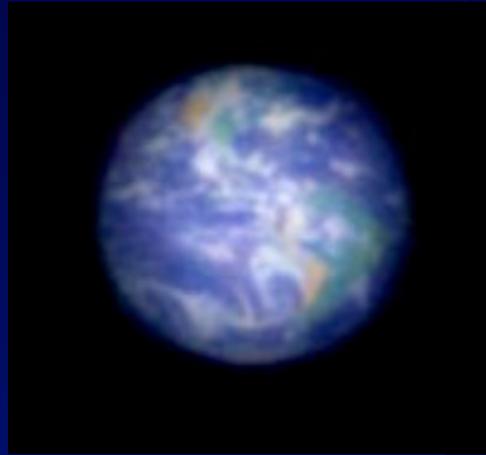


# Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- Cours à Paris les mardis à partir du 16 Janvier
- 3 cours & séminaires à Nice les 20 et 21 Mars
- Détails sur [www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html](http://www.college-de-france.fr/chaieres/chaire11/lise.html)
- les fichiers des projections y seront affichés

# Calendrier [\(www.college-de-france.fr/chaires/chaire11/lise.html](http://www.college-de-france.fr/chaires/chaire11/lise.html)

- 16 Janvier « **Quatre voies évolutives pour les télescopes, interféromètres et hypertélescopes** »
  - Séminaire: **D.Mourard: "Astrophysique stellaire à très haute résolution angulaire et spectrale: du GI2T à CHARA/VEGA"**
- 23 Janvier « **Quatre voies évolutives...** »
  - Séminaire: **O.Chesneau: "Novae, étoiles symbiotiques et nébuleuses planétaire observées avec les techniques de haute résolution angulaire** »
- 30 Janvier **Construction d'un hypertélescope au sol ( suite)**
  - Séminaire: **R.Soummer: » Détection d'exo-planètes par imagerie directe depuis le sol: résultats actuels et futurs projets »**
- 6 Février **Construction d'un hypertélescope au sol ( suite)**
  - Séminaire: **M.Guillon: « Pression de radiation et forces de cohésion optiques: application au Laser Trapped Mirror »**
- **13, 20, 27 Février les cours et séminaires n'auront pas lieu ( vacances scolaires)**
- 6 Mars **Essai d'interféromètre en orbite géostationnaire (suite)**
  - Séminaire : **F.Martinache "Interférométrie a 1 telescope: a la poursuite des objets de faible masse"**
- 13 Mars
  - Séminaire : sera précisé ultérieurement
- **3 cours et séminaires sont aussi prévus a Nice les 20 et 21 Mars**

Aujourd'hui:

Quatre voies évolutives pour les télescopes,  
interféromètres et hypertélescopes

Séminaire à 18h:

Denis Mourard ( Observatoire de la Côte d'Azur)

"Astrophysique stellaire à très haute résolution  
angulaire et spectrale: du GI2T à  
CHARA/VEGA "



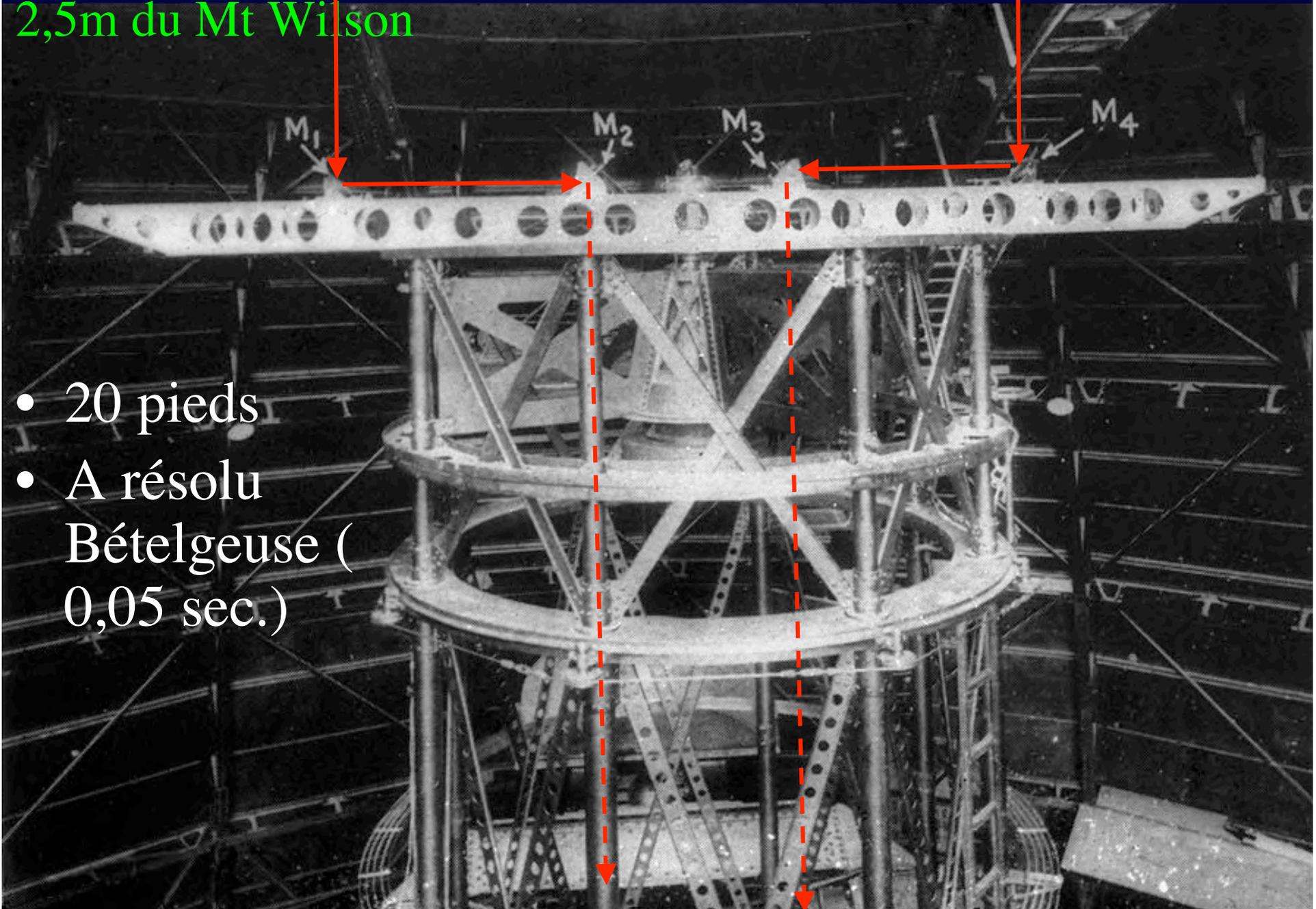
# Quelle science après le pétrole ?

- « Selon les décisions prises aujourd'hui, la civilisation pourrait s'effondrer » ( J.Diamond, Effondrement)
- Nombreux de laboratoires explorent les voies du solaire :
  - Photopiles, minérales et organiques ( les toits suffisent !)
  - Hydrogène solaire et piles à combustible
  - Photosynthèse artificielle
  - Électricité bactérienne
- il faudra peut-être reconvertir les astronomes en photochimistes pendant quelques décennies !

# Les grands projets astronomiques seront-ils encore financés?

- La science s'est épanouie dès le Paléolithique ancien ( feu : 700,000 ans ? )
- A co-évolué avec l'homme
- S'oriente vers la techno-science guerrière ou utilitaire lors des crises
- La connaissance pure, dont l'Astronomie, progresse en temps de paix et prospérité
- L'Astronomie professionnelle et amateur survivra-t-elle à la fin du pétrole ?

# La poutre de Michelson ( 1920 ) sur le télescope de 2,5m du Mt Wilson



- 20 pieds
- A résolu Bételgeuse ( 0,05 sec.)

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

# Disques protoplanétaires pro

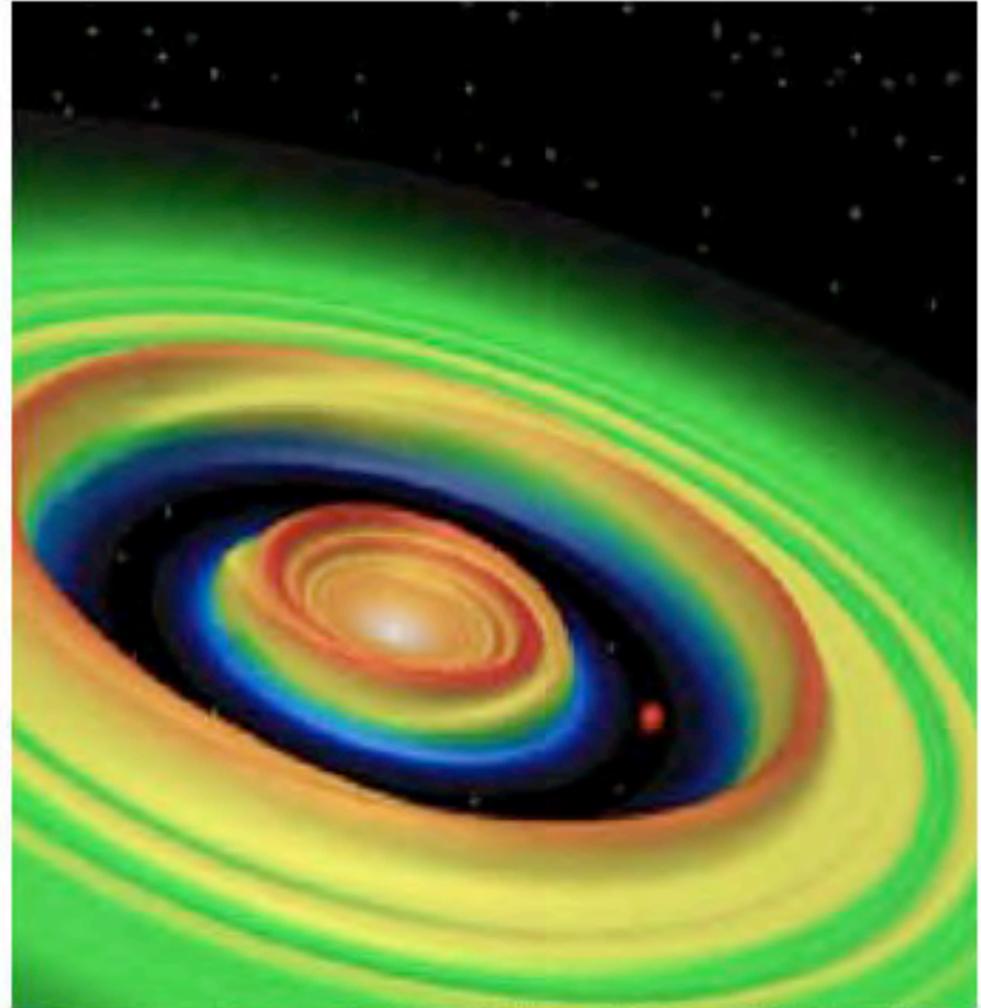


Figure 4.6: Dust evolution and planets formation in circumstellar discs. Left: artistic view of the formation of pebbles in circumstellar discs as suggested from millimeter wave observations of the TW Hydrae system. Right: simulation of the formation of a gap in a disc around a young star due to the gravitational effect of a newly formed giant planet.

