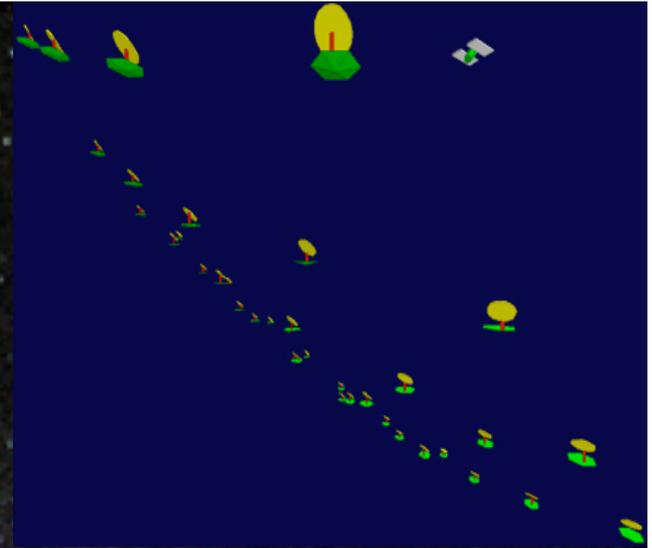


Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation



- 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)

" Astrophysics is a field where observers generally lead
and theorists follow behind "

(L'astrophysique est un domaine où les observateurs mènent généralement et les
théoriciens suivent derrière)

Martin J. Rees (1997)

- L'observation interférométrique actuelle améliore beaucoup la résolution...
- ... mais ne donne que des composantes de Fourier, pas encore d'images
- Le paléontologue Cuvier dessinait l'animal quand il trouvait une dent fossile....
- nous en sommes un peu au même stade



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

Aujourd'hui:

Haute résolution, une percée pour l'Astronomie
les détails que l'on aimerait mieux voir

Séminaire à 15h :

Florentin Millour (Institut Max Planck, Bonn)

"Imager la surface et l'environnement proche des étoiles :
du rêve à la réalité"

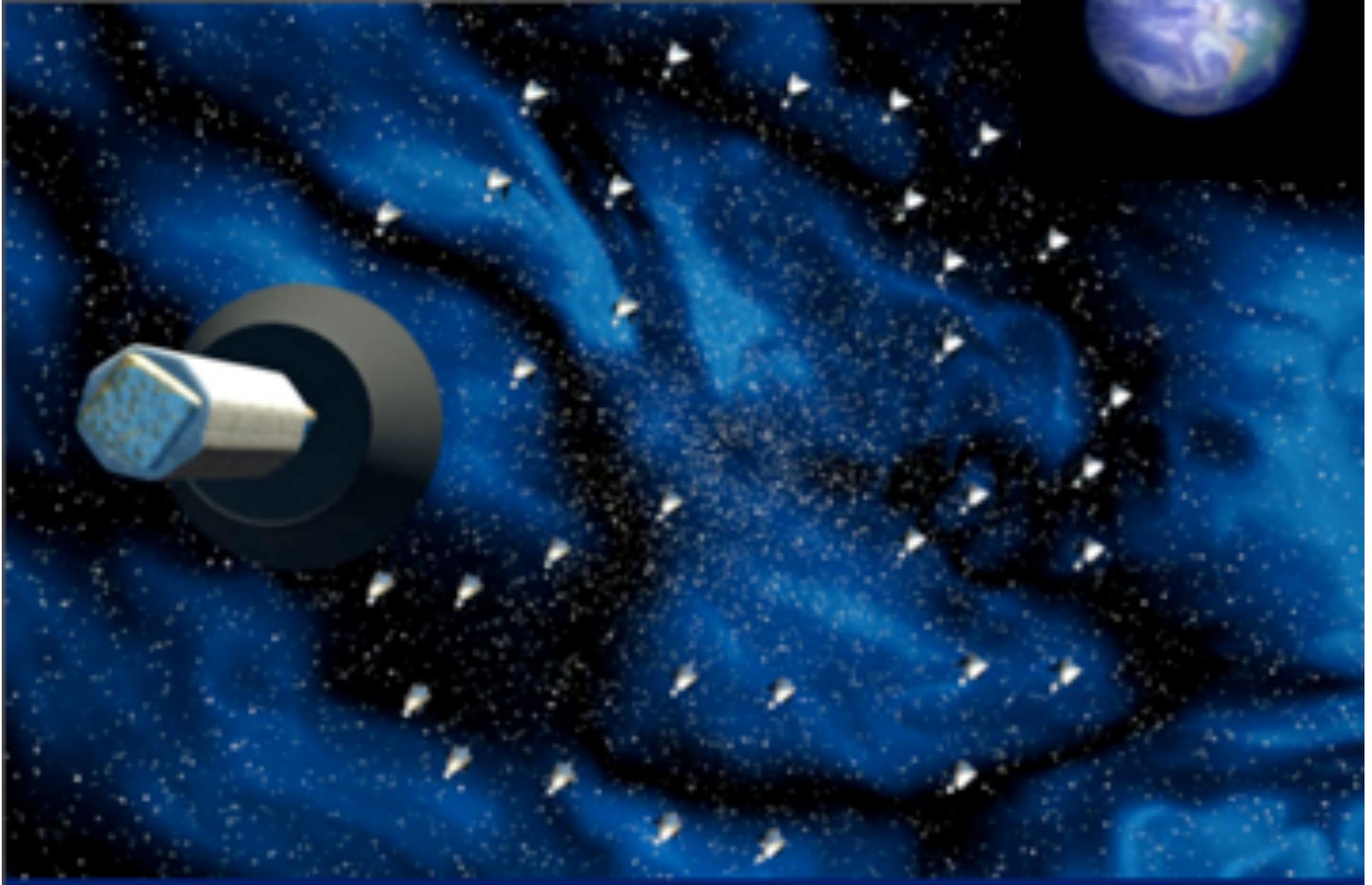
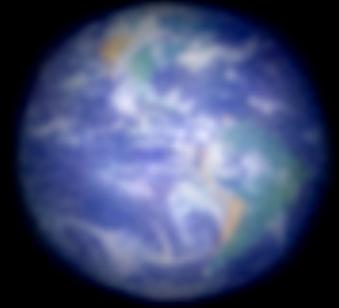
Ce que nous voulons faire :

une nouvelle génération de télescopes...

