

L'étude du trou noir supermassif au centre de la Galaxie avec l'instrument GRAVITY

Journée de l'action fédératrice GPhys

Guy Perrin

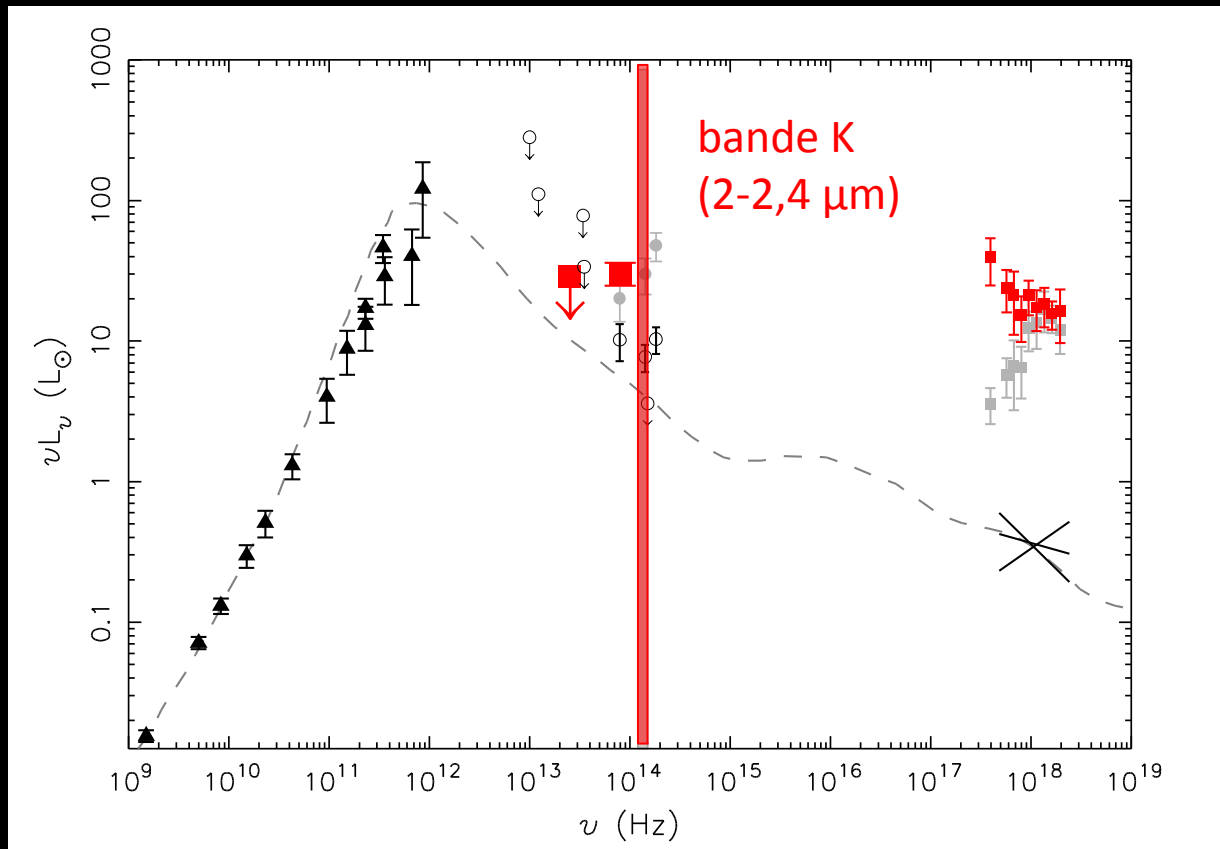


27 mai 2014

La direction du centre Galactique vue par
le satellite infrarouge Spitzer



Émission de Sgr A*



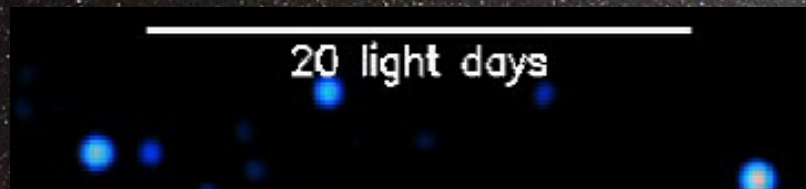
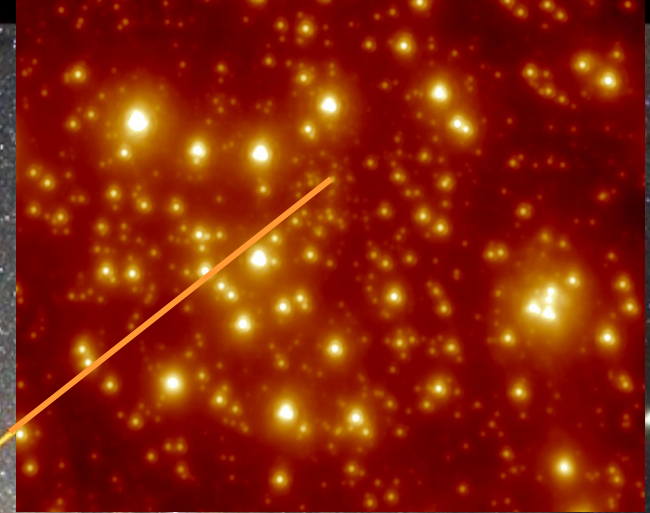
Dodds-Eden et al. (2009)

Dimensionné pour Sgr A *

32 magnitudes d'extinction dans le visible.

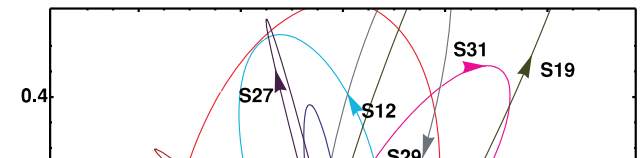
Rayon de l'horizon du *trou noir* : 10 μ as.

Étoiles ~ brillantes dans l'infrarouge proche, sursauts ~ brillants à 2,3 μ m -> bande K (2,0-2,4 μ m)



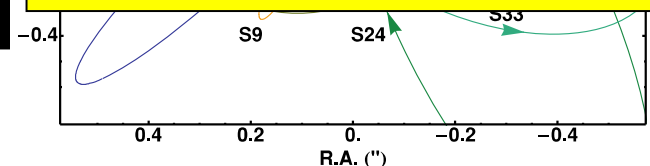
Objectifs :

- utiliser les sursauts comme particules-tests pour étudier la relativité générale en champ fort par astrométrie ;
- mesurer le *spin* du trou noir par imagerie du champ central d'étoiles ;
- tester le théorème d'absence de chevelure des trous noirs ;
- tester la nature de l'objet.



