GRAVITY : Observation de Sgr A* par interférométrie infrarouge

Journées PNC/PNG 2008
Paris

Guy Perrin

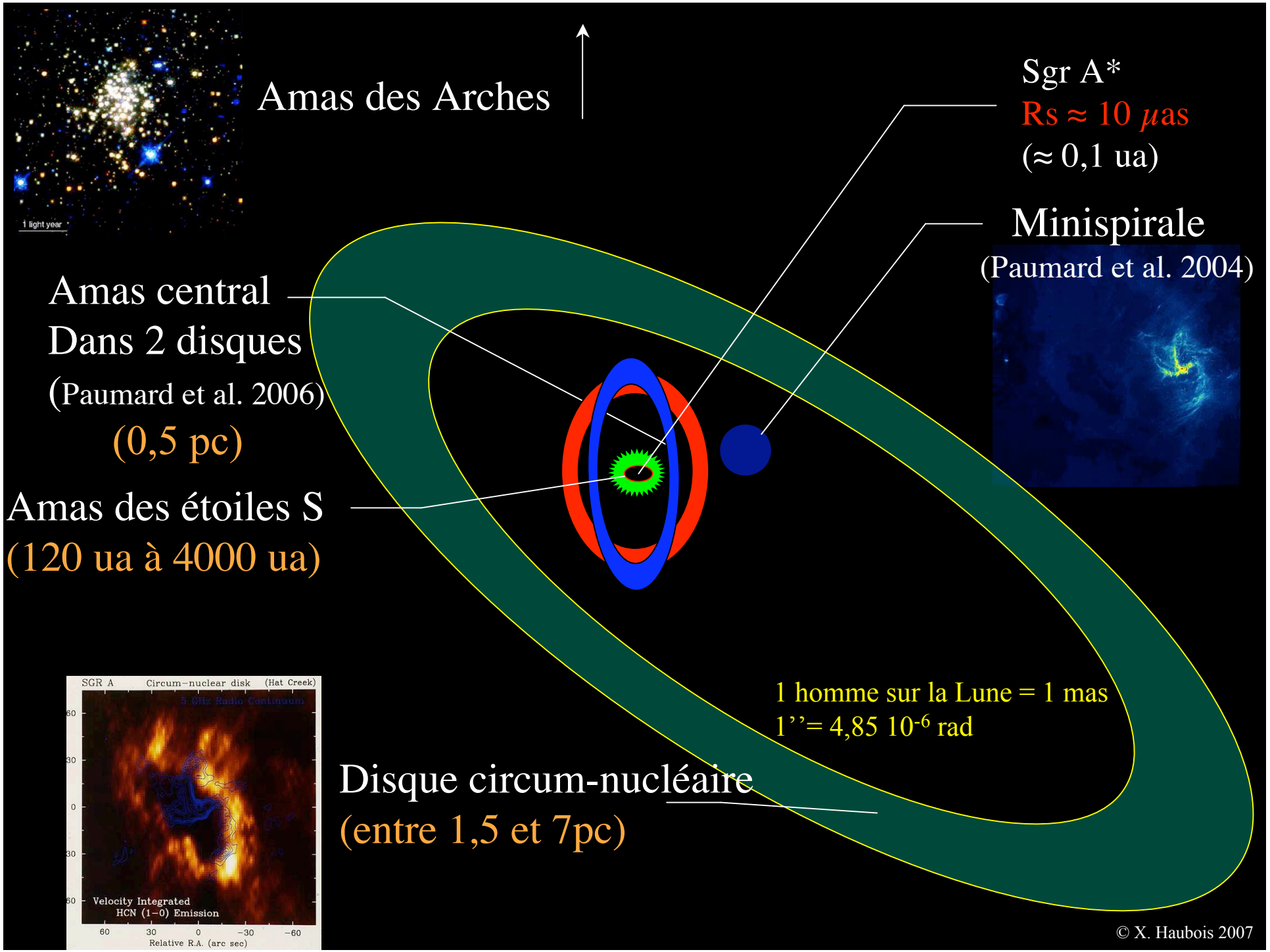
l'Observatoire de Paris | LESIA
Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

Mardi 1er Avril 2008

Le trou noir supermassif le plus proche
se trouve au centre de la Galaxie
La direction du centre galactique vue par Spitzer

Le centre de la Galaxie

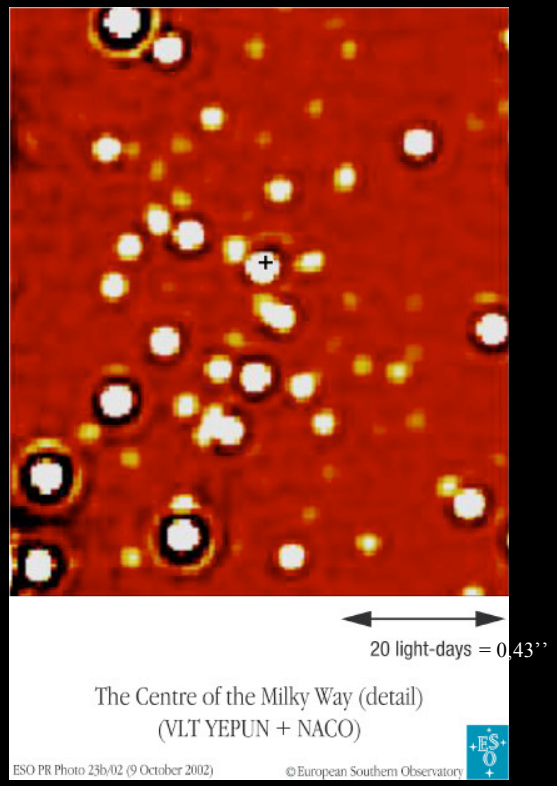
A_V	31
Distance	8 kpc

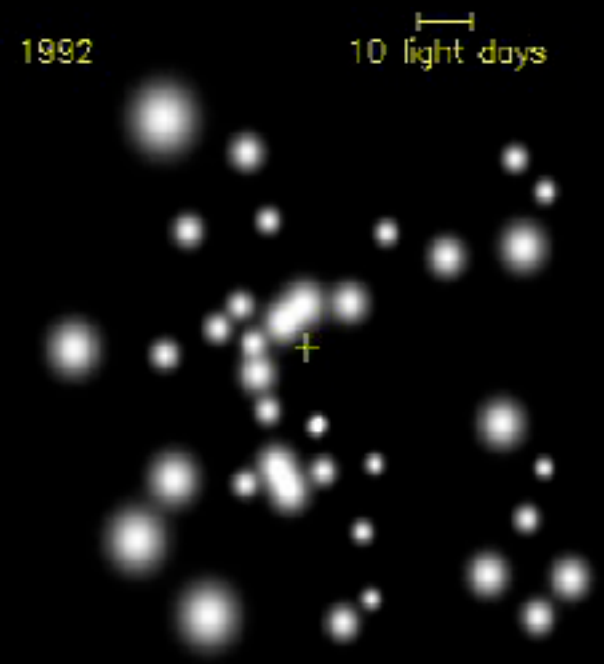

1 light year
Amas des Arches
Sgr A*
Rs ≈ 10 μas
(≈ 0,1 ua)
Minispirale
(Paumard et al. 2004)
Amas central
Dans 2 disques
(Paumard et al. 2006)
(0,5 pc)
Amas des étoiles S
(120 ua à 4000 ua)
1 homme sur la Lune = 1 mas
1''= 4,85 10-6 rad
Disque circum-nucléaire
(entre 1,5 et 7pc)
SGR A
Circum-nuclear disk
(Hat Creek)
5 GHz Radio Continuum
Velocity Integrated
HCN (1-0) Emission
Relative R.A. (arc sec)
© X. Haubois 2007

Observations monotélescope

Orbite de S2 observée par NACO

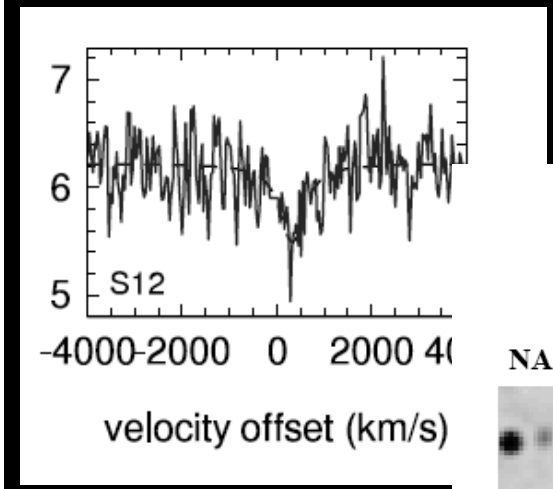
(120 ua ou 1200 R_s)

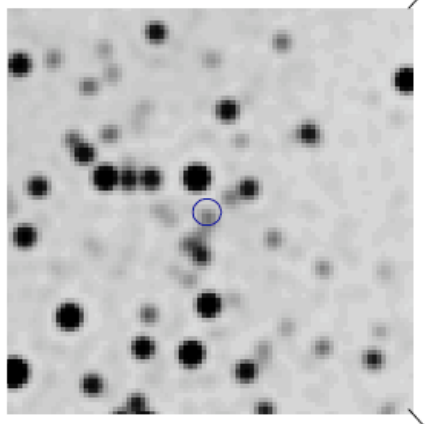


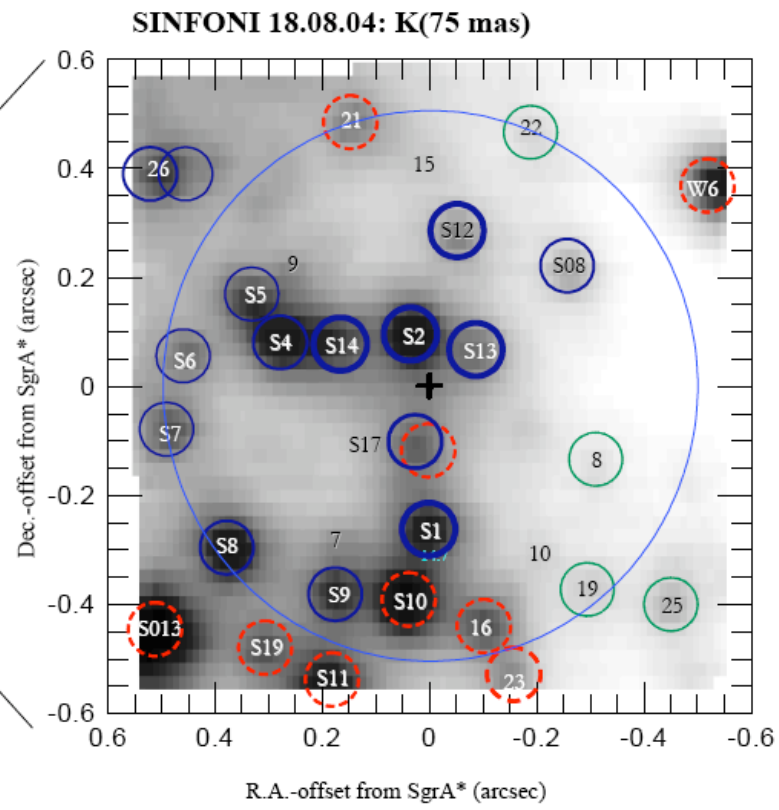


Schödel et al. (2002)

