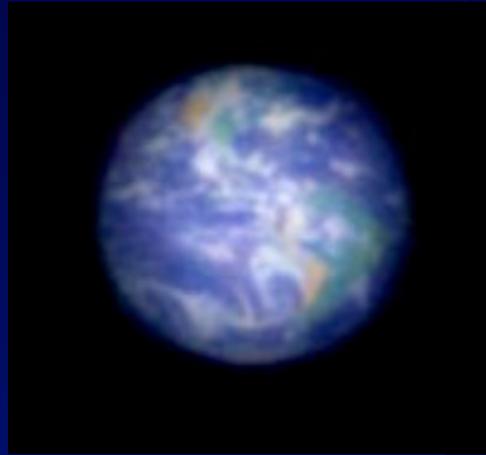


Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



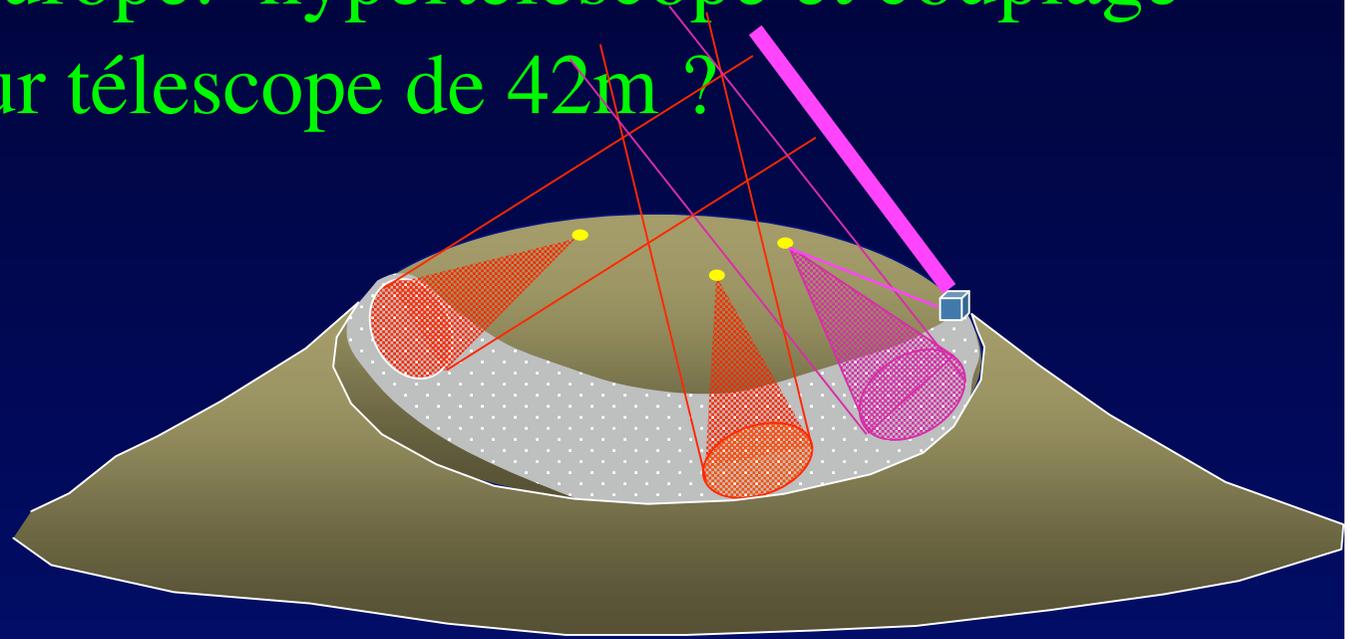
- Cours à Paris les mardis à partir du 12 Février
- 3 cours & séminaires à Nice le 29 Mai
- Détails sur www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html
- les fichiers des projections y seront affichés

Calendrier 2008

- 12 Février: " Projets pour l'Europe: coupler un hypertélescope au télescope de 42m ?"
 - Séminaire: Roberto Gilmozzi, ESO: "Science and technology of the European ELT"
- 19 Février "Résultats récents de l'observation à haute résolution et perspectives (suite)"
 - Séminaire: **Jean Surdej, Institut d'Astrophysique de Liège** "Mirages gravitationnels: reconstruction de l'image des sources par système hardware"
- **26 Février et 4 Mars: les cours et séminaires n'auront pas lieu (vacances scolaires)**
- 11 Mars : Faisabilité d'une Etoile Guide Laser pour mettre en phase les hypertélescopes
 - Séminaire: M.Aurière, OMP "Imagerie magnétique de la surface des étoiles: intérêt des géantes rouges "
- 18 Mars: Faisabilité d'une "Etoile Guide Laser" pour mettre en phase les hypertélescopes
 - Séminaire: H. Le Coroller , OAMP
- 25 Mars "**Propositions d'hypertélescopes pour l'espace: Stellar Imager et Luciola**"
 - Séminaire :
- 1er Avril « **propositions d'hypertélescopes pour l'espace: piégeage par laser** »
- **Une grande illusion ? Éventualité de mirages galactiques**
 - Séminaire : Didier Pelat, OBSPM
- **3 cours et séminaires sont aussi prévus a Nice le 29 Mai**

Aujourd'hui:

Projets pour l'Europe: hypertélescope et couplage éventuel au futur télescope de 42m ?

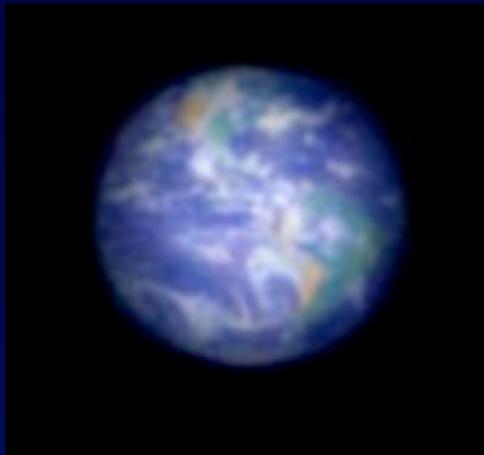


Séminaire à 17h30:

Roberto Gilmozzi, ESO

"Science and technology of the European ELT"

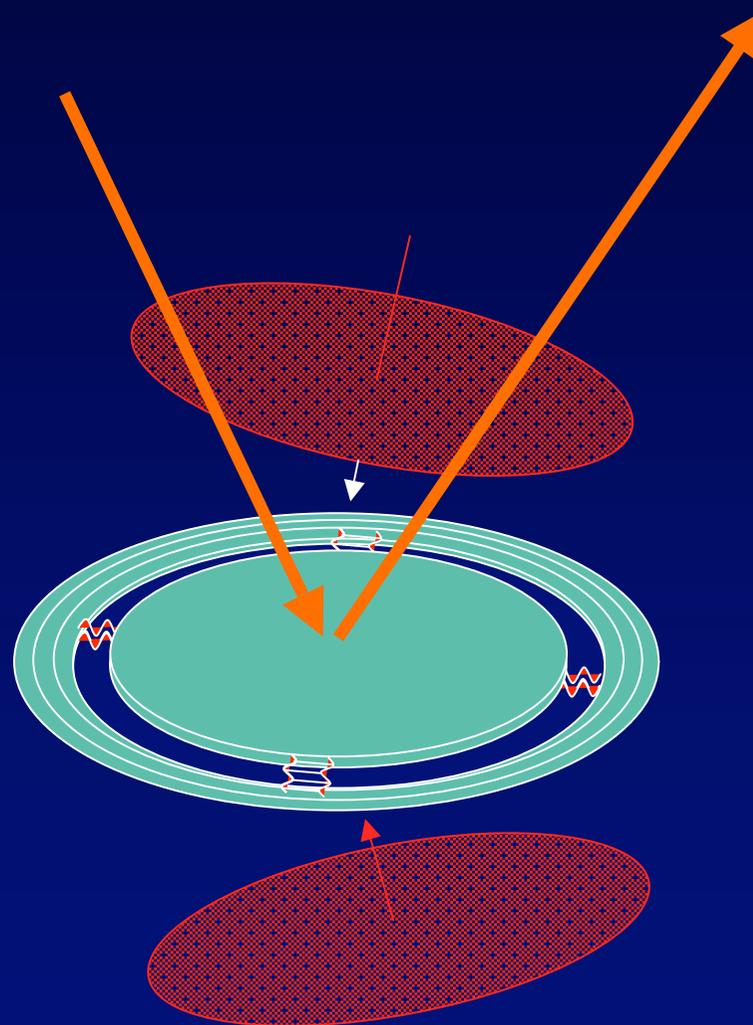
Vers la recherche de vie



- Voir ainsi une Terre à 10 années lumière ? Et sa végétation ?
- C'est possible avec un hypertélescope de 100km:
 - 100 miroirs de 3m
 - ou 10 000 de 30cm
 - ou un million de 3cm, piégés par laser ?

