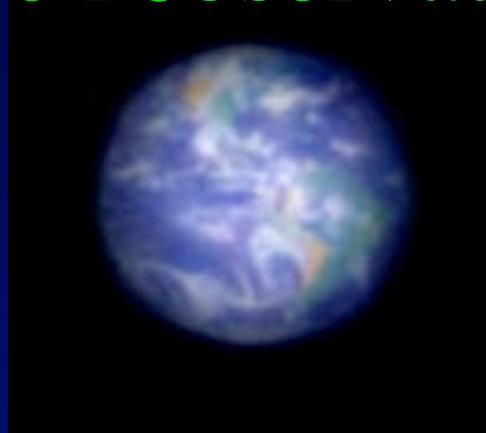


Collège de France

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

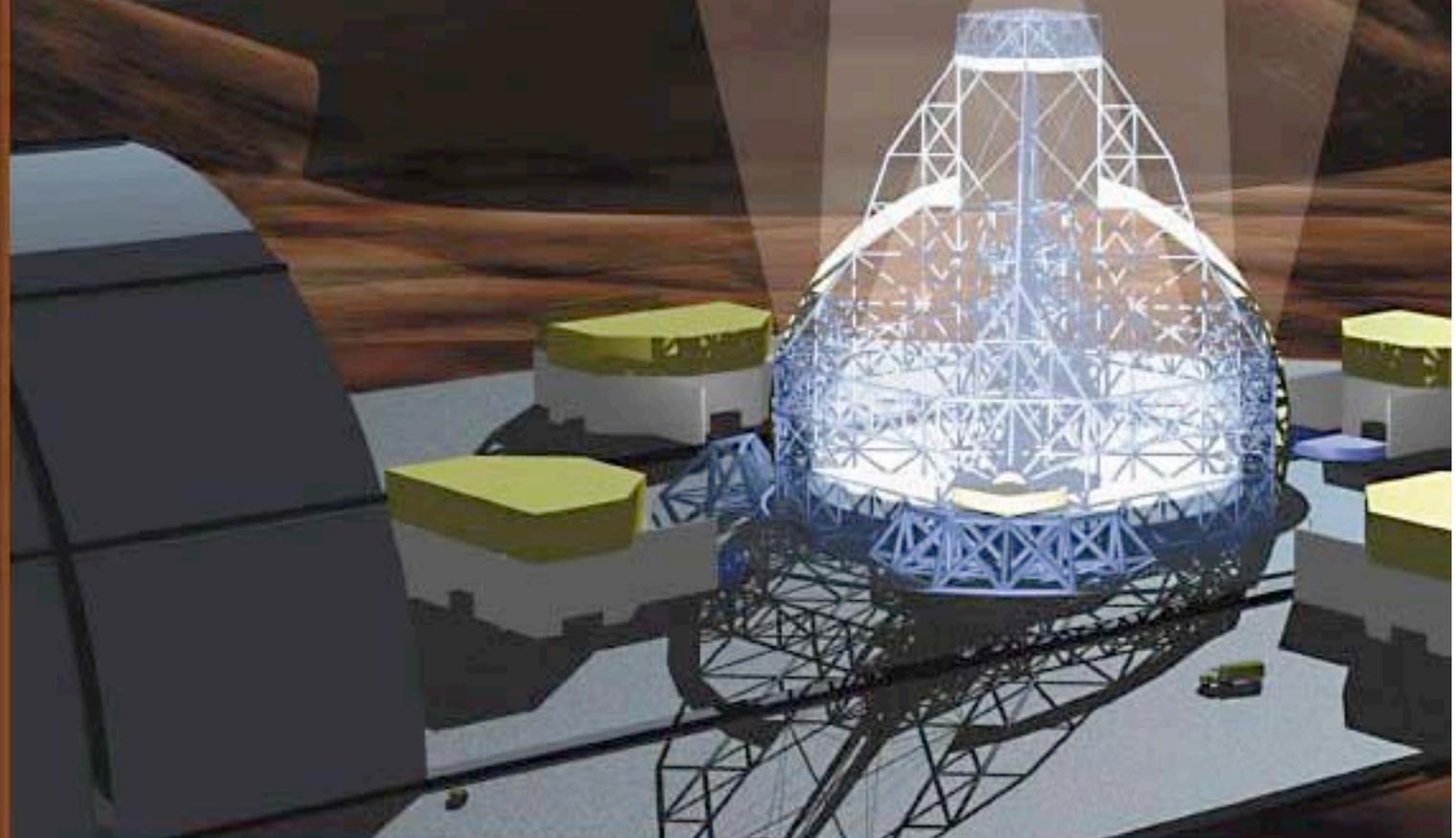
Aujourd'hui:

Coronographie optique et infra-rouge pour
l'observation d'exo-planètes dans l'espace

Séminaire à 15h15:

Pierre Riaud , LISE & Obs. Paris

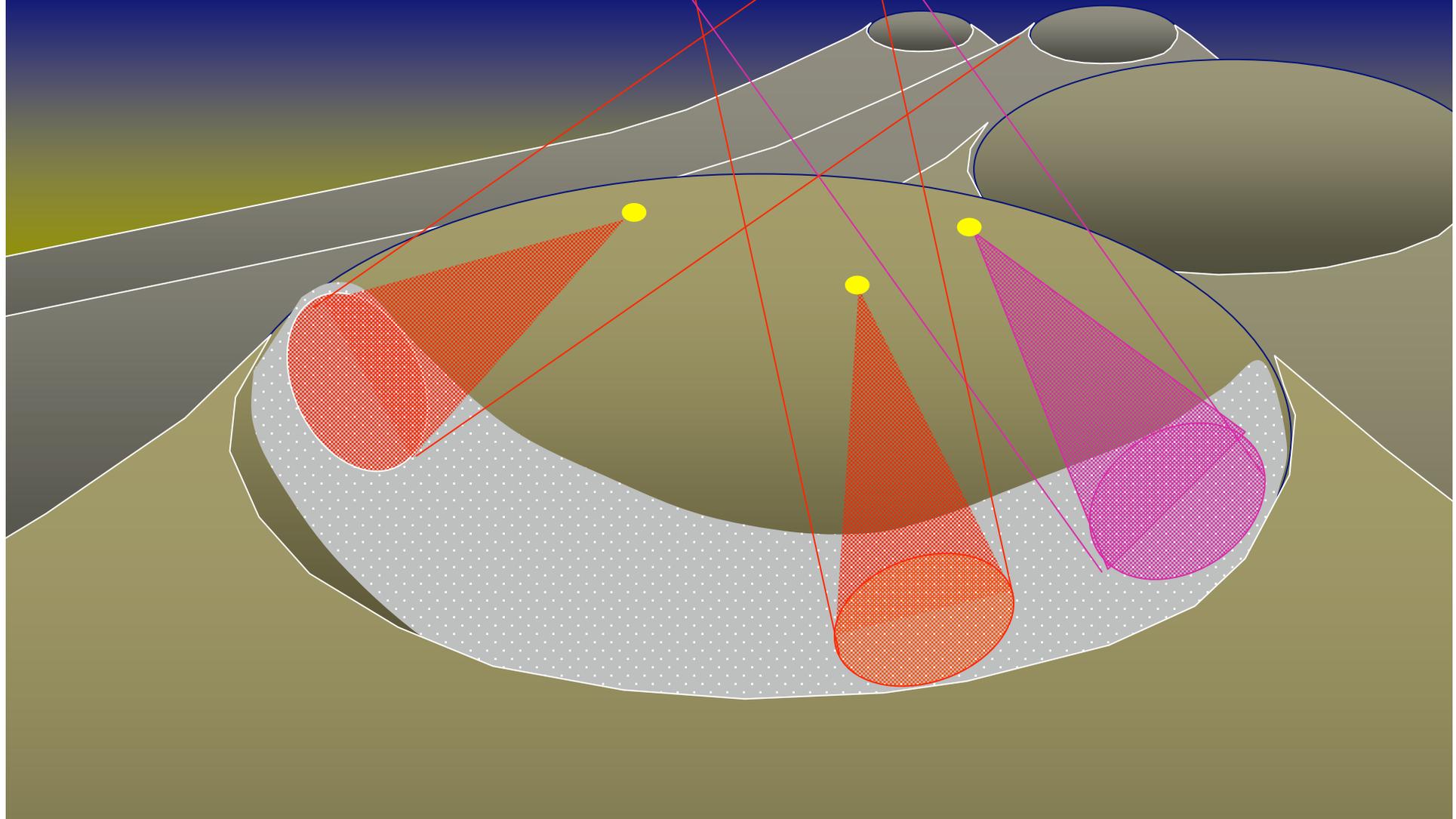
Un télescope de 100m ? Projet européen OWL



