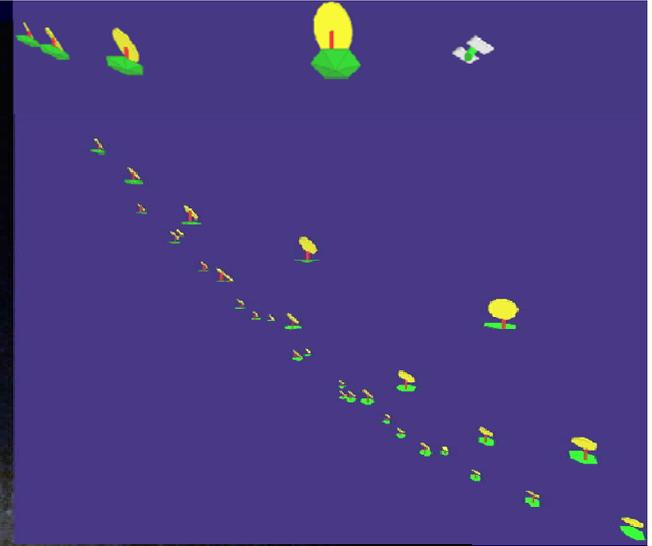


# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Fichiers des cours précédents sur: [www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast\\_obs/annee\\_20082009.htm](http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast_obs/annee_20082009.htm)
- Articles sur: [www.oamp.fr/lise](http://www.oamp.fr/lise)

- 9 Mars:

Cours 5: Hypertélescopes dans l'espace: essai récent PRISMA et miroirs piégés par laser

Séminaire: **Jean Schneider** "Les perspective a long et très long terme de l'exoplanétologie: optimisme ou pessimisme?"

- 16 Mars:

Cours 6: Hypertélescopes dans l'espace: recherche de vie et cosmologie

Séminaire: **Andrea Chiavassa** "La surface tachée de Betelgeuse: un zoom sur sa dynamique atmosphérique"

- 11 - 13 Mai: **cours et séminaires à Grenoble**

aujourd'hui:

# Hypertélescopes dans l'espace

essai récent de vol en formation et miroirs piégés par laser

QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette

- A 15h:  
séminaire de Jean Schneider ( Observatoire de Paris-Meudon)  
« Les perspective a long et très long terme de  
l'exoplanétologie: optimisme ou pessimisme? »



Mieux voir les étoiles,  
leurs planètes: présence de vie ?  
les galaxies,  
l'univers lointain

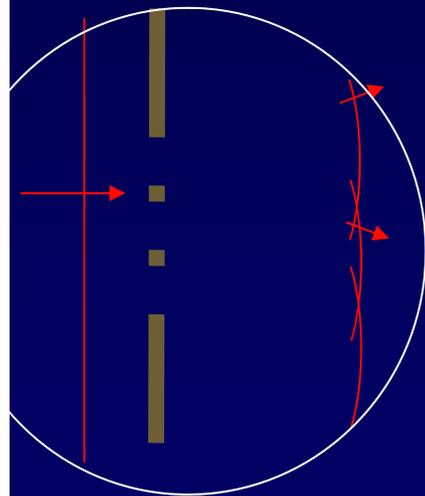
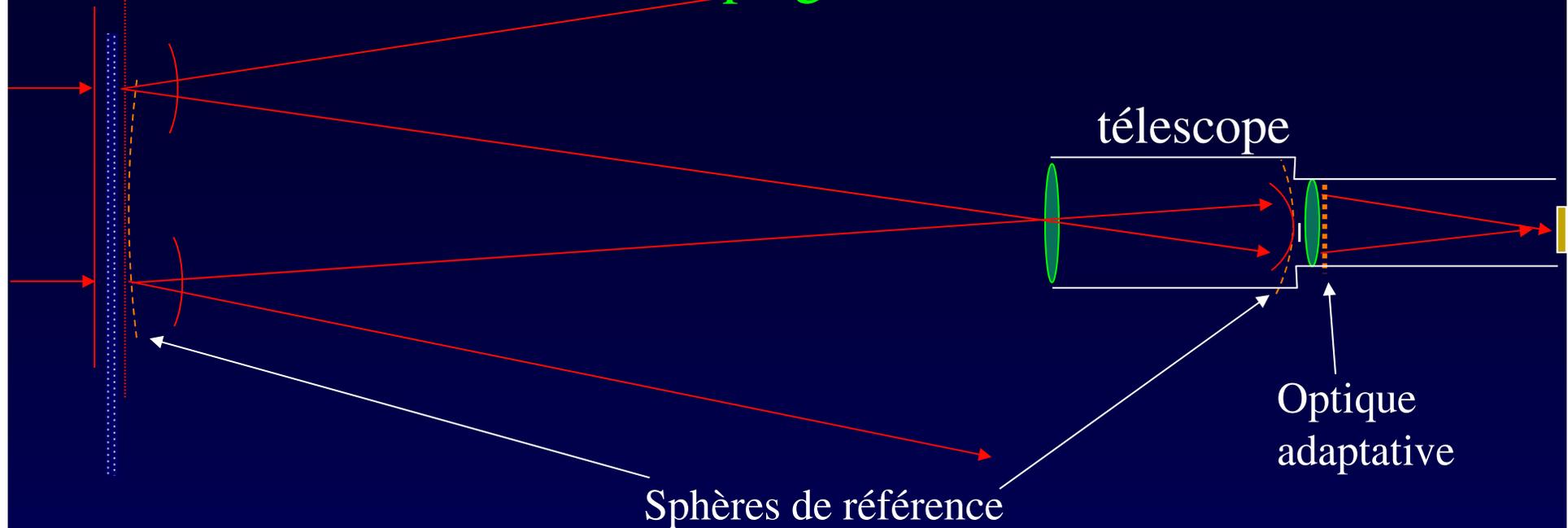
En attendant les hypertélescopes de l'espace...  
Exploiter la lumière diffractée de diffuseurs naturels ?