... les hypertélescopes



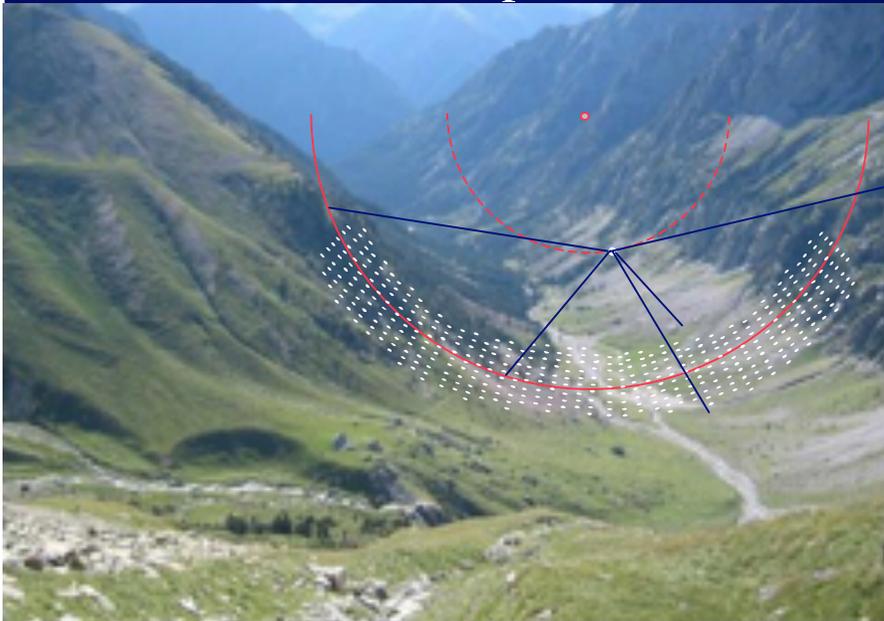
... puis dans l'espace



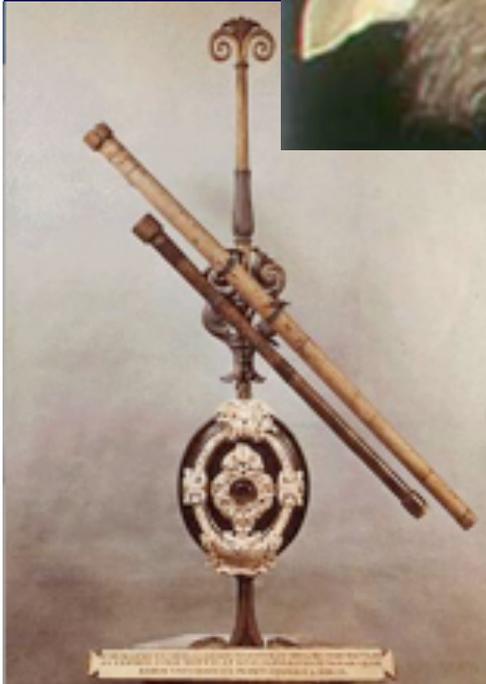
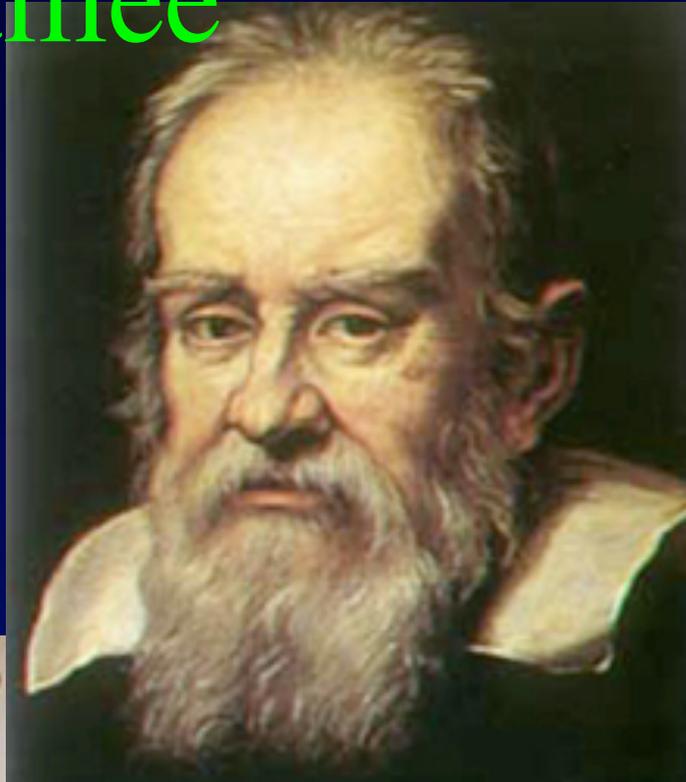
Des grands télescopes aux interféromètres et hypertélescopes

pourquoi ne pas y avoir pensé plus tôt ?

- 1974 premier interféromètre à deux télescopes (Labeyrie 1974)
- 1988 version agrandie GI2T, précurseur de VLTI
- 1996 " il vaut mieux utiliser des ouvertures petites et nombreuses, grâce à un densifieur de pupille " = hypertélescope (Labeyrie 1996)
- comment le construire ? Essai par H. Le Coroller et J.Dejonghe (2001)
- essais entamés pour version de 200m (2009)



Galilée



S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens. suspiciendaeque proponens
vnicuique, praefertim verò

PHILOSOPHIS, ac ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patruini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI

*Nuper à se reperiuntur beneficia sunt observata in SPN, A PACTIS, PIZI INQ
NUMERIS, LACTEO CIRCPLO, STELLIS NEBULOSIS,*

Apprimè verò in
QVATVOR PLANETIS
Circà IOVIS Sexilem disparibus intervallis, atque periodis, caeloy
sua mirabilè circumvolant; quos, nemini in haec vsque
diem cognitos, nouissimè Author depren-
dendi primas; atque

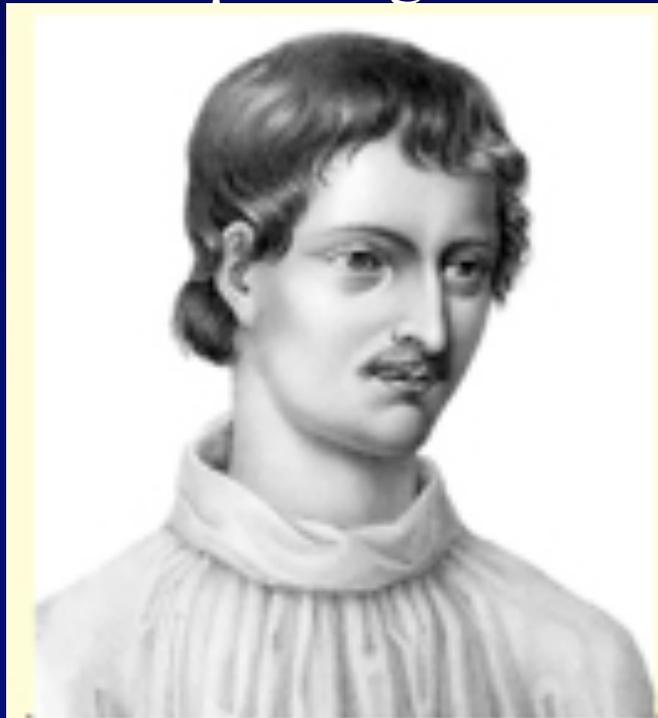
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X
Superiorum Furnis, & Fraxige.

Giordano Bruno (1548-1600)

- Les étoiles sont de lointains soleils...
- ... environnés d'invisibles planètes...
- ... porteuses de vie
- Enseigna au Collège de France
- ... avant d'être brûlé par l'église romaine



Giordano Bruno - Italy (1548 - 1600)



... A. A. Quid eratis ipsius esse velis per hoc
significat. H. A. A. A. A. Dicam et possum.
Habes ab antiquo septem solentia quatuor
et viginti, quae unumquodque aliter
non solentur, non unumquodque. Sed liberis
et solentur vel solentur vel solentur unumquodque.

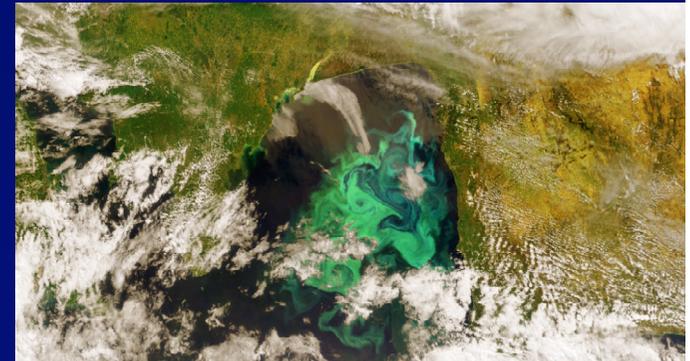
Barcelona
Spain
14-18
September
2009

Pathways towards habitable
planets

Congrès sur les exo-planètes habitables:

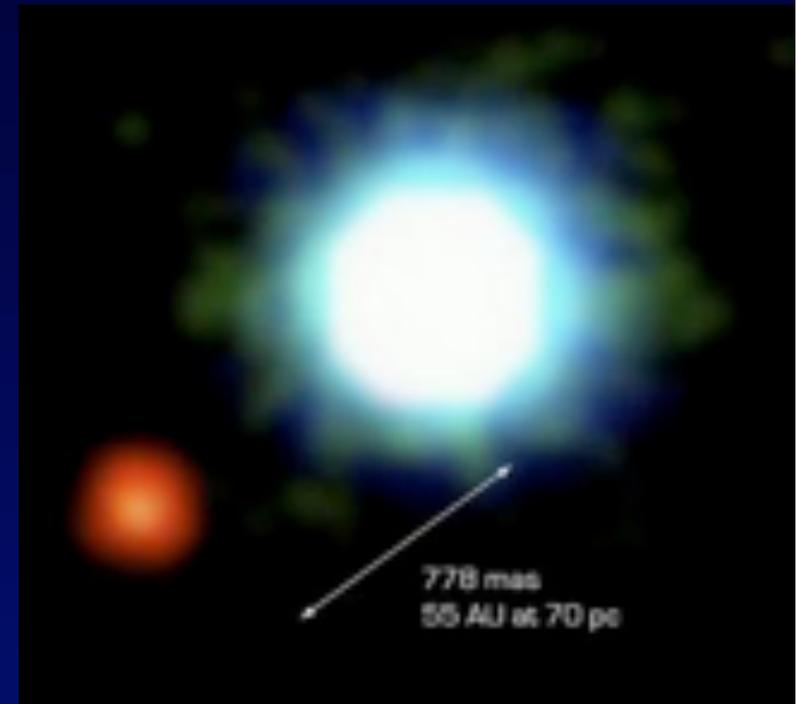
devient un thème majeur en Astronomie

- En 1973, ma proposition à la NASA d'un coronographe sur Hubble ne l'intéressait guère ...
- c'est devenu un sujet d'actualité
- 240 participants, 200 articles (projections sur www.pathways2009.net/programme.html)
- floraison d'instruments et méthodes proposés: coronographes, etc...
- verrons nous la vie extra-solaire, de notre vivant ?



Voir des planètes d'étoiles

Première image d'une
exo-planète (Chauvin et al.,
2004)



- Cas très favorable, avec contraste élevé

Détection de trois planètes avec optique adaptative et soustraction d'images

(Marois et al., 2008)

- "Imagerie Angulaire Différentielle" (déjà proposé pour Hubble par Bonneau et al., 1975)
- Optique adaptative aux télescopes Keck et Gemini
- exploite la rotation de champ de la monture alt-az

