

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
- Articles sur: www.oamp.fr/lise

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

- 3 Février
Cours 1: "Haute résolution, une percée pour l'Astronomie"
Séminaire: Florentin Millour "Imager la surface et l'environnement proche des étoiles : du rêve à la réalité"
- 10 février
Cours 2: "Résultats de l'observation à haute résolution, et perspectives"
Séminaire: **Marc Ollivier** "CoRoT et la découverte des premières super-Terre "
- 17 février
Cours 3: "Essais entrepris dans les Pyrénées aragonaises pour un hypertélescope de 200m"
Séminaire: Pierre Baudoz "L'imagerie haute dynamique appliquée aux exoplanètes: développement actuel et futur"
- **24 Février et 3 Mars : les cours et séminaires n'auront pas lieu (vacances scolaires)**
- 10 Mars
Cours 4: "Concept pour un hypertélescope de 200m"
Séminaire:
- 17 Mars
Cours 5: "Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser"
Séminaire:
- 24 Mars
Cours 6: "Hypertélescope spatial à miroirs piégés par laser" (suite)
Séminaire:
aussi: conférence de Roger Angel " "
- **1er -2 Avril: cours et séminaires à Grenoble, détails sur http://www.ujf-grenoble.fr/74905189/0/fiche___pagelibre/**
- Debuts de l'interférométrie optique 1890 - 1974
Essais a Barrosa pour un hypertélescope de 200m
Hypertélescopes dans l'espace: flotille piégée par laser visible , sub-mm (SPECS 4 K)



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

Aujourd'hui:

"Résultats de l'observation à haute résolution, et perspectives"

Haute résolution, une percée pour l'Astronomie

les détails que l'on aimerait mieux voir

Séminaire à 15h :

Marc Ollivier (Institut d'Astrophysique Spatiale)

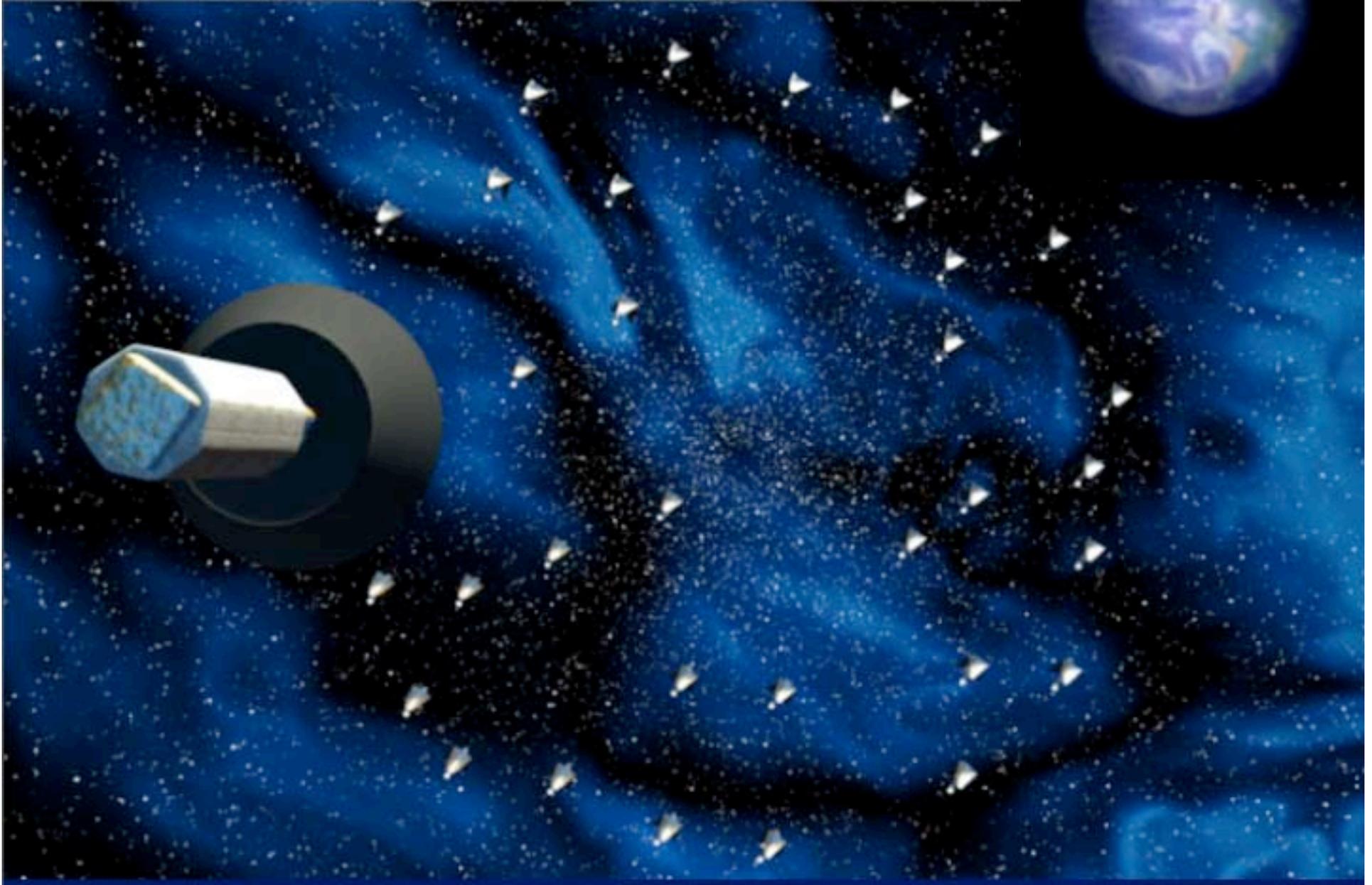
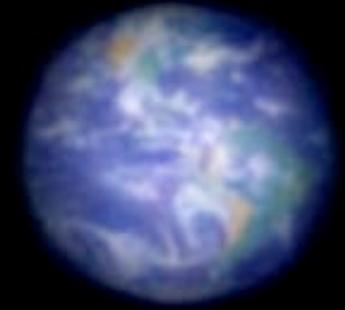
"CoRoT et la découverte des premières super-Terre "

Ce que nous voulons faire :

une nouvelle génération de télescopes...
... les hypertélescopes

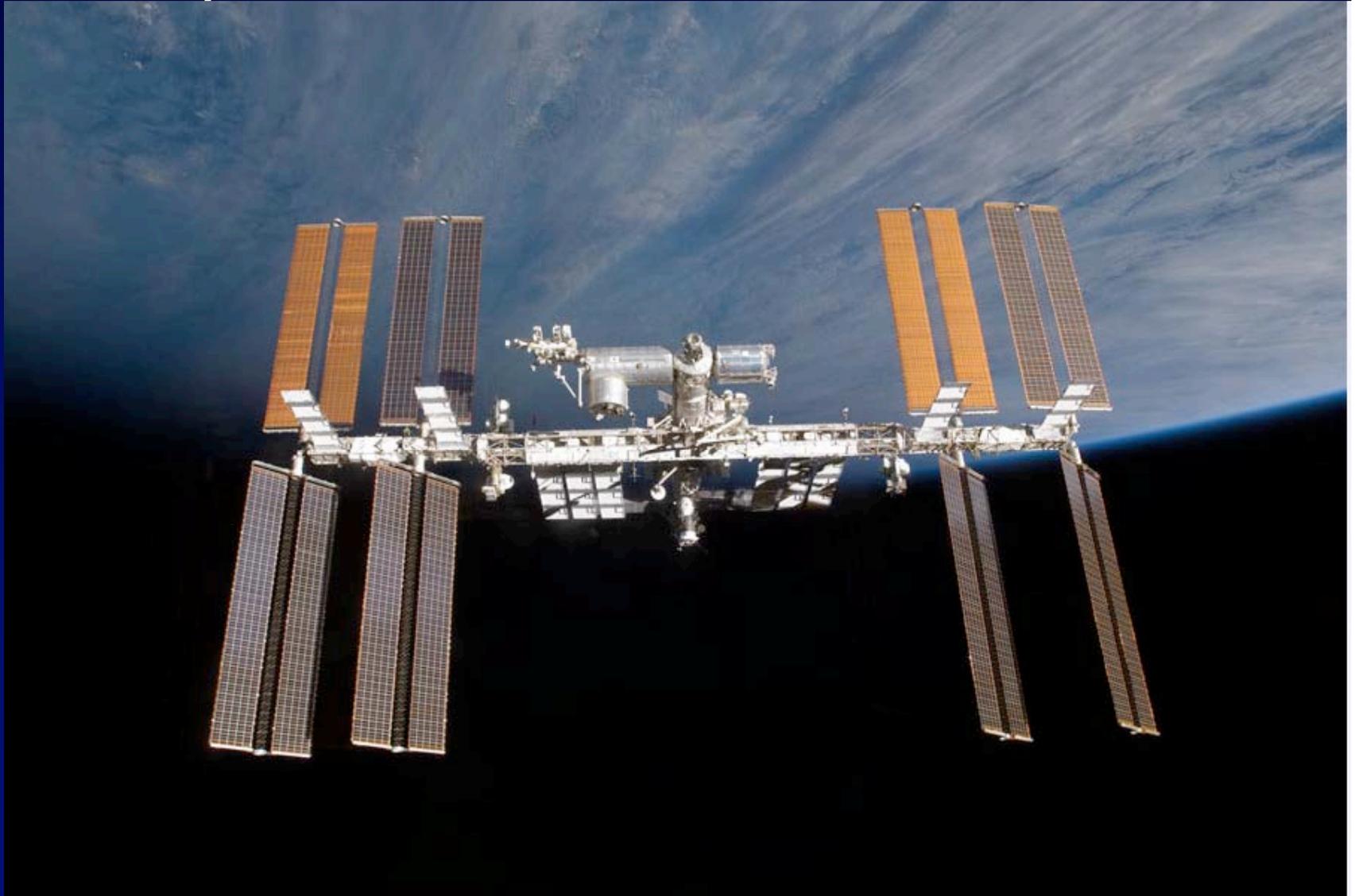


... puis dans l'espace



ISS

- utile pour les essais de "Laser Trapped Hypertelescope Flotilla" ?



Eclipse du millénaire

annulaire la plus longue pour 1000 ans

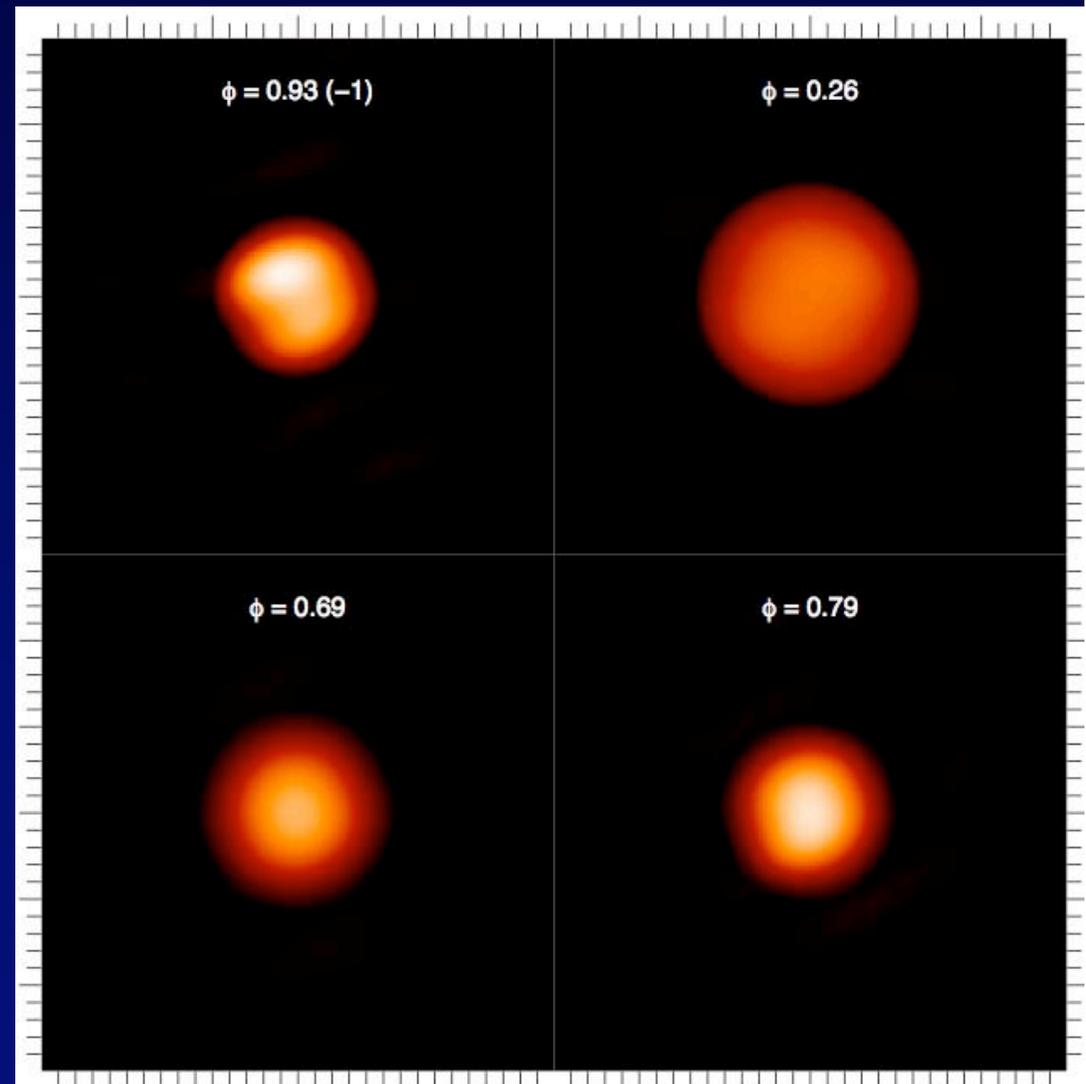


H alpha

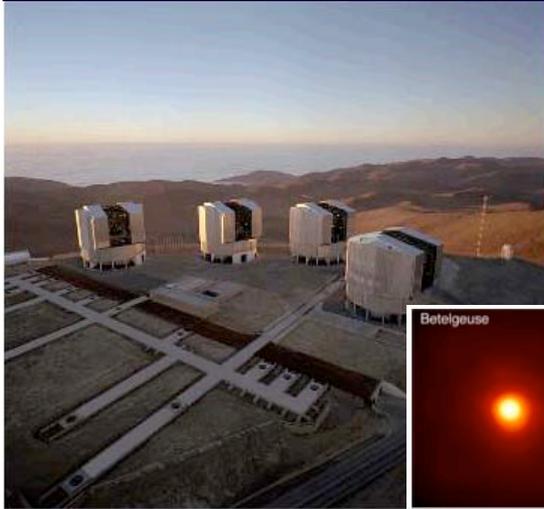
Variations de diamètre d'une étoile de type Mira

Chi Cygni (Lacour et al., 2009)

Résultats posthumes de
l'interféromètre IOTA

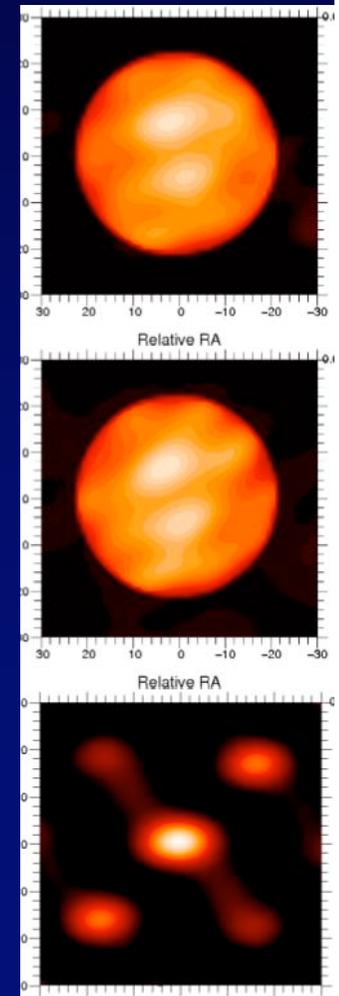
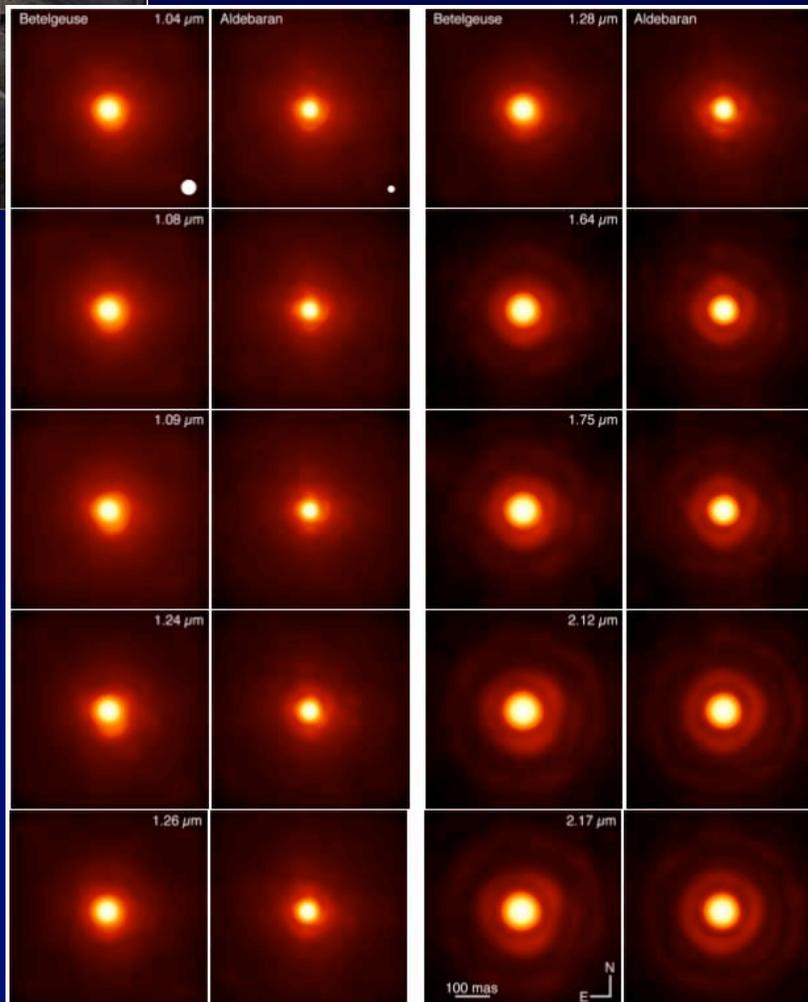


