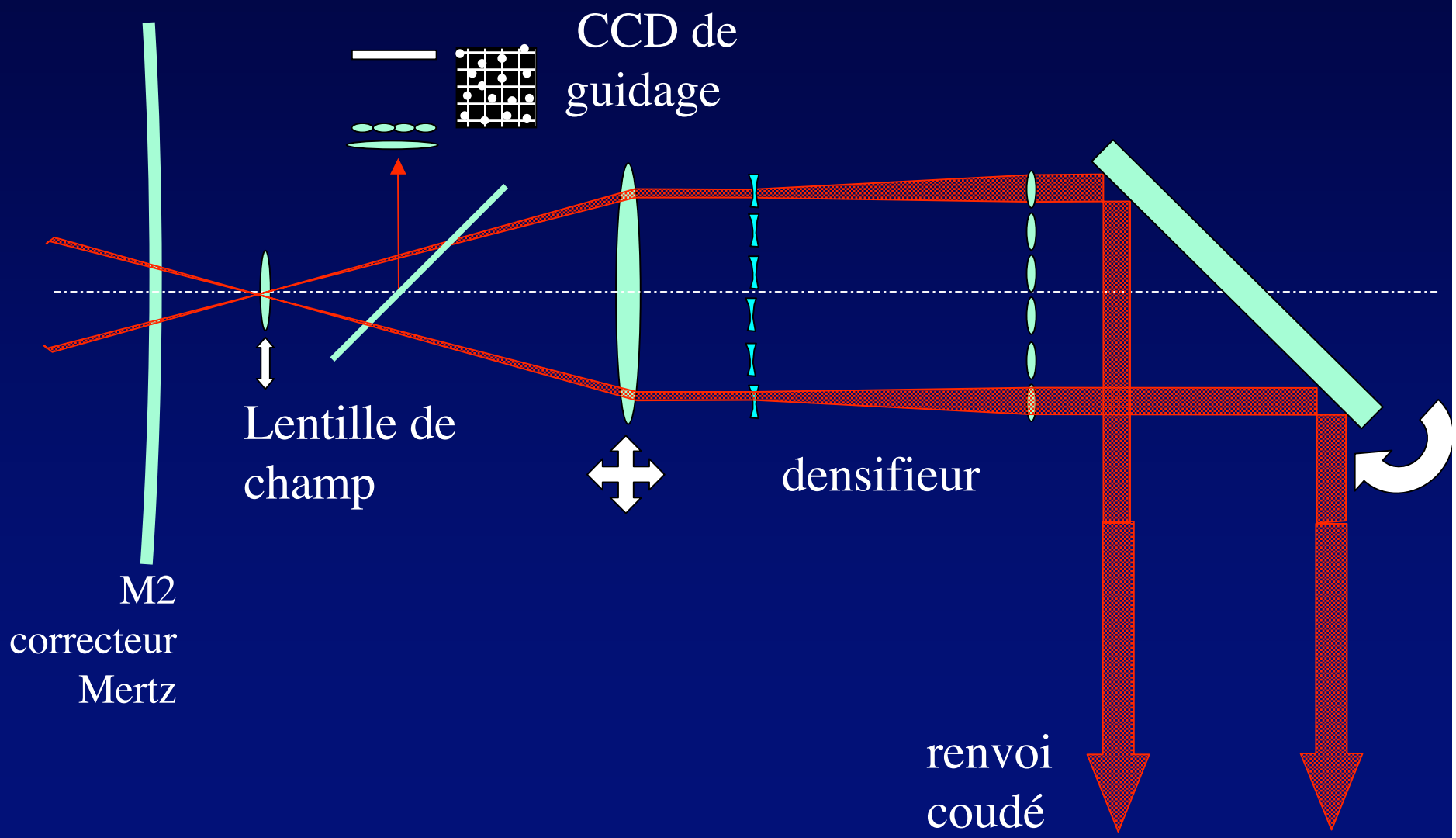
- Poursuite simplifiée équatoriale (1 moteur)