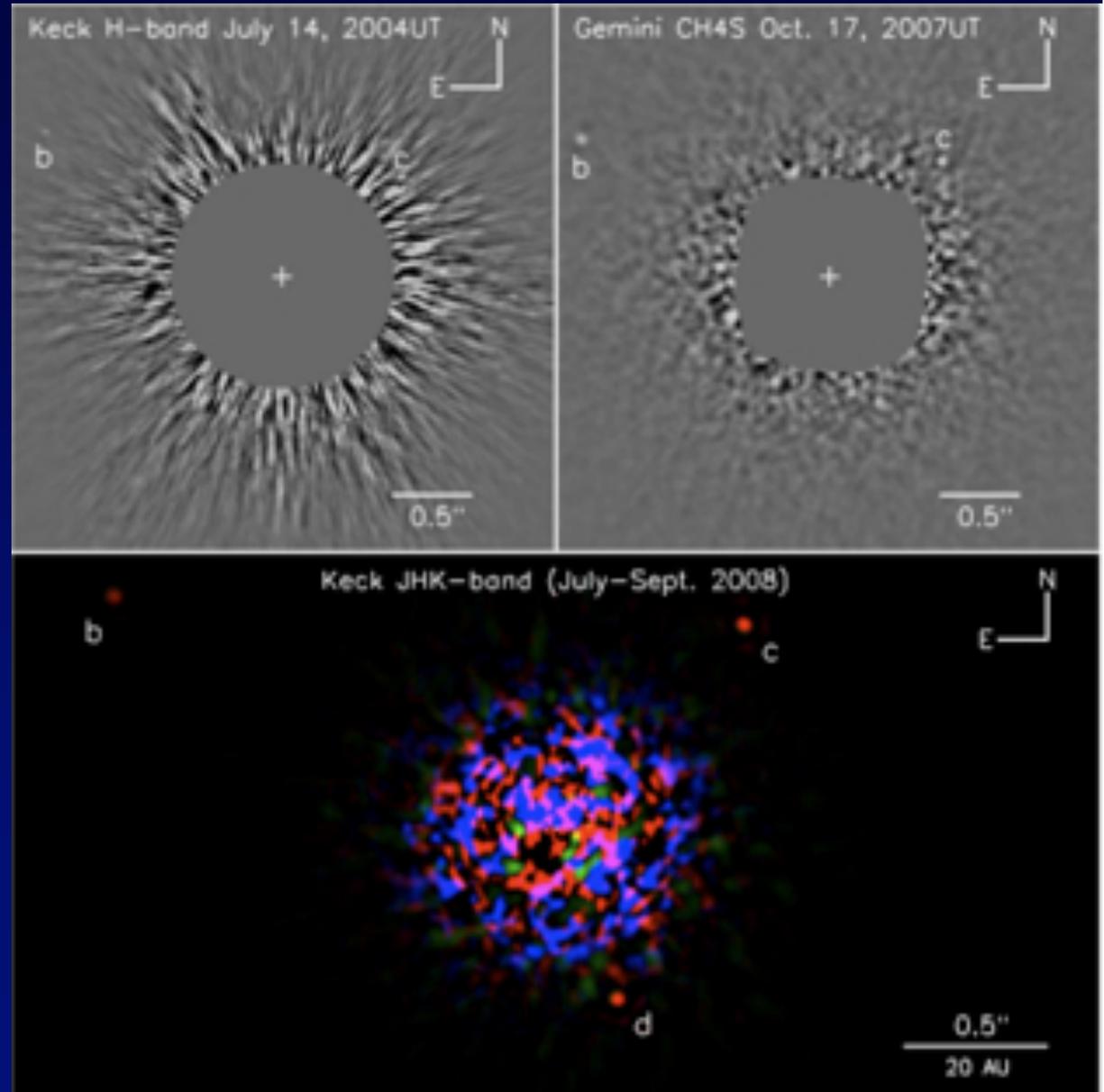
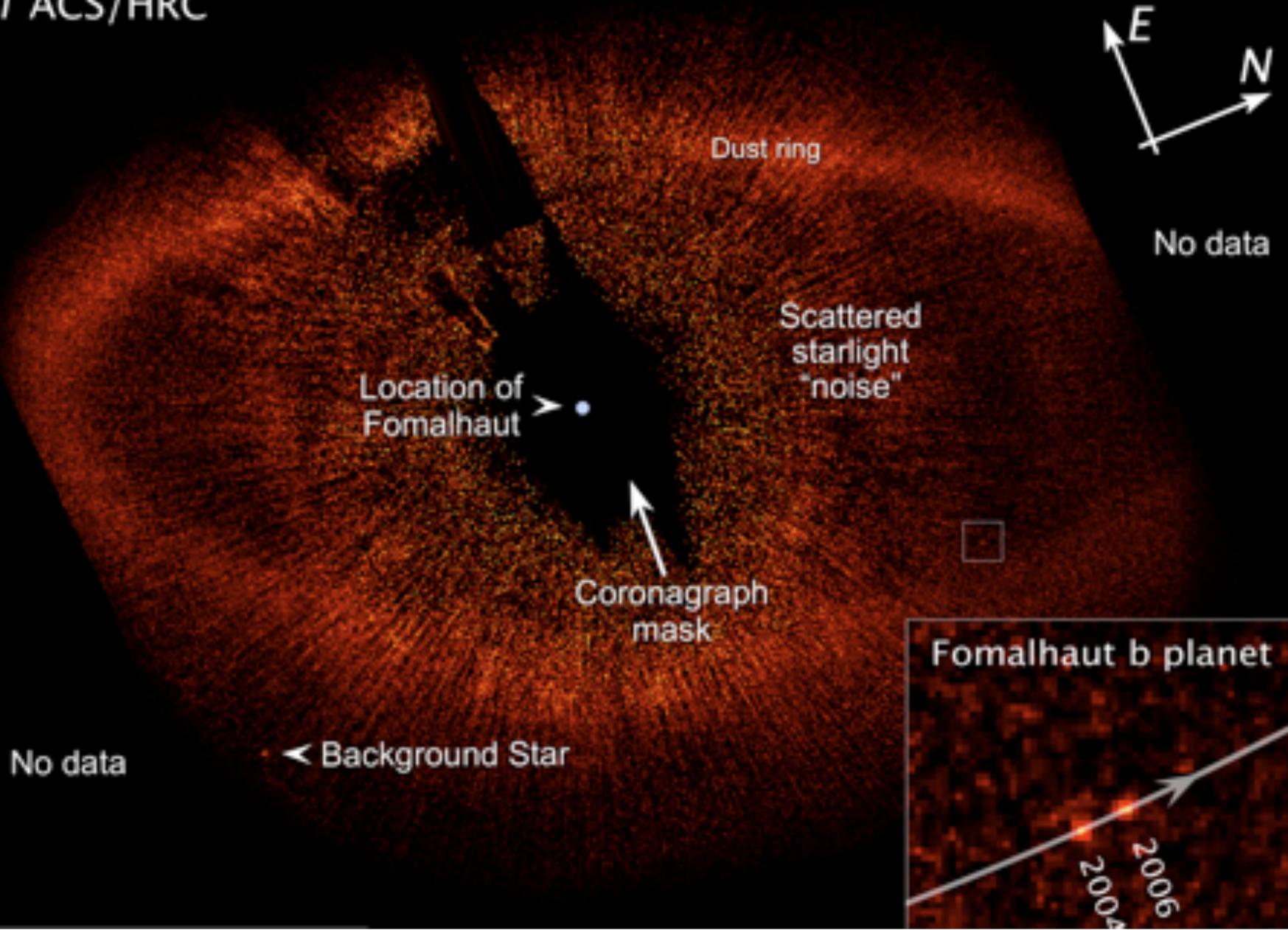
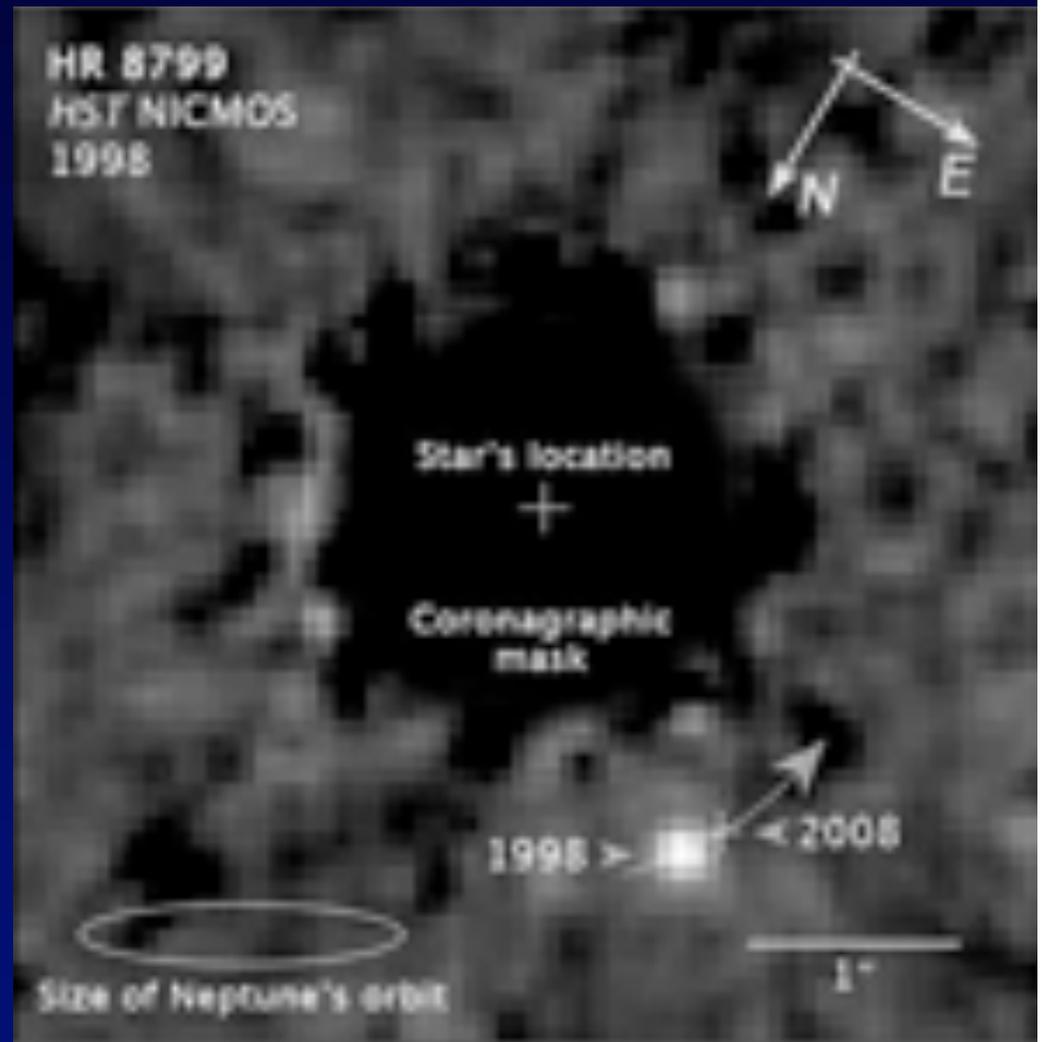


Image d'exoplanète par Hubble

Fomalhaut
HST ACS/HRC



Autre planète vue par Hubble



NASA / ESA / STScI / Univ. of Toronto

This image shows the spot identified as a planet and tracks its movement. The star it orbits has been blotted out by Hubble's coronagraph mask.

