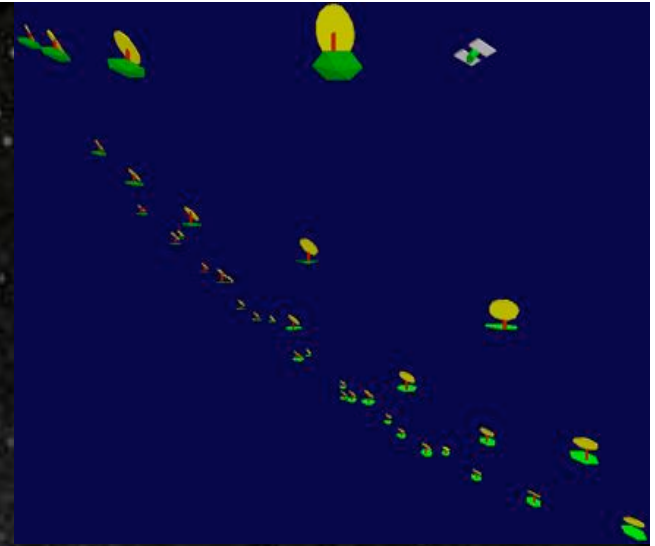


Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Fichiers des cours précédents sur: www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast_obs/annee_20082009.htm
- Articles sur: www.oamp.fr/lise

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

- 10 Mars
Cours 4: Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser
Séminaire: Pascal Petit " L'activité magnétique des jumeaux solaires "
- 17 Mars
Cours 5: Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser (suite)
Séminaire: Stéphane Jacquemoud "La végétation comme signe de vie extraterrestre : espoirs et obstacles"
- 24 Mars
Cours 6: Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser (suite)
Séminaire:
- 1er -2 Avril: **cours et séminaires à Grenoble, détails sur** http://www.ujf-grenoble.fr/74905189/0/fiche___pagelibre/



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

Aujourd'hui:

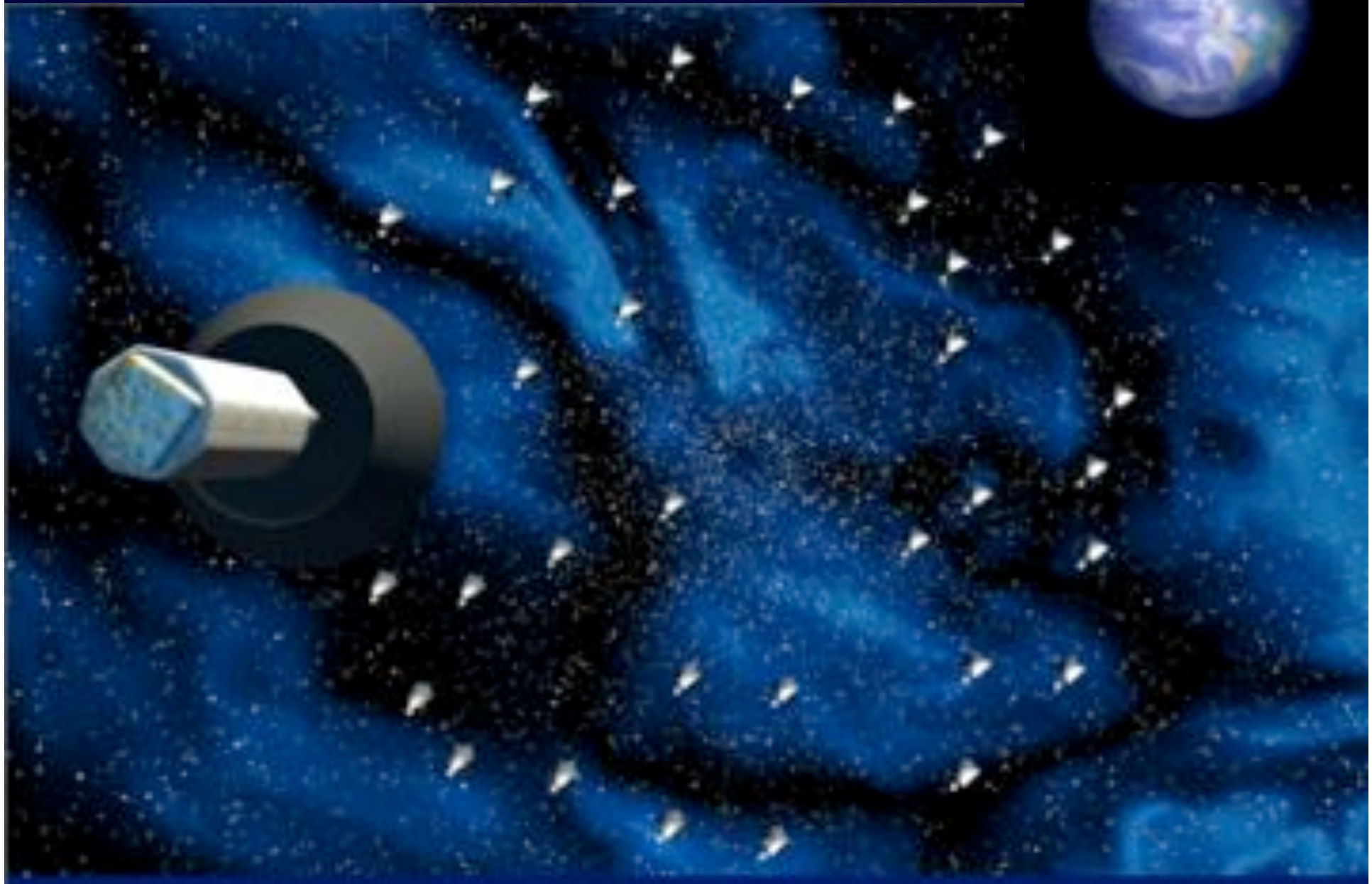
Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser

Séminaire à 15h :

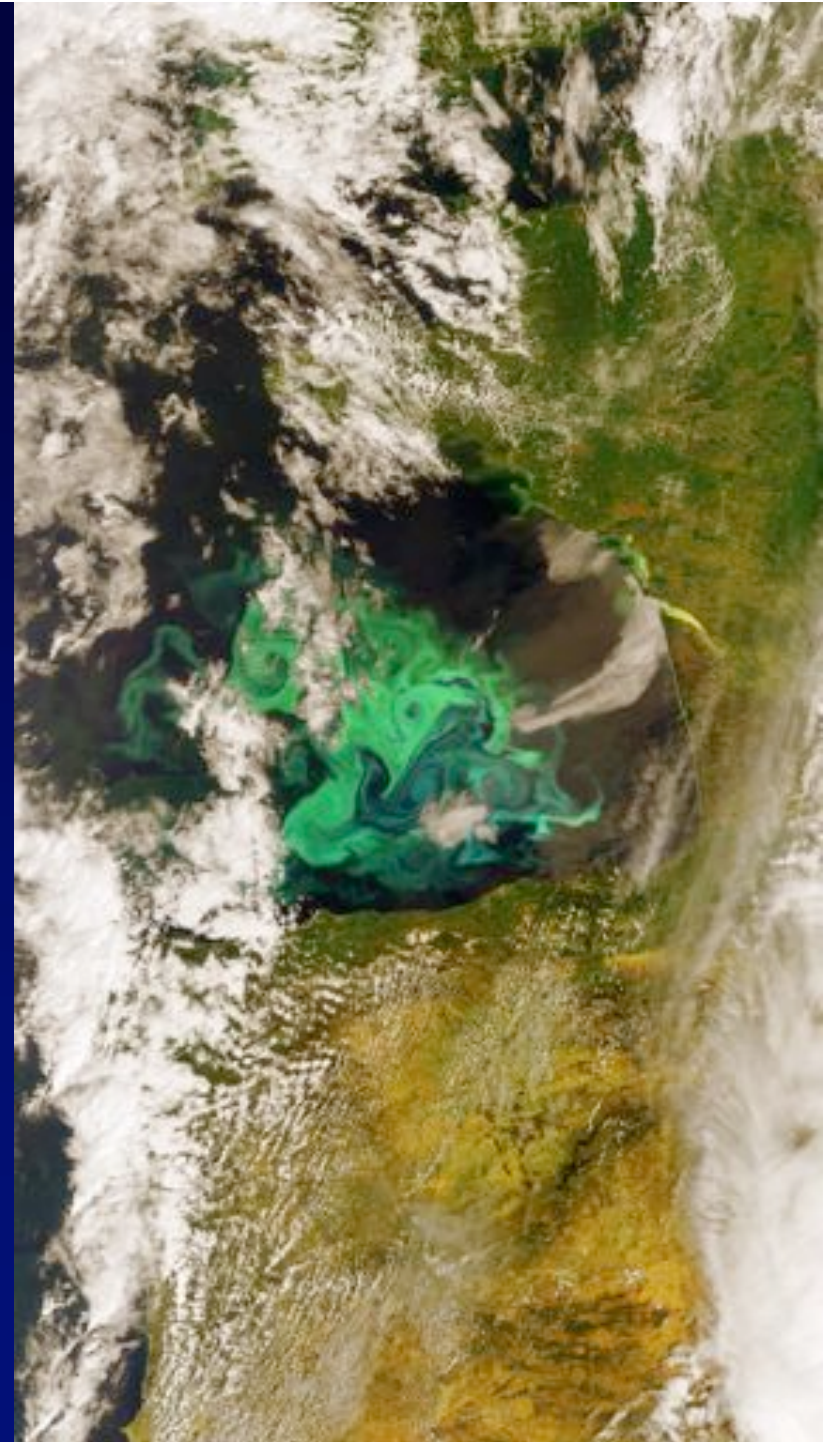
Pascal Petit (Observatoire Midi Pyrénées)

"L'activité magnétique des jumeaux solaires "