# sSismologie stellaire

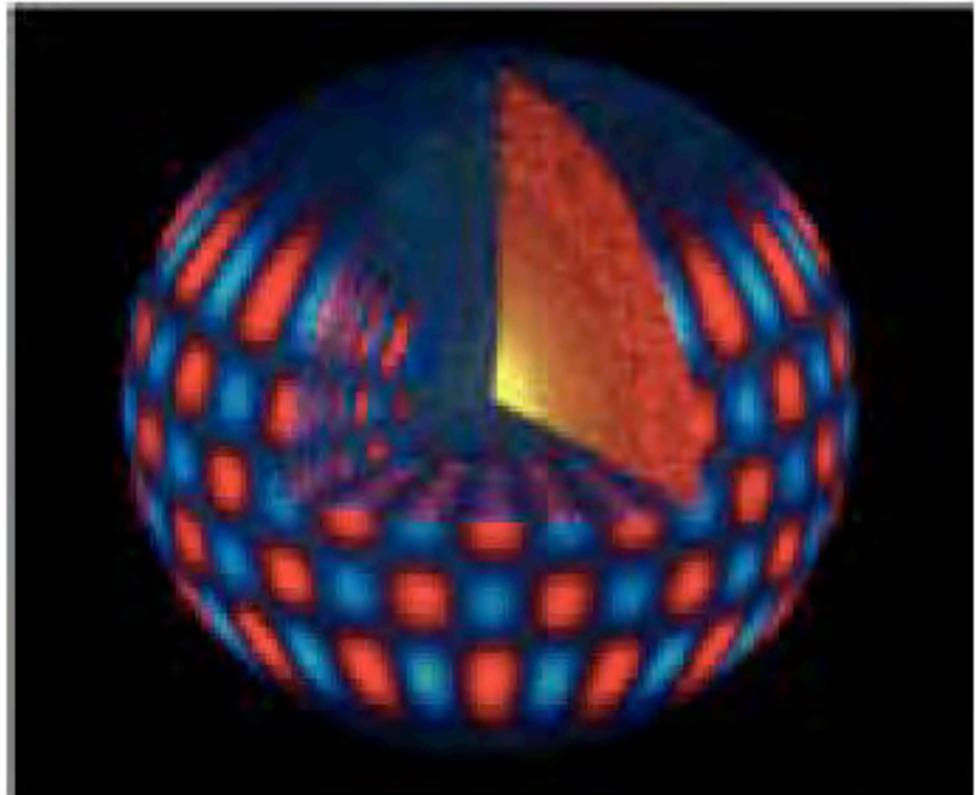
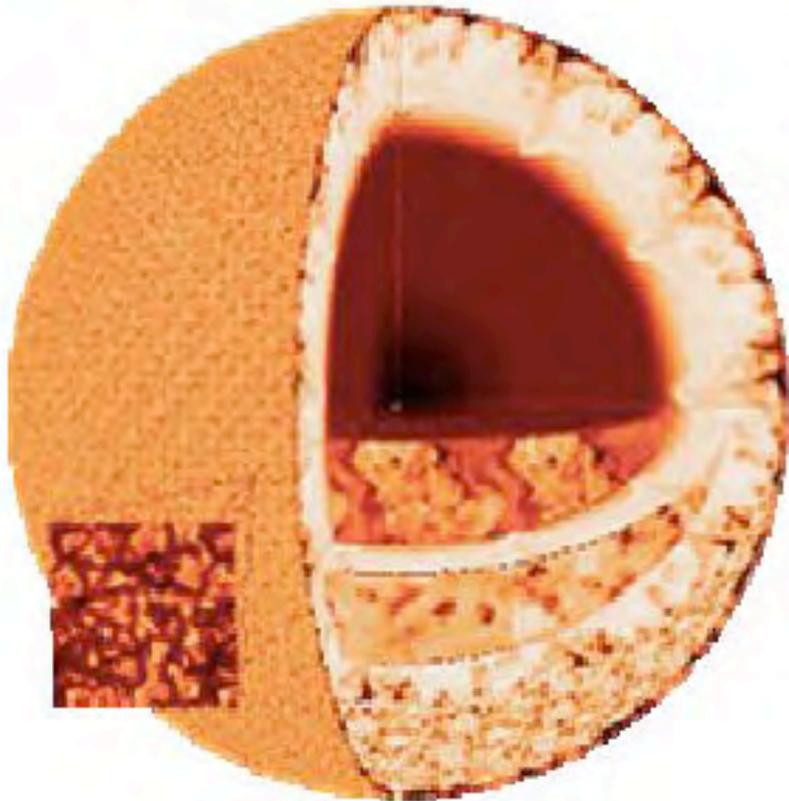


Figure 4.3: Oscillations generated at the inside a star will travel outwards and will become visible as parts of the surface moving up and down. The mode, frequency and intensity of these oscillations give valuable information about the inside of the star. It can be compared to the information that we get about the inside of the earth from the propagation of the seismic waves below the crust.

# Jets stellaires

SS433  
VLBA

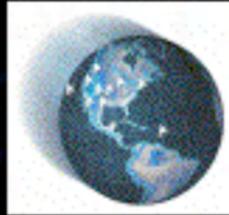
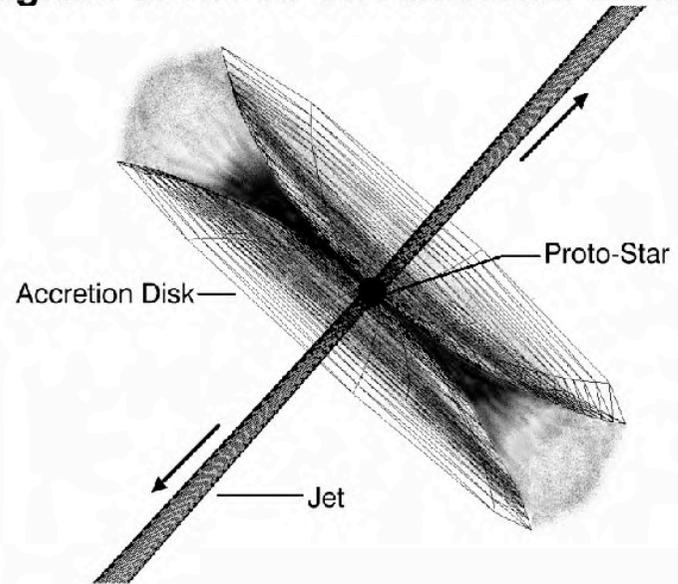