Version ultérieure: Pilotage de la nacelle avec 6 moteurs

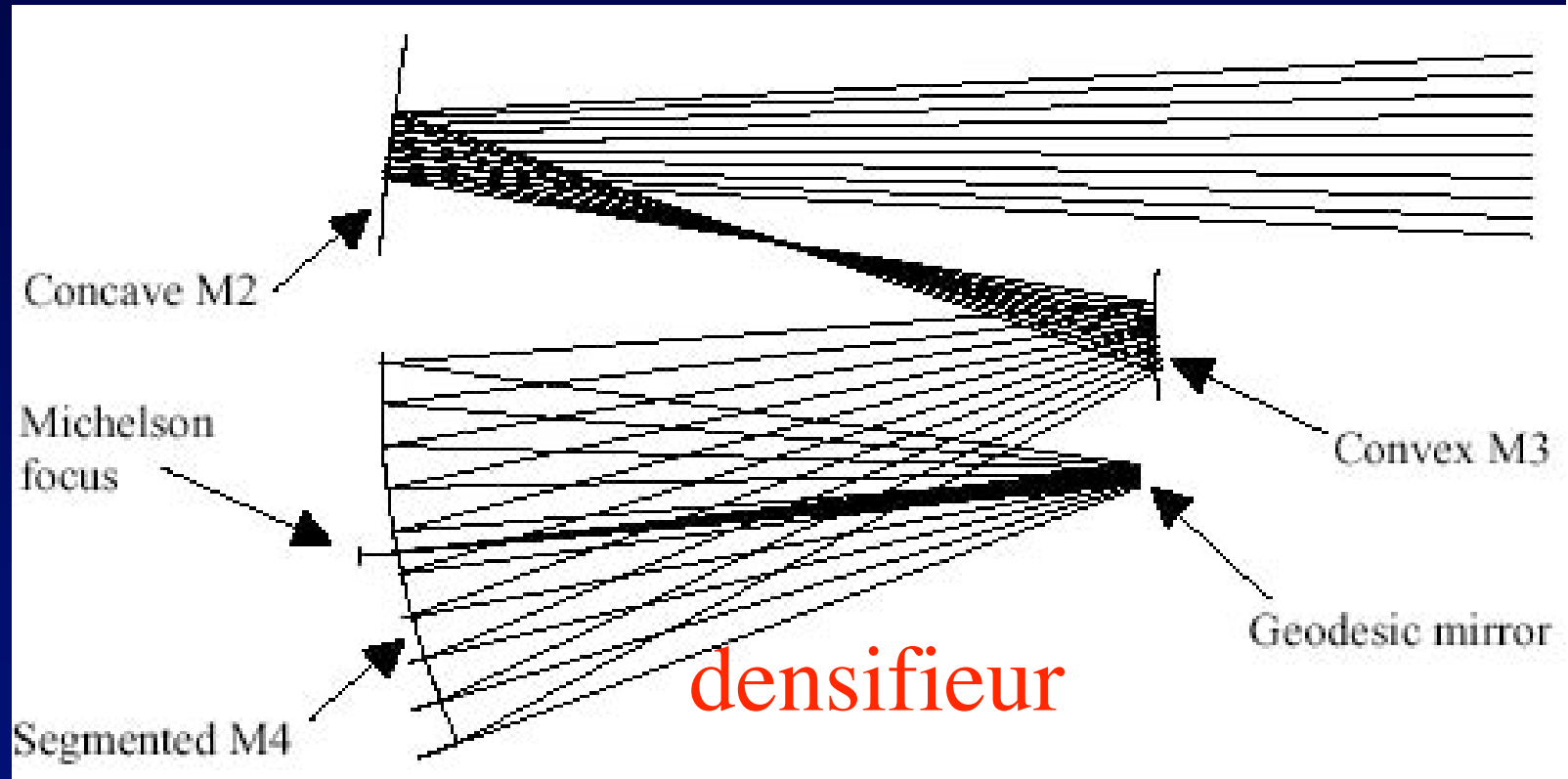


Optique nacelle pour renvoi coudé



Solution Dohlen (2002):