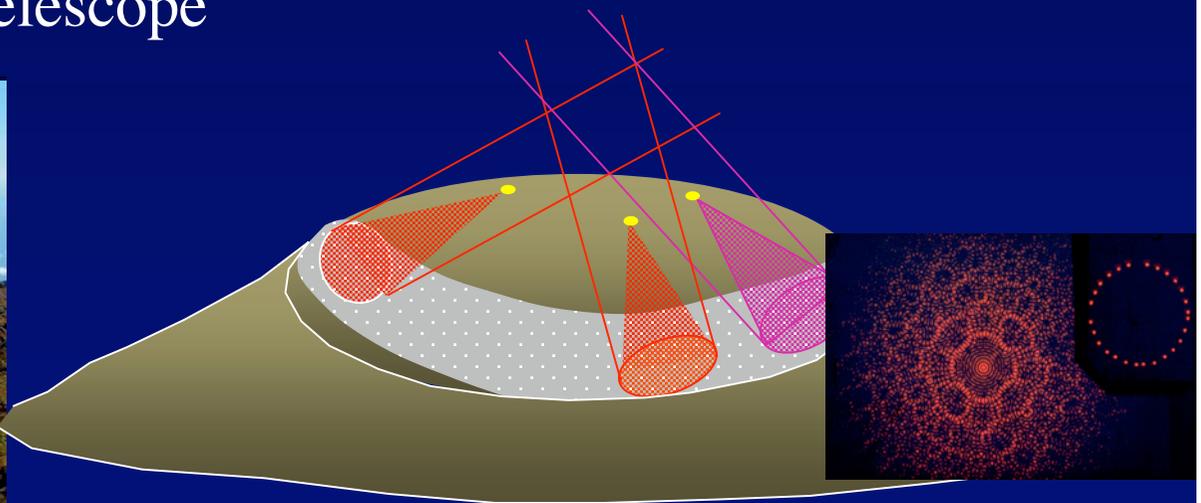
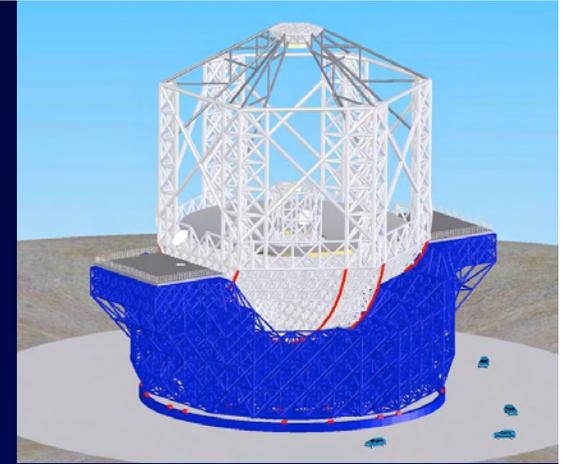
•

Dans l'espace:
Miroirs piégés par laser

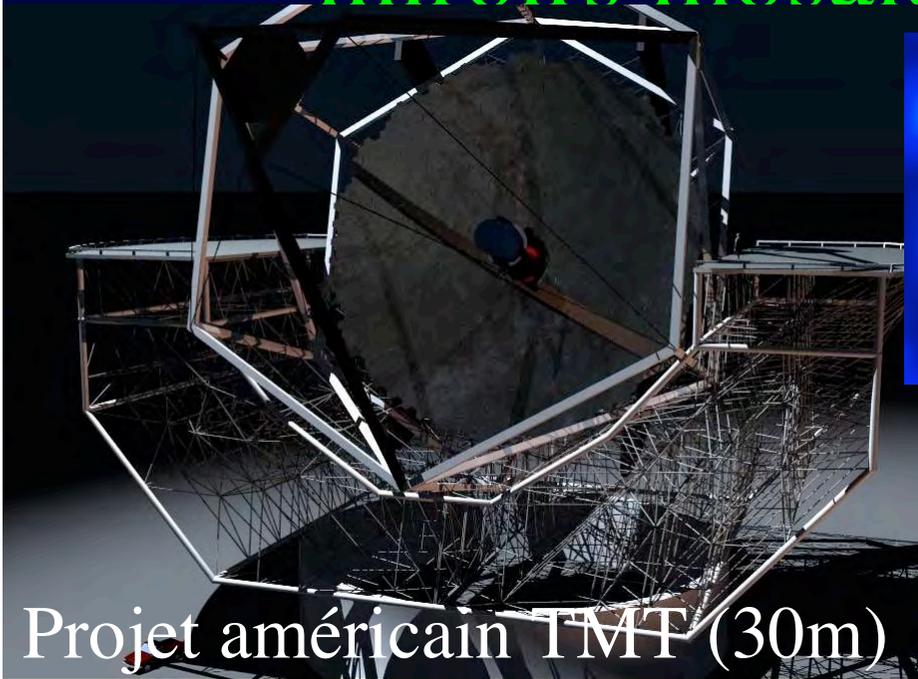


Pour mieux voir le ciel: Quatre voies actuelles

1. Miroir mosaïque compact « ELT »
2. Interféromètre comportant quelques grands télescopes => images par synthèse d'ouverture
3. Hypertélescope => images directes, instantanées
4. Couplage ELT-hypertélescope

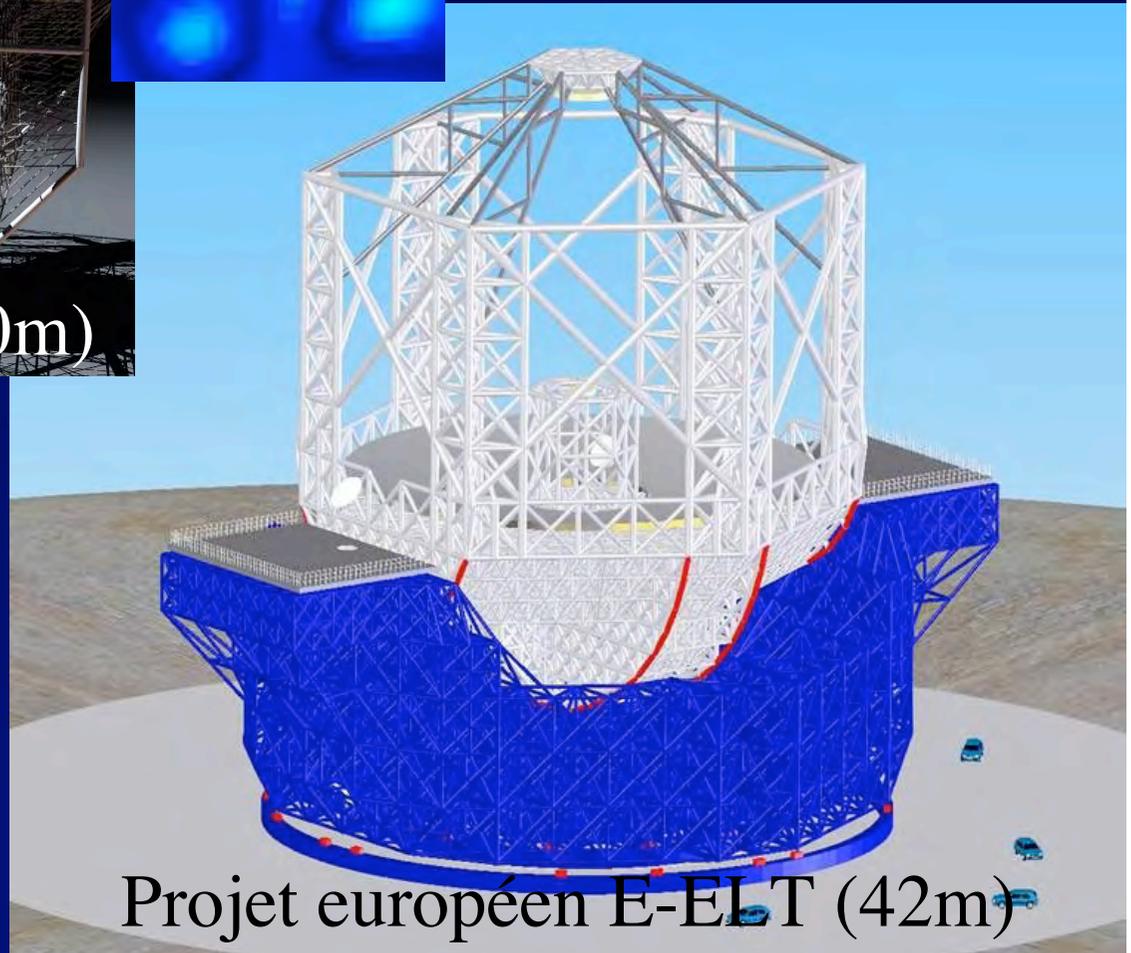
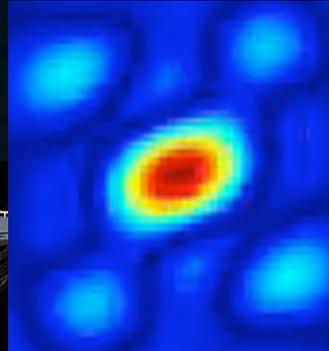


Première voie: miroirs mosaïques 30-60m



Projet américain TMT (30m)

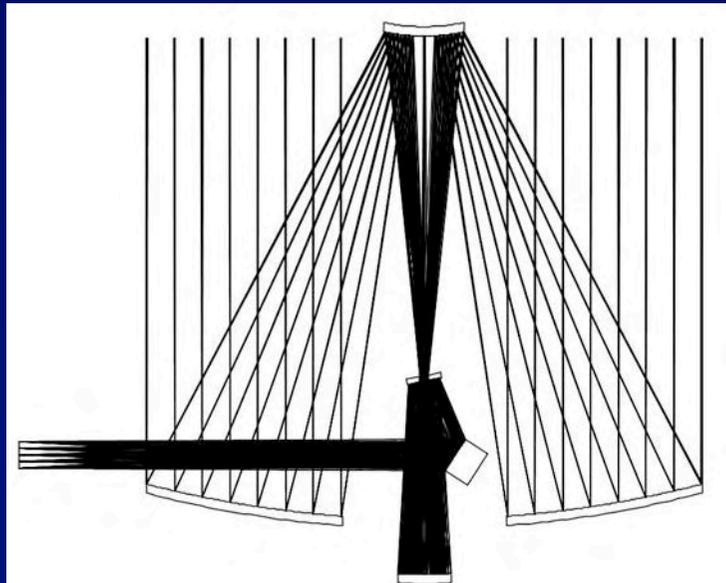
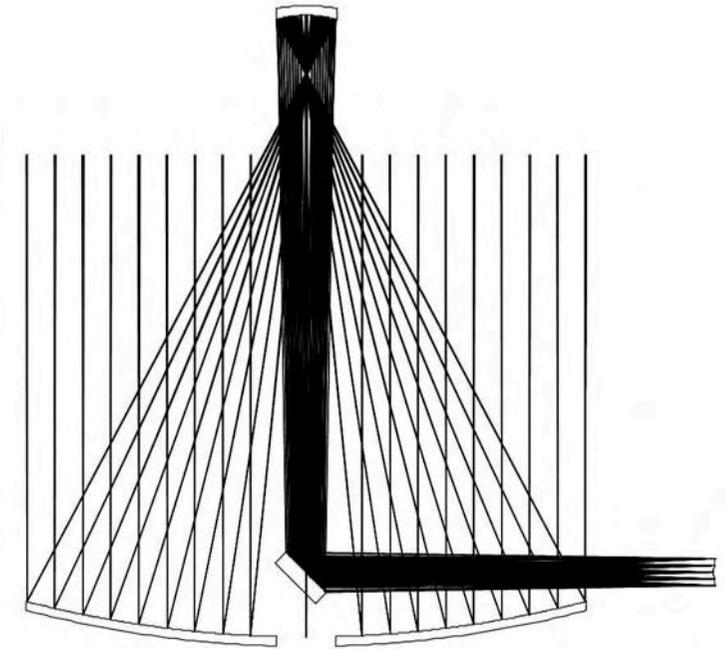
- Miroirs de 1m environ, ép. 45mm, Zerodur ou SiC
- Cout: 13 000 €/m²
- + 40% asphérisation
- + monture



