

Images haute résolution d'évènements de microlentilles Exoplanètes froides et exolunes

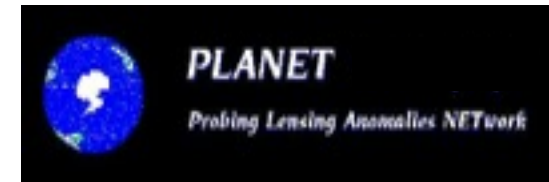
Virginie Batista

Jean-Philippe Beaulieu

Institut d'astrophysique de Paris

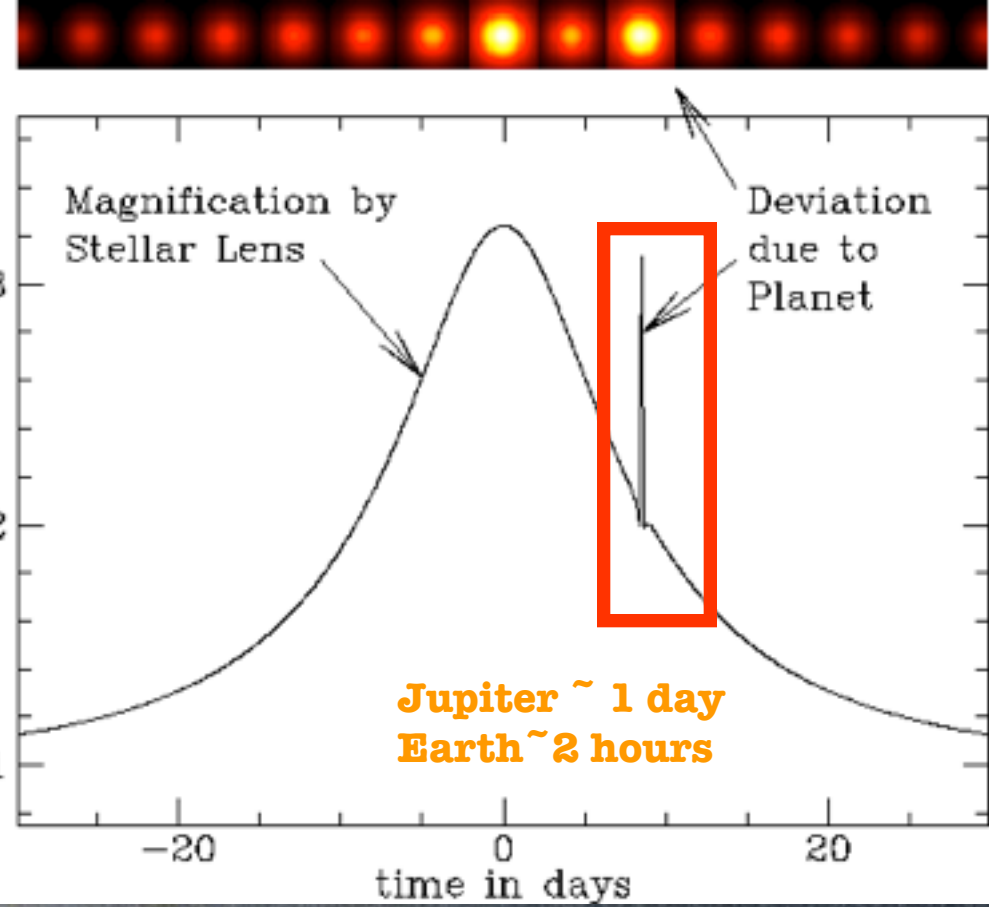
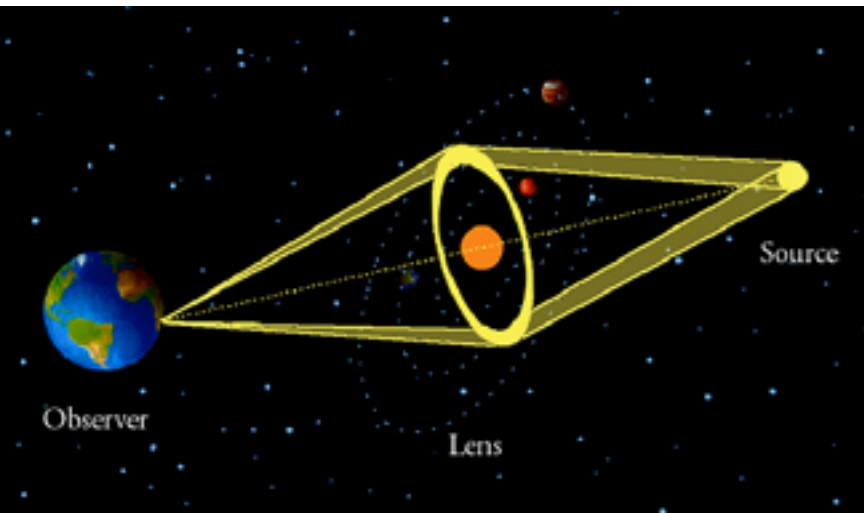
Colloque DIM ACAV