Saturne masquant le Soleil:  
vue par Cassini à 2 millions de km



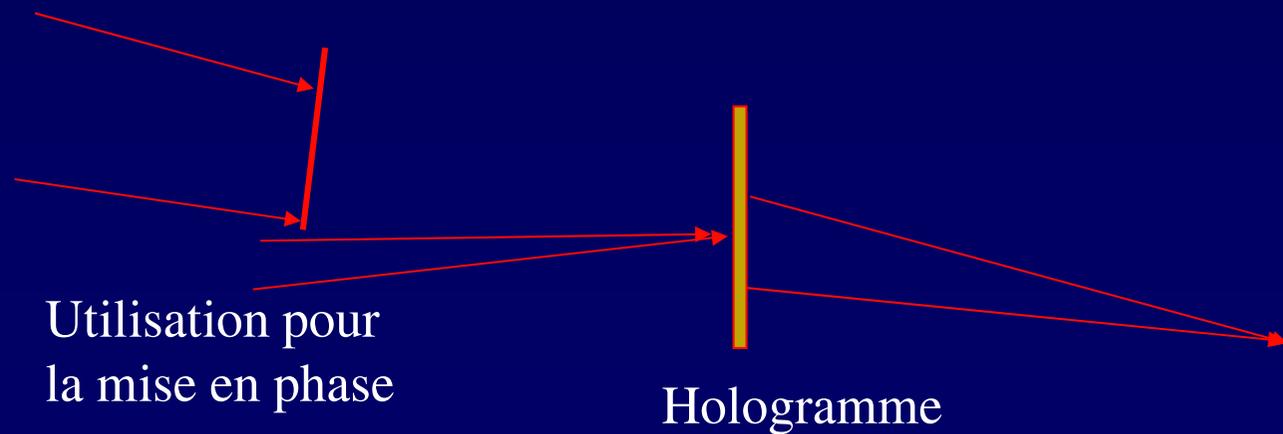
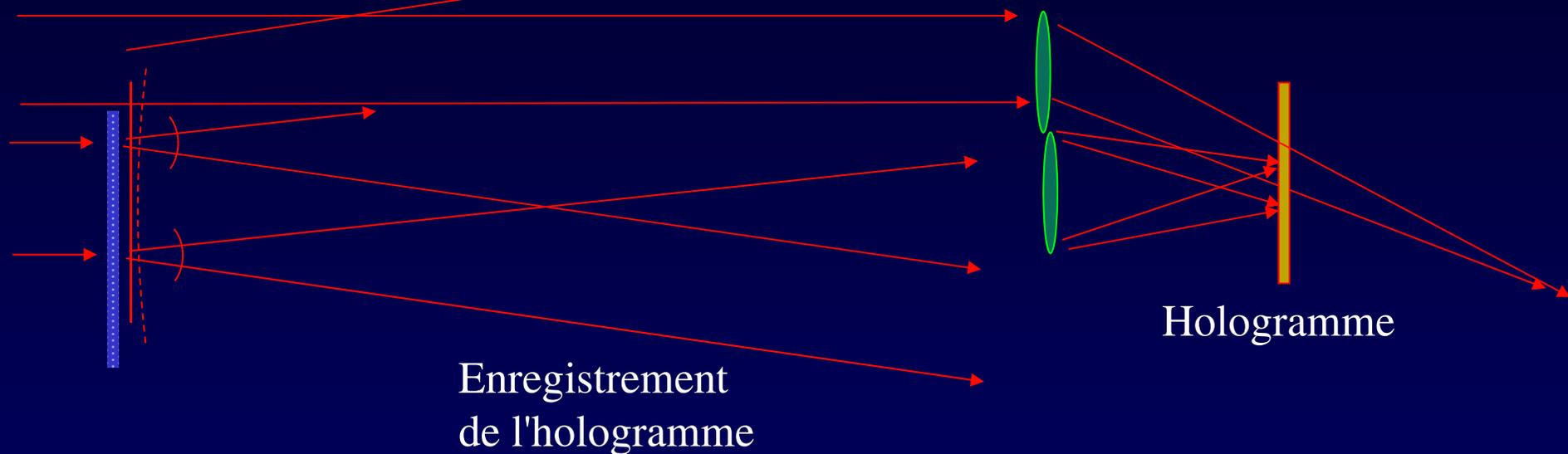
# Fonctionnement du télescope géant



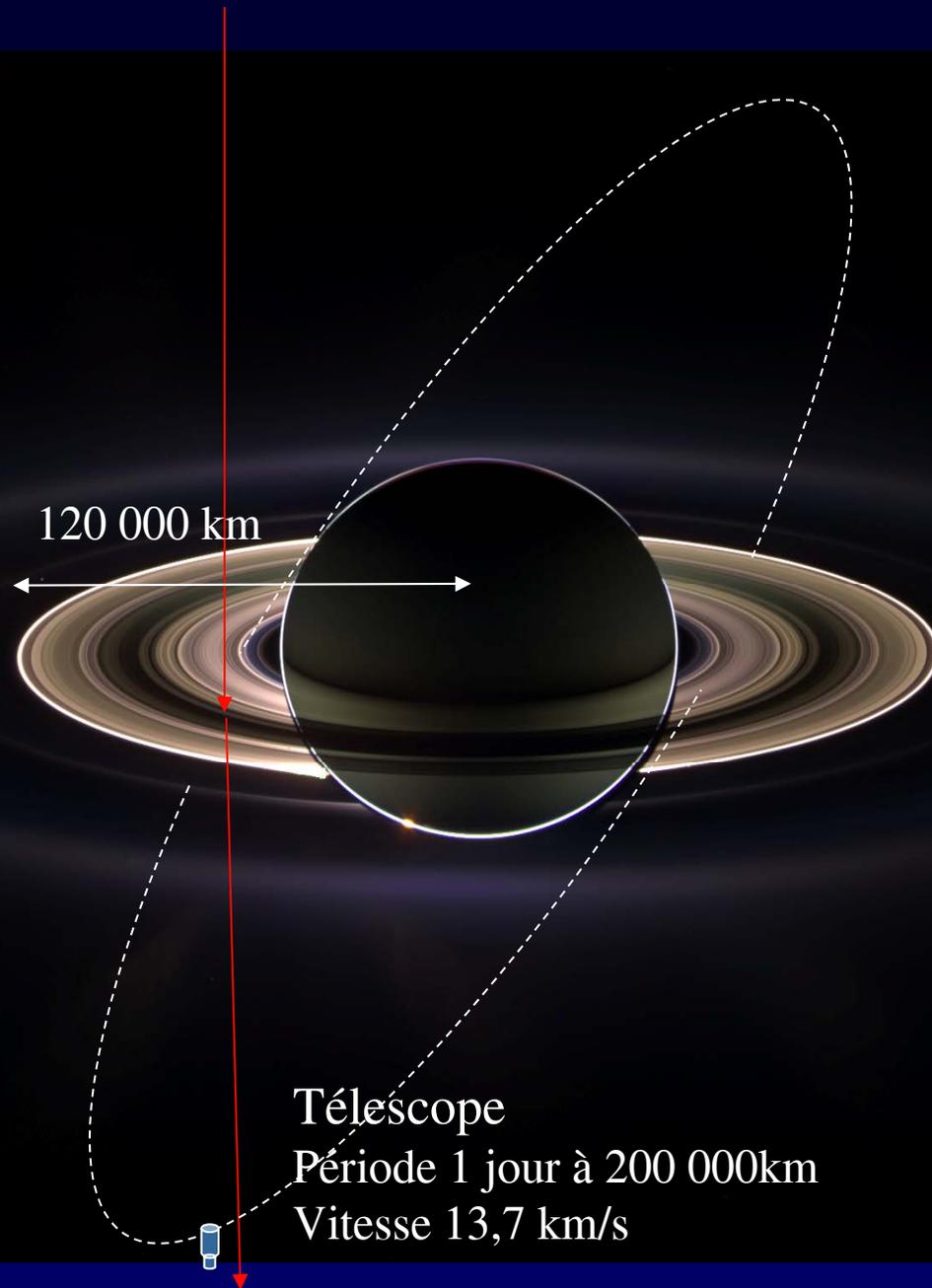
- La dimension des speckles est celle des particules (qui ne sont pas résolues par le télescope)
- Laquelle détermine donc le flux lumineux par speckle
- Nombre de resels dans l'ouverture virtuelle = nombre de speckles