Projet européen E-ELT (42m)

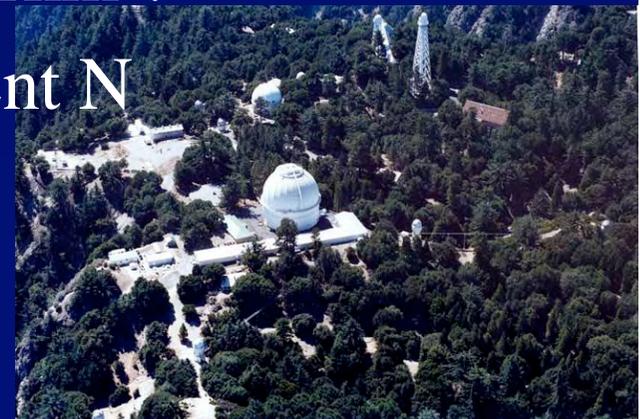
Télescope européen de 42m: projet E-ELT (séminaire de R.Gilmozzi)

- Ouverture primaire F/1
- Grégorien ou Cassegrain
- M1 sphérique ou non
- Champ limité par la diffraction: 2-3'
- Optique adaptative avec laser



Deuxième voie: interférométrie avec quelques grands télescopes

- Après les précurseurs français I2T et GI2T
- « Keck Interferometer » à Hawaii: 2 fois 10m
- « Very Large Telescope Interferometer (VLTI) » européen au Chili: 4 fois 8m
- belle moisson de résultats
- évolution: N télescopes de 8m, bases 1km ?
- grandes lignes à retard couteuses, limitent N
- concurrence prévisible des versions spatiales, hypertélescope



Interféromètre CHARA au Mont Wilson

(Mc Alister et al.)

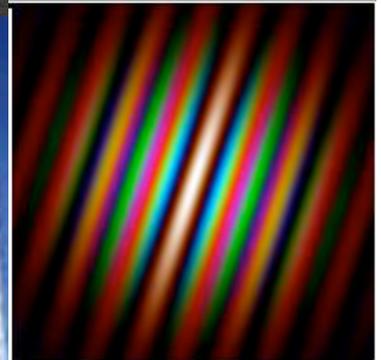
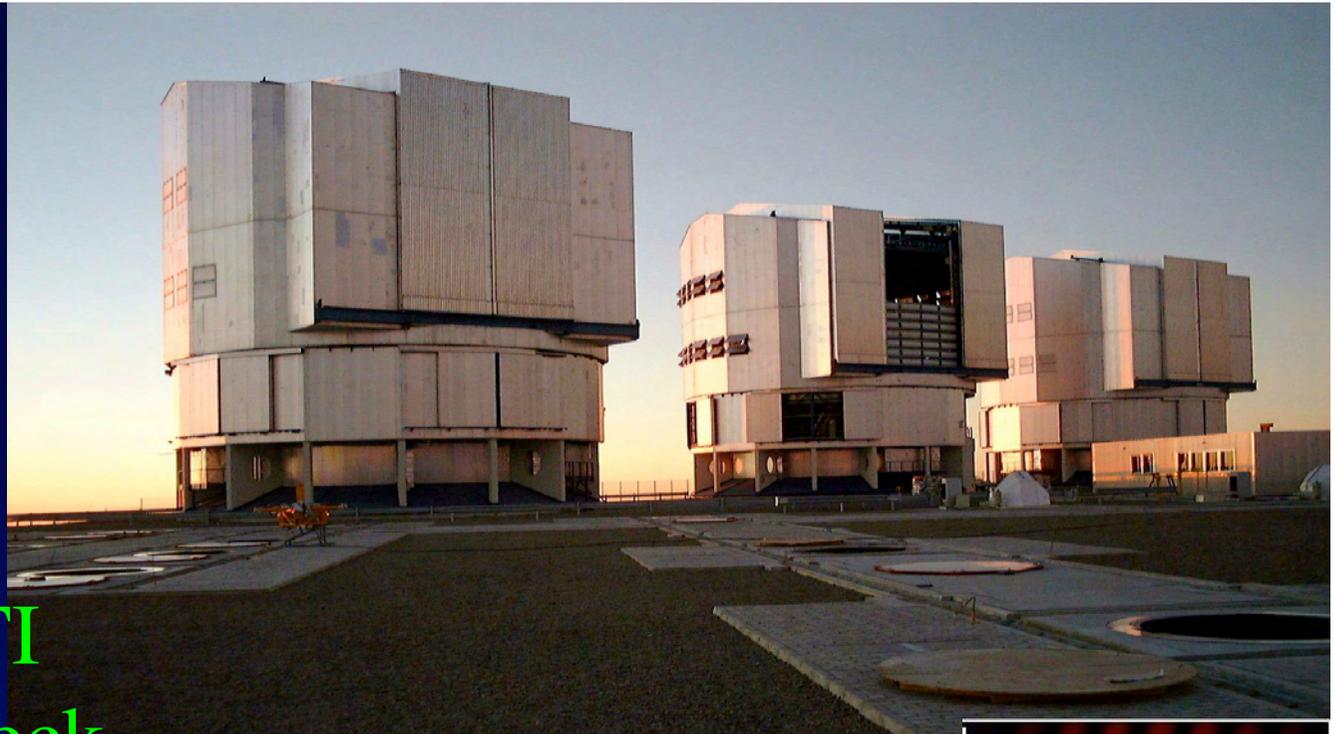
- 6 télescopes de 1m
- Bases atteignant 330m
- Lignes à retard de 45m



- Infra-rouge proche
- étendu au visible
par D.Mourard et al.

4 x 8m

L'européen VLTI
et l'américain Keck



2 x 10m

Résultats récents du grand interféromètre européen au Chili

- Distance de l'étoile γ 2 Velorum, Millour et al.
- Detection d'un disque Keplerien autour de α Arae, étoile Be, Meilland et al.
- η Carinae, Weigelt et al.
- Nova RS Ophiuchi , 5 jours après , Chesneau et al. Aussi au Keck
- Interaction disque-vent dans l'étoile jeune MWC 297, Malbet et al.
- Supergéante Be CPD-57 2874, Domiciano de Souza et al.
- Variable Mira S Orionis, Wittkowsky et al.
- Diamètre angulaire de V3879 Sgr
- Achemar, Kervella
- Disque d'accrétion d'étoile Herbig Be, Kraus et al.
- Instantané sur la poussière d'une étoile variable RCrB
- Débuts d'observations extra-galactiques: noyau actif de la galaxie de Seyfert NGC 1068



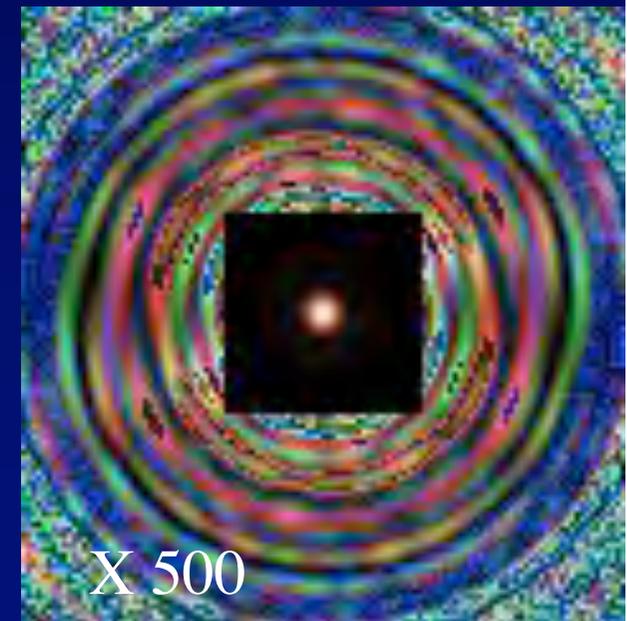
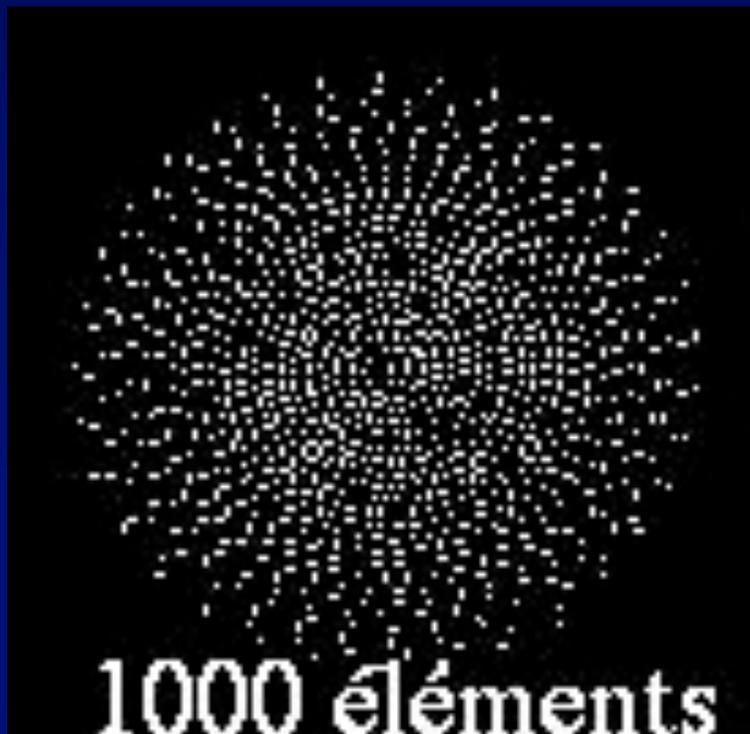
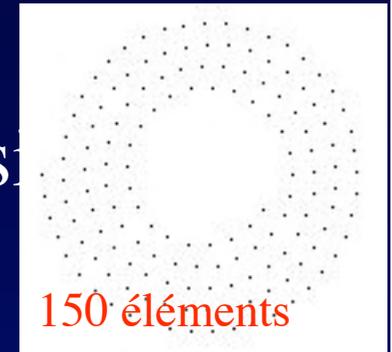
Premier bilan des grands interféromètres Keck et VLTI