Diagram of HH 30 Circumstellar Disk & Jet

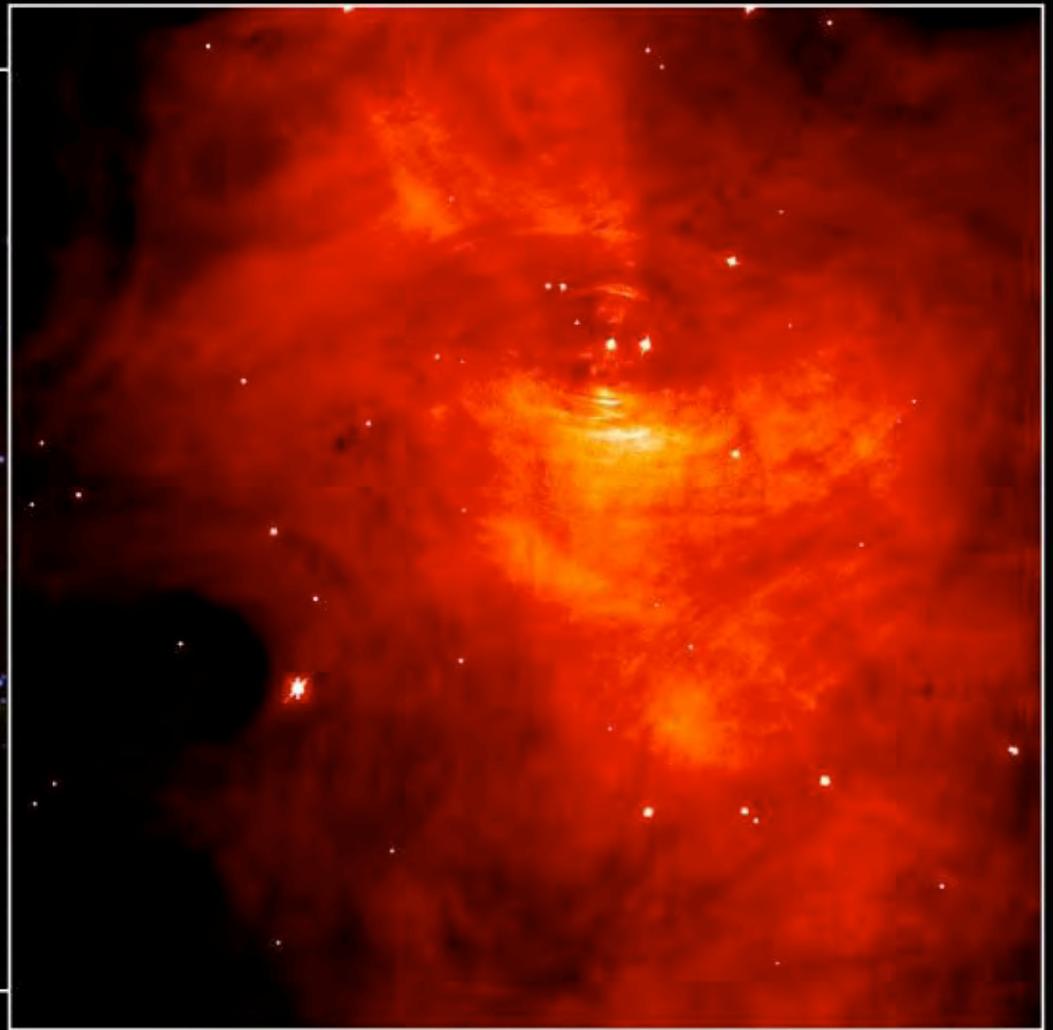
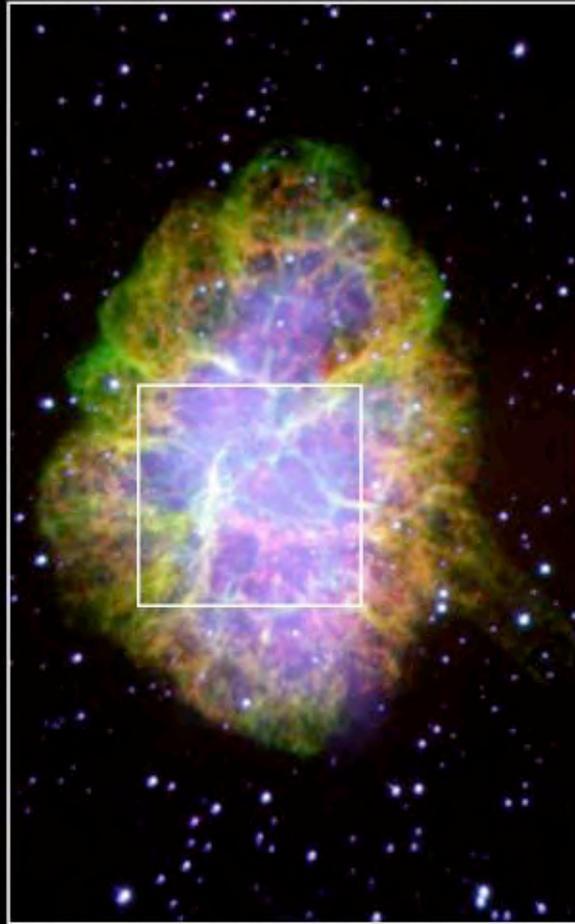


Amy Mioduszewski  
Michael Rupen  
Craig Walker  
Greg Taylor



# Résidus de supernovae

**Crab Nebula**



Palomar

PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996  
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.) and NASA

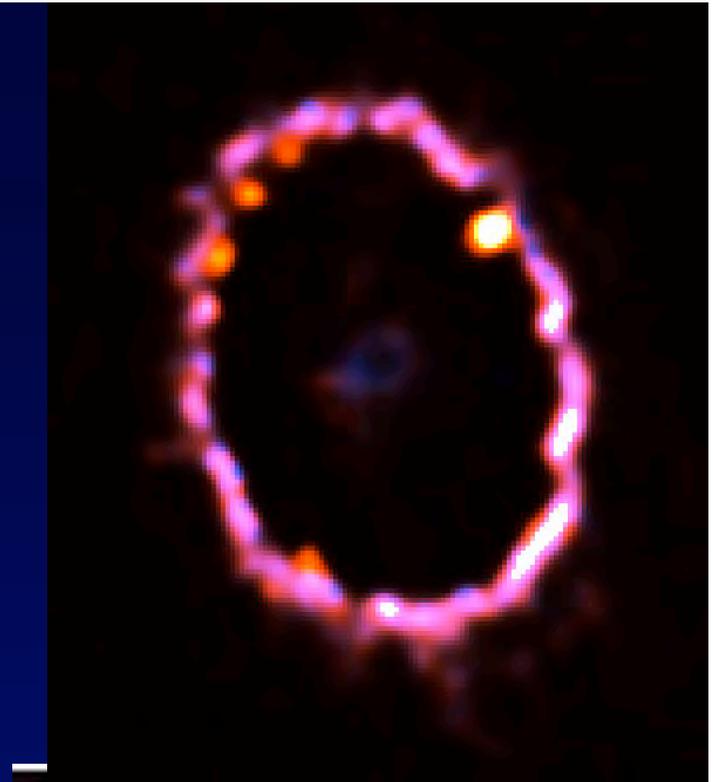
HST · WFPC2

# Supernova SN 1987A vue par Hubble

Supernova 1987A Rings



Hubble Space Telescope  
Wide Field Planetary Camera 2



Amas  
globulaire  
47 Tucanae

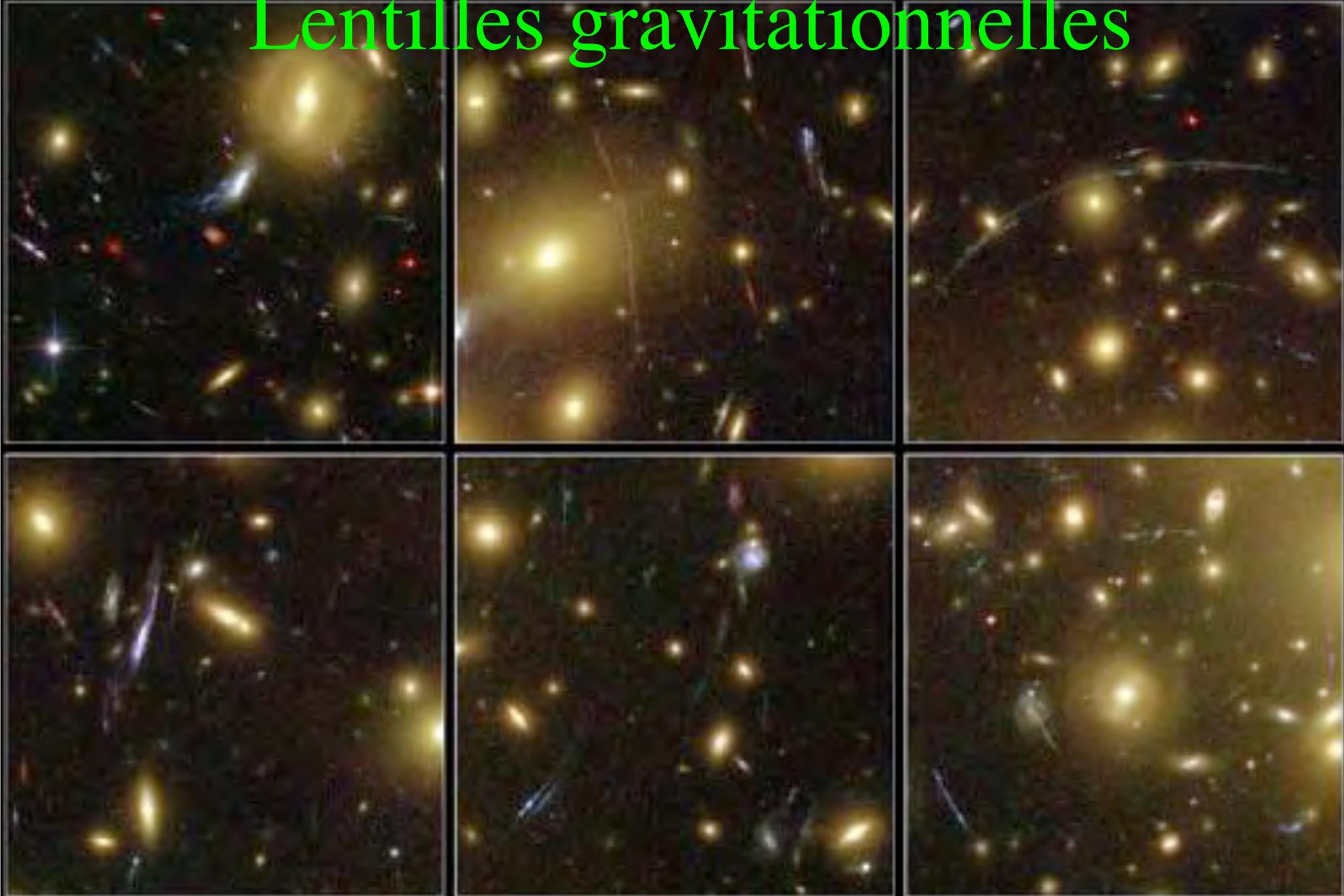


## Jet du quasar 3C273

- Rayons X, visible, radio
- Vitesses apparentes dépassant celle de la lumière
- ...explicable par effet de perspective