Novembre 2014

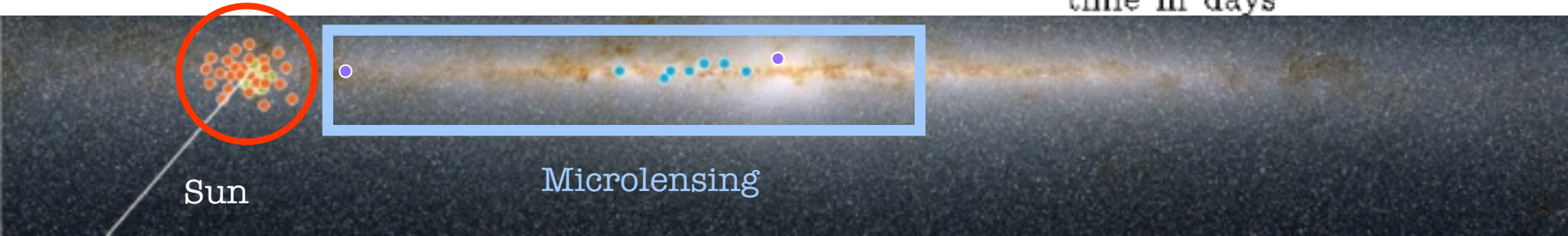


Projet soutenu par l'attribution d'une allocation post-doctorale Région Ile-de-France

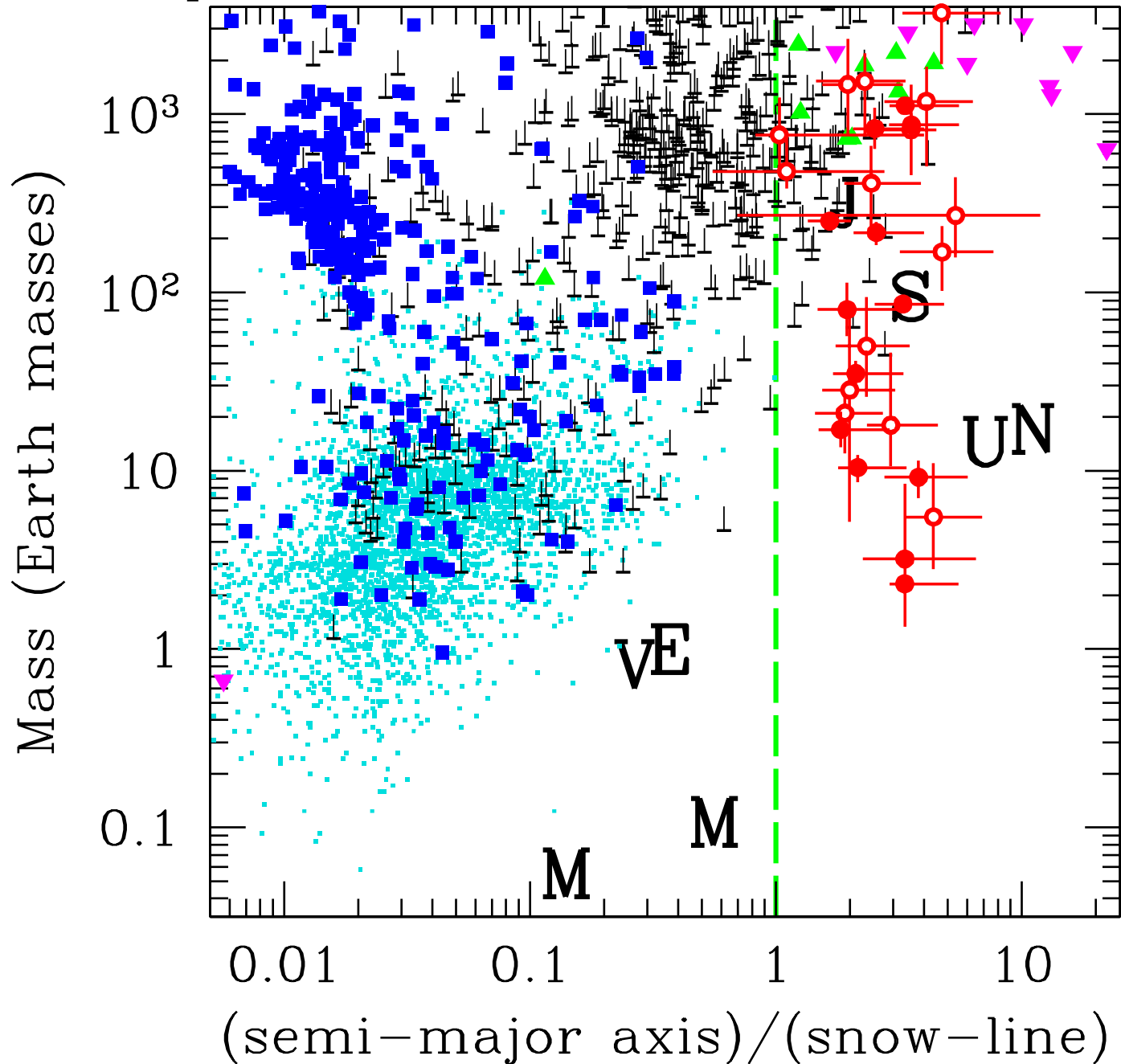
Détection de planètes par microlentilles



Radial velocities & transits



Exoplanet Discoveries vs. Snow Line



Masse et distance du système

Paramètres robustes issus de la modélisation des événements de microlentilles :

- Rapport de masse $q = M^*/M_p$
- Séparation planète - étoile en unités de rayon d'Einstein R_E
- Temps caractéristique de l'évènement t_E

Obtention des paramètres en unités physiques (masse étoile, masse planète, distance en AU, distance du système en kpc) :