Bételgeuse, étoile supergéante



VLN/NACO (8m)
(Kervella et al., 2009)

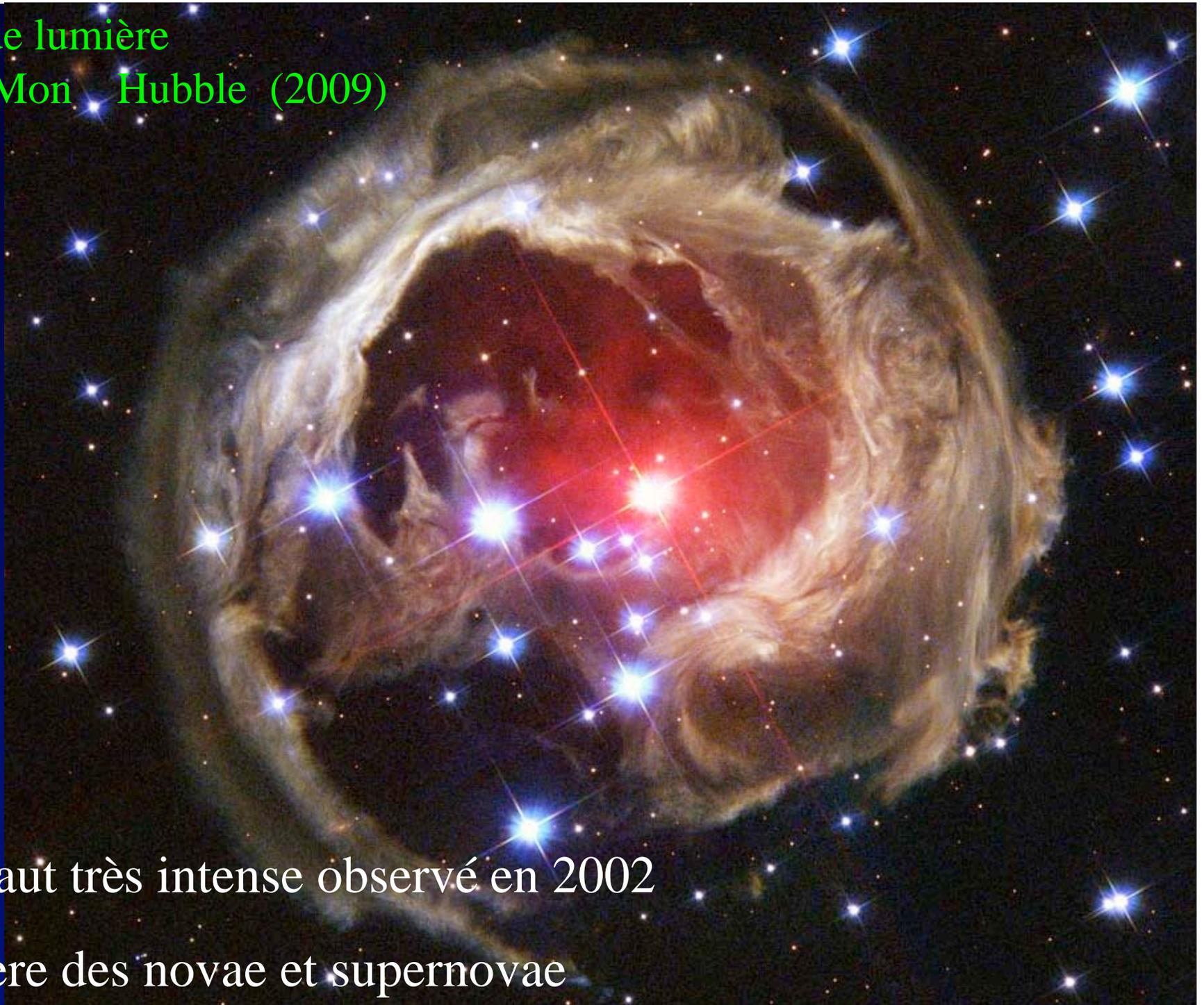
IOTA (38m, 9 mas)
(Lacour et al., 2009)



→
Fonction
d'étalement en
synthèse
d'ouverture

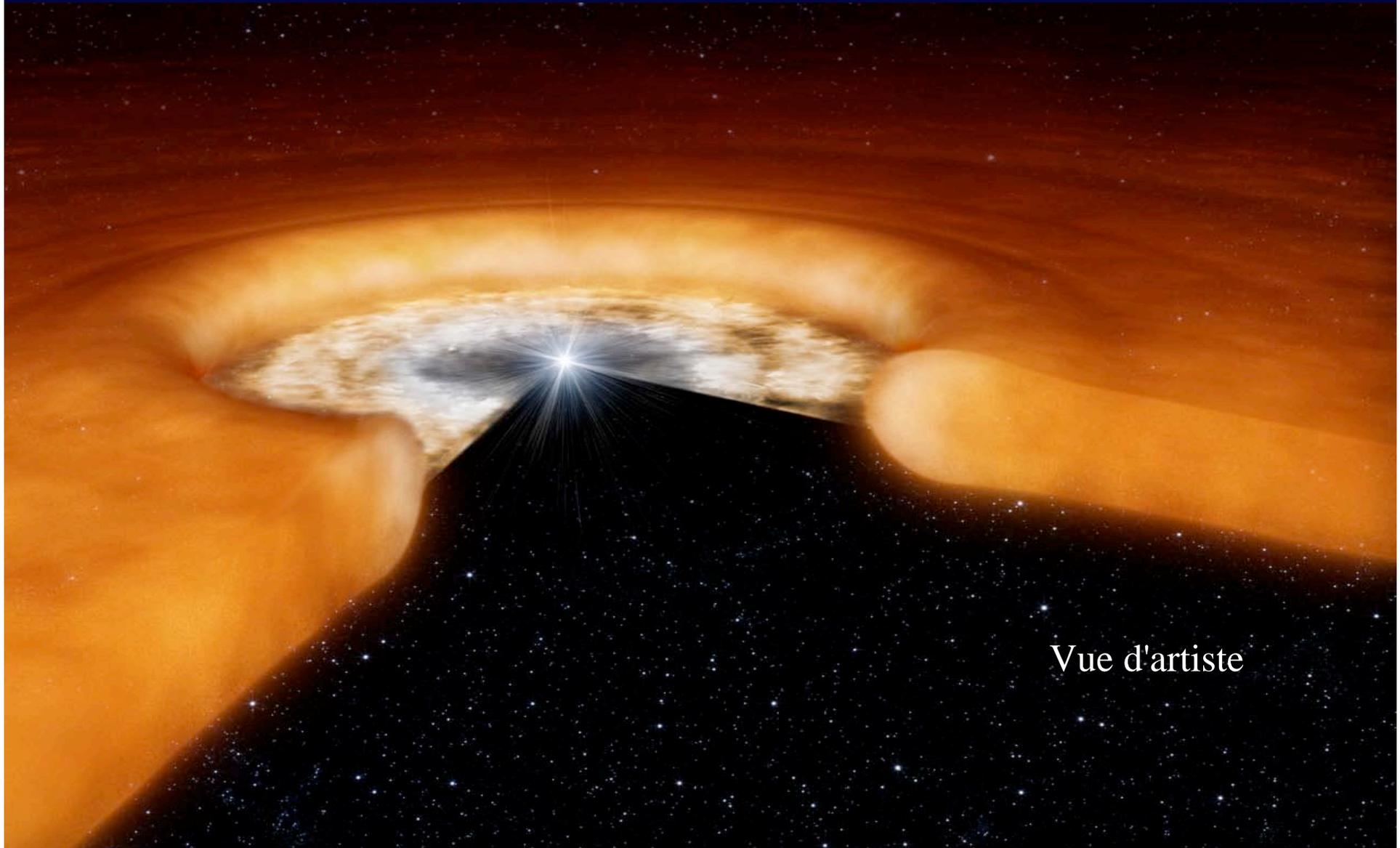
Echo de lumière

V838 Mon Hubble (2009)



- sursaut très intense observé en 2002
- diffère des novae et supernovae

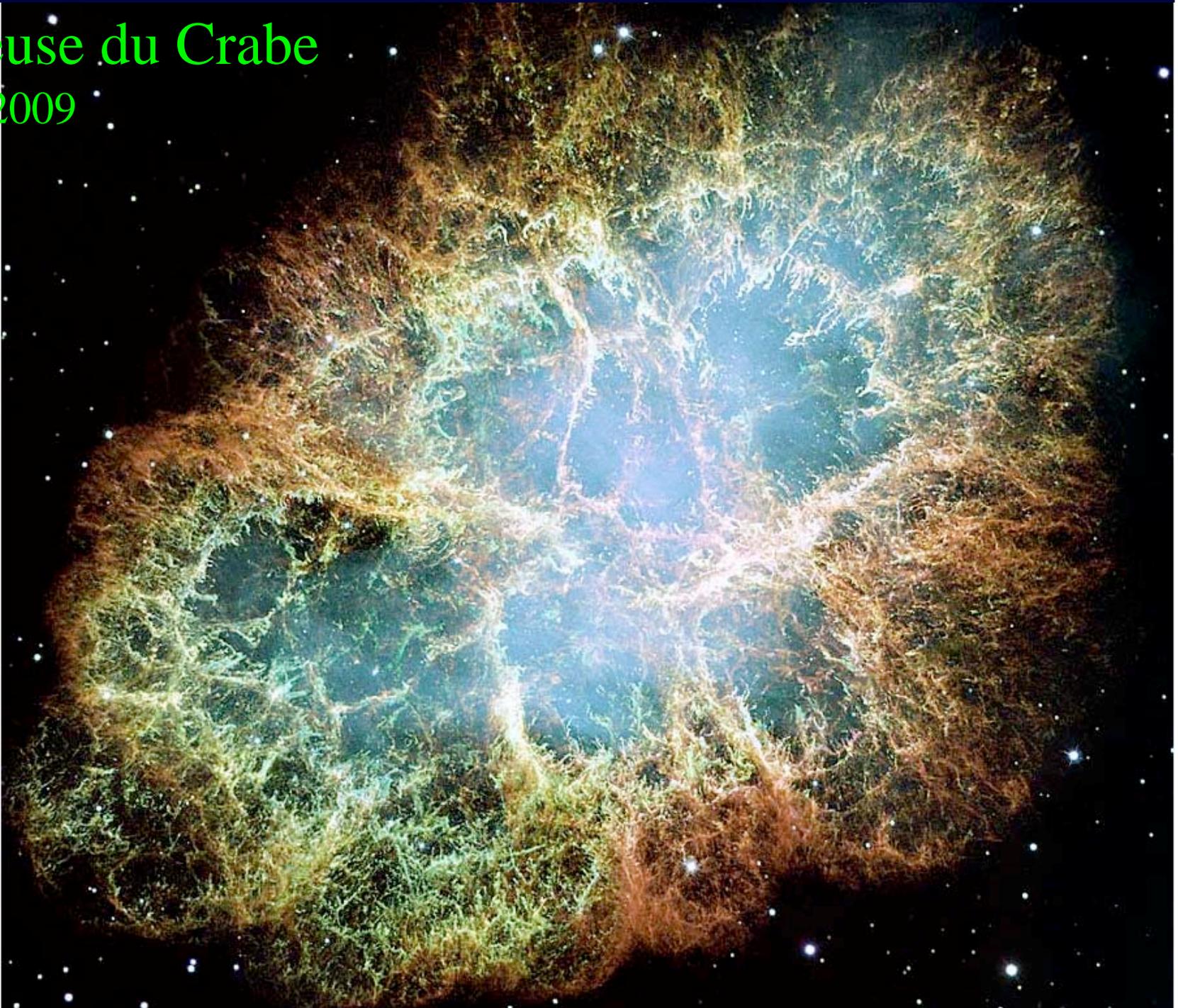
Observation d'un disque circumstellaire ' (Tatulli et al., 2008)