... puis dans l'espace



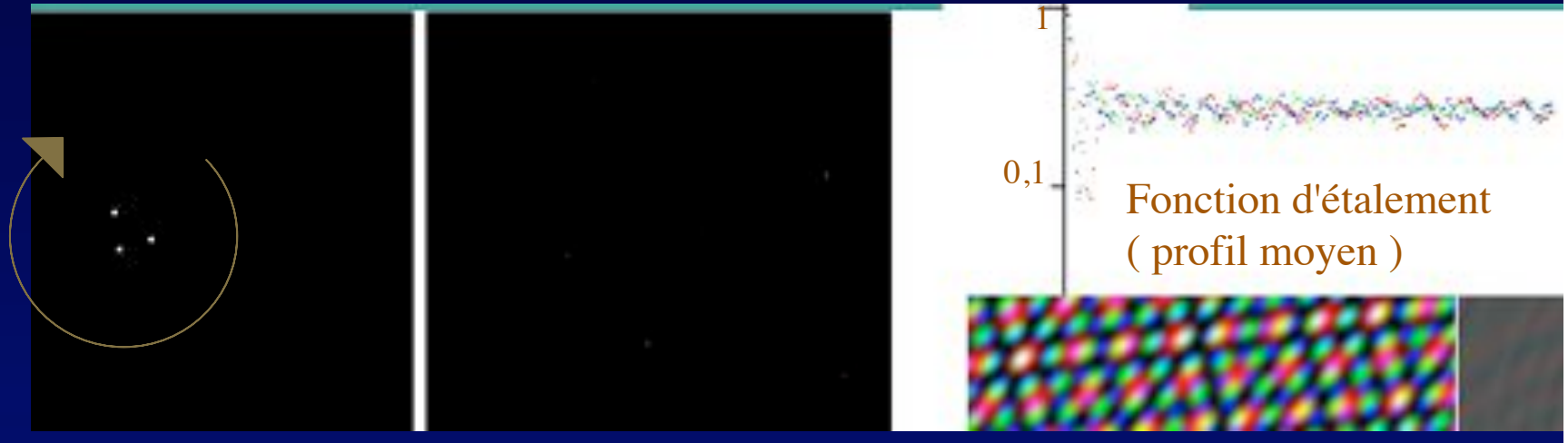
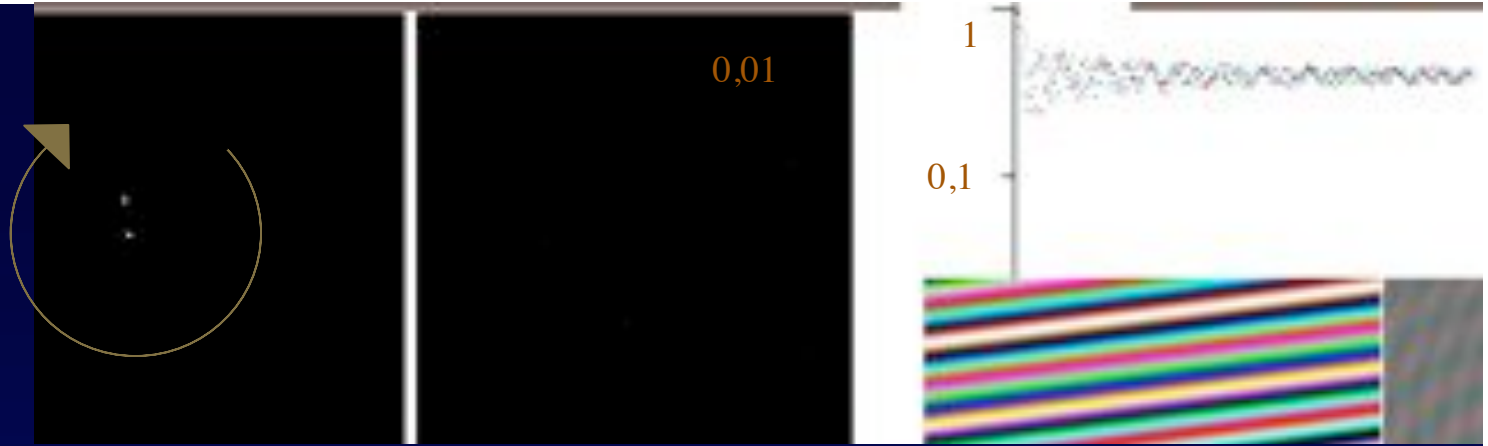
Signatures de vie extra- solaire



Pourquoi la synthèse d'ouverture est médiocre avec des ouvertures peu nombreuses

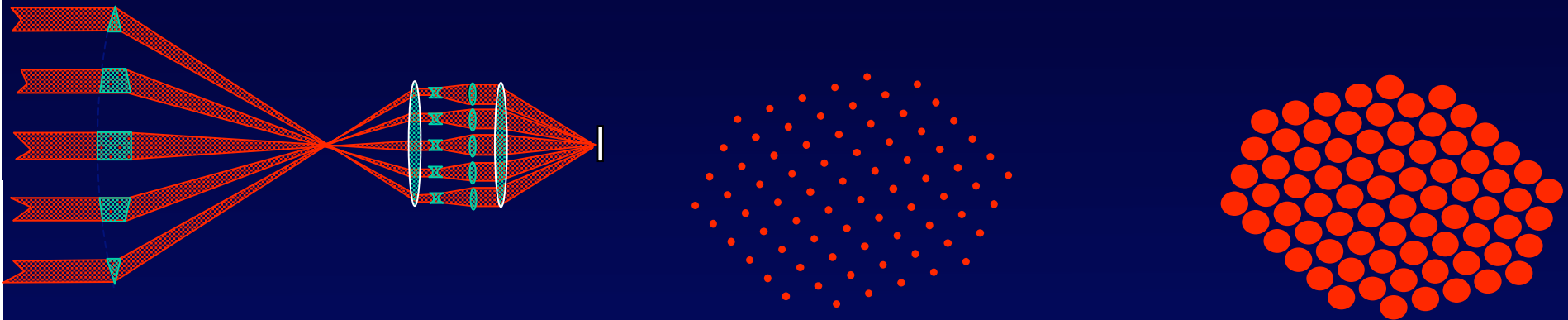
- Les poses successives ajoutent leurs interférences en intensité, donc de façon incohérente
- Alors qu'une pose avec des ouvertures nombreuses bénéficie d'une addition cohérente des vibrations

Profil de la
fonction
d'étalement,
avec rotation



Conséquences de la densification de pupille:

"imagerie hypertélescope"



- Rend utilisables des ouvertures fortement diluées

Exemples d'intensification, relativement à l'image Fizeau:

- 1 " Laser Trapped Hypertelescope Flotilla" de 100km:

40,000 miroirs, $d = 30\text{mm}$ pour surface collectrice d'une ouverture de 6m
espacement des miroirs: $s = 500\text{m}$, densification possible $s/d = 10^4$

$$\text{Intensification} = (s/d)^2 = 2,7 \cdot 10^8$$

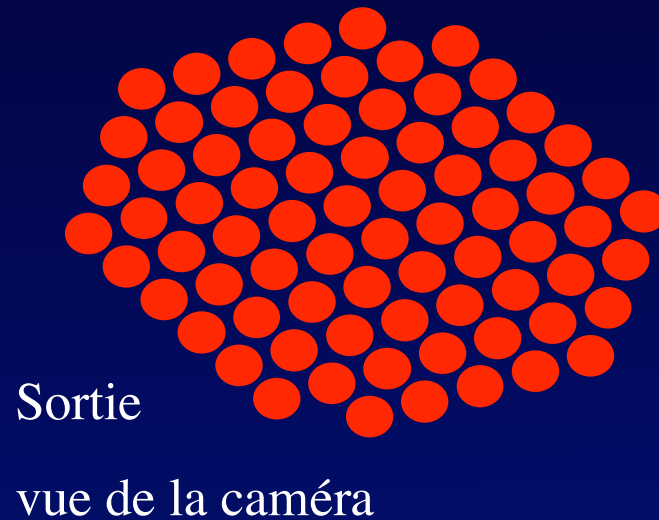
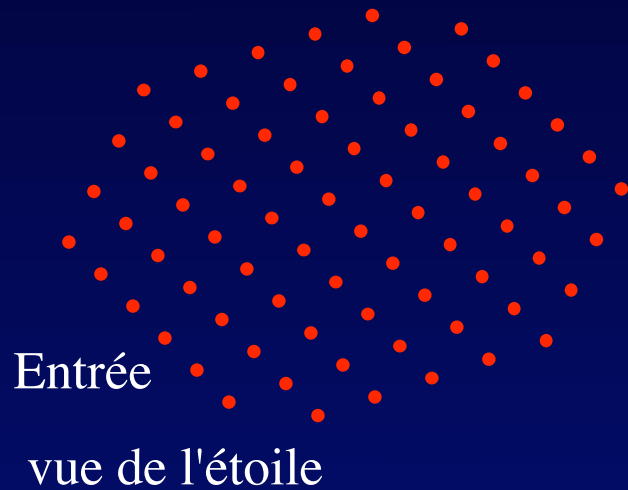
- 2 concept de Neutron Star Imager à miroirs $d = 10\text{m}$ espacés de $s = 100,000\text{km}$

$$\text{Intensification} = (s/d)^2 = 10^{14}$$

- Sans perte de lumière (Lardière et al., 2008)

Améliorer l'interféromètre Fizeau:

densifier la pupille pour une image plus lumineuse

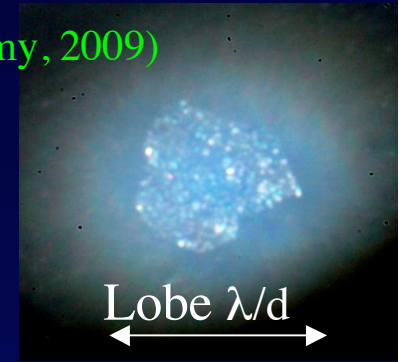


- sans modifier l'ouverture d'entrée ...
- rétrécit le halo de diffraction
- concentre sa lumière dans le pic d'interférence
- intensifie l'image qu'il forme

Interféromètre ou hypertélescope:

Ouvertures petites et nombreuses: le gain en science

(Labeyrie et al., Exp. Astronomy, 2009)



- Champ encombré: le nombre max. tolérable d'étoiles croît en N^2
- Le diamètre du "Direct Imaging Field" est :
 - Infini pour un Fizeau
 - limité à λ/s avec pupille densifiée (s est la distance des ouvertures)

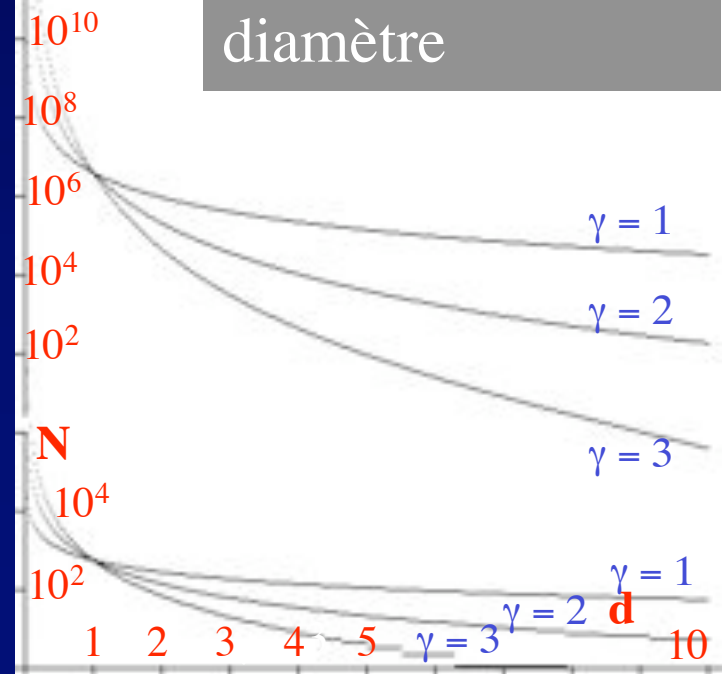
- Science vs. dimension des miroirs d , à coût donné $C_{pa} = N d^\gamma$, où $\gamma = 2$ à 3

$$Sc = C_{pa}^2 d^{-2\gamma} \left\{ (7/4) \log_2 C_{pa} + (1-7\gamma/4) \log_2 d \right\}$$