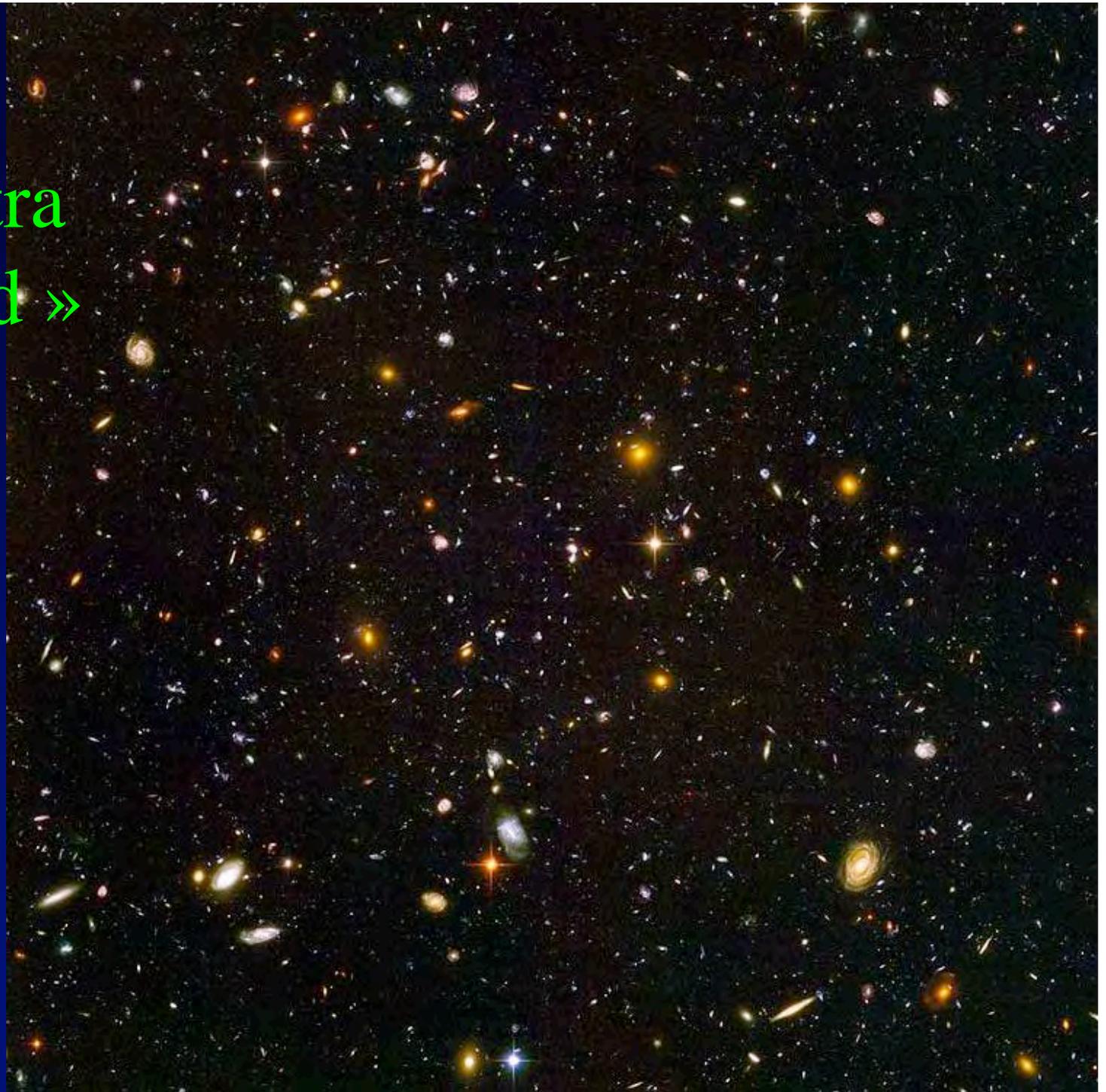


# Lentilles gravitationnelles

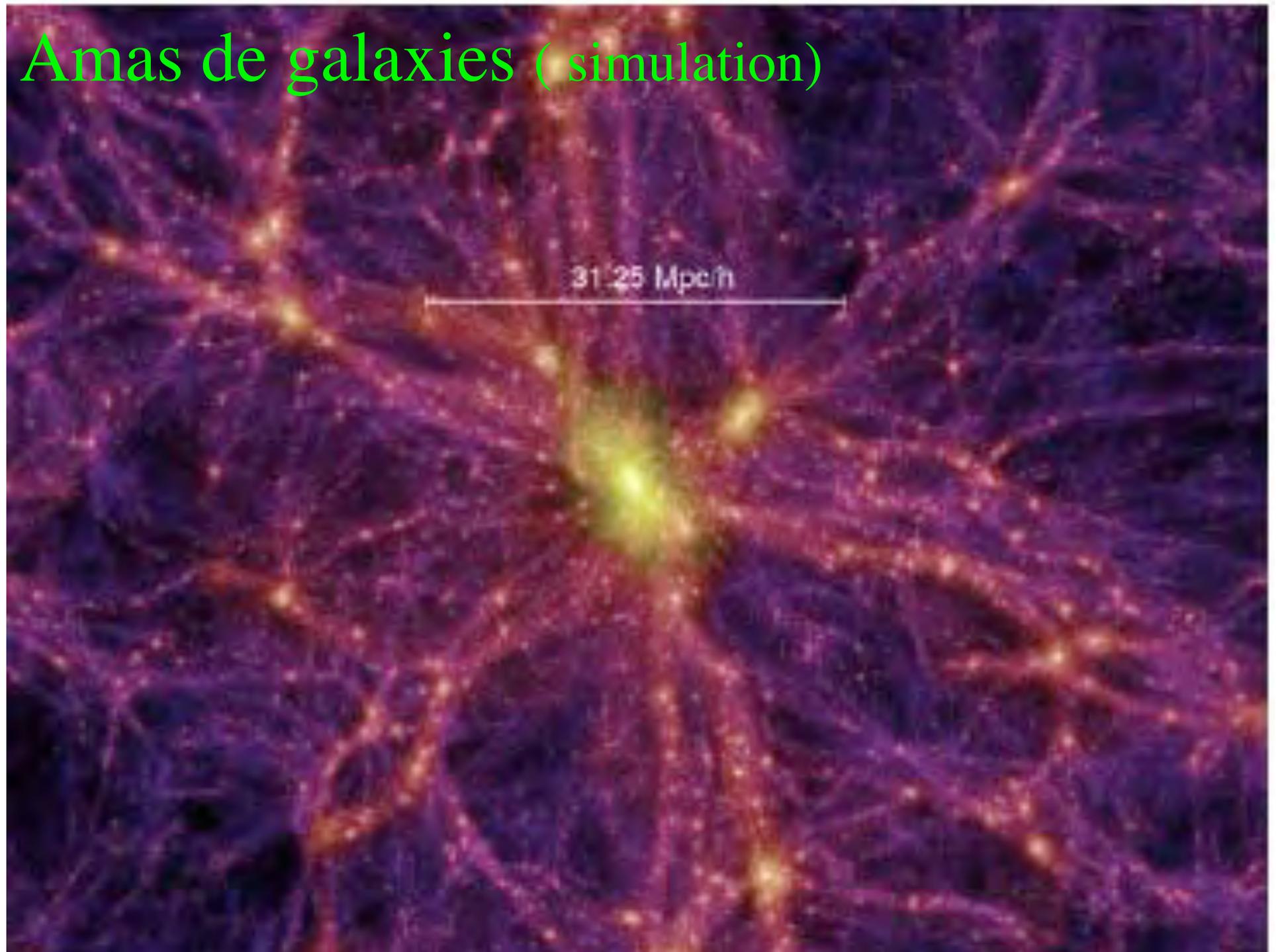


**Galaxy Cluster Abell 1689 Details**  
Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys

« HST Ultra  
Deep Field »

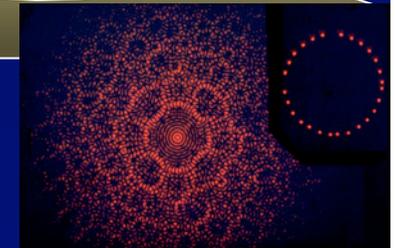
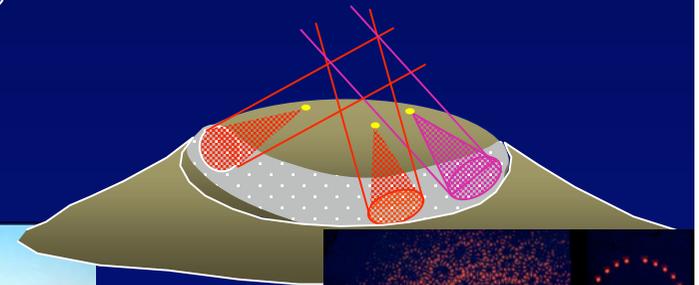
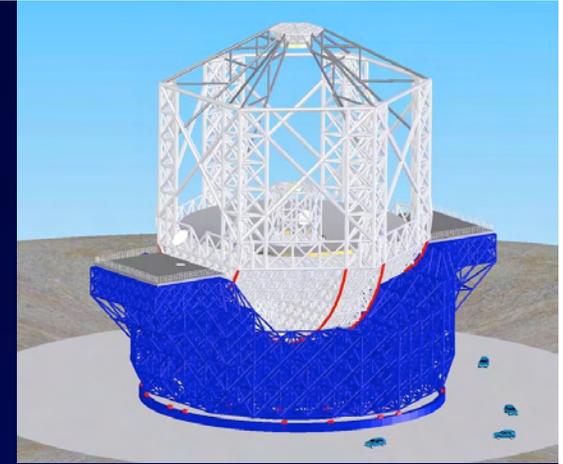