Orbites 3D : SINFONI + NACO





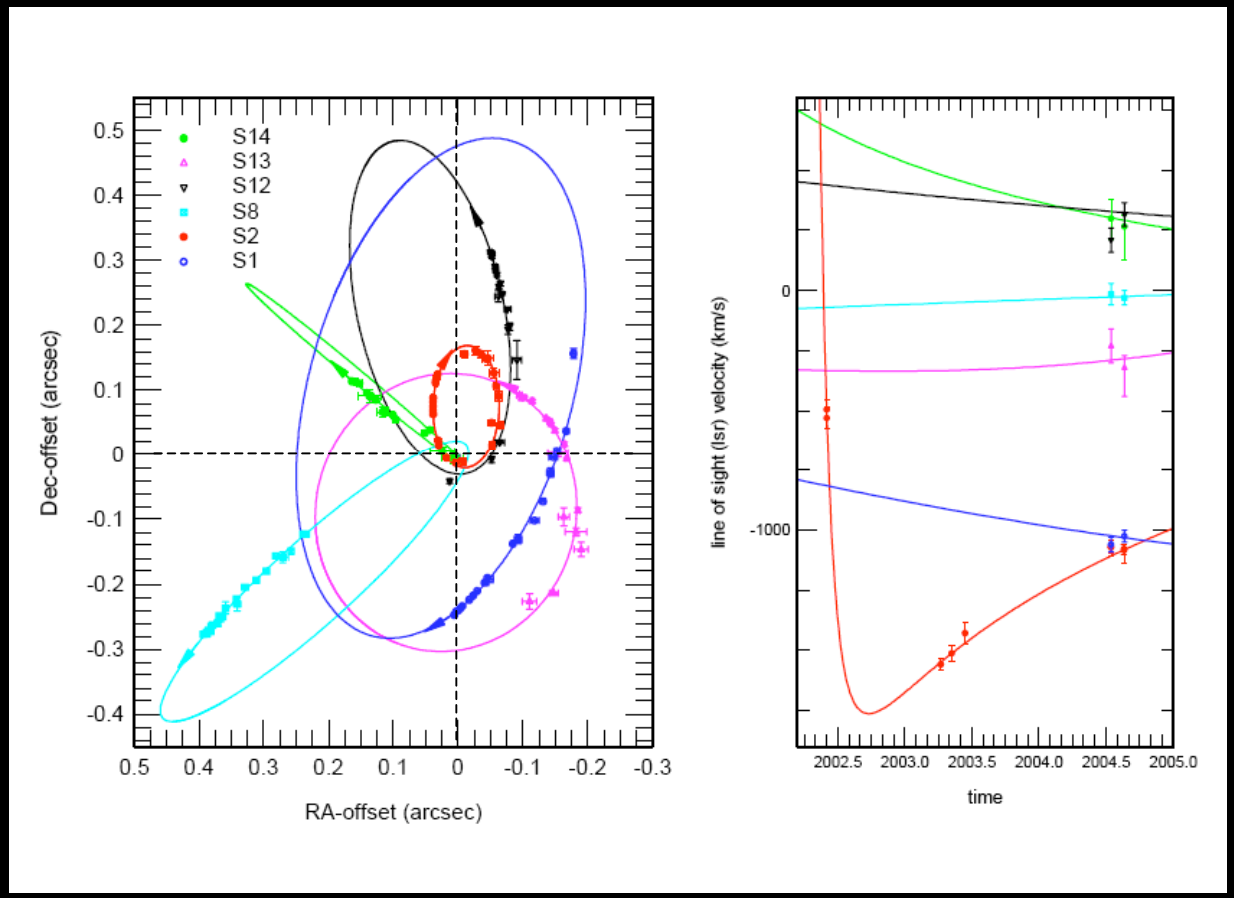


Eisenhauer et al. (2005)

Orbites 3D : SINFONI + NACO

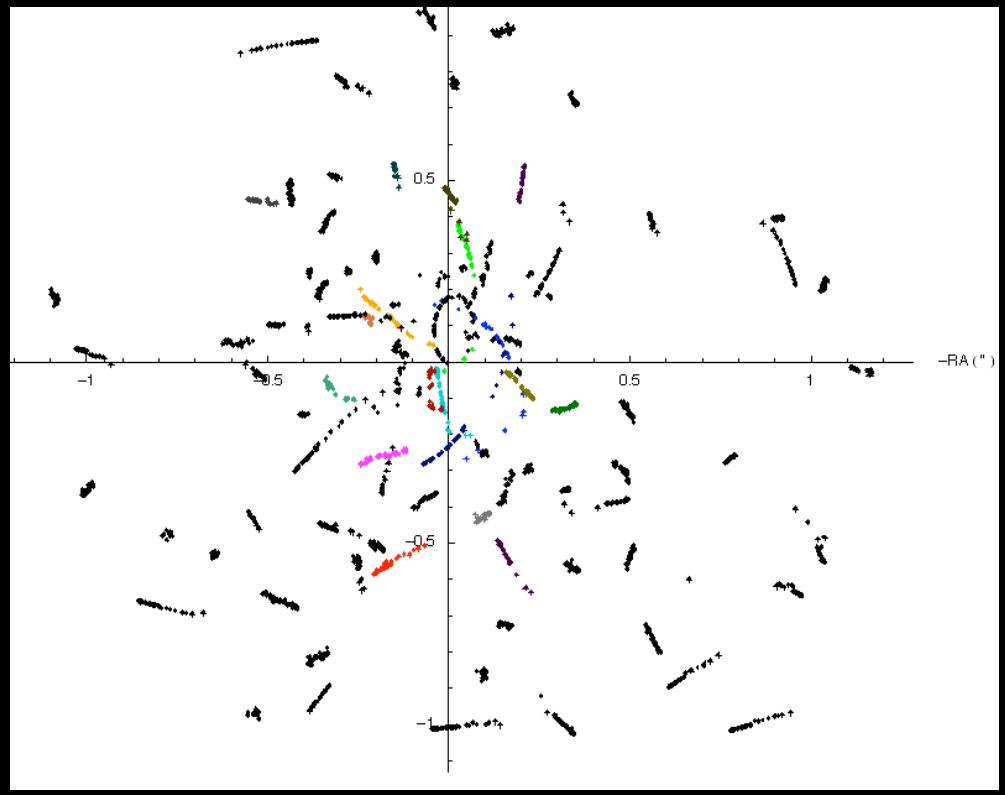
d = 7,62±0,32 kpc

M_{SgrA*}= 3,61±0,32 10^6 M_{sol}



Eisenhauer et al. (2005)

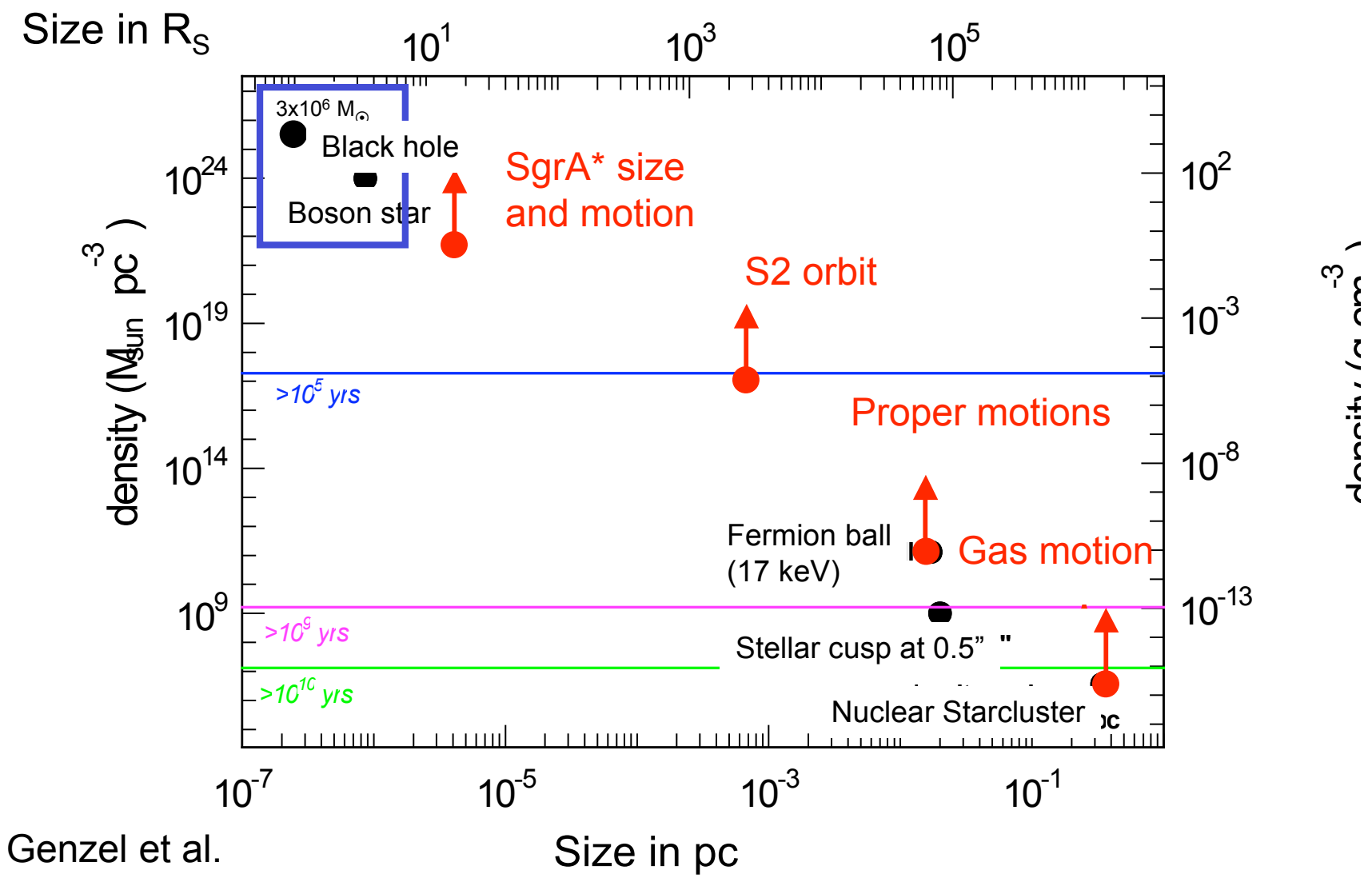
Orbites 3D : SINFONI + NACO



Quid des effets relativistes sur les orbites des étoiles les plus proches ?