One-kilometer hypertelescope

10,000 mirrors of 1m, 5 km array

Imaging to mag. 38, cosmology



Version hypertélescope pour TPF

proposée par les chercheurs de LISE (étude NASA en cours)

vue d'artiste par Boeing /SVS



Galaxies lointaines et cosmologie

Imagerie
hypertélescope :
oui dans les
champs peu
remplis



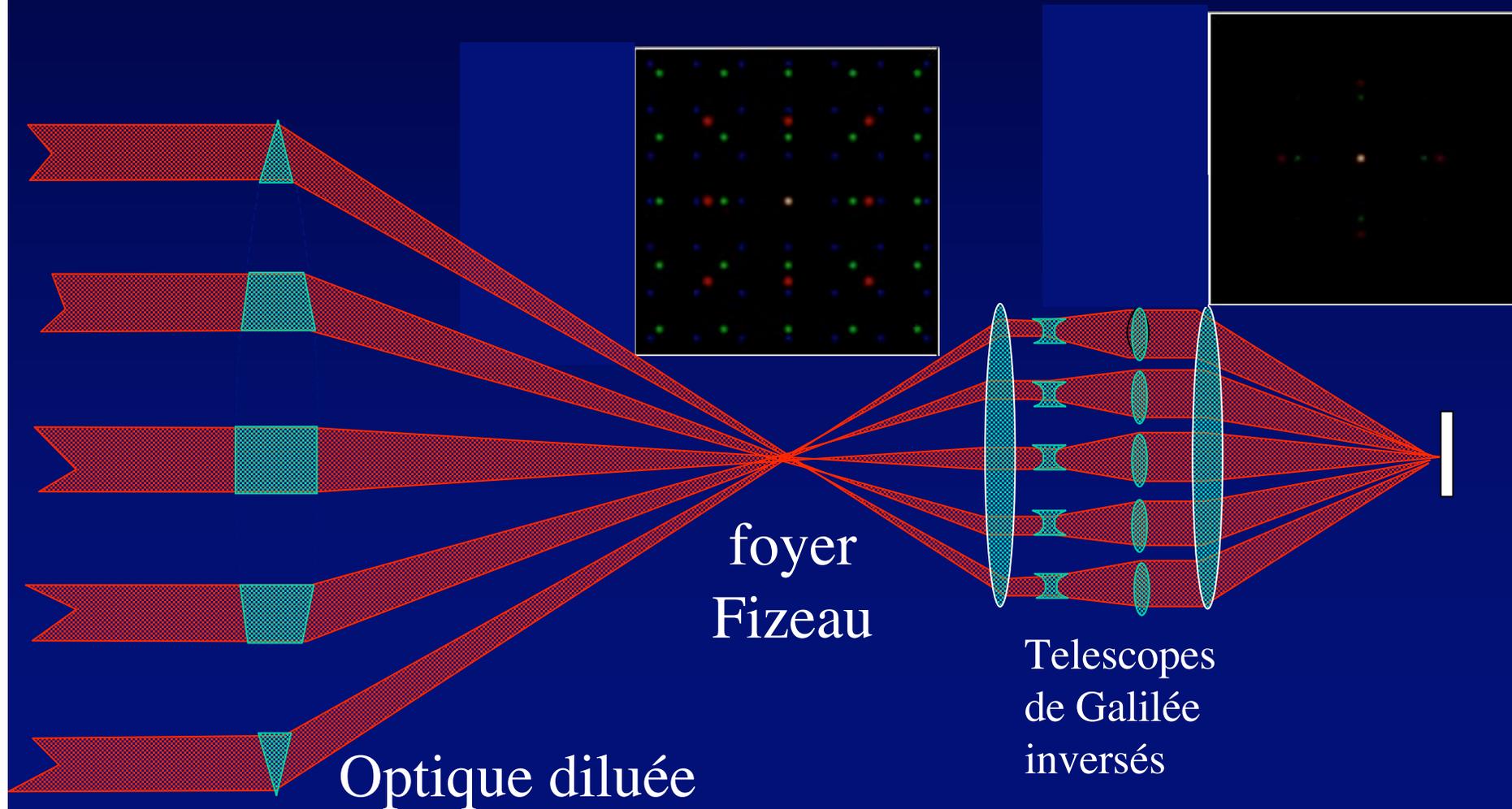
Hubble Deep Field

HST • WFPC2

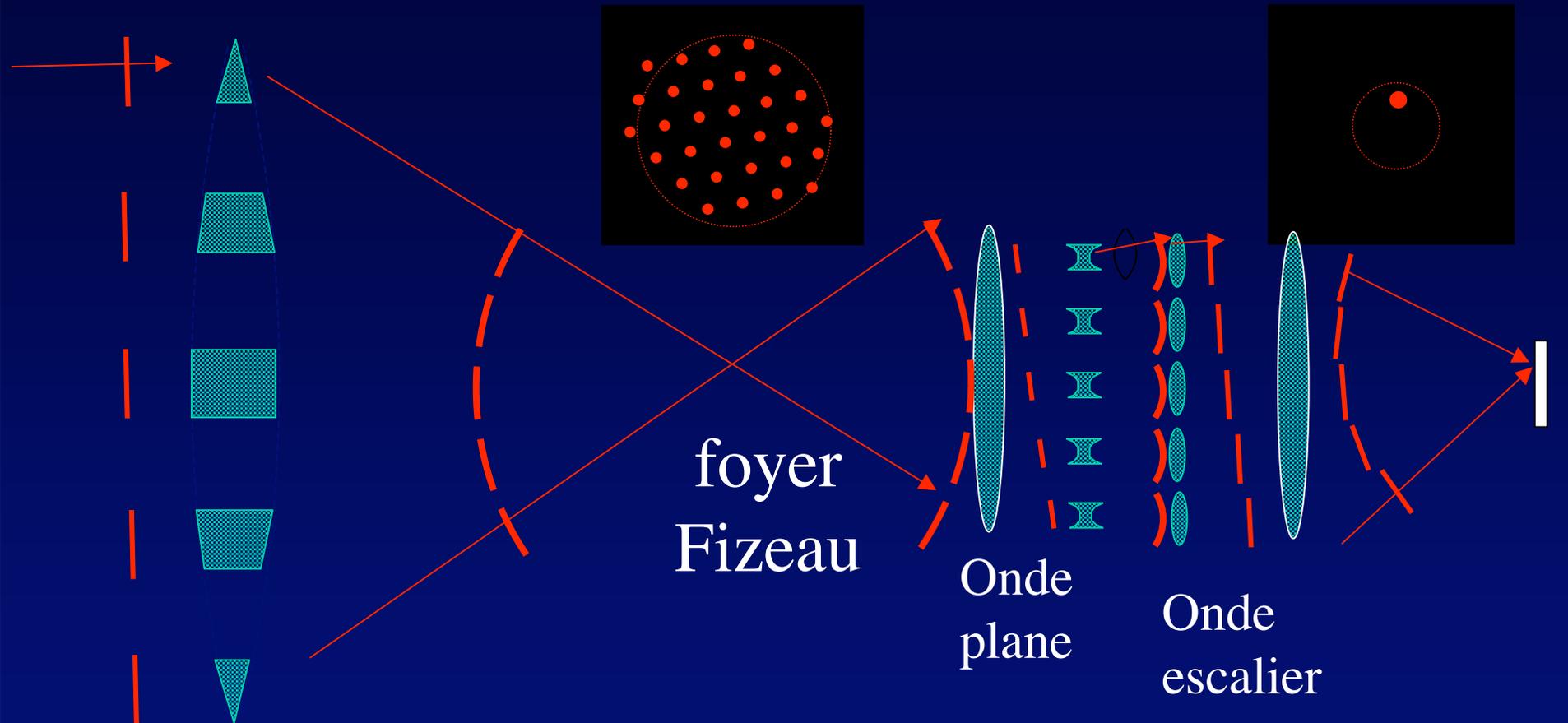
PRC96-01a • ST Scl OPO • January 15, 1996 • R. Williams (ST Scl), NASA

Principe de l'hypertélescope

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



Source hors d'axe

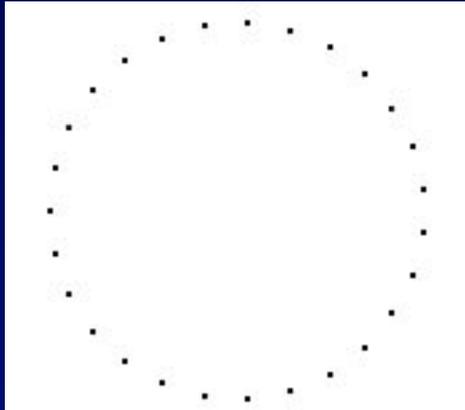


- l'onde plane devient "en escalier"
- l'image est décalée dans l'enveloppe
- pseudo-convolution, champ limité