A faire:

Simulation en laboratoire, avec mise en phase par hologramme remplaçant l'optique adaptative



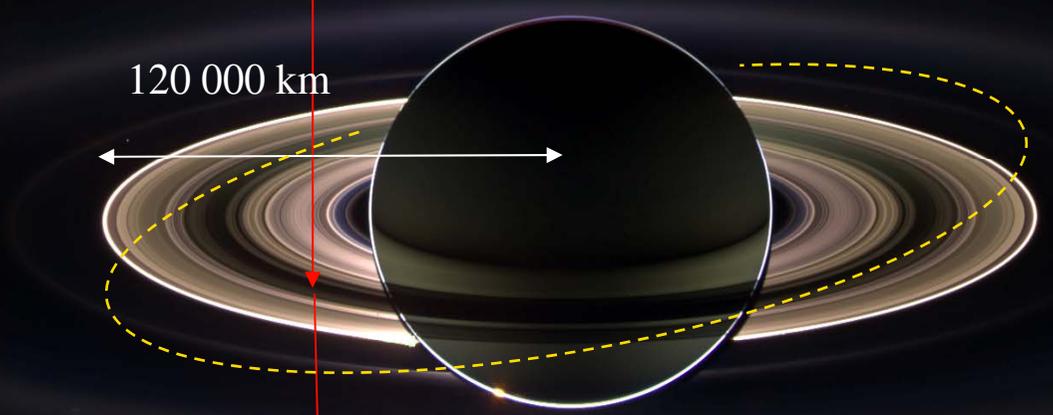
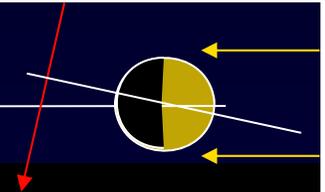
# Anneaux de Saturne



120 000 km

Télescope  
Période 1 jour à 200 000km  
Vitesse 13,7 km/s

# Anneaux de Saturne



## Astéroïde Hartley 2

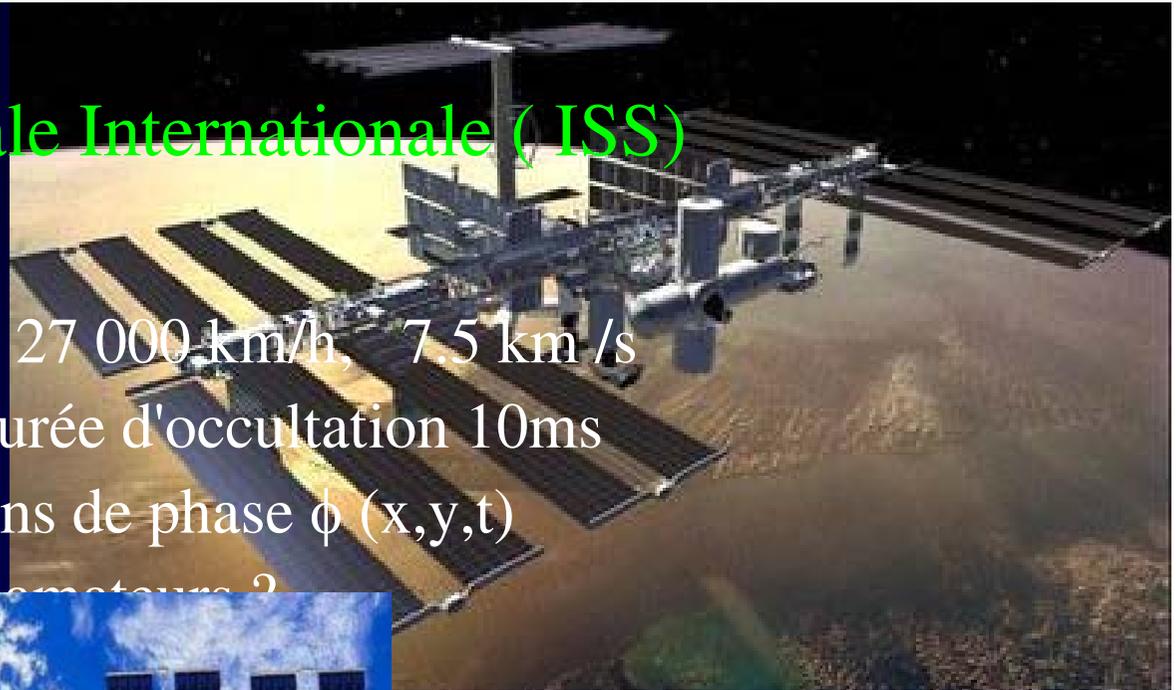
- Enveloppe de neige ? Flocons de 1cm ?
- Mouvement très lent



Candidat diffuseur :

## Station Spatiale Internationale (ISS)

- altitude 340 km, vitesse 27 000 km/h, 7.5 km /s
- Vue depuis la Terre: durée d'occultation 10ms
- Pré-calculer les corrections de phase  $\phi(x,y,t)$
- Proposer aux astronomes amateurs ?