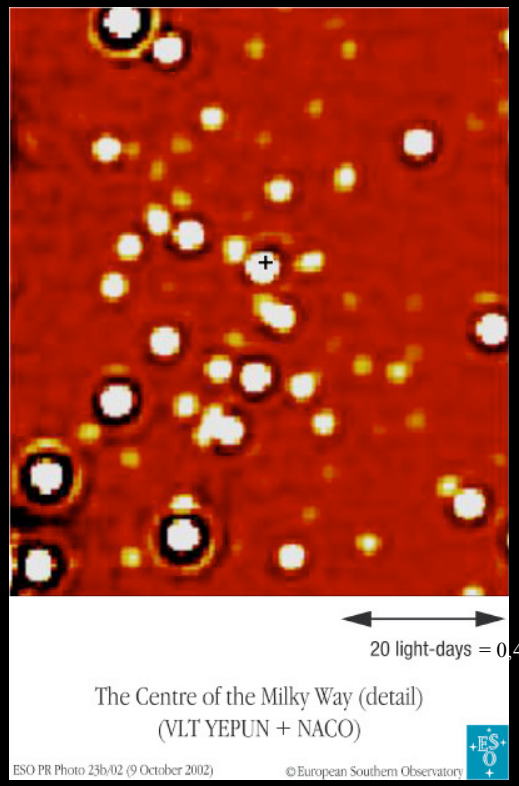
→ plus de résolution est nécessaire : de l'ordre de quelques mas ie quelques 100 R_s

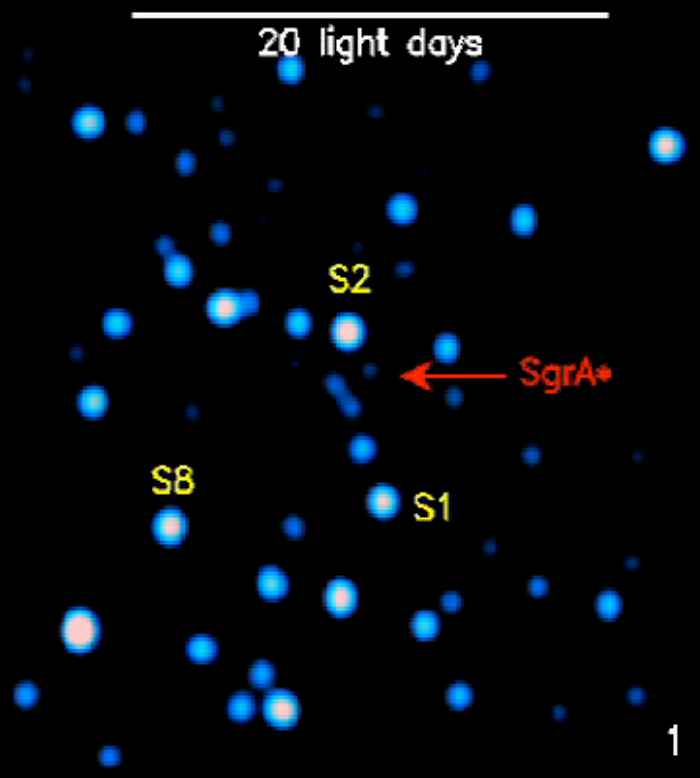
Si la théorie de la relativité générale est la bonne alors …



Genzel et al.

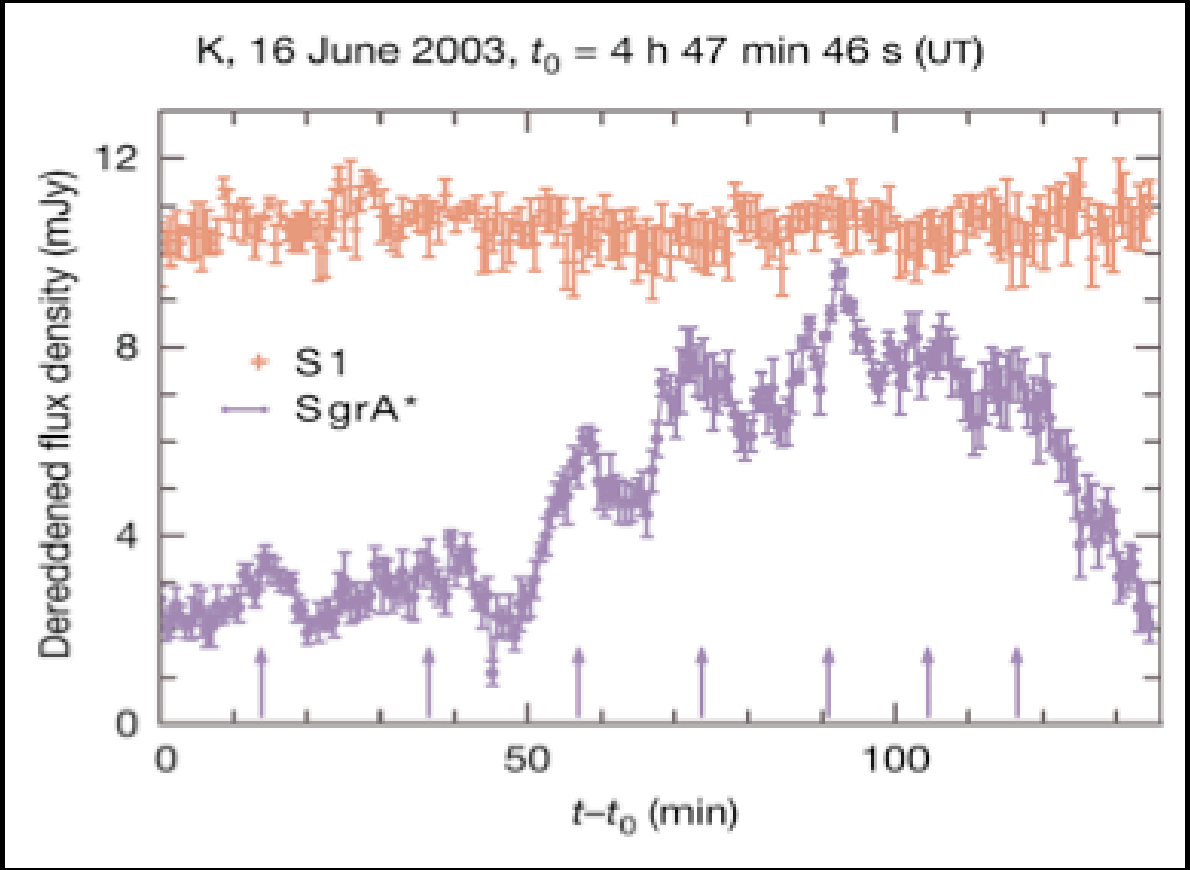
Le poisson d'Avril de la nature





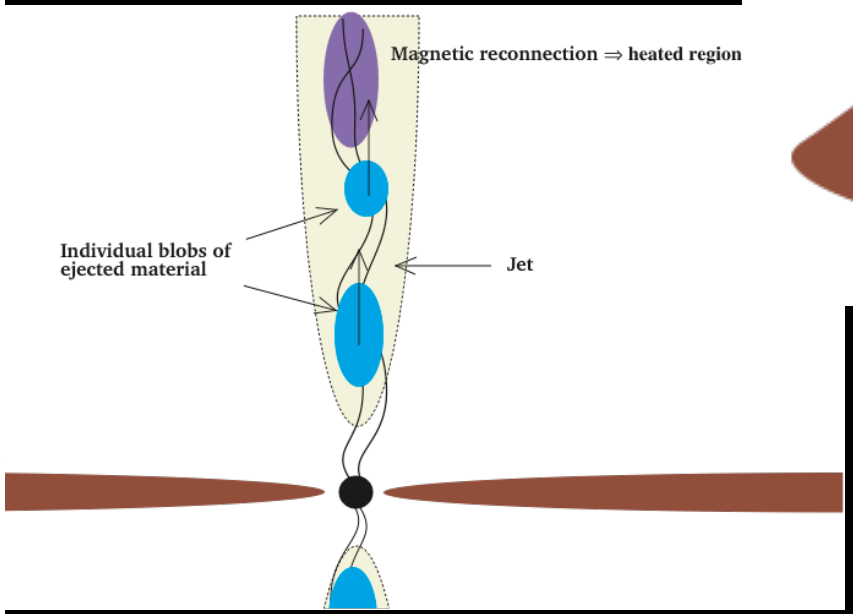
Genzel et al. (2003)

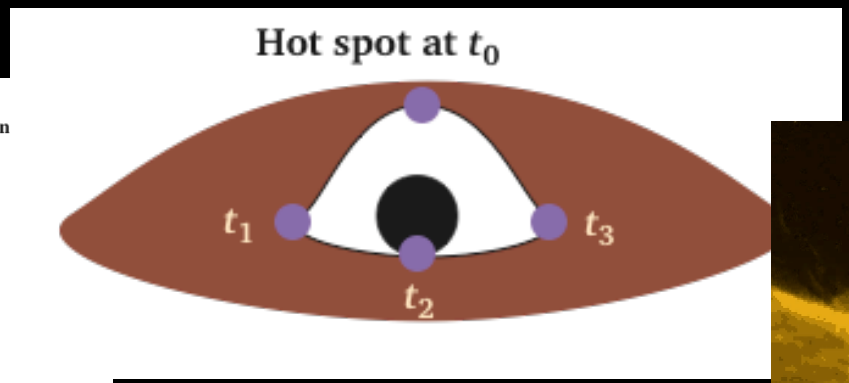
Sursauts en fonction du temps

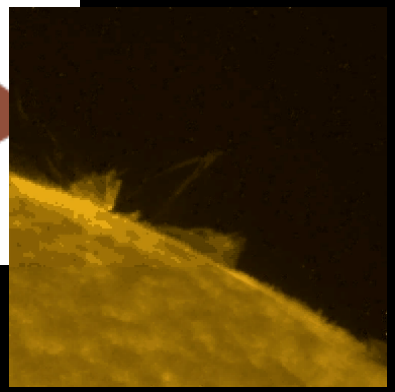


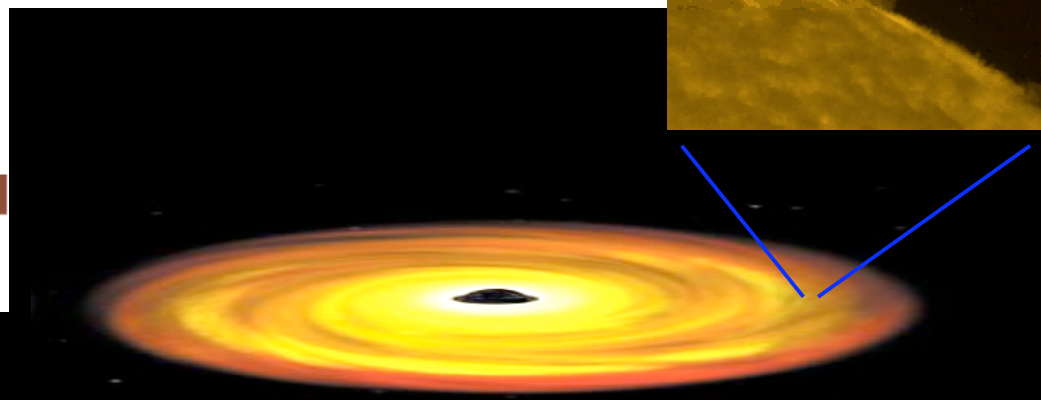
Genzel et al. (2003)