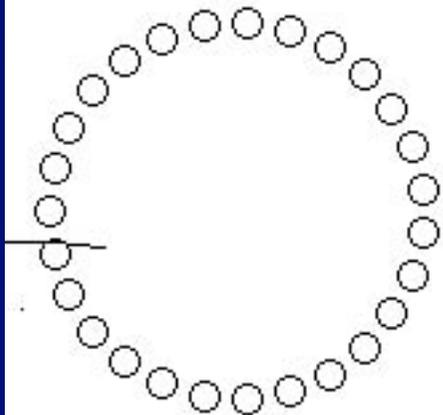
Encombrement des images

- Exemple: 27 ouvertures

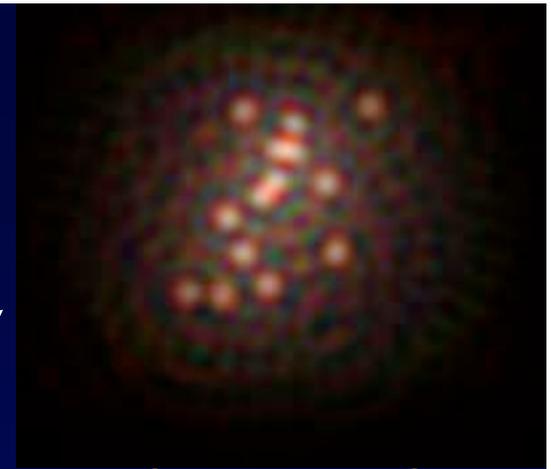
entrée



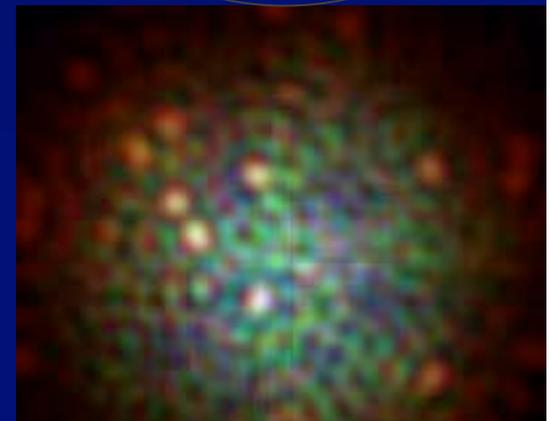
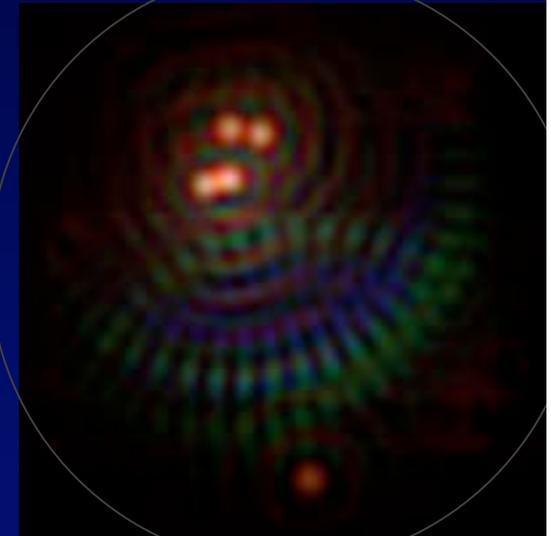
sortie



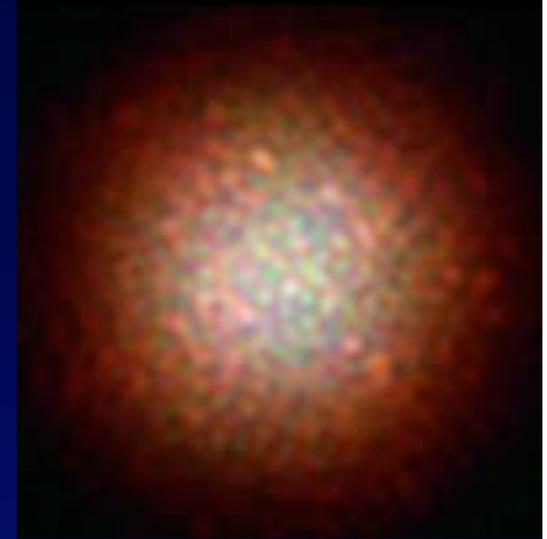
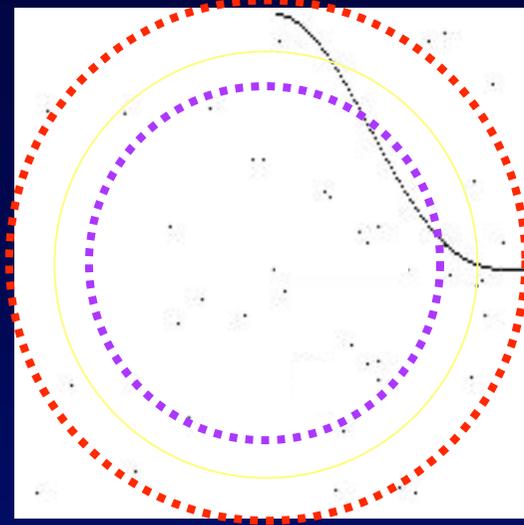
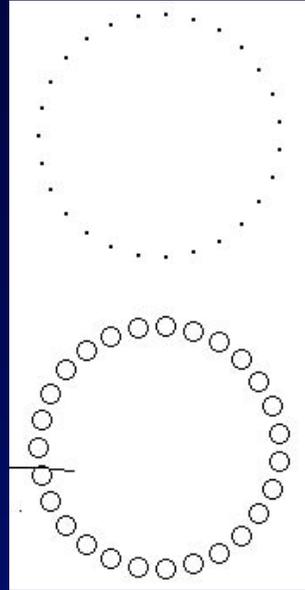
15 étoiles



60 étoiles



Encombrement



- 27 ouvertures, non-redondantes
- 101 étoiles, blanches, égales intensités, dont 16 dans le champ bleu

Coronographie pour détecter les exo-planètes

- Applicable aux hypertélescopes à ouverture périodique
- Atténuer l'étoile d'un facteur 10^8 pour détecter une Terre



Evolution récente des coronographes

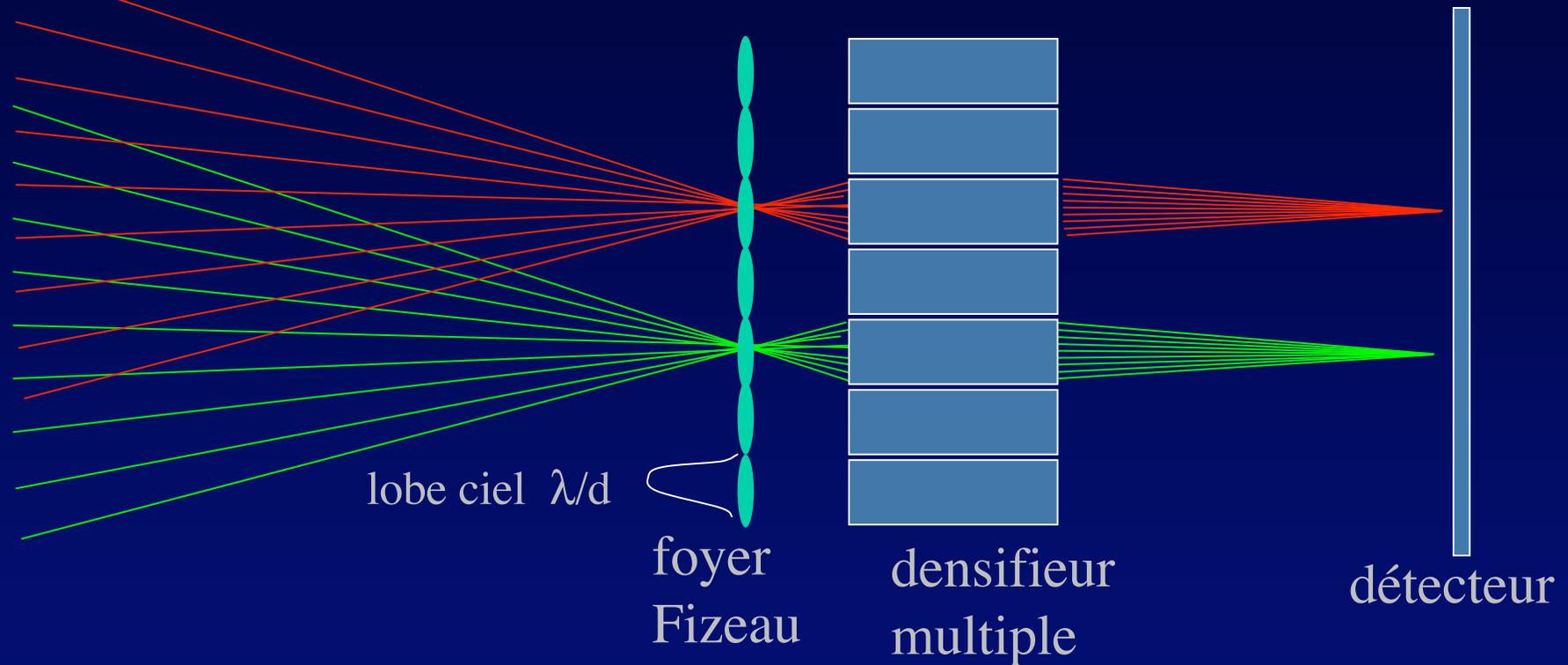


- 1945: Lyot, masque opaque et « Lyot stop »
- 1995 :
 - Roddier & Roddier: pastille déphasante
 - Gay: retournement d'onde
- 2000 : Rouan: déphasage 4 quadrants
 - Vakili : « couteau de phase »
- 2001: Nisenson: ouverture carrée apodisée