$$M_{\text{Sgr A}^*} = 3,61 \pm 0,32 \times 10^6 M_{\text{Soleil}}$$

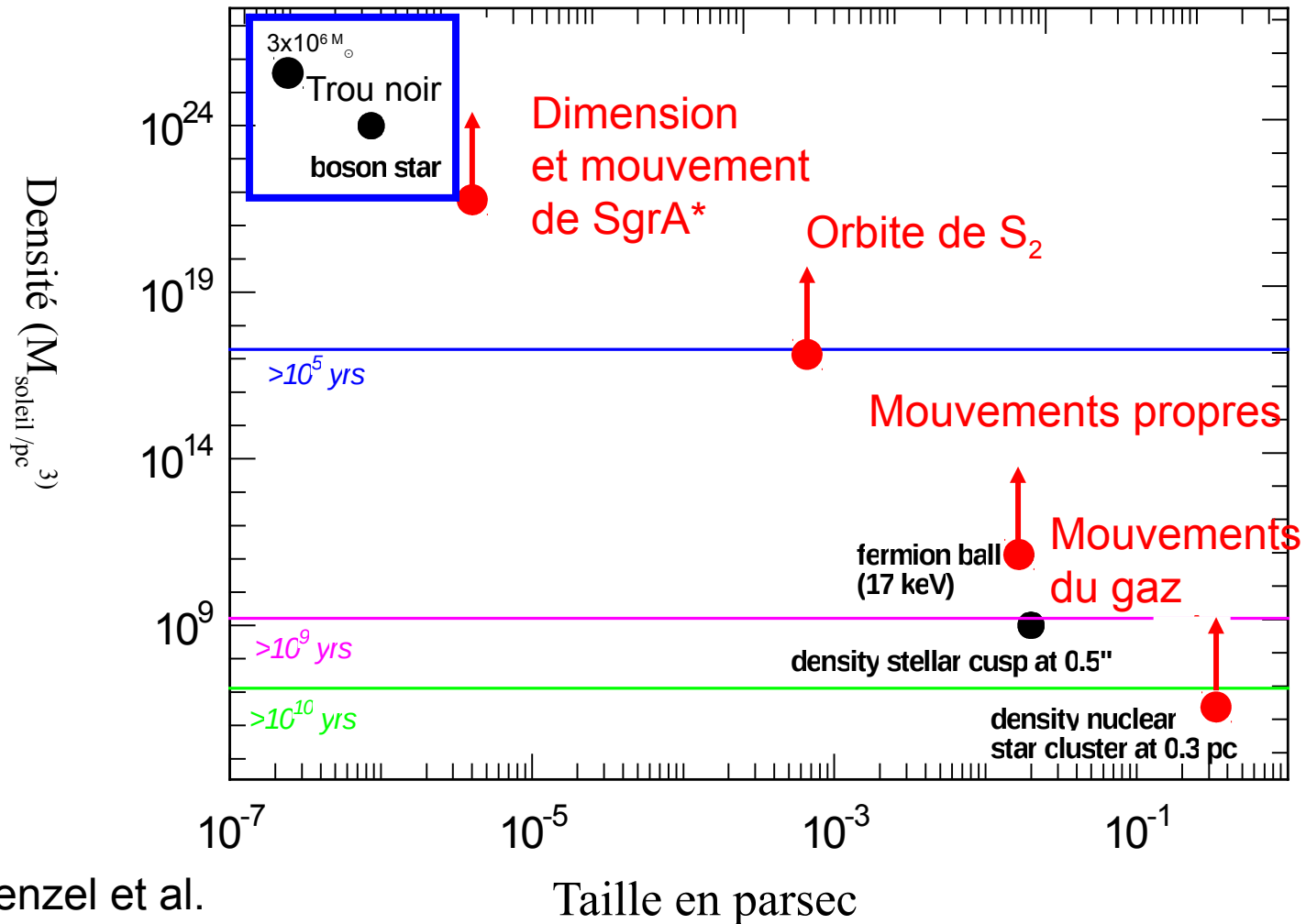
$$(d = 7,62 \pm 0,32 \text{ kpc})$$



Gillessen et al. (2009)

Genzel et al. (2003)

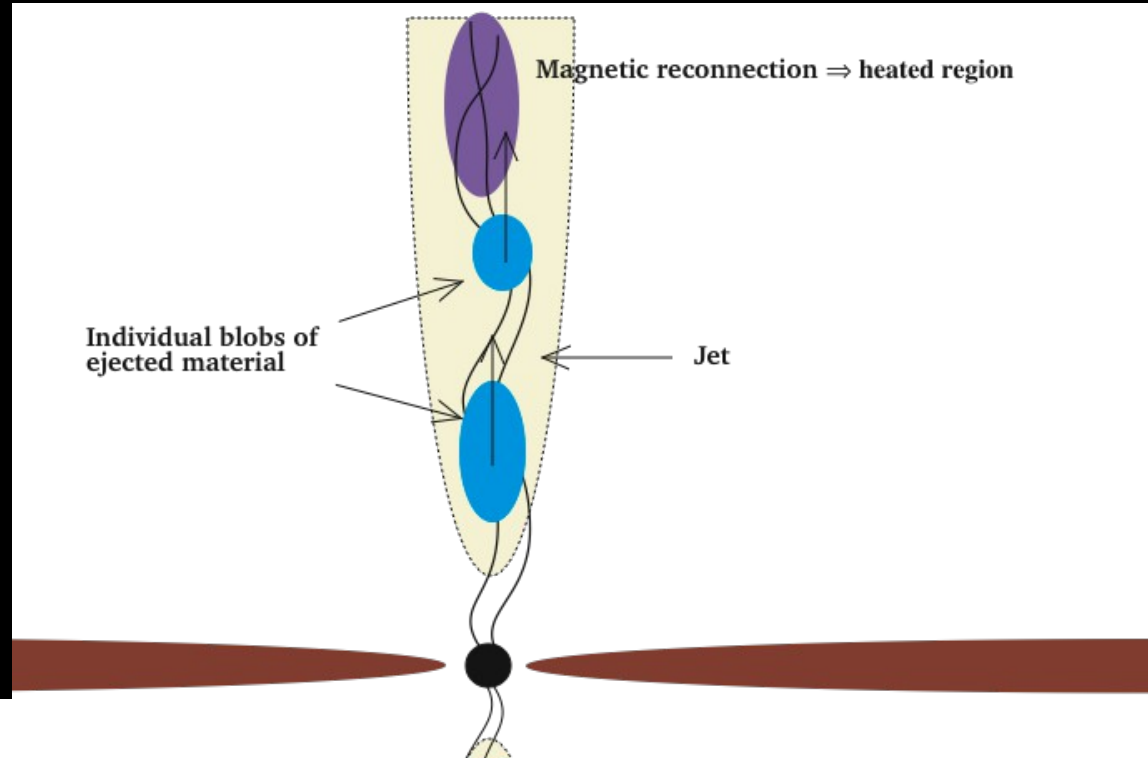
Quelle est la nature de Sgr A* ?