M1 parabolique peu ouvert (F/10) et correcteur

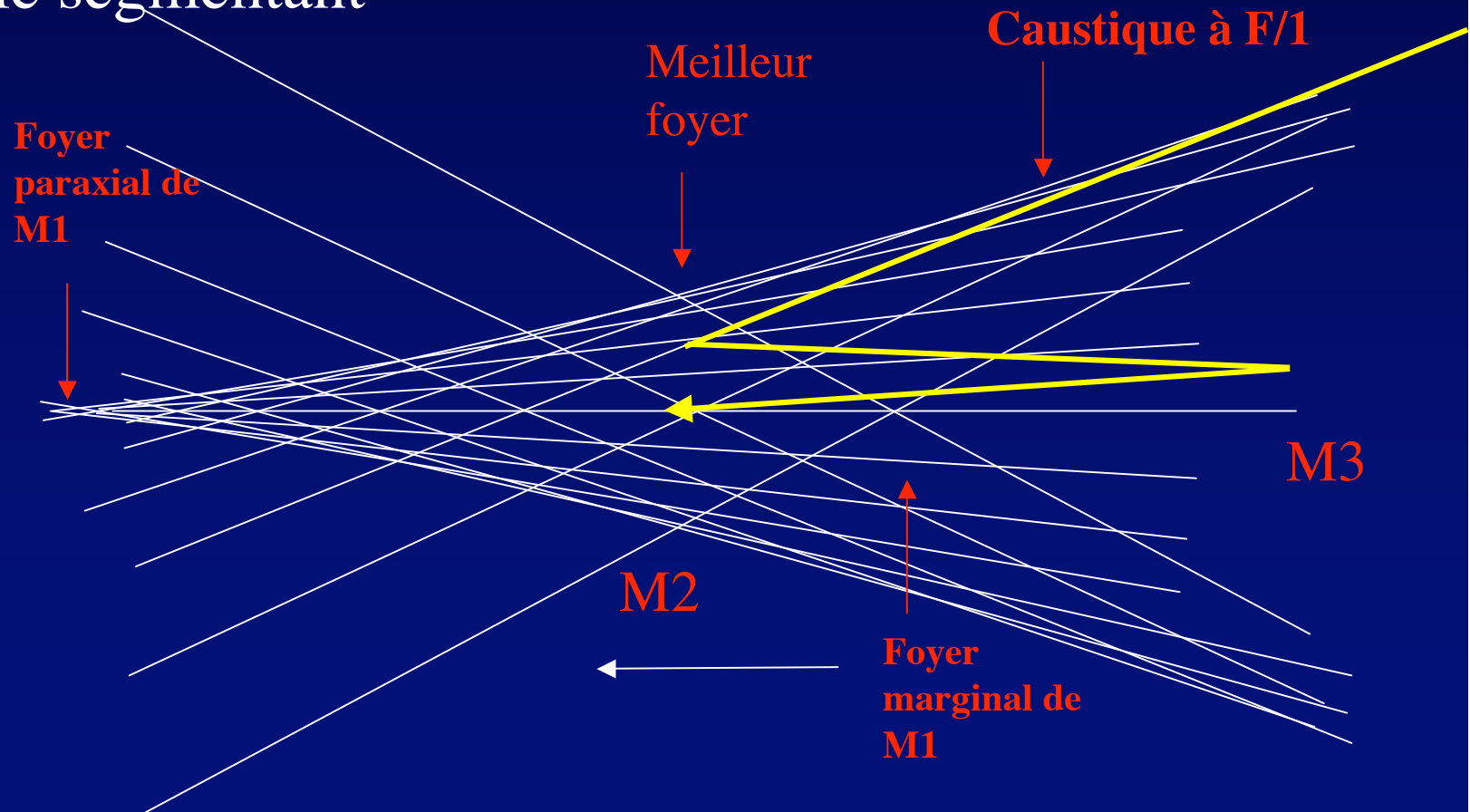


- M2 & M3 sphériques
- Champ 5°

M1 sphérique:

Vers un correcteur plus compact ?
ou plus ouvert ?