- Moisson de résultats stellaires
- Il faut améliorer la sensibilité et obtenir de véritables images .

La troisième voie :

Hypertélescope

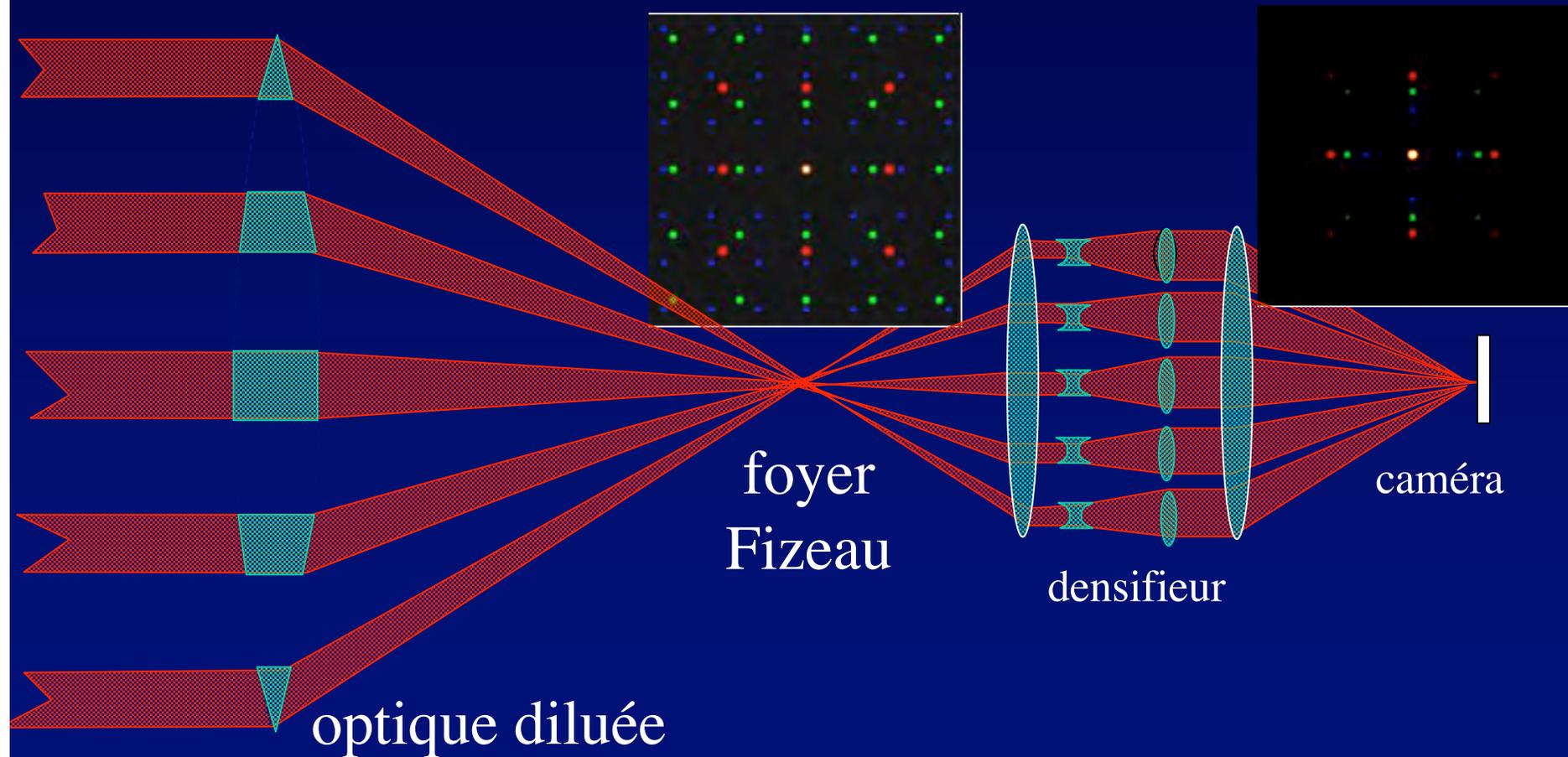
- miroir géant en pointillés
- formant une image directe "à pupille dense"
- dominera probablement dans l'espace



Principe de l'hypertélescope

ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

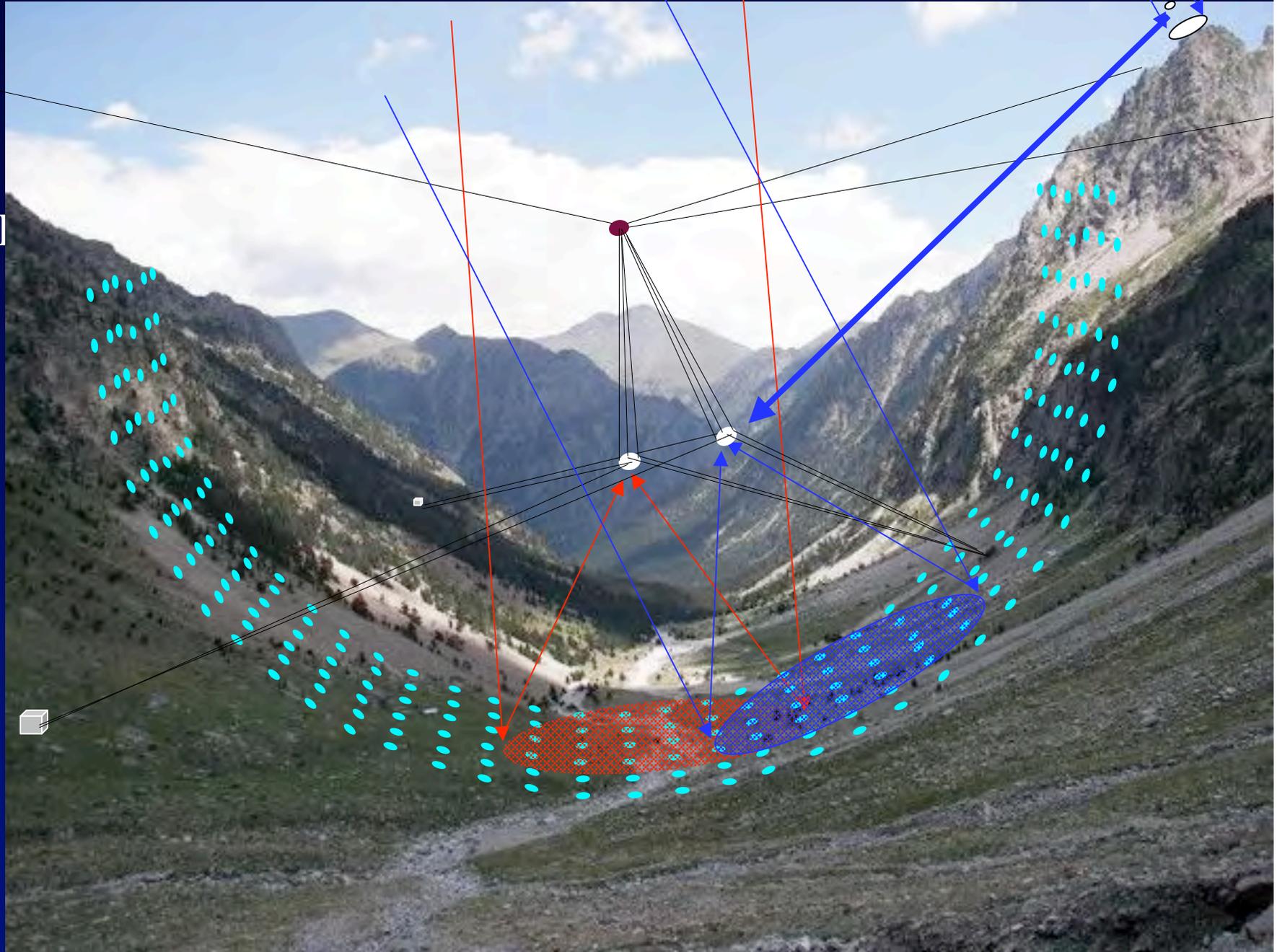
(Labeyrie A&A, 1996)