Effets observables d'une exo-planète

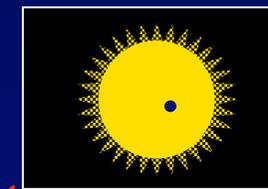
Imagerie
coronagraphie

Déflexion
gravitationnelle
Photométrie, une
seule fois, sans
préavis

étoile

Mouvement
reflex

Spectroscopie,
astrométrie



Éclipse

Photométrie

Spectroscopie

À venir: Imagerie haute
résolution

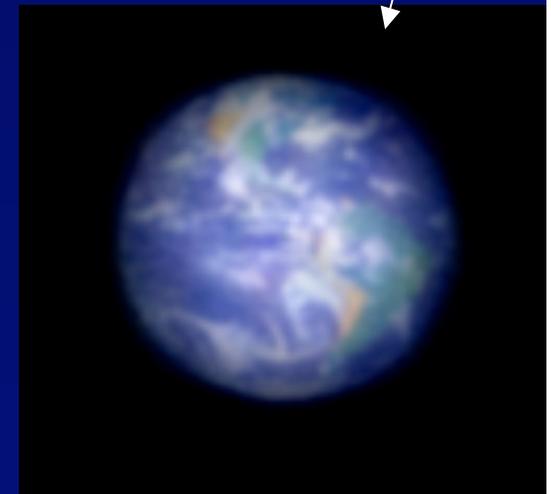


Histoire de la détection d'exo-planètes

(plus de 400 détectées aujourd'hui)

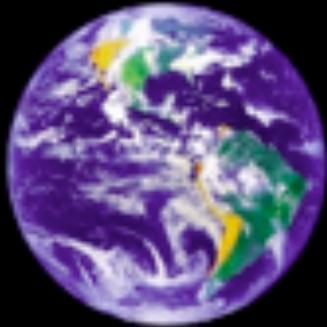
- astrométrie photographique, essayée à Flagstaff (Van de Kamp 1950)
- astrométrie Doppler (spectroscopique) proposée à NASA pour Hubble (Serkowski 1973)
- imagerie coronographique, proposée à NASA pour Hubble (Labeyrie 1973)
- première découverte par astrométrie Doppler (Mayor & Queloz 1995)
- hypertélescope de 100km Exo-Earth Imager proposé à la NASA
- détection par micro-lentilles
- occultations observées par le satellite CoRot
- spectres pendant les occultations
- hypertélescope piégé par laser (Labeyrie et al. 2009

<http://exoplanet.eu/papers/LaserTrappedPathways.pdf>)



Vers la recherche de vie

Exo-Earth Imager



Objet, à 10 années lumière

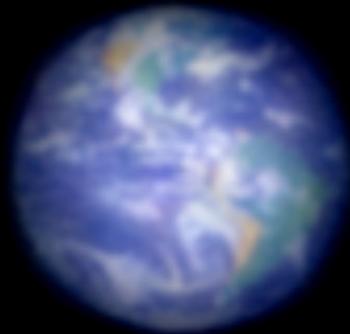
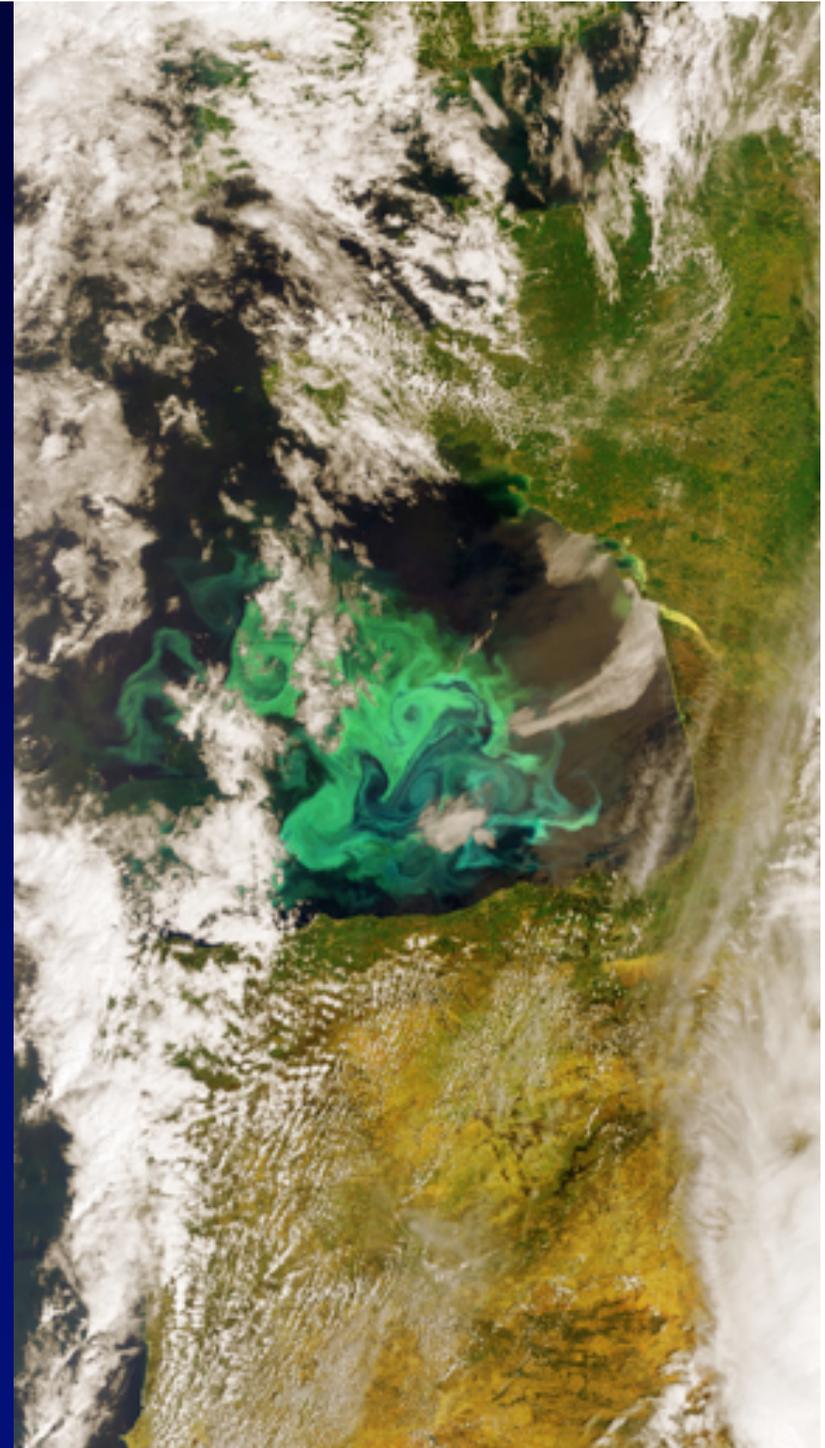


Image simulée avec une pose
de 30mn – 150 miroirs de 3m,
répartis sur 100km

- 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 ?

Signes de vie

- Exemple: végétation marine à variations rapides



Recherche de vie sur des planètes extra-solaires critère de polarisation ? (Sparks et al. 2009)



- 400 exo-planètes détectées depuis 1995
- Cotton (1895) : dichroïsme circulaire, lié aux bandes d'absorption
- Homochiralité de la vie : les acides aminés sont levogyres, les acides nucléiques dextrogyres
- Nuages interstellaires polarisent circulairement...
- Champs magnétiques aussi dans les gaz (effet Zeeman)
- Météorite de Murchison: " 1- excesses of 2-9% for a number of L-methyl amino acids"