- Mettre M2 dans la caustique....au meilleur foyer
- en le segmentant

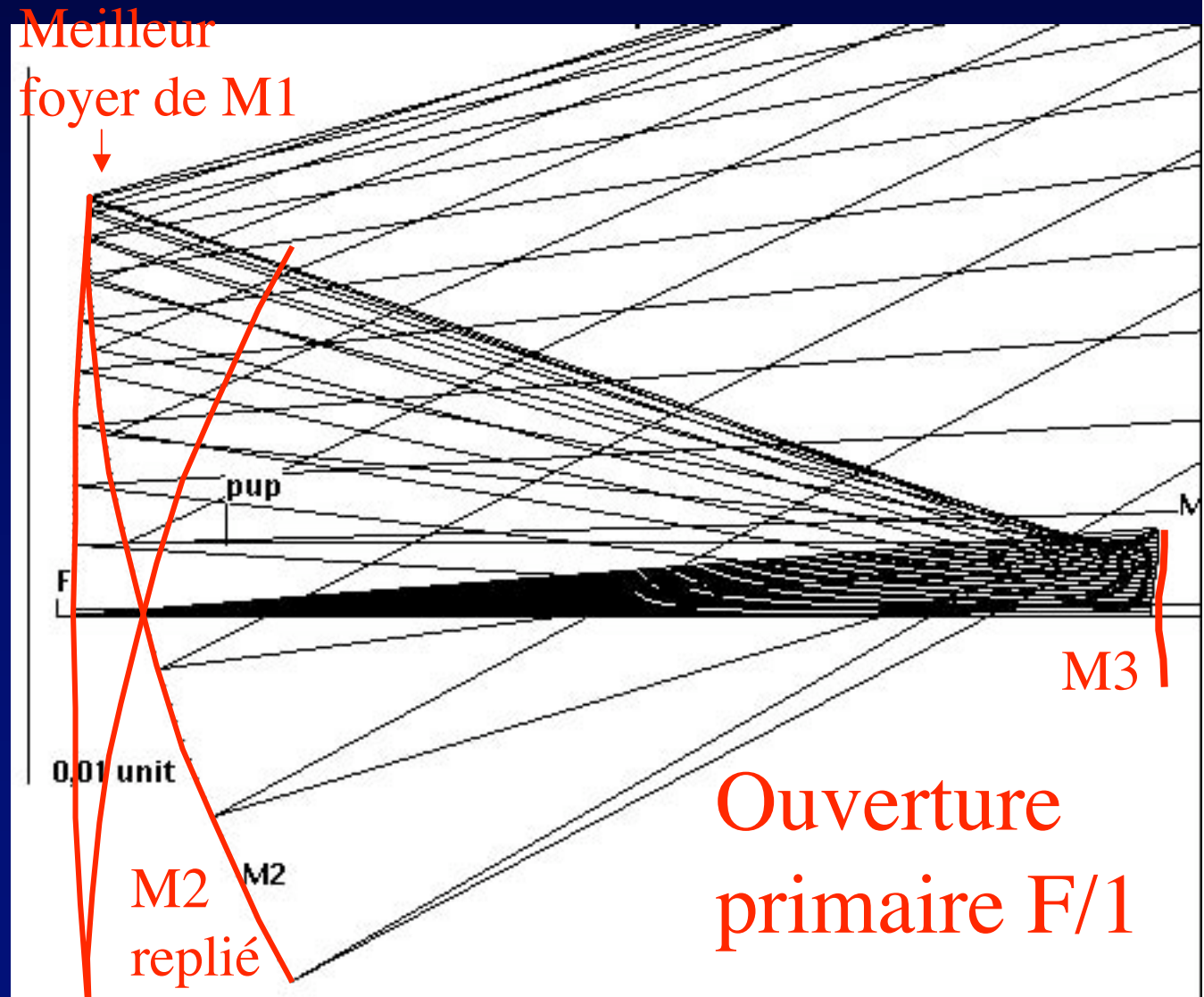


Variante de correcteur Mertz dilué pour CARLINA à F/1

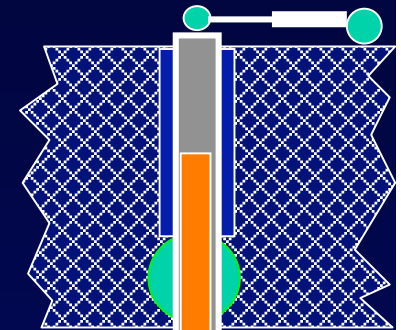
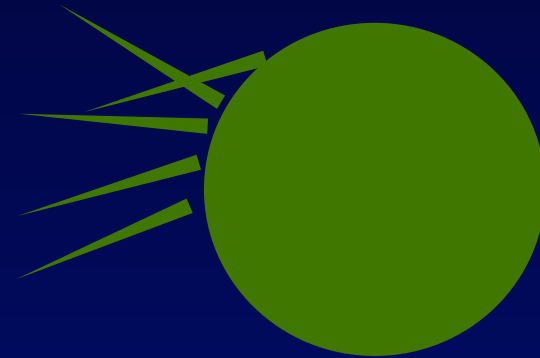
- tracé par routine de Mertz: corrige ab. sphérique et coma (respecte la condition des sinus d 'Abbe)
- M2 au meilleur foyer: devient 4 fois plus petit mais **replié**
- segments mobiles nécessaires pour suivre les pinceaux (mécanisme « oursin » ?)
- M3 petit, monolithique, fixe