# Amas de galaxies (simulation)



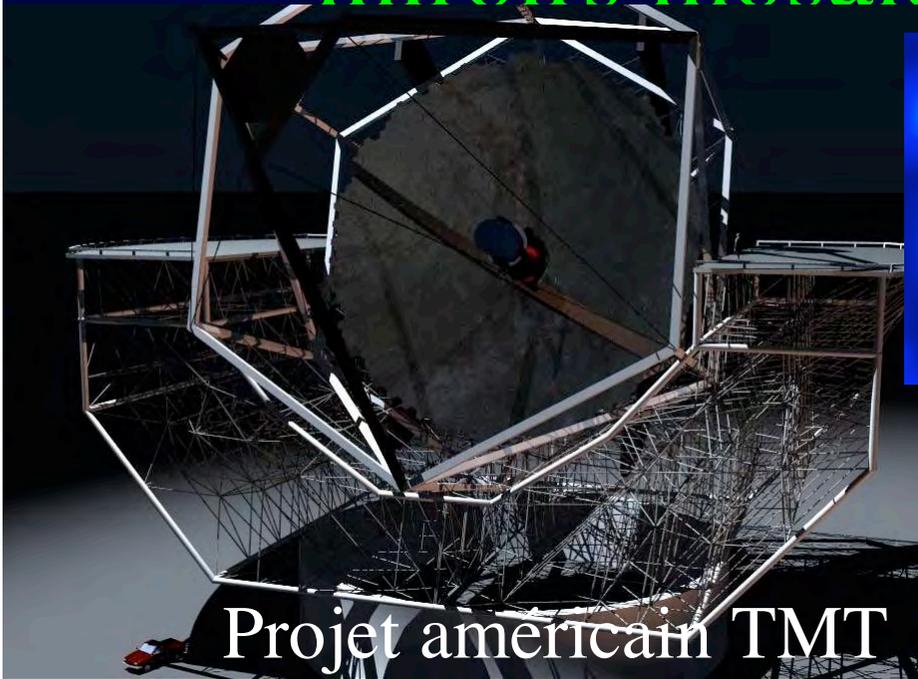
# Pour mieux voir le ciel: Les quatre voies

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



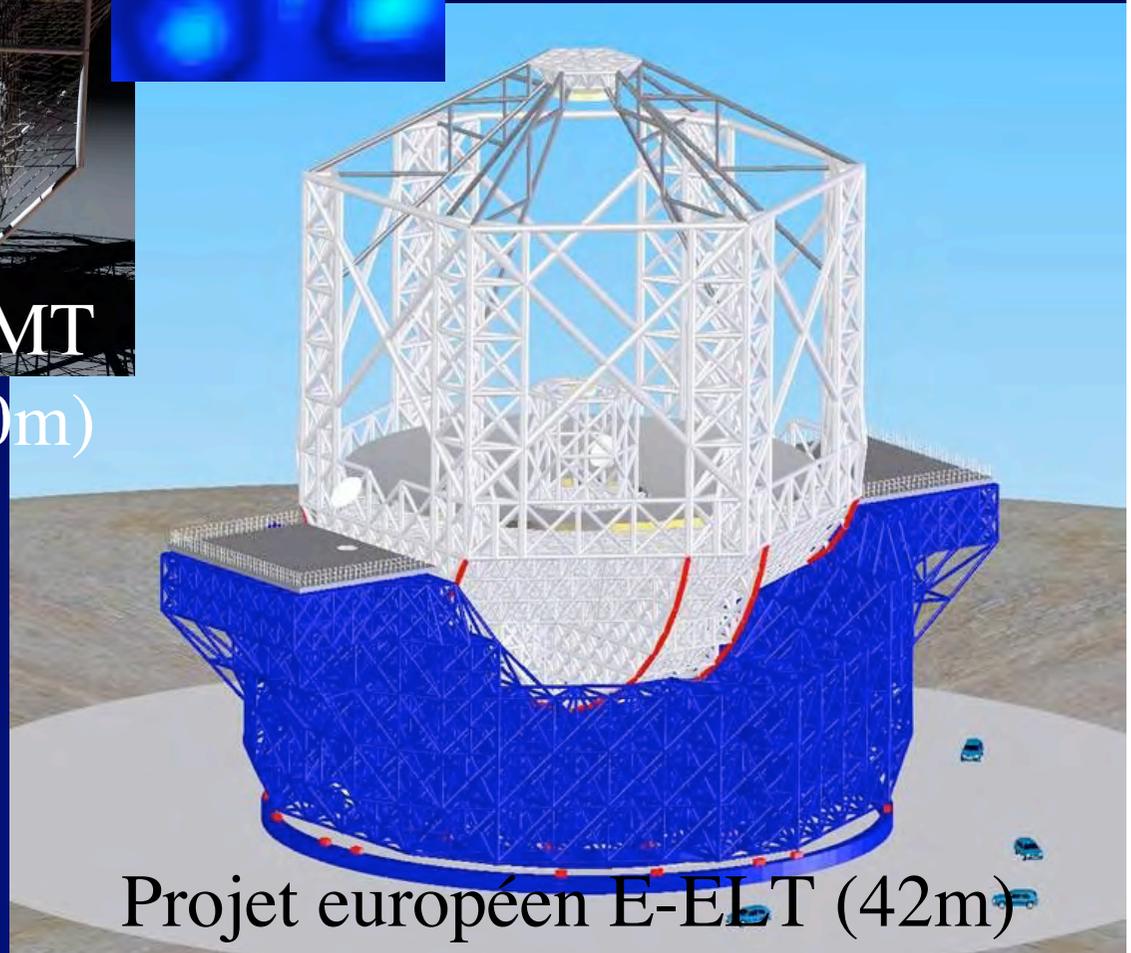
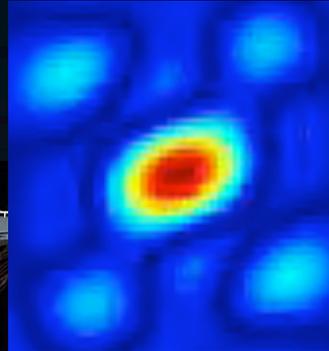
Première voie:

miroirs mosaïques 30-60m



Projet américain TMT

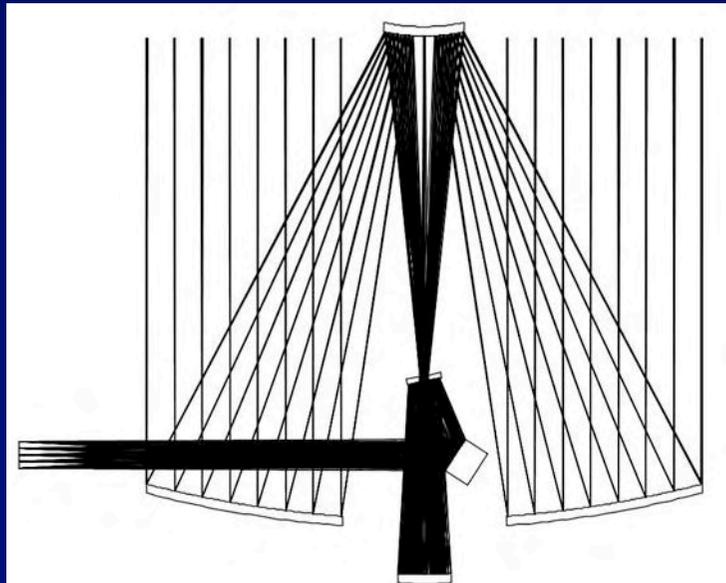
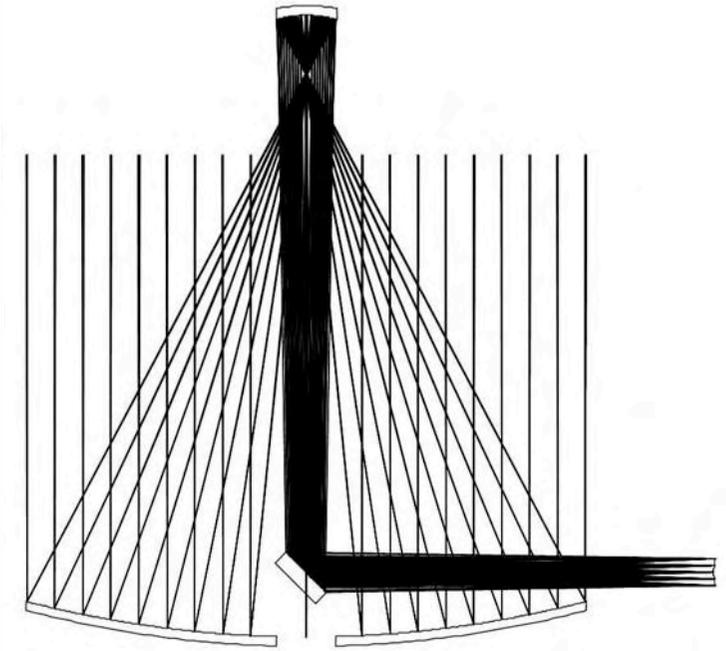
- Miroirs de 1m environ, (30m) ép. 45mm, Zerodur ou SiC
- Cout: 13 000 €/m<sup>2</sup>
- + 40% asphérisation
- + monture



Projet européen E-ELT (42m)