- Mesure de parallaxe

$$M_L = \frac{c^2}{4G} \theta_E^2 \frac{D_S D_L}{D_S - D_L}$$

$$\pi_E = \sqrt{\frac{\pi_{\text{rel}}}{\kappa M_L}}$$

- Modèles Galactiques
- Détection de la lentille par images à haute résolution (optique adaptative ou HST) et contrainte sur sa masse par fonction masse-luminosité

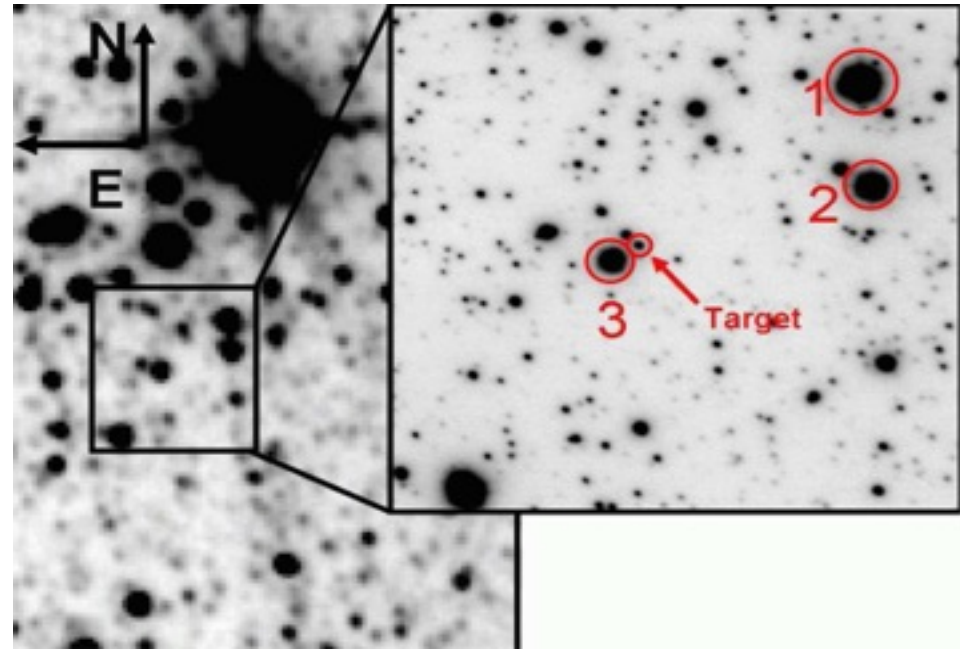
High resolution imaging - Adaptive Optics

- Champs microlentilles très encombrés (centre galactique)

=> Target = source + lentille + blending stars

$$F(t) = F_{\text{source}} \times A(t) + F_{\text{blend}}$$

$$F_{\text{blend}} = F_{\text{lens}} + F_{\text{background}}$$



➡ Isoler la cible source+lentille des autres étoiles du champ

➡ Mesure du flux de la lentille par soustraction du flux de la source

HST, KECK et SUBARU (OA)

Keck (Hawaï, NASA) : PI Batista 2012 & 2013, collaborateurs : Beaulieu, Bennett, Fukui.

Subaru (Hawaï, Japan) : PI Fukui (Batista, Beaulieu, Bennett)

HST : PI Bennett 2011

18 planètes microlentilles observées, parmi elles :

- **MOA-2011-BLG-293Lb** : planète gazeuse dans la zone habitable
- **MOA-2011-BLG-262Lb** : premier candidat exolune, planète errante
- **OGLE-2005-BLG-169Lb** : première mesure du mouvement propre relatif entre la lentille et la source
- **OGLE-2012-BLG-0026Lb,c** : système triple, deux planètes gazeuses