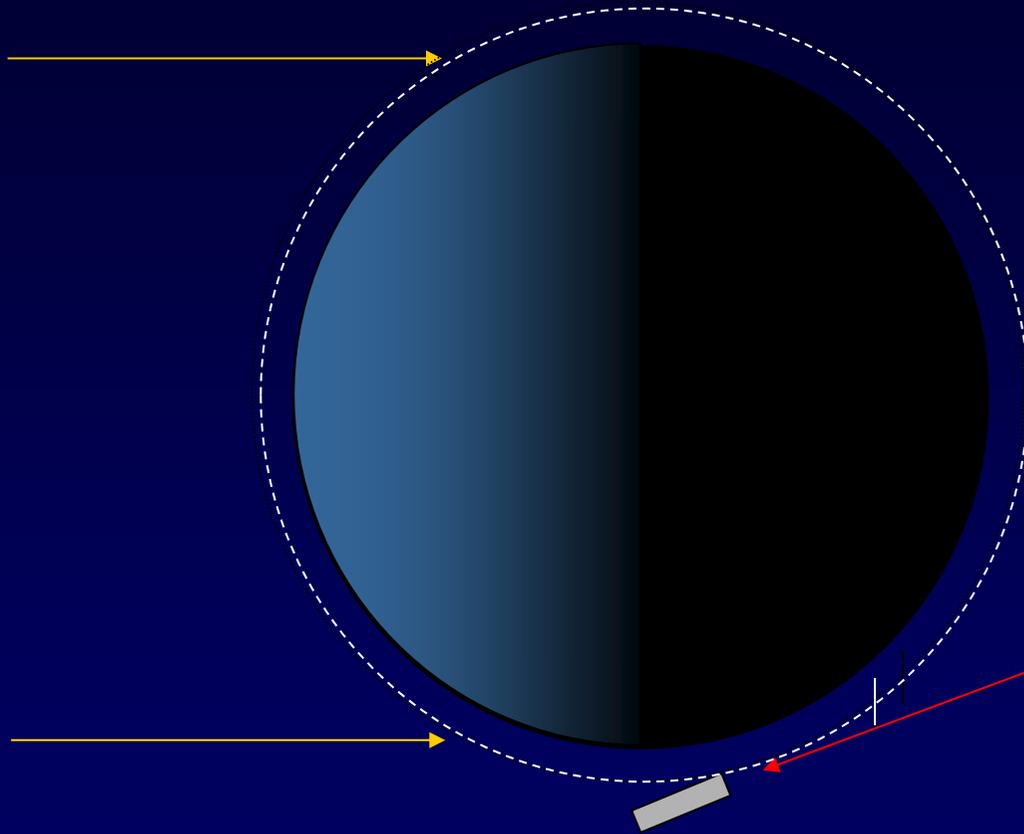


ISS devant le Soleil  
photo Th. Legault



Telescope diffractif :

ISS et Hubble ?



# Anneaux de Saturne pour haute résolution ?

## Conclusions provisoires



- Grosses particules nécessaires pour luminosité suffisante
- Sur Saturne : approcher à quelques diamètres ? sonde spécialement équipée => couteux et pas immédiat
- Sur ISS : peut-être possible depuis la Terre ou orbite ?  
pour amateurs, en groupe, avec plusieurs télescopes mobiles ?
- sur astéroïdes ? préciser les cas favorables



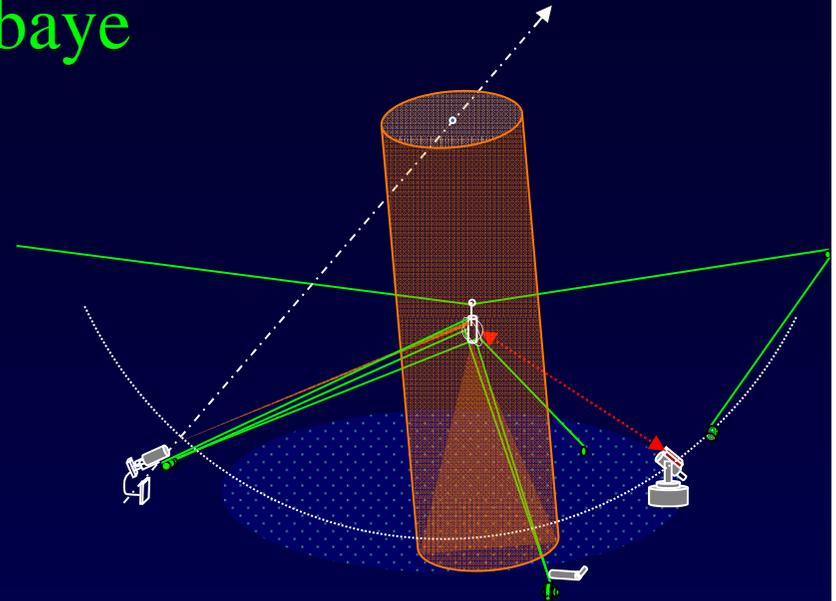


QuickTime™ et un décompresseur  
Photo - JPEG sont requis pour visualiser  
cette image.



Mais revenons sur Terre ...  
... pour y préparer les versions spatiales d'hypertélescope

