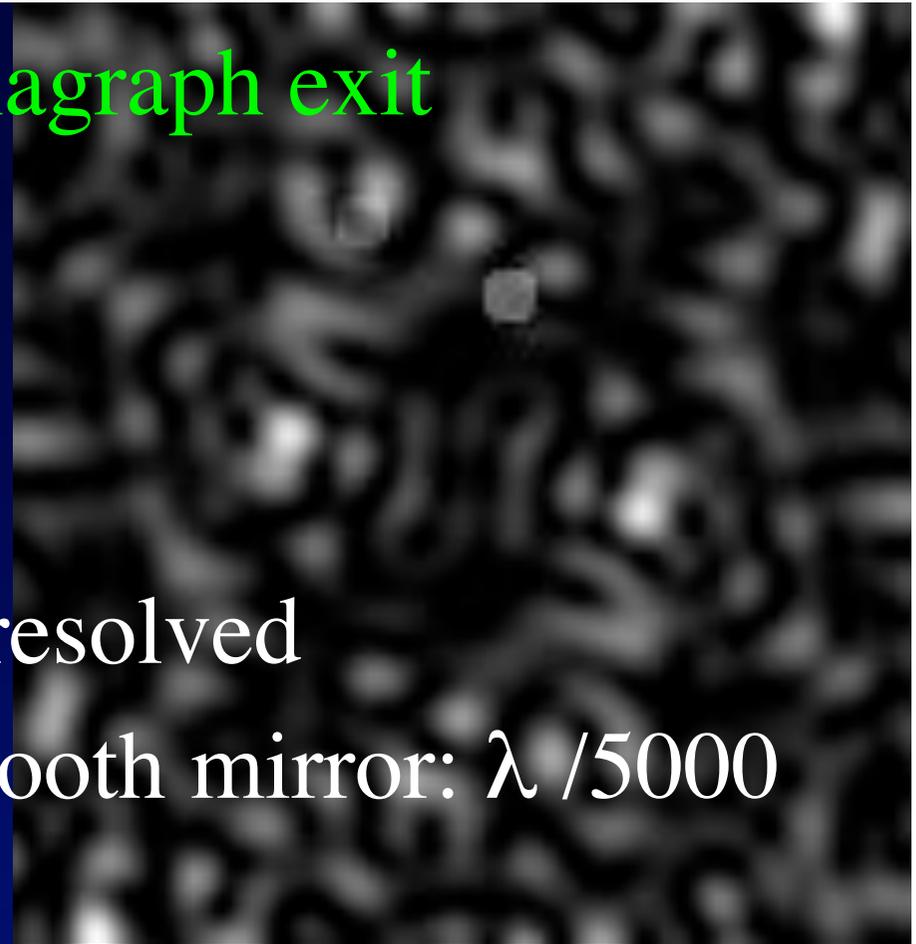


## Star light residue at coronagraph exit

- speckled if star is little resolved
- avoidable with ultra-smooth mirror:  $\lambda / 5000$ 
  - difficult in practice
- removable by:
  - incoherent subtraction (rotation or reference star)
  - coherent subtraction: deeper null



Nettoyage cohérent:

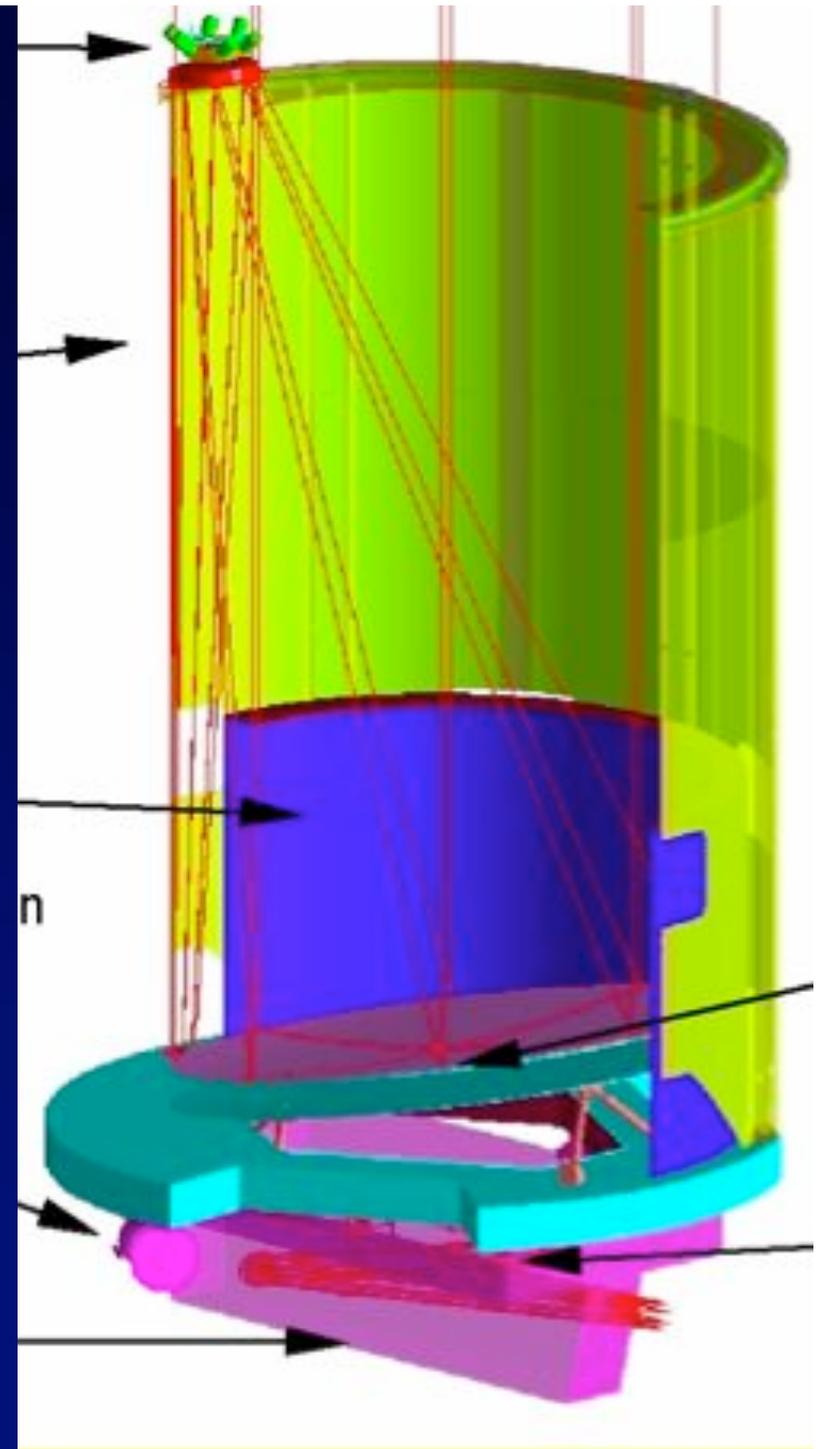
## Optique adaptative avant le coronographe (Malbet et Shao, variante par Trauger et al. 2004)

- Effacer les bosses du miroir primaire
- ...en annulant les speckles l'un après l'autre
- ... de façon itérative par « essais et erreur »
- Il faut des heures pour converger

# Proposition ECLIPSE

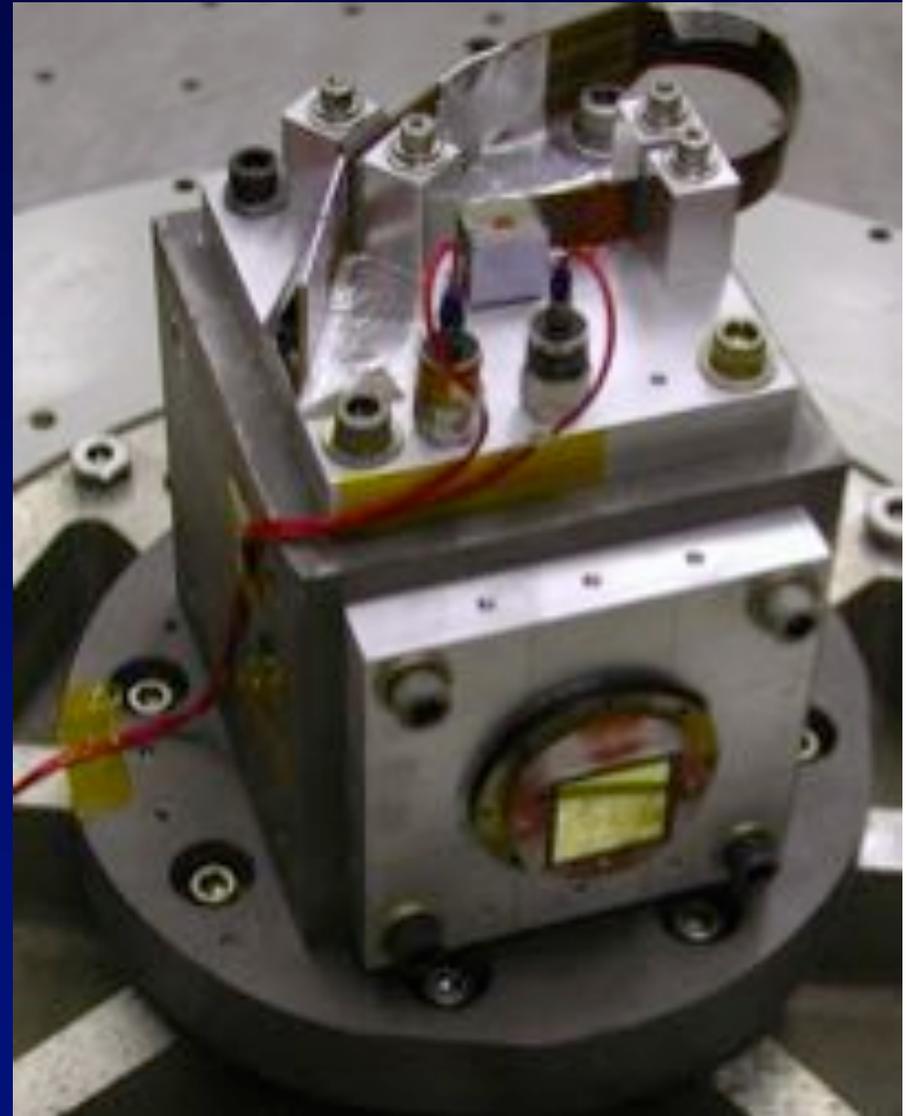
(Trauger et al., 2004)