- Fort gain en science si d diminue
- **1000 fois plus de science avec 10cm que 1m**
- Mais rétrécir jusqu'où ? Pas trop pour limiter la diffraction
- Exemple du " Laser Trapped Hypetelescope Flotilla " : 40,000 miroirs de 30mm pour la surface collectrice du JWST espacement 500m >

science

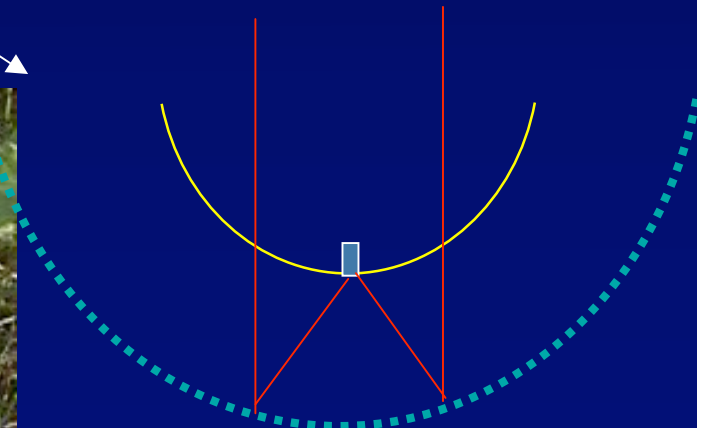
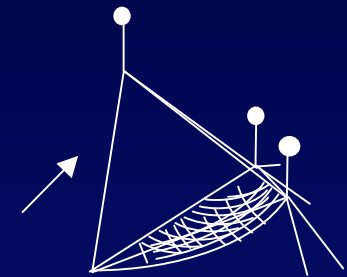
Science et nombre de miroirs en fonction de leur diamètre



Types d' architectures hypertélescope



- plat : nécessite des lignes à retard
- paraboloïde: nécessite d'être globalement pointable
- sphérique: nécessite un correcteur focal d'aberration sphérique
- fibré: nécessite des lignes à retard



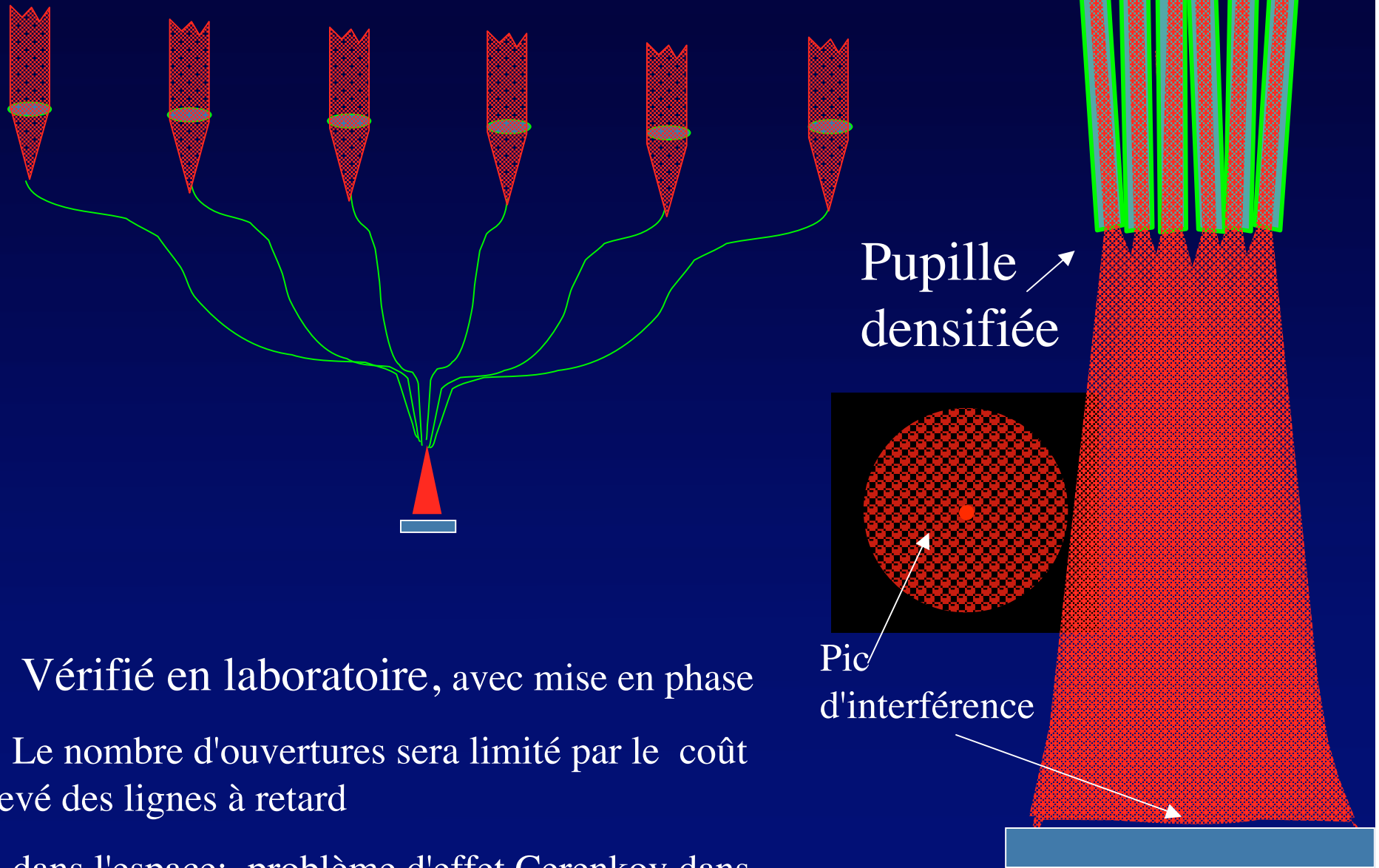
Interférométrie à travers des fibres optiques

- Essais en laboratoire par F.Patru et al. (2006)
- Essais à Mauna Kea, Hawaii par Guy Perrin
- Il projette de coupler les grands télescopes du site
- Nécessite de grandes lignes à retard



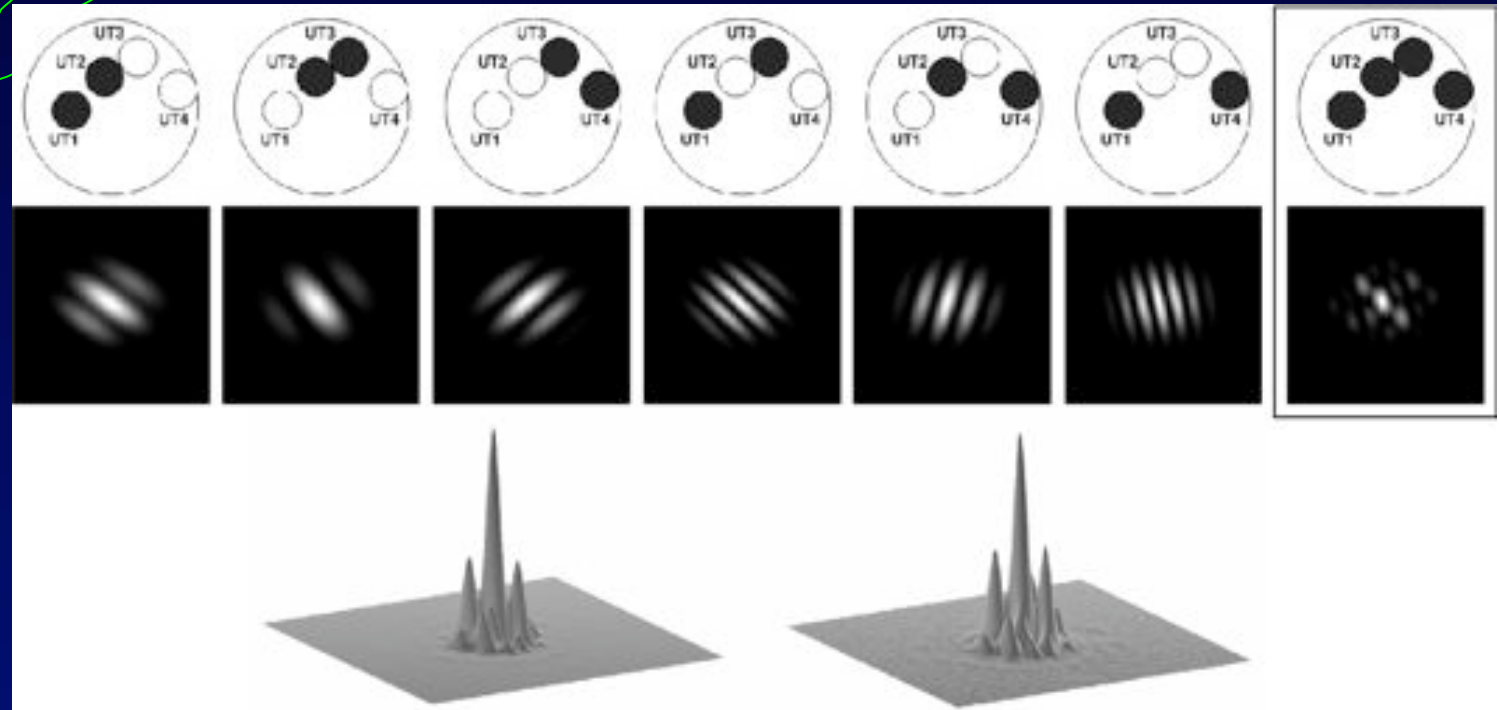
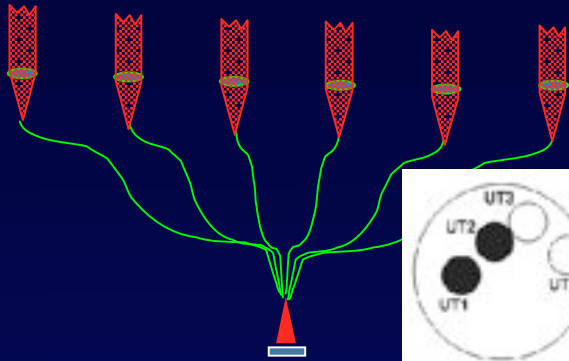
Télescopes de Mauna Kea, Hawaii

Hypertélescope à fibres optiques



- Vérifié en laboratoire, avec mise en phase
- Le nombre d'ouvertures sera limité par le coût élevé des lignes à retard
- dans l'espace: problème d'effet Cerenkov dans les fibres