Interféromètres et hypertélescopes: principe du coronographe cascade

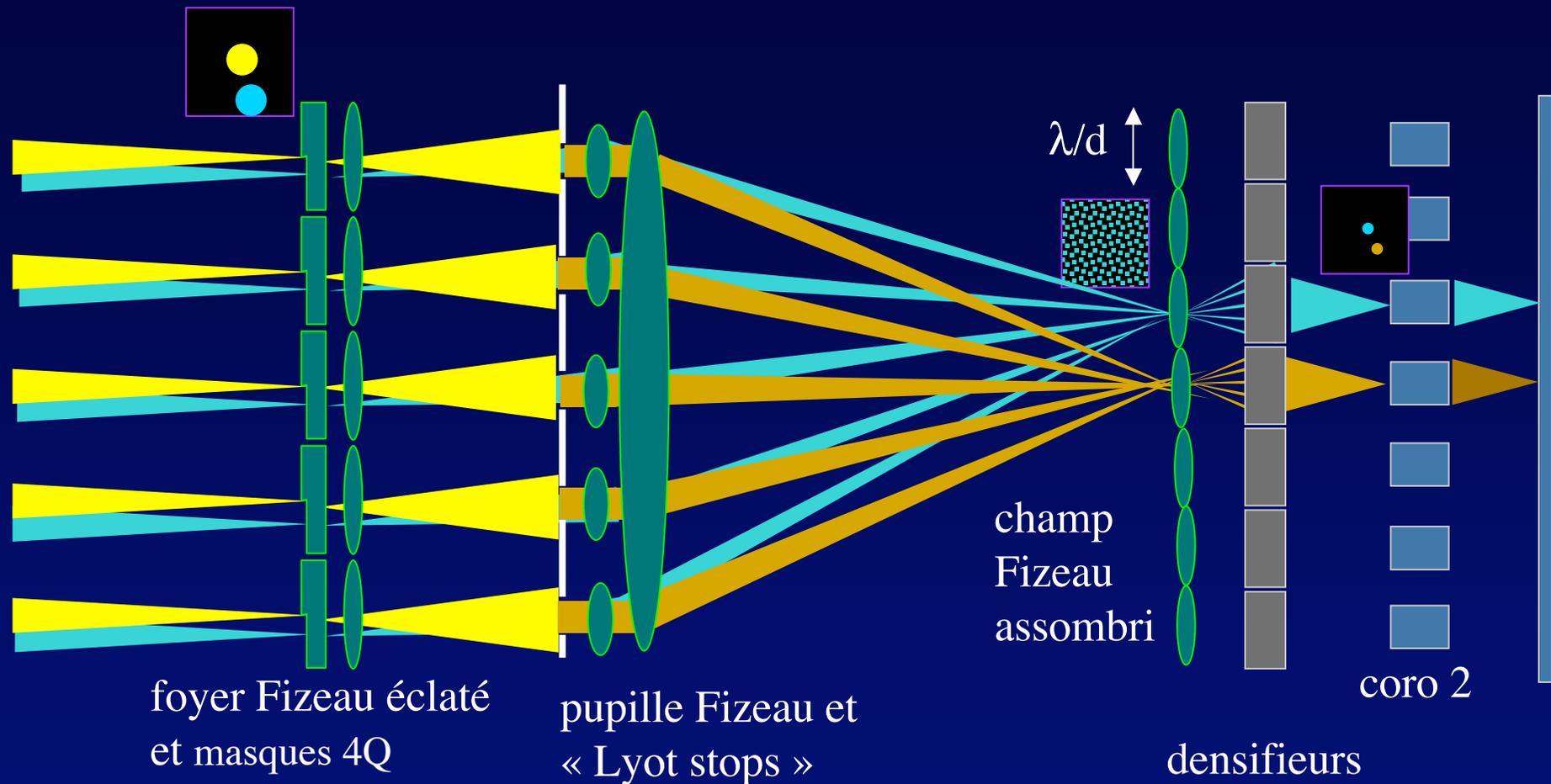
- séparation des champs d/λ
- 2 étages de coronographe: avant et après le combineur
- Nécessite que la planète soit résolue par les sous-ouvertures  (fréquent dans le visible si $d > 1\text{m}$)
- Les atténuations de l'étoile se multiplient:
 - Exemple : $(10\,000)^2 = 10^8$

cosmologie avec OWL éclaté: champ multiple



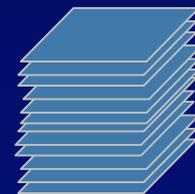
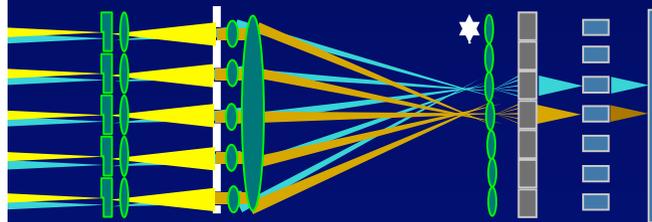
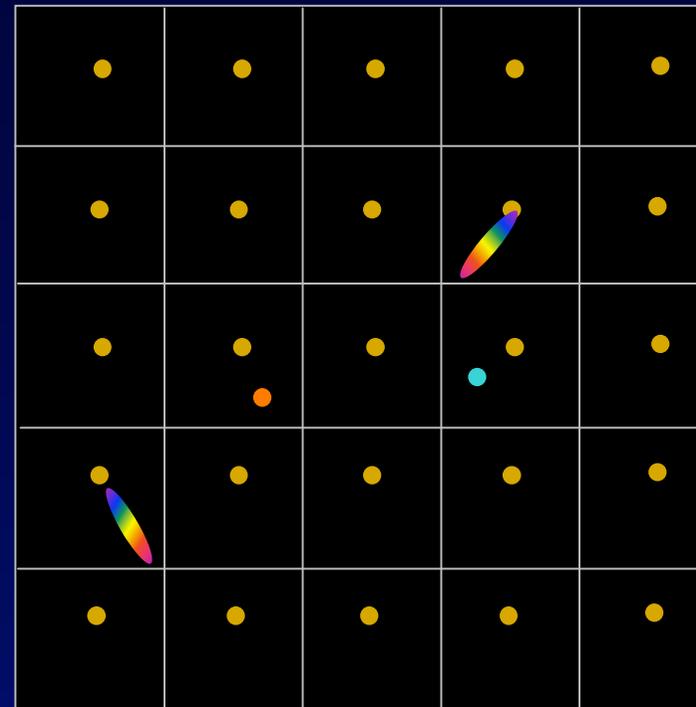
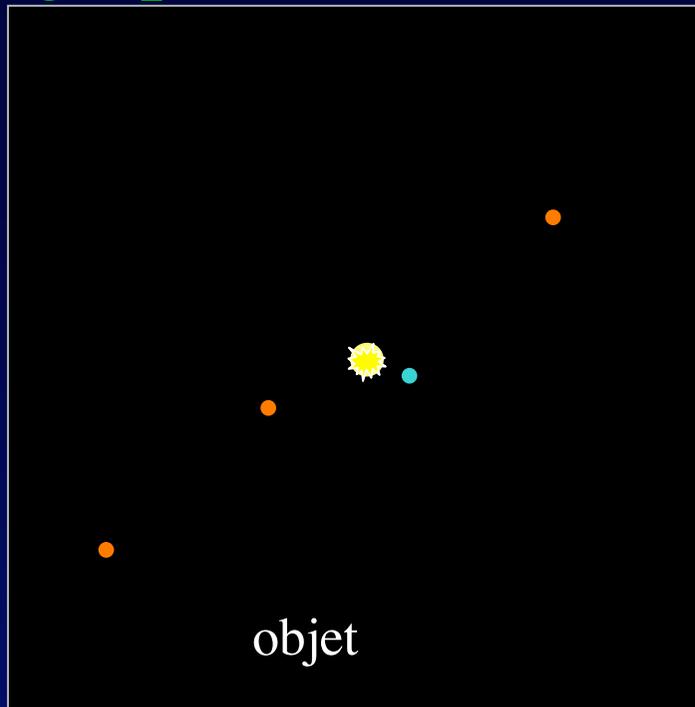
- Optique intégrée pour 1 000 x 1 000 densifieurs
- Poses décalées pour reconstruction mosaïque