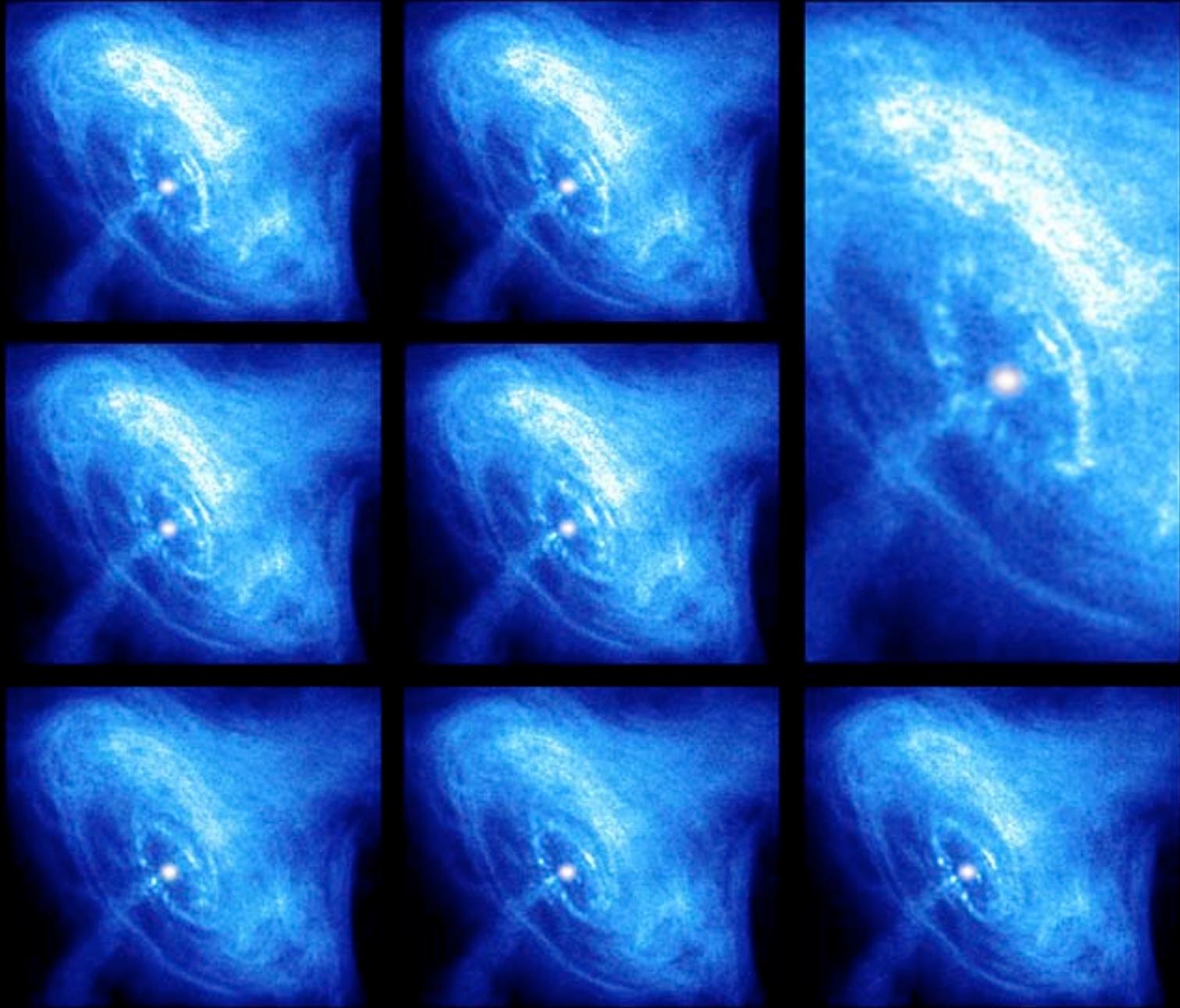
Vue d'artiste

Nébuleuse du Crabe

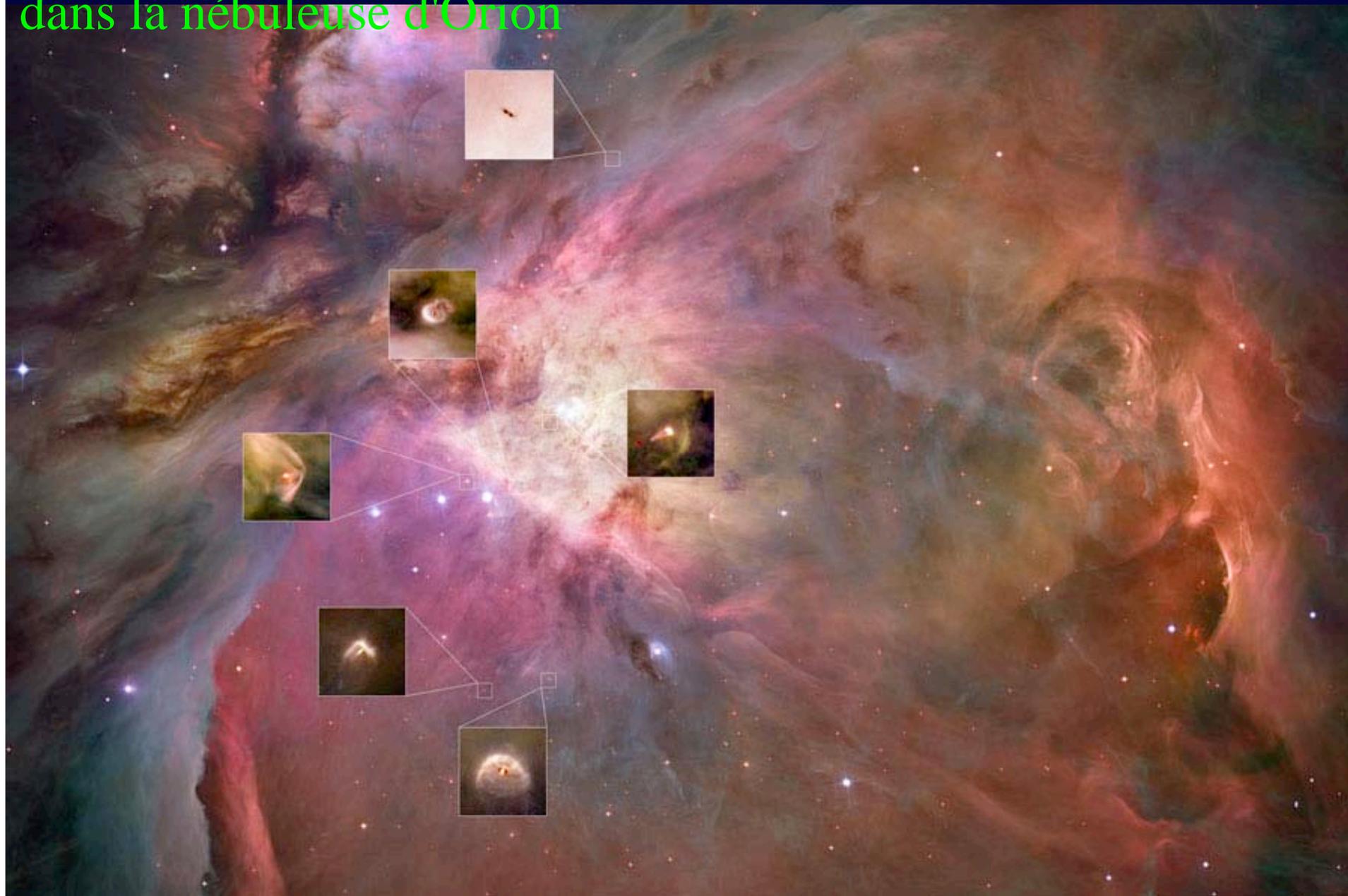
Hubble, 2009



Le pulsar du Crabe vu en rayons X

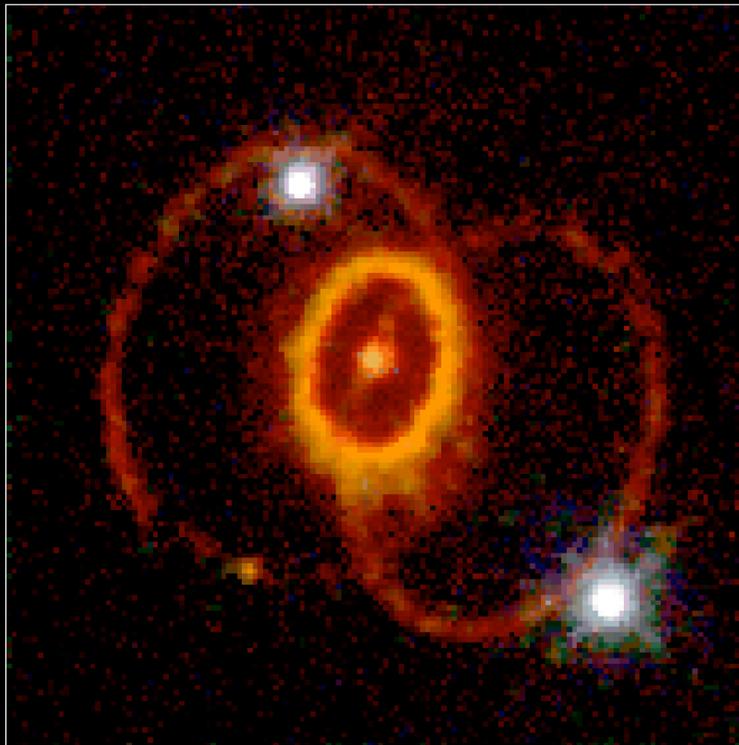


Systemes planétaires en formation "proplyds" dans la nébuleuse d'Orion

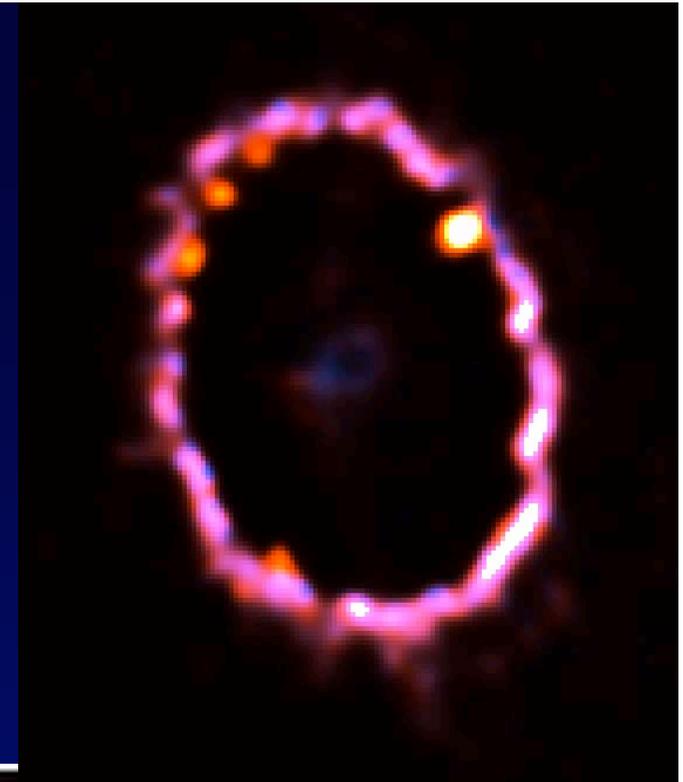


Supernova SN 1987A vue par Hubble

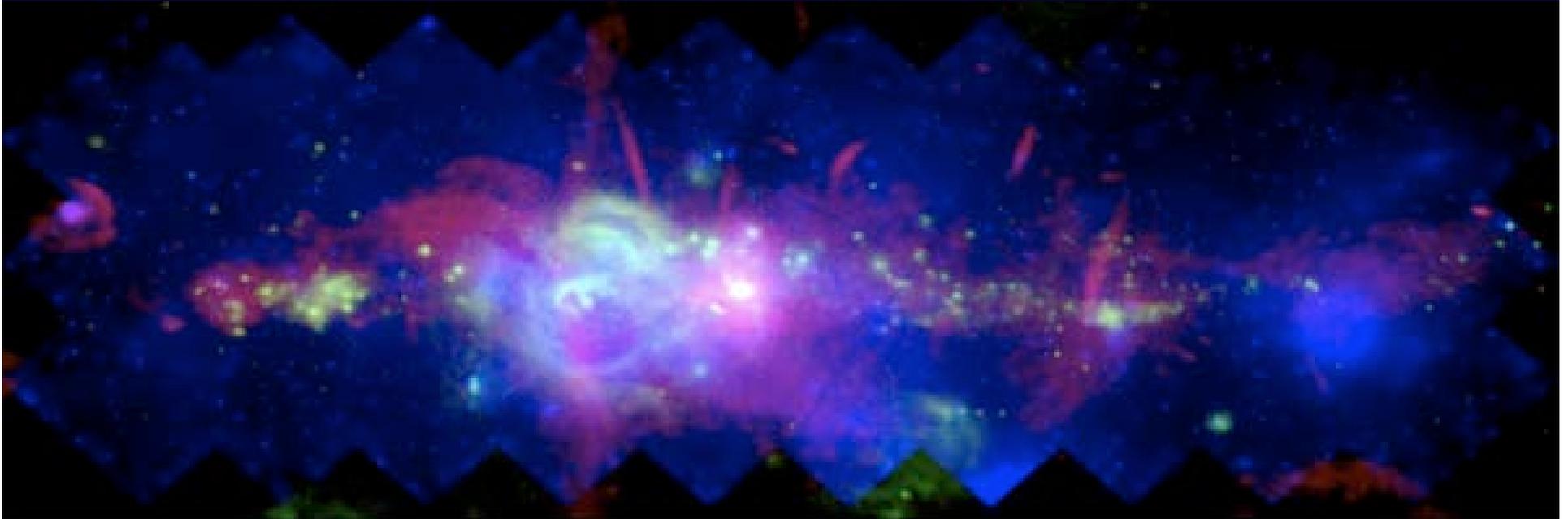
Supernova 1987A Rings



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

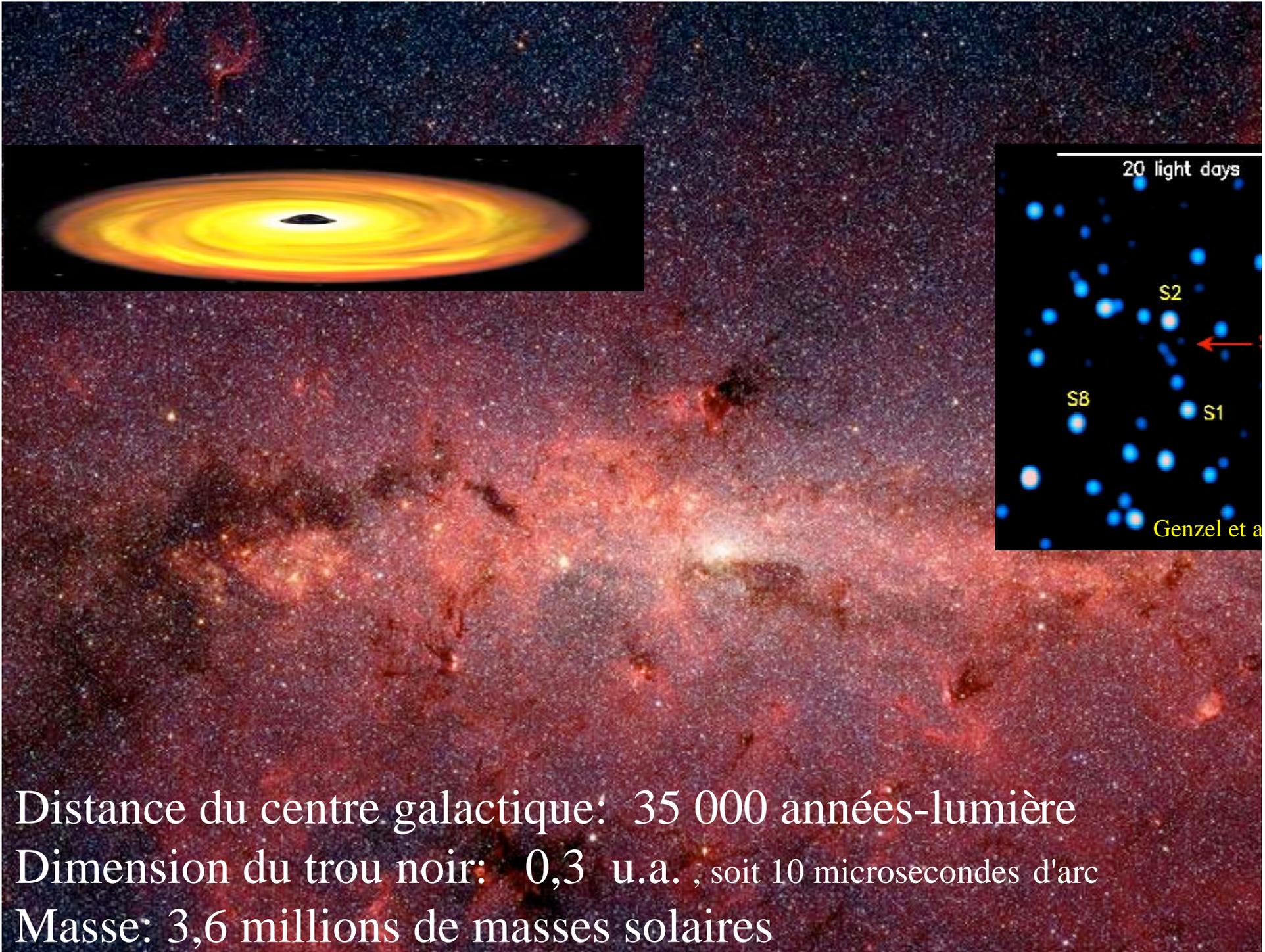


Centre de la Voie Lactée, notre galaxie



Composite image of the Galactic center. X-ray: blue, mid-IR: green, radio:red.

- orbites rapides d'étoiles autour de ... rien de visible : trou noir géant



Distance du centre galactique: 35 000 années-lumière

Dimension du trou noir: 0,3 u.a. , soit 10 microsecondes d'arc

Masse: 3,6 millions de masses solaires



Nuage de Magellan
La plus proche galaxie



Lentille gravitationnelle (Crillo et al.)