Hypertélescope à fibres optiques



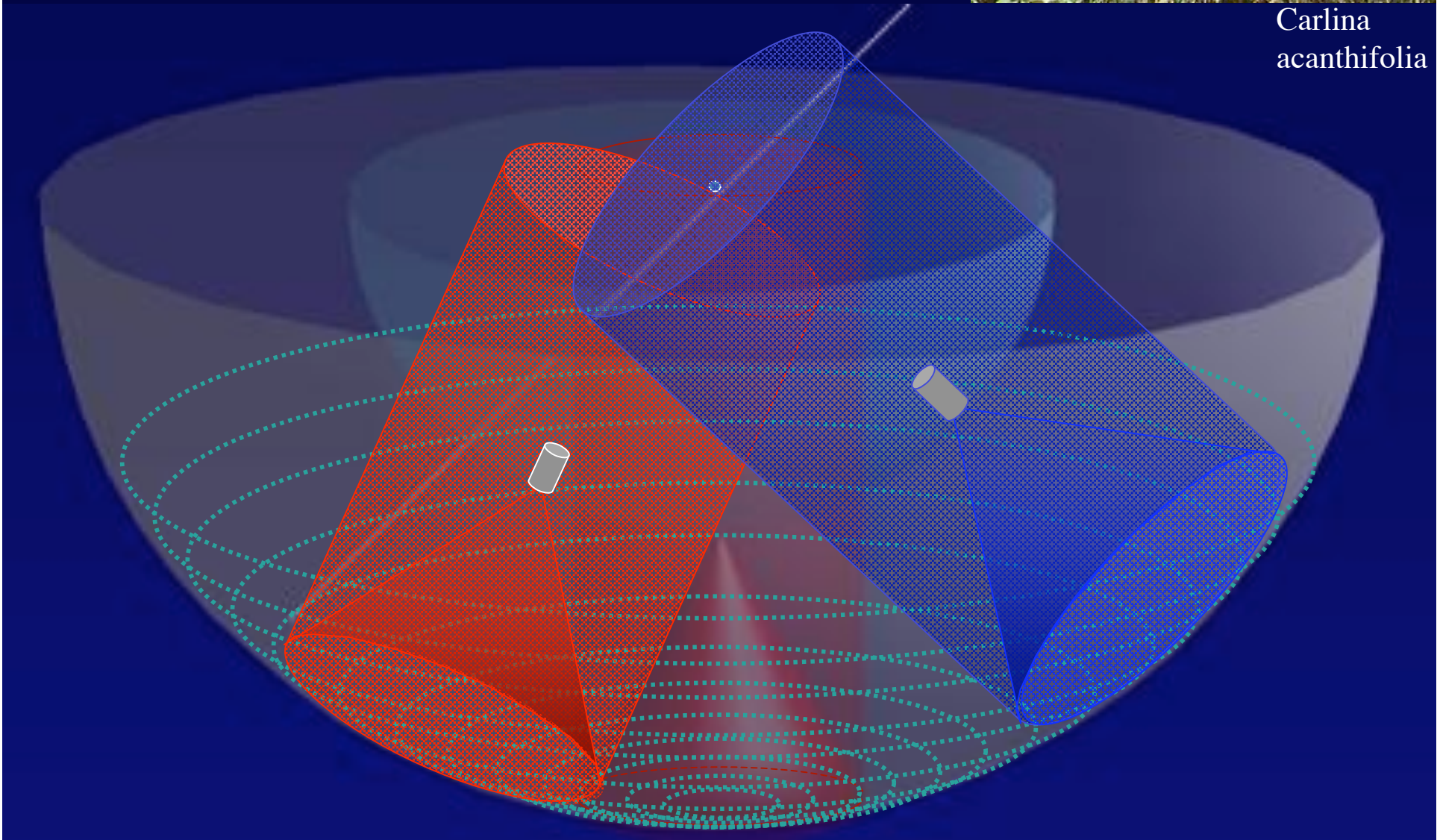
- Vérifié en laboratoire, avec mise en phase
 - Patru et al., 2008, thèse de F. Patru (2007)
 - S.Olivier (thèse 2007)
- proposé pour coronographie par Serabyn (2007)

Hypertélescopes :

La voie sphérique

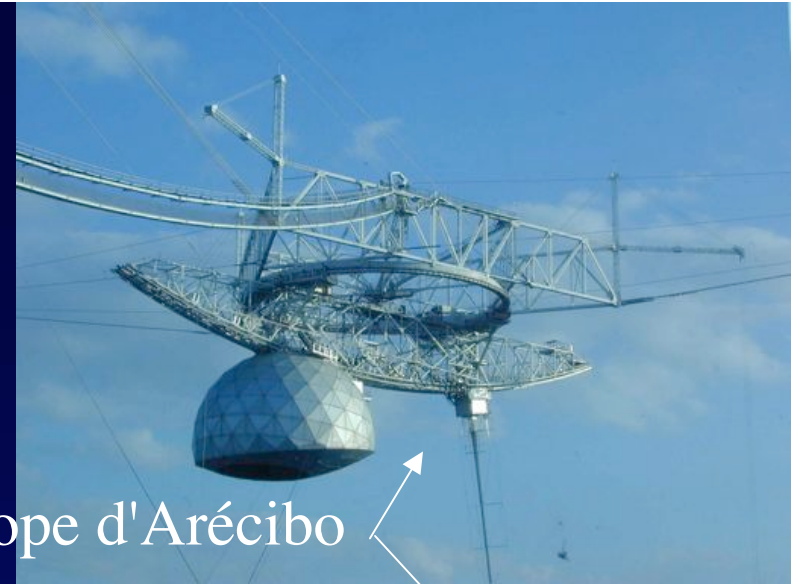


Carlina
acanthifolia



Hypertélescopes:

La voie sphérique, dite "Carlina"



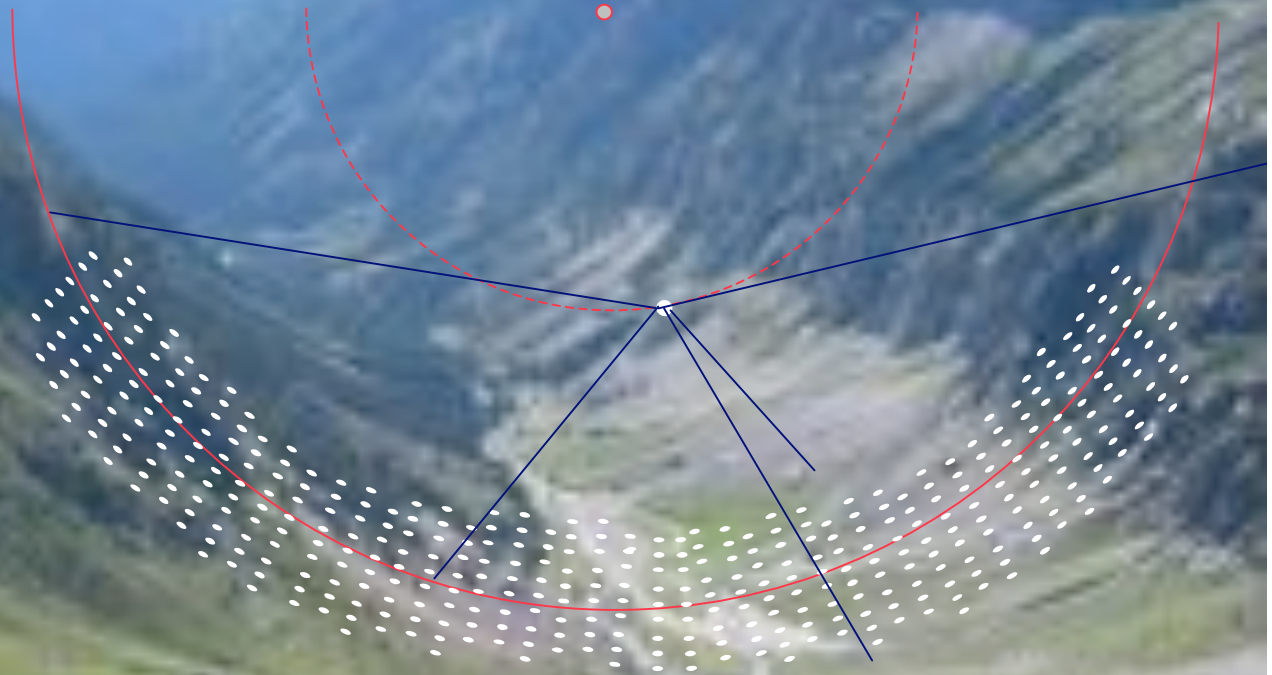
- version optique & diluée du radio-télescope d'Arécibo
- l'absence de lignes à retard autorise de nombreux miroirs
- site de forme hémisphérique, turbulence, nébulosité, accessibilité
- cratères de volcans ? Bien éteint, sans lac
- vallée profonde Est-Ouest ? Peut convenir pour observations méridiennes



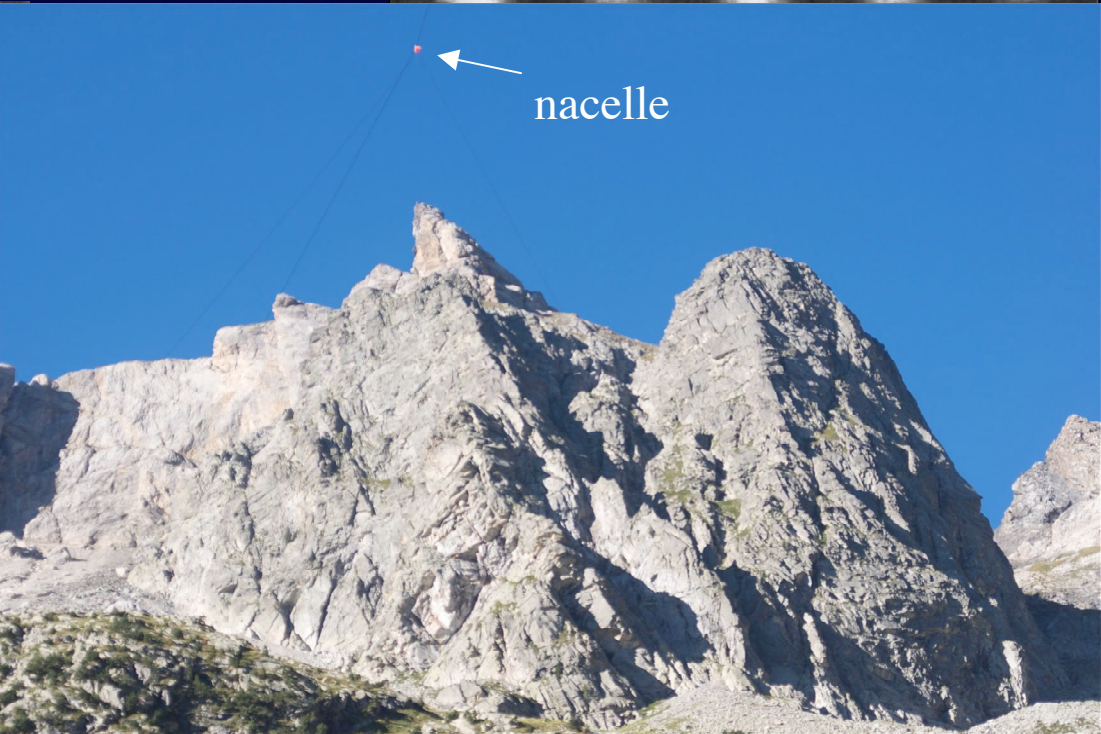
Ce que nous voulons faire :

une nouvelle génération de télescopes...

... les hypertélescopes

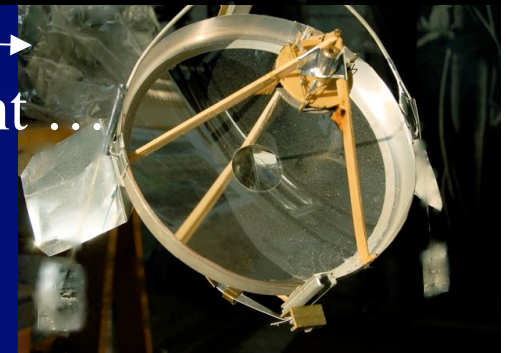


Essais d'un câble à Barrosa (Aout 2009)



Dans l'espace: flotilles interférométriques

- Fascinant : quelle limitation de résolution ?
- Proposées à NASA et ESA depuis 1982
 - TRIO (Labeyrie et al., 1982)
 - version lunaire LOVLI (Arnold et al. 1996)
 - DARWIN (Léger et Mariotti 1993)
 - TPF-I, version EED
 - EEI
 - SPECS (Mather et al.)
 - Luciola (Labeyrie et al. 2008)
- Pilotage complexe: les agences spatiales repoussent ...
- Comment simplifier ?