Hypertélescopes: coronographe cascade pour le visible

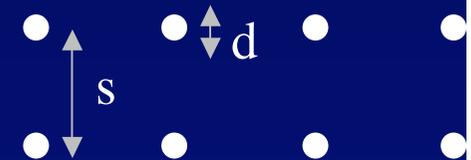


- mosaïque d'images haute-résolution, espacées de λ/d
- résidu coronagraphique : image fantôme de l'étoile dans chaque image

coronographe cascade

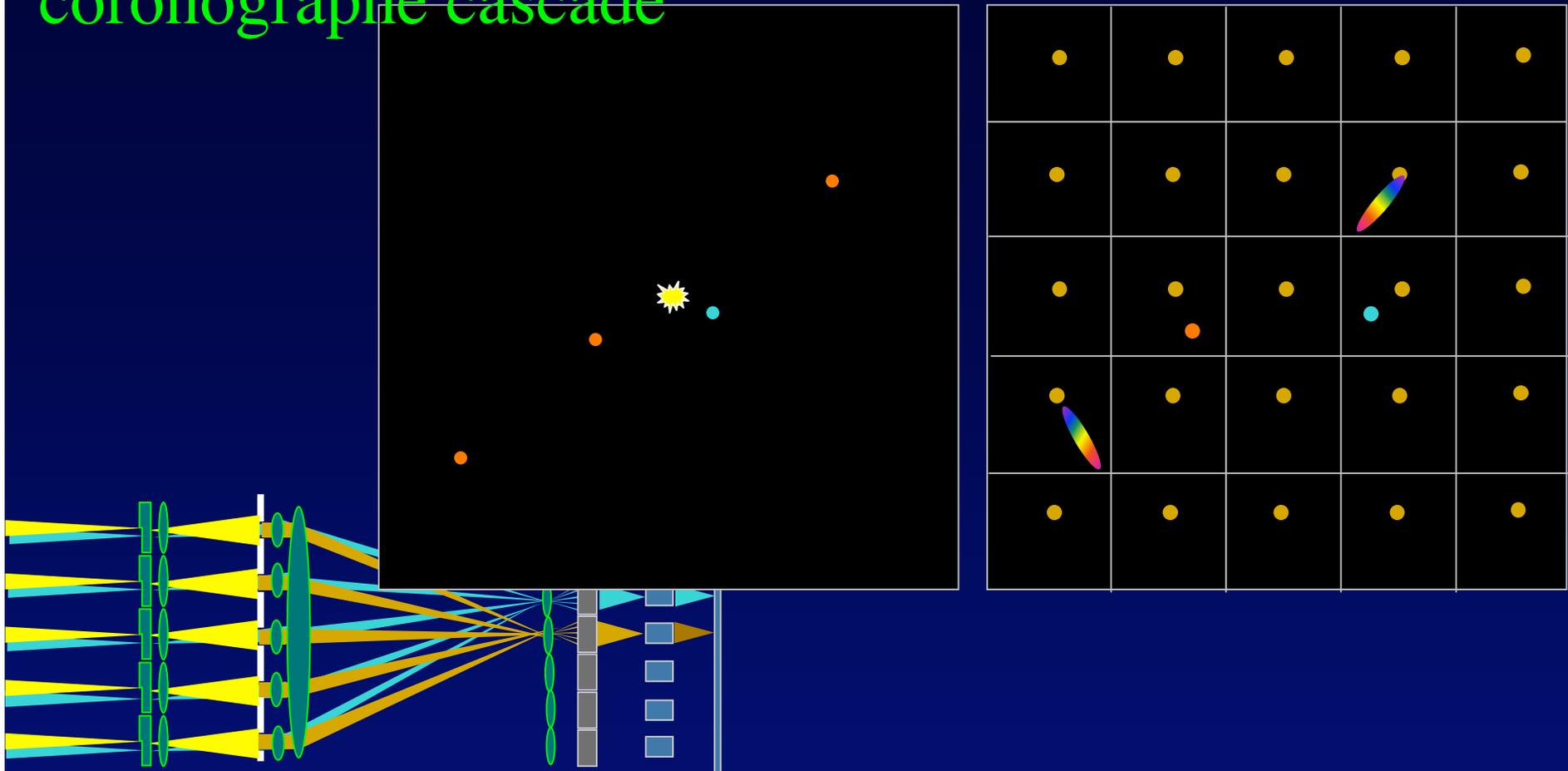


$(s/d)^2$
éléments



- Image mosaïque, repliée: champ élémentaire λ/s , replié λ/d
- Reconstructible par les ordres dispersés, ou par poses décalées

coronographe cascade



- Second coronographe dans les images densifiées
- Exige:
 - Strehl élevé dans les sous-pupilles
 - faibles erreurs de piston

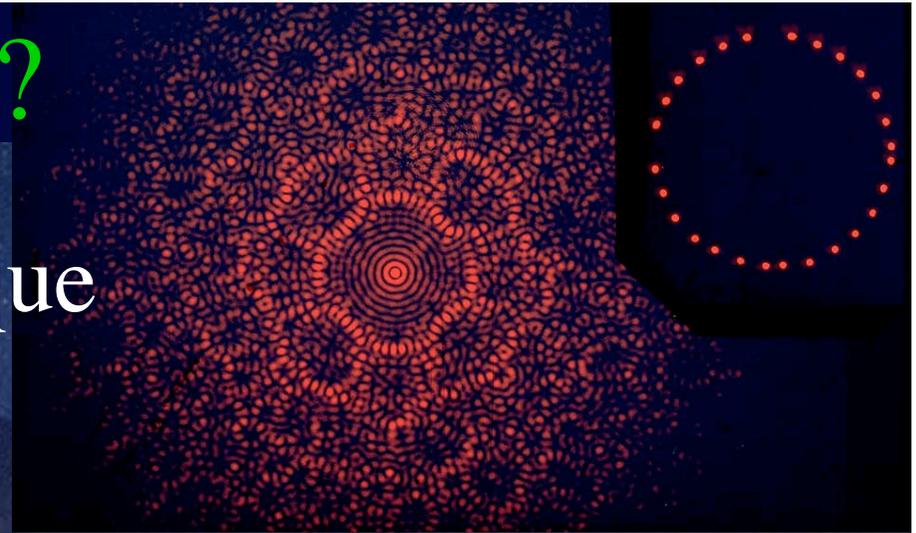
Déteçtabilité d 'une Terre dans le visible avec un coronographe cascade

- « nulling » $(10\ 000)^2 = 10^8$
- Signal/bruit = 10 si étoile/planète = 10^9 , avec 10^4 /resel photons résiduels de l 'étoile
- sans compter les raffinements :
 - « dark hole »
 - « dark speckle »

Applicable à OVLA ?

Oui pour version périodique

Si $d > 3$ m



Applicable à CARLINA ?