- Télescope coronographique de 2m dans l'espace



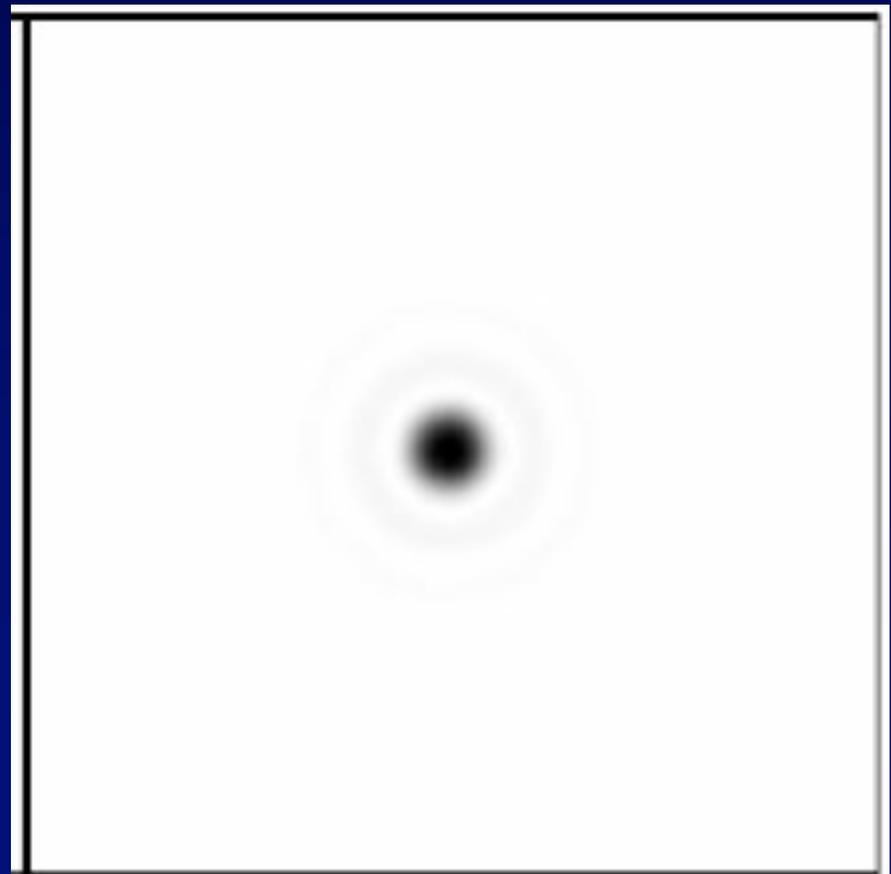
# Miroir déformable à 34x34 actuateurs piézos

- Piloté avec une précision de 20 nm



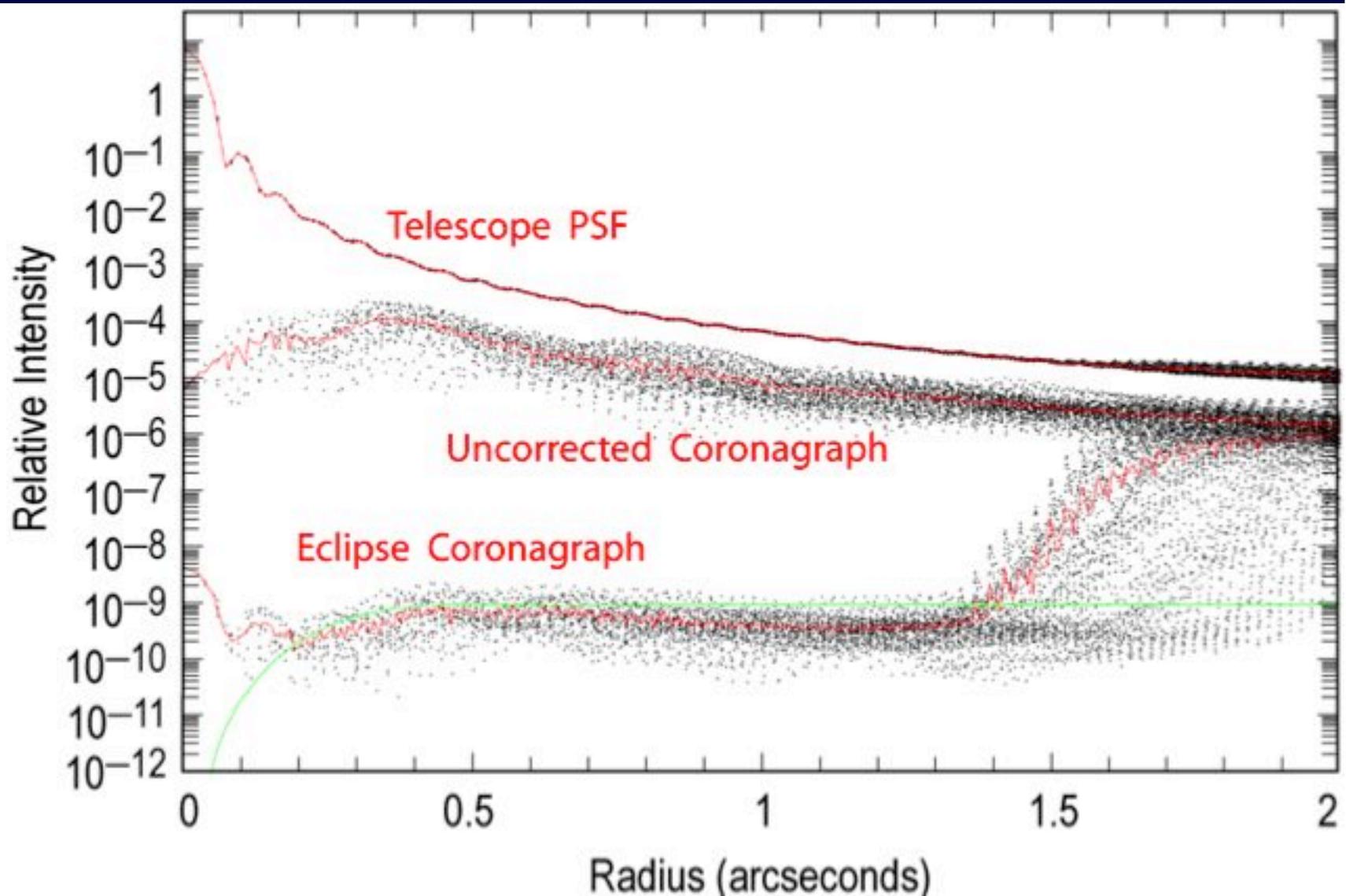
# ECLIPSE (Trauger et al.)

- Occulteur Lyot « adouci »