# Essais d'un hypertélescope dans l'Ubaye

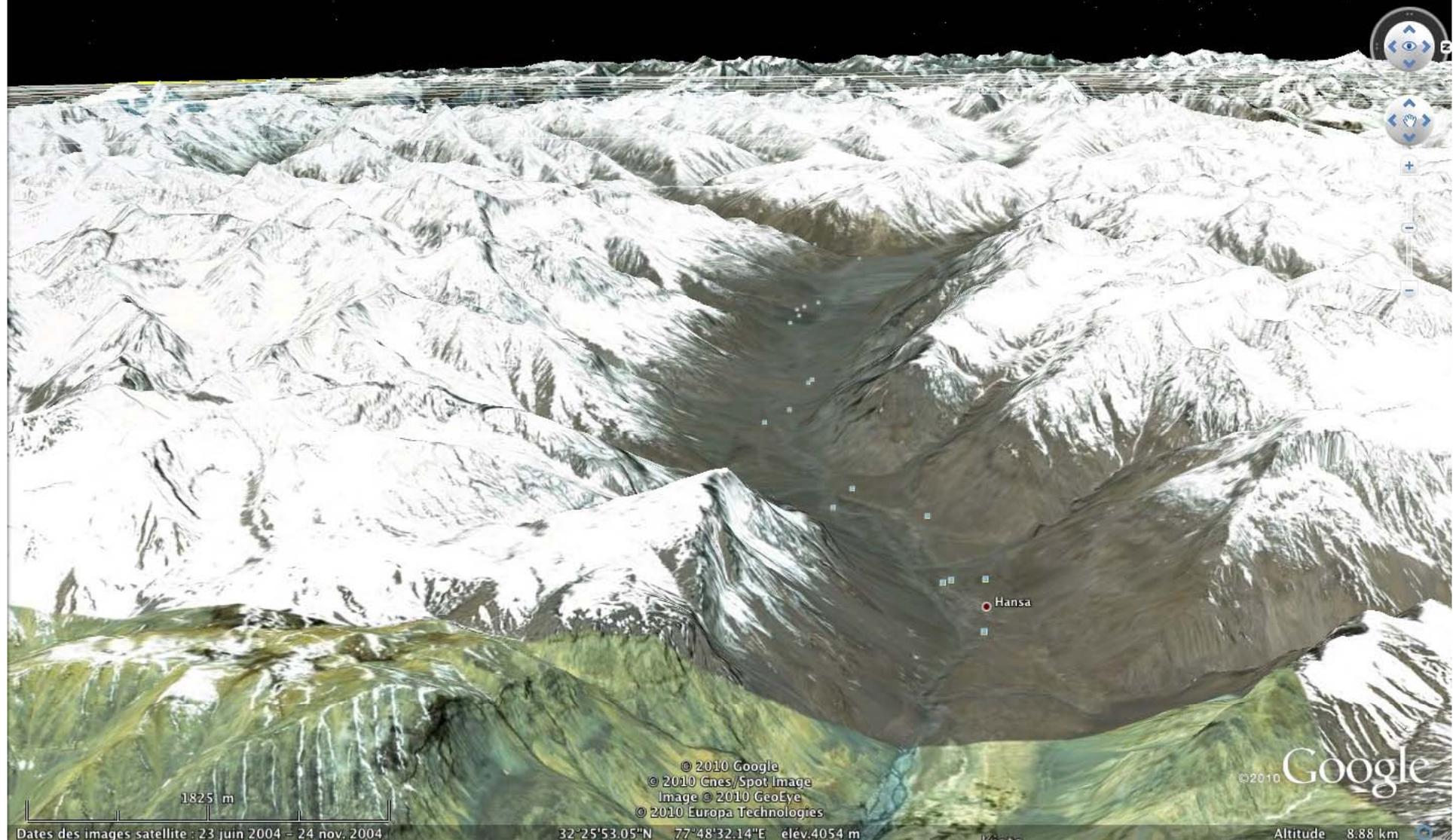


- premiers essais avec deux miroirs: obtenir des interférences
- ensuite:
  - agrandissement à 200m ? installation de 100 miroirs
  - proposition d'un "Kilometric hypertelescope" européen
  - en attendant l'espace...

câble



# Himalaya ( site repéré sur Google Earth par Rijuparna Chakraborty)



# Limitations de l'interférométrie sur Terre

- Réseaux de quelques kilomètres en optique , quelques milliers de kilomètres en radio
- Dégradation par la turbulence atmosphérique en optique ...
- ... évitable par " étoile guide laser" ?
-

# Voir la vie extra-solaire ?

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

Pour une image directe comme celle-ci

Distance 10 années-lumière , pose 10 heures

QuickTime™ et un décompresseur  
Photo - JPEG sont requis pour visualiser  
cette image.

- Flotille de 100km, avec 10,000 - 100,000 miroirs, dimension 10 à 3cm ( surface 100m<sup>2</sup> )
- Espacement 1000 à 300m
- masse totale des miroirs: 250kg : " tiennent dans une valise "

**Exemple:** 100,000 miroirs de 3cm

Espacement 316 m , Direct Imaging Field 1.6 nanoradian, ou 0,3 milli arc-seconde

Résolution angulaire à 500 nm: 1.03 micro-arc-seconde

Diamètre des miroirs émetteurs laser : 2.6m et 13.3 m **peuvent être dilués**

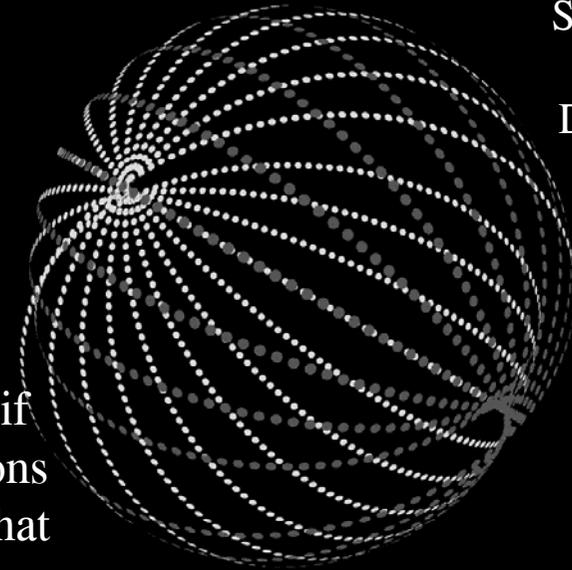
Masse des miroirs: 2.3 gramme, total pour 100,000: 236 kg

Impacts de micro-météorites > 1 micron ( Grun ) : 2.4 /miroir/an , vitesse acquise: > 0,014 micron/s