Une nouvelle famille d'interféromètres: les hypertélescopes

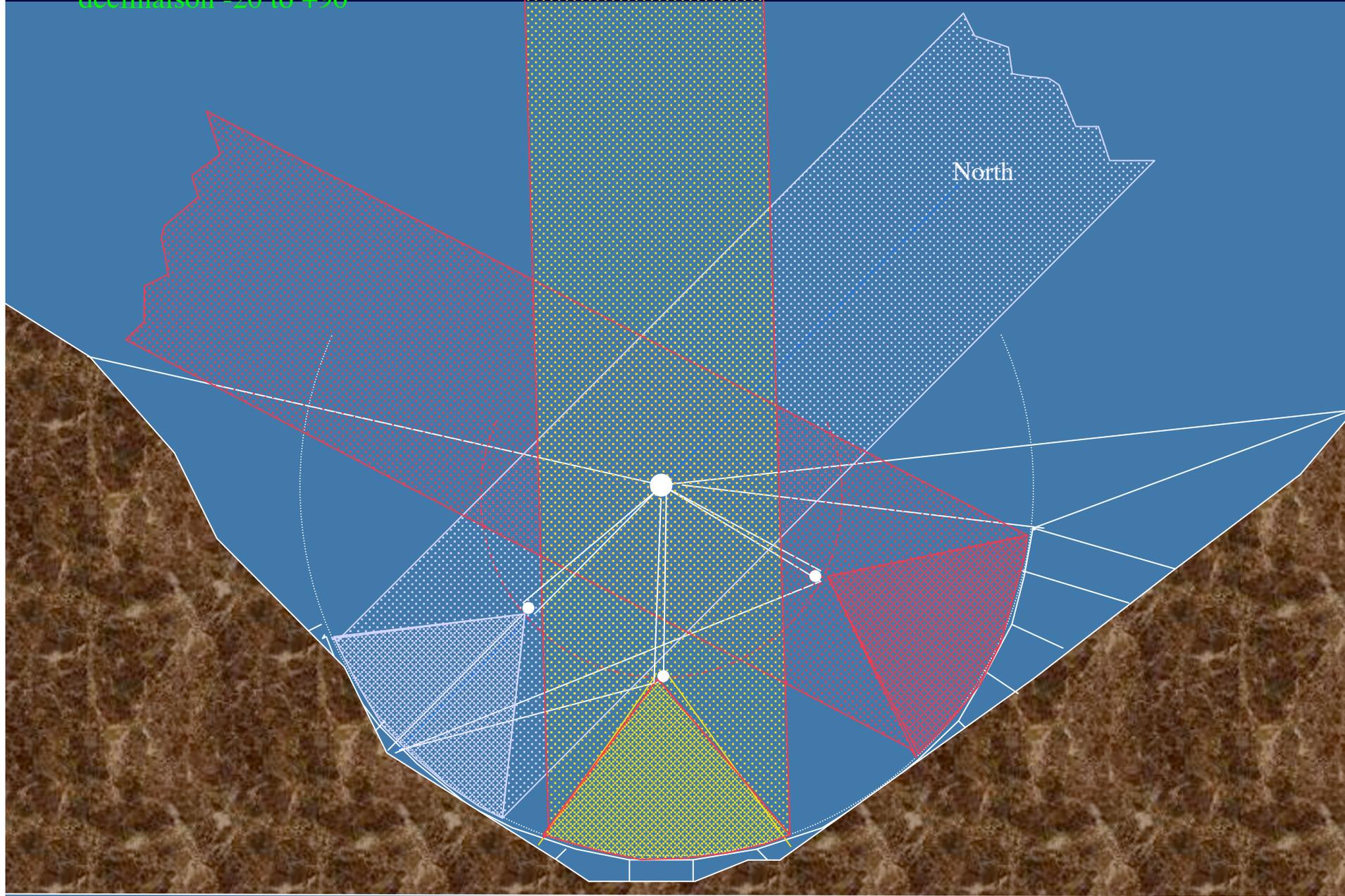
- Nombreuses ouvertures, petites ou grandes
- Permet l'imagerie directe
- ... et la coronographie
- Vastes perspectives au sol et dans l'espace

Couplage ELT/hypertélescope à Barrosa

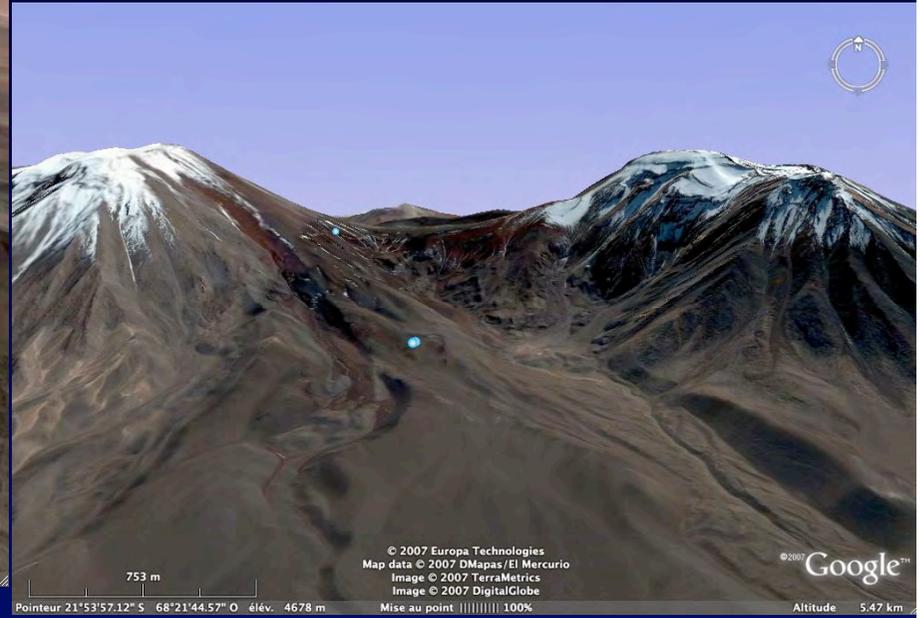
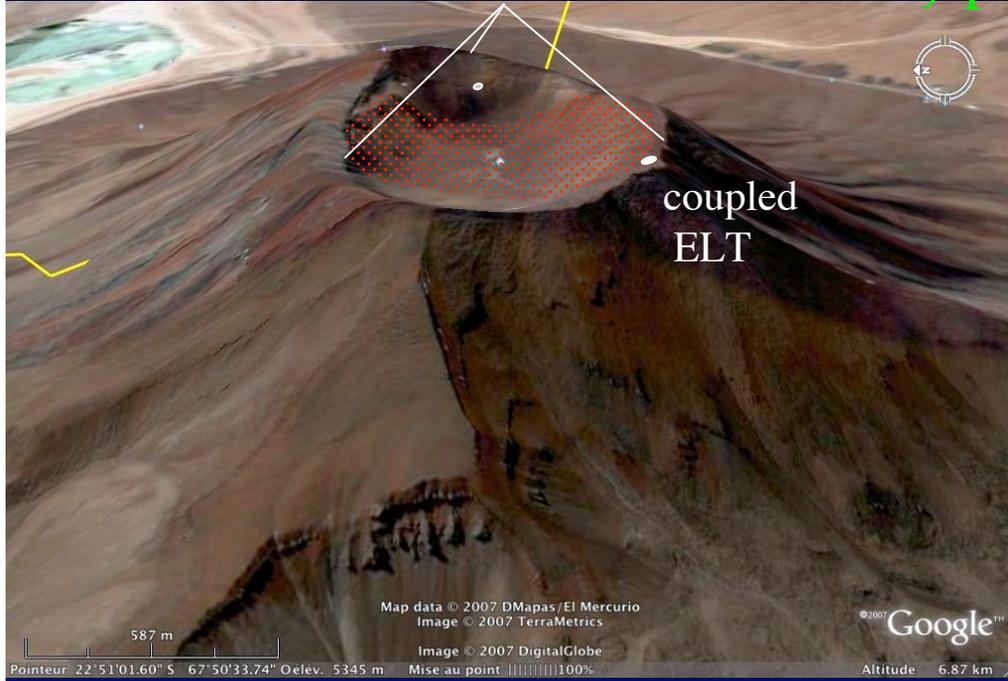


Insertion à Barrosa pour distance focale 200m

déclinaison -20 to +90°



Sites concaves au Chili, près du site ALMA



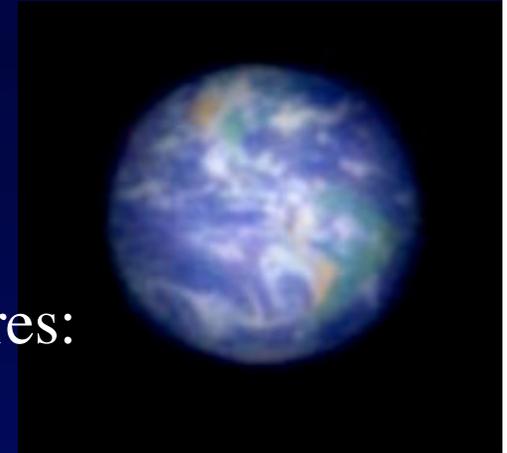
Miroirs portés par des câbles ?



- C'est le cas du radiotélescope d'Arécibo (330m)
- S'affranchit de la topographie
- Utilisable en optique ?