Modèles possibles pour les sursauts









Ou encore, étoiles *traversant* le disque d'accrétion près de la dernière orbite stable

Il est nécessaire d'accéder à une échelle de 3 Rs (dernière orbite stable) soit 30 μas

Aller plus loin grâce à l'information spatiale

Apporter définitivement la preuve du trou noir : montrer que la masse est contenue dans 1 Rayon de Schwarzschild

Comprendre la nature des sursauts

Utiliser le trou noir comme un laboratoire unique pour la relativité générale en champ fort

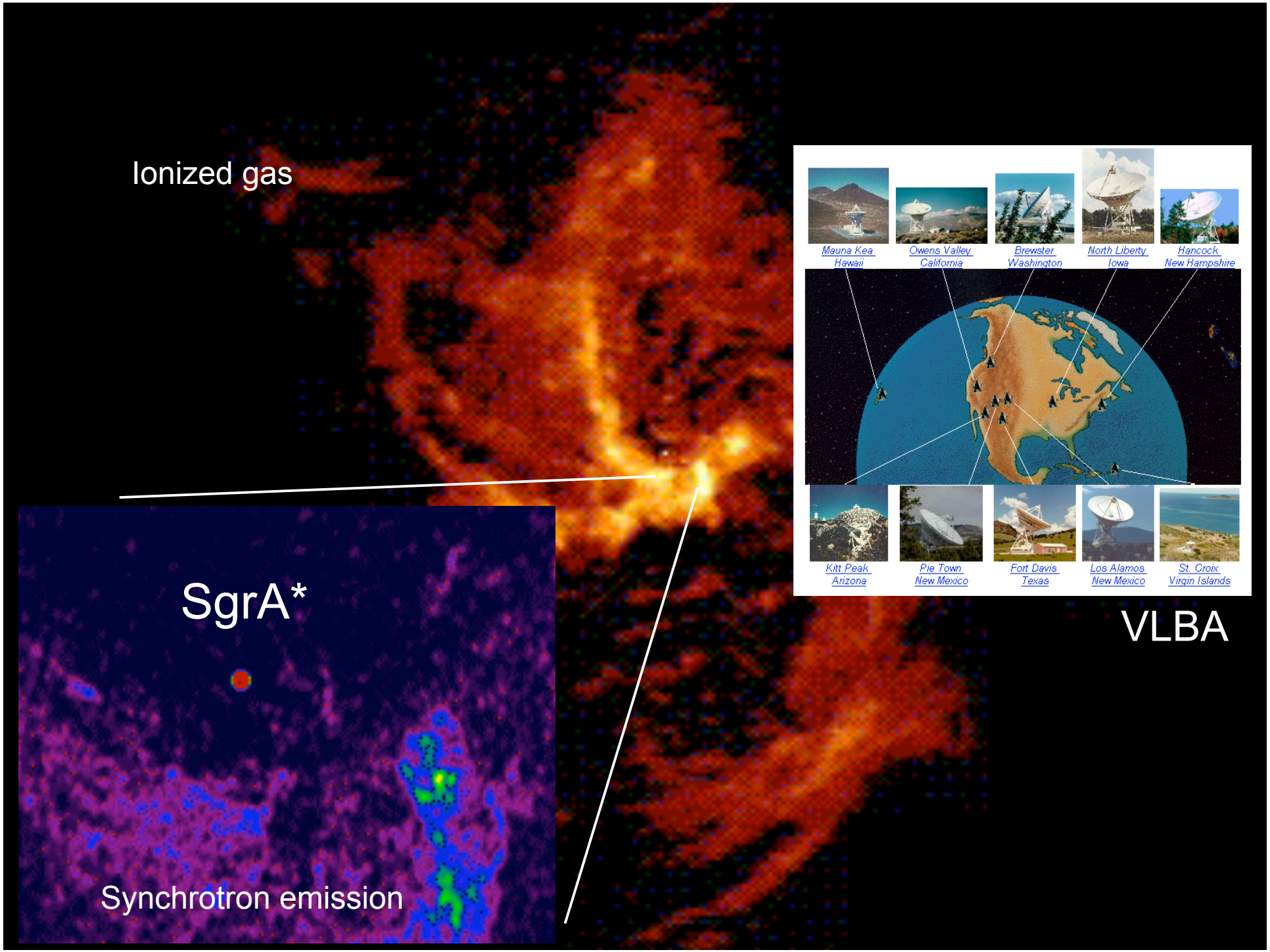
Échelle ~ 1 Rs 10 µas

Étudier les effets relativistes sur les orbites d'étoiles proches

Comprendre la nature des étoiles centrales et leur distribution

Échelle ~ 100 Rs 1 mas

Observations radio

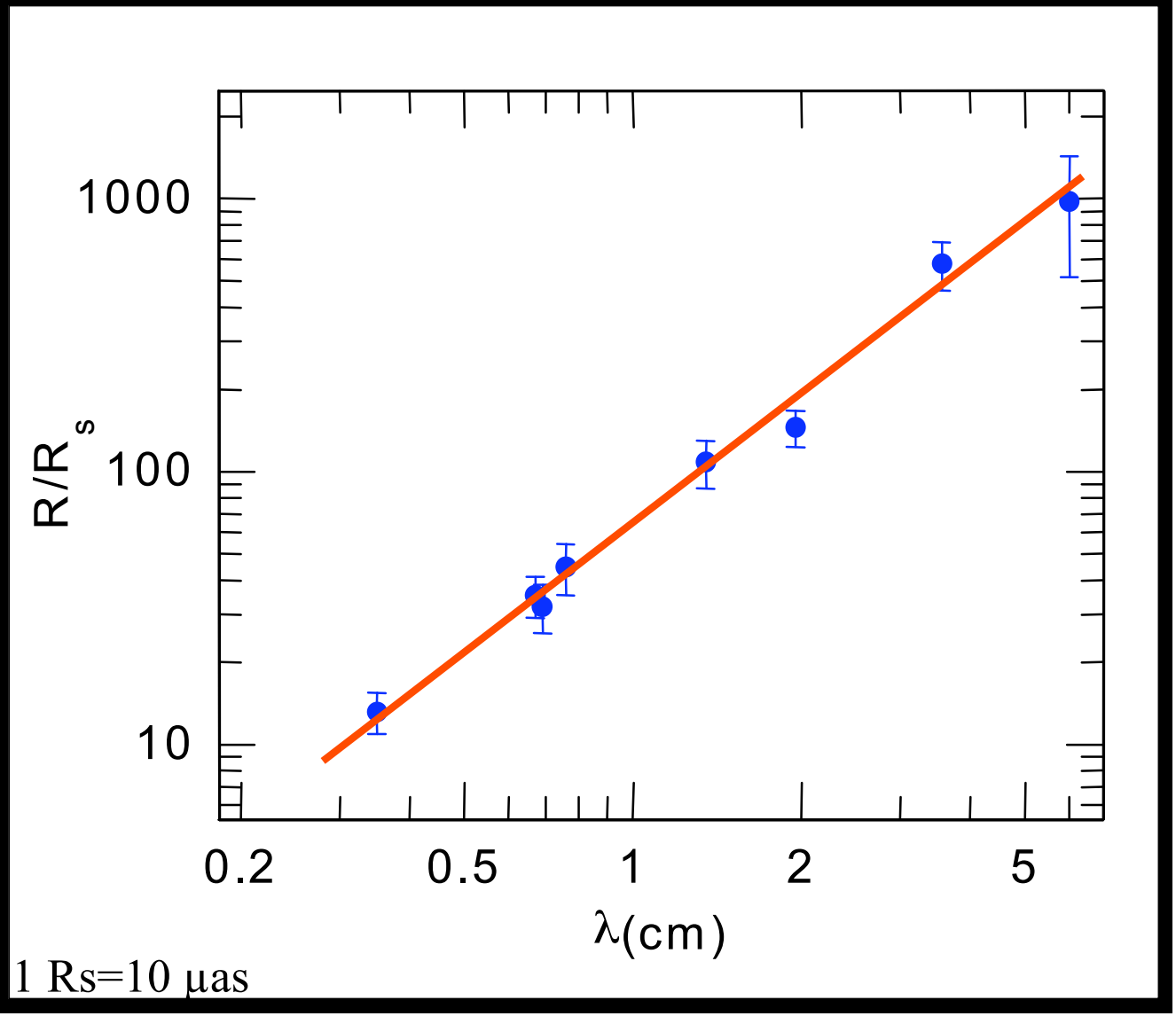

Ionized gas
SgrA*
Synchrotron emission
Mauna Kea
Hawaii
Owens Valley
California
Brewster
Washington
North Liberty
Iowa
Hancock
New Hampshire
Kitt Peak
Arizona
Pie Town
New Mexico
Fort Davis
Texas
Los Alamos
New Mexico
St. Croix
Virgin Islands
VLBA