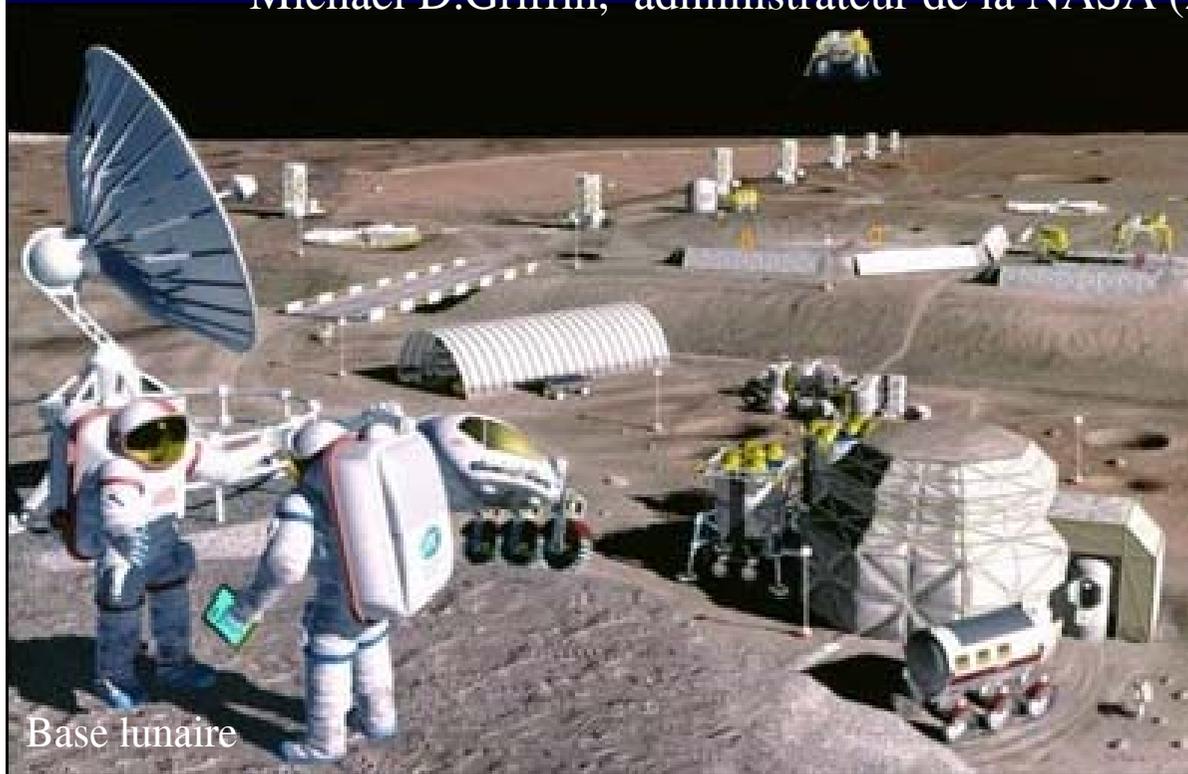
Hypertélescope dans l'espace  
La NASA veut coloniser Mars ...  
... peut-on observer des systèmes  
stellaires colonisés ?

" ...in the long range a single-planet species will not survive...if we humans want to survive for hundreds of thousands or millions of years, we must ultimately populate other planets... I know that humans will colonize the solar system..."

Michael D.Griffin, administrateur de la NASA (2005):



Sphère  
de  
Dyson



Base lunaire



# Hypertélescope dans l'espace

- Réseau optique de 100 000 km ?
  - exemple: hypertélescope "Neutron Star Imager" à N miroirs de 8m
  - Voir en détail le pulsar du Crabe ? Diamètre 20km, rotation 33ms
- Au delà: Y aura-t-il une turbulence gravitationnelle ? Quelle limitation ?



## 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
  - EEI
  - SPECS ( Mather et al. )
  - Luciola ( Labeyrie et al. 2008)
- Pilotage complexe: les agences spatiales repoussent ...
- Comment simplifier ?



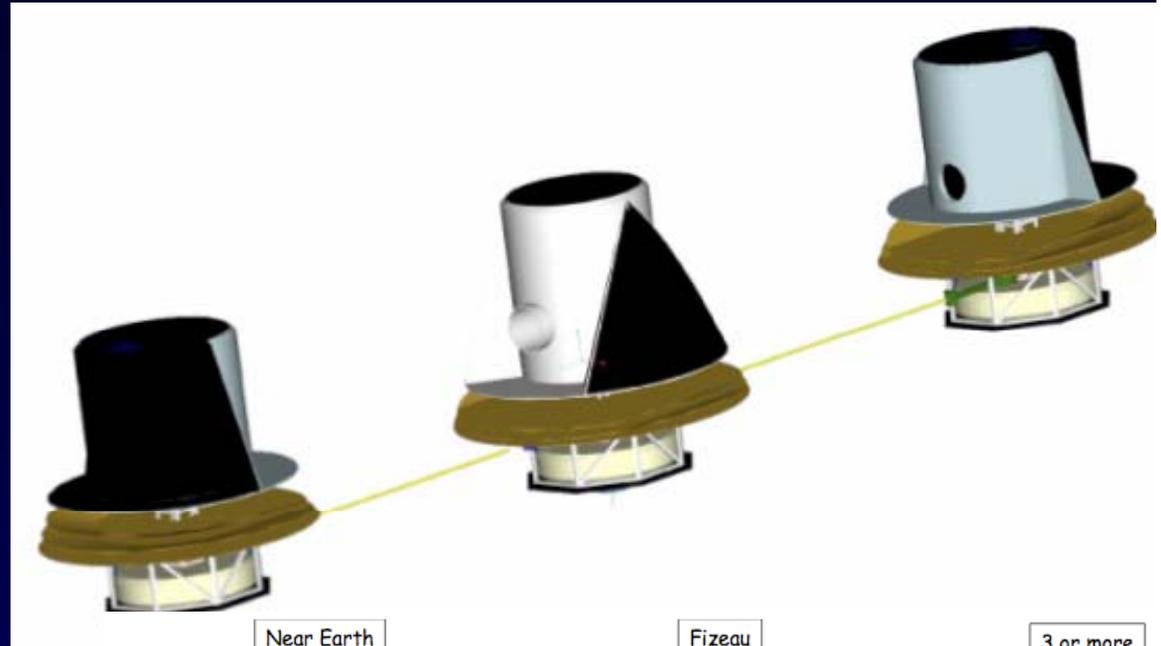
QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.