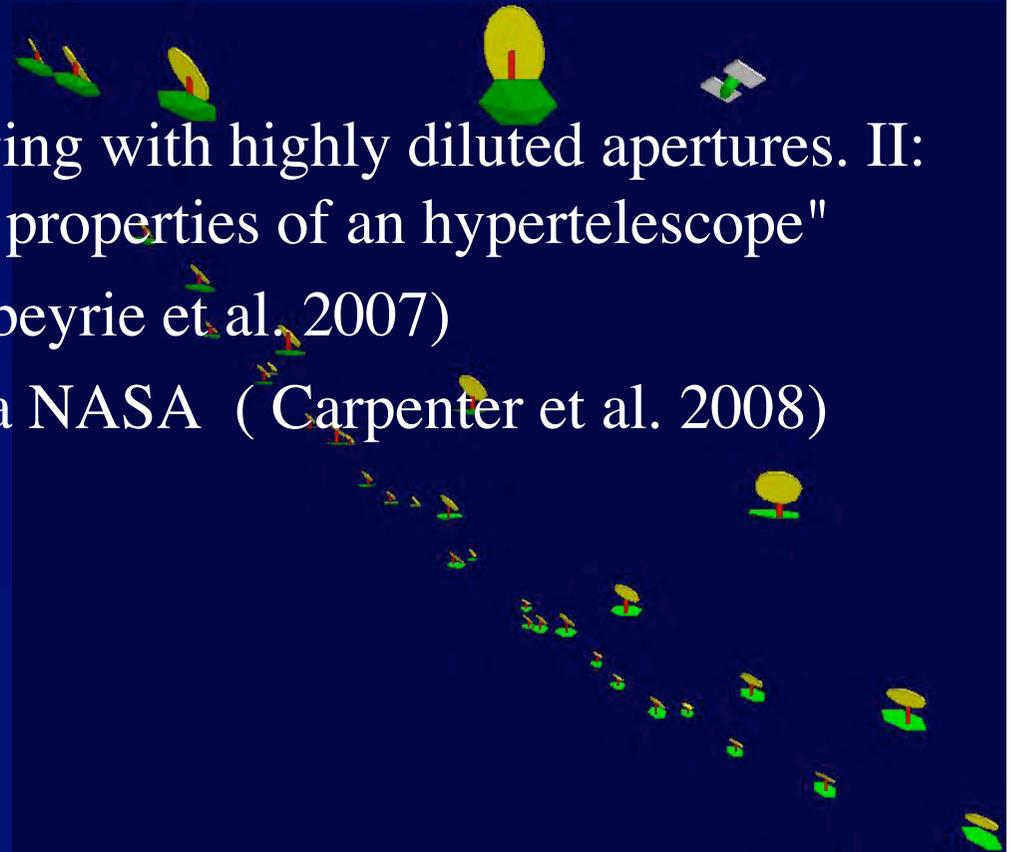


L' idée fait son chemin



Après l'article initial (Labeyrie, 1996) et quelques autres:

- Vakili F. et al. 2004, A&A, 421, 147
- Lardière et al. MNRAS(2007)
- Patru et al. (2008) "Direct imaging with highly diluted apertures. II: Characterization of the imaging properties of an hypertelescope"
- Proposition Luciola à ESA (Labeyrie et al. 2007)
- Proposition "Stellar Imager" à la NASA (Carpenter et al. 2008)



Hubble Ultra Deep Field (partiel)



Limite d'encombrement de l'image (Labeyrie SPIE 2008)

• Objets brillants, avec rotation de l'ouverture (E poses)

- par "lobe de sous-ouverture"
- par (seconde d'arc)²

$$R_{s \max} = N^2 E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{as} &= 3.8 \cdot 10^{-11} R_{s \max} (d / \lambda)^2 = 3.8 \cdot 10^{-11} N^2 E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} (d / \lambda)^2 = 6.2 \cdot 10^{-11} E \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} A^2 d^{-2} \lambda^{-2} \\ &= 4.85 \cdot 10^{-11} E N \text{SNR}_{\text{speckle}}^{-1} A \lambda^{-2} \end{aligned}$$

• Objets faibles, avec bruit de photons

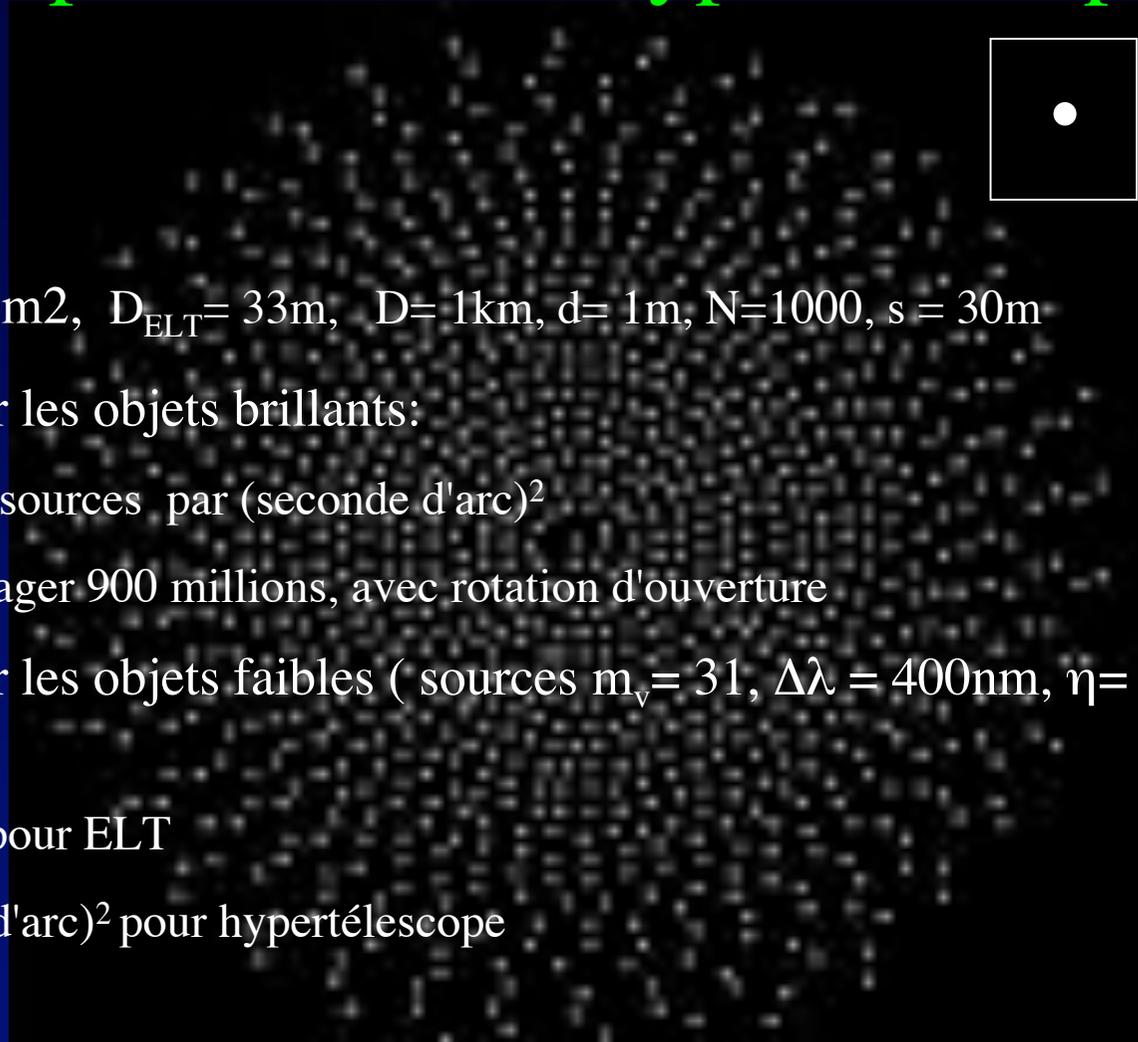
- par "lobe de sous-ouverture"
- par (seconde d'arc)²

$$R_{s \max \text{ Phot}} = N^2 P_t \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{as \text{ phot}} &= 3.8 \cdot 10^{-11} R_{s \max \text{ phot}} (d / \lambda)^2 = 3.8 \cdot 10^{-11} N^2 A P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1} (d / \lambda)^2 \\ &= 3.8 \cdot 10^{-11} N A^2 P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} (R+N)^{-1} \lambda^{-2} = 4.8 \cdot 10^{-11} A^3 d^{-2} P_{\text{flux}} T \text{SNR}_{\text{phot}}^{-2} \left(R + \frac{4}{\pi} A d^{-2} \right)^{-1} \lambda^{-2} \end{aligned}$$

Limite d'encombrement de l'image:

Exemple de comparaison ELT/hypertélescope



- Surface égale $A = 1000\text{m}^2$, $D_{\text{ELT}} = 33\text{m}$, $D = 1\text{km}$, $d = 1\text{m}$, $N = 1000$, $s = 30\text{m}$
- Encombrement du champ sur les objets brillants:
 - ELT peut imager 100.000 sources par $(\text{seconde d'arc})^2$
 - Hypertélescope peut en imager 900 millions, avec rotation d'ouverture
- Encombrement du champ sur les objets faibles (sources $m_v = 31$, $\Delta\lambda = 400\text{nm}$, $\eta = 0,5$, $t = 60\text{s}$, $\text{SNR}_{\text{phot}} = 5$)
 - Valeur inchangée 100.000 pour ELT
 - 2,7 millions par $(\text{seconde d'arc})^2$ pour hypertélescope
 - 2700 en mode Fizeau