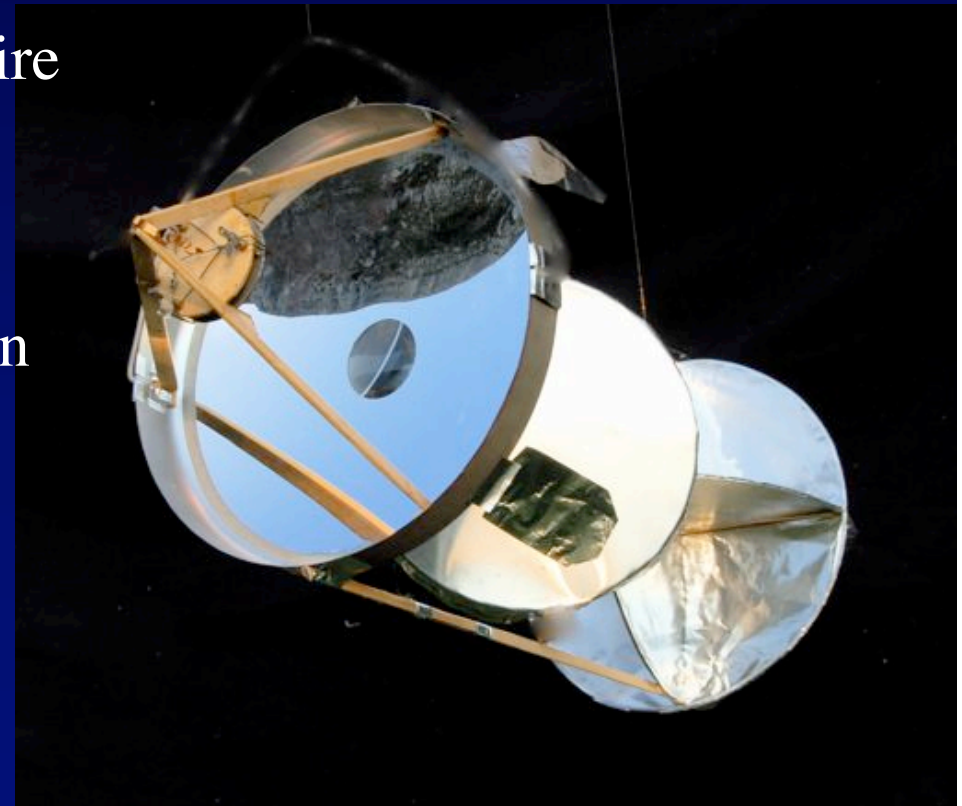


Concept *Luciola*, proposé à ESA Cosmic Vision (non sélectionné)

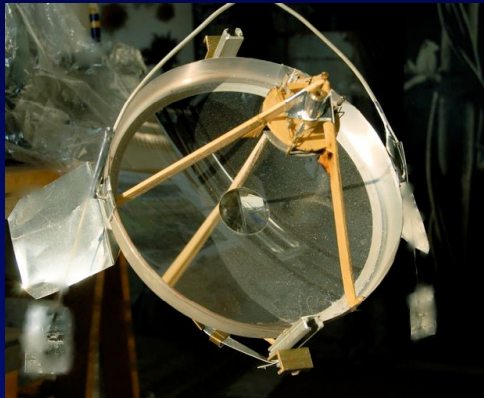
(Labeyrie et al., Exp.Astronomy 2009)

- flotille de nanosatellites, 1km
- Piloté par pression de radiation solaire

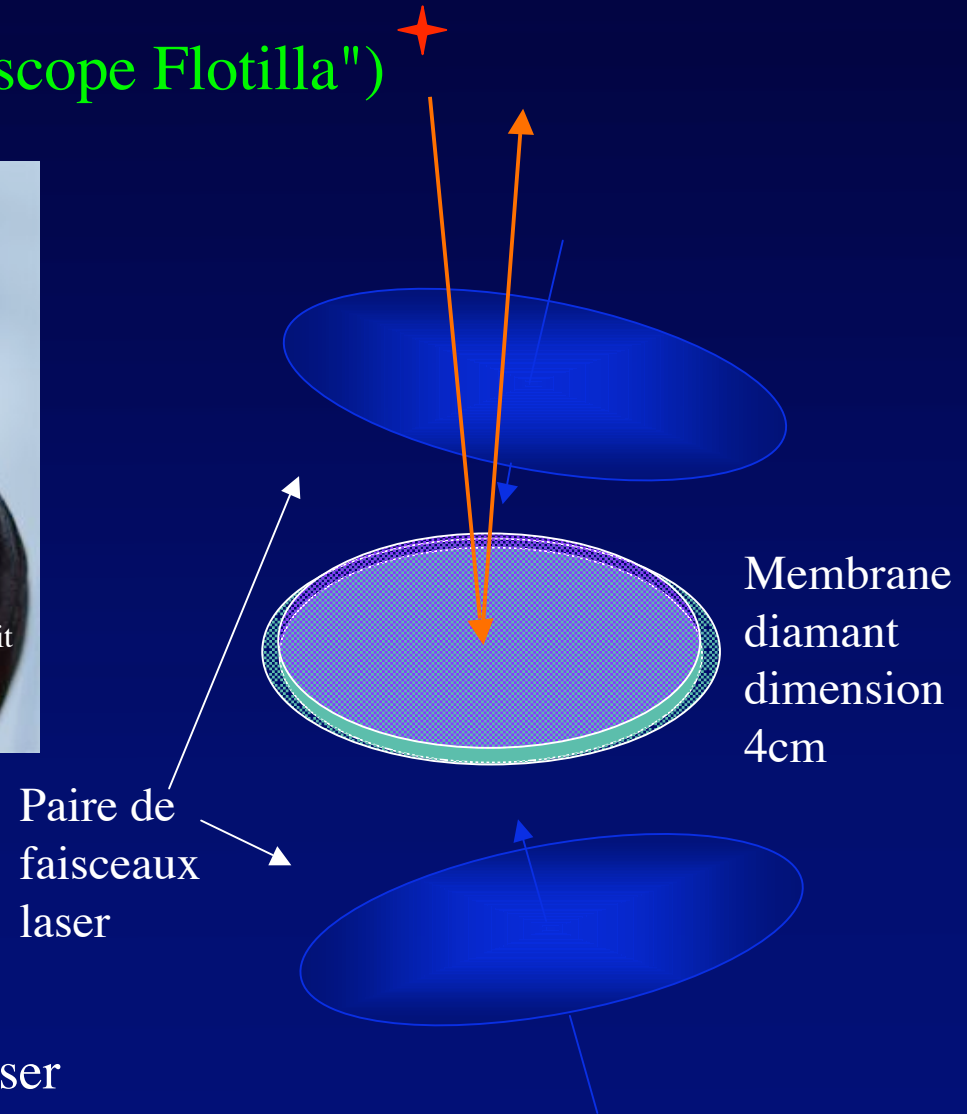
Maquette utilisée pour tester le
pilotage par pression de radiation



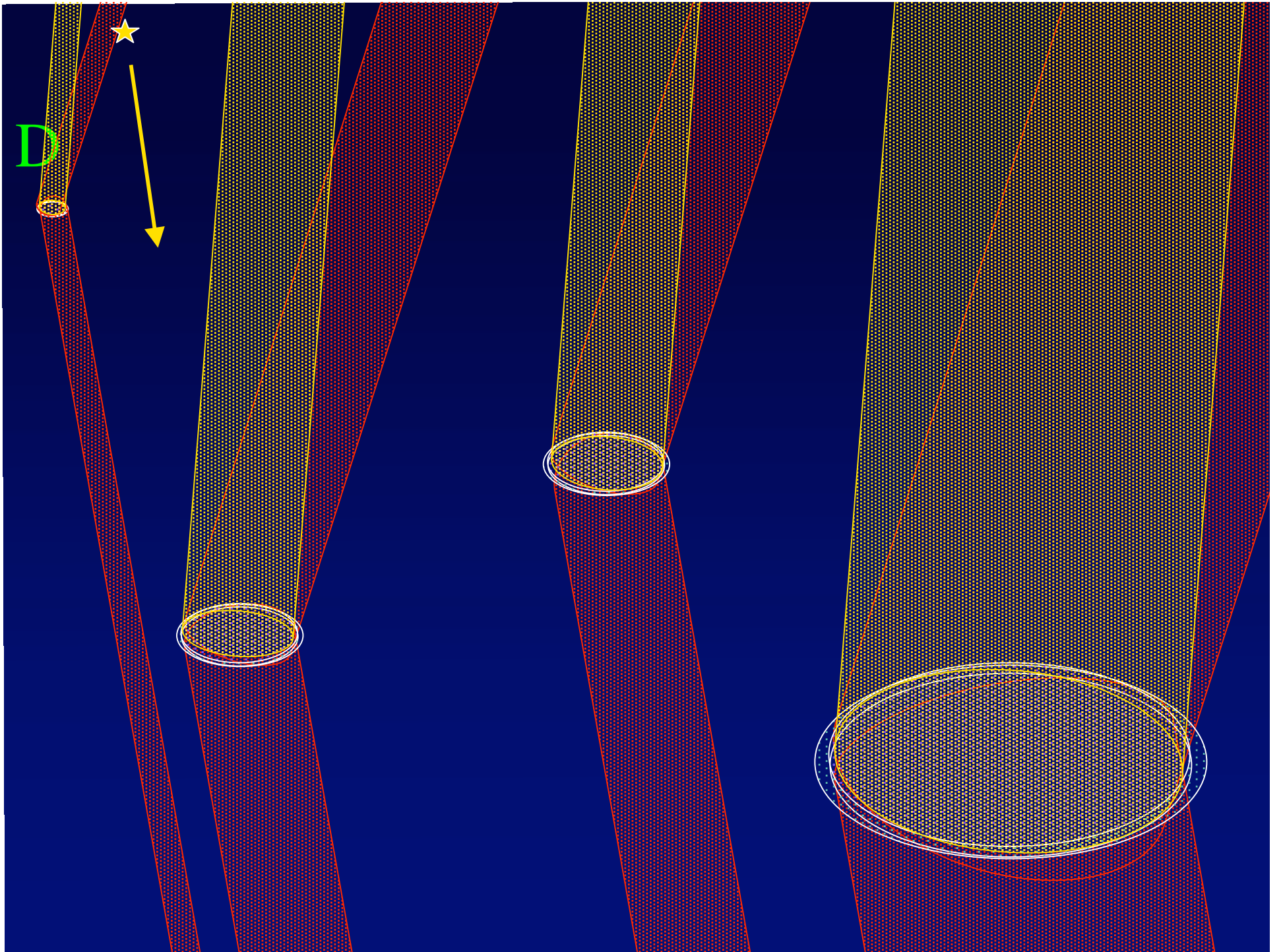
Pilotage précis de flotilles

- micro-fusées
- moteurs ioniques
- micro-voiles solaires (Luciola) → 
- nécessitent une mesure fine des positions et attitudes
- Piloter 5 degrés de liberté par satellite
- Vulnérabilité aux micro-météorites
- **évitable avec piégeage laser ?**