# Proposition d'hypertélescope spatial Luciola

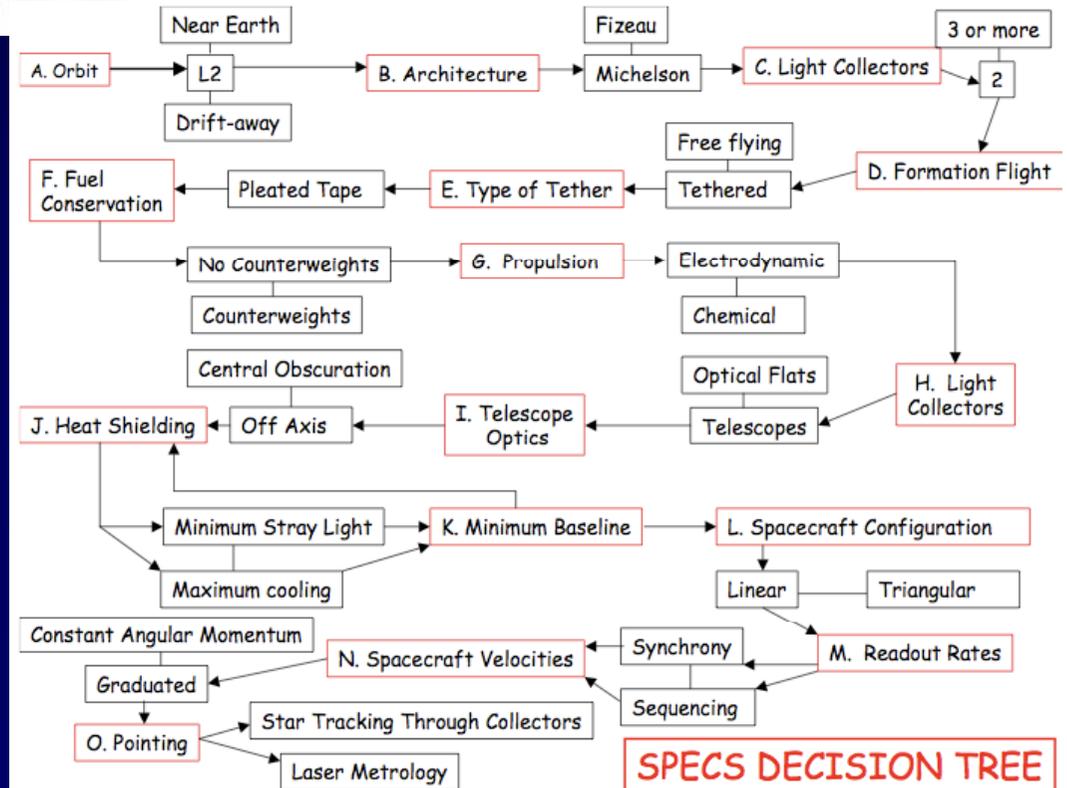
( soumise à l'ESA, 2008, Exp. Ast. 2009)



# Interféromètre millimétrique SPECS ( Harwitt, Mather, Leisawitz et al. 2008)



- Domaine sub-millimétrique
- Télescopes refroidis
  - Piégeage laser applicable ?



## Tendance en interférométrie radio: antennes plus nombreuses, pour un meilleur échantillonnage de l'onde

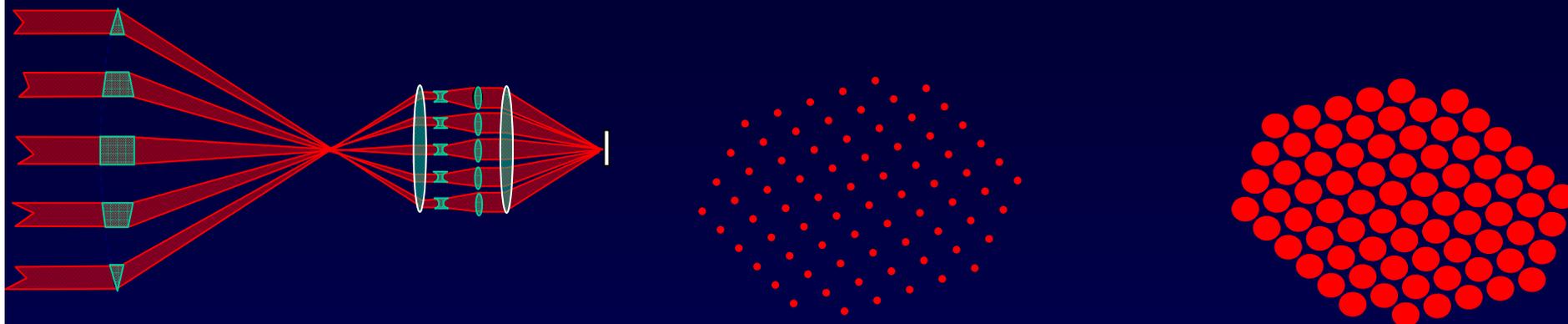
- LOFAR 25 000 antennes, 350km
- Long Wavelength Array: 10 000 antennes, 400km
- Murchison Widefield Array: 16 000 antennes dipôles
- "Sample wavefront with myriad small antennas: revolutionary potential gains ..."

QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.

QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.

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,  $d = 30\text{m}$  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  $s = 100,000\text{km}$

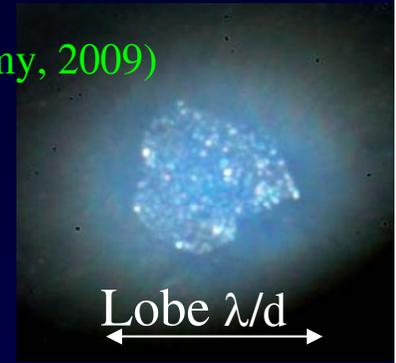
$$\text{Intensification} = (s/d)^2 = 10^{14}$$

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

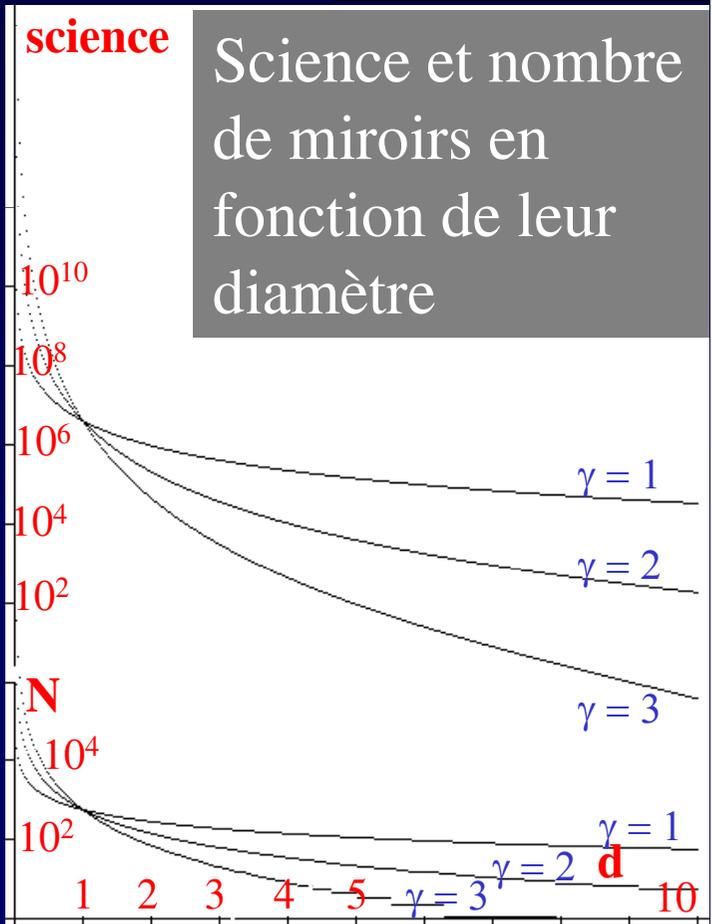
## Interféromètre ou hypertélescope:

# Ouvertures petites et nombreuses: le gain en science

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



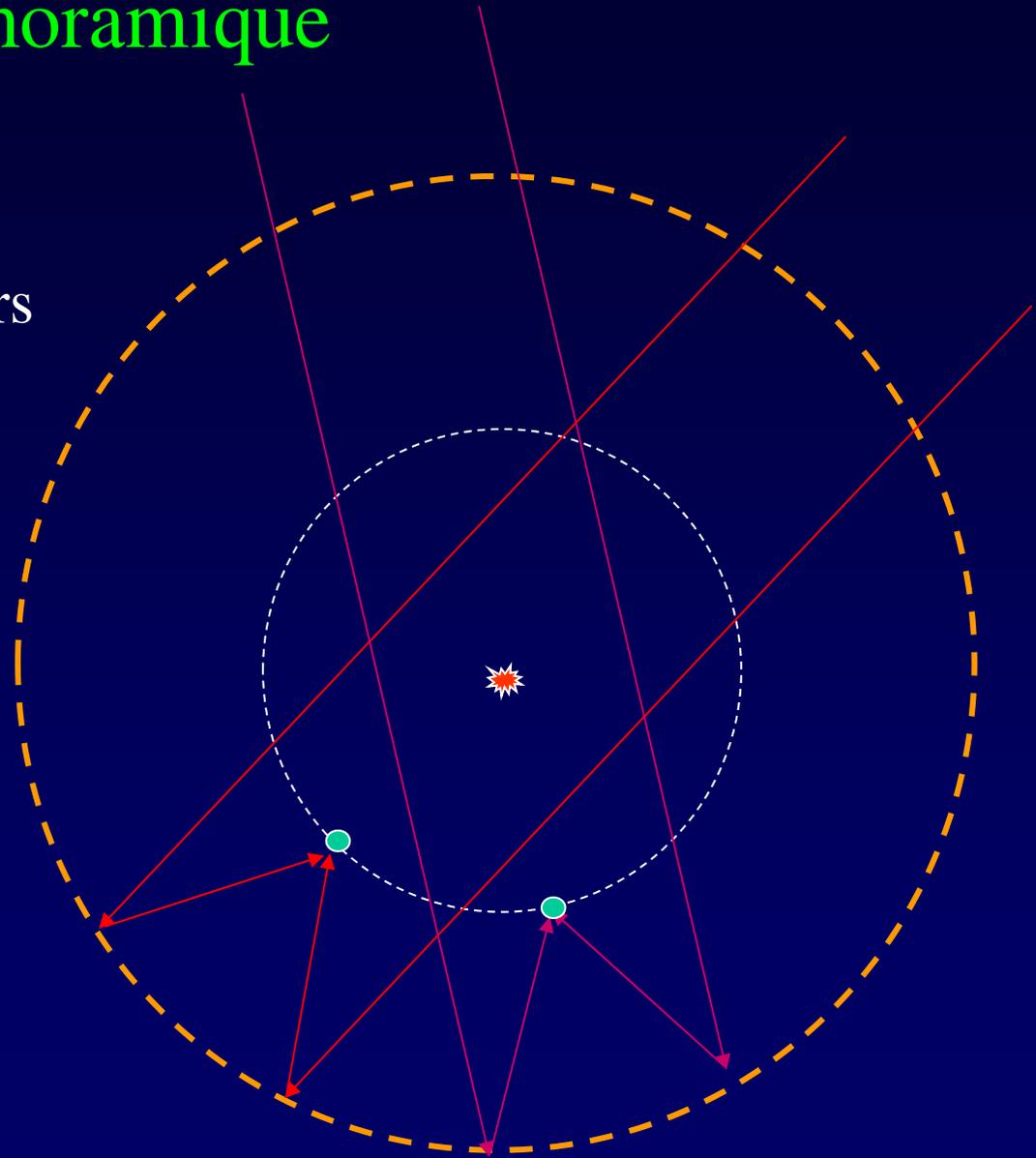
- Champ encombré: le nombre max. tolérable d'étoiles croît en  $N^2$
- Le diamètre du "Direct Imaging Field" est :
  - Infini pour un Fizeau
  - limité à  $\lambda/s$  avec pupille densifiée (  $s$  est la distance des ouvertures)
- Science vs. dimension des miroirs  $d$ , à coût donné  $C_{pa} = N d^\gamma$ , où  $\gamma = 2$  à  $3$   
$$Sc = C_{pa}^{-2} d^{-2\gamma} \{ (7/4) \log_2 C_{pa} + (1-7\gamma/4) \log_2 d \}$$
- 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 >



# Hypertélescope:

## Version panoramique

- Piloter une flotille de miroirs
- " formation flight"



Un début prometteur...

## essai récent de vol en formation: expérience PRISMA

2011, Franco-Suédois (CNES & SNSB ) [www.prismasatellites.se](http://www.prismasatellites.se)

- Pilotage relatif de deux mini-satellites...Mango & Tango
- ... Autonome sans le sol
- Micro fusées
- Positionnement par GPS
- Faible coût, résultats encourageants



Photo de Tango prise par Mango

# Essai récent de vol en formation: PRISMA

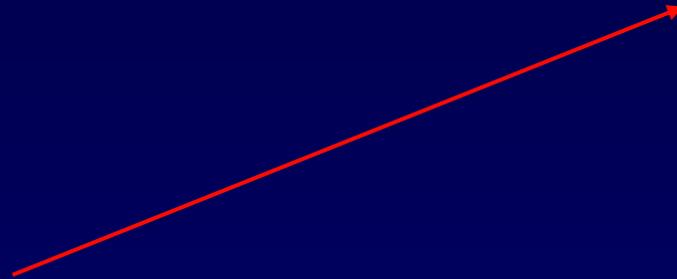
- 

QuickTime™ et un  
décompresseur  
sont requis pour visionner cette image.

# Essai récent de vol en formation: PRISMA



QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.



QuickTime™ et un décompresseur sont requis pour visionner cette image.

# Formes de propulsion par laser

[http://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_propulsion](http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_propulsion)

- Ablative Laser Propulsion **dangereux !** "ALP was being developed by Professor Andrew Pakhomov.... until he was convicted of murdering his wife and sentenced to 45 years in prison"
- Laser Electric Propulsion
- Photonic Laser Thruster      ondes stationnaires,  
nécessite une force de rappel