Notations

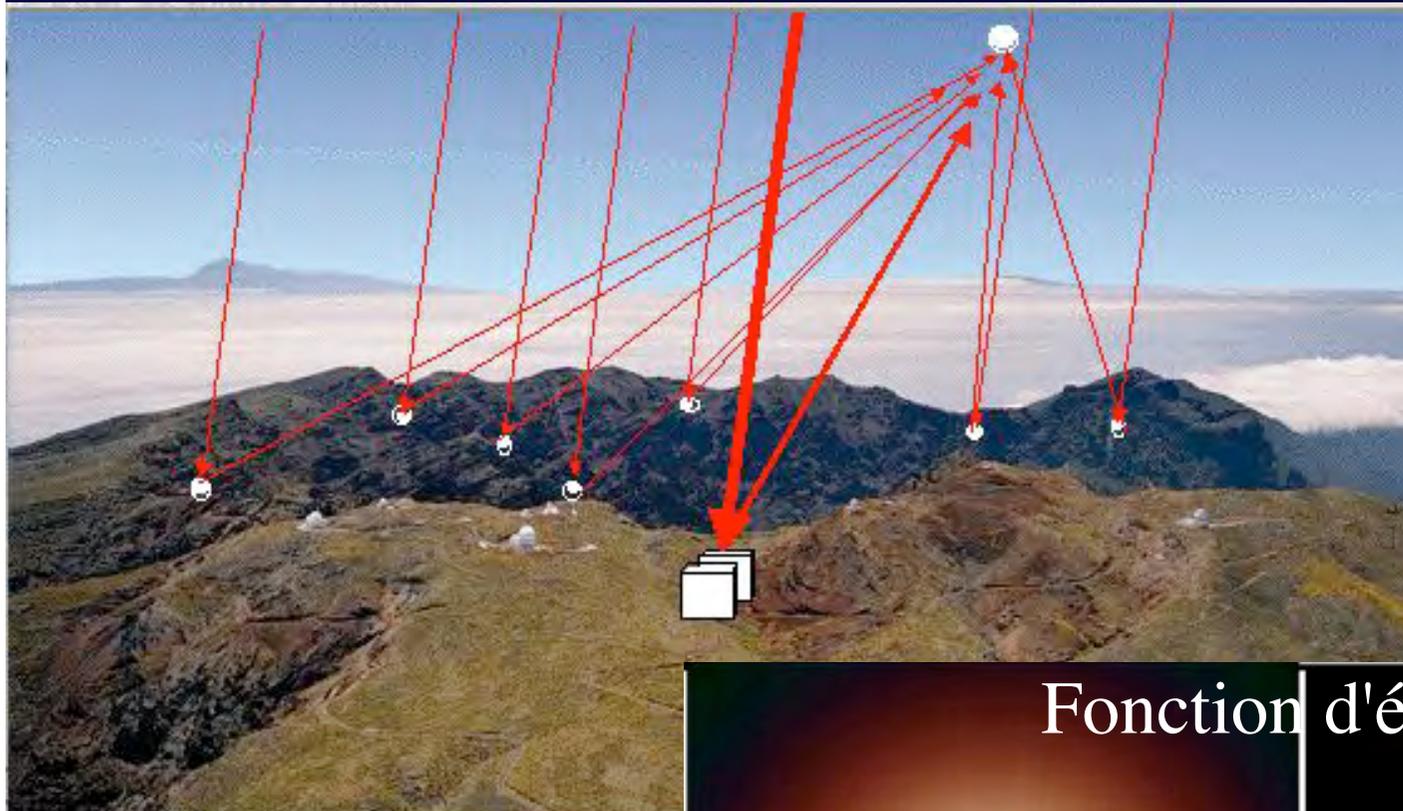
- N nombre d'ouvertures
- D, d diamètre global, et d'une sous-ouverture
- s espacement des sous-ouvertures
- E nombre de poses faites en modifiant l'ouverture
- R_{smax} nombre max de sources par lobe λ/d
- A surface collectrice totale
- P_{flux} photon flux.m⁻².s⁻¹
- $\text{SNR}_{\text{speckle}}$ rapport signal/bruit dans le halo a haut niveau
- SNR_{phot} rapport signal/(bruit de photons)
-

Une quatrième voie au sol:

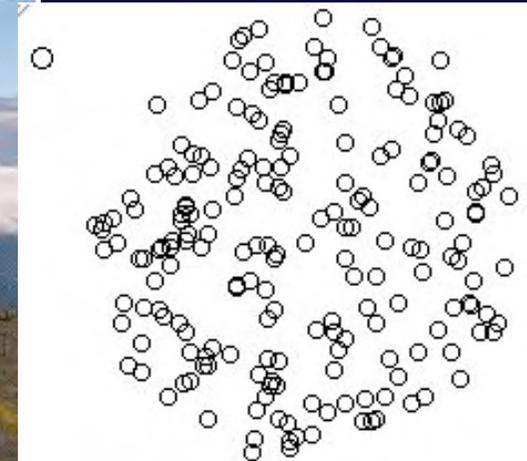
Couplage d'un hypertélescope avec un ELT

- Apporte une résolution accrue à l'ELT
- Bénéficie de sa luminosité

Une synergie intéressante: ELT et hypertélescope couplés



Densification de pupille
inégal: 1 et 40



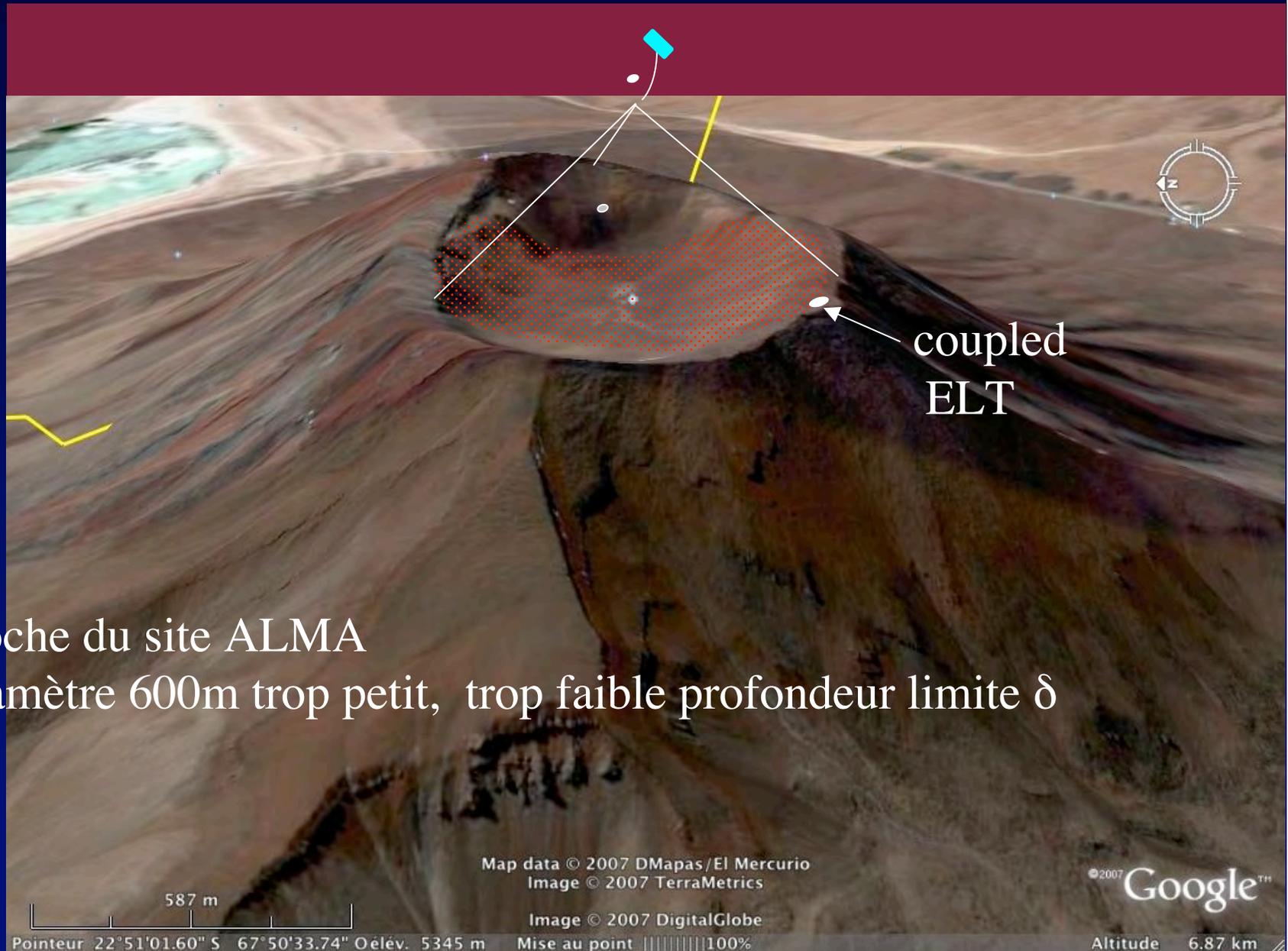
- ELT de 50m + hypertélescope 1km,
à 200 ouvertures de 1m
- pic rétréci et intensifié x 17

Fonction d'étalement

ELT seul

ELT couplé

Cratère au Nord du Chili (altitude 5300m)



- Proche du site ALMA
- Diamètre 600m trop petit, trop faible profondeur limite δ

Vallée au Nord du Chili (altitude 4800m)



455 m

Pointeur 22°42'31.91" S 67°24'18.89" O élév. 4846 m

Image © 2007 DigitalGlobe
Map data © 2007 DMapas/El Mercurio
Image © 2007 TerraMetrics
© 2007 Europa Technologies

Mise au point ||||| 100%

© 2007 Google

Altitude 5.98 km

Sites: qualités recherchées

- Tant pour un ELT qu'un hypertélescope:
 - faible turbulence angulaire
 - Turbulence lente, liée à des vents faibles Nombreuses nuits claires
- Problème avec les alizés dans la zone des tropiques : nuits claires mais venteuses . Exemple canaries, Hawaii, Chili
- Cas du Dôme C (Antarctique).... spécial
-