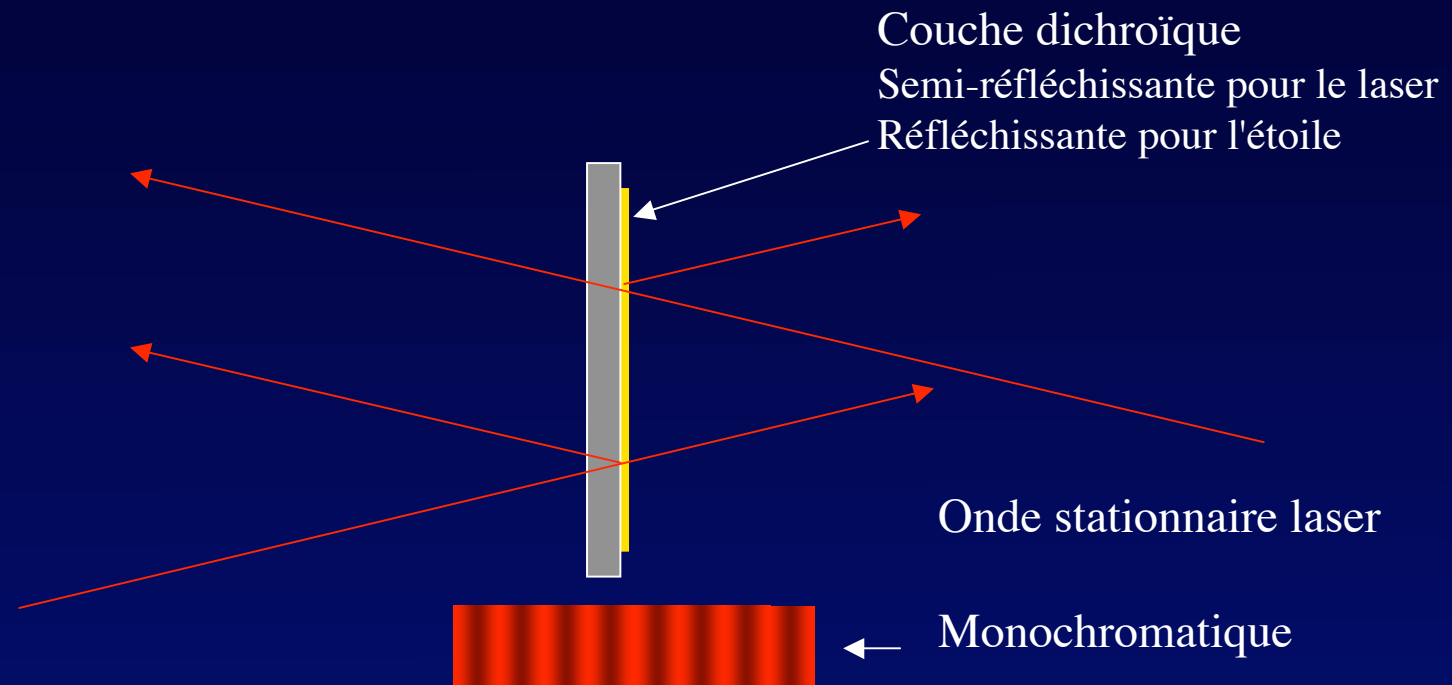
Dernière idée pour l'espace: Flotille hypertélescope piégée par laser ("Laser Trapped Hypertelescope Flotilla")



- des satellites passifs ...
- ... sous forme de miroirs piégés par laser

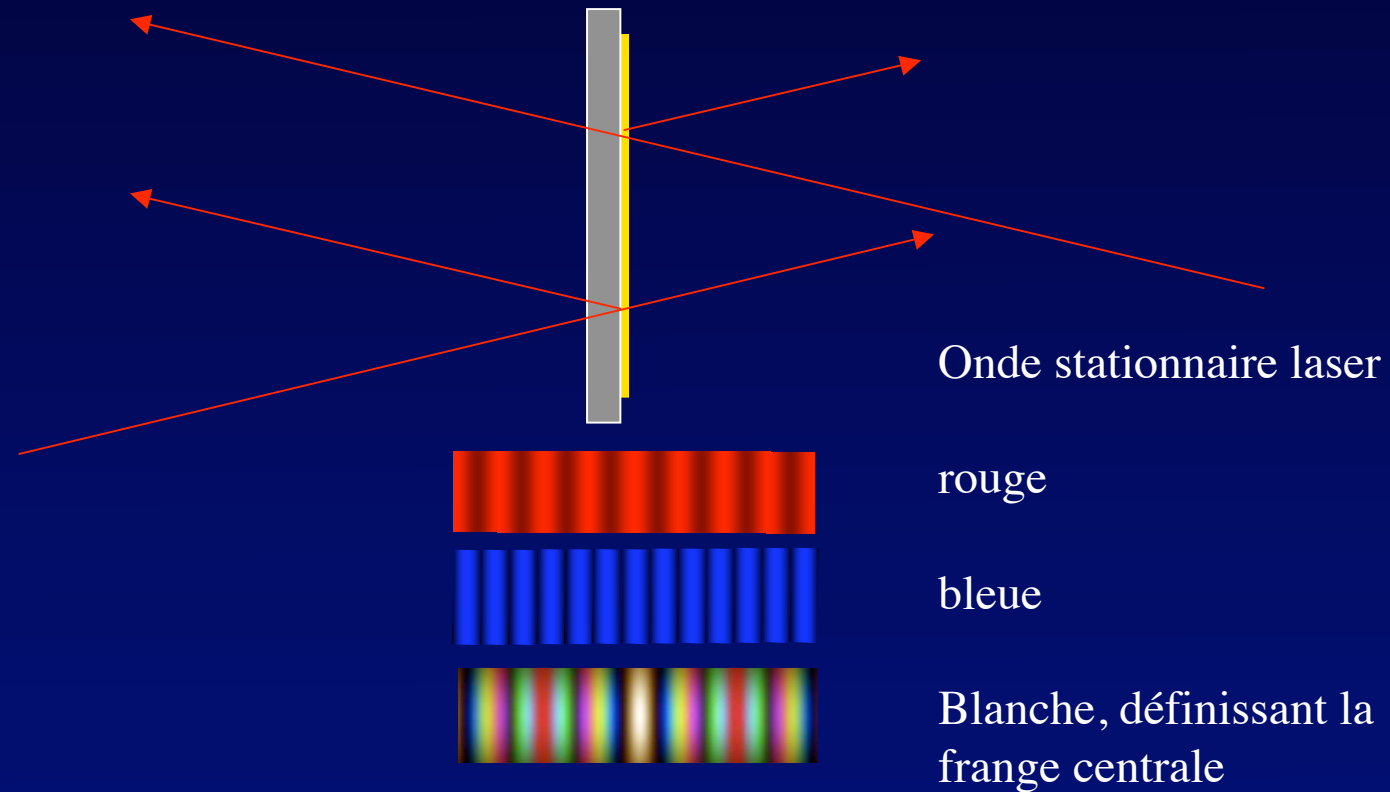


Principe du miroir piégé par laser (Labeyrie 1979, Guillon et al. 2006)



- l'interférence des faisceaux module les intensités émergentes...
- la lumière peut partir d'un côté ou de l'autre, en déplaçant la lame de $\lambda/4$
- la pression de radiation P/c s'inverse selon la position... à intervalles de $\lambda/4$
- la lame se piège sur la frange la plus proche

Privilégier la frange centrale en variant la longueur d'onde



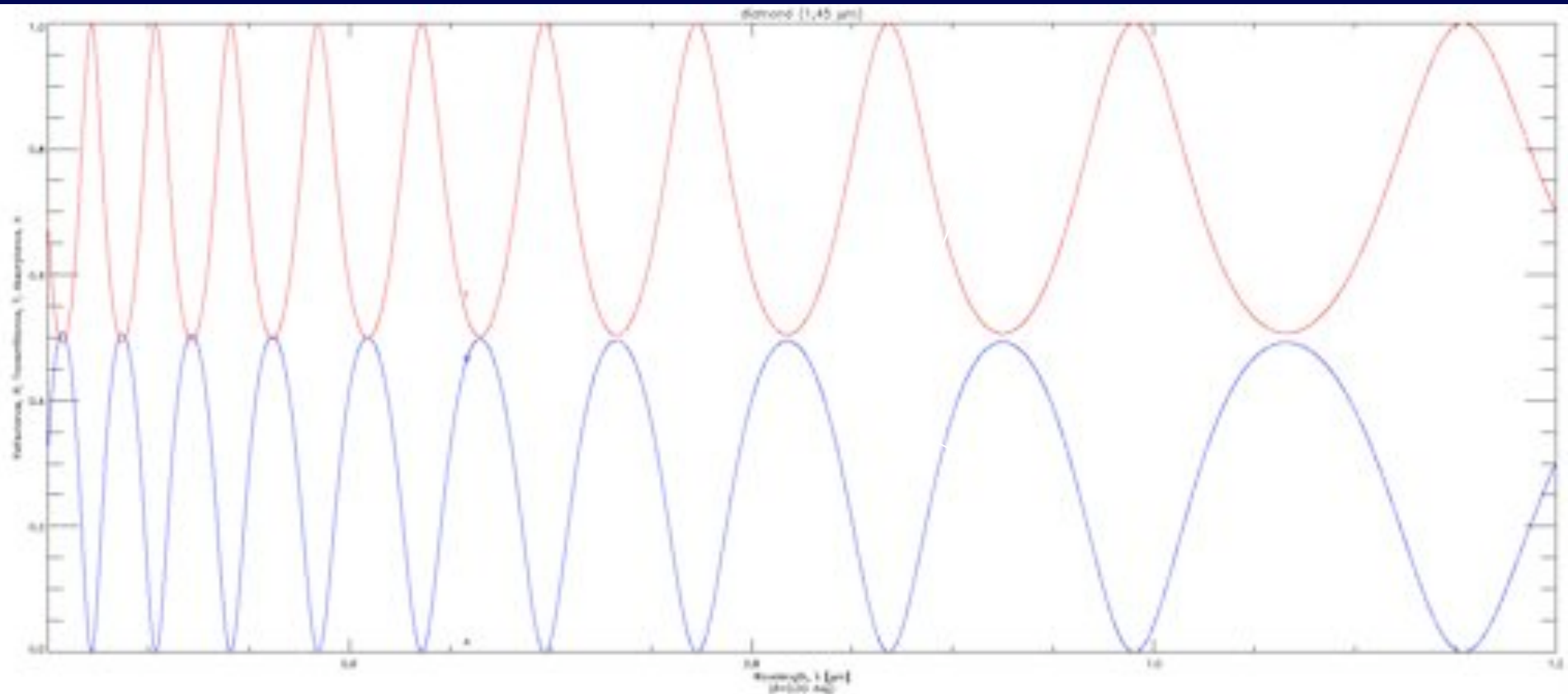
- la lame piégée est attirée vers la frange centrale en balayant du rouge au bleu la longueur d'onde laser , à répétition

Flotille hypertélescope piégée par laser: quel genre de membrane ?