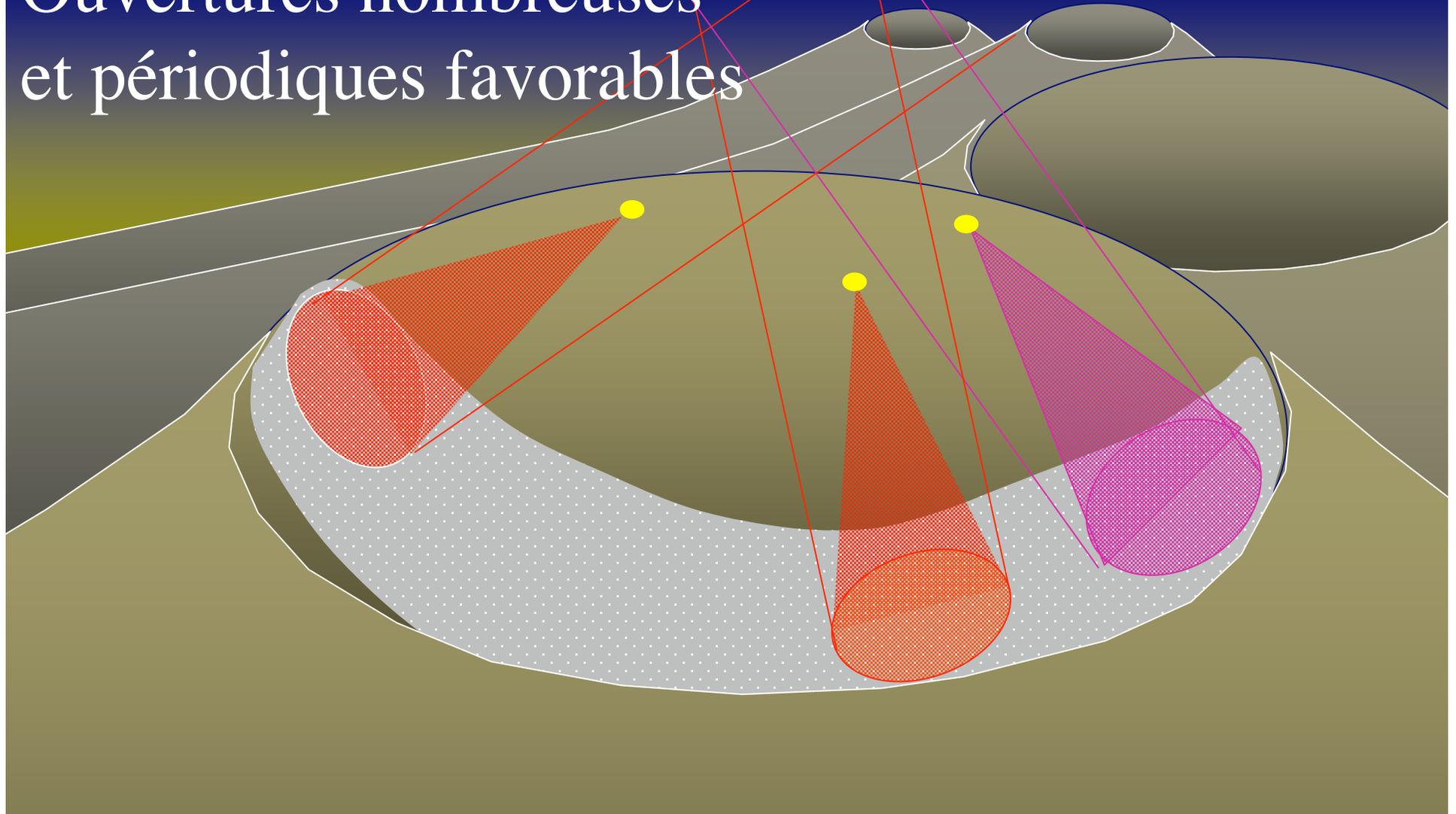
Oui si $d > 3$ m

Ouvertures nombreuses
et périodiques favorables

One-kilometer hypertelescope

10,000 mirrors of 1m, 5 km array

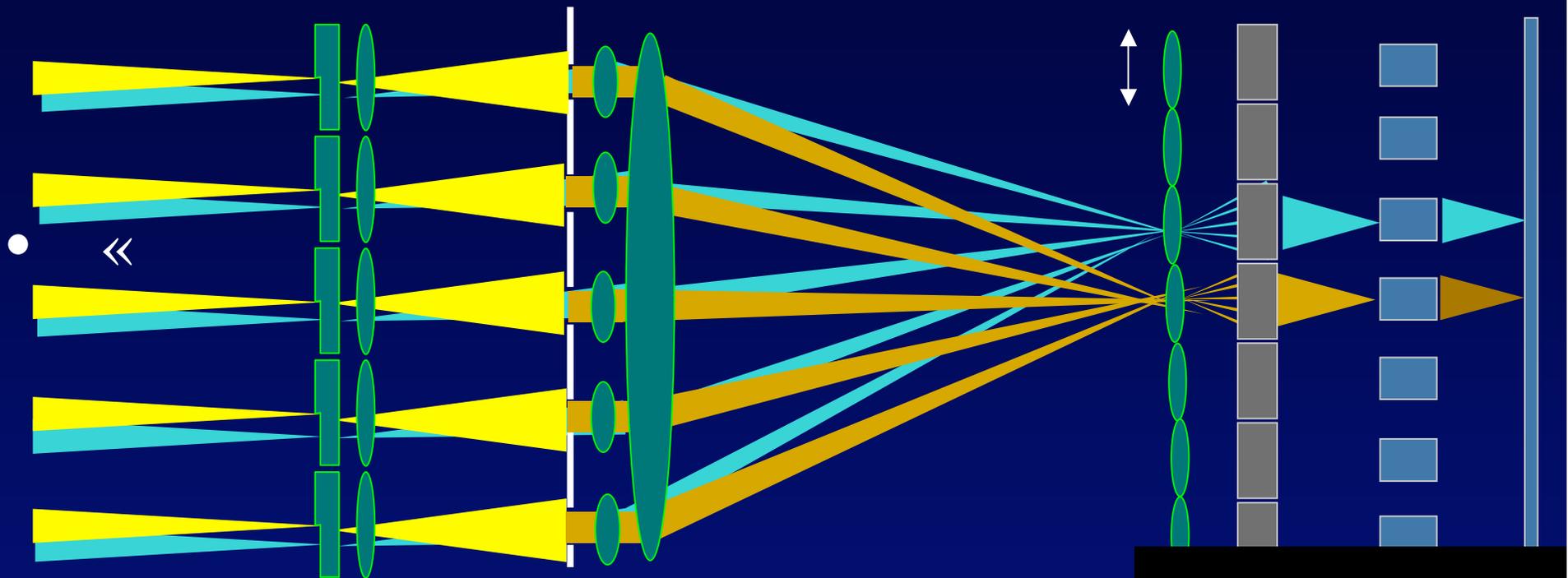
Imaging to mag. 38, cosmology



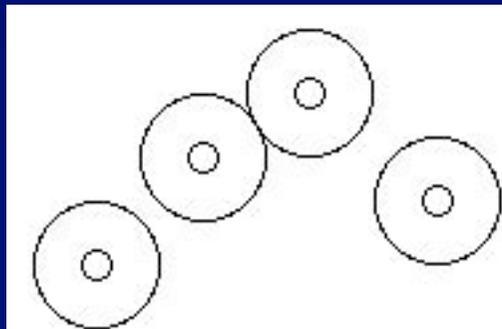
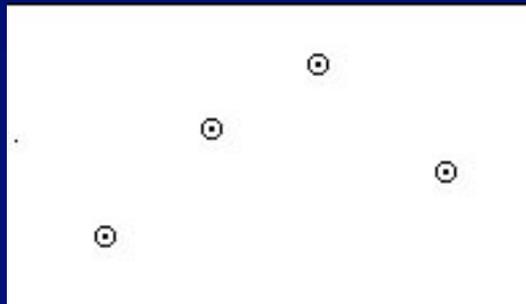
Applicable au VLTI ?

- le grand diamètre des ouvertures peut-il compenser leur faible nombre ?
- 4 x 8m bientôt disponible

Applicable au VLTI ?



- le coro 2 est peu efficace

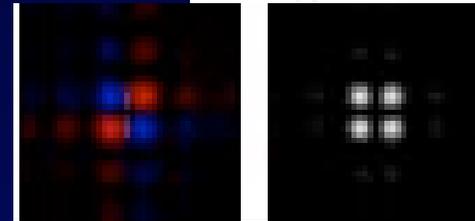
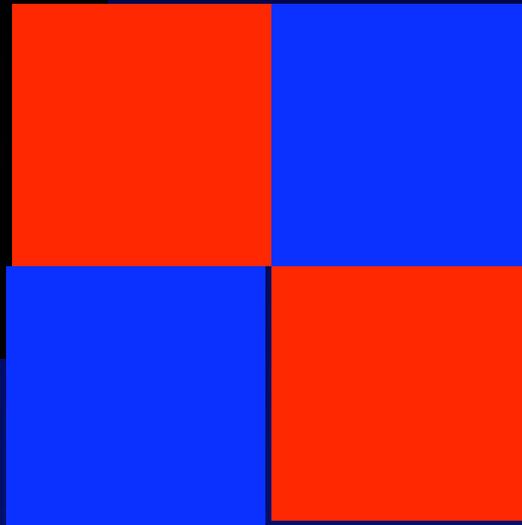


Applicable au VLTI ?