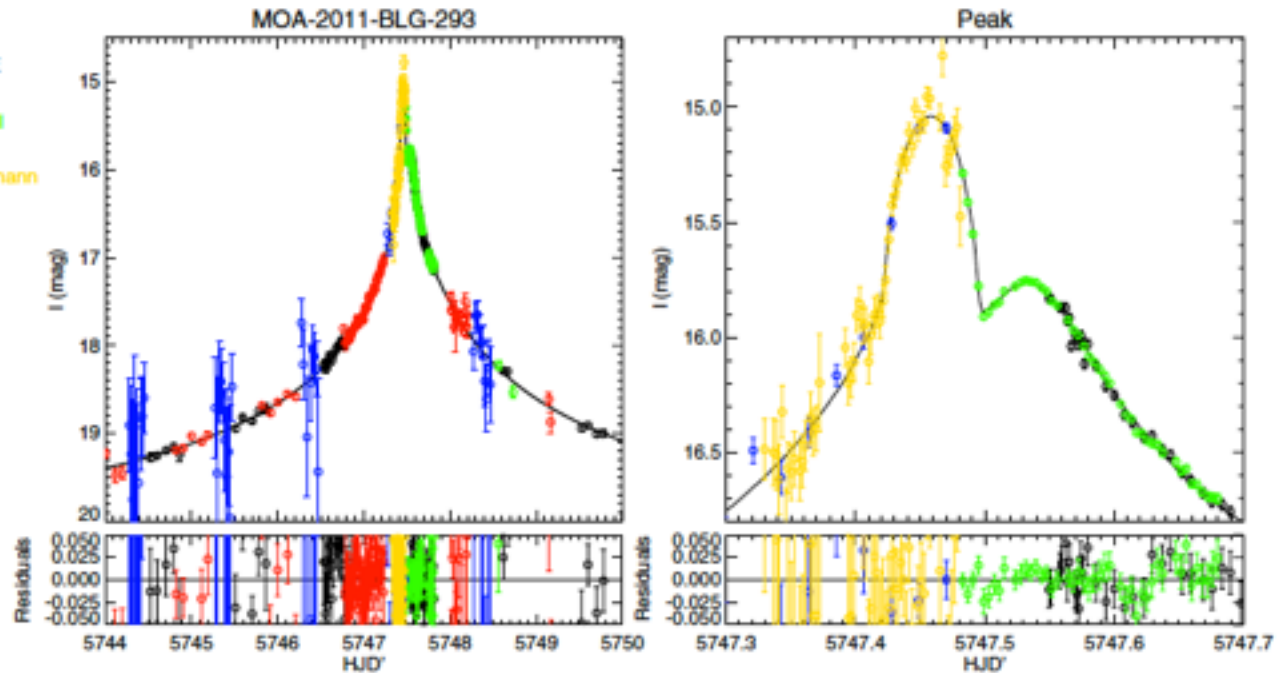
MOA-2011-BLG-293

Yee et al. 2012

$$\bar{M}_L = 0.43^{+0.27}_{-0.17} M_{\odot}$$

$$m_p = 2.4^{+1.5}_{-0.9} M_{\text{Jup}}$$

Pas de parallaxe
Modèles galactiques



Is it another candidate for super-Jupiters population around M-dwarfs?

Keck images of MOA-2011-BLG-293

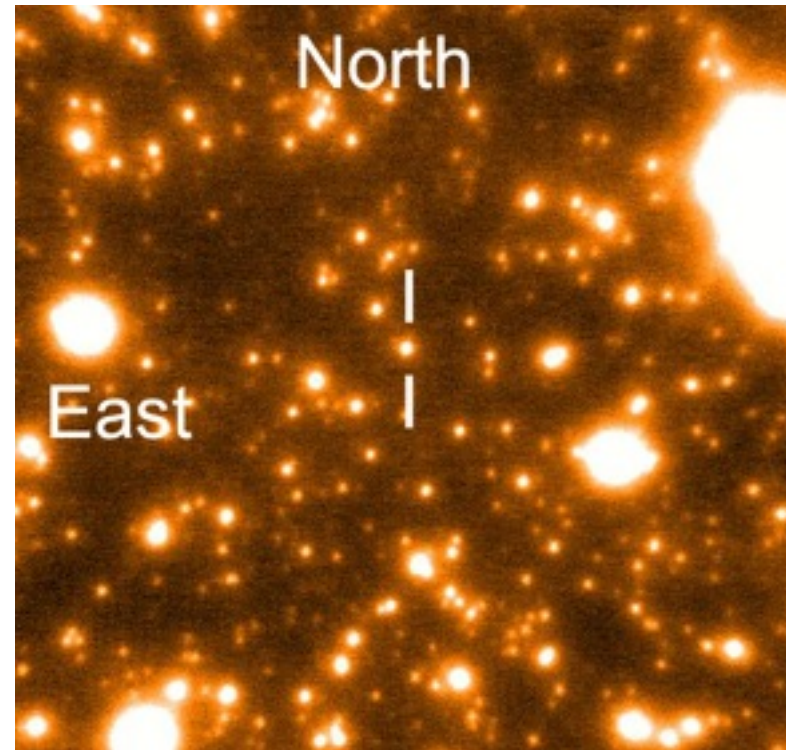
$$H_{s,CTIO,fit} = 19.20 \pm 0.05$$

$$H_{target,keck} = 18.43 \pm 0.03$$

→ Détection d'un excess de flux

→ Flux de la lentille :