- nitrocellulose (NPC) : explosif, instable
- diamant polycristallin : disponible, $R=T = 50\%$

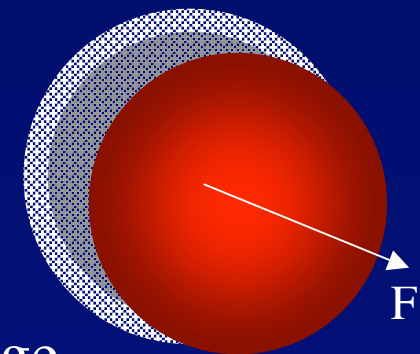
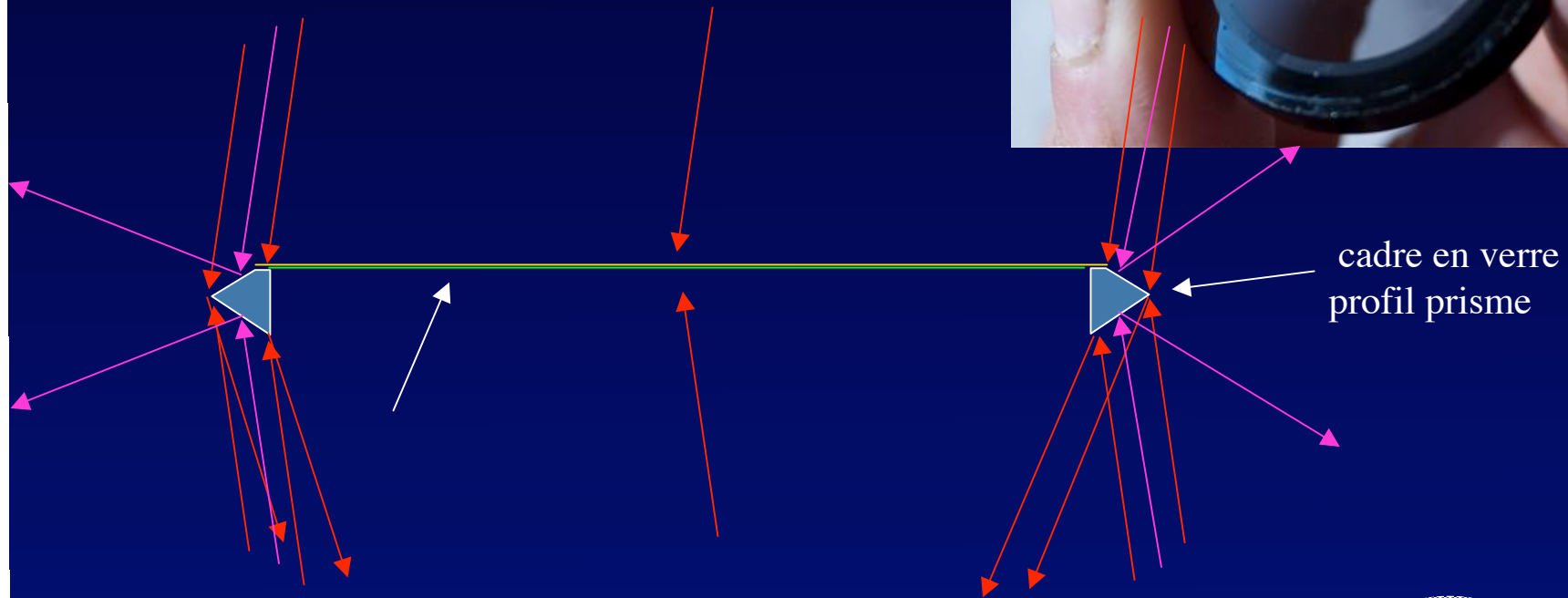


Miroir membrane
produit par National
Photocolor Corp.



Réflexion et transmission d'une membrane diamant ép. **1,45 micron** (calculé par P. Riaud)

Miroir membrane pour "Laser Trapped Hypertelescope Flotilla"

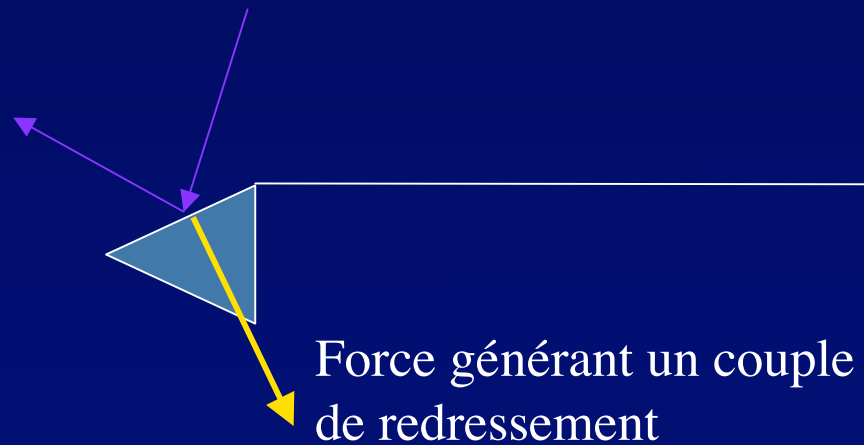


Auto-centrage

Piégeage transverse : Auto-centrage par effet de "pincette laser"



L' attitude s'auto-ajuste aussi

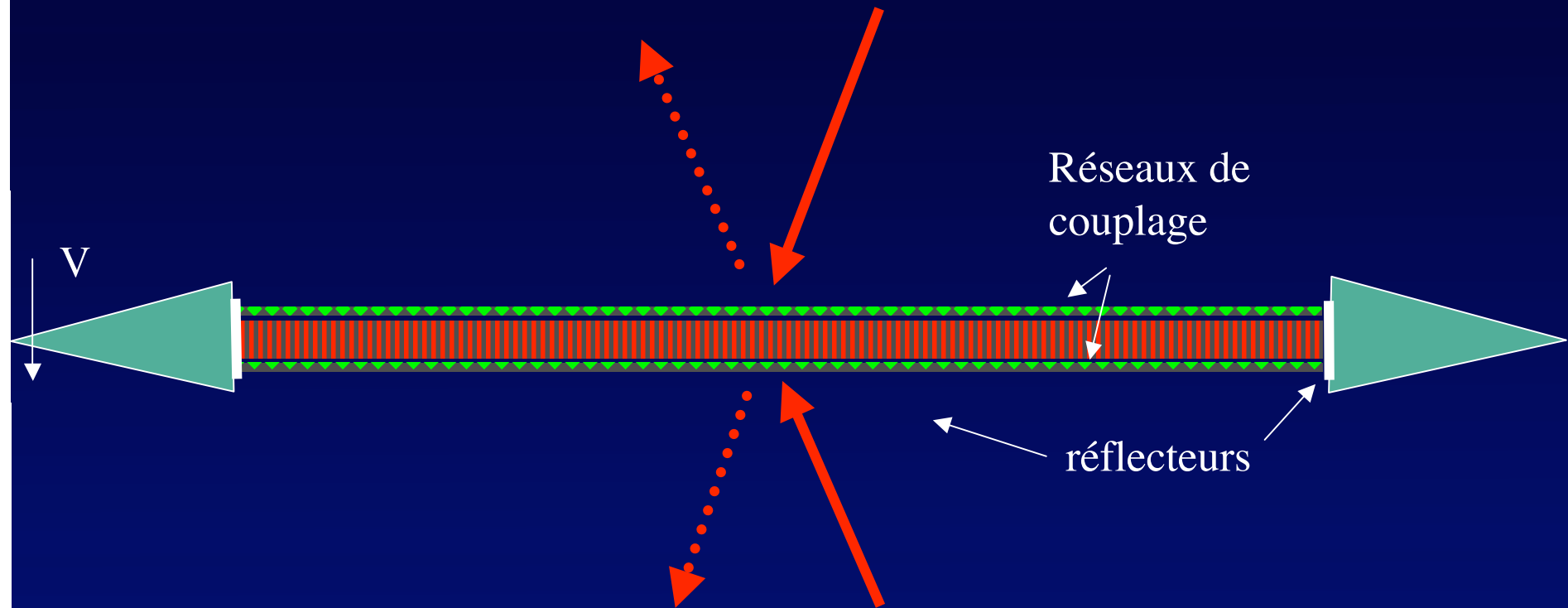


Amortir l'oscillation



- L'excitation par les photons infra-rouges s'accumule
- Amortisseur:
 - Des micro-cerises ? Queue flexible, inélastique, absorbe l'énergie
 - membrane flexible ?
 - Amortisseur optique ?
- .

Amortisseur optique par résonateur transverse ?



- pour créer un terme d'amortissement ...
- ... rendre R & T sensibles à la longueur d'onde, donc à V ...
- ... par une cavité résonante transverse, à haut gain
- difficultés: modes complexes dans le disque

"Laser-Trapped Hypertelescope Flotilla" ou "Luciola-LT"

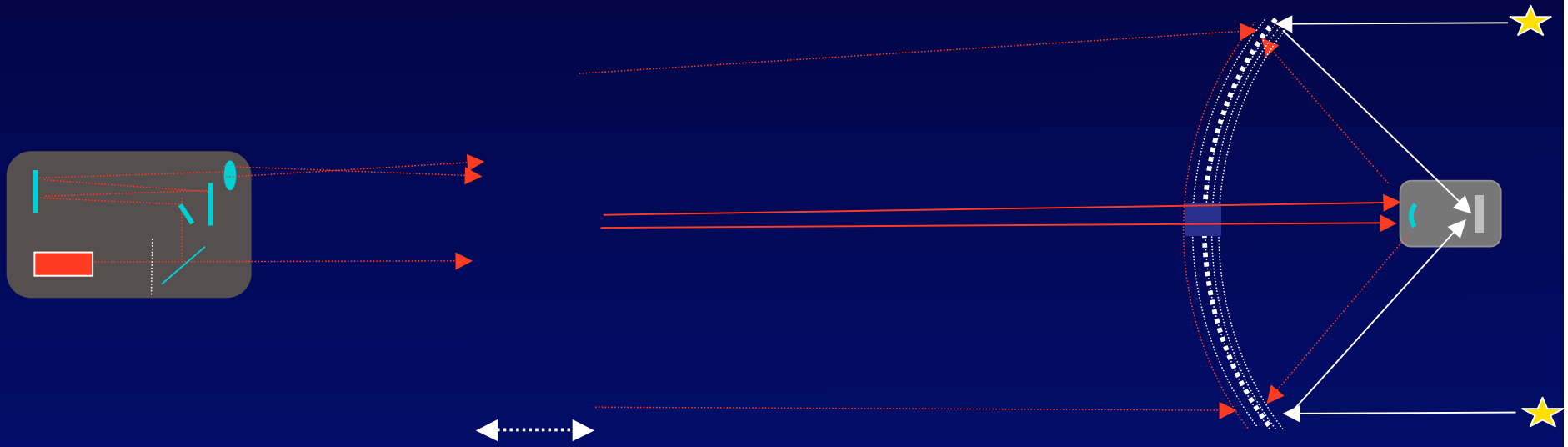
(Labeyrie et al., Experimental Astronomy, 2009)

Extensible vers une flotille de 100km ?