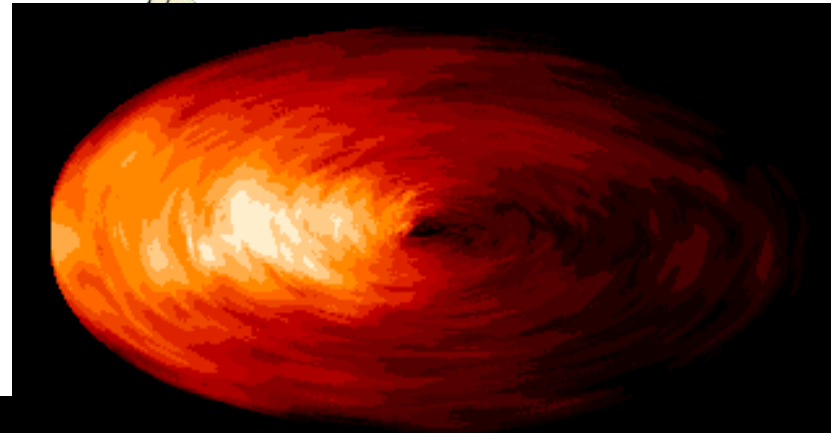
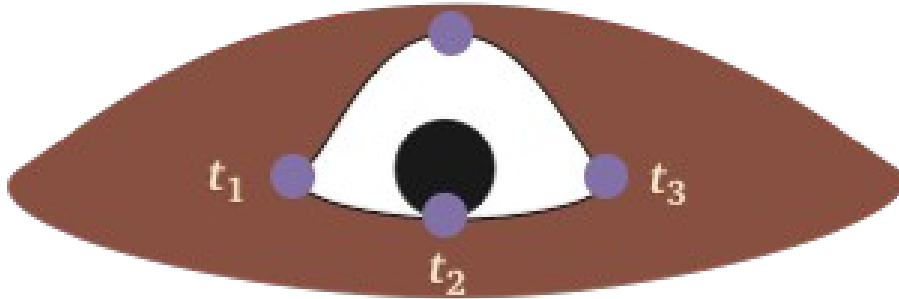
Nature des sursauts

Trois scénarios :

- reconnexion magnétique dans le jet
- point chaud en orbite
- fluctuations statistiques



Hot spot at t_0



Le consortium GRAVITY

Frank Eisenhauer, Guy Perrin, Wolfgang Brandner, Christian Straubmeier , Karine Perraut , Antonio Amorim , Markus Schöller, Reinhard Genzel, Pierre Kervella , Myriam Benisty, Sebastian Fischer , Laurent Jocou, Paulo Garcia, Gerd Jakob, Stefan Gillessen, Yann Clénet , Armin Boehm, Constanza Araujo-Hauck, Jean-Philippe Berger, Jorge Lima, Roberto Abuter, Oliver Pfuhl, Thibaut Paumard, Casey P. Deen, Michael Wiest , Thibaut Moulin, Jaime Villate, Gerardo Avila, Marcus Haug, Sylvestre Lacour , Thomas Henning, Senol Yazici , Axelle Nolot , Pedro Carvas, Reinhold Dorn, Stefan Kellner, Eric Gendron, Stefan Hippler, Andreas Eckart , Sonia Anton, Yves Jung, Alexander Gräter, Élodie Choquet , Armin Huber, Narsireddy Anugu , Philippe Gitton, Eckhard Sturm, Frédéric Vincent , Sarah Kendrew, Stefan Ströbele, Clemens Kister, Pierre Fédou, Ralf Klein, Paul Jolley, Magdalena Lippa, Vincent Lapeyrère, Natalia Kudryavtseva, Christian Lucuix, Ekkehard Wieprecht, Frédéric Chapron, Werner Laun, Leander Mehrgan, Thomas Ott, Gérard Rousset , Rainer Lenzen, Marcos Suarez, Reiner Hofmann, Jean-Michel Reess, Vianak Naranjo, Pierre Haguenaer, Oliver Hans, Arnaud Sevin , Udo Neumann, Jean-Louis Lizon, Markus Thiel, Claude Collin , Jose Ricardo Ramos, Gert Finger, David Moch, Daniel Rouan, Ralf-Rainer Rohloff, Markus Wittkowski, Richard Davies, Denis Ziegler , Karl Wagner, Henri Bonnet, Katie Dodds-Eden, Frédéric Cassaing, Pengqian Yang, Florian Kerber, Sebastian Rabien, Nabih Azouaoui, Frederic Gonte, Josef Eder, Vartan Arslanyan, Willem-Jan de Wit, Frank Hausmann, Roderick Dembet, Luca Pasquini, Harald Weisz, Pierre Lena, Mark Casali



Le consortium GRAVITY

Frank Eisenhauer, **Guy Perrin**, Wolfgang Brandner, Christian Straubmeier, **Karine Perraut**, Antonio Amorim, Markus Schöller, Reinhard Genzel, **Pierre Kervella**, **Myriam Benisty**, Sebastian Fischer, **Laurent Jocou**, Paulo Garcia, Gerd Jakob, Stefan Gillessen, **Yann Clénet**, Armin Boehm, Constanza Araujo-Hauck, Jean-Philippe Berger, Jorge Lima, Roberto Abuter, Oliver Pfuhl, **Thibaut Paumard**, Casey P. Deen, Michael Wiest, **Thibaut Moulin**, Jaime Villate, Gerardo Avila, Marcus Haug, **Sylvestre Lacour**, Thomas Henning, Senol Yazici, Axelle Nolot, Pedro Carvas, Reinhold Dorn, Stefan Kellner, **Eric Gendron**, Stefan Hippler, Andreas Eckart, Sonia Anton, Yves Jung, Alexander Gräter, **Élodie Choquet**, Armin Huber, Narsireddy Anugu, Philippe Gitton, Eckhard Sturm, **Frédéric Vincent**, Sarah Kendrew, Stefan Ströbele, Clemens Kister, **Pierre Fédou**, Ralf Klein, Paul Jolley, Magdalena Lippa, **Vincent Lapeyrère**, Natalia Kudryavtseva, Christian Lucuix, Ekkehard Wieprecht, **Frédéric Chapron**, Werner Laun, Leander Mehrgan, Thomas Ott, **Gérard Rousset**, Rainer Lenzen, Marcos Suarez, Reiner Hofmann, **Jean-Michel Reess**, Vianak Naranjo, Pierre Haguenaer, Oliver Hans, **Arnaud Sevin**, Udo Neumann, Jean-Louis Lizon, Markus Thiel, **Claude Collin**, Jose Ricardo Ramos, Gert Finger, David Moch, **Daniel Rouan**, Ralf-Rainer Rohloff, Markus Wittkowski, Richard Davies, **Denis Ziegler**, Karl Wagner, Henri Bonnet, Katie Dodds-Eden, **Frédéric Cassaing**, Pengqian Yang, Florian Kerber, Sebastian Rabien, **Nabih Azouaoui**, Frederic Gonte, Josef Eder, **Vartan Arslanian**, Willem-Jan de Wit, Frank Hausmann, **Roderick Dembet**, Luca Pasquini, Harald Weisz, **Pierre Lena**, Mark Casali