$$H_{Lens} = 19.16 \pm 0.06$$



Lens mass estimate

$$m_H = H_L - A_H - 5 \log(D_L/10 \text{ pc})$$

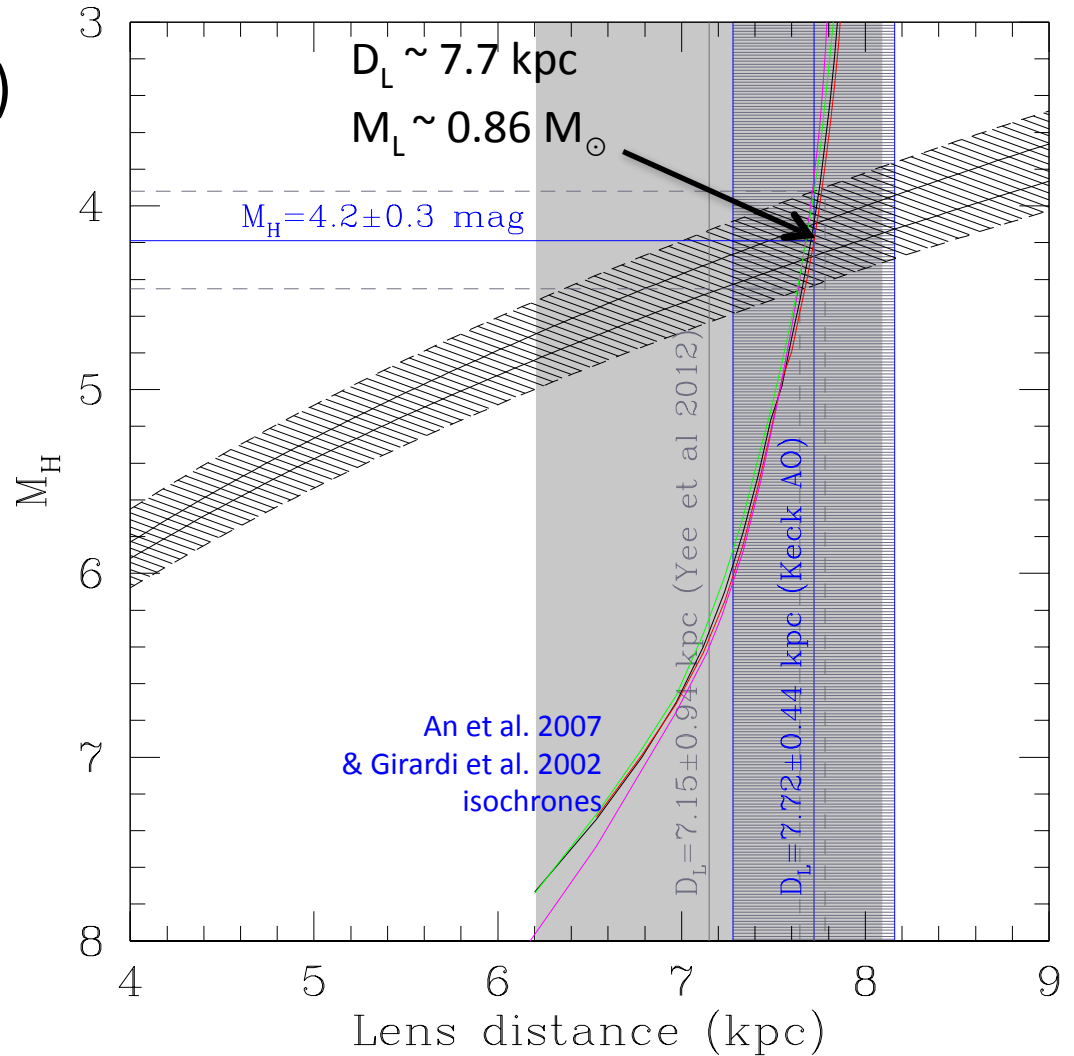
Cardelli and Nishiyama laws for extinction ($0.47 < A_h < 0.65$)

Isochrones from An et al. 2007 and Girardi et al. 2002

Mass-distance relation from θ_E

→ The lens is a late G-dwarf instead of an M-dwarf

→ Planète dans la zone habitable, $r = 1.1 \text{ UA}$



Batista et al. 2014a

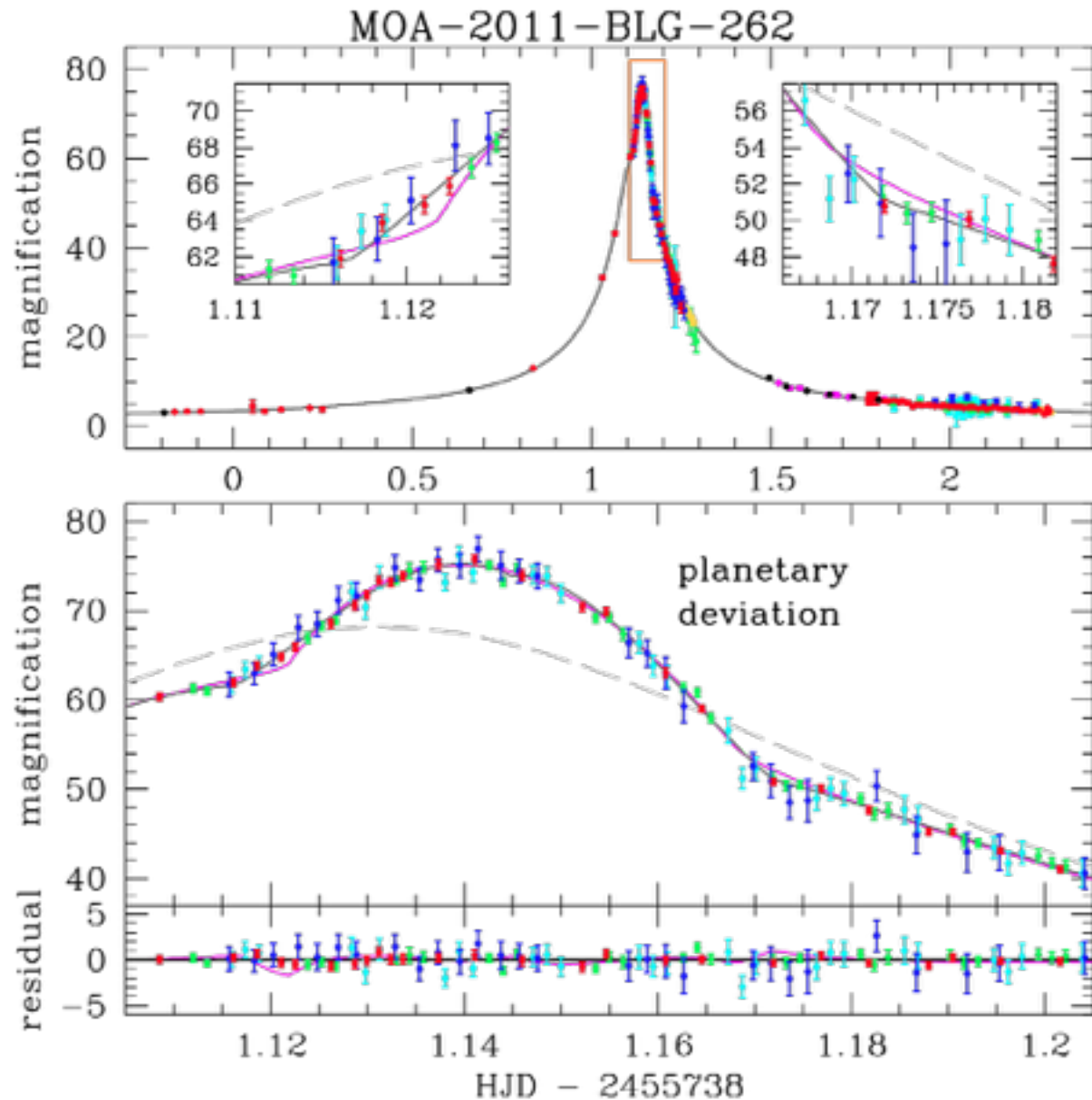
MOA-2011-BLG-262 : premier candidat exolune