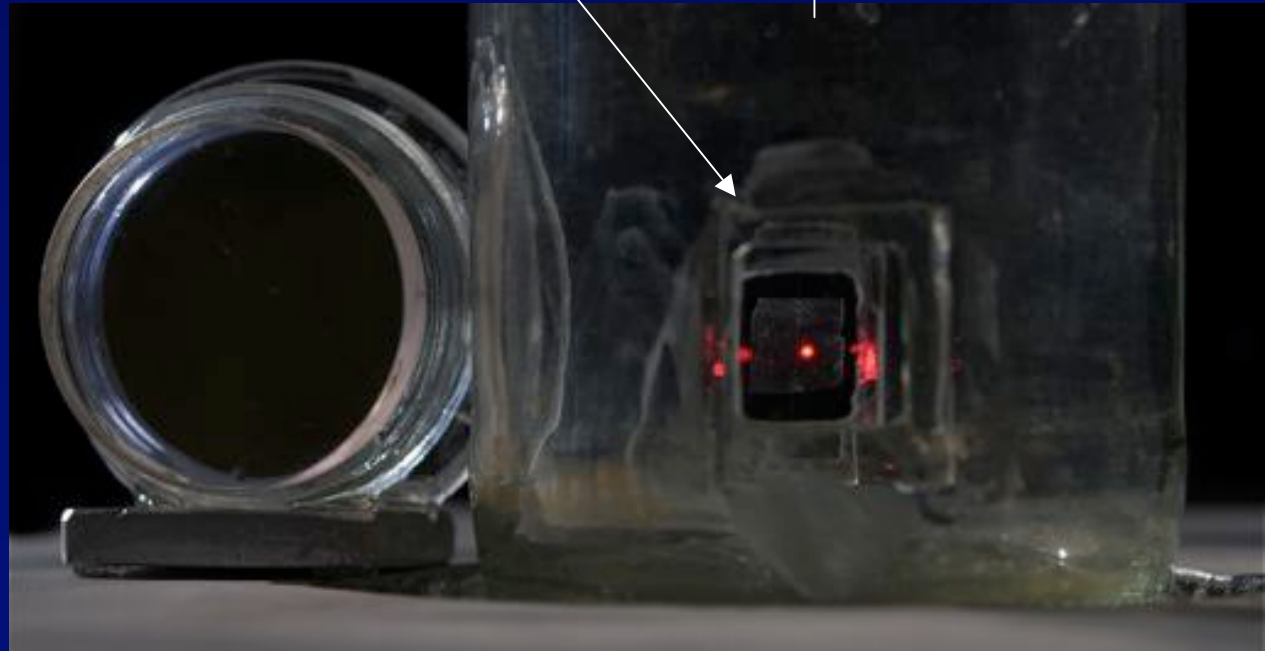
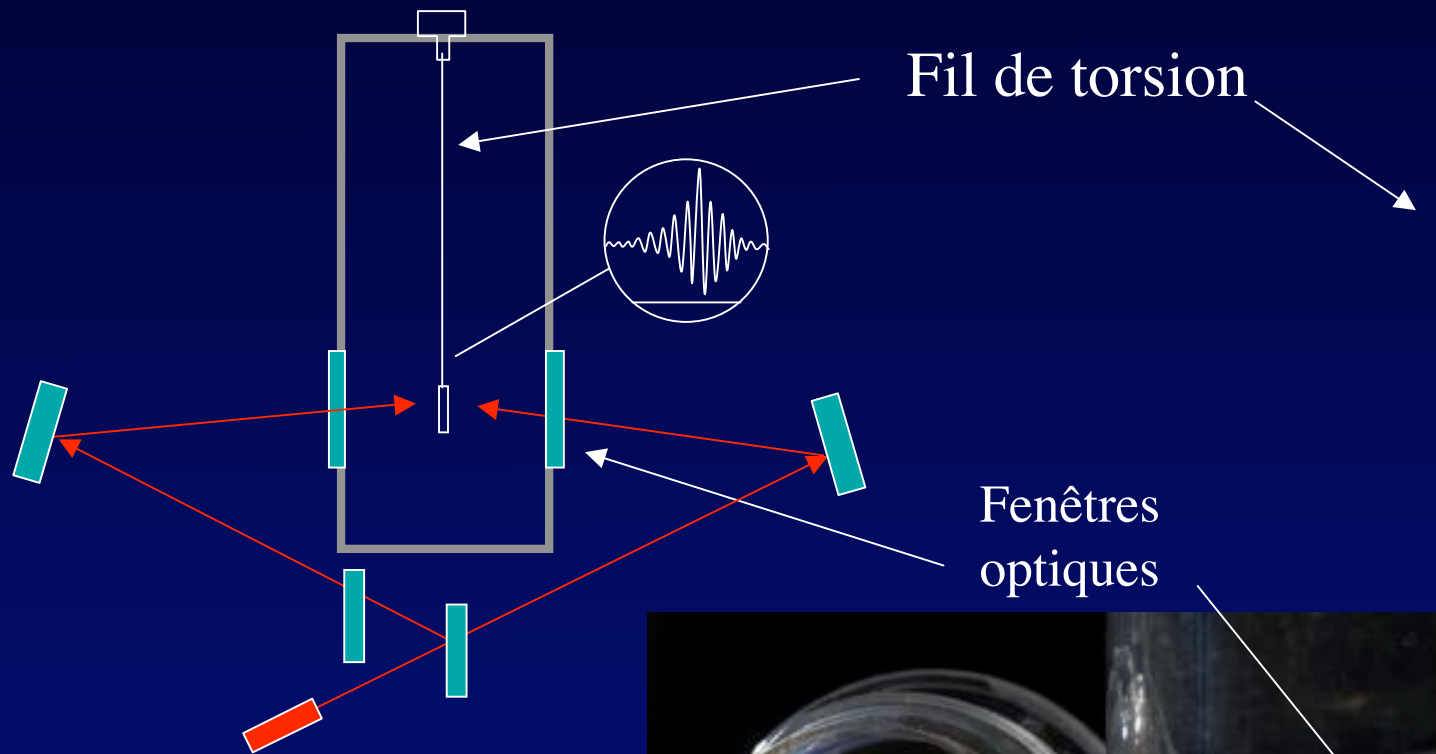
"Laser Trapped Exo-Earth Imager (LT-EEI)"



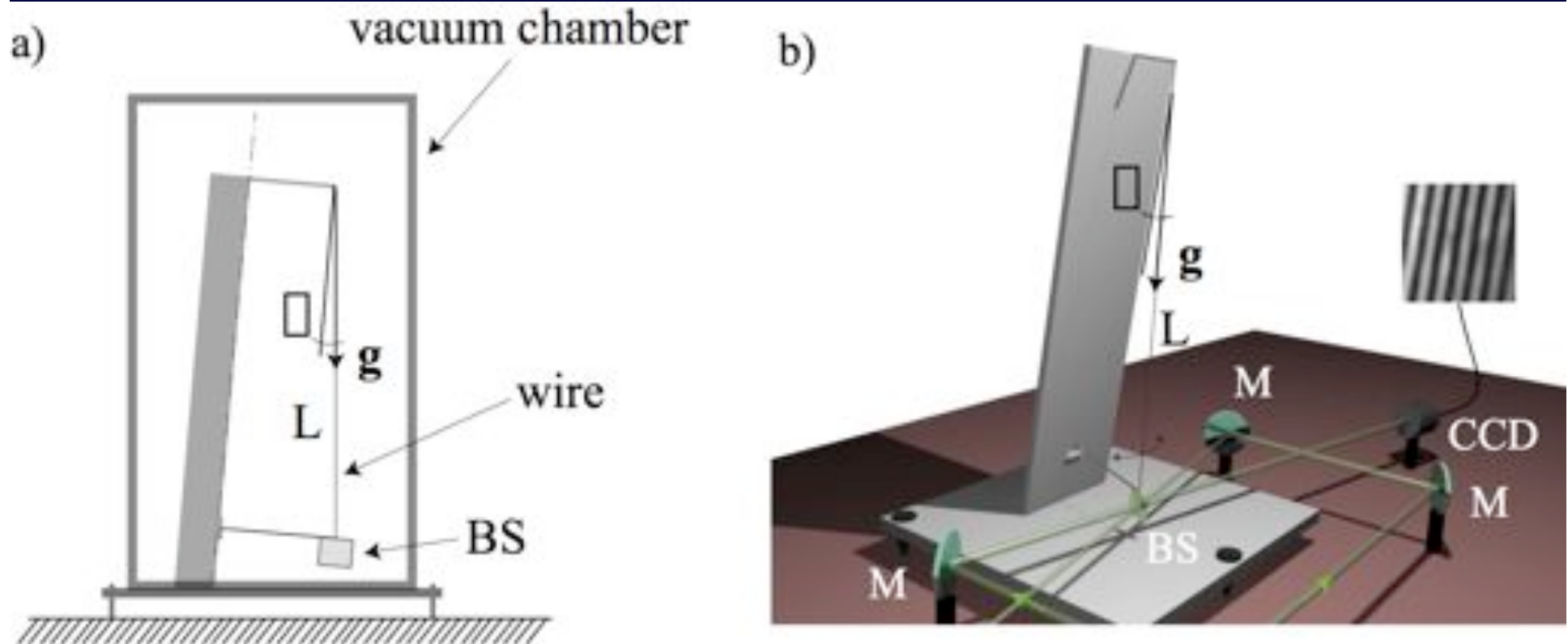
Laser trapped hypertelescope flotilla: 2 satellites nécessaires au moins , avec ligne à retard virtuelle



Essais en laboratoire



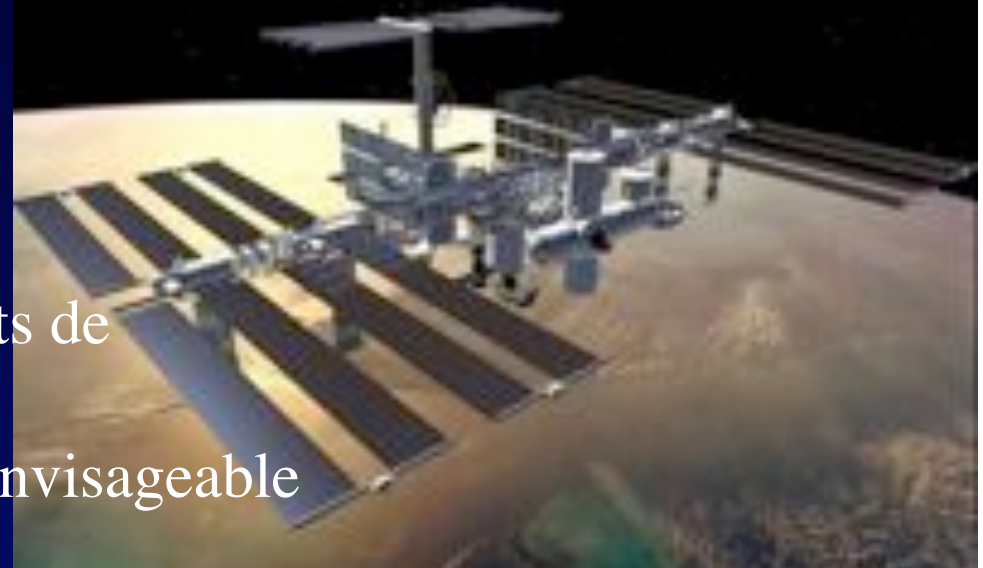
Montage d'essai en laboratoire par U.Bortolozzo & S.Residori



- lame à suspension "sismographe porte de jardin"
- très sensible
- sous vide poussé, éliminant l'effet du mouvement Brownien
- laser à argon 100W,
- détection de mouvement par lumière lente (Bortolozzo et al. 2)

Essais envisagés dans la "International Space Station"

- gravité résiduelle :
0,2 micro-g or 2 micron.s-2
- Acceptable avec quelques Watts de puissance laser
- satellite geostationnaire aussi envisageable



Laboratoire Columbus (ESA)
racks reliés au vide extérieur