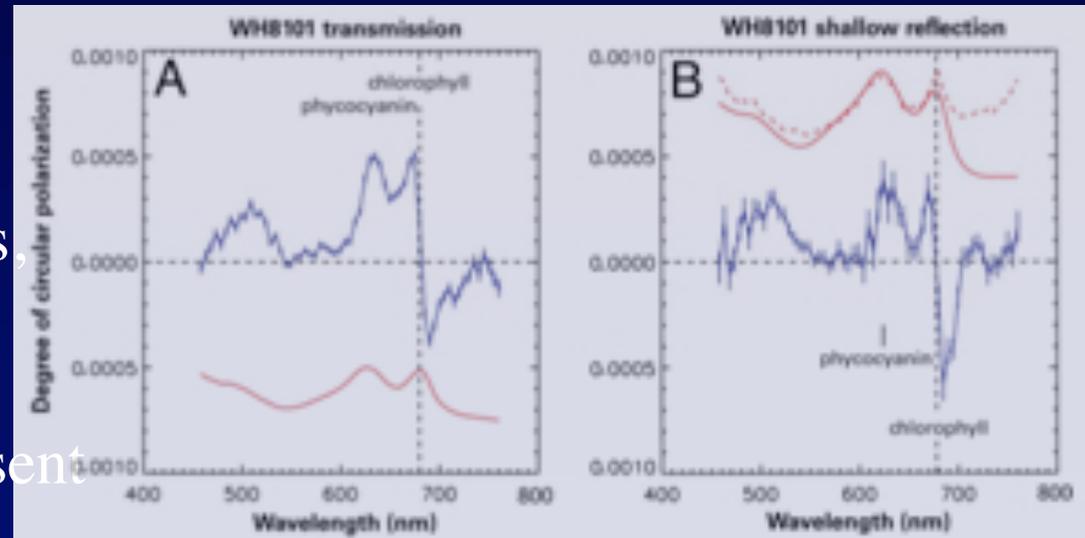
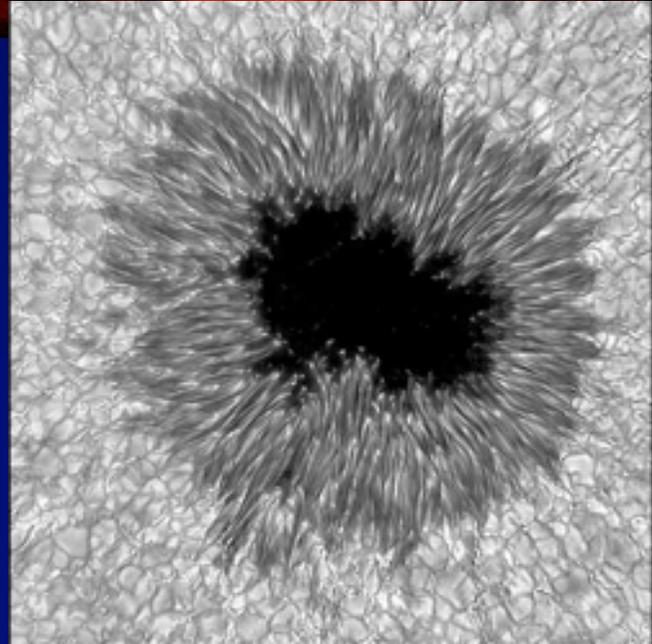
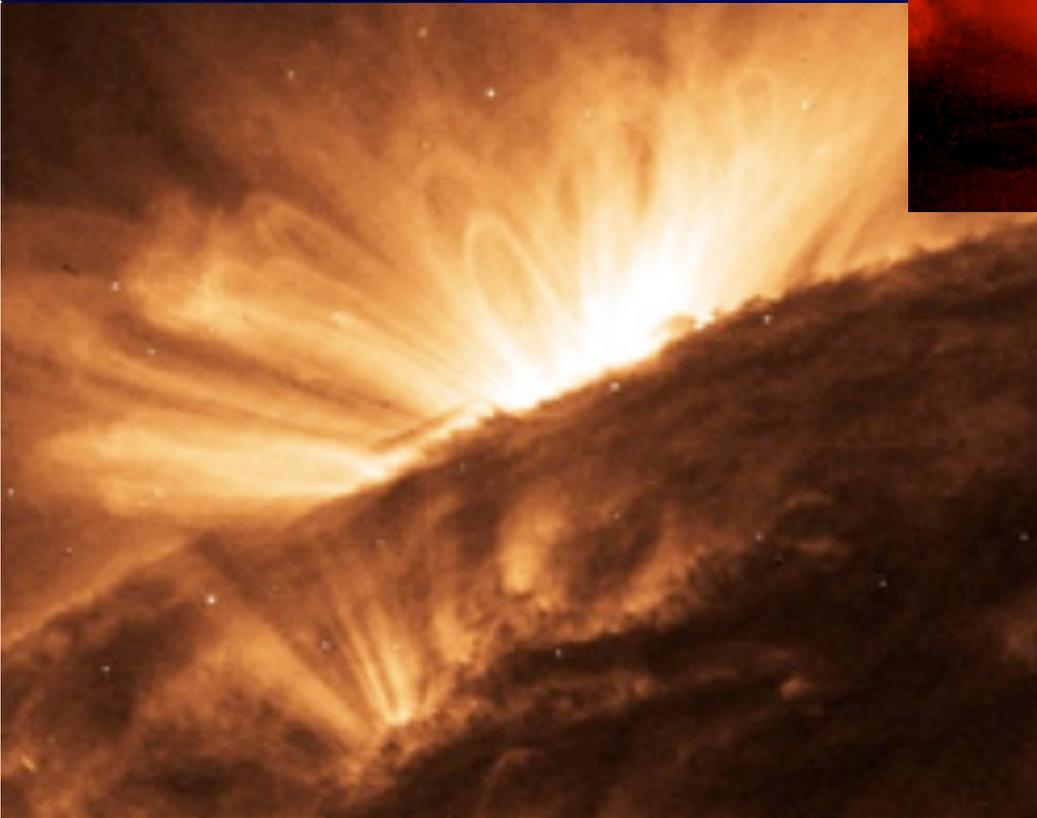
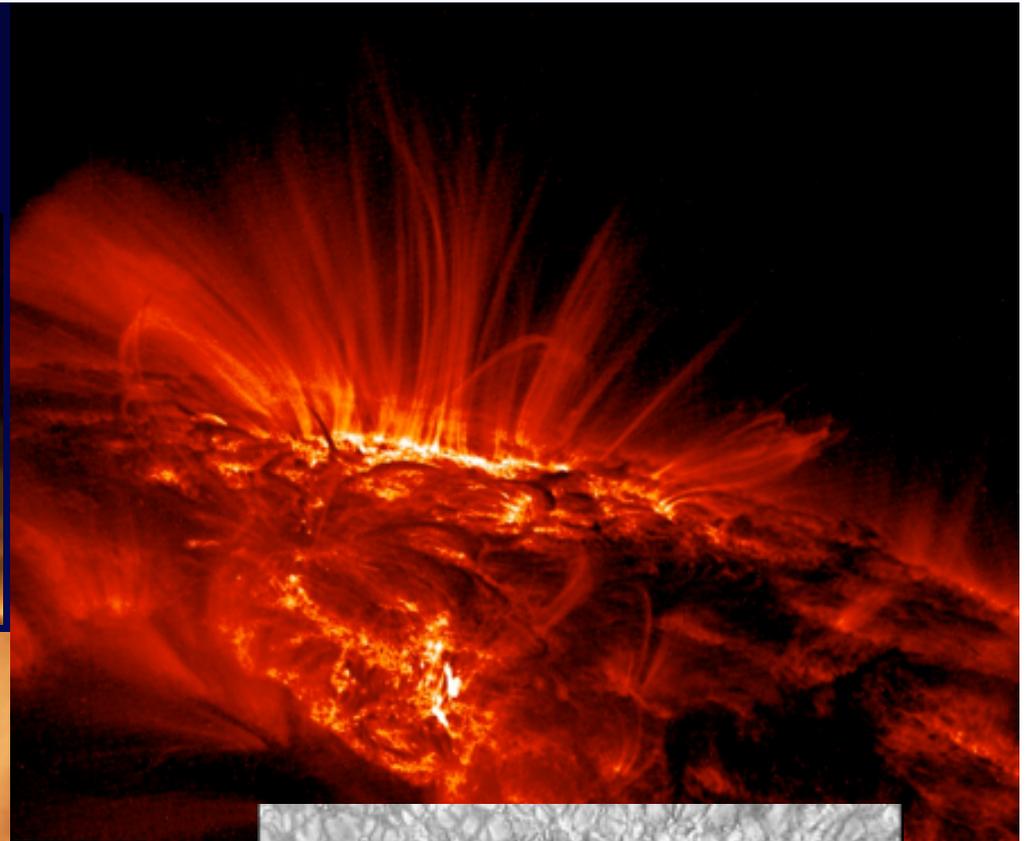
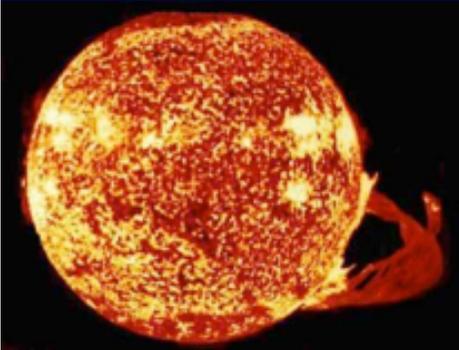