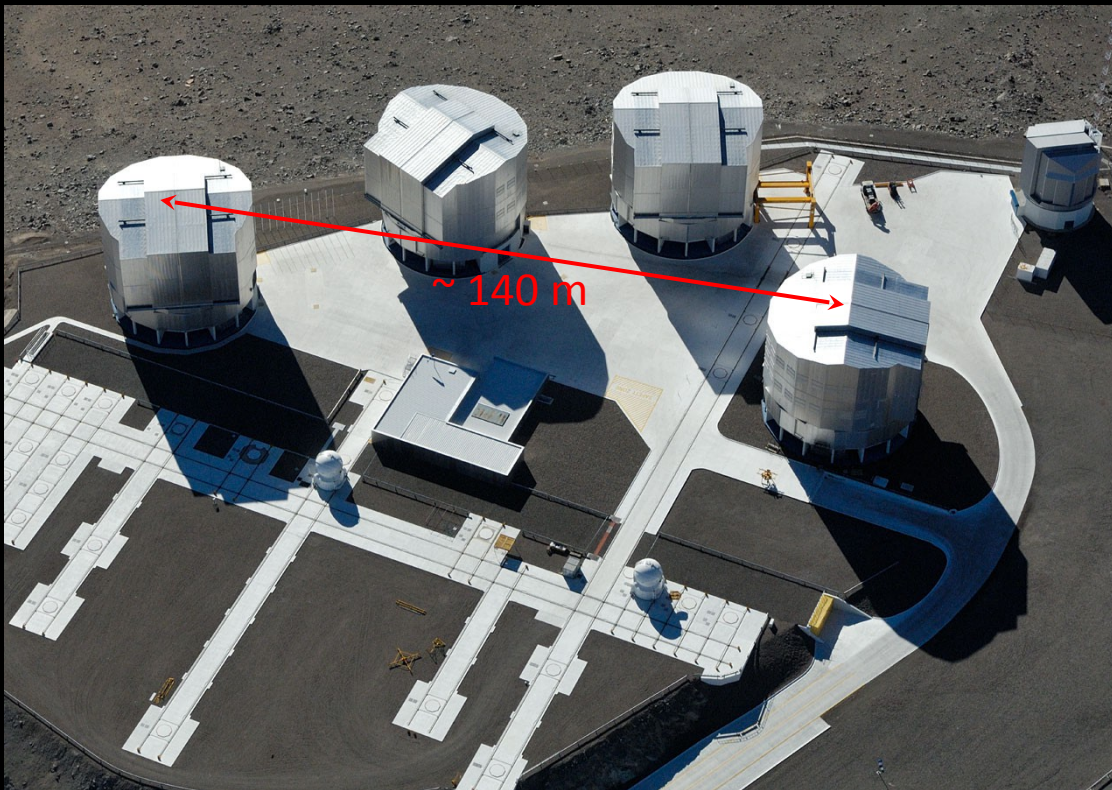
Le consortium GRAVITY

Frank Eisenhauer, **Guy Perrin**, Wolfgang Brandner, Christian Straubmeier , Karine Perraut , Antonio Amorim , Markus Schöller, Reinhard Genzel, **Pierre Kervella** , Myriam Benisty, Sebastian Fischer , Laurent Jocou, Paulo Garcia, Gerd Jakob, Stefan Gillessen, **Yann Clénet** , Armin Boehm, Constanza Araujo-Hauck, Jean-Philippe Berger, Jorge Lima, Roberto Abuter, Oliver Pfuhl, **Thibaut Paumard**, Casey P. Deen, Michael Wiest , Thibaut Moulin, Jaime Villate, Gerardo Avila, Marcus Haug, **Sylvestre Lacour** , Thomas Henning, Senol Yazici , Axelle Nolot , Pedro Carvas, Reinhold Dorn, Stefan Kellner, **Eric Gendron**, Stefan Hippler, Andreas Eckart , Sonia Anton, Yves Jung, Alexander Gräter, **Élodie Choquet** , Armin Huber, Narsireddy Anugu , Philippe Gitton, Eckhard Sturm, **Frédéric Vincent** , Sarah Kendrew, Stefan Ströbele, Clemens Kister, **Pierre Fédou**, Ralf Klein, Paul Jolley, Magdalena Lippa, **Vincent Lapeyrère**, Natalia Kudryavtseva, Christian Lucuix, Ekkehard Wieprecht, **Frédéric Chapron**, Werner Laun, Leander Mehrgan, Thomas Ott, **Gérard Rousset** , Rainer Lenzen, Marcos Suarez, Reiner Hofmann, **Jean-Michel Reess**, Vianak Naranjo, Pierre Haguenaer, Oliver Hans, **Arnaud Sevin** , Udo Neumann, Jean-Louis Lizon, Markus Thiel, **Claude Collin** , Jose Ricardo Ramos, Gert Finger, David Moch, **Daniel Rouan**, Ralf-Rainer Rohloff, Markus Wittkowski, Richard Davies, **Denis Ziegler** , Karl Wagner, Henri Bonnet, Katie Dodds-Eden, Frédéric Cassaing, Pengqian Yang, Florian Kerber, Sebastian Rabien, **Nabih Azouaoui**, Frederic Gonte, Josef Eder, **Vartan Arslanian**, Willem-Jan de Wit, Frank Hausmann, **Roderick Dembet**, Luca Pasquini, Harald Weisz, **Pierre Lena**, Mark Casali



GRAVITY combinera les 4 UT (8,20 m) du VLT ainsi que les 4 AT (1,80 m)

Résolution angulaire : 4 mas @ 2,2 μm



Mesure des orbites des étoiles proches

Image obtenue après une nuit d'observation :