Bennett et al. 2014

- MOA
- Canopus
- MJUO-I
- MJUO-V
- CTIO
- OGLE
- FTS

2 Models

t	3.83	3.86
u	0.0147	0.0147
q	4.6×10	4.4×10
s	0.958	0.926
θ	1.810	1.811
t	0.0132	0.0222
$\Delta\chi$	0	~ 3



Exolune + géante gazeuse OU Neptune autour d'une naine brune

$M_{\text{host}} = 3.6 M_{\text{Jup}}$
 $m_{\text{comp}} = 0.54 M_{\text{Earth}}$
 $a_{\text{perp}} = 0.13 \text{ AU}$
 $D_L = 0.64 \text{ kpc}$

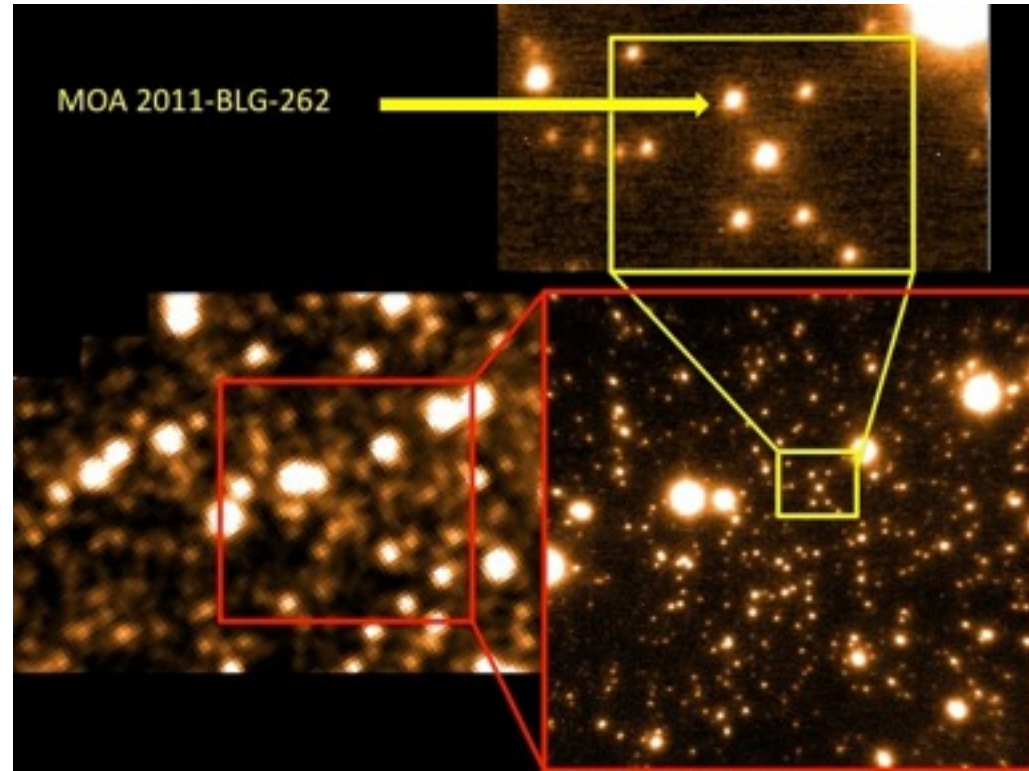
OR

$M_{\text{host}} = 0.12 M_{\text{Sun}}$
 $m_{\text{comp}} = 18 M_{\text{Earth}}$
 $a_{\text{perp}} = 0.84 \text{ AU}$
 $D_L = 7.2 \text{ kpc}$