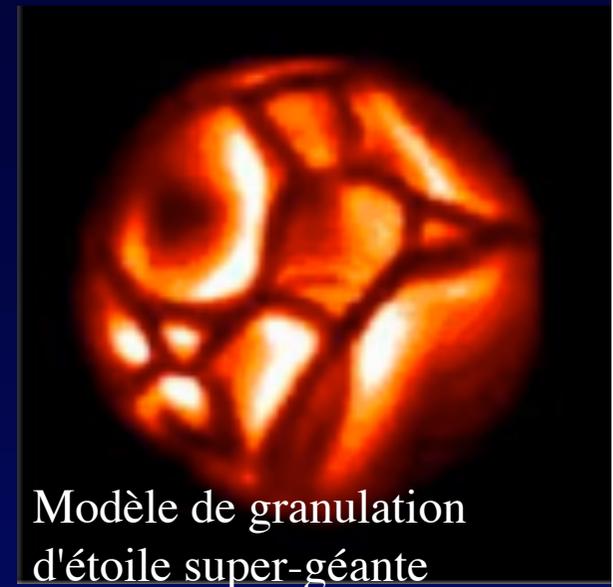
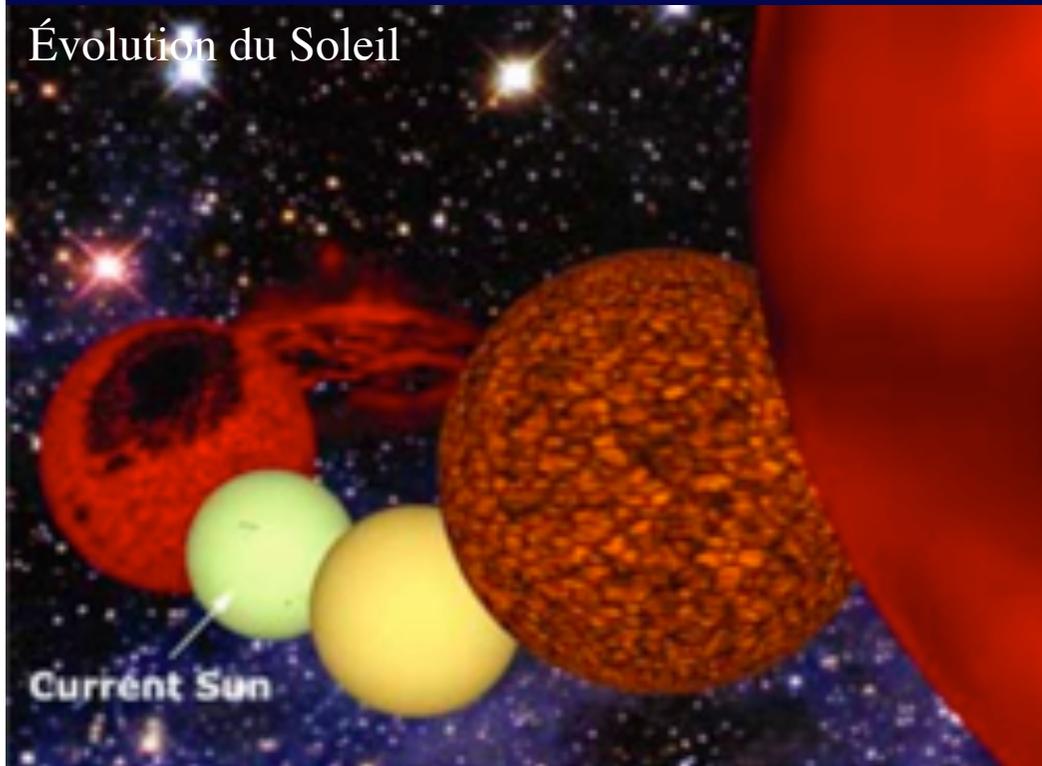
Fig. 2. Circular polarization spectra of cyanobacteria WH8101. (A) Transmission polarization spectrum of *Synechococcus* WH8101. The blue line shows the degree of circular polarization, with ± 1 SD error bars; the solid red line shows a scaled version of the absorbance spectrum. (B) Reflection polarization spectrum as in A except that the solid red line is scaled $-\log_{10}(\text{Reflectance})$, and the dashed red line is a scaled plot of linear polarization degree.

Voir les étoiles comme
on voit le Soleil ?

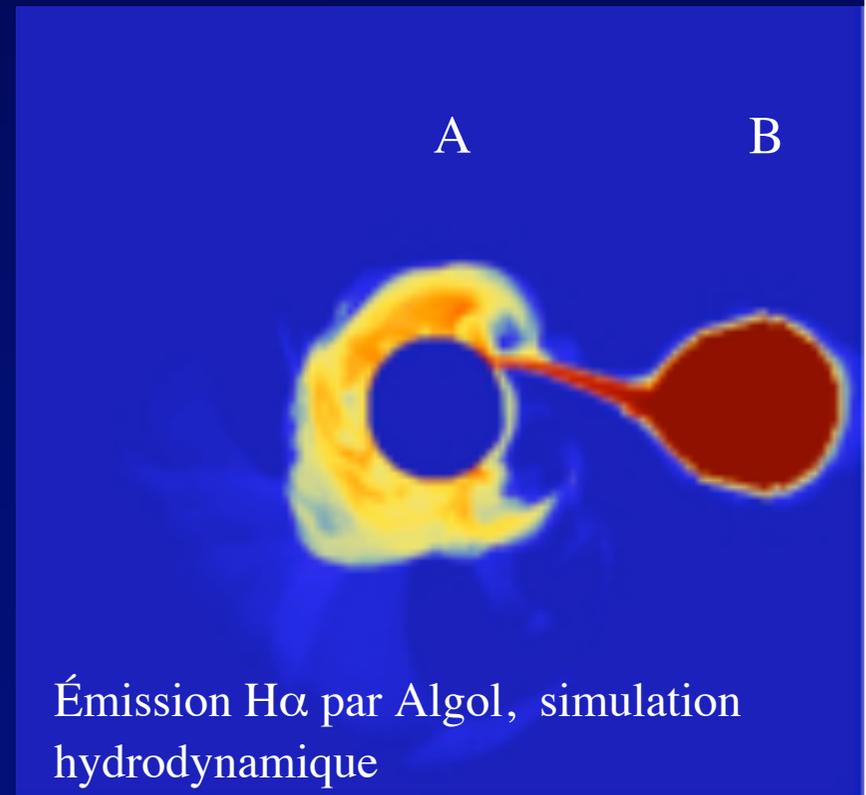


Physique stellaire:
observations à faire avec les futurs
interféromètres et hypertélescopes