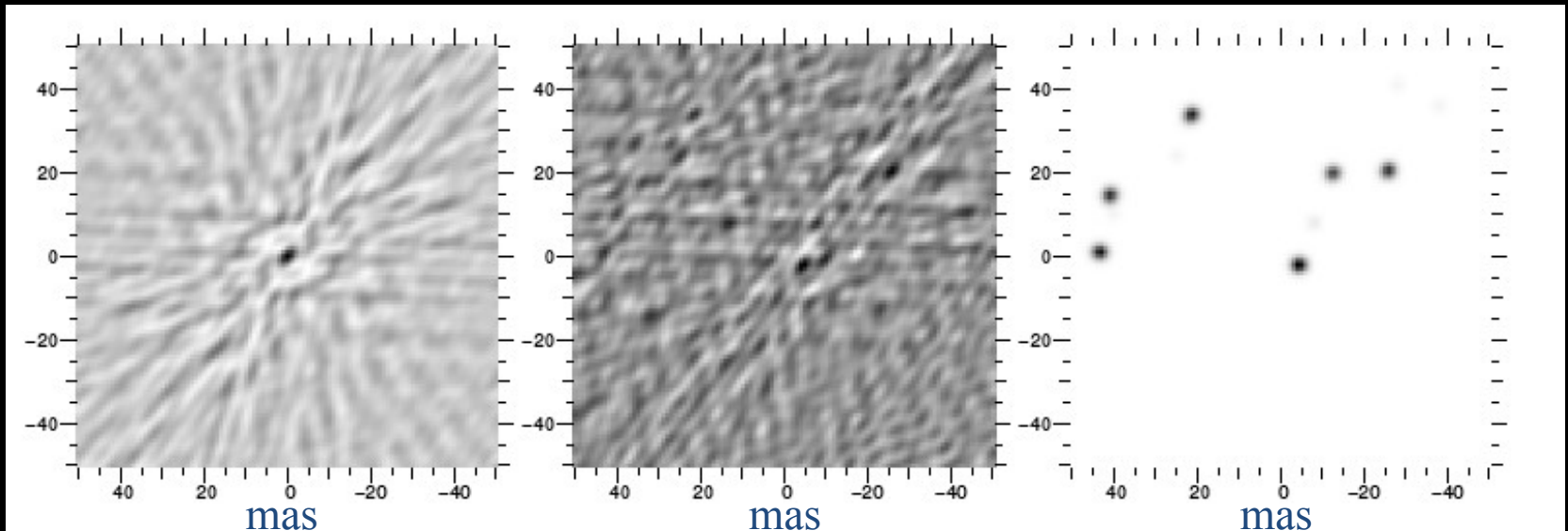


Image brute
d'une étoile

Image brute d'un
champ de 6 étoiles

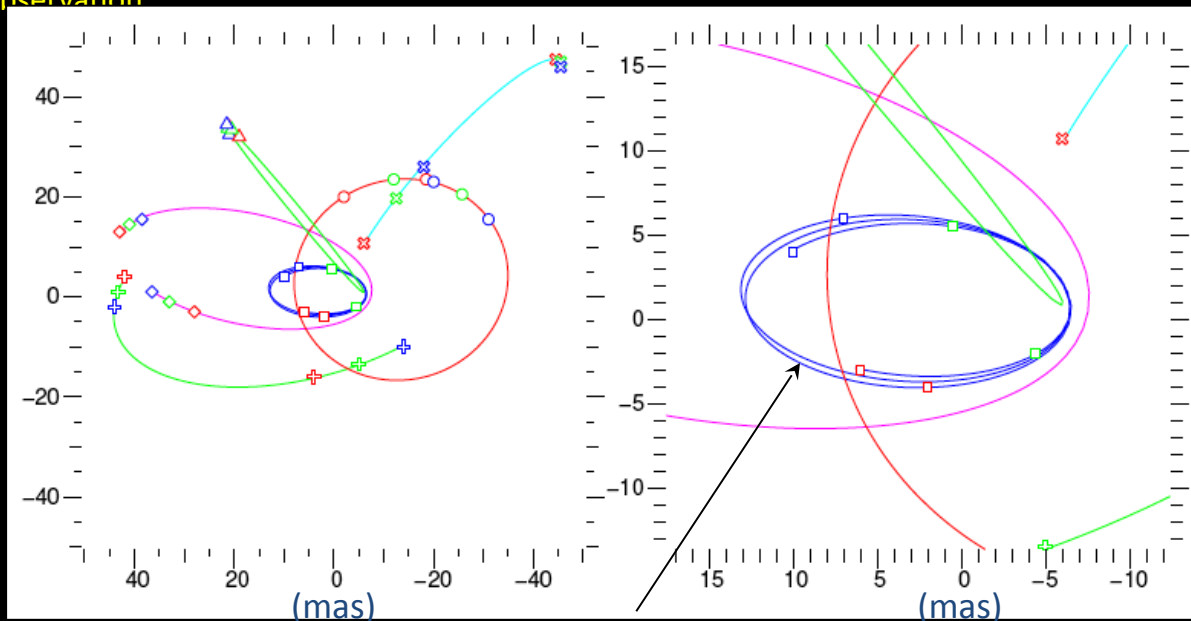
Après traitement
(déconvolution)

Mesure des effets de relativité générale avec l'amas central

Étoiles essentiellement inconnues

Résolution angulaire \sim quelques $100 R_s \sim$ quelques 1 mas

15 mois d'observation

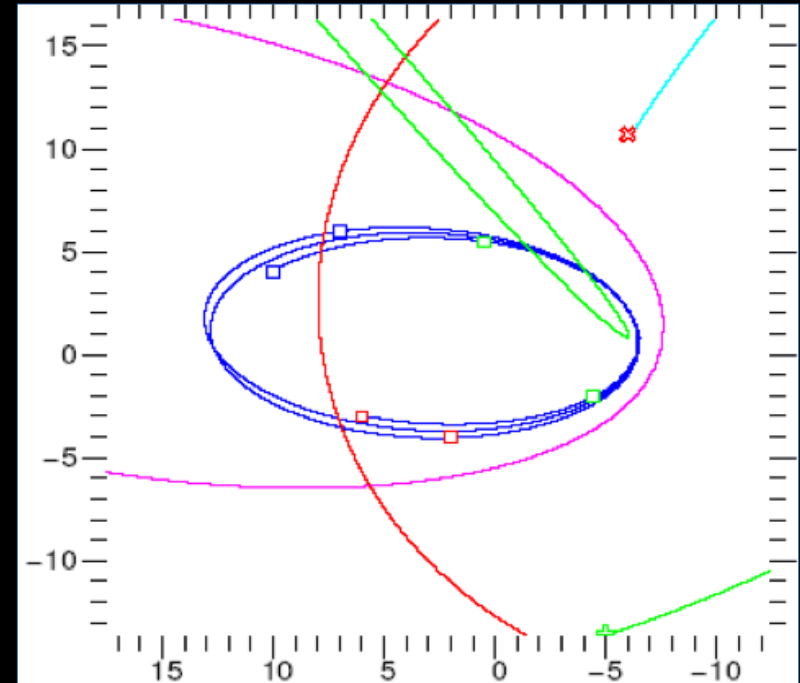
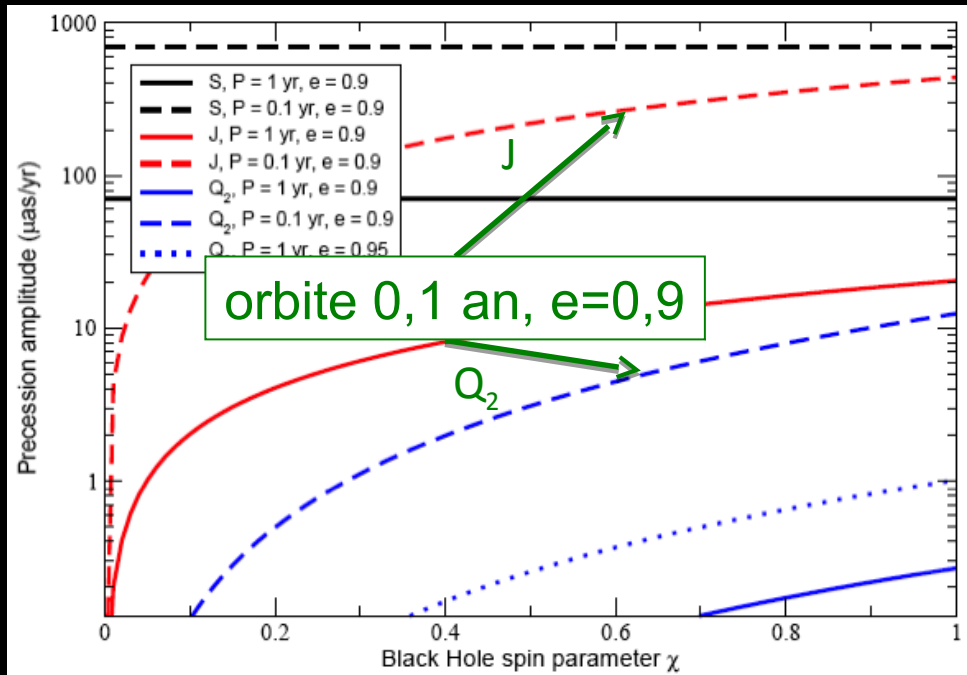