# ECLIPSE

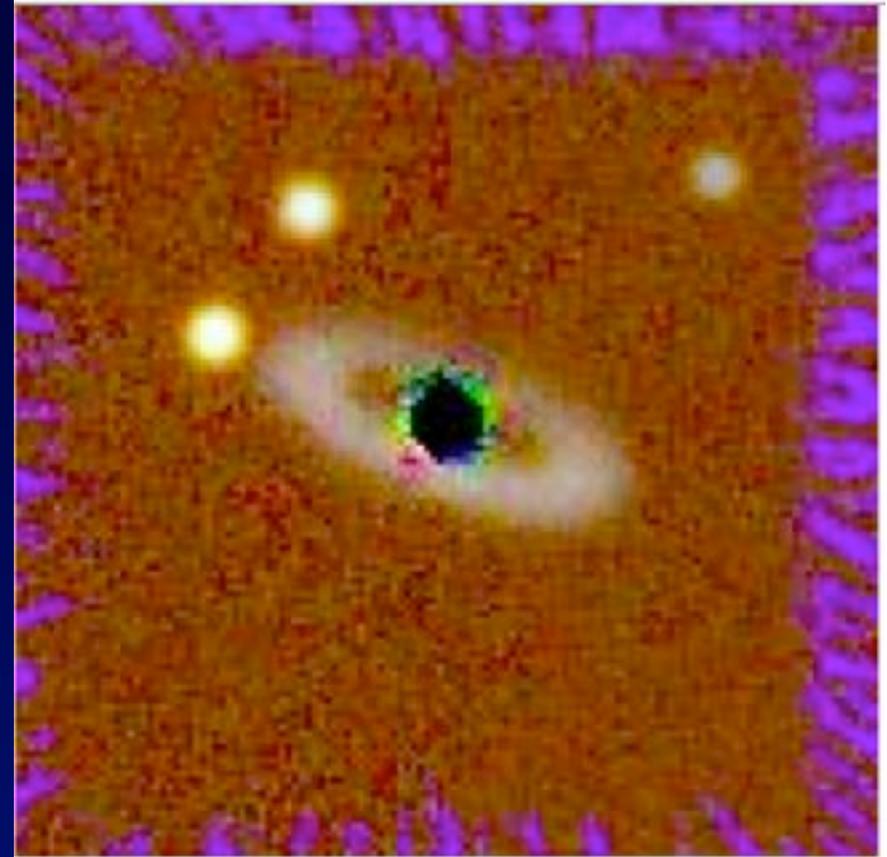
- Résultats en laboratoire



# Proposition ECLIPSE

détection simulée de  
Jupiters

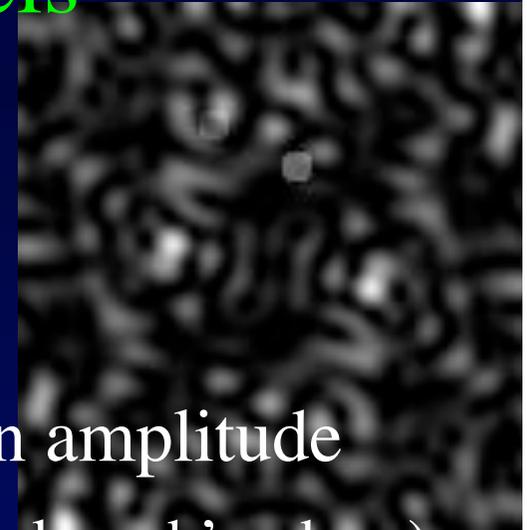
- Visible
- $10^{-9}$



# Nettoyage adaptatif des résidus stellaires en aval

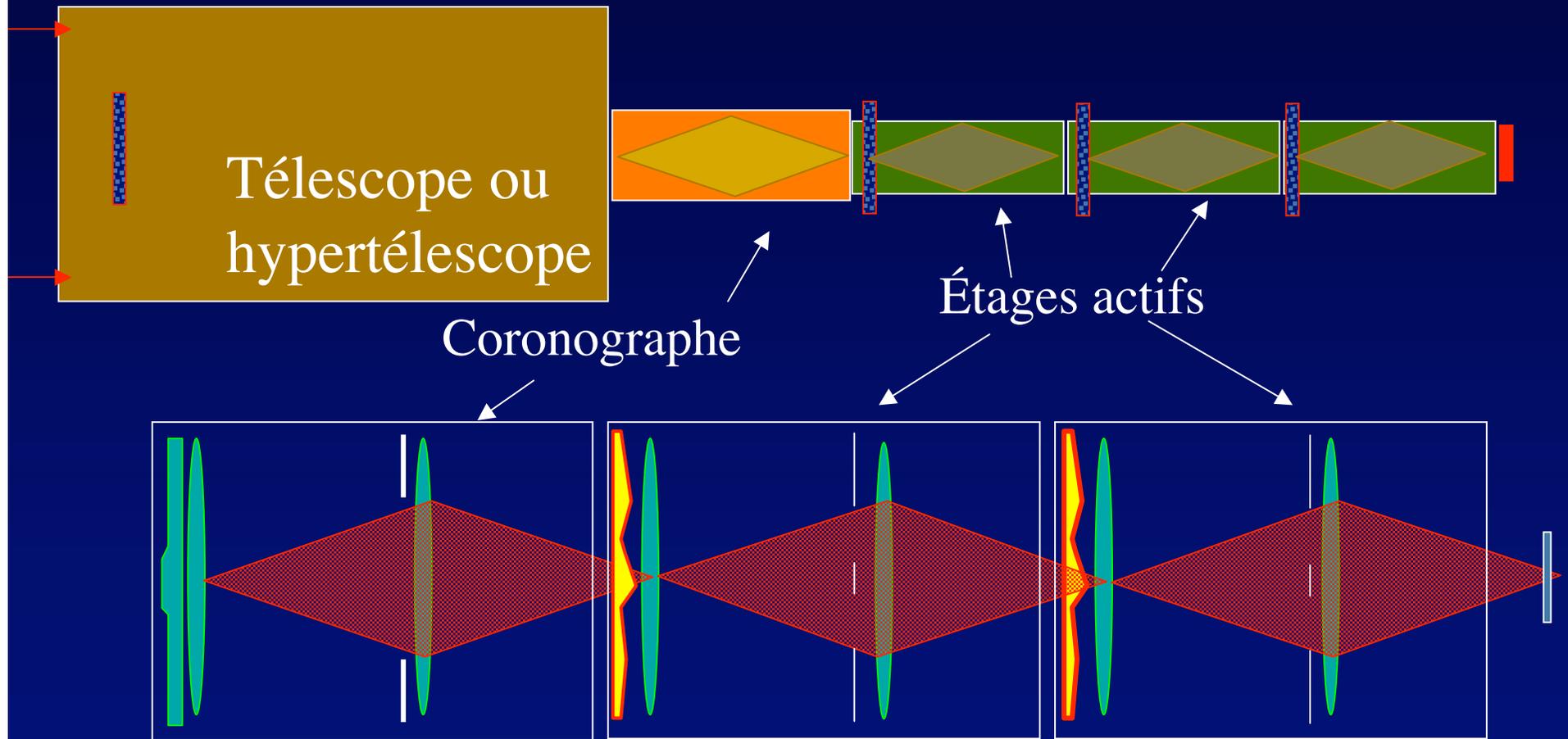
- Relache les tolérances avant le coronographe (bosselage, nombre d'actuateurs)
- plusieurs voies :
  - Mise en phase des speckles et filtrage, multi-étages (Labeyrie 2002) & version holographique (Lyon, en préparation)
  - Annulation par Mach-Zehnder (Codona & Angel, 2004)
  - Annulation holographique (Labeyrie et Le Coroller, 2004)

# Mettre en phase les speckles résiduels

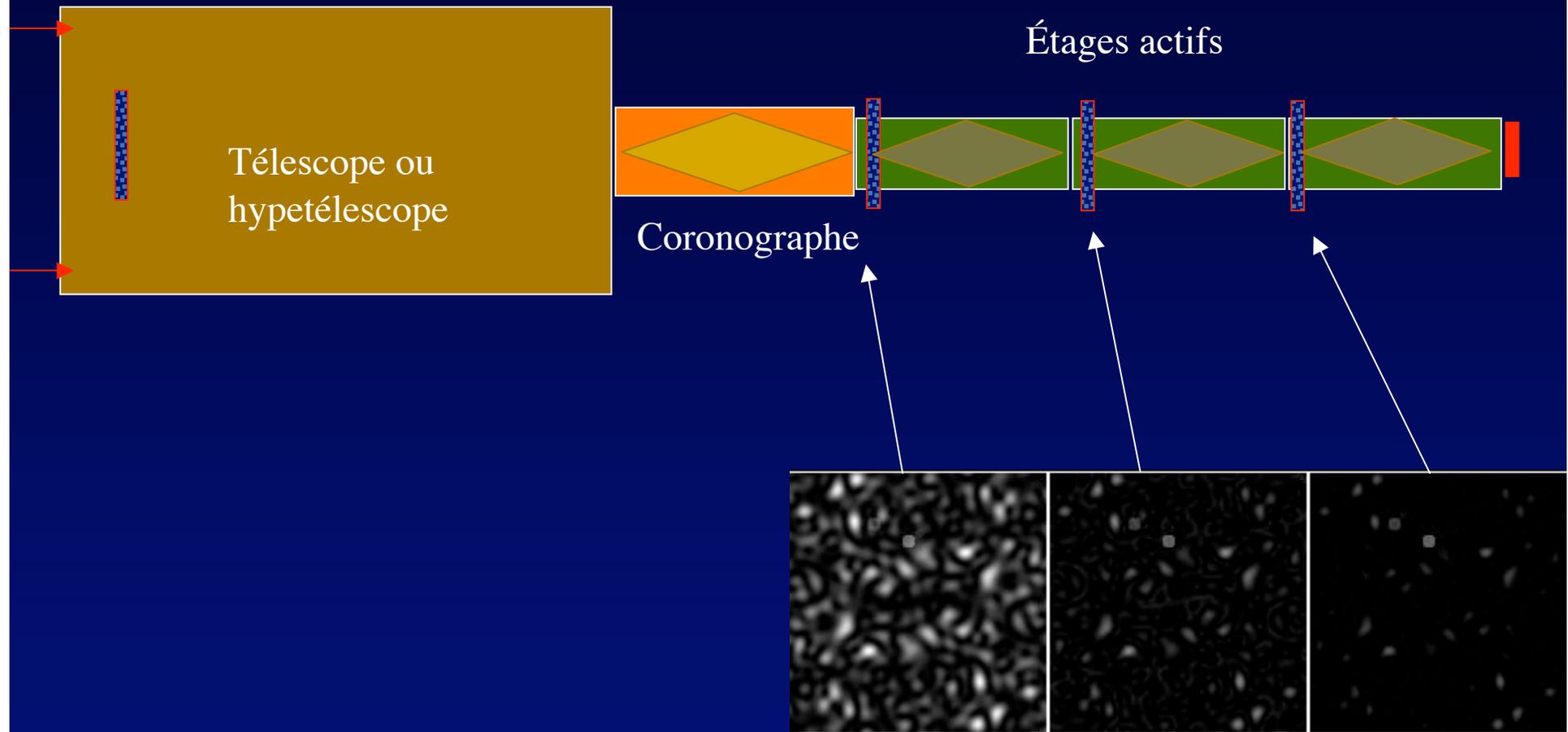


- pupille de sortie: le bosselage est traduit en amplitude réelle à moyenne nulle (exploitable pour l'analyse d'onde...)
- Image avec speckles, sans pic central, intensité centro-symétrique
- **Mise en phase** => pic central dans la pupille, **masquable**
- Formation d'une image relayée, nettoyée