Évolution du Soleil



Modèle de granulation
d'étoile super-géante



Émission H α par Algol, simulation
hydrodynamique

Agrandir les télescopes pour mieux voir: améliorer la résolution



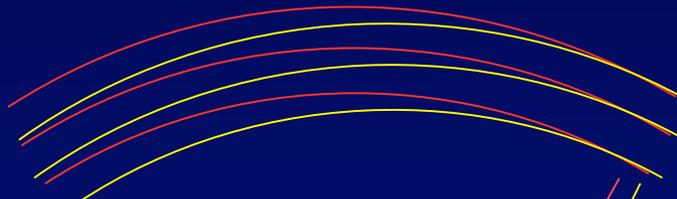
Ondes planes



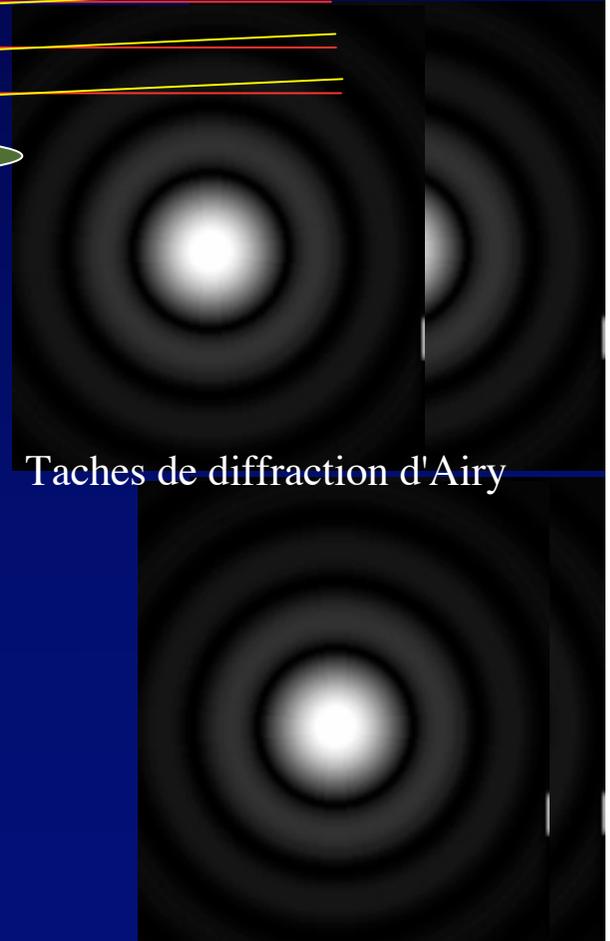
Lentille



Ondes sphériques

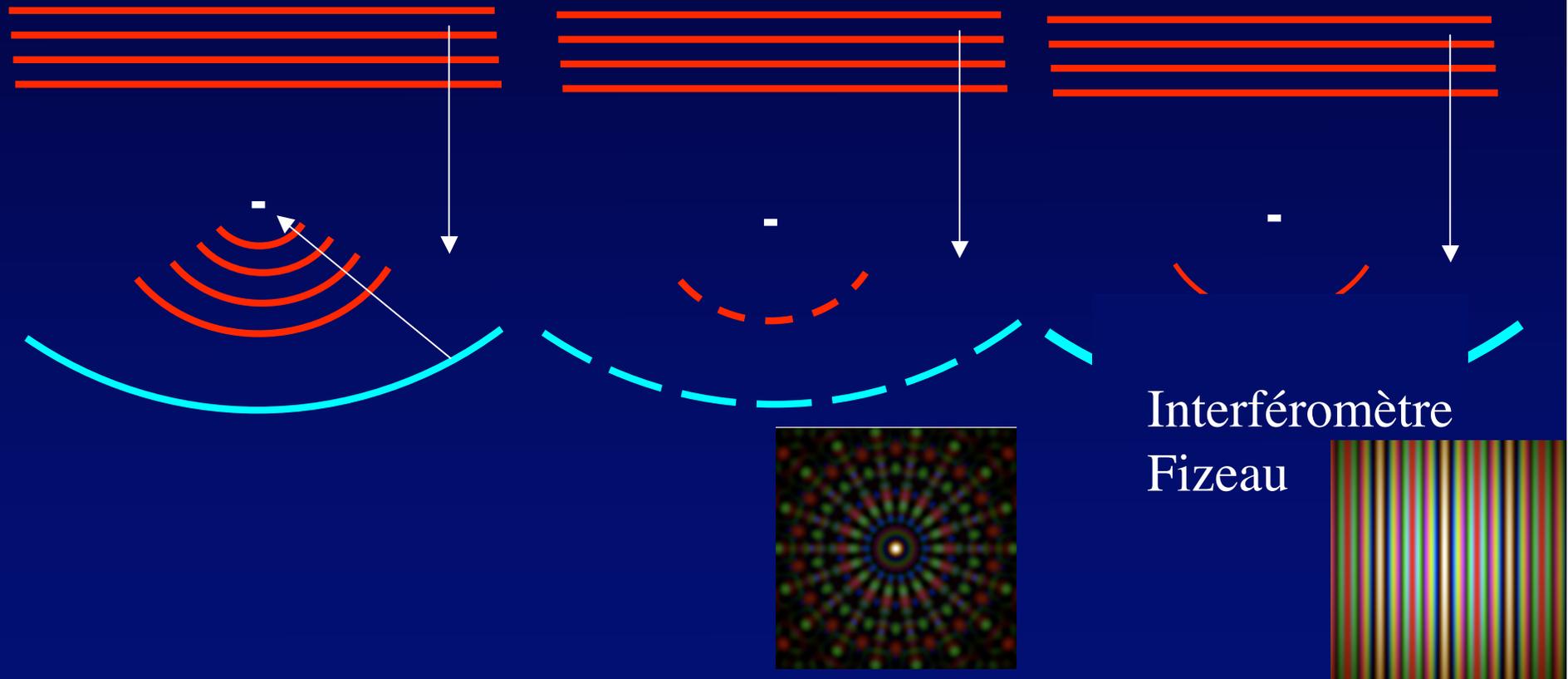


Caméra



Taches de diffraction d'Airy

Interféromètre



- Marche encore avec deux éléments : image dégradée, mais sans perte de résolution

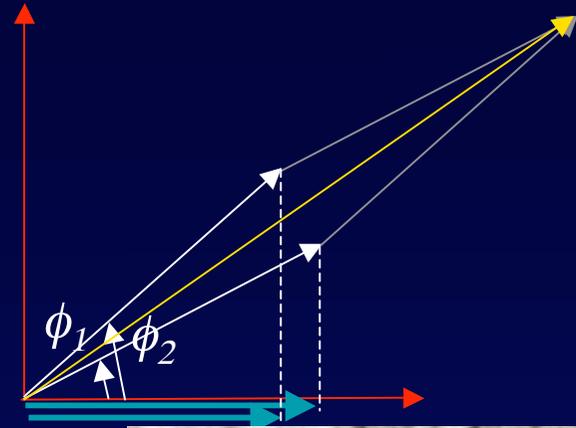
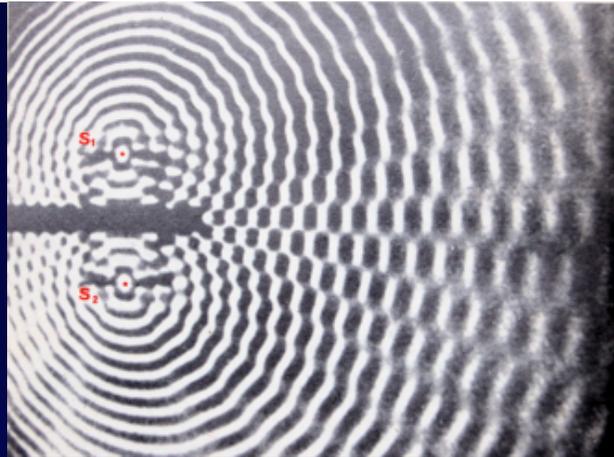
Interférence de vibrations sur une surface d'eau



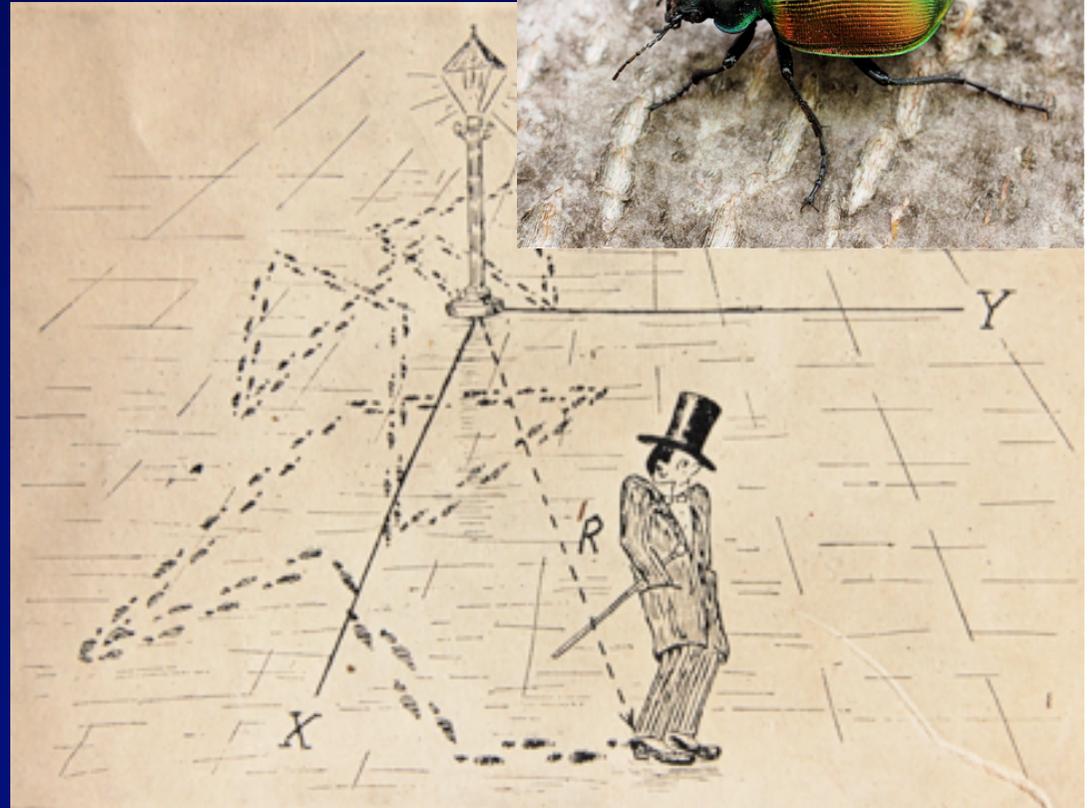
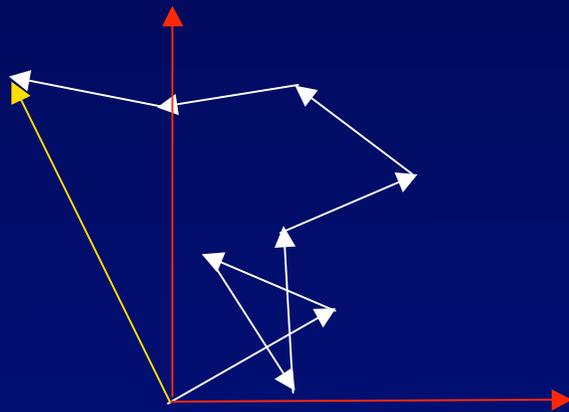
Interférence
destructive

constructive

Ajouter des vibrations



- Représentées par des "vecteurs de Fresnel"
- Ajouter N vibrations à phase aléatoire