M94 les bras spiraux vont plus loin

5 millions d'années lumière



Galaxie M51

Hubble, 2009

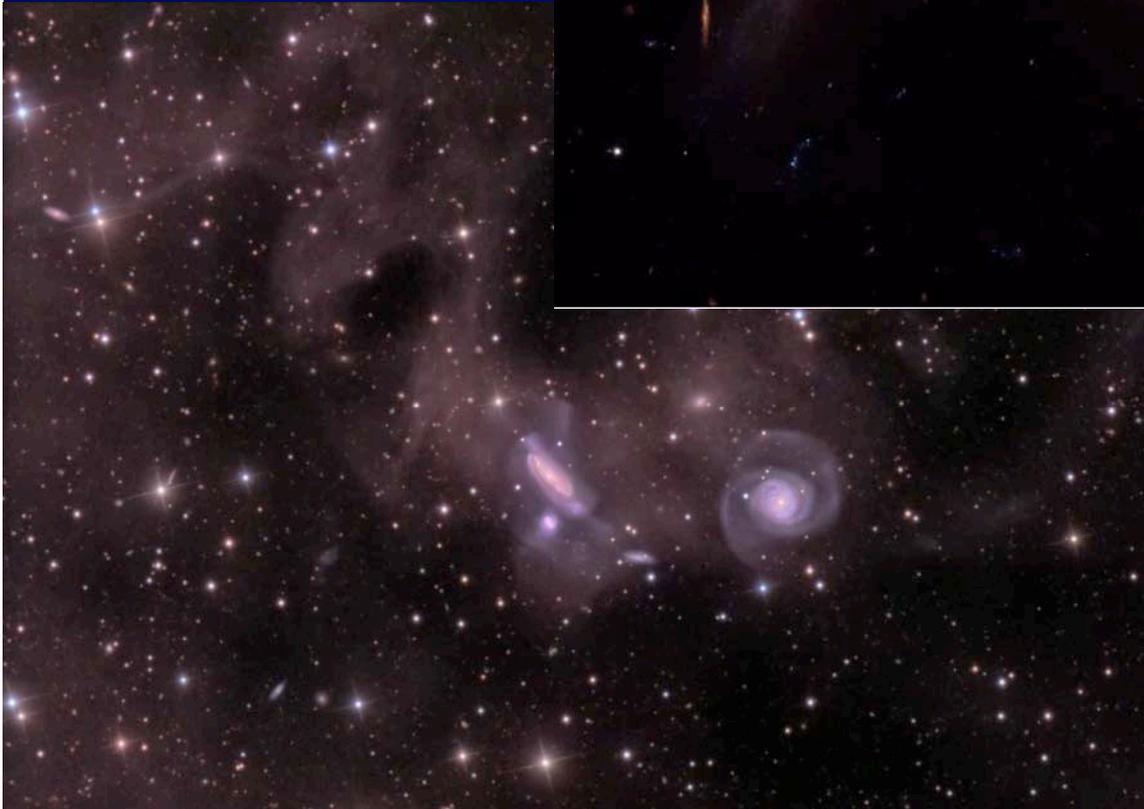
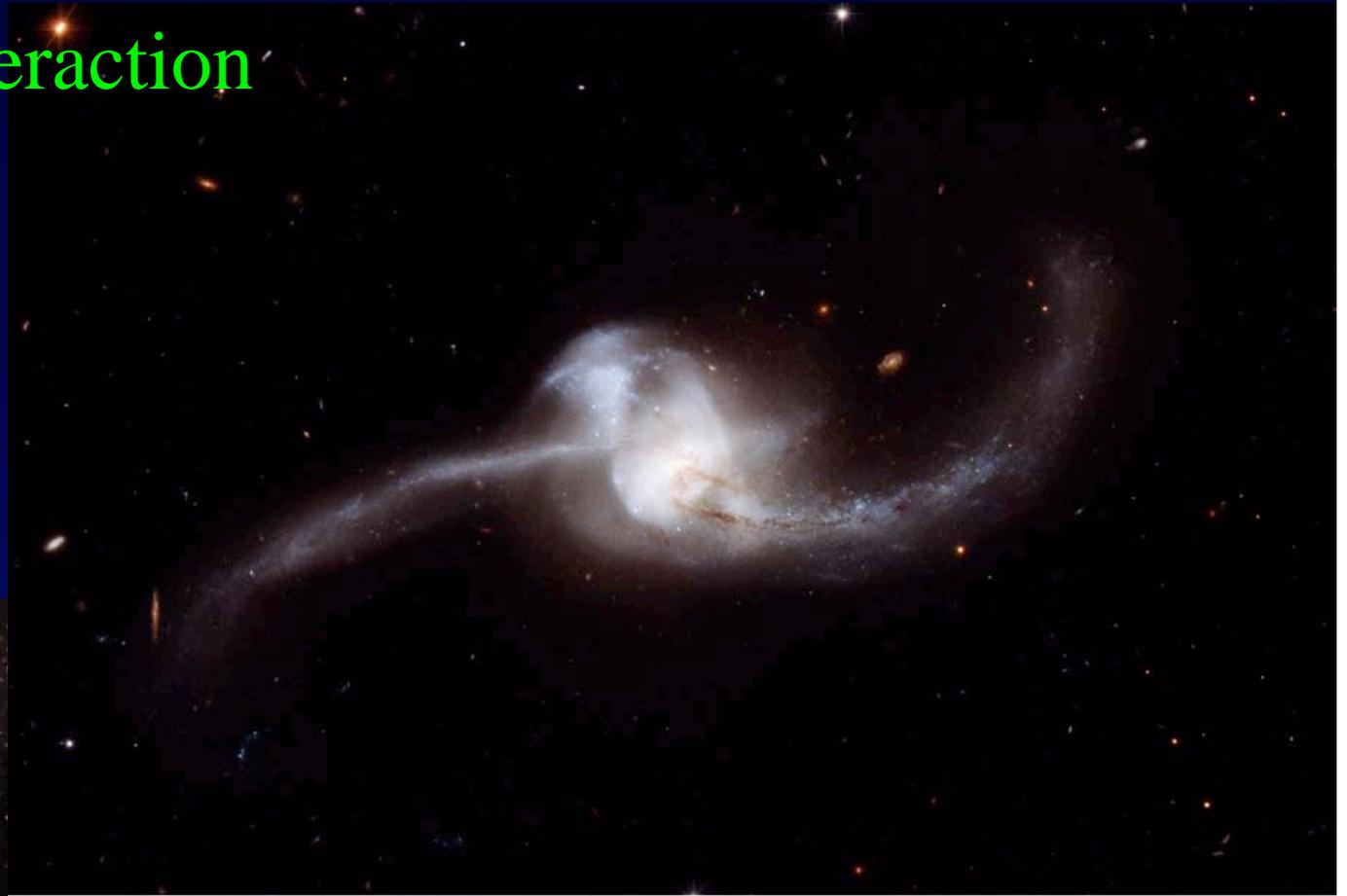


Galaxies en interaction

Hubble

NGC 2623

NGC 7771

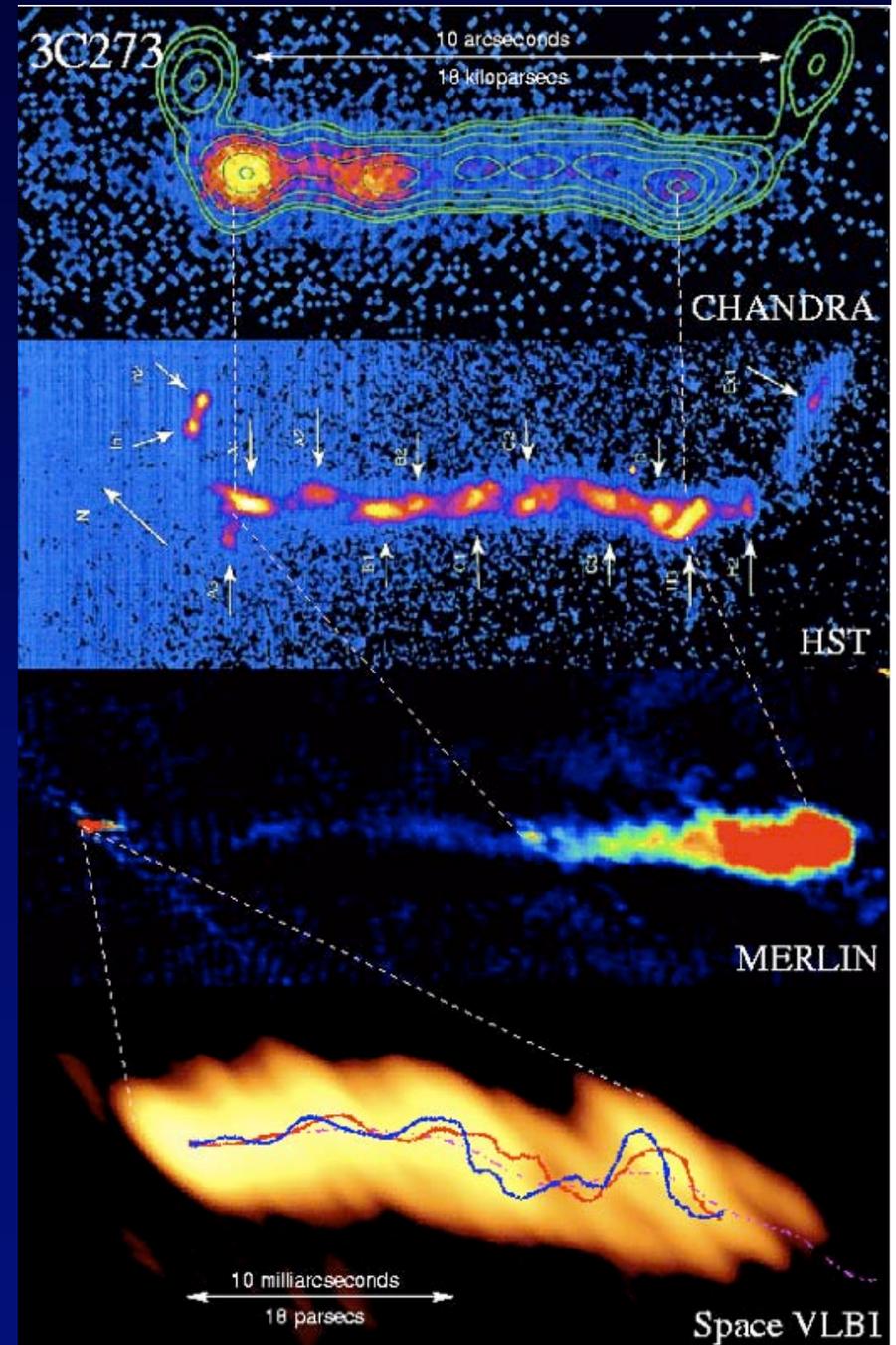


Jet du quasar 3C273

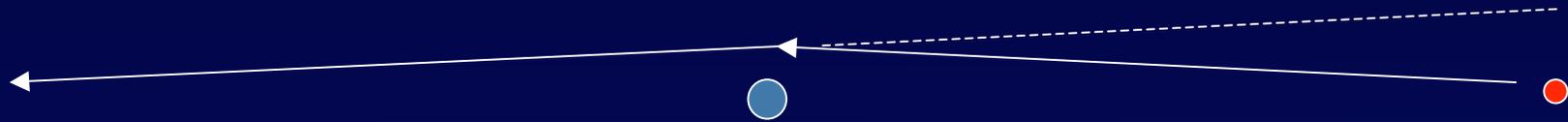
- Rayons X, visible, radio
- Vitesses apparentes dépassant celle de la lumière
- ...explicable par effet de perspective

Quasar 3c273 à différentes longueurs d'ondes

Structure en double hélice

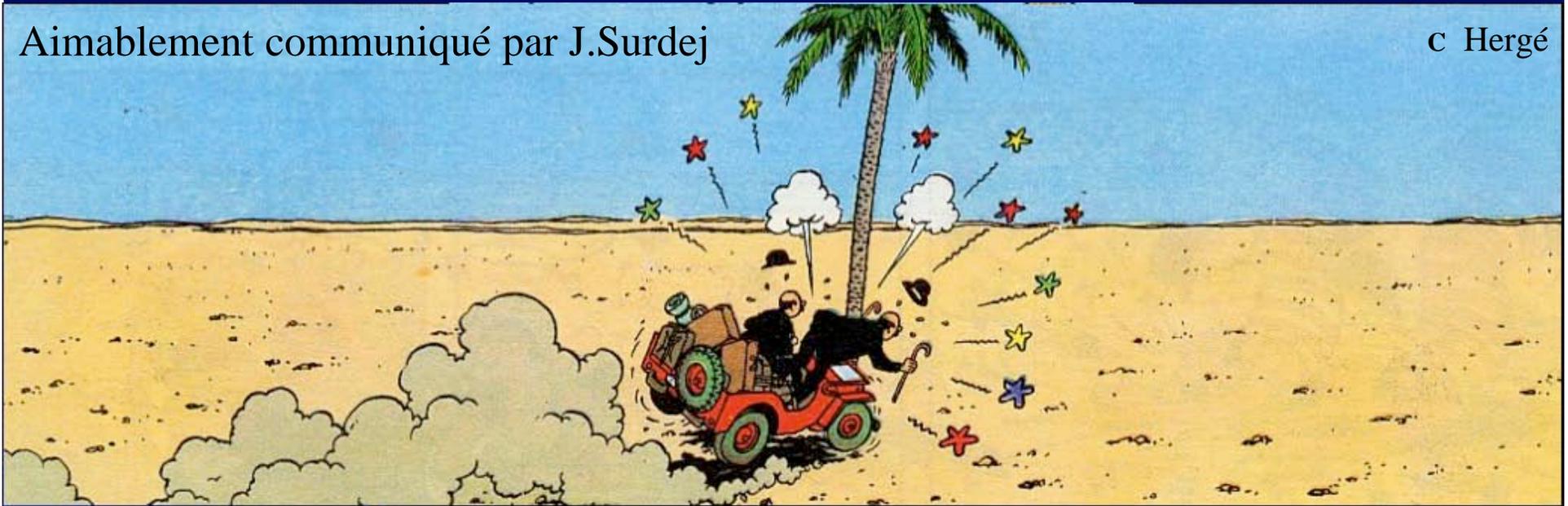


Mirages gravitationnels



Aimablement communiqué par J.Surdej

c Hergé



Effet de lentille gravitationnelle

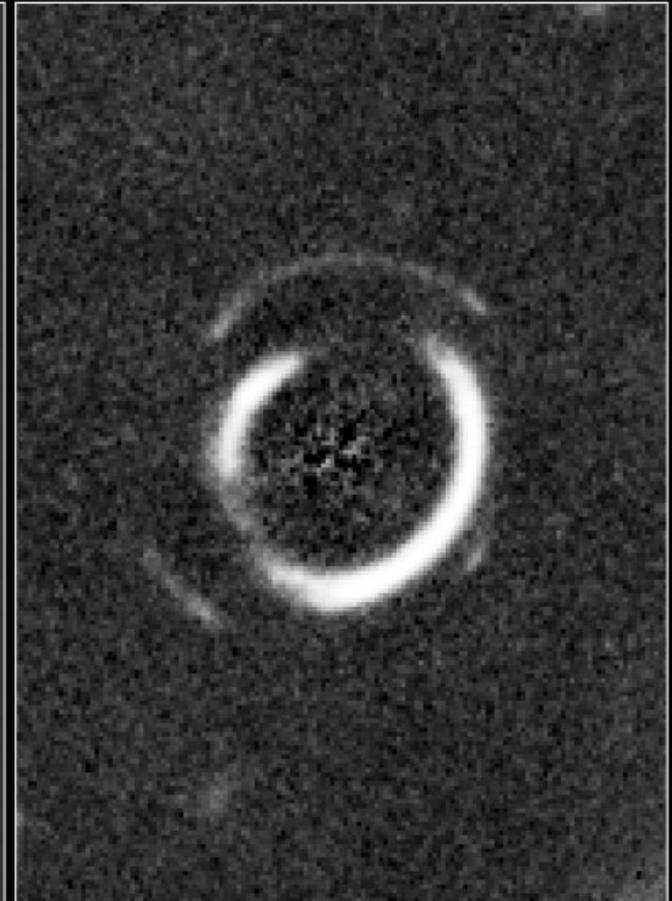
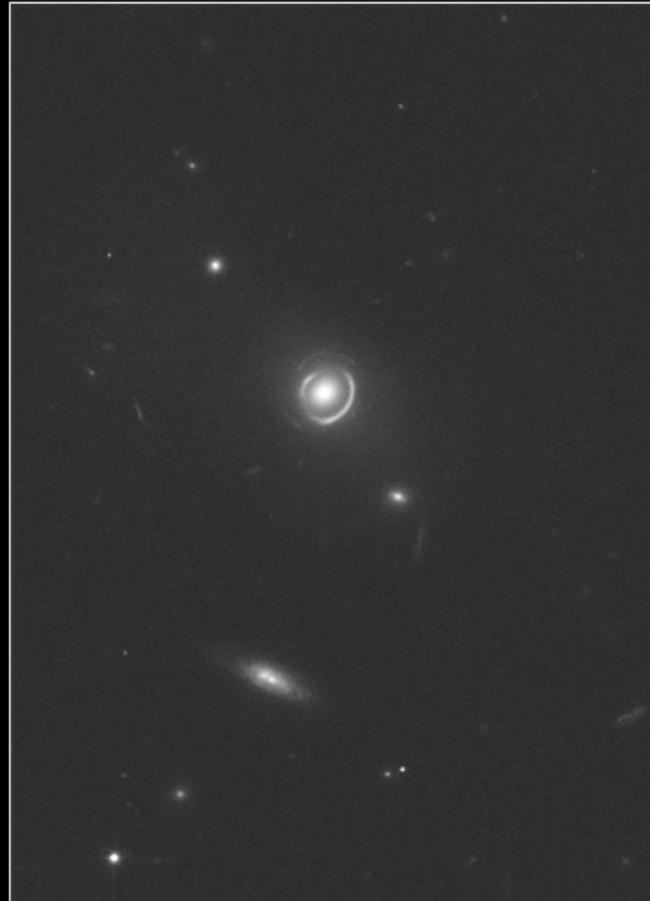