# Coronographe et étages actifs additionnels

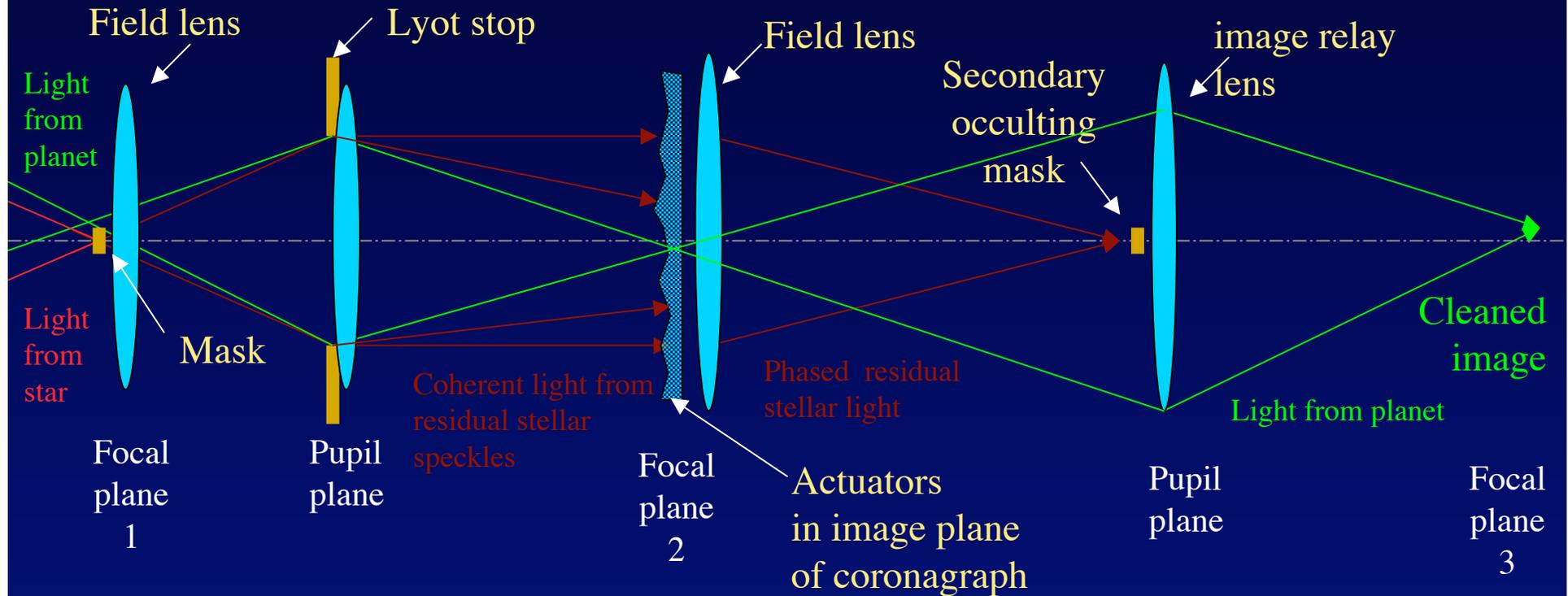


# Coronographe et étages actifs



- Atténuation 7 à 10 par étage
- Planète non affectée

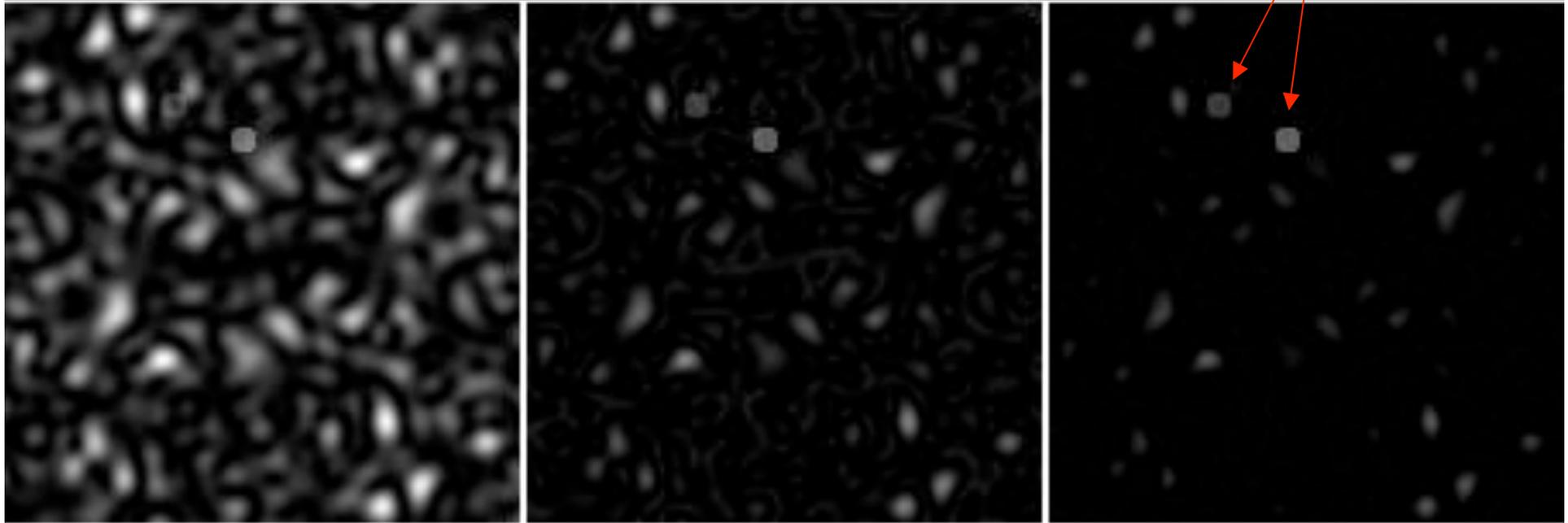
# Multi-stage stellar coronagraphy for detecting planets in the visible



- Residual stellar speckles phased ( analyzer not shown)
- Interference peak in the far field, masked
- Cleaned relayed image of planet(s)
- Cascadable until few stellar photons left

# Simulations

planètes



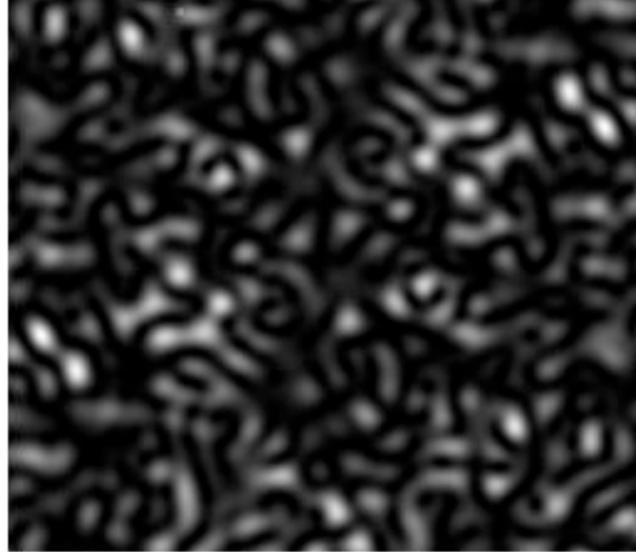
résidu moyen 1

0,17

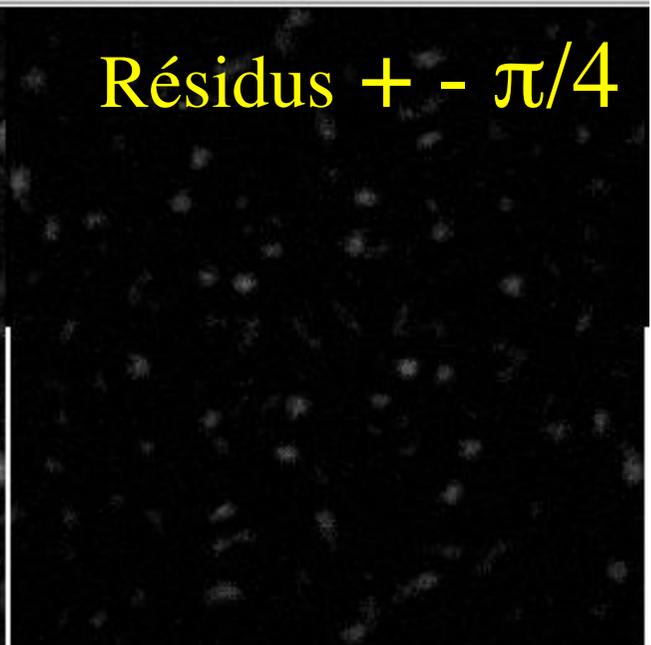
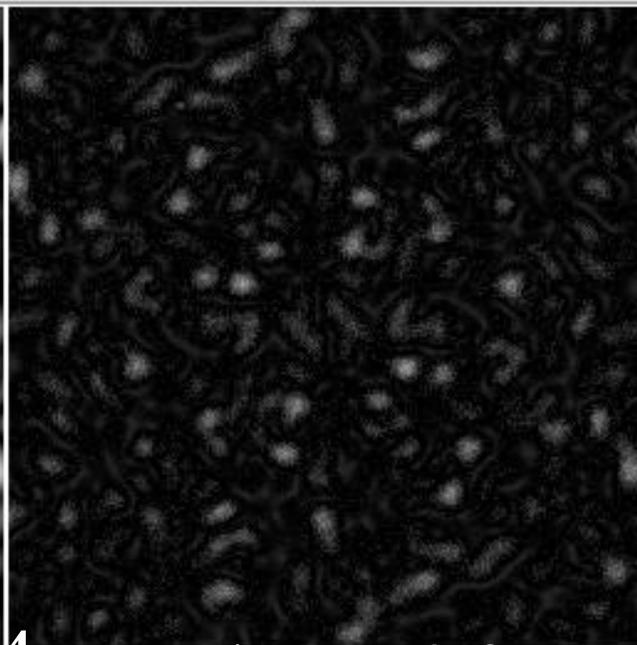
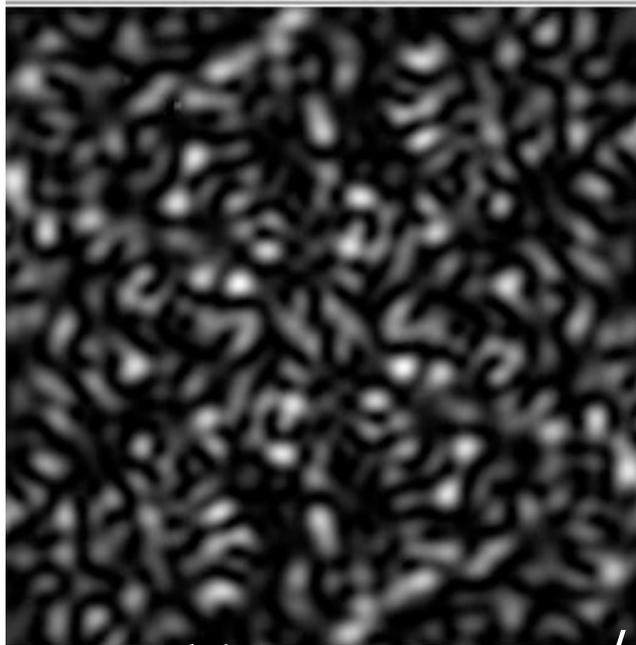
0,02

- Coronographe 1 supposé parfait, mamelonnage  $\ll \lambda/4$
- Étages suivants: masque Roddier dans la pupille
- Gain à chaque étage 7 à 10