Simulations d'imagerie hypertélescope

objet

ouverture

fonction
d'étalement

image

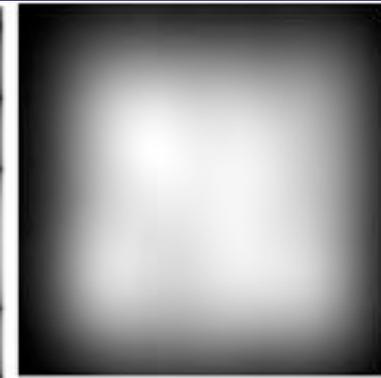
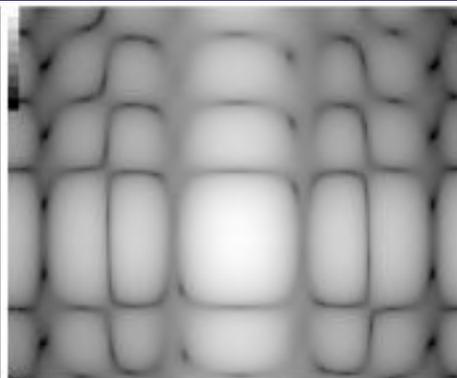
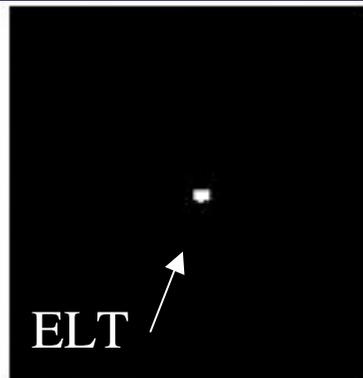
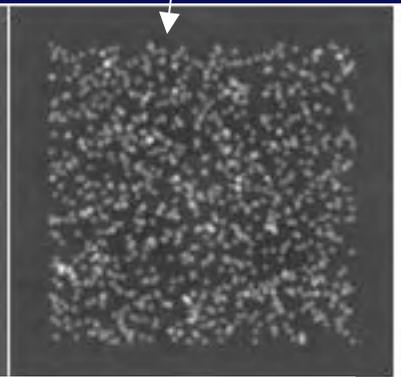
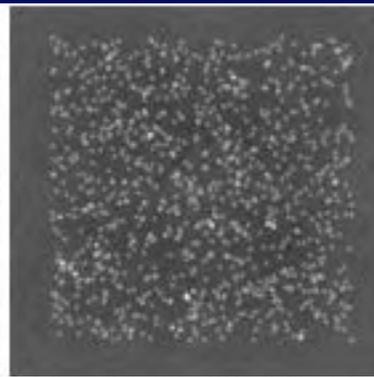
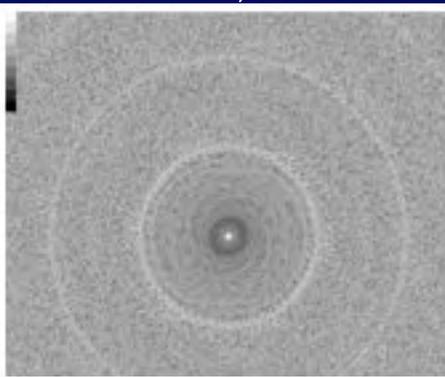
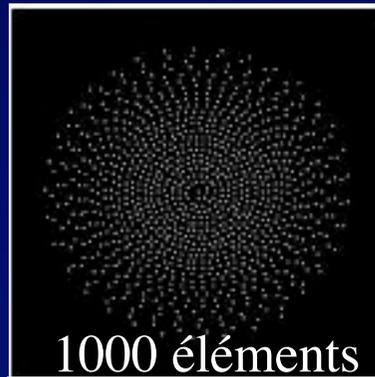
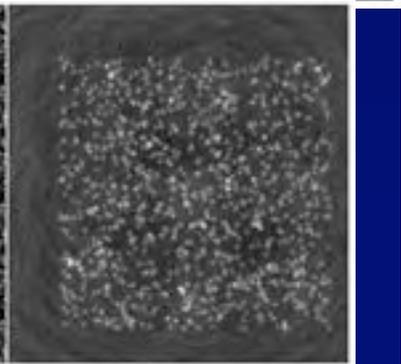
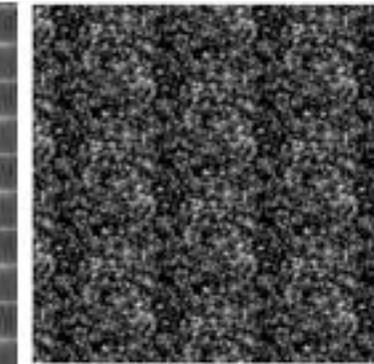
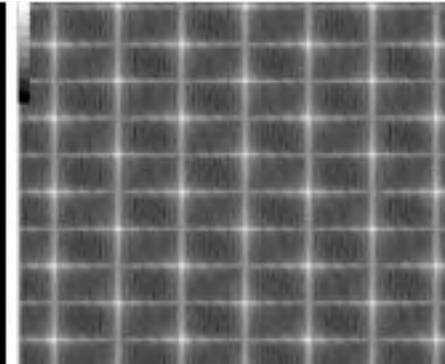
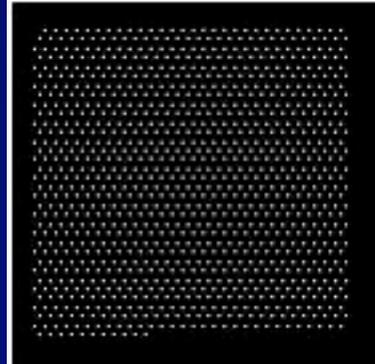


Image avec rotation

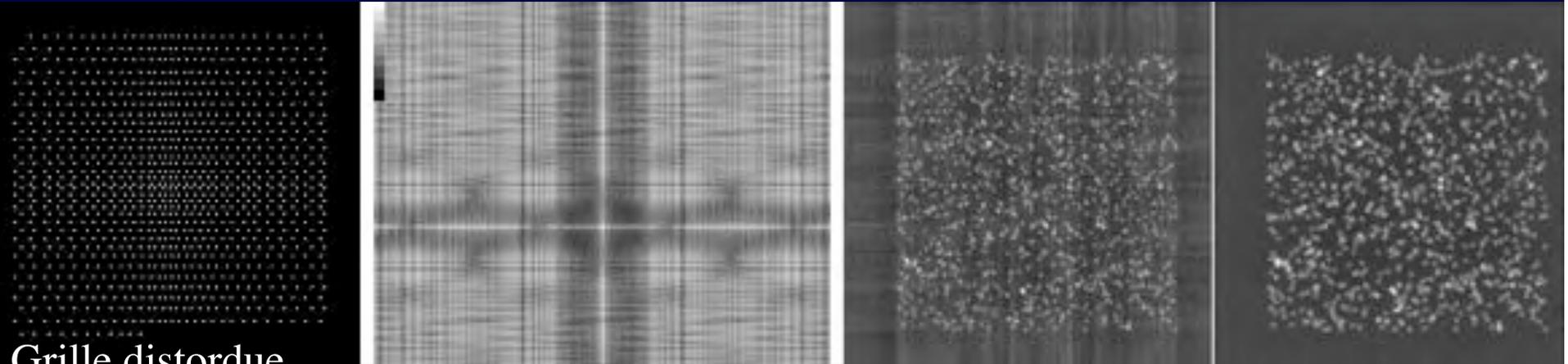
spirale



grille

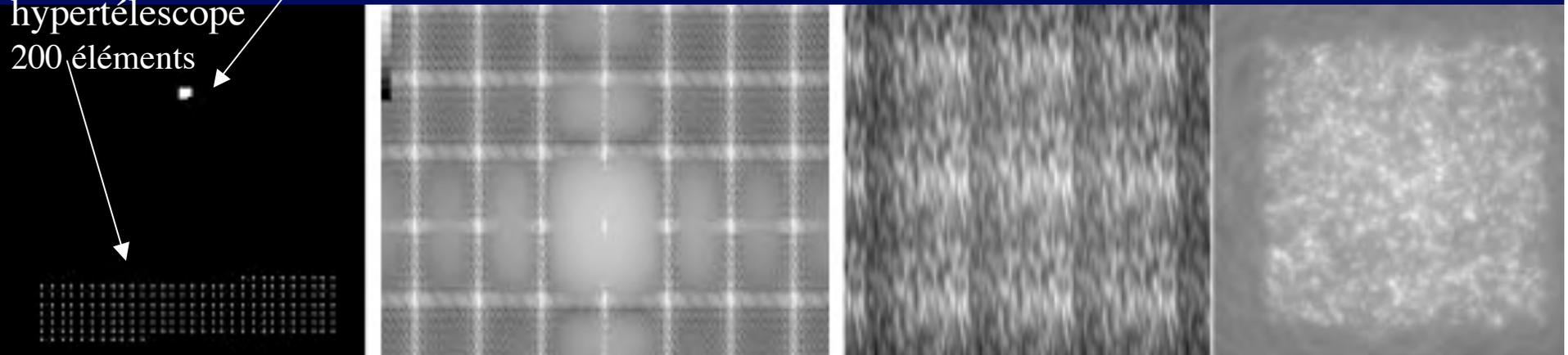


Simulations d'imagerie hypertélescope (suite)



Grille distordue
en coussinet

Hybride ELT &
hypertélescope
200 éléments



- la rotation d'ouverture améliore l'image en lissant les pieds
- le couplage ELT & hypertélescope est un peu moins bon

Pour l'Europe, aujourd'hui:

Vaut-il mieux faire un ELT de 42m?

une version "dispersée", hypertélescope de 1km ?

ou les deux, séparés ?

ou encore les deux, couplés ?

- Premiers éléments de réponse:
 - Science comparée par la théorie et la simulation (Labeyrie 2008, SPIE) favorise l'hypertélescope **à surface égale**
 - Couplage ELT/hypertélescope également intéressant
 - Faisabilité, sites possibles et couts à préciser
- La question mérite une étude plus poussée avant d'investir
Contribuables de tous les pays d'Europe, **unissez vous** pour l'exiger !