J. Rhoads et al., 2010

Intensités fluctuantes, effet des étoiles de la galaxie

Double Einstein Ring SDSSJ0946+1006

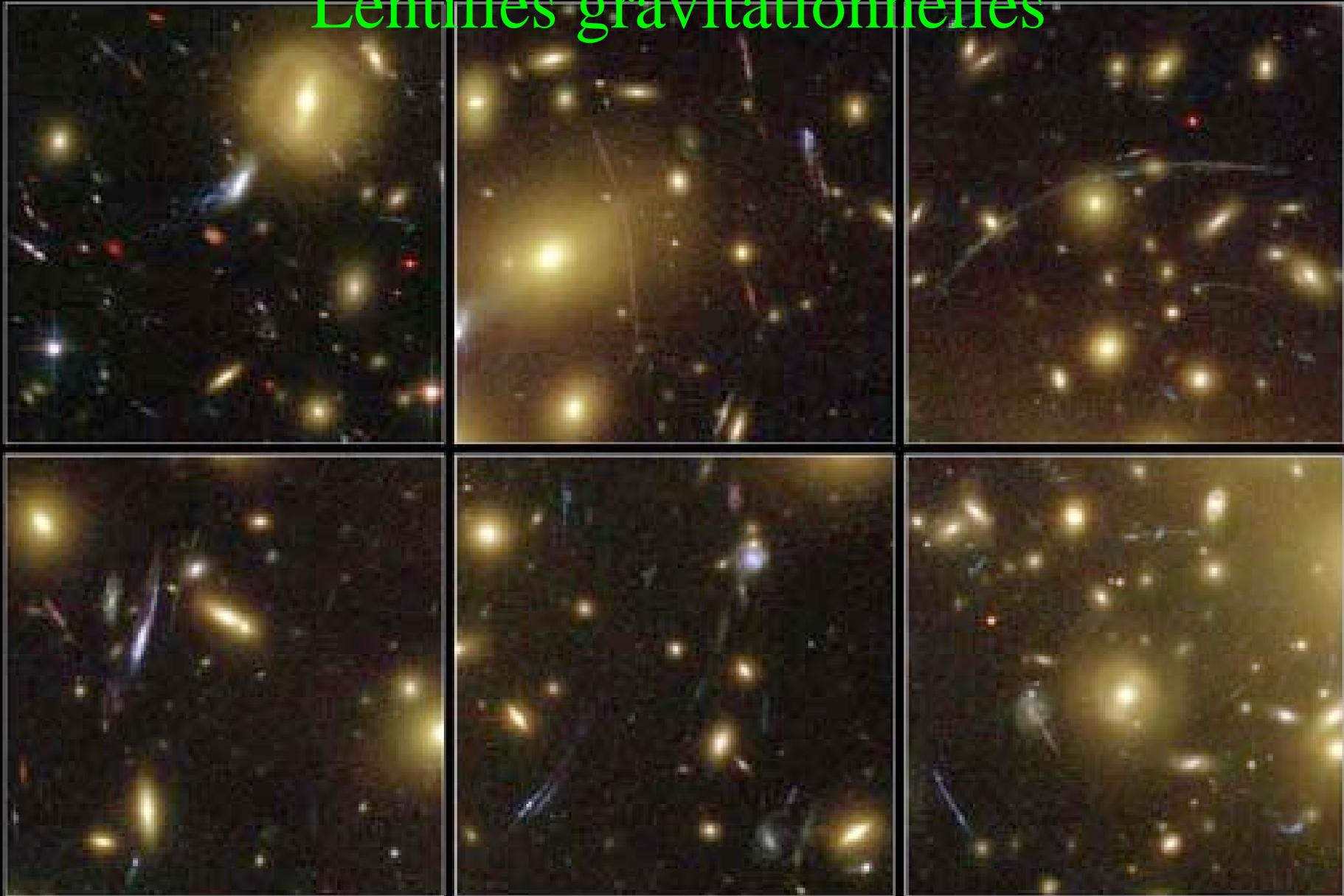
Hubble Space Telescope ■ ACS/WFC



NASA, ESA, R. Gavazzi and T. Treu (University of California, Santa Barbara),
and the SLACS Team

STScI-PRC08-04

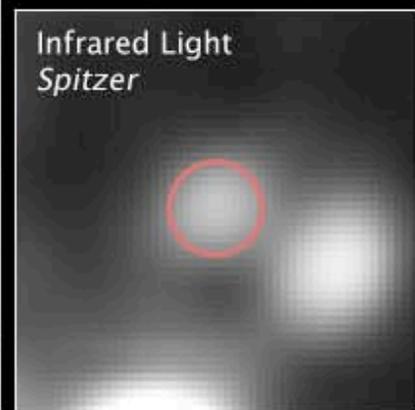
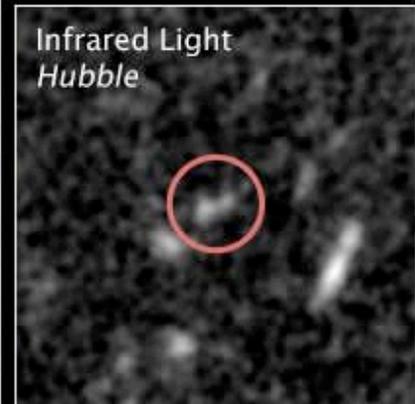
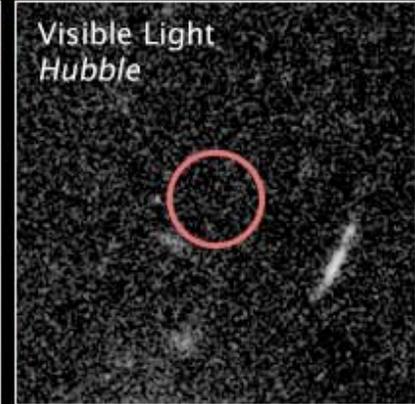
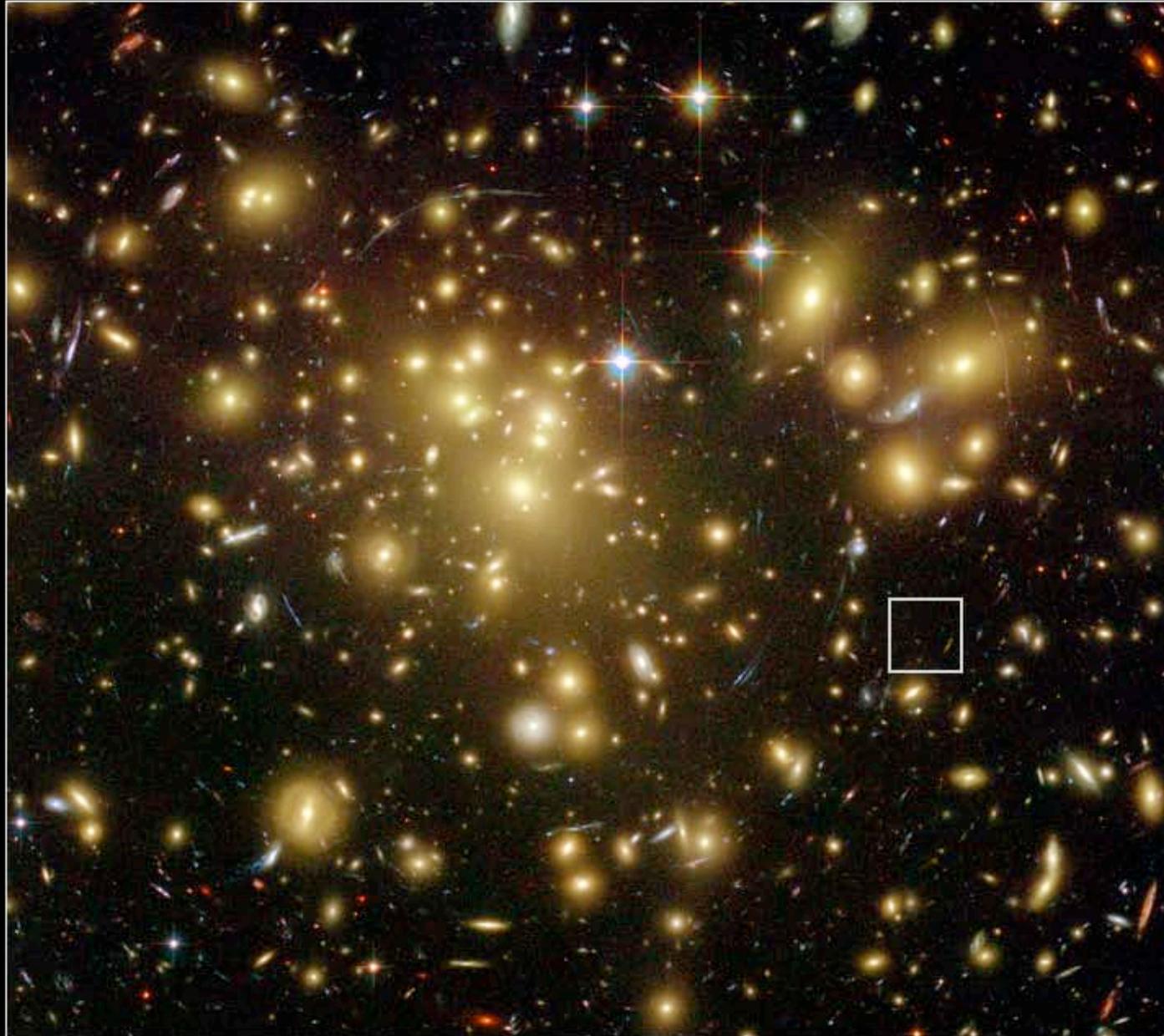
Lentilles gravitationnelles



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

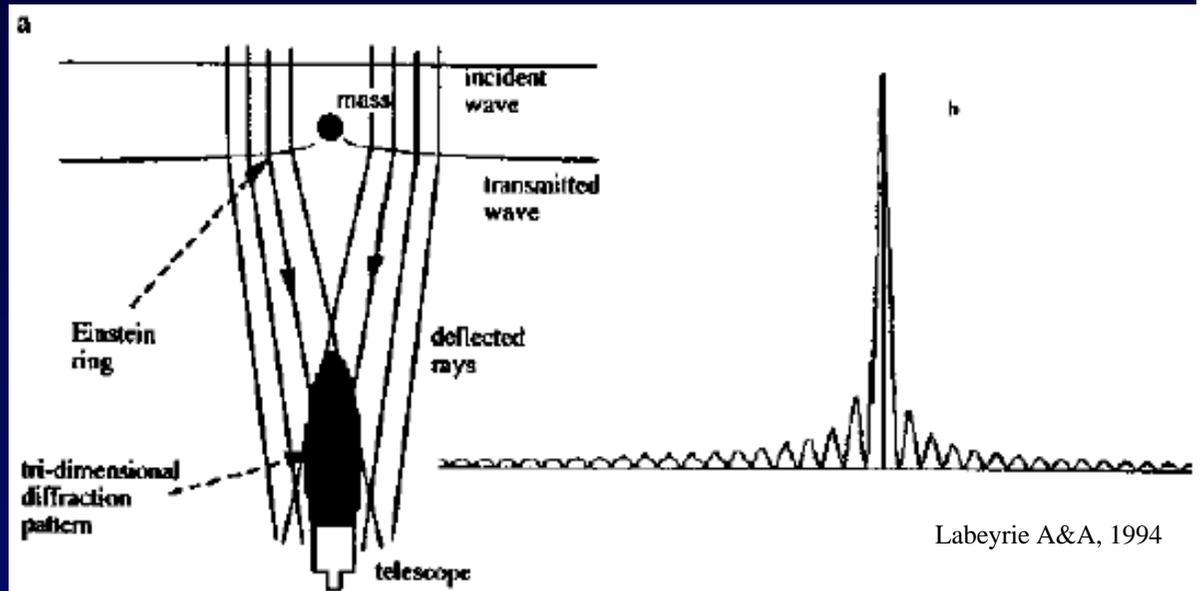
Distant Gravitationally Lensed Galaxy
Galaxy Cluster Abell 1689

Hubble Space Telescope
ACS/WFC NICMOS

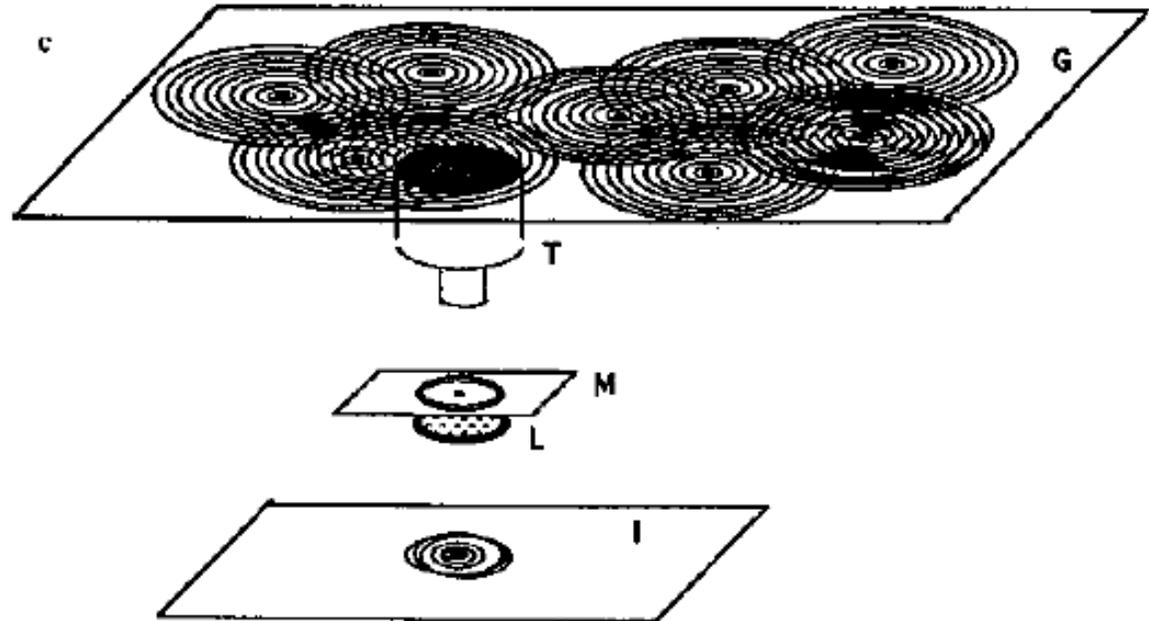


Focalisation diffractive d'une micro-lentille gravitationnelle

- Masse sub-stellaire, proche
- Flash bref observable avec un ELT ?



Labeyrie A&A, 1994



Grandes énigmes:

Matière sombre

- la rotation des galaxies, leur effet de lentille gravitationnelle sur des sources d'arrière plan, ne correspondent pas à l'effet gravitationnel de la matière observée
- Il semble y avoir de la masse invisible
- mais sous quelle forme ?

Masse cachée

Matière émissive X



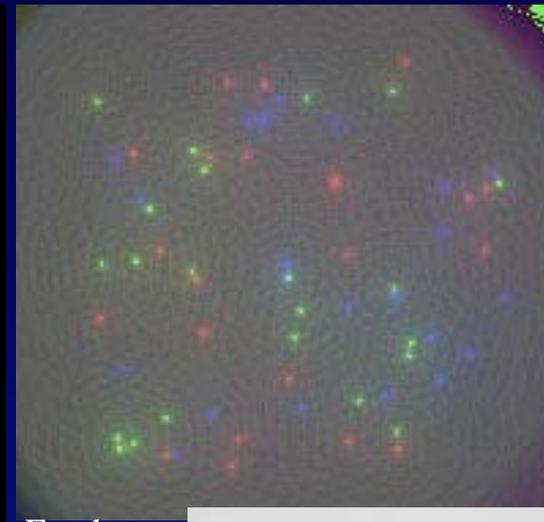
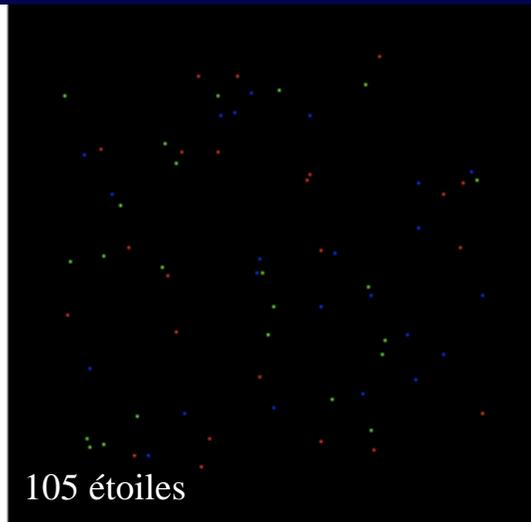
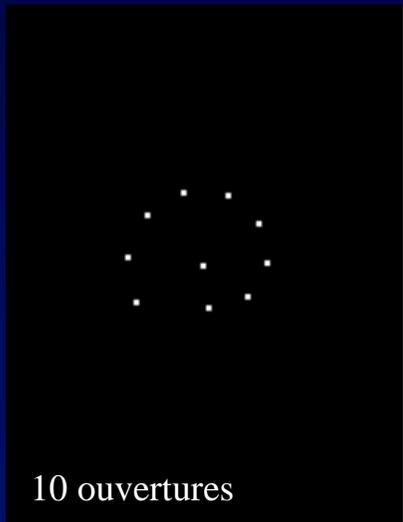
Grandes énigmes:

Energie sombre

- Observations récentes de supernovae:
 - expansion accélérée de l'Univers ?
- Répulsion par une hypothétique "énergie sombre" ?