- à préciser & comparer aux versions Mertz classique, Dohlen, etc....

Correcteur dilué d'aberration sphérique et coma

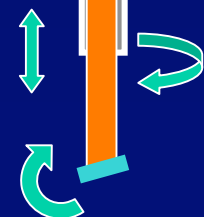
- Exemple : à F/1, diamètre 1% de M1
- Soit 20 m pour 2km
- Suivi des faisceaux: petits miroirs mobiles (mécanisme « oursin »)



Comment positionner les petits miroirs sur les pinceaux qui bougent de façon complexe ?

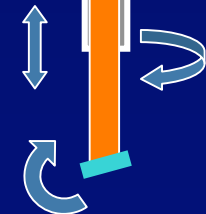
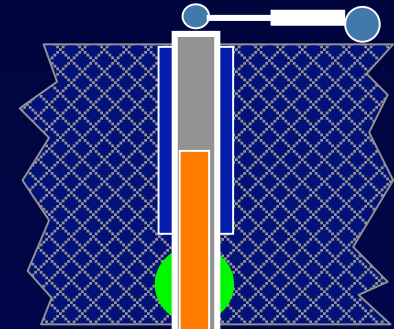
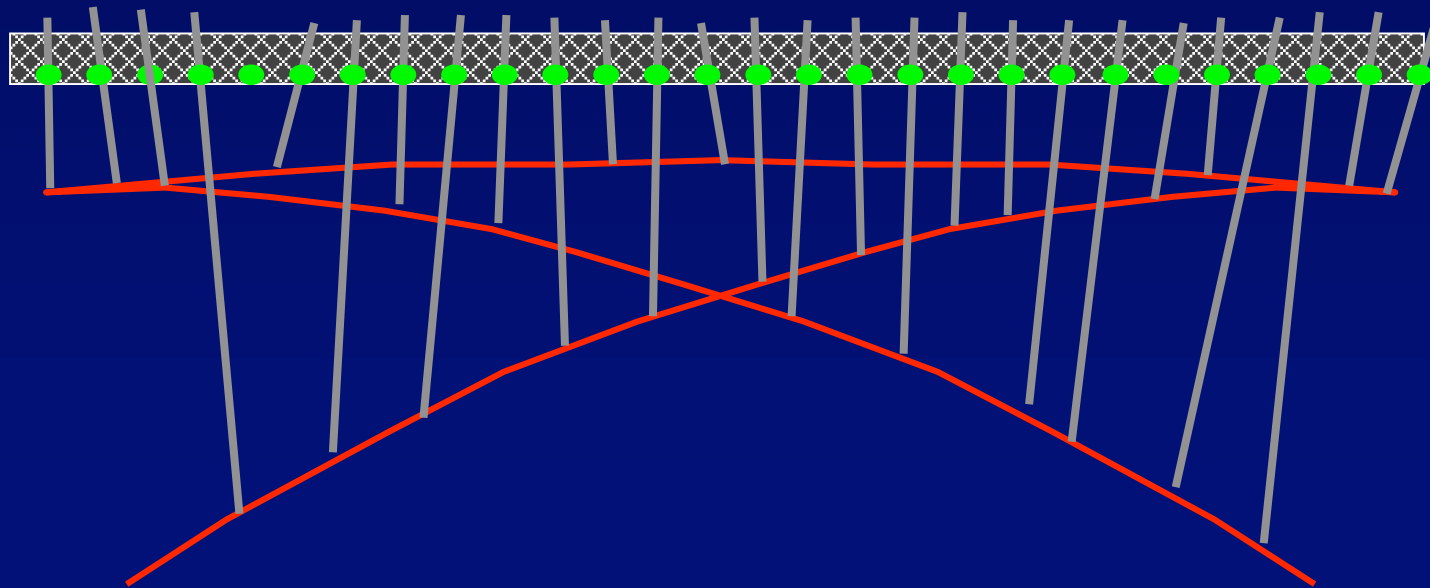