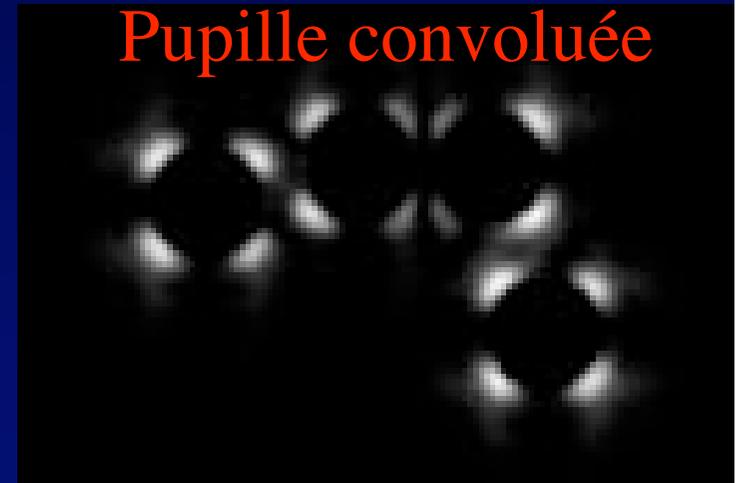
Pupille densifiée 4 UT



diffraction des 4 quadrants
amplitude et phase



Pupille convoluée



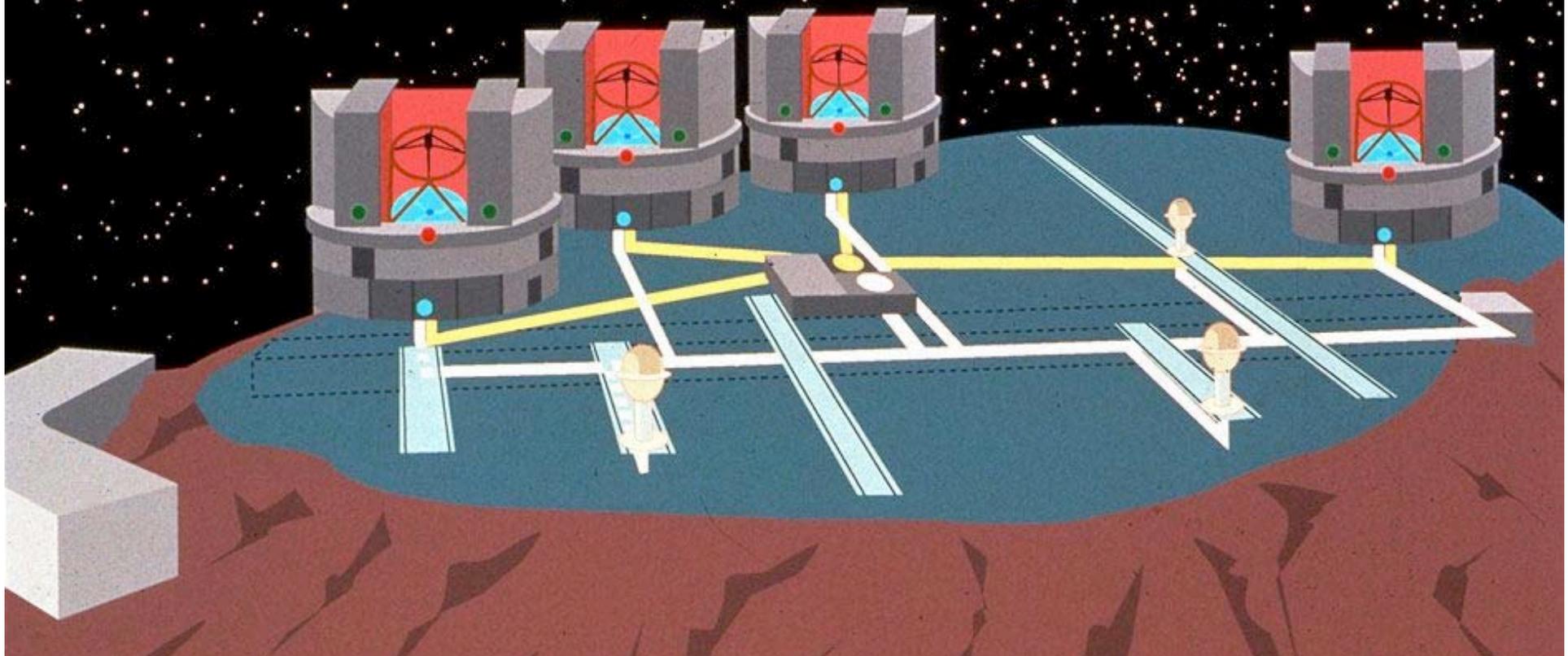
- Exemple:
- Coronographe à 4 quadrants sur chaque étage
- Atténuation de l'étoile: 10^8 si « super » optique adaptative ?

l'interféromètre européen VLTI au Chili



Very Large Telescope Interferometer ESO, Chili

- 3 x 8m + 4 x 1.8m



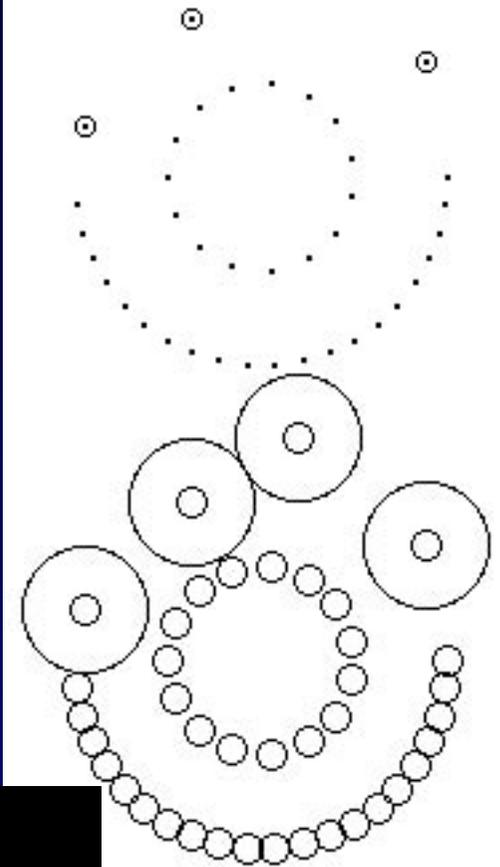
Les tunnels du VLTI

- prévus pour 8 lignes à retard

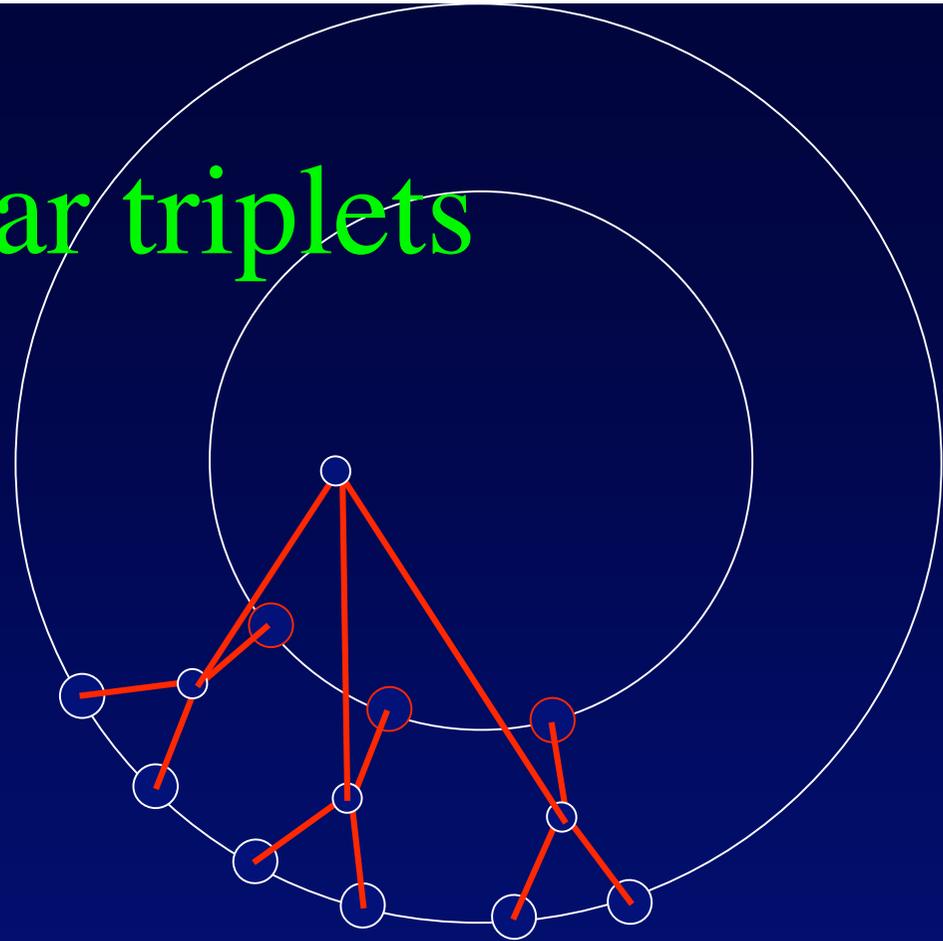


Ajouter des petits télescopes ?