Hubble Space Telescope Ultra Deep Field

Imagerie Fizeau: simulations numériques



Fond continu soustrait

directe



S

Imagerie Fizeau: simulations numériques

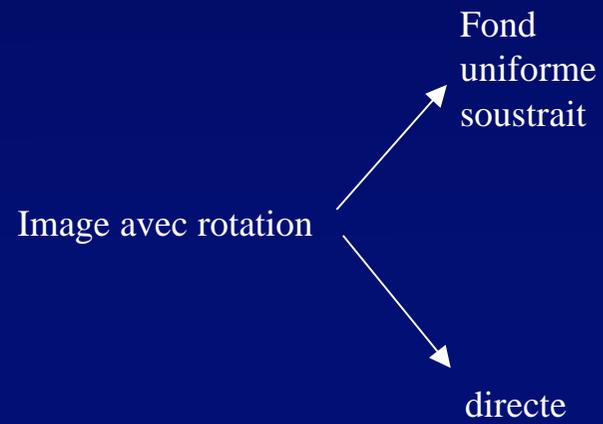
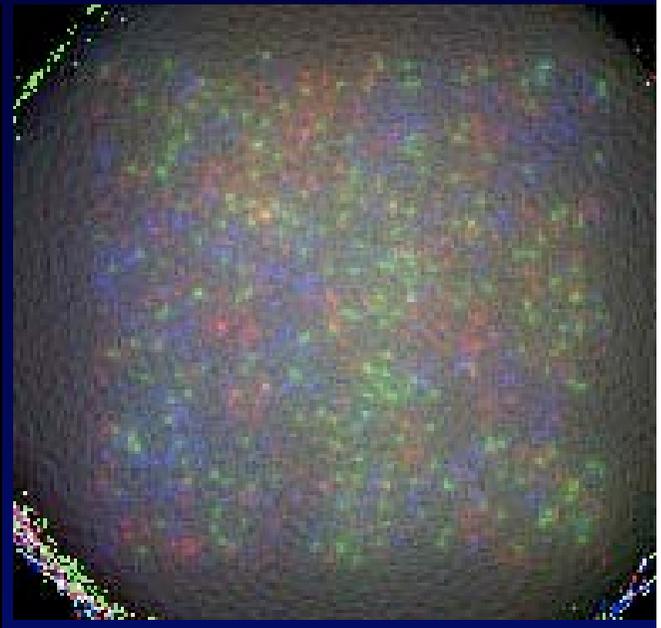
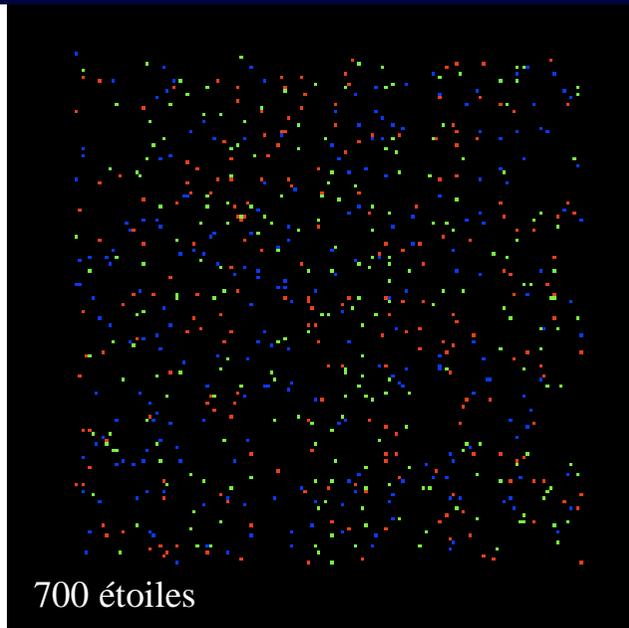
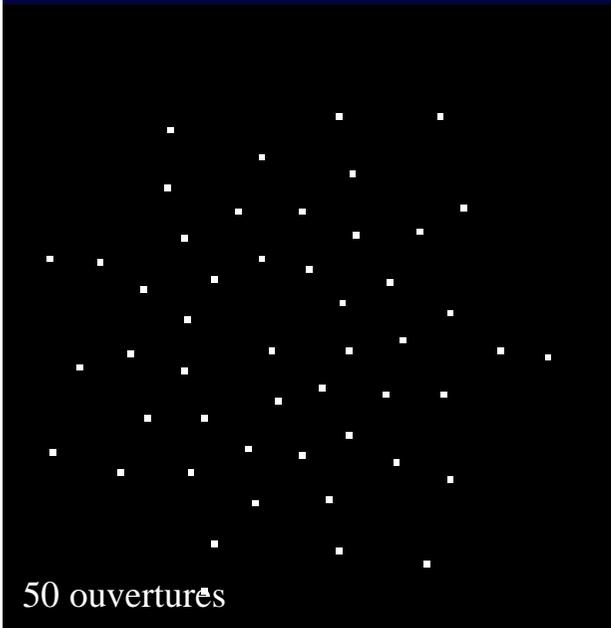
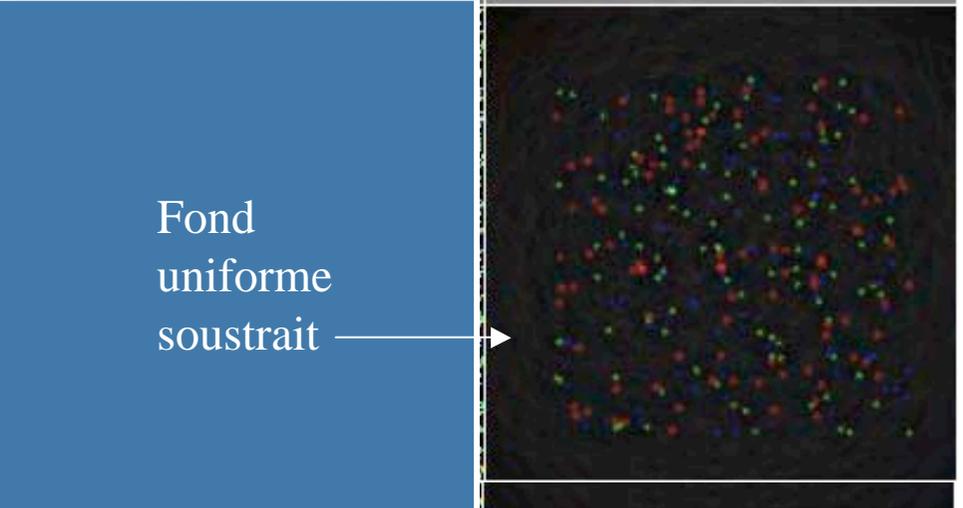
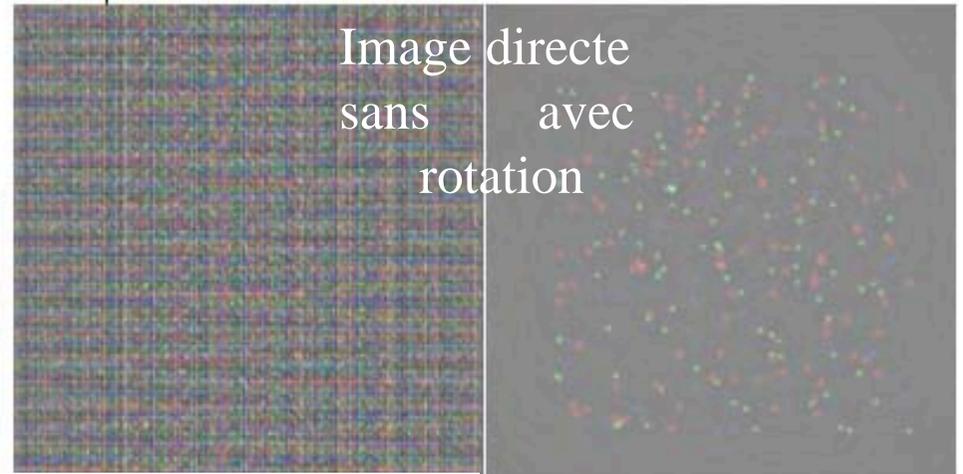
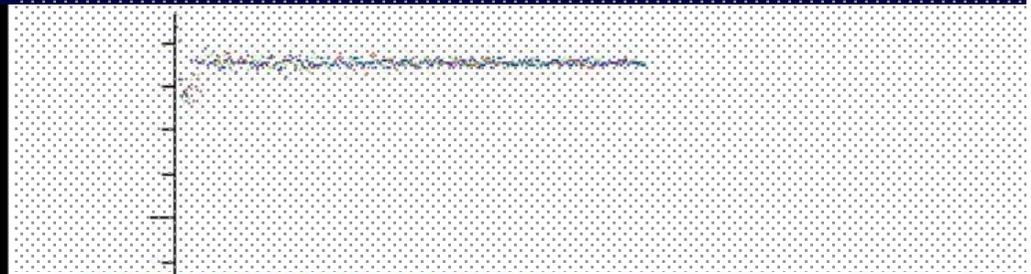
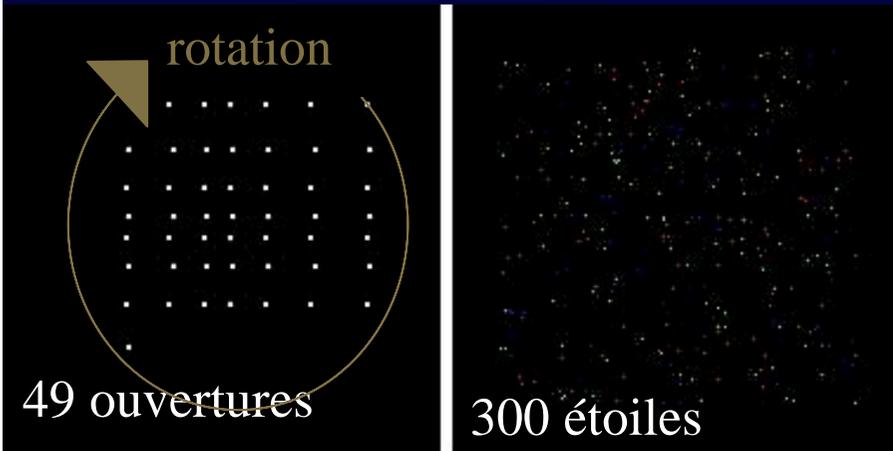
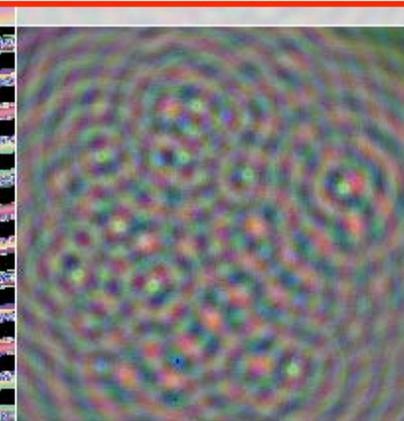
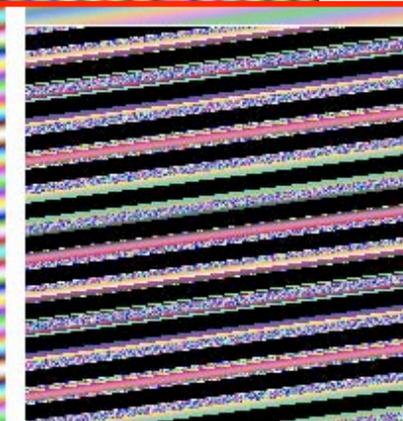
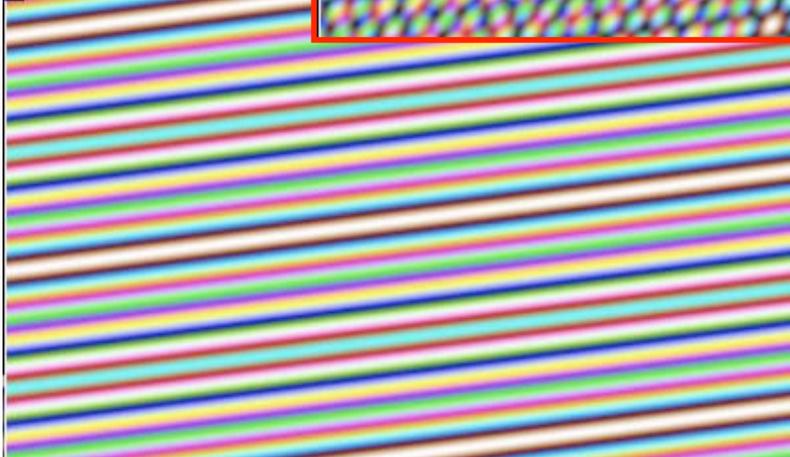
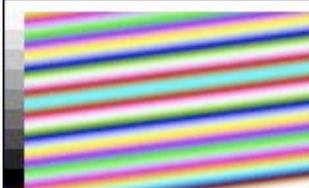
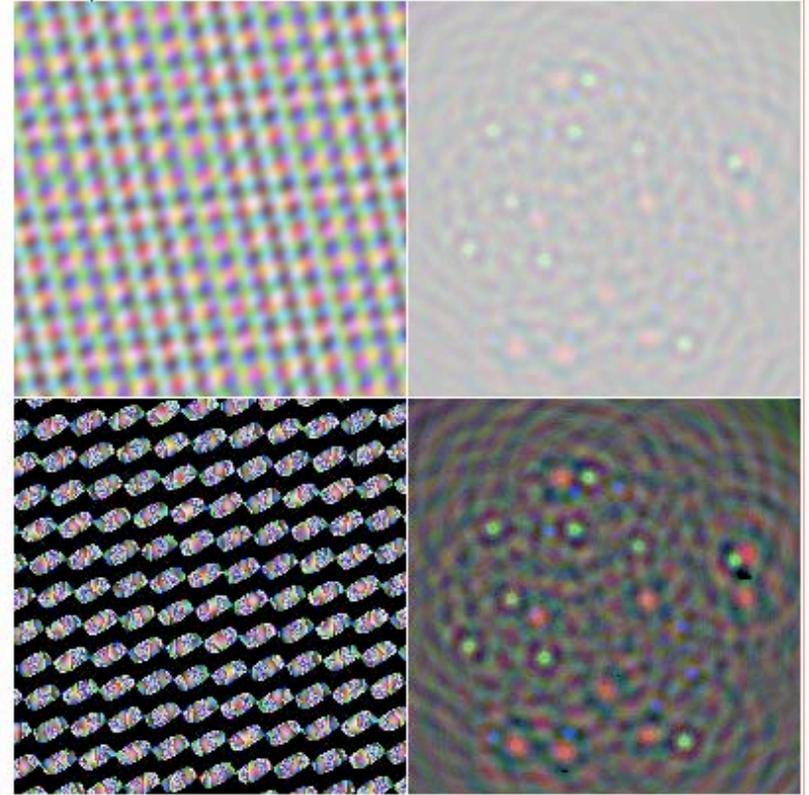
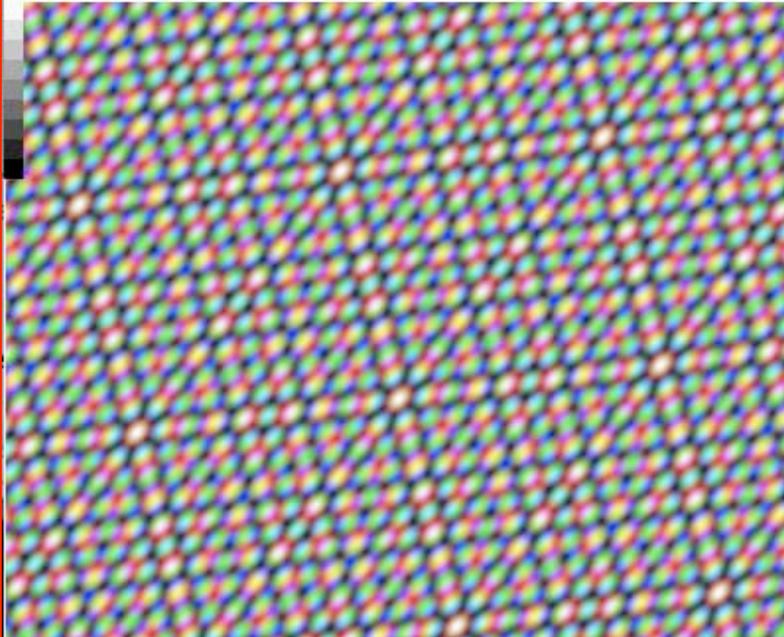
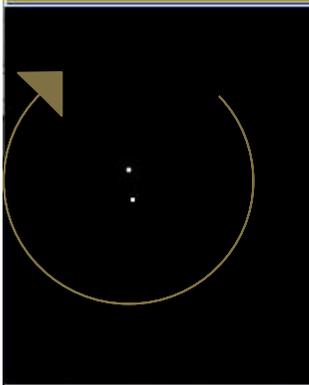
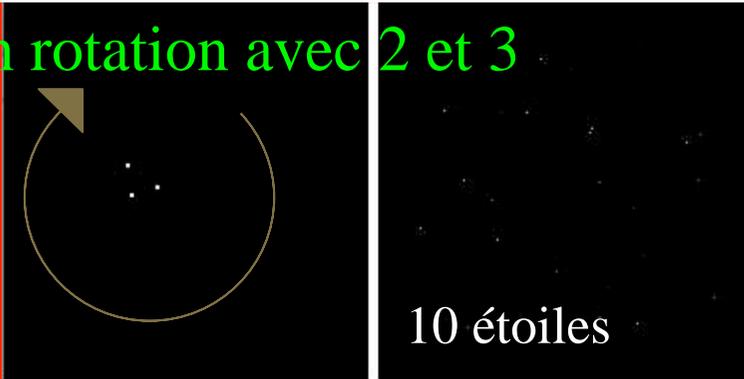