Technique VLBI

Diamètre ~ 20 R_S $(\lambda_{5mm})^{1,3-1,7}$

1 ua ou 13 R_S @ 3,5 mm

Cette loi est due à la diffusion du rayonnement par le gaz ionisé

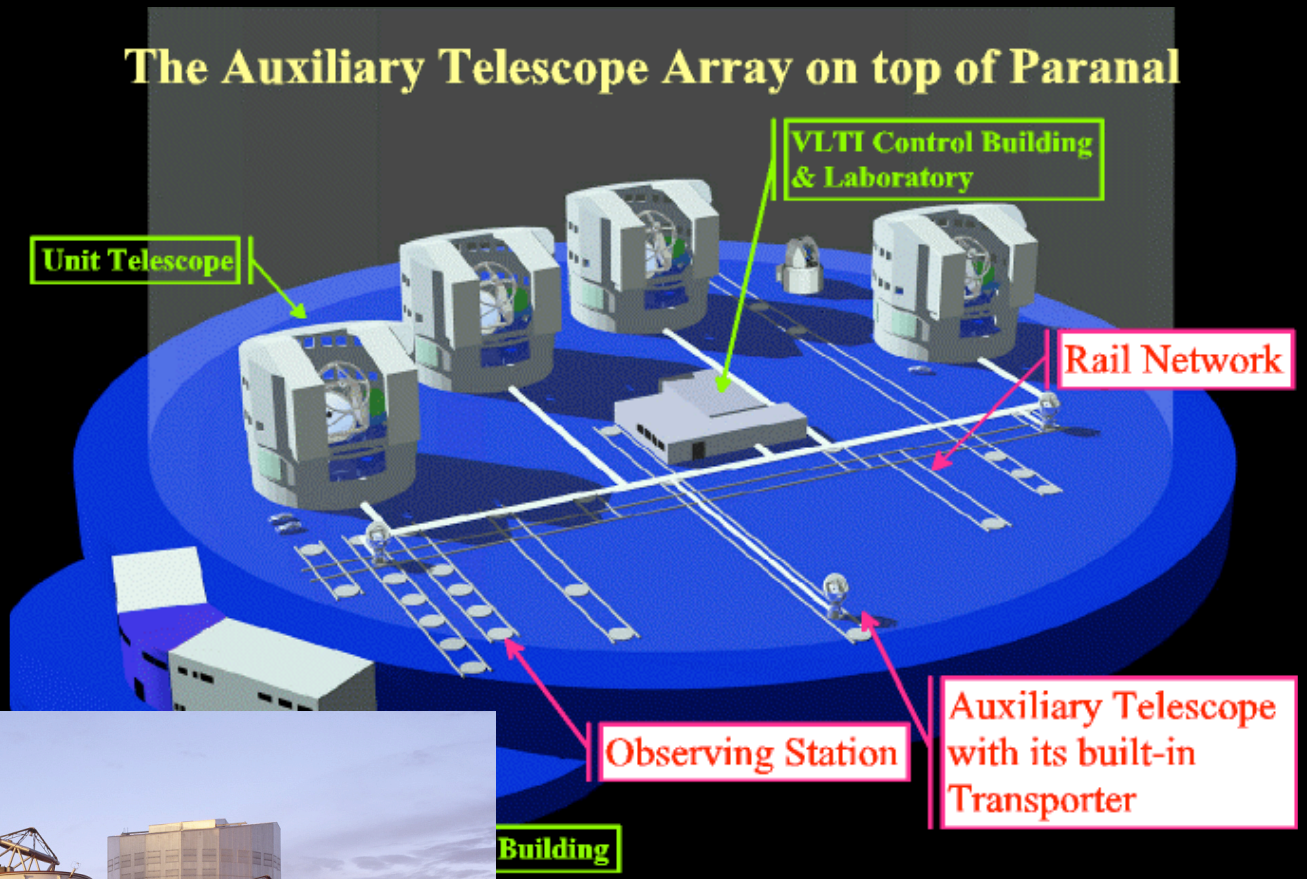


1 Rs=10 µas

Bower et al. (2006, 2004)
Shen et al. (2005)

Interférométrie infrarouge

Le Very Large Telescope Interferometer (Mont Paranal, Chili)



Potentiel du VLTI

$\lambda = 2\ \mu m$

D (m)	10	100	200	1000
θ (mas)	40	4	2	0,4
d (R_S)	4 000	400	200	40
d (ua)	400	40	20	4

VLTI

L'instrument GRAVITY

GRAVITY : General Relativity Analysis with VLTI inTerferometrY

MPE

l'Observatoire de Paris | LESIA

Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

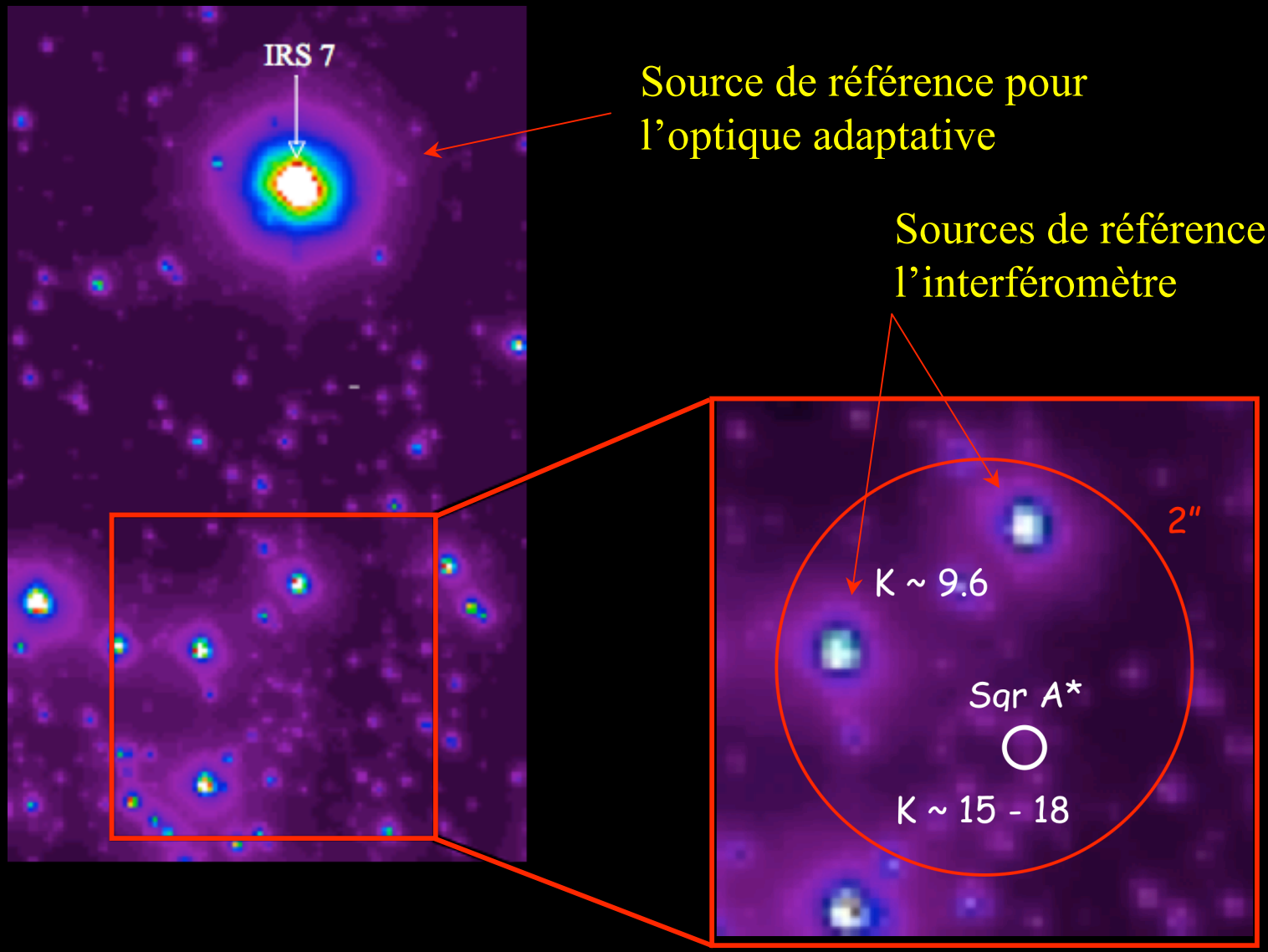
LAOG

Max-Planck-Institut für Astronomie Heidelberg

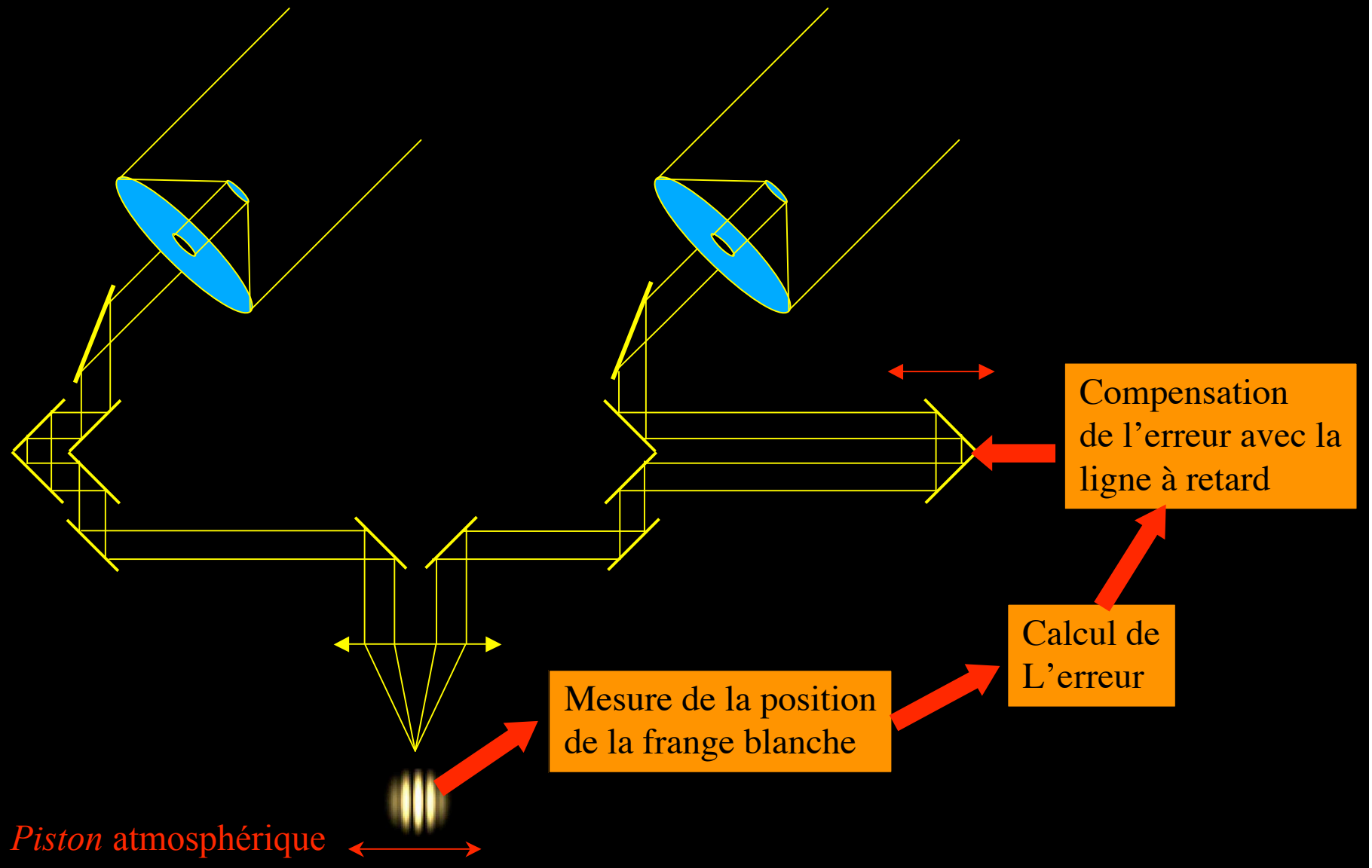
Max Planck Institute for Astronomy Heidelberg