- améliore beaucoup si $N > 20$
- mais restreint la distance



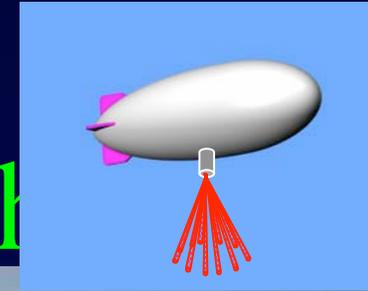
Solution 1: ATs combinés par triplets hiérarchisés



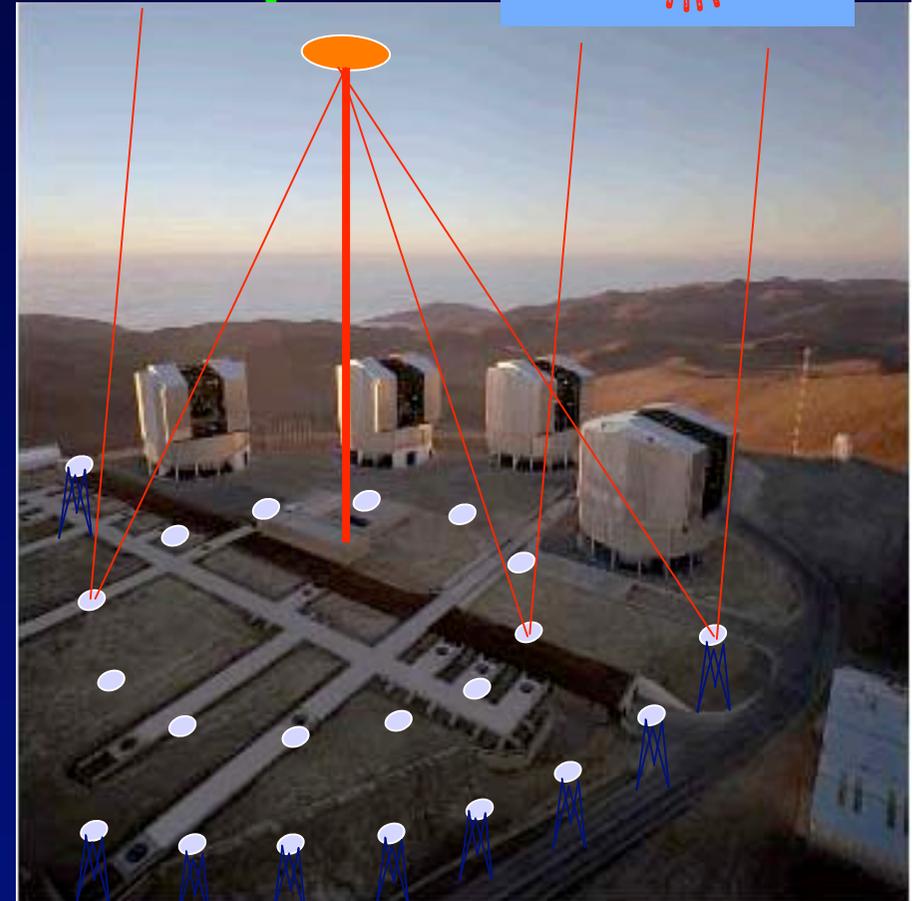
- Combineurs mobiles remplacent les lignes à retard
- Exemple: 1 seule ligne à retard pour raccorder 27 AT aux UT (soit 4 lignes au total)

Solution 2: type Carlina

AT fixes et combineur perche



- ATs: miroirs fixes
- Ballon dirigeable à 300 m
- 4 lignes à retard suffisent
- Plusieurs ballons pour science accrue
- Mais: les aberrations du réseau limitent la distance zénithale:

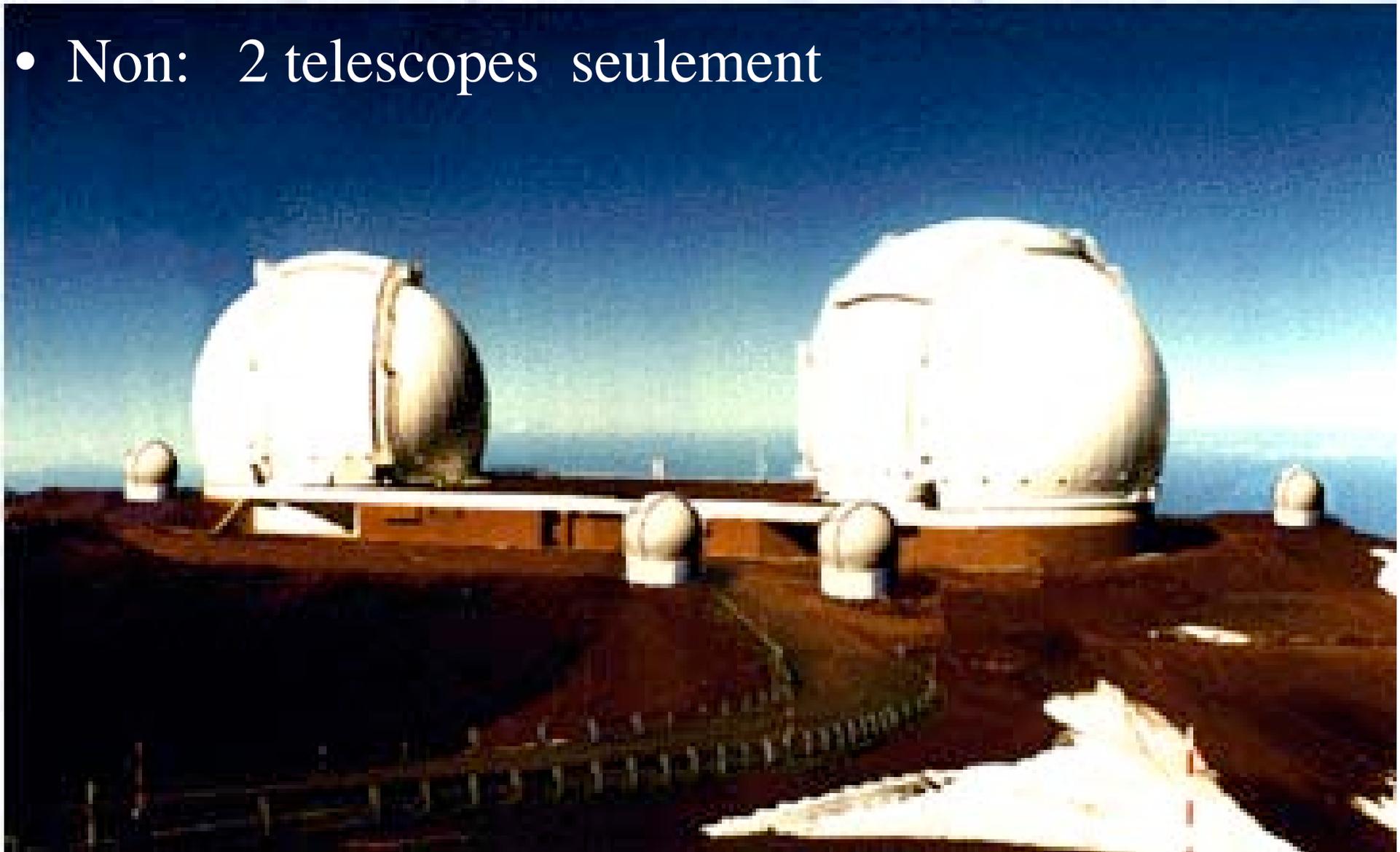


Applicable au VLTI ?

- probablement, à vérifier
- comparer au mode de combinaison par séparatrice
- perspective de détecter dans le visible des Terres

Applicable au Keck ?

- Non: 2 telescopes seulement



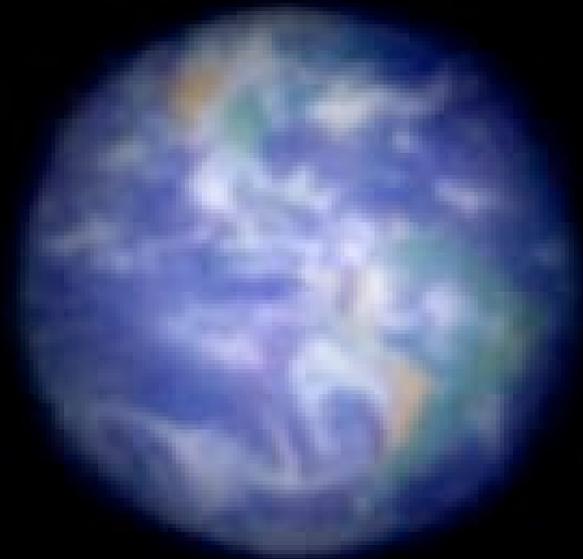
Applicable dans l'espace ?

TPF-hyper, Exo-Earth Imager

- oui, mais nécessite $d > 3$ mètres

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 (Schneider 2002)



from the approximation of the parameters
st double zoom=5, contraction=10,
st unsigned int Nt=50, rotMax=3;

Conclusions

- préciser les performances de la coronographie en cascade
 - avec le VLTI: exo-Terres dans le visible ?
 - dans l'espace
- préciser les schémas optiques:
 - bande large
 - spectro-imagerie
 - optique intégrée ?