# Effet des résidus de la phase annulée



Résidus 0

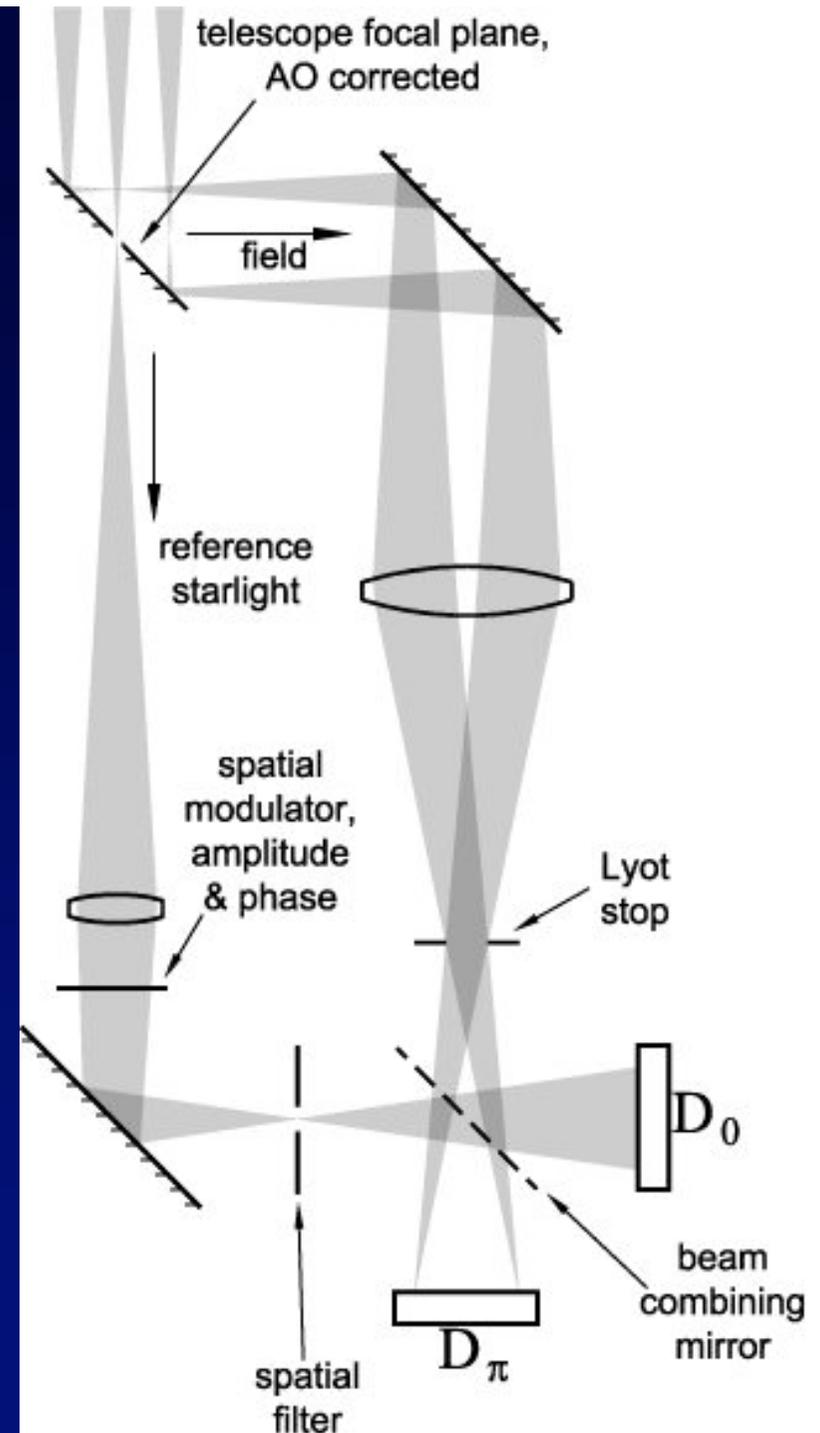


Résidus  $\pm \pi/4$

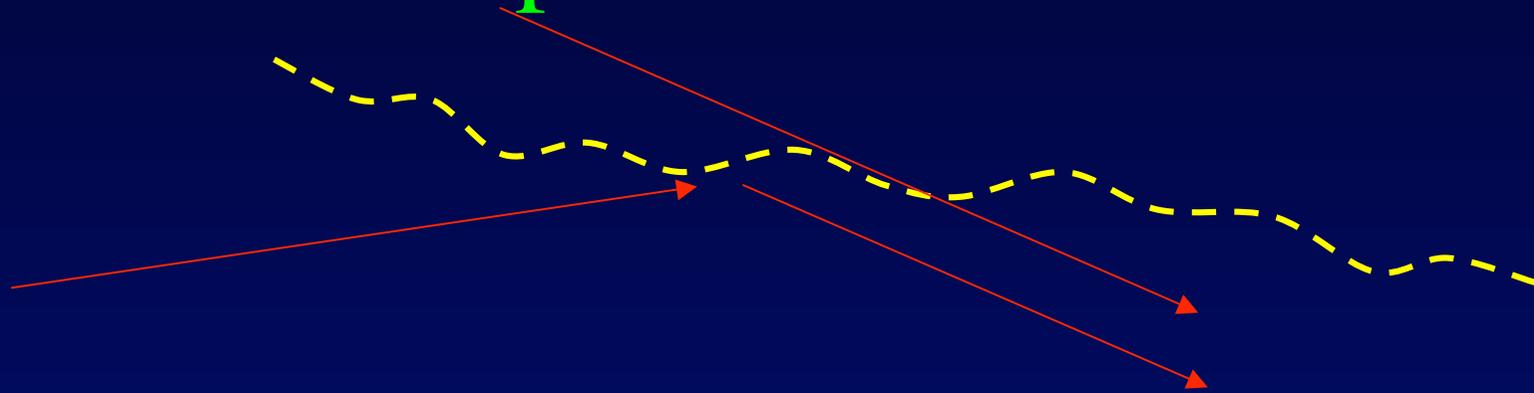
- Tolérance  $\pm \pi/4$  pour étages 2,3,.. etc..

# Nulling the stellar residue: 2- Mach-Zehnder interferometer (Codona & Angel 2004)

- Uses the rejected star light...
- ... to make a copy of the stellar residue...
- ...and subtract it with a beam splitter

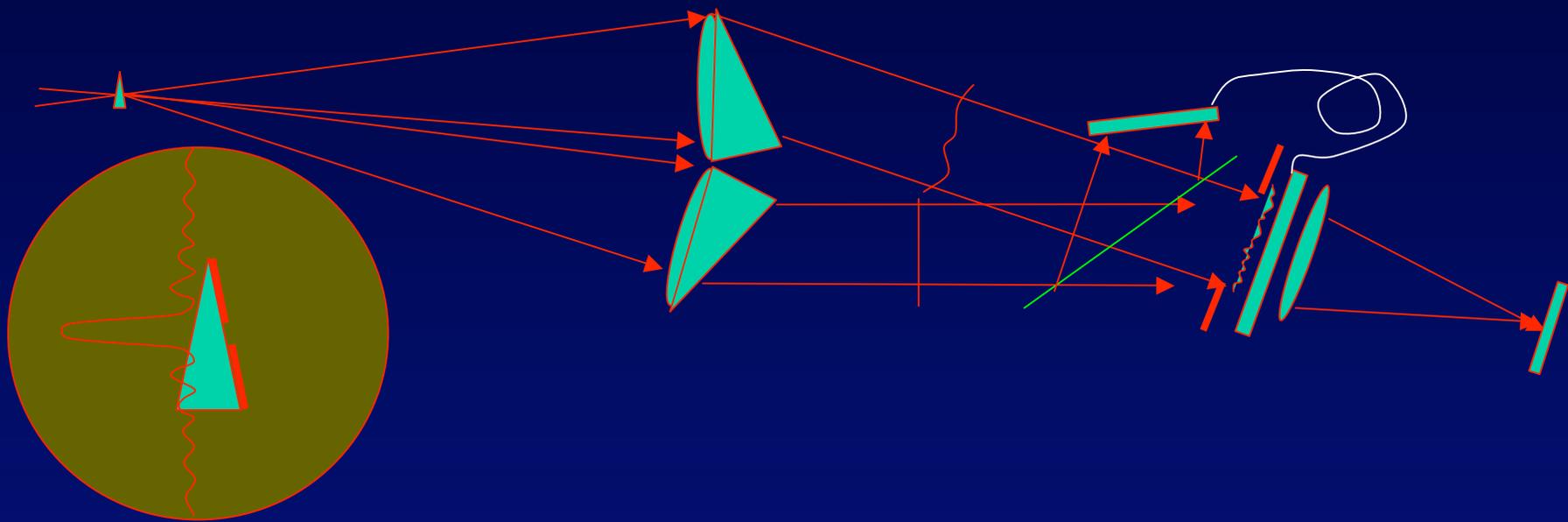


# Faire une copie de l'onde résiduelle pour l'annuler

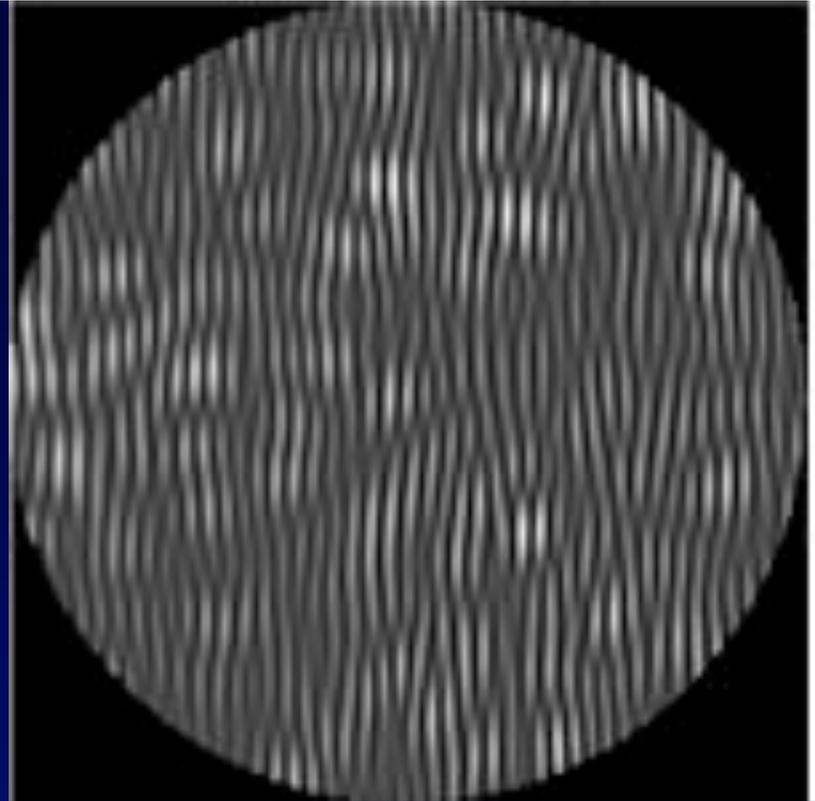


- A partir d'une onde plane venant de la même étoile...
- En sculptant son module et sa phase...
- Avant de la mélanger avec l'onde résiduelle au moyen d'une séparatrice