Universität zu Köln

Imagerie et astrométrie par référence de phase

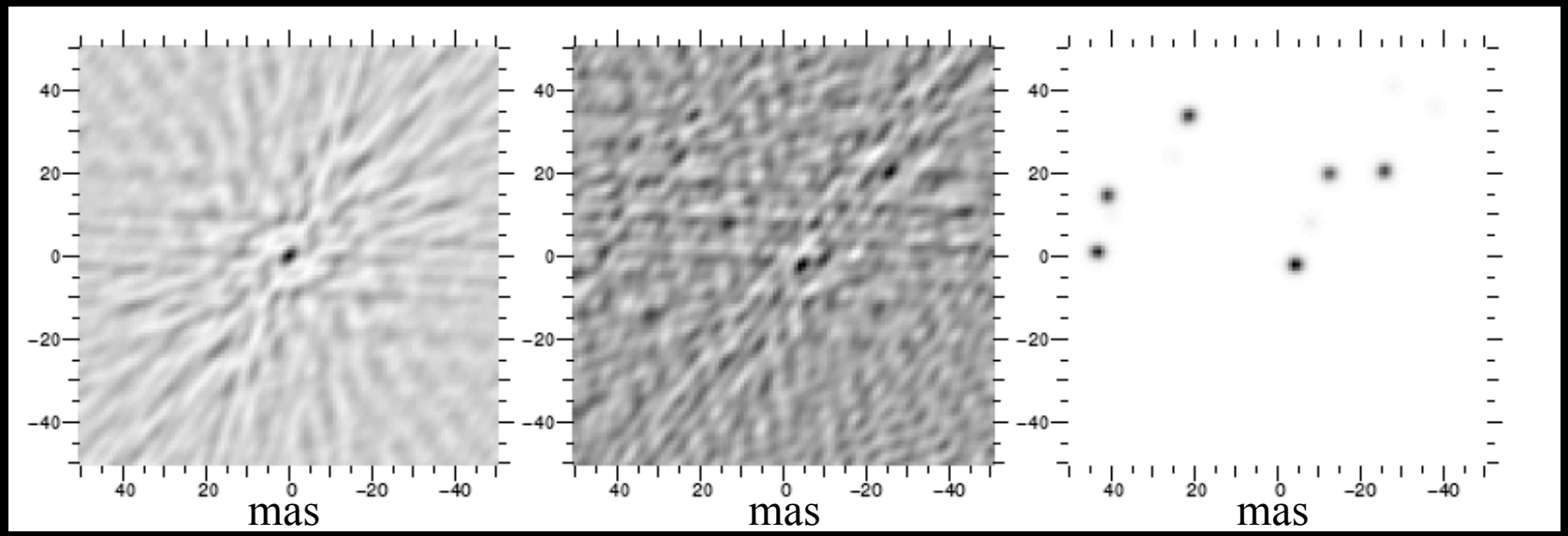


Principe du suiveur de franges



Imagerie des étoiles proches du centre galactique

Exemple pour une nuit d'observation



Réponse impulsionnelle

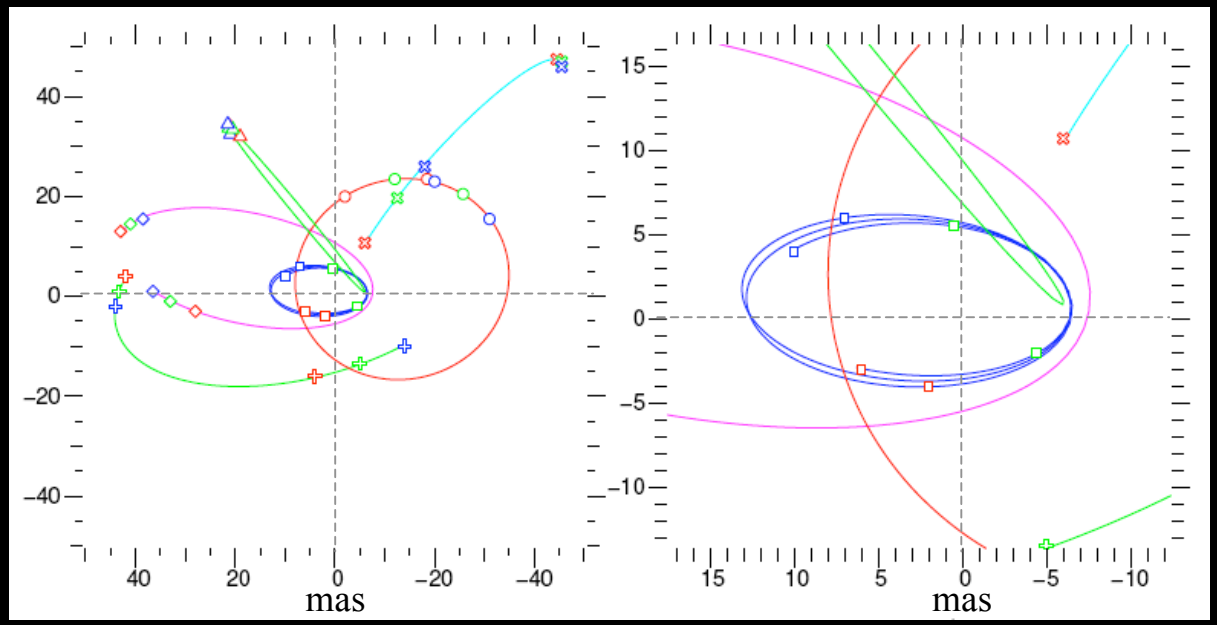
Image *sale* reconstruite (6 étoiles)

Image déconvoluée (CLEAN)

Paumard et al. (2005)

Imagerie des étoiles proches du centre galactique

Après 15 mois d'observation :



1 mas = 100 R_s

La précession relativiste est détectée.

Paumard et al. (2005)

Astrométrie (petit angle) et interférométrie

Pour deux objets non résolus, la différence de marche vaut :

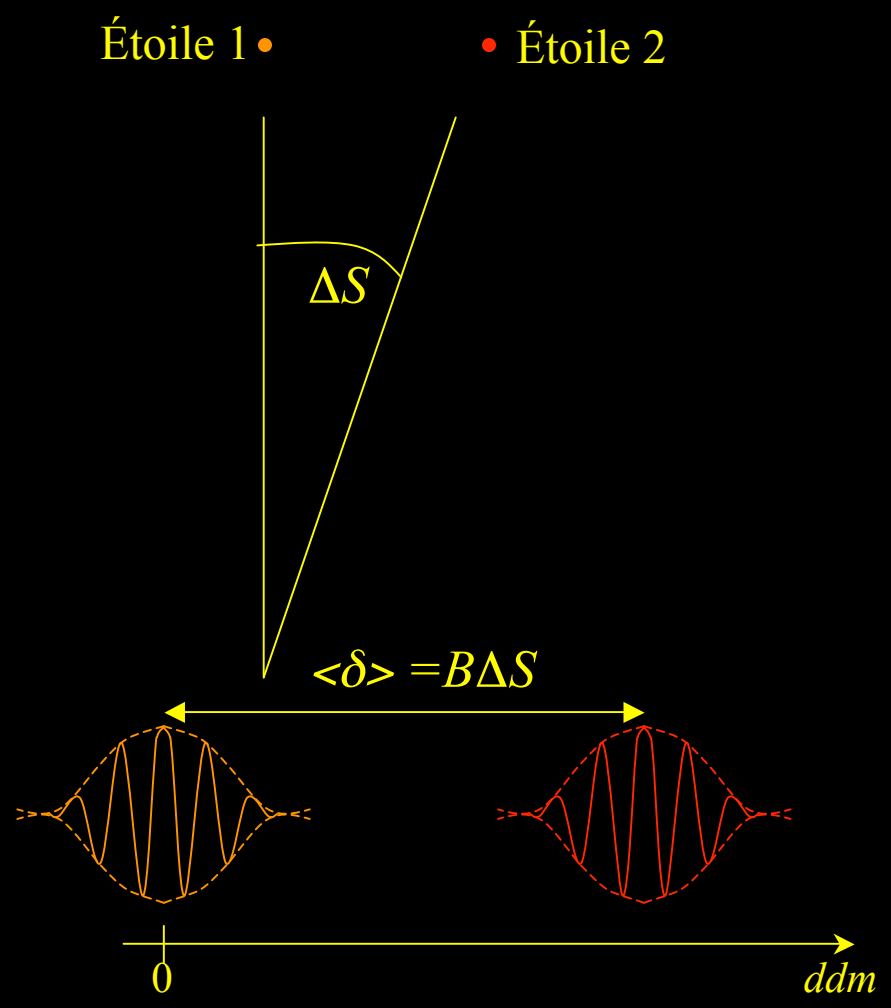
$$\Delta ddm_{obs} = \Delta ddm_{turbulence} + B\Delta S$$

En intégrant sur un temps plus grand que le temps de cohérence de l'atmosphère :

$$\langle \Delta ddm_{obs} \rangle = \cancel{\langle \Delta ddm_{turbulence} \rangle} + B\Delta S$$

ou : $\Delta S = \langle \Delta ddm_{obs} \rangle / B$

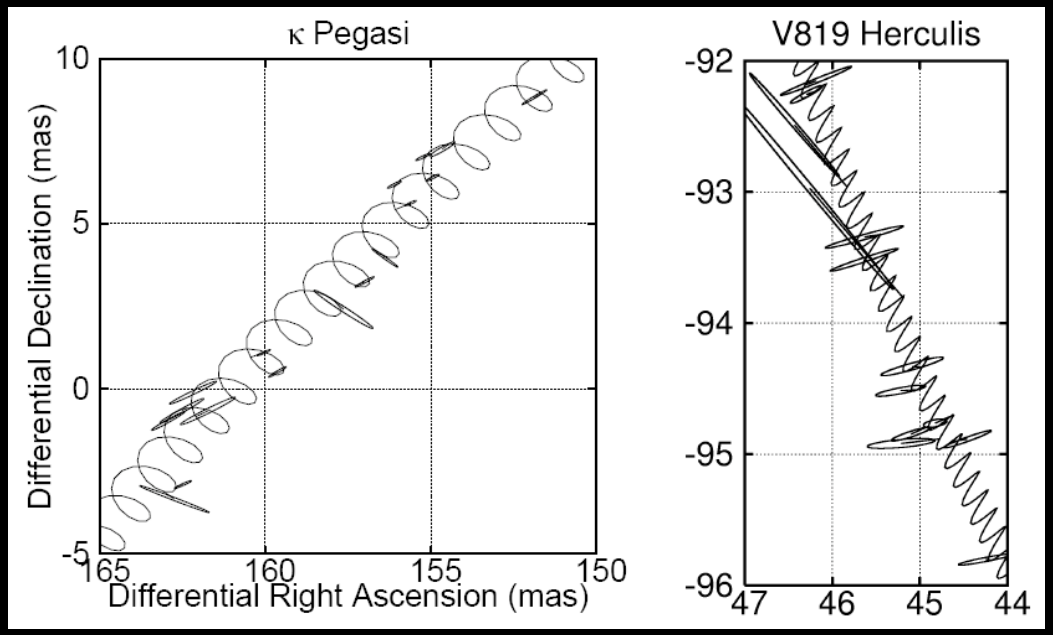
Avec une précision de 5 nm sur $\langle \Delta ddm_{obs} \rangle$ pour une base de 100 m, la précision sur ΔS est de 10 µas.