Image Fizeau de 300 étoiles avec 49 ouvertures



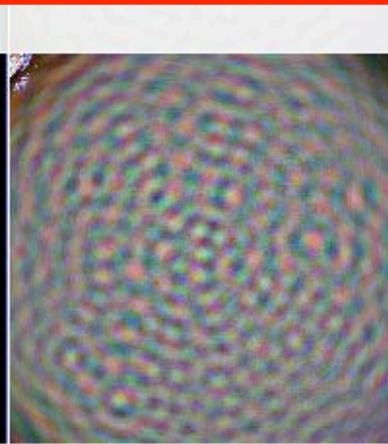
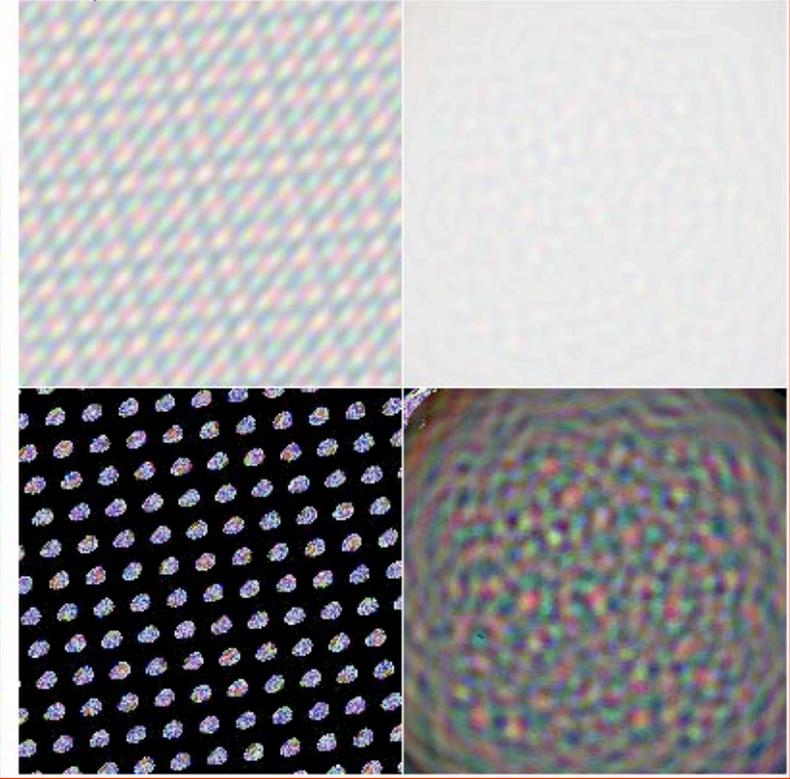
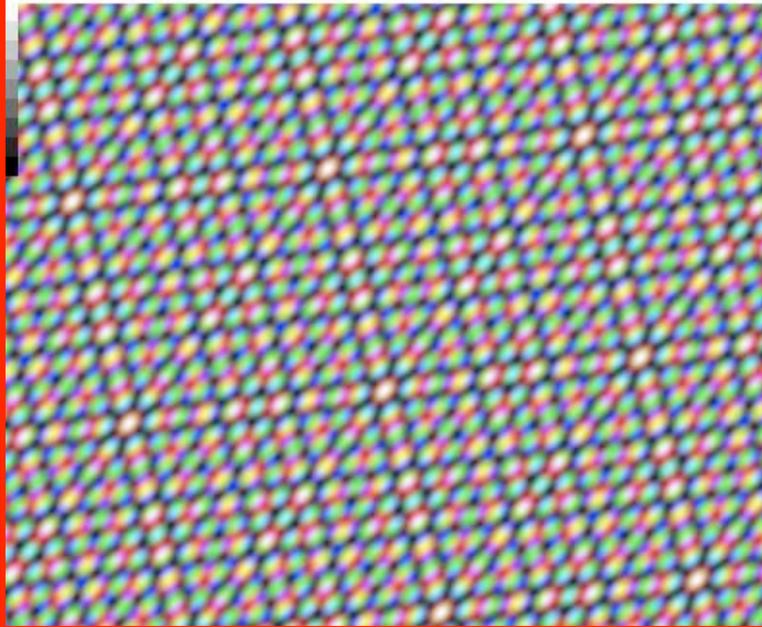
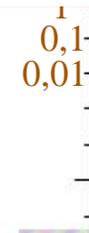
Synthèse en rotation avec 2 et 3
ouvertures
30 étoiles



Synthèse en rotation avec
2 et 3 ouvertures
300 étoiles

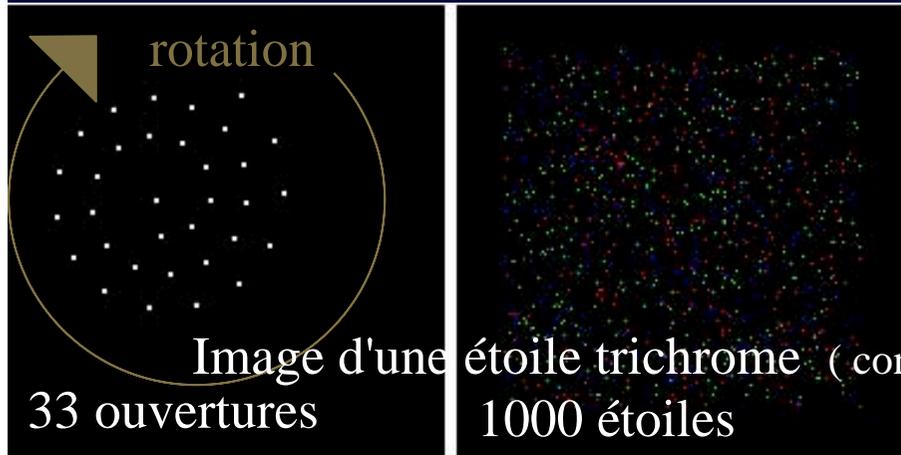


Fonction d'étalement
(profil moyen)

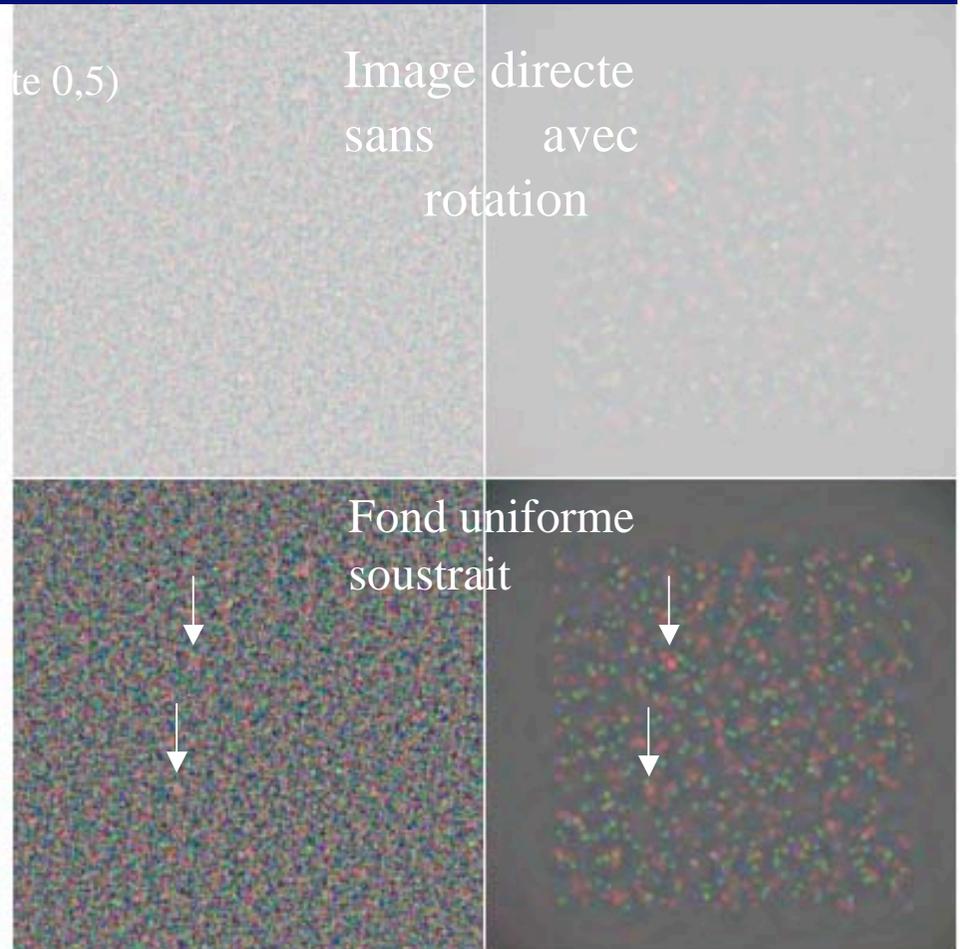
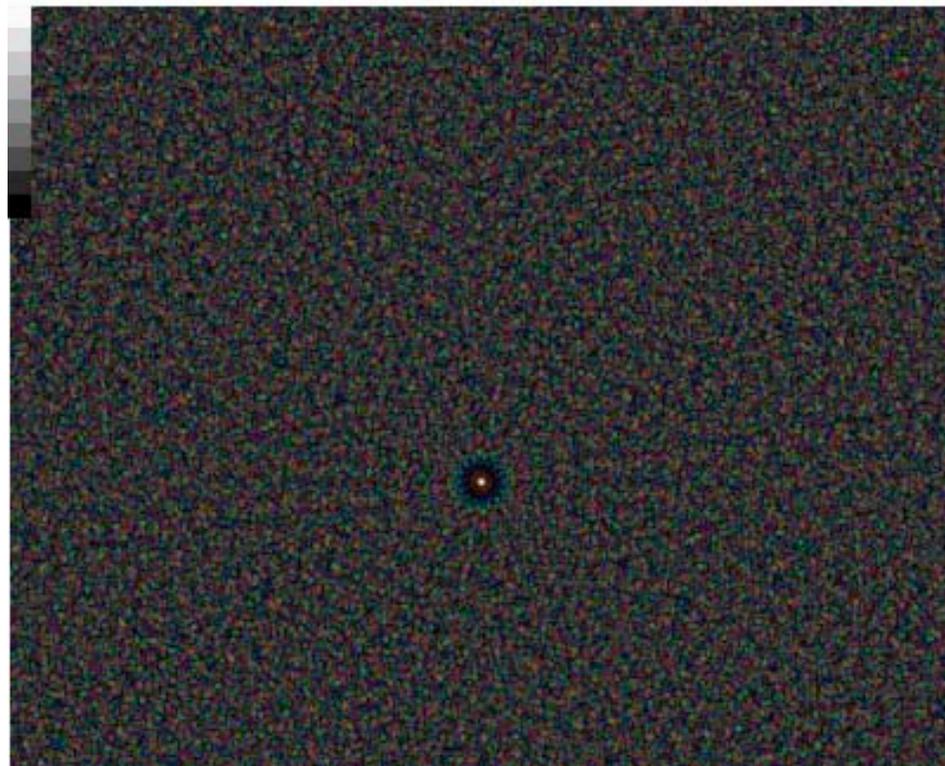


Champs encombrés:

la rotation améliore la limite théorique de N^2 étoiles pour N ouvertures
exemple: 1000 étoiles avec 33 ouvertures

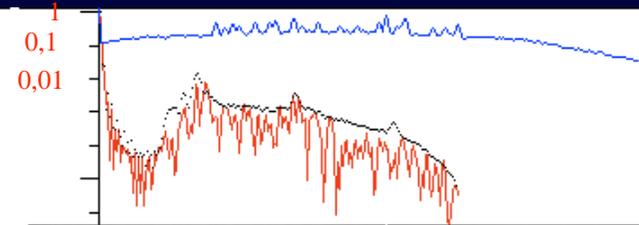
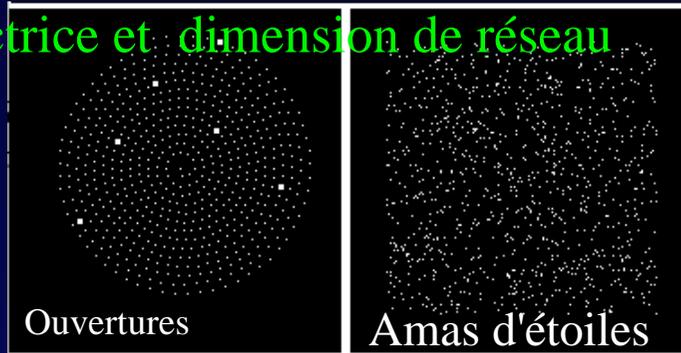


- étoiles à peine détectables sans rotation
- bien détectées avec rotation
- vérifie la théorie, et l'intérêt de la rotation

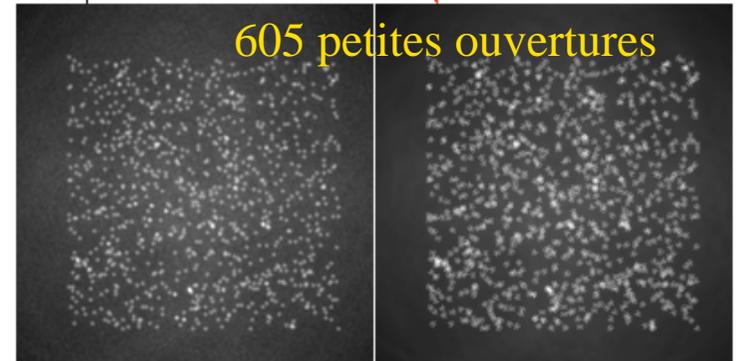
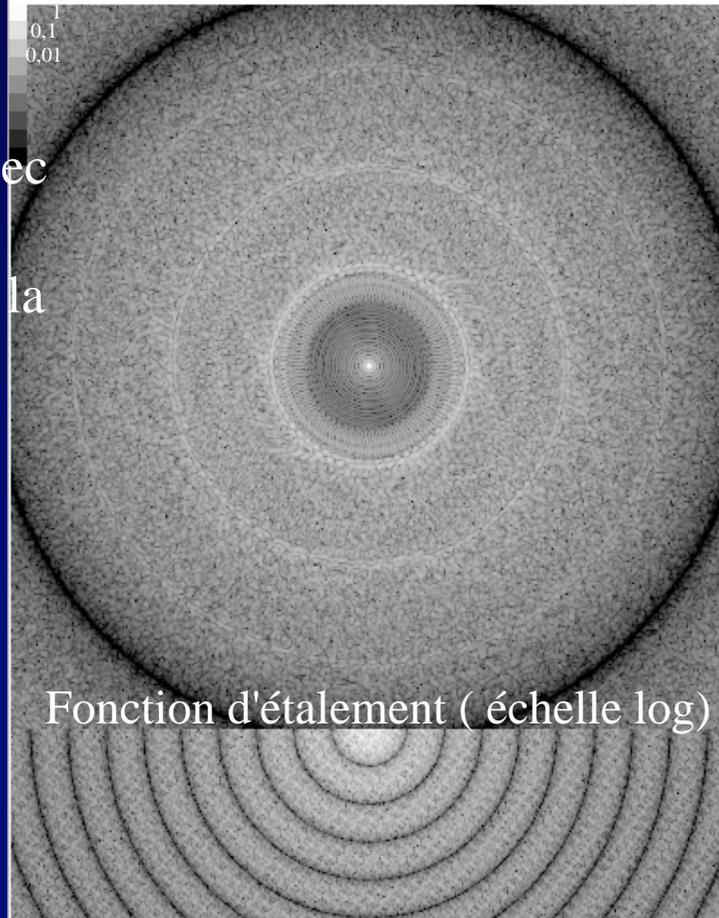


Imagerie Fizeau (simulation numérique) :