Marche aléatoire, selon G.Gamow

(Un, deux, trois, l'infini..) →

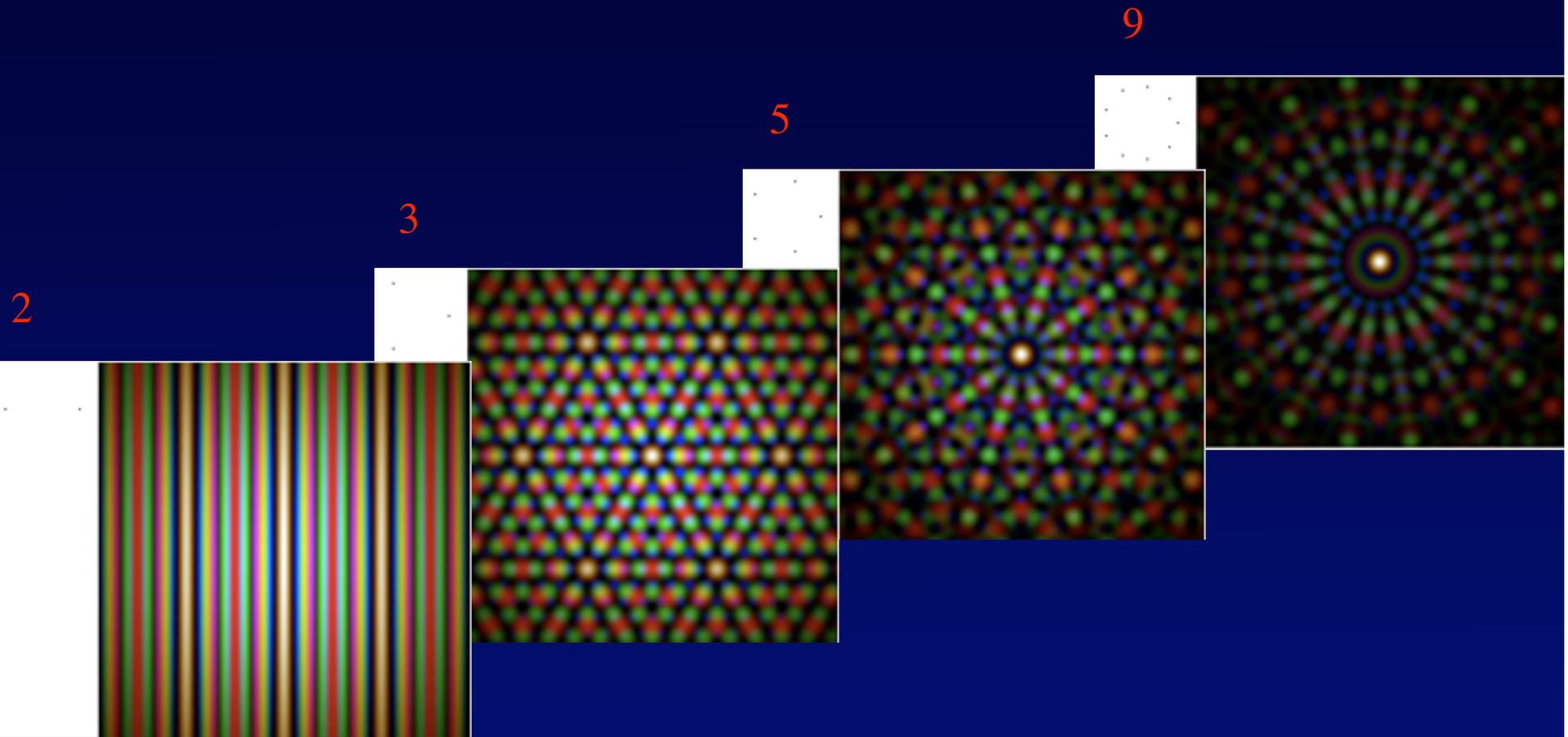
Interféromètre radio: Atacama

Large Interferometer Array

(ALMA)



Interférences de Fizeau avec 2, 3, 5 & 9 ouvertures

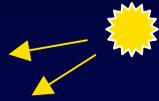
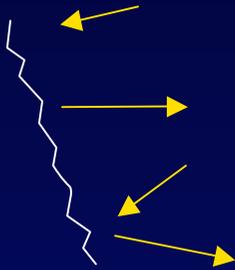


- Le pic central blanc s'intensifie avec plus d'ouvertures

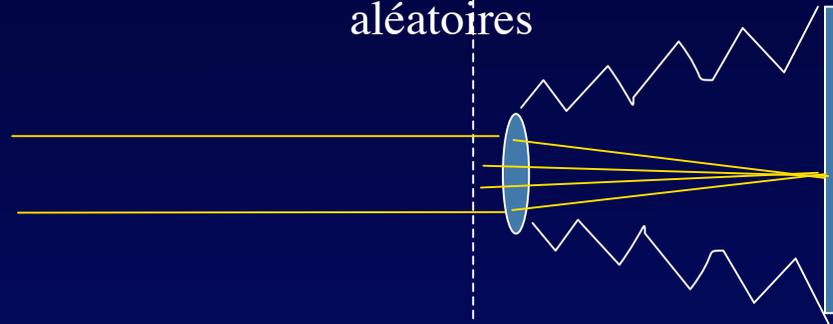
Petite expérience pour bricoleurs:

Imagerie Fizeau d'un objet étendu

Aluminium
froissé



trous
d'épingle
aléatoires

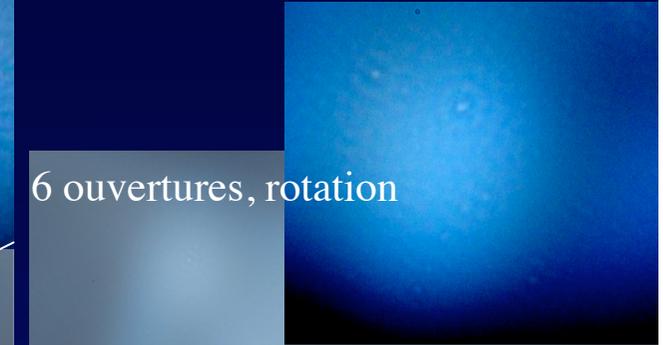
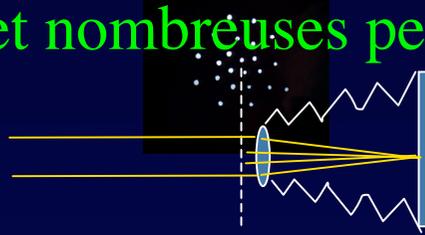
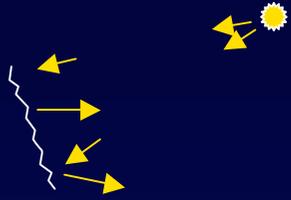


- l'image est voilée par un halo
- s'améliore avec le nombre d'ouvertures ...
- halo causé par la diffraction des petites ouvertures, et qui prélève de l'énergie ...
- ce qu'évite le montage "hypertélescope"

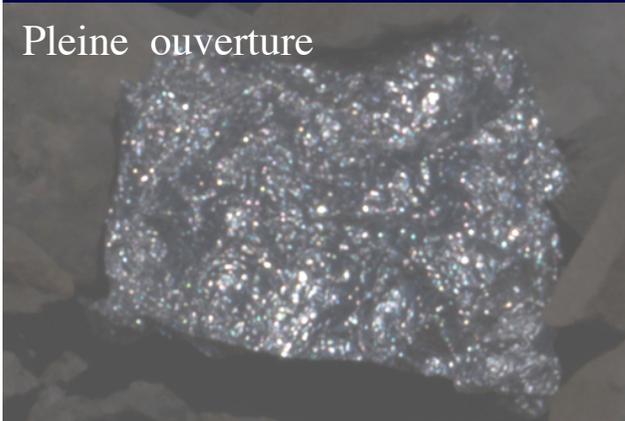
images Fizeau :

Comparaison de quelques grandes ouvertures et nombreuses petites,

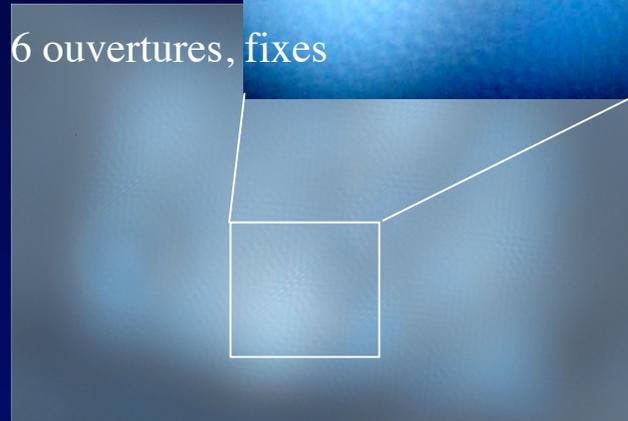
à même surface collectrice
et dimension de réseau



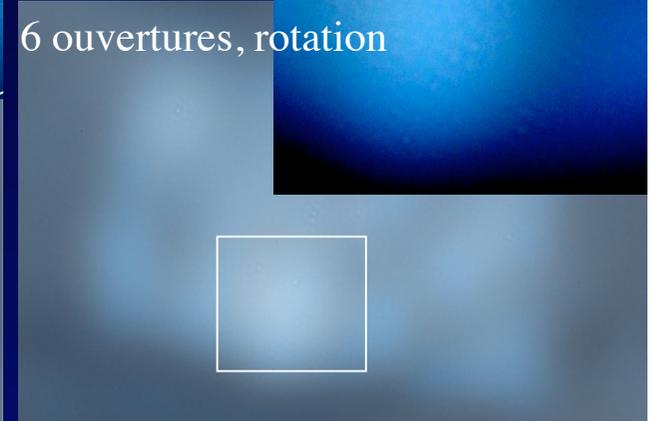
Pleine ouverture



6 ouvertures, fixes



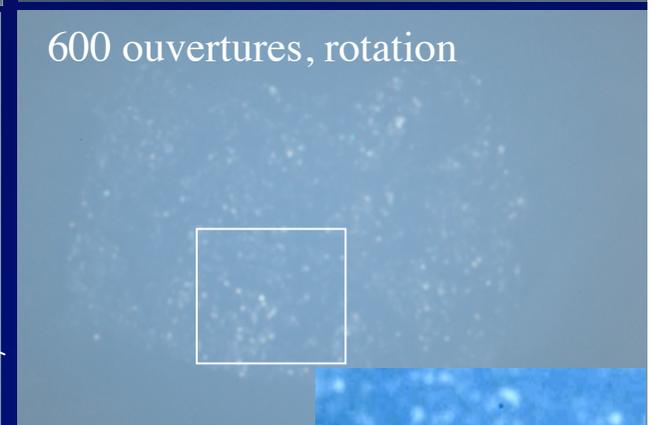
6 ouvertures, rotation



600 ouvertures, fixes



600 ouvertures, rotation



- avec les petites ouvertures:
 - plus d'étoiles apparaissent
 - l'effet de la rotation est moins marqué