Démonstration avec le Palomar Testbed Interferometer

Recherche de planètes géantes dans des systèmes binaires

Bases de 110 m et 87 m
Télescopes de 40 cm

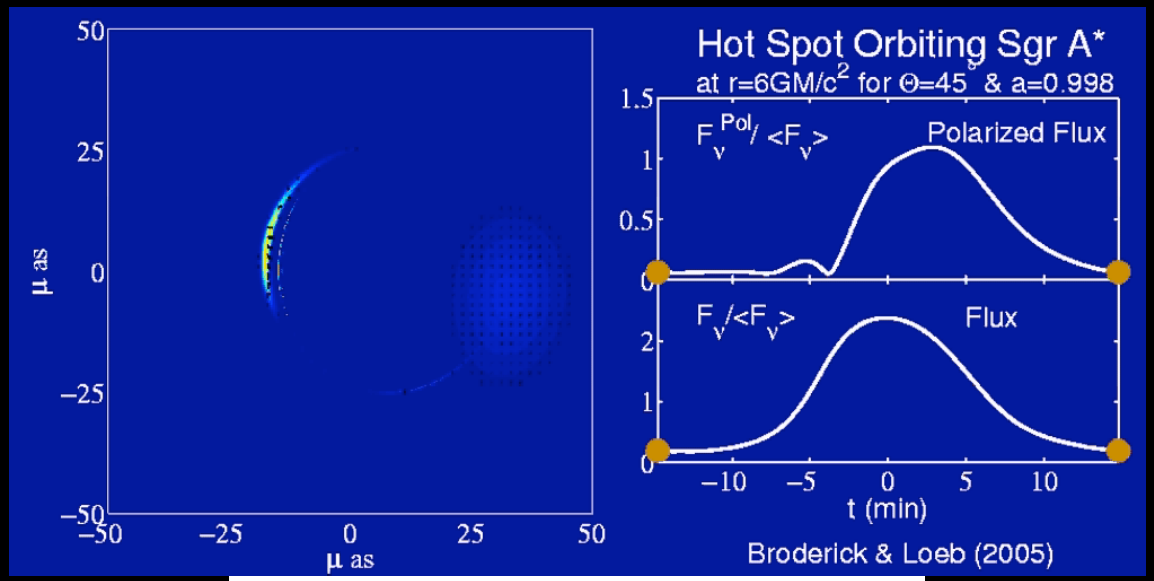


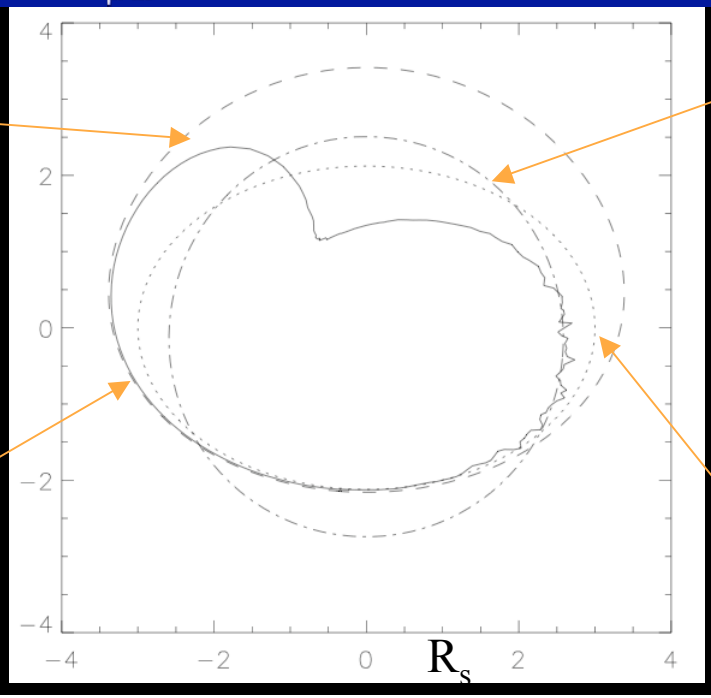
Muterspaugh et al. 2006 : "… the 20µas level has been demonstrated …"

Secret de la réussite : le petit champ

Exploration de la dernière orbite stable

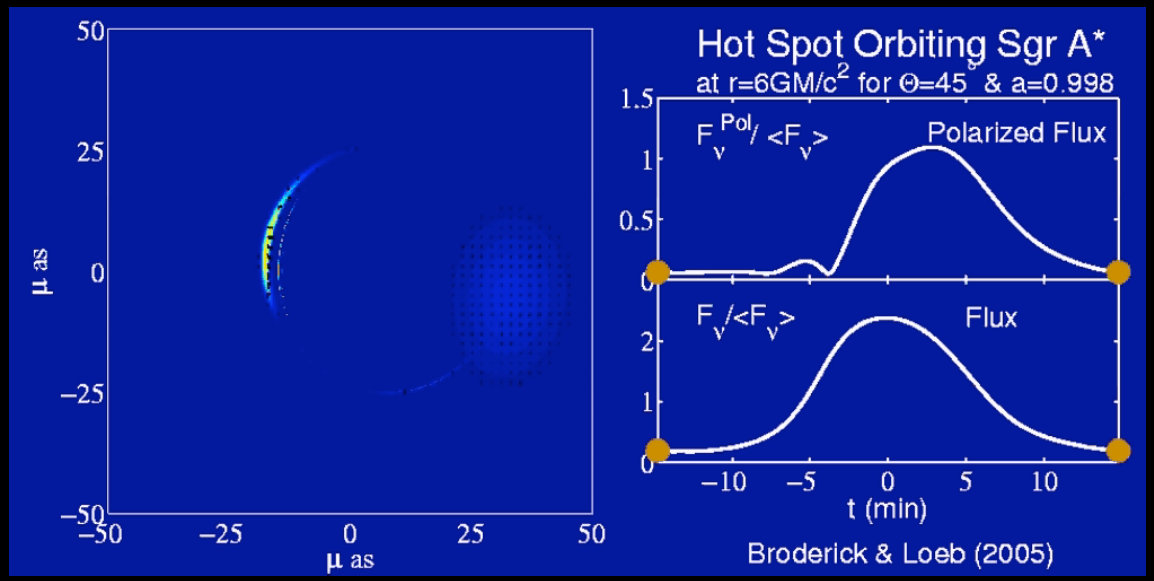
10 µas = 1 R_s

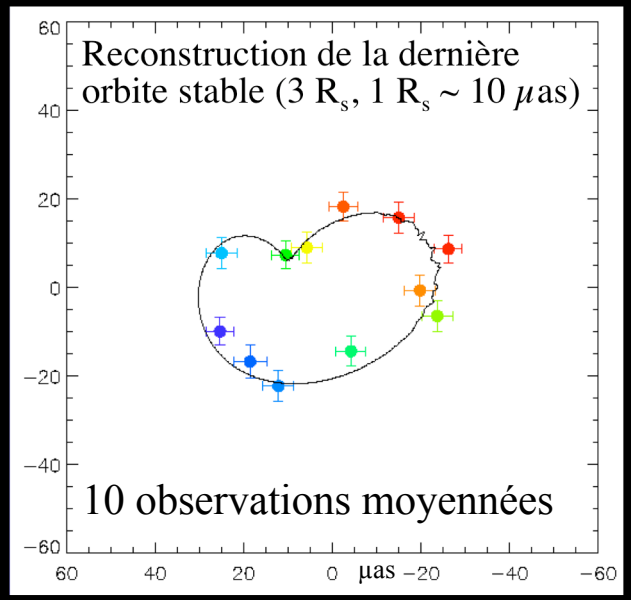




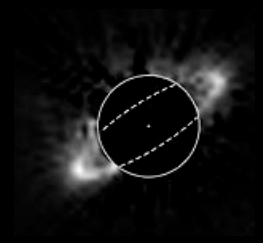
Exploration de la dernière orbite stable