Système des étoiles S connues ramenées dans les 100 mas centrales

Précession relativiste dans la métrique de Schwarzschild

Effet Lens-Thirring et precession du moment quadrupolaire

Précession du plan de l'orbite (précession du vecteur de moment angulaire autour du spin)



Théorème de calvitie de Wheeler : un trou noir est entièrement décrit par 3 paramètres : masse M , spin J , charge électrique

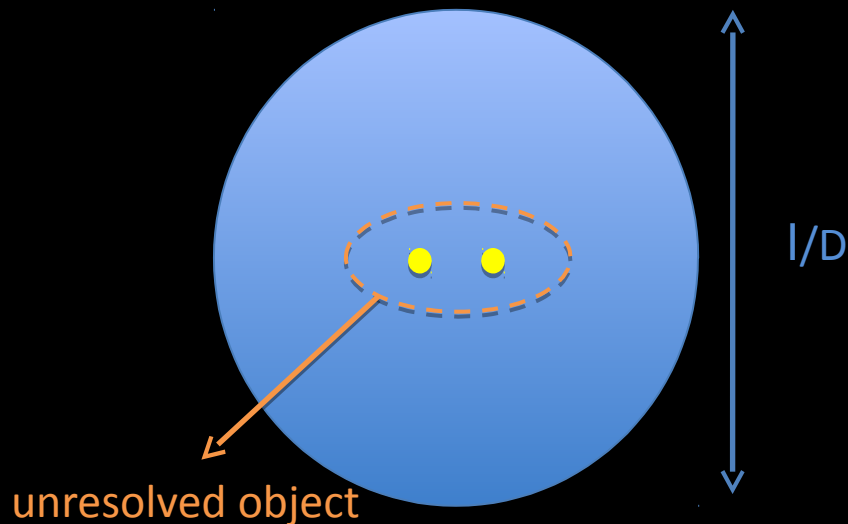
Le moment quadrupolaire vaut : $Q_2 = -J^2/M$

La mesure de la précession due à l'entraînement du référentiel devrait être possible en quelques années pour les orbites de taille 0,2 - 1 mpc (5 - 25 mas)

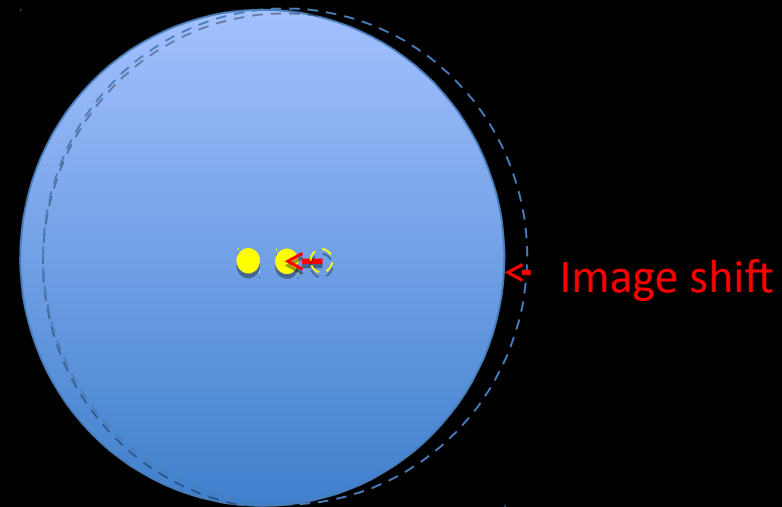
Merritt et al. (2010)

Angular accuracy in the near-infrared

- Instrument size limited to ~ 100 m
- Angular resolution limited to a few mas i.e. a few $100 R_s$

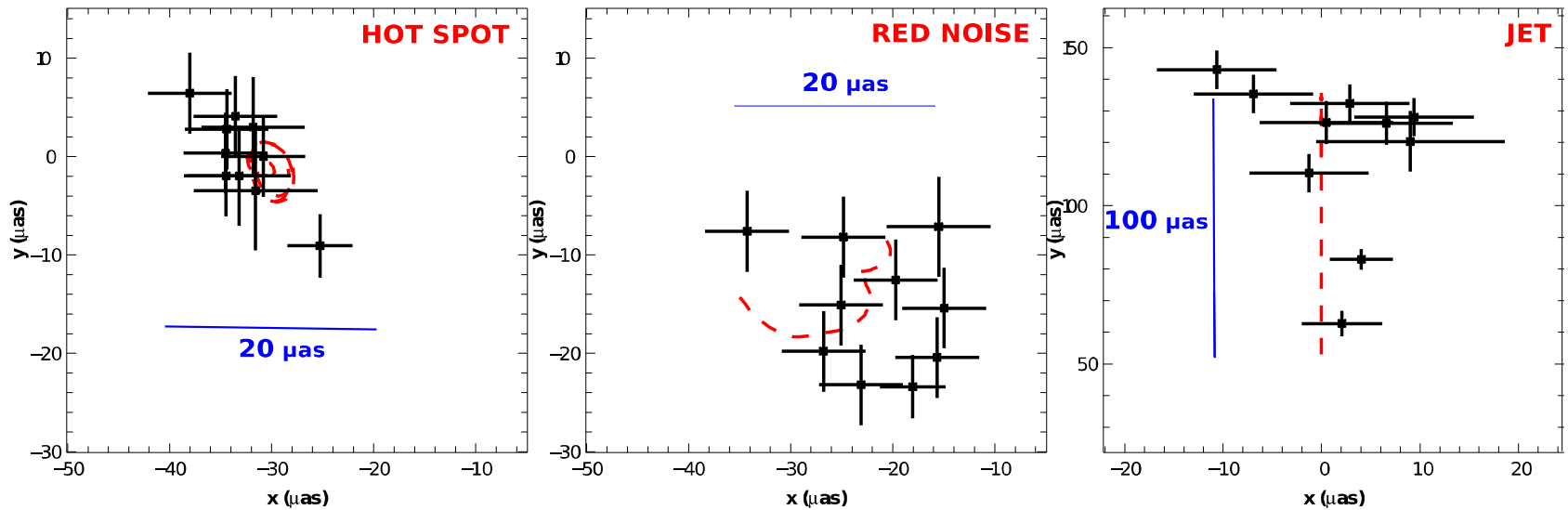


The accuracy of image shift measurement can be as small as $1/100$ - $1/1000$ of the diffraction limit.