# Hologramme dans un coronographe

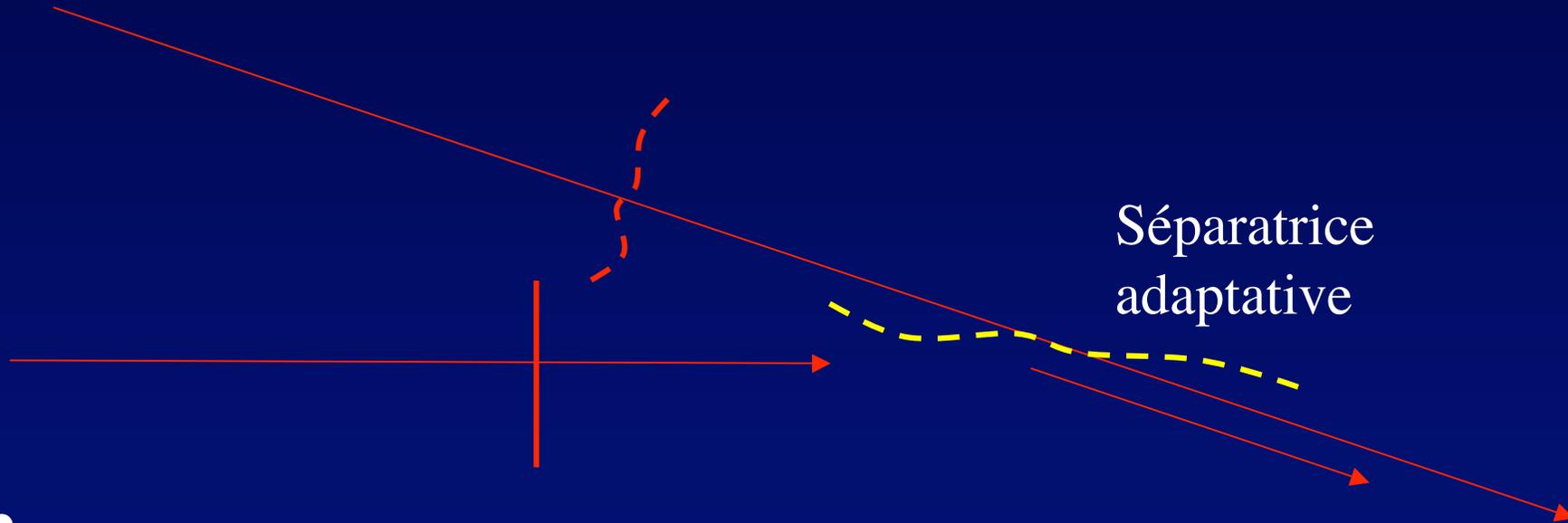
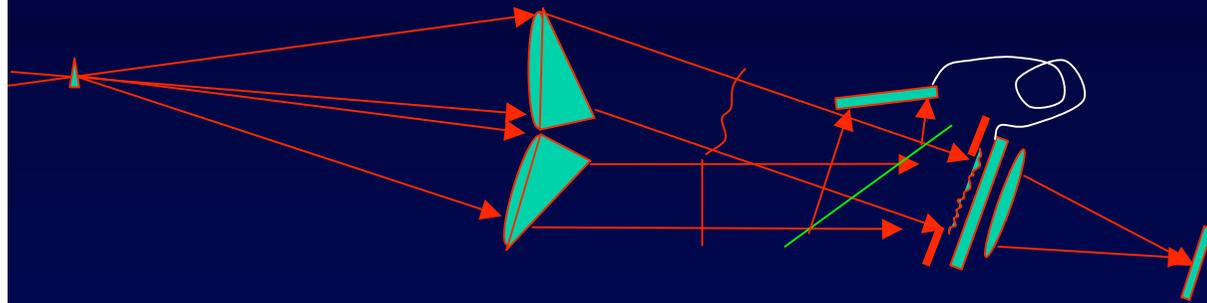


# Nulling the stellar residue: 3- coronagraph with hologram



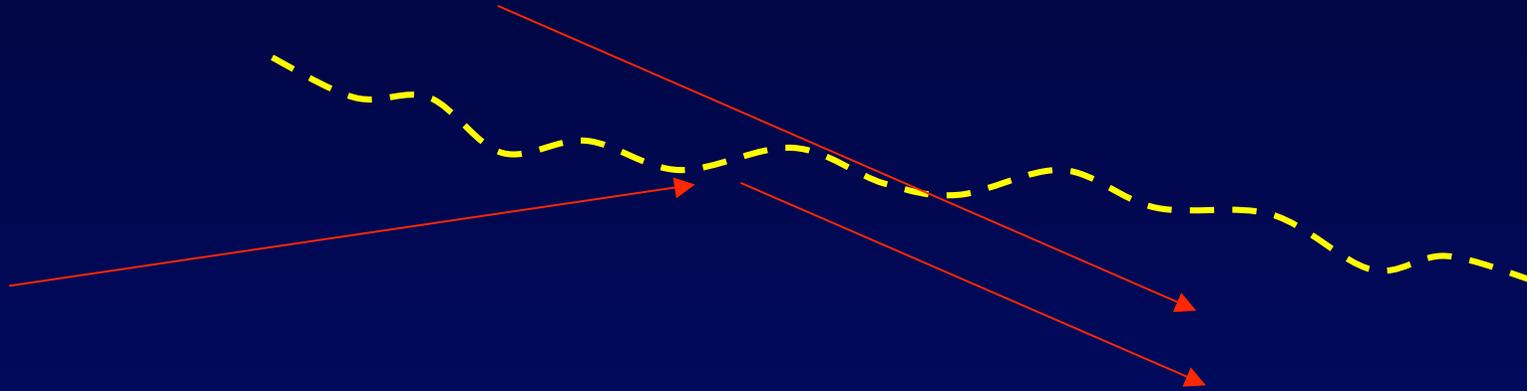
- stellar residue recorded by hologram ....
- .... then subtracted interferometrically...
- .... without affecting the planet