- Comme des épines d'oursin ...?
- oui mais télescopiques !
- 5 moteurs par épine



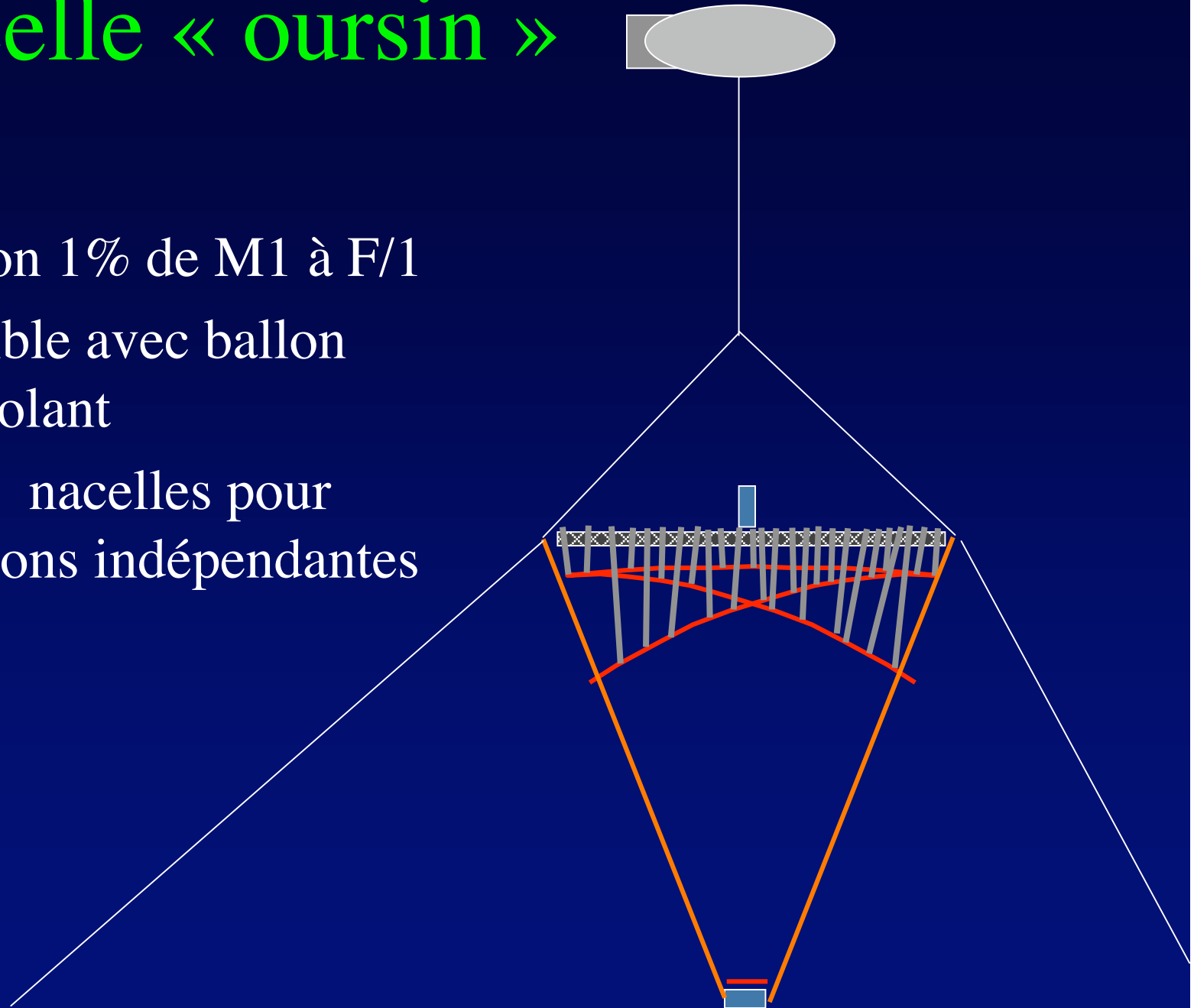
Mécanisme « oursin »