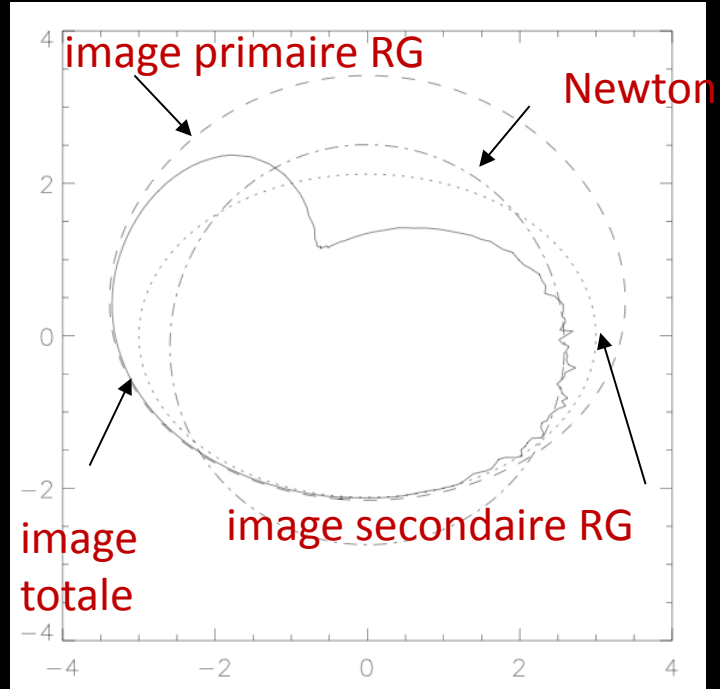
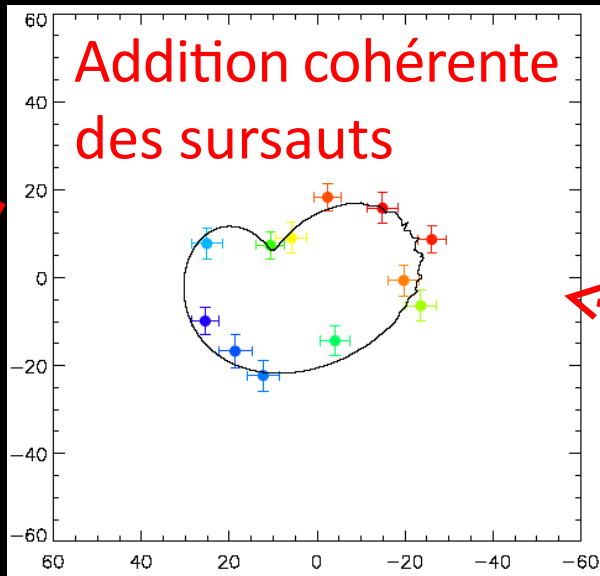
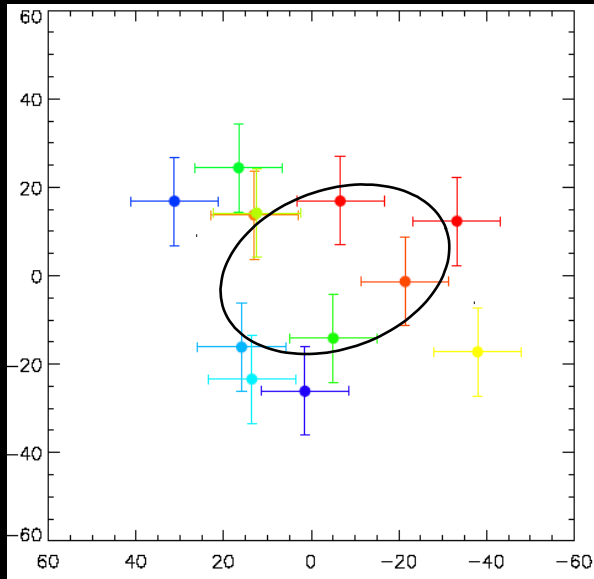
Angular motions at the R_s scale are measurable in the near infrared with a long baseline (~ 100 m) interferometer.

Modèles de sursauts (simulations GYOTO+GRAVISIM)

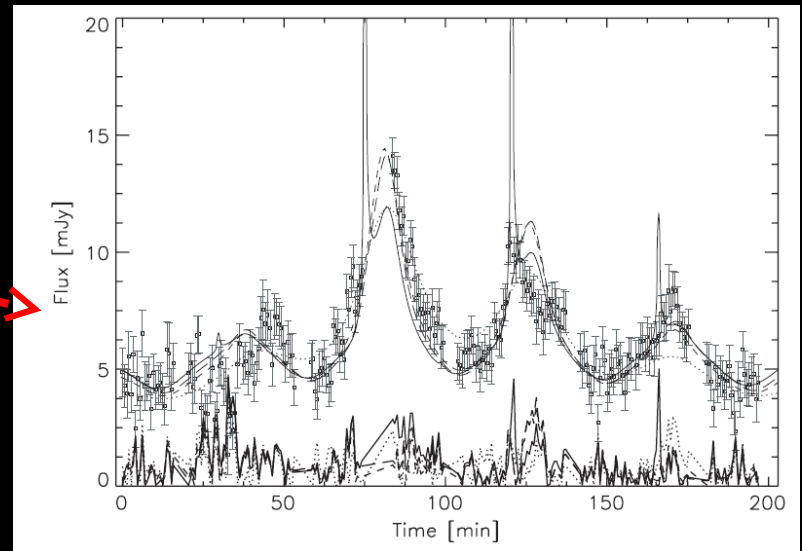


Vincent et al. (2014)

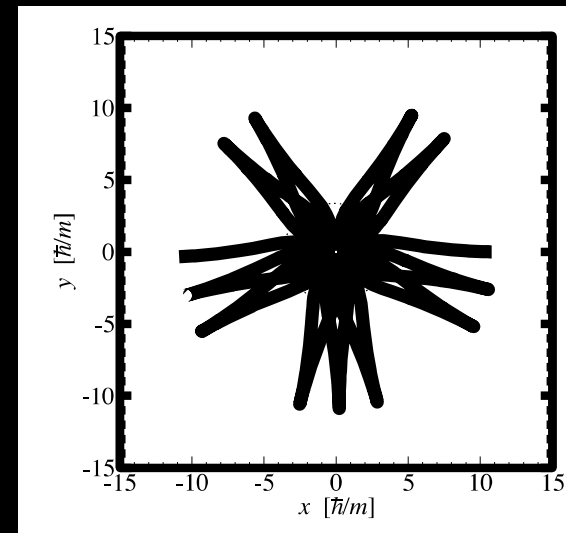
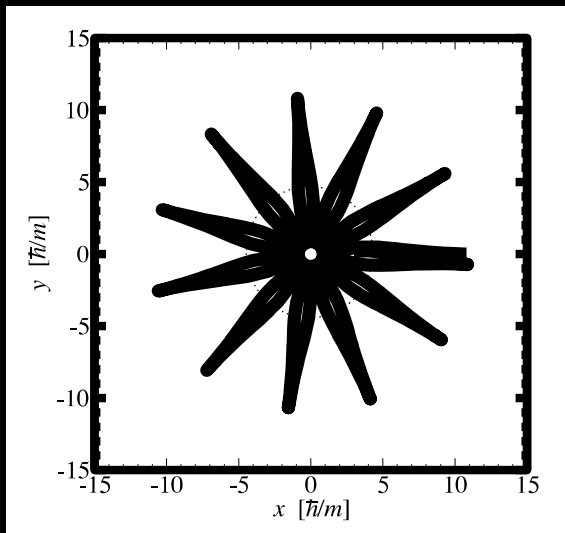
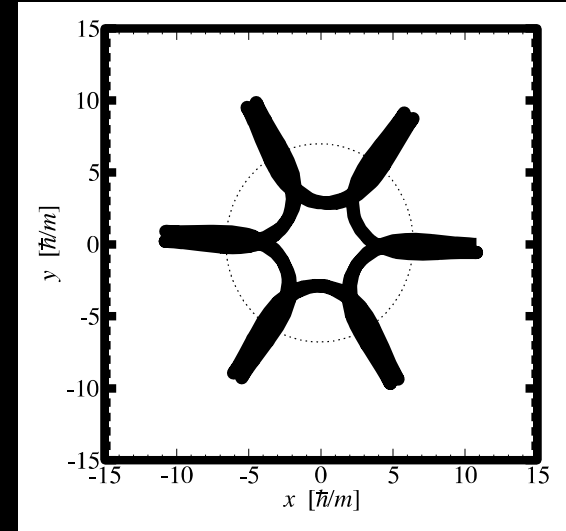
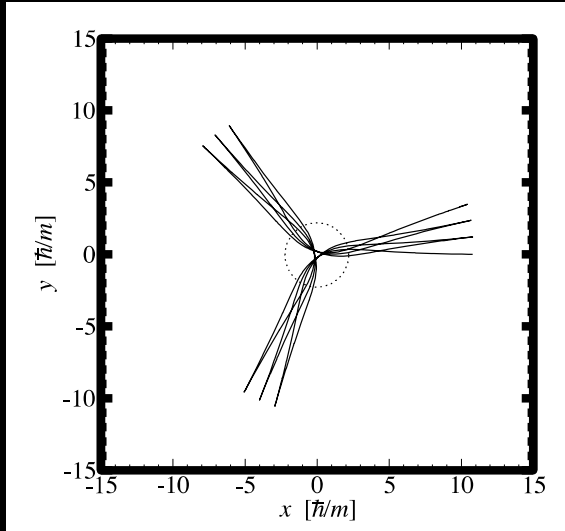
Mesure du spin et de son inclinaison