Keck AO observations

Target detected
No additional flux from the lens

Bennett et al. 2014

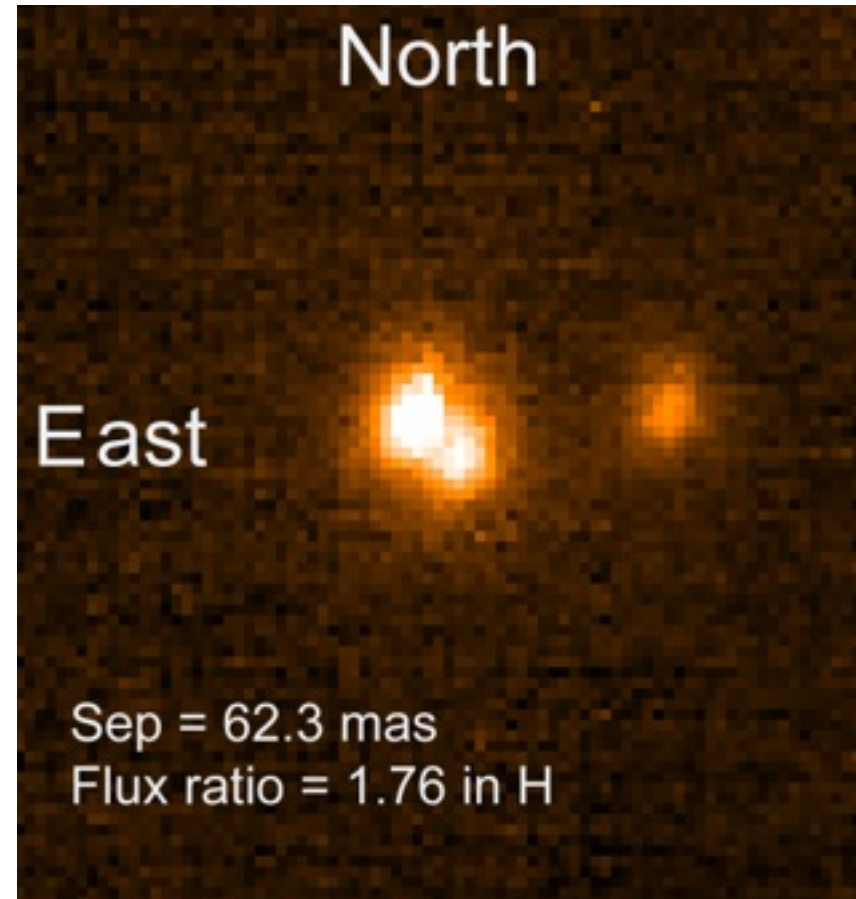
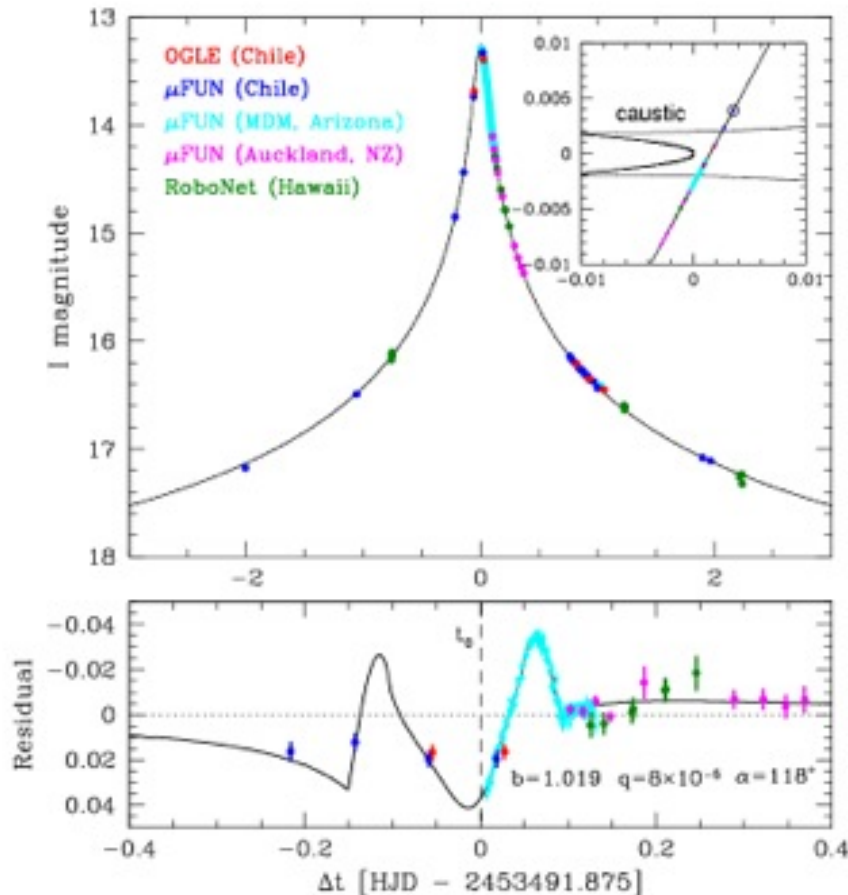


OGLE-2005-BLG-169Lb

Gould et al. 2006

A Neptune around a main sequence star

Première mesure de vitesse relative source/lentille, 8 ans après l'évènement !!



Première confirmation des paramètres issus de la modélisation d'une microlentille