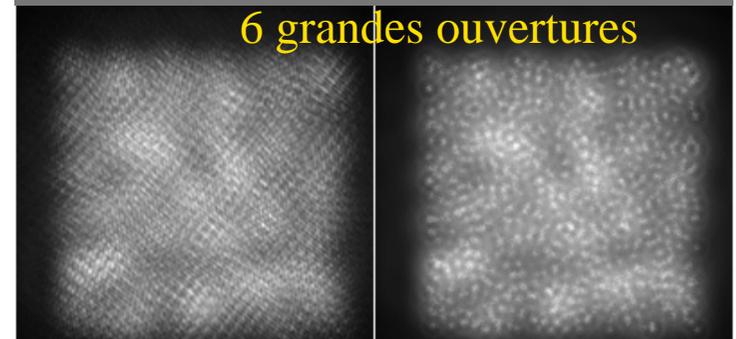
comparaison avec 605 petites ouvertures OU 6 grandes, visant 1000 étoiles
même surface collectrice et dimension de réseau



- Meilleure image avec petites ouvertures
- aussi en densifiant la pupille



Images
sans rotation d'ouverture avec rotation d'ouverture



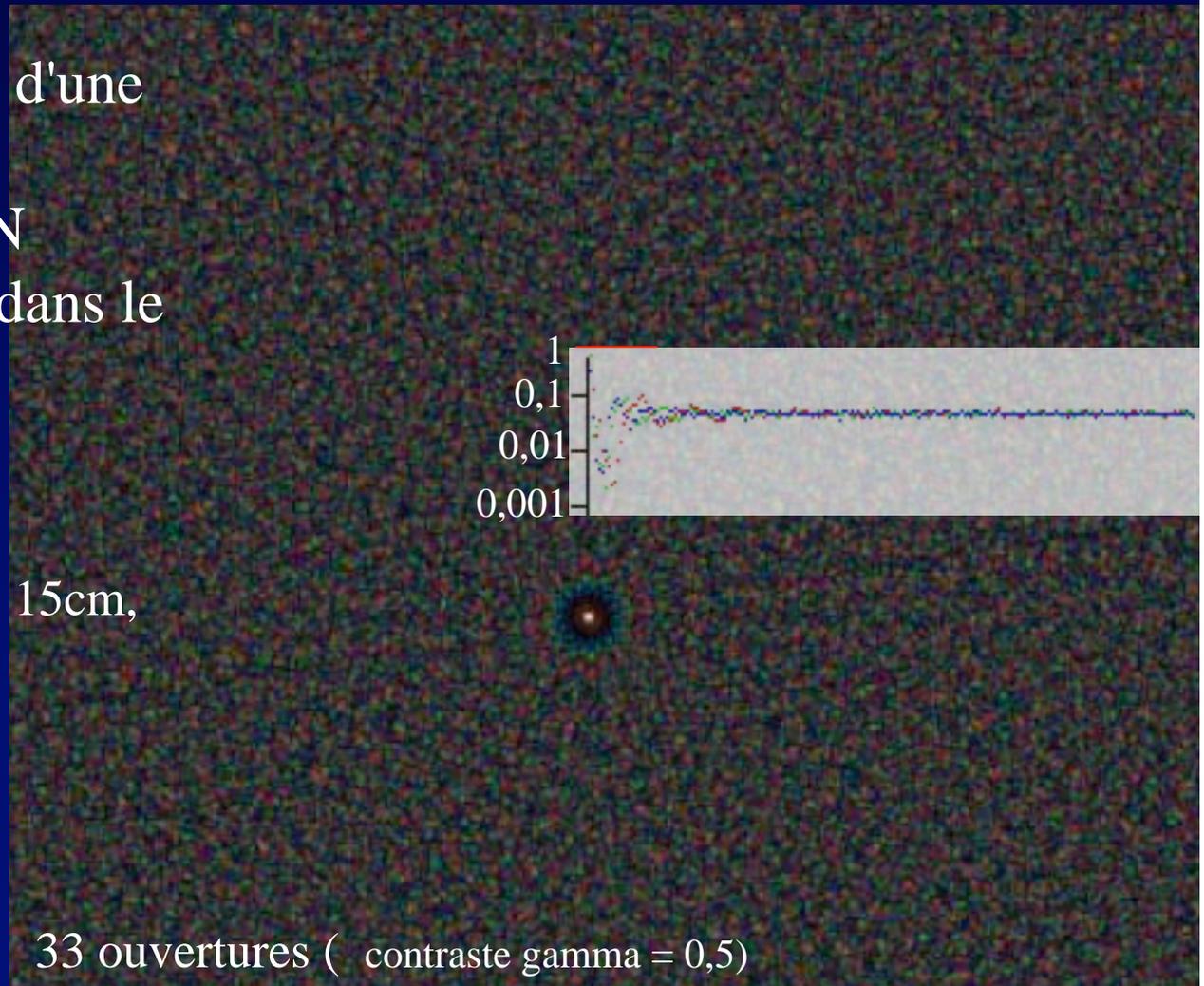
Améliorer l'interféromètre Fizeau:

densifier la pupille pour une image plus lumineuse

- Contraste dans l'image d'une étoile non résolue:
pic / fond moyen = N
- proportion de lumière dans le pic central:

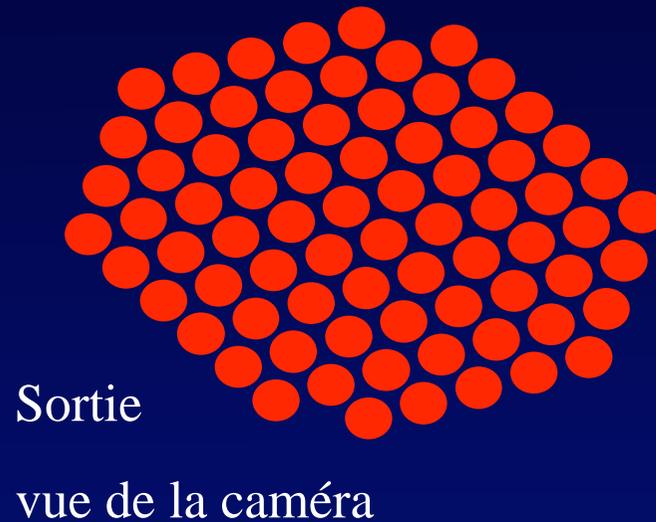
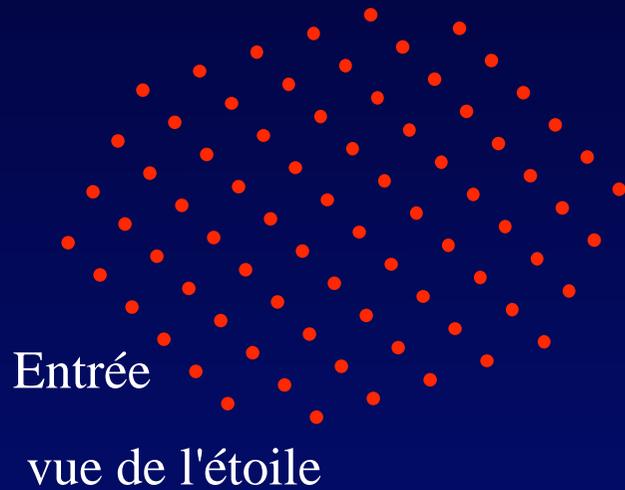
$$N (d/D)^2$$

- faible si $d \ll D$
- exemple : $3 \cdot 10^{-7}$ si $d = 15\text{cm}$,
 $D = 1500\text{m}$, $N = 33$



Améliorer l'interféromètre Fizeau:

densifier la pupille pour une image plus lumineuse

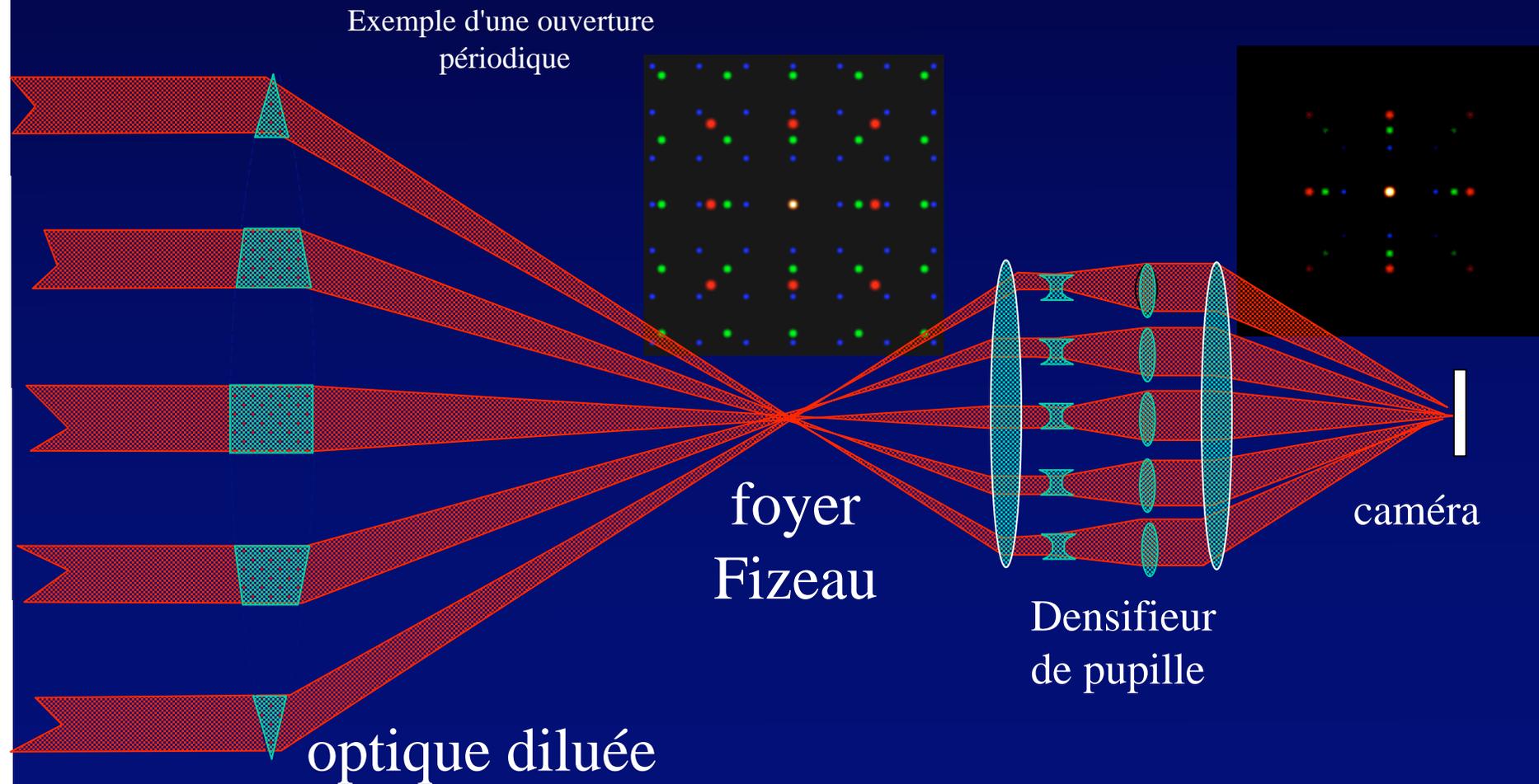


- sans modifier l'ouverture d'entrée ...
- rétrécit le halo de diffraction
- concentre sa lumière dans le pic d'interférence
- intensifie l'image qu'il forme

Principe de l'hypertélescope

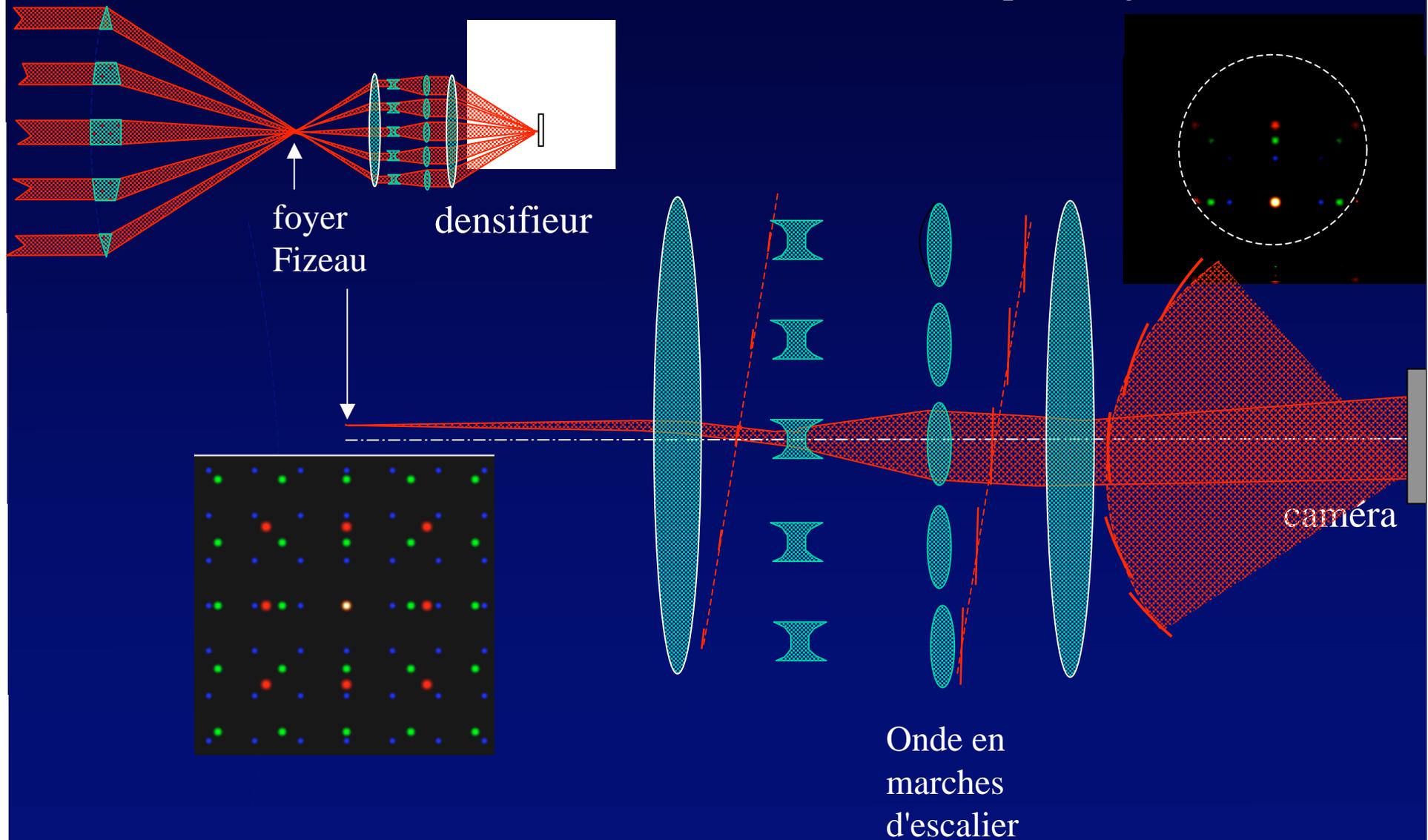
ou « interféromètre imageur multi-ouverture à pupille densifiée »

(Labeyrie A&A, 1996)

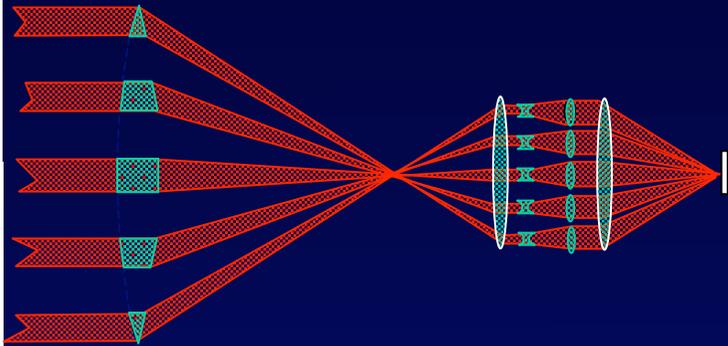


Etoiles hors de l'axe

- Les images se déplacent plus vite que leur enveloppe...
- ... et en sortent éventuellement => limitation du "Champ d'Imagerie Directe "



Conséquences de la densification

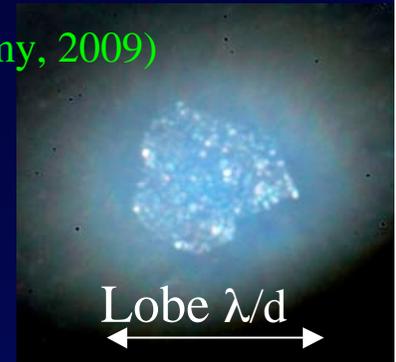


- Rend utilisables des ouvertures fortement diluées
Exemple: concept de Neutron Star Imager à miroirs de 8m espacés de 100,000km
- Sans perte de lumière (Lardière et al., 2008)

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 λ/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

$$Sc = C_{pa}^2 d^{-2\gamma} \left\{ (7/4) \log_2 C_{pa} + (1-7\gamma/4) \log_2 d \right\}$$

- 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 mirrors of 30mm pour la surface collectrice du JWST

science

Science et nombre de miroirs en fonction de leur diamètre