Ajustement simultané de la courbe de lumière et de l'orbite astrométrique



Orbites autour d'une étoile à bosons (trajectoire initiale radiale)



~ 100 μs
dans le cas
de Sgr A*

GRAVITY : chiffres clés

Étapes :

- début du projet en 2006
- Final Design Review : fin 2011 – début 2012
- installation sur le VLTI mi-2015

Suivi de franges :

- UT (8 m) : $K \sim 10$
- AT (1,8 m) : $K \sim 7$

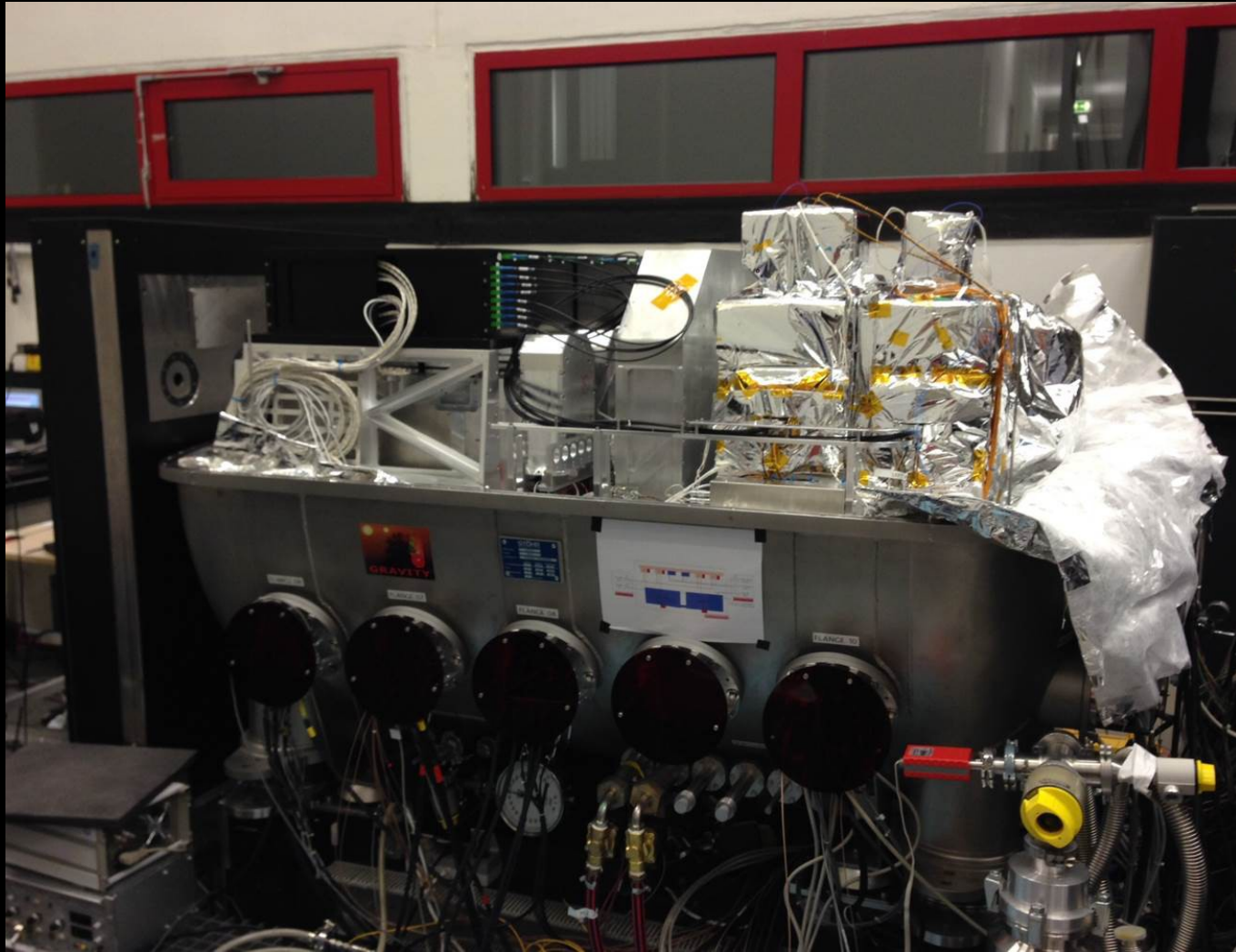
Astrométrie :

- (\geq) 10 μ as en 5 minutes

Imagerie interférométrique :

- UT : $K \sim 16$, AT : $K \sim 13$ en 100s
- $\text{SNR}(V) = 10$ pour la visibilité
- $s(f) = 0,1$ rad en référence de phase

Cryostat GRAVITY à MPE (Garching)





Semaine de l'Astrophysique Française

3 juin - 6 juin 2014



S05

ACCUEIL

PROGRAMME

INSCRIPTION/MODIFICATION

INFORMATIONS PRATIQUES

COMITÉ D'ORGANISATION

SPONSORS

Atelier de préparation à l'exploitation scientifique de l'instrument GRAVITY

	Mardi 3 juin	Mercredi 4 juin	Jeudi 5 juin	Vendredi 6 juin
matin 9h- 12h30	S00	S00	S00	S00
pause- midi				
après- midi 14h- 18h	S03 S05 S07 S10 S12	S01 S04 S05 S06 S10	S02 S08 S09 S11 S13	S02 S08 S09
soir	20 h Conférence publique	après-midi : Remise des prix du concours en soirée : Conférence grand public par André Brahic à la Maison des Associations de Solidarité	en fin de journée : Remise des prix SF2A et cocktail dans le péristyle de la Sorbonne	

Merci de votre attention