- Miroirs de quelques millimètres
- Positionnement par « épines »
- Diamètre jusqu'à 20 m ? (pour ouverture 2 km à F/1)



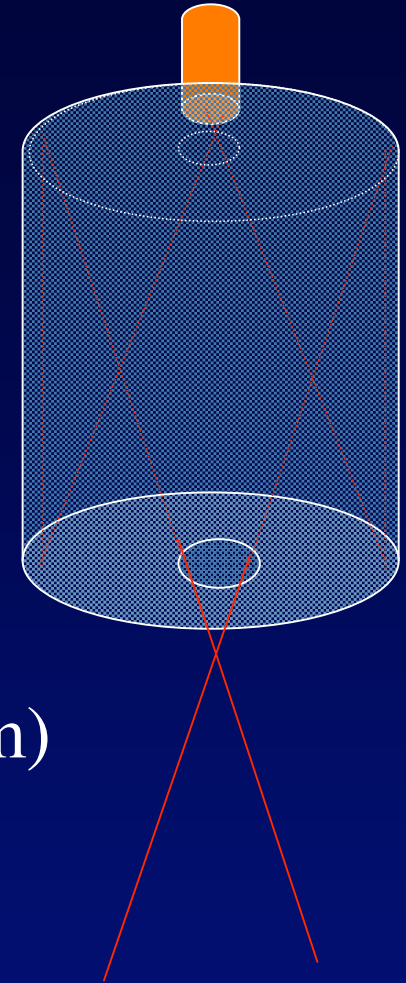
Nacelle « oursin »

- Dimension 1% de M1 à F/1
- Compatible avec ballon et cerf-volant
- Plusieurs nacelles pour observations indépendantes



M1 sphérique: Correcteur Mertz ordinaire

- Ballon en forme de tambour
- Gonflé à 1 'hélium
- Faces miroir répliquées (diamètre < 8,5 m)
- orientable
- Protégé du vent par ballon « de garde »
- Plus encombrant que version diluée



Maquette de correcteur tambour (essai envisagé)

- Maquette de 30cm: miroirs nickel proposés par Media Lario
- Tambour répliqué directement en 2 moitiés
- Matrice usinée au tour diamant (St Etienne)

M1 sphérique: deux solutions de correcteur

- « oursin » plus compact , nécessite 5N moteurs
- « tambour »: 4 fois plus encombrant, mais statique
- La compacité de l'oursin permet d'accroître l'ouverture , et donc de mieux exploiter M1

Hypertélescopes CARLINA: avantages et problèmes

- avantages:
 - Grand nombre d'ouvertures utilisables
 - optique et mécanique simple
 - Objets multiples
- Problèmes:
 - Ballon ou cerf-volant délicat à stabiliser , protéger,...
 - Sites utilisables peu nombreux
 - Dimension d'ouverture $< 2\text{km}$ (M1 sphérique) ou 5 km

Conclusions

- Hypertélescopes: une voie évolutive graduelle
- Percée observationnelle en perspective au sol puis dans l'espace