# Hologramme dans un coronographe



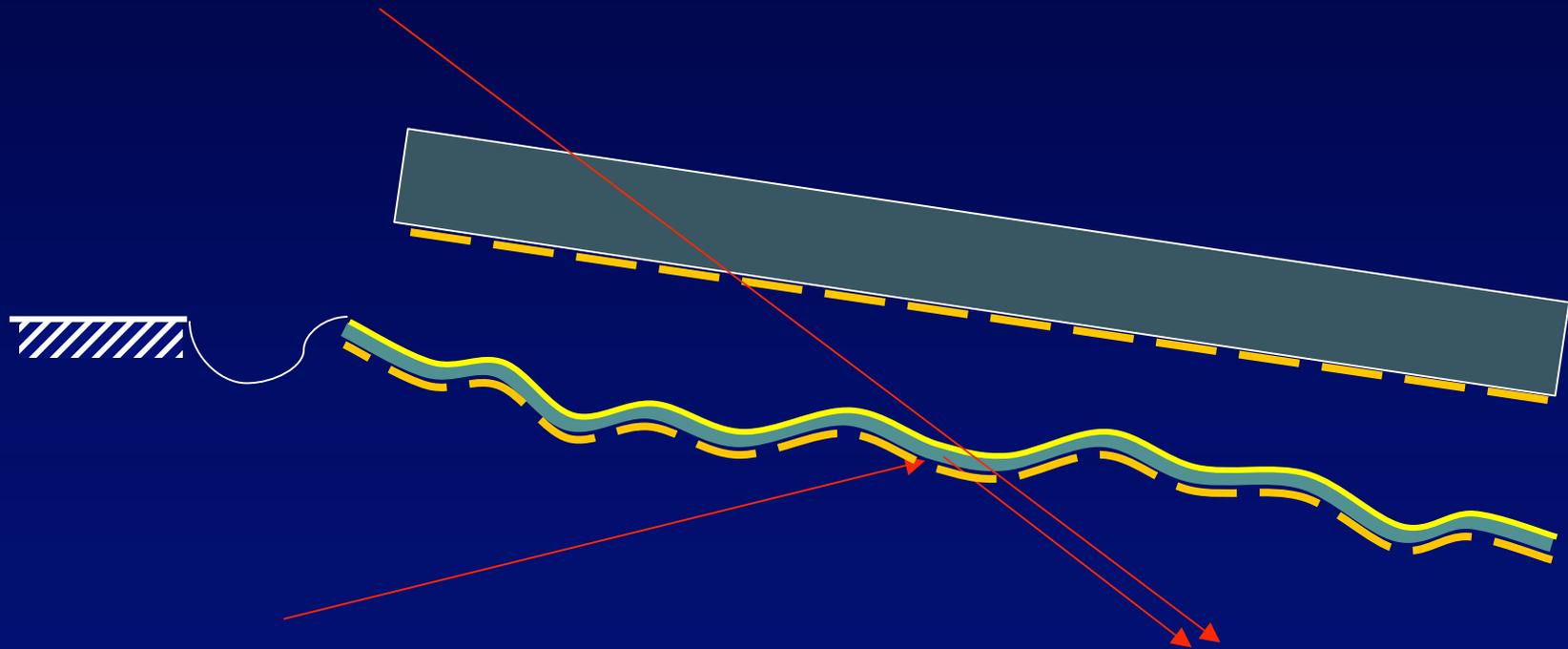
Séparatrice  
adaptative

# Séparatrice doublement adaptative ?



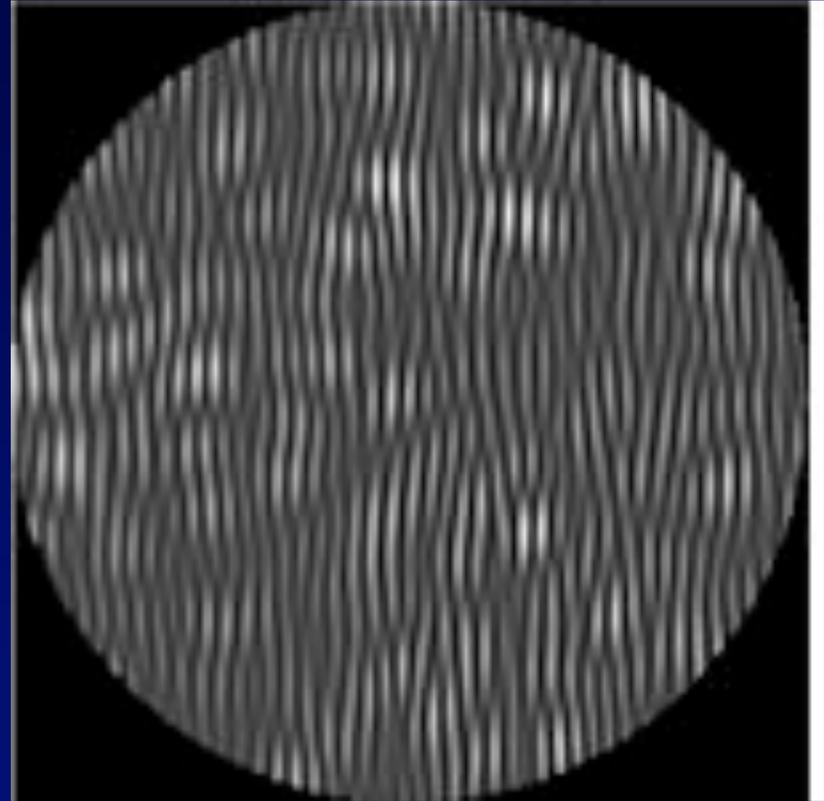
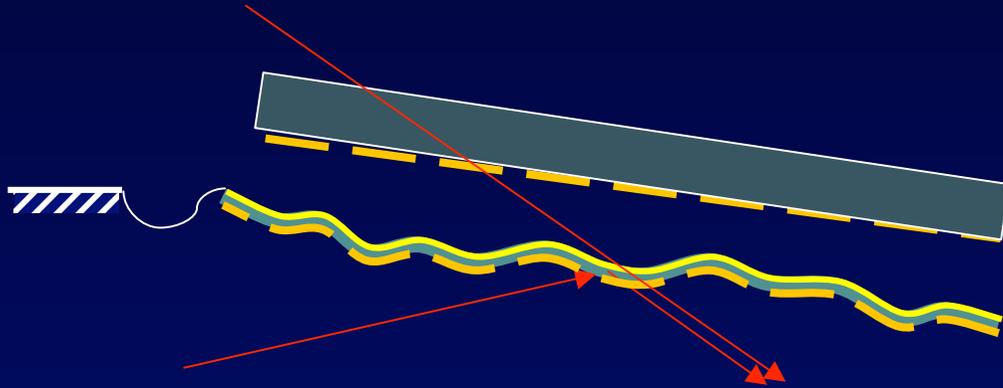
- En déformation pour définir la phase locale de l'onde réfléchie, sans affecter l'onde transmise
- En réflectivité pour définir son module local

# Exemple de séparatrice doublement adaptative ( à inventer !)



- Membrane déformable, à réflectivité variable
- Deux séries d'électrodes pilotent la forme et la réflectivité

# Mesurer la phase et le module à corriger: comment ? quel analyseur d'onde ?



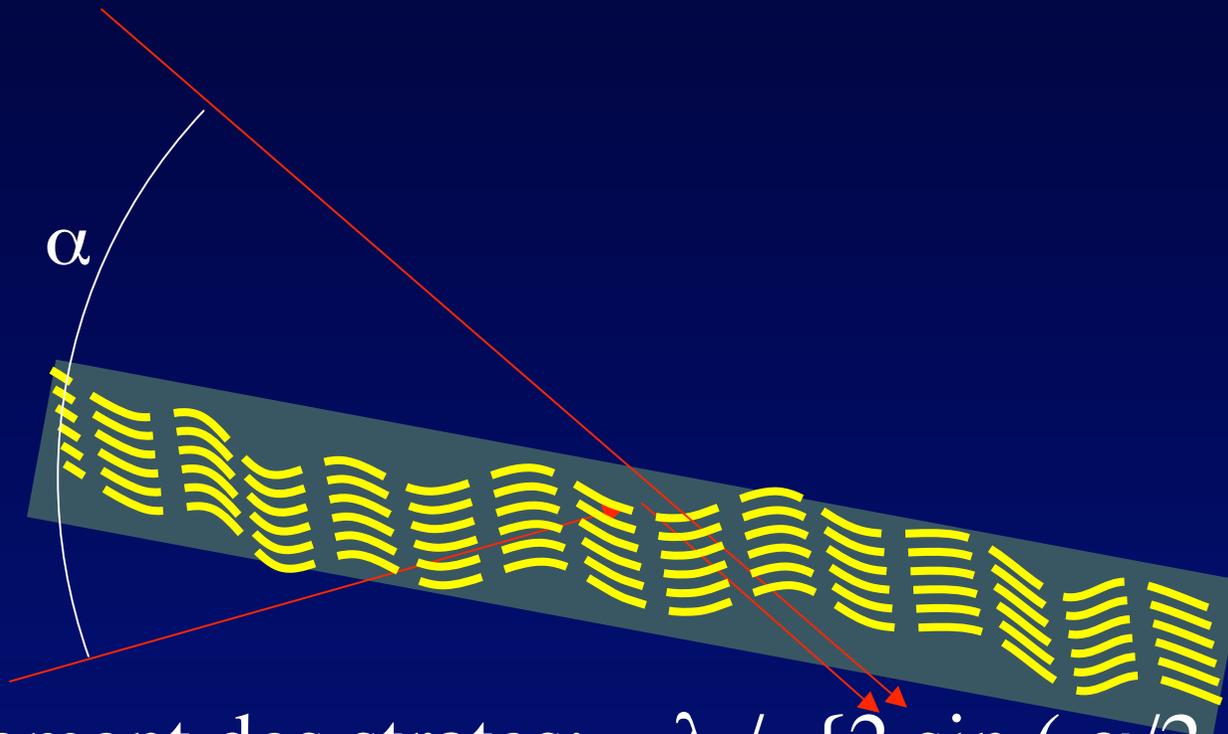
- Il suffit d'enregistrer les franges...
- ... en mettant une caméra à la place de la séparatrice déformable

# Mesurer et corriger à la fois



- Matériau photosensible
- Matérialisant la frange centrale blanche
- Sous forme d'une couche réfléchissante