# Télescope européen de 42m: projet E-ELT

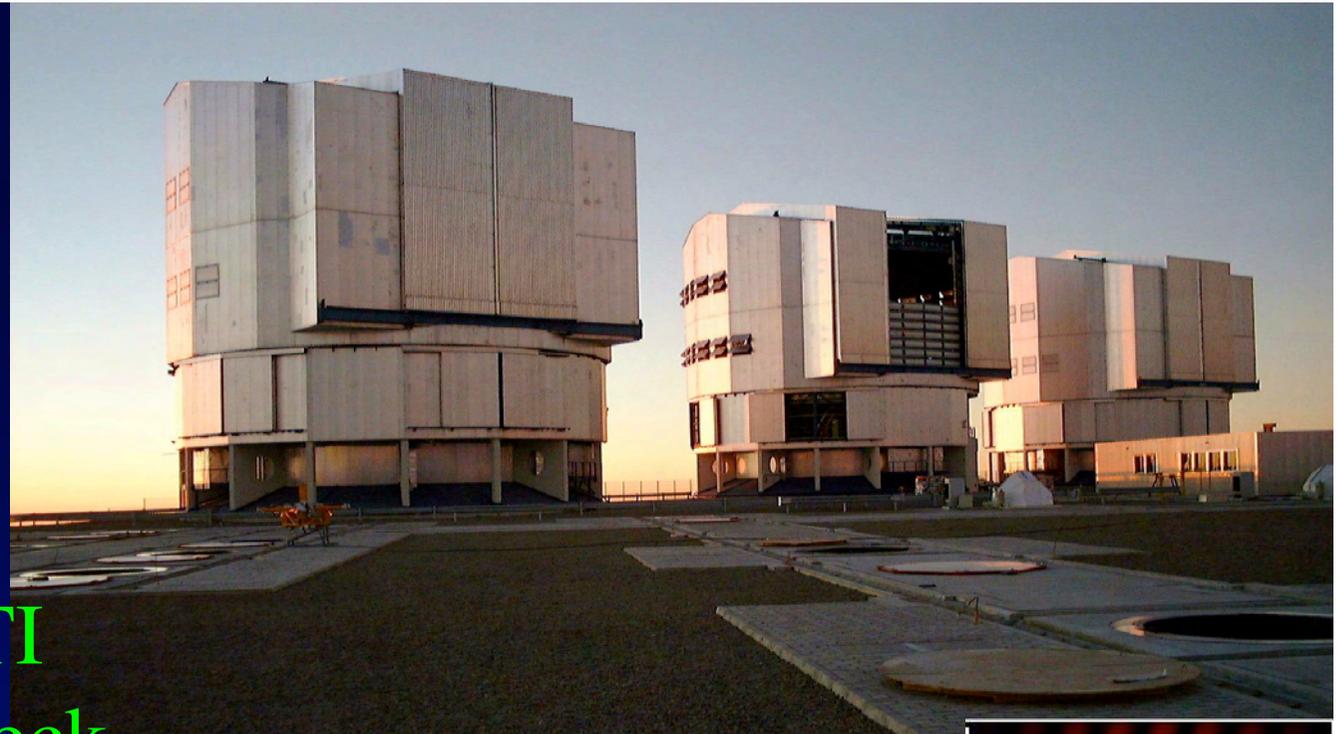
- Ouverture primaire F/1
- Grégorien ou Cassegrain
- M1 sphérique ou non
- Champ limité par la diffraction:  
2-3'
- Optique adaptative avec laser



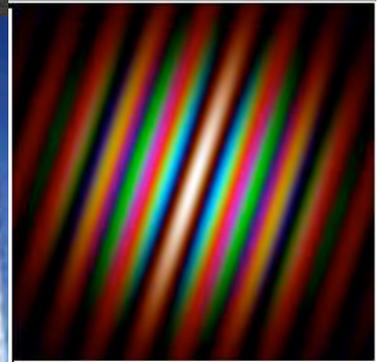
## 2- La voie des interféromètres: quelques grands télescopes couplés

- 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 ( colloque prochainement)
- évolution: N télescopes de 8m, bases 1km ?
- problème: coût élevé des grandes lignes à retard
- concurrence prévisible des versions spatiales (hypertélescopes ?)

4 x 8m

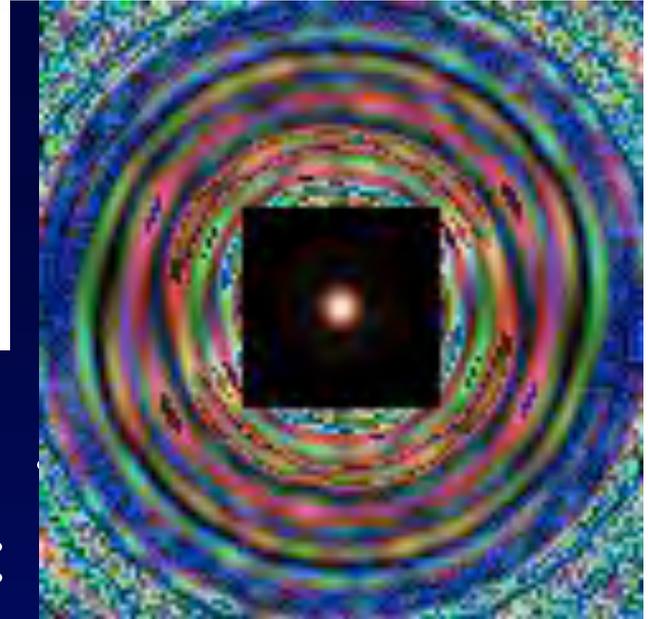
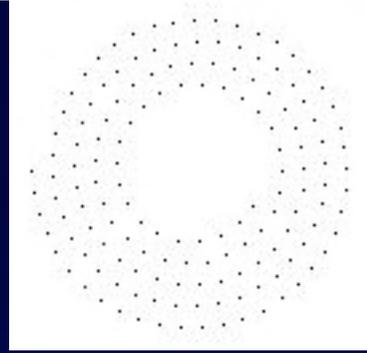


L'européen VLT  
et l'américain Keck



2 x 10m

# La troisième voie : hypertélescopes



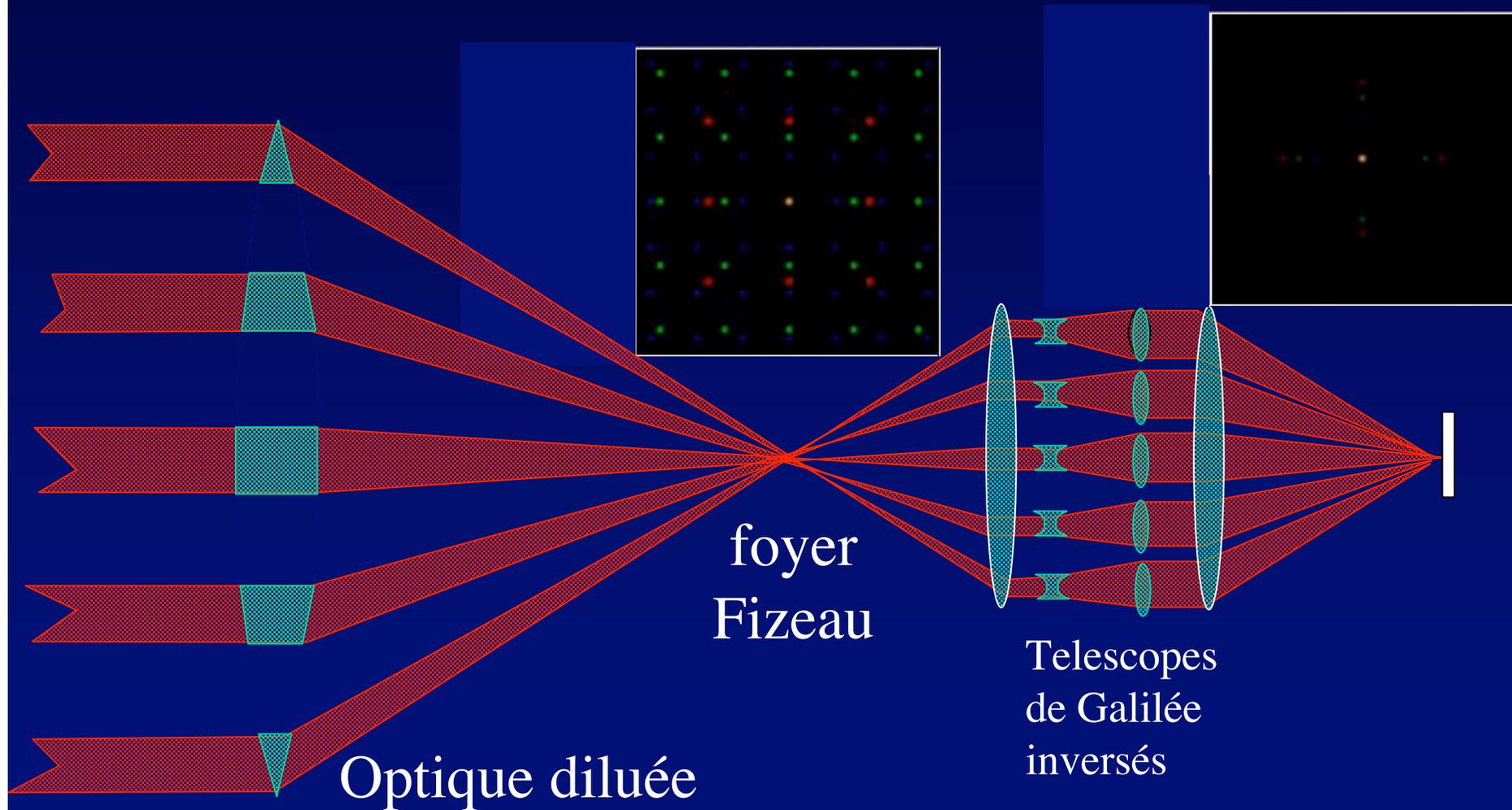
- Après les précurseurs I2T et GI2T
- « Keck Interferometer » à Hawaii:
- « Very Large Telescope Interferometer ( VLTI)» européen au Chili: 4 fois 8m
- belle moisson de résultats
- évolution: 27 télescopes de 8m, bases 1km ?
- problème: coût élevé des grandes lignes à retard
- concurrence prévisible des versions spatiales (hypertélescopes ?)