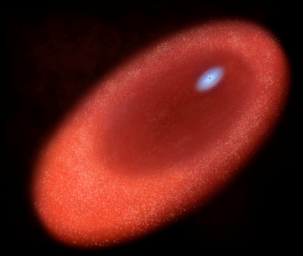
10 µas = 1 R_s

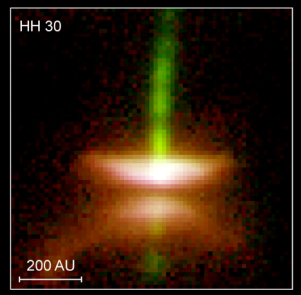


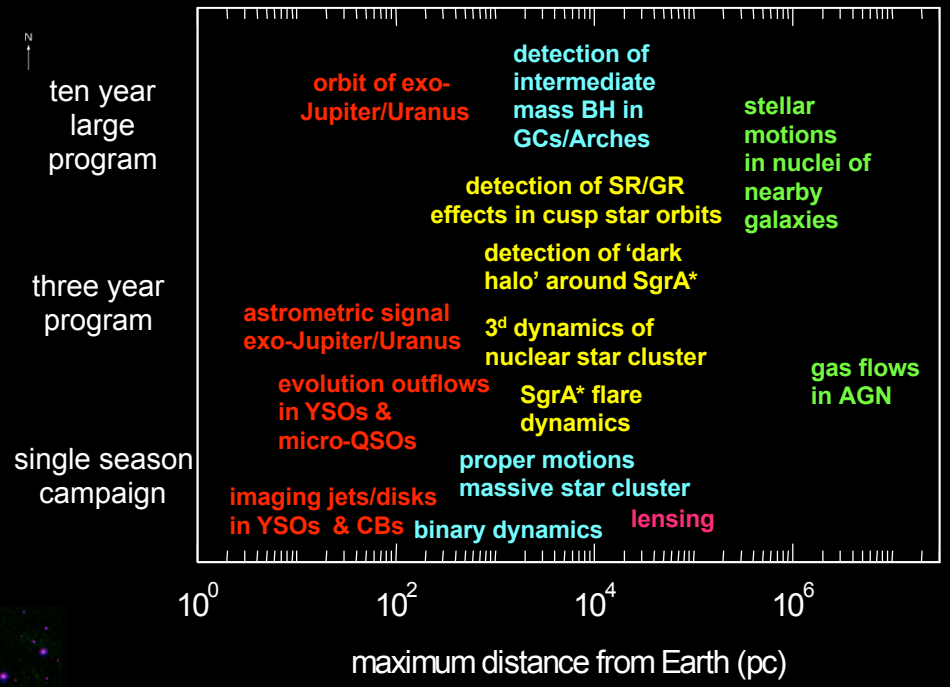


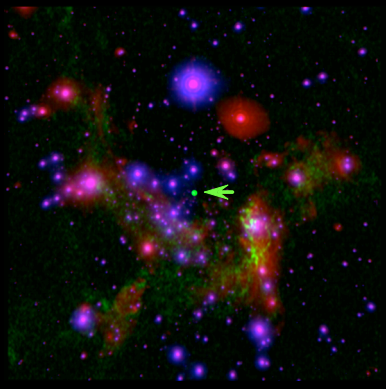
Objectifs astrophysiques de GRAVITY

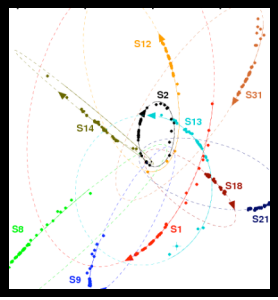


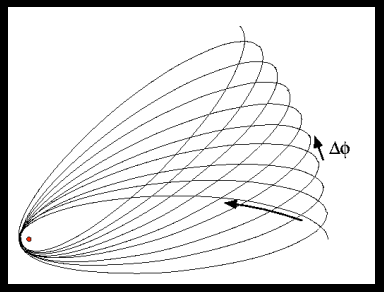


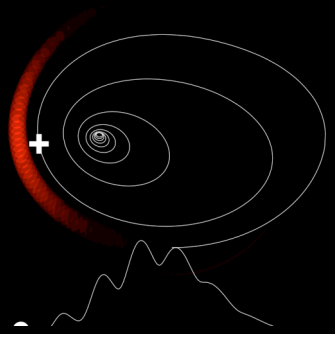




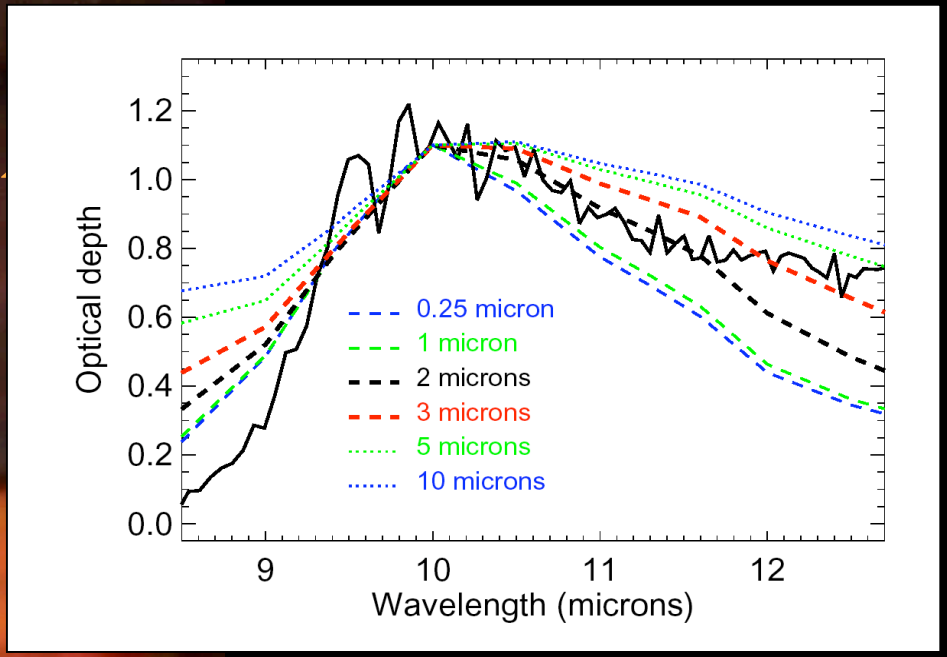




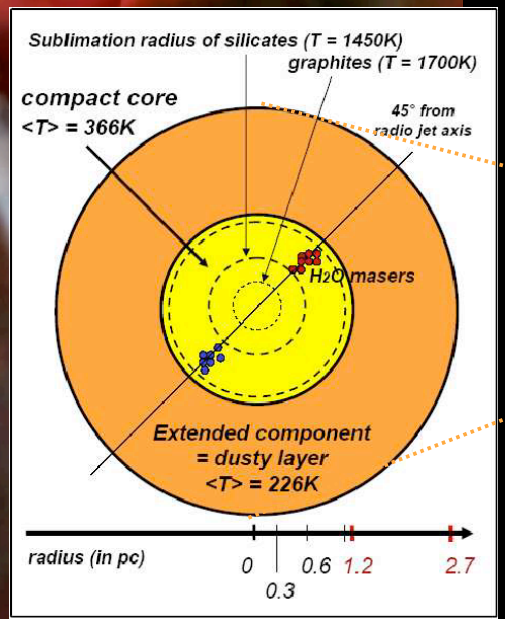


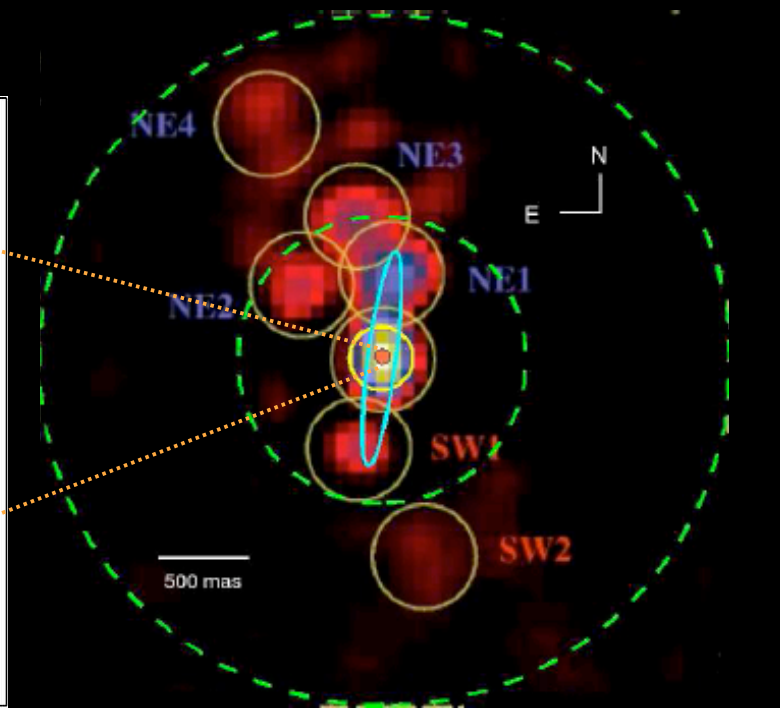


Noyaux ac



(Poncelet, Perrin & Sol, 2006)

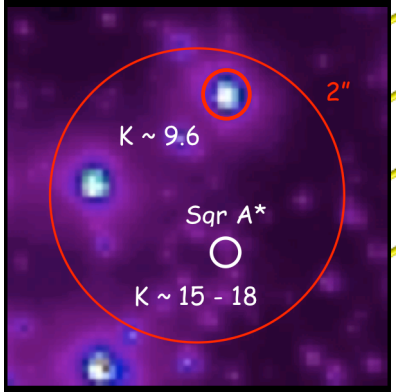


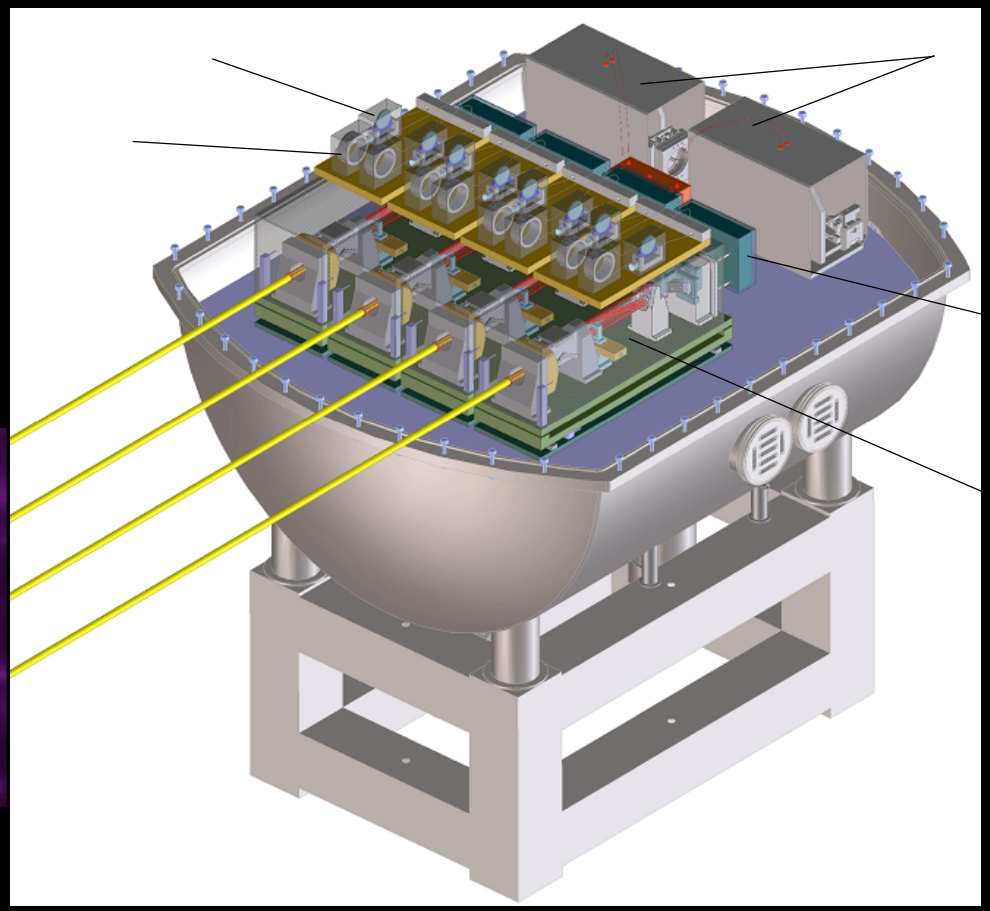


Où en est-on ?

Contrôleurs de polarisation

Lignes à retard fibrées





Spectrographes et recombinateurs

Caméras d'acquisition et de guidage

Injection dans les fibres

1ère lumière visée pour 2012-2013