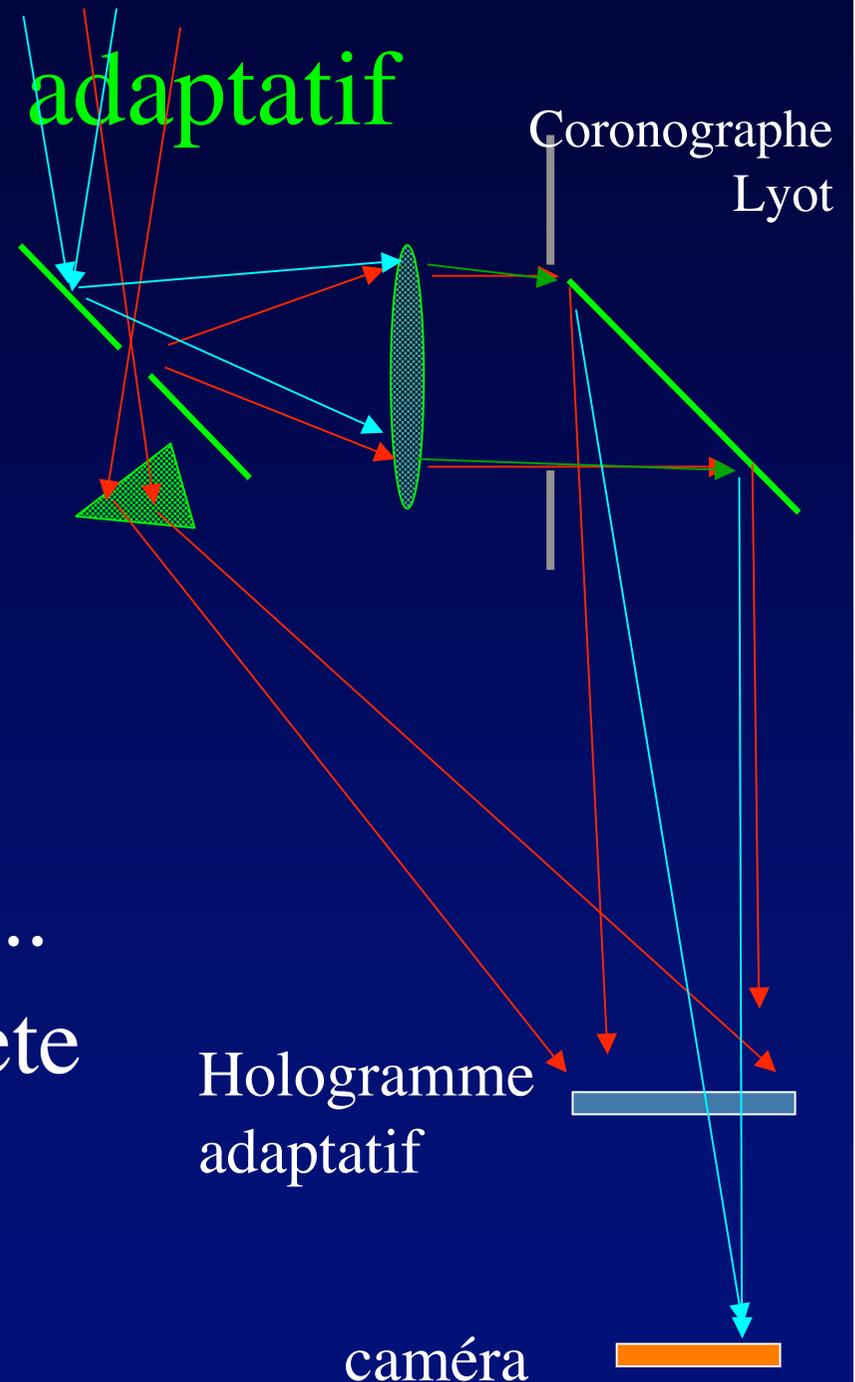
# Strates en lumière monochromatique

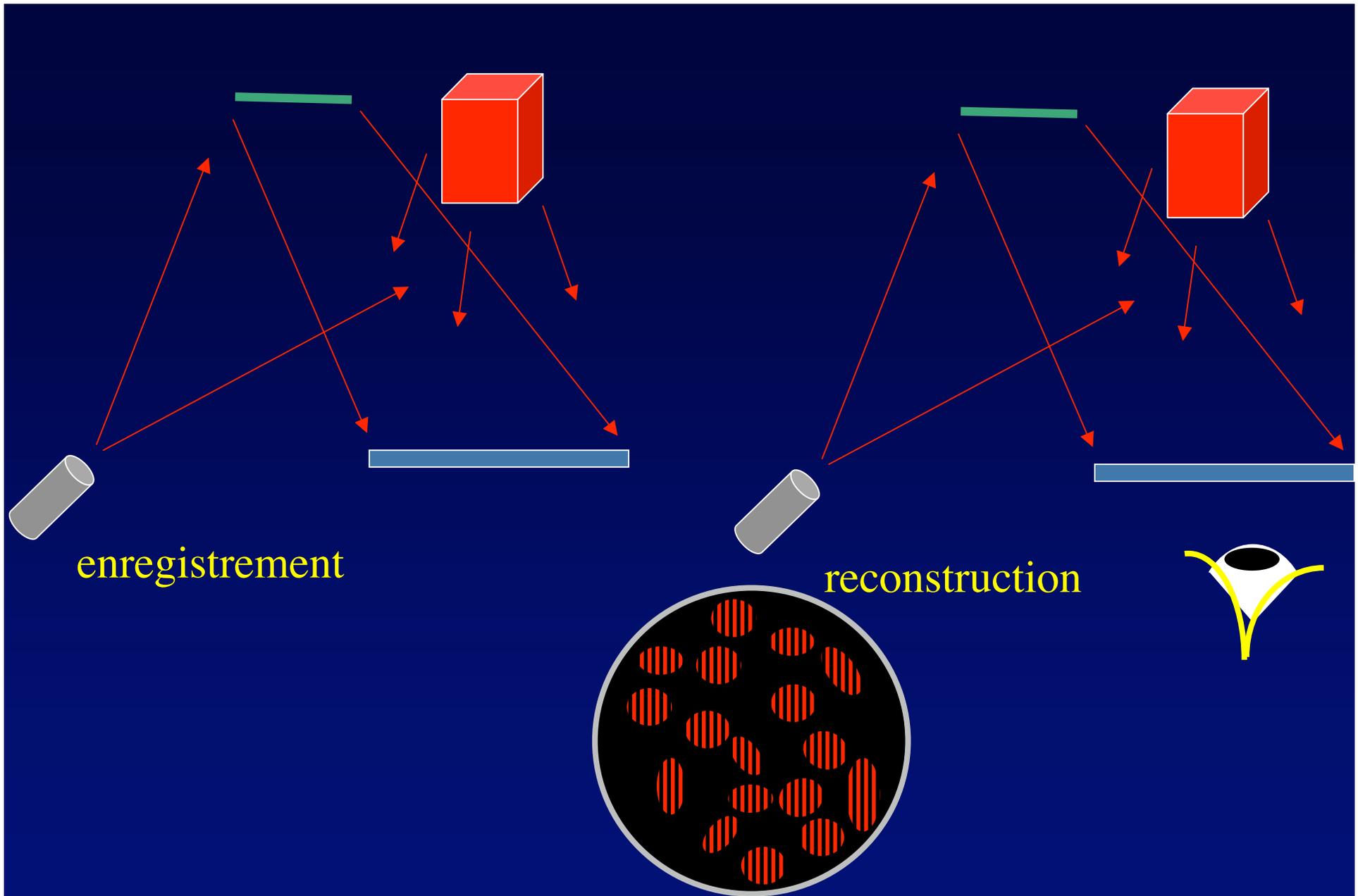


- Espacement des strates:  $\lambda / \{2 \sin (\alpha/2)\}$
- Forment une séparatrice à « effet Bragg »
- Sélective en longueur d'onde
- Multiplexable pour élargir la bande spectrale

# nettoyeur holographique adaptatif

- Hologramme dynamique « gelable »
- Détruit le résidu stellaire...
- ..en affectant peu la planète

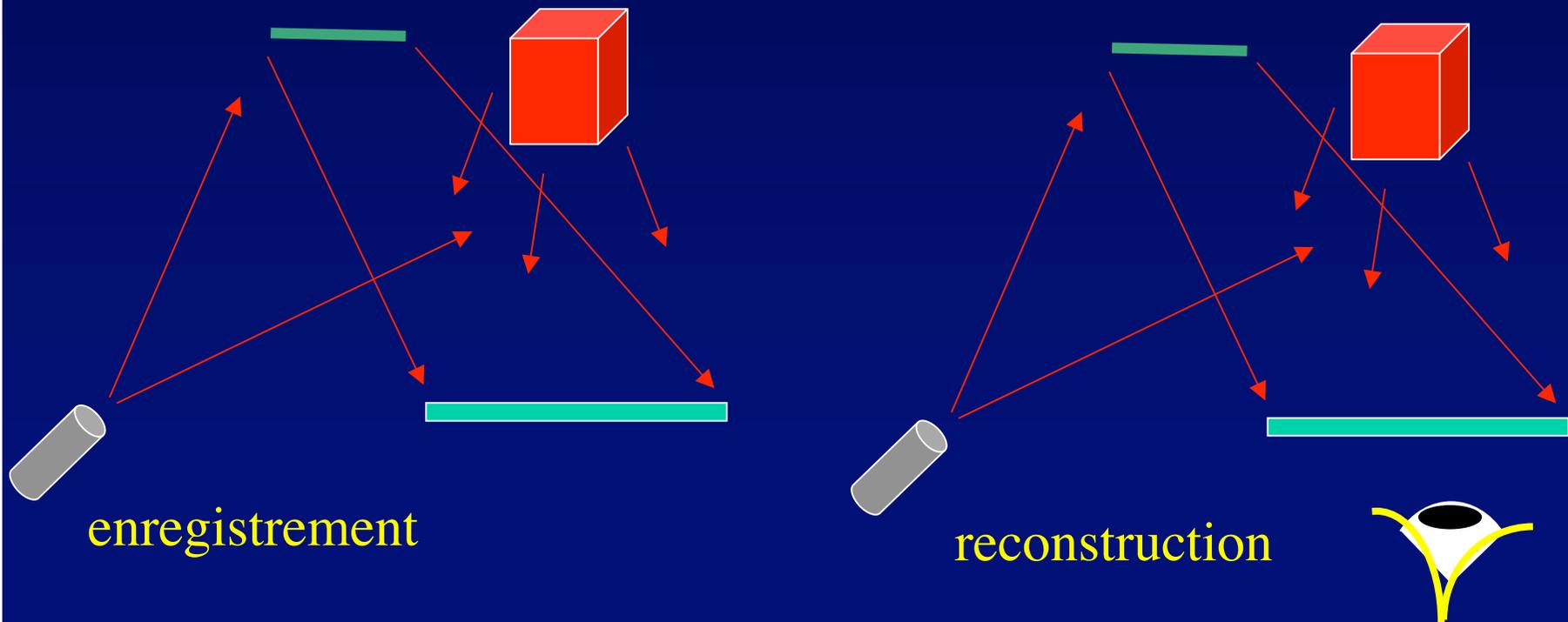




- Hologramme = speckles frangés

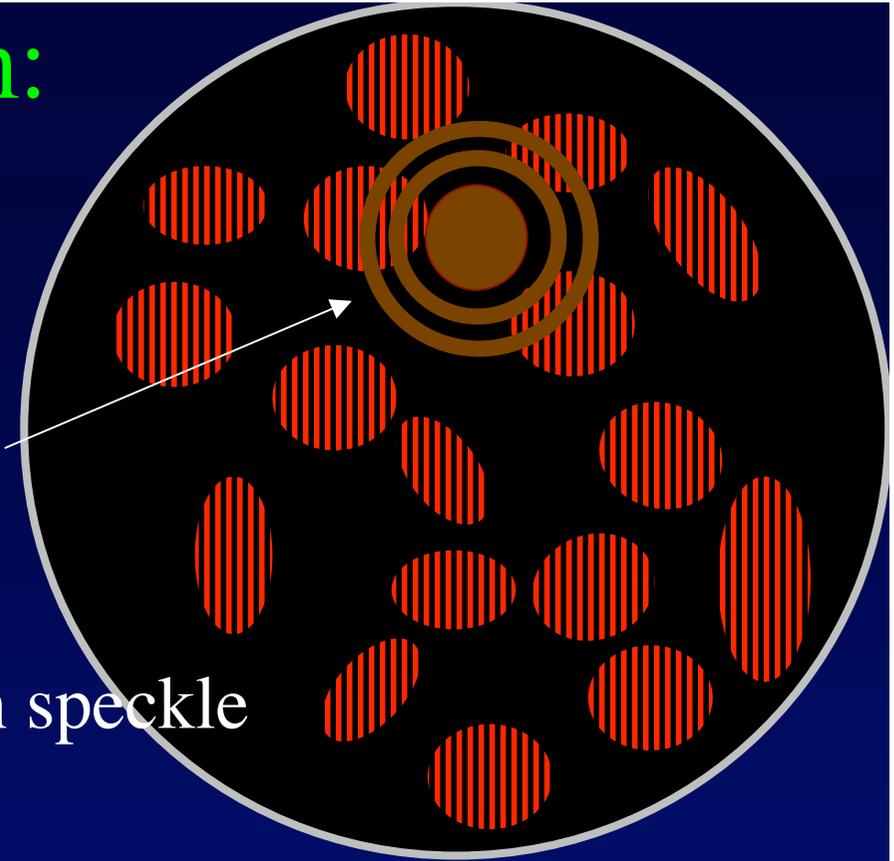
# Hologramme annulant les résidus d'étoile

- Utilise le principe de l'interférométrie holographique: interférence d'un objet réel et d'un objet reconstruit
- Ici, annuler avec un faisceau de référence déphasé de  $\pi$



# Cleaning with hologram: how it works

planet



- ... fringes recorded within each speckle
- ...become a dark grid ...
- ...masking the fringes...
- ...but not the planet
- this is holographic interferometry
  - fully destructive if  $\gamma = -1/2$
  - also works with phase hologram

Lyot coronagraph  
and hologram:  
Simulation by H.  
Le Coroller  
(Coroller et al., in  
preparation)