# Une nouvelle famille d'interféromètres: les hypertélescopes

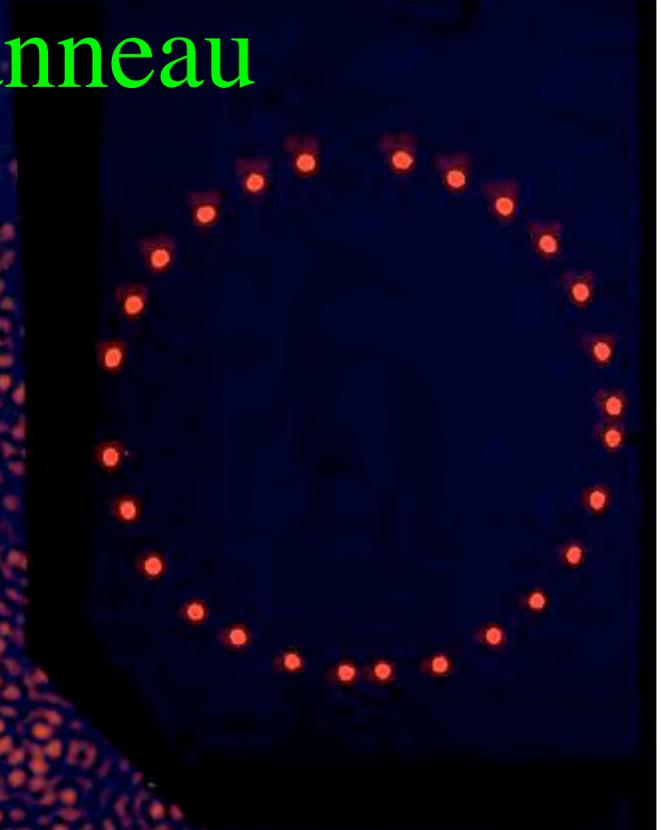
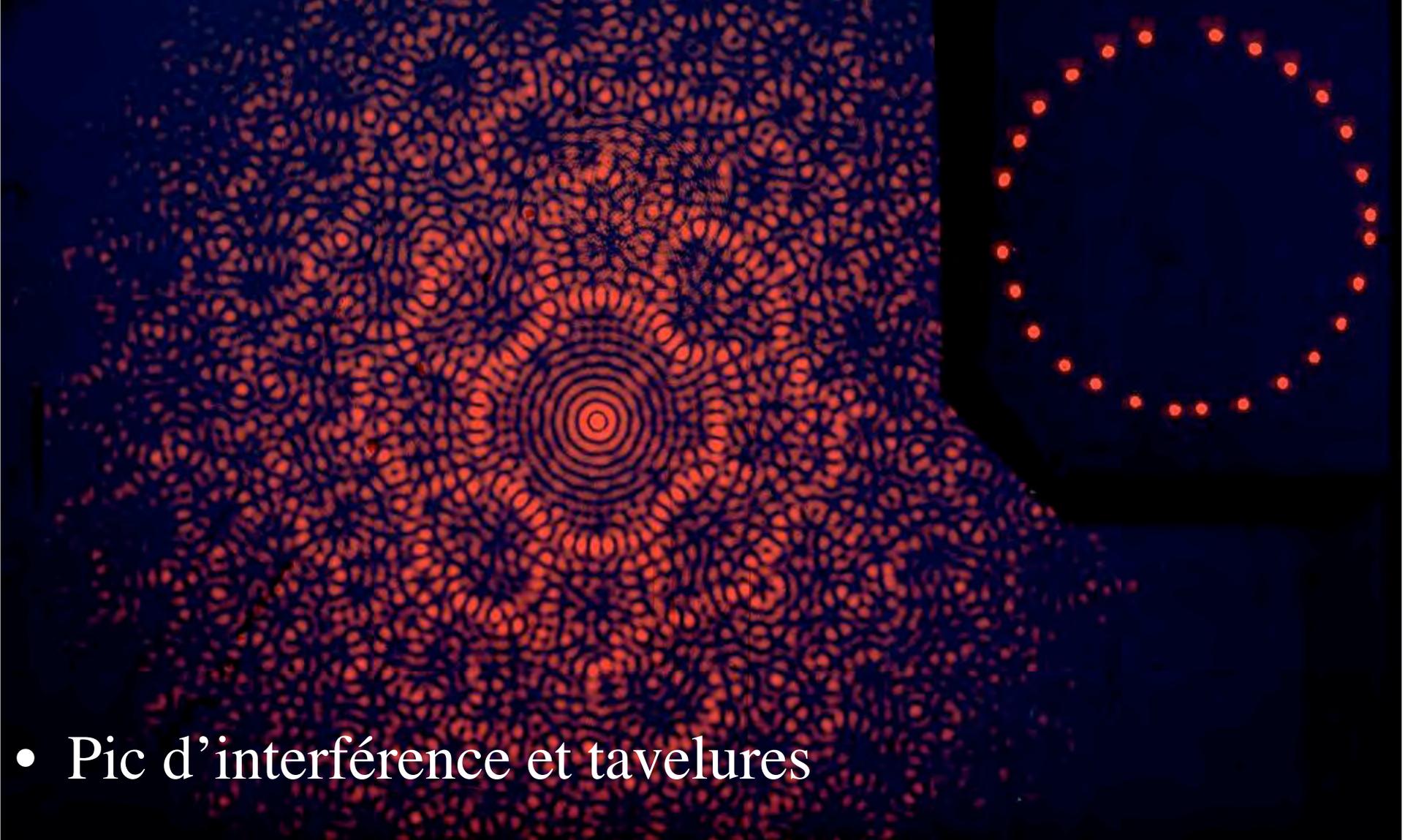
- Nombreuses ouvertures, petites ou grandes
- Permet l'imagerie directe ....
- ... et la coronographie
- Vastes perspectives au sol et dans l'espace

# Principe de l'hypertélescope

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



## Exemple: 27 ouvertures en anneau



- Pic d'interférence et tavelures

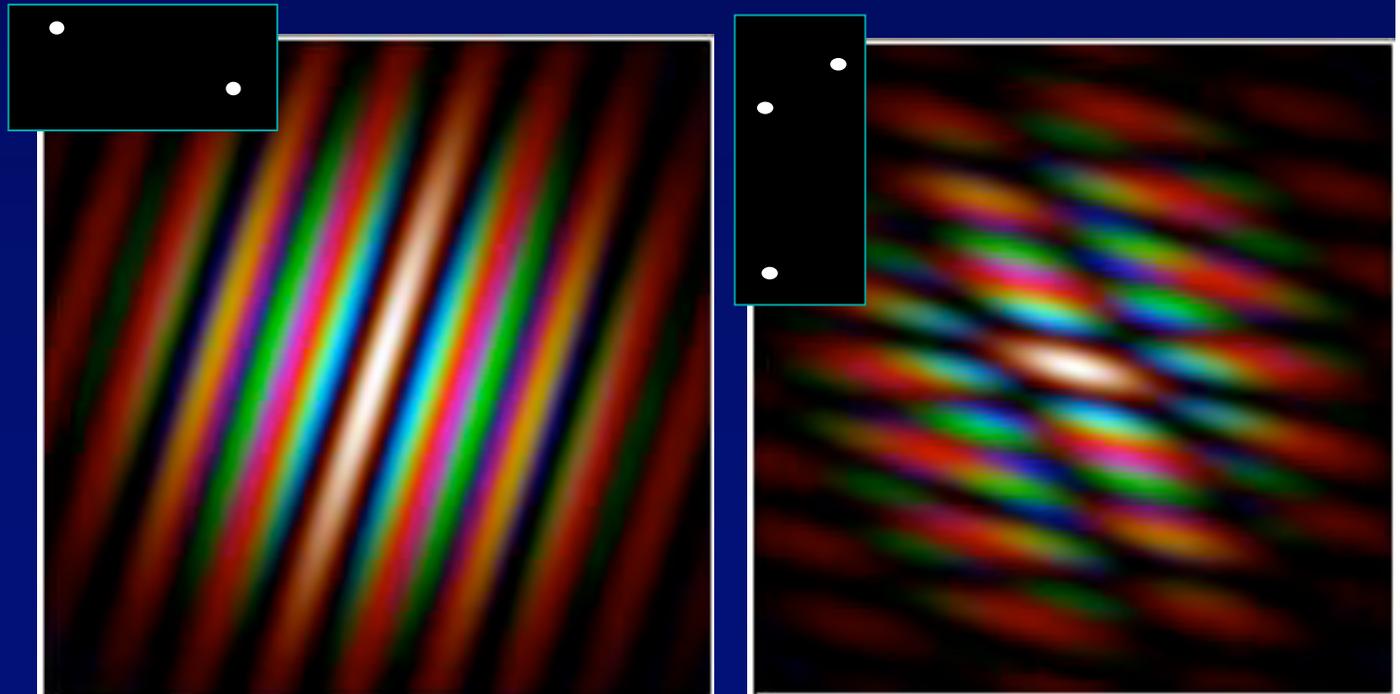
Voie 2 ou 3 ?

synthèse d'ouverture ou imagerie directe ?

- Avec quelques grandes ouvertures: reconstruction d'images par « synthèse d'ouverture »
- Comparer, a surface collectrice égale, avec l'image instantanée des hypertélescopes

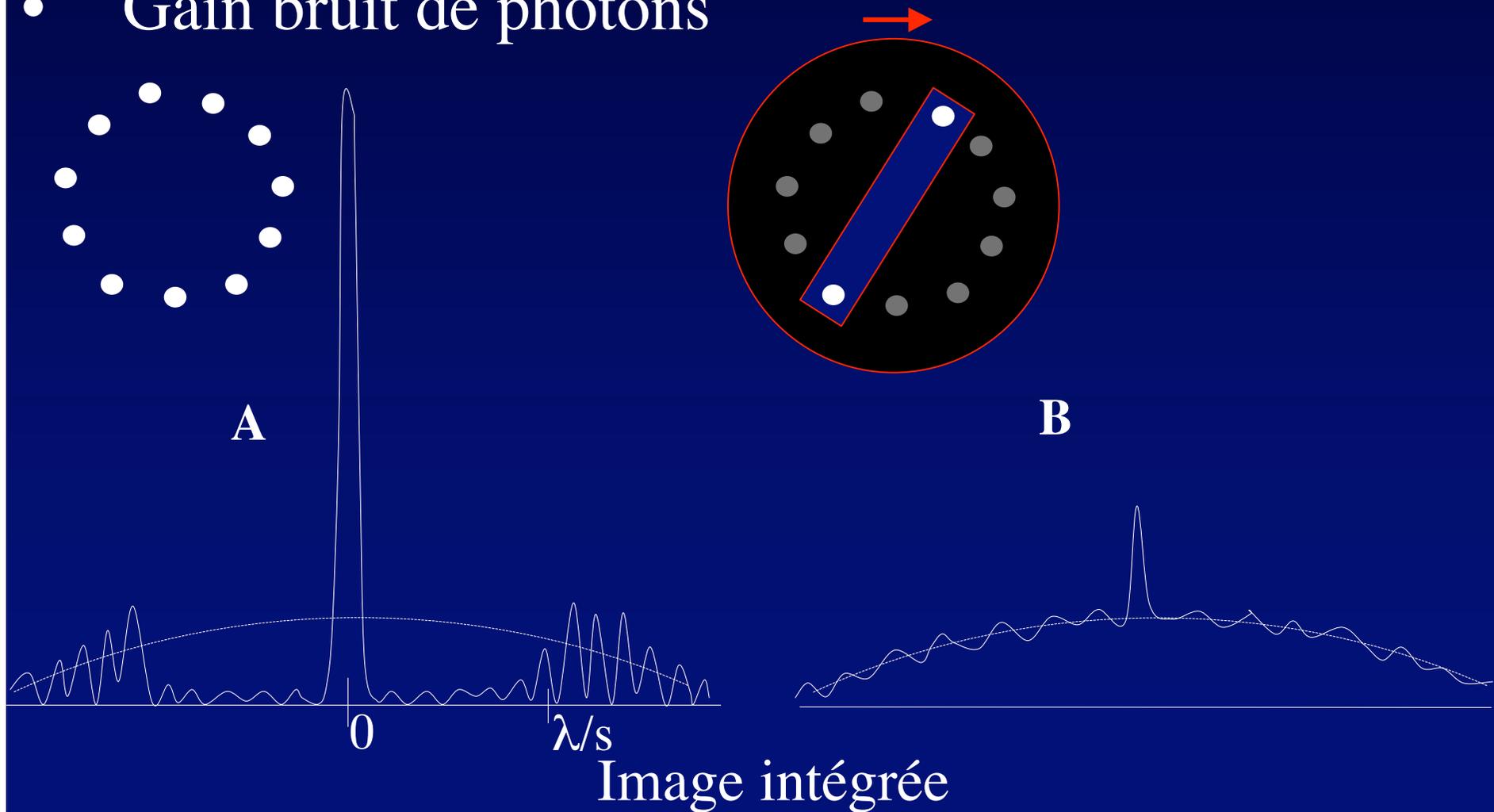
# Synthèse d'ouverture

- Paires ou triplets
- Déformation de la base ou rotation
- Image par synthèse de Fourier

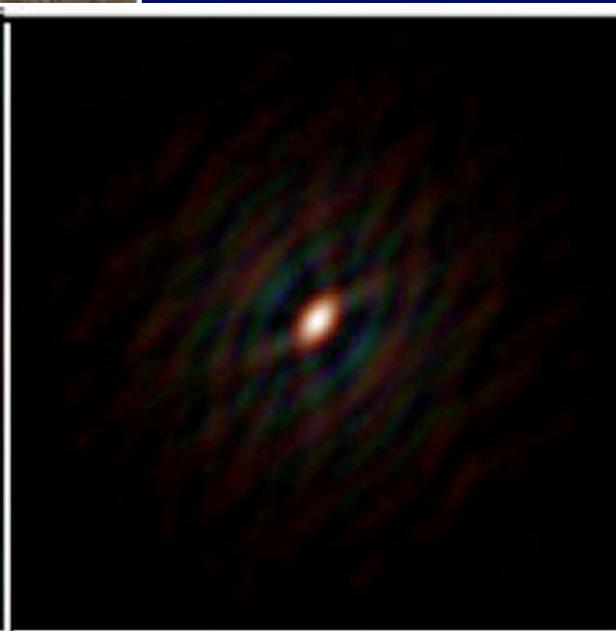
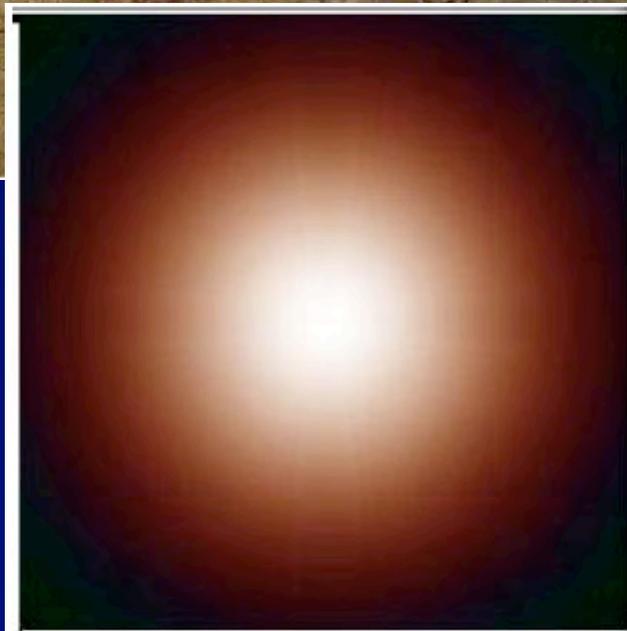
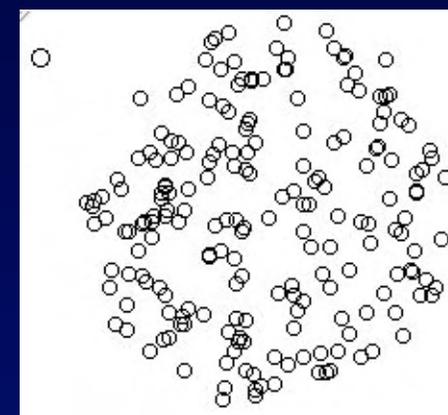
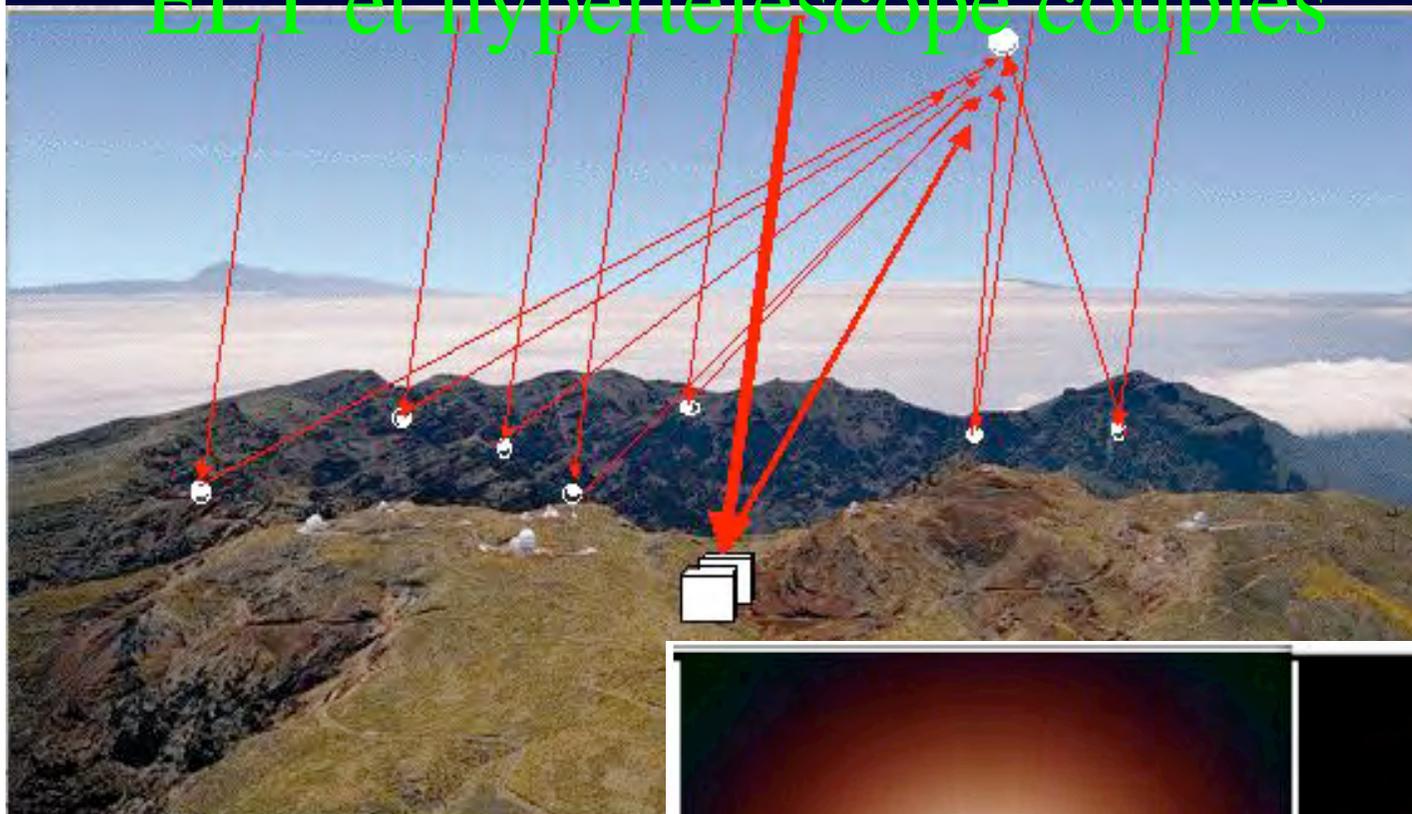


# Comparaison en masquant des ouvertures

- Gain pic/fond
- Gain bruit de photons



# Une synergie intéressante: ELT et hypertélescope couplés



# Conclusion

- Plusieurs voies en concurrence pour le sol
- Préciser les performances comparées
- Mettre au point les techniques
- les progrès dans l'espace influenceront
- ... ainsi que le pétrole

Le livre est paru :

« An introduction to optical stellar interferometry »

Labeyrie, Lipson & Nisenson

Cambridge University Press, 2006

Aussi:

Colloque Bernard Lyot à Berkeley



The direct detection of planets and  
circumstellar disks in the 21st century.

-- University of California, Berkeley, 2007

*In the spirit of Bernard Lyot*