Gould et al. 2006

$$\mu_{\text{rel}} = 8.4 \pm 1.7 \text{ mas/yr}$$

$$M_L = 0.49 \pm 0.25 M_{\odot}$$

$$M_p \sim 13 M_{\text{earth}}$$

$$r \sim 2.7 \text{ UA}$$

$$D_L = 2.7 \pm 1.5 \text{ kpc}$$

Batista et al. 2014b

$$\mu_{\text{rel}} = 7.44 \pm 0.17 \text{ mas/yr}$$

$$M_L = 0.66 \pm 0.04 M_{\odot}$$

$$M_p = 12.0 \pm 1.4 M_{\text{earth}}$$

$$r = 4.0 \pm 1.5 \text{ UA}$$

$$D_L = 3.9 \pm 0.4 \text{ kpc}$$

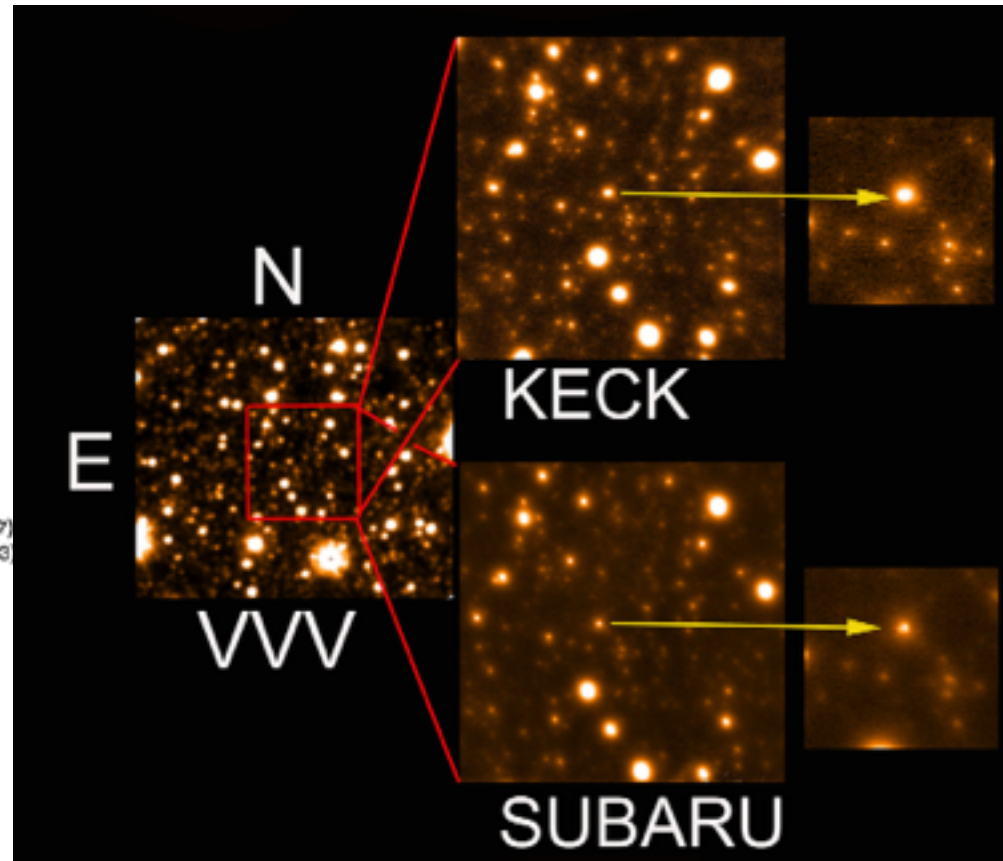
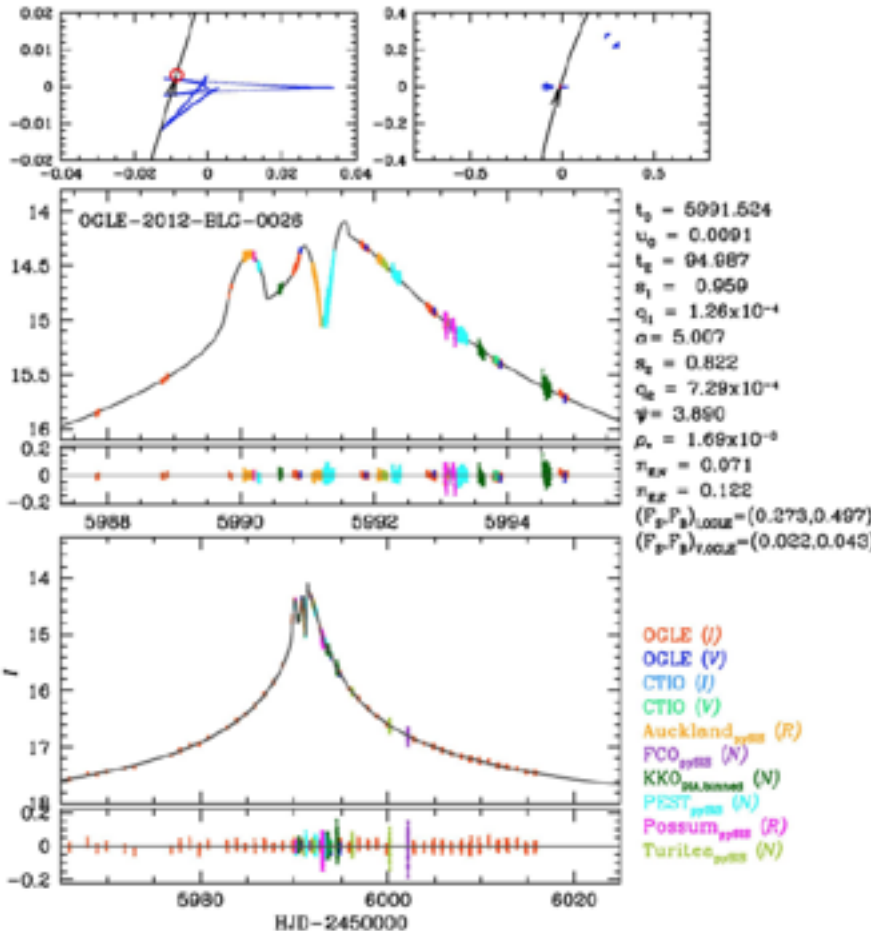
OGLE-2012-BLG-0026Lb,c

Han et al. 2013

2 cold giant planets orbiting
a G main sequence star

Beaulieu et al. 2014

Observations KECK + SUBARU



Confirmation de Han et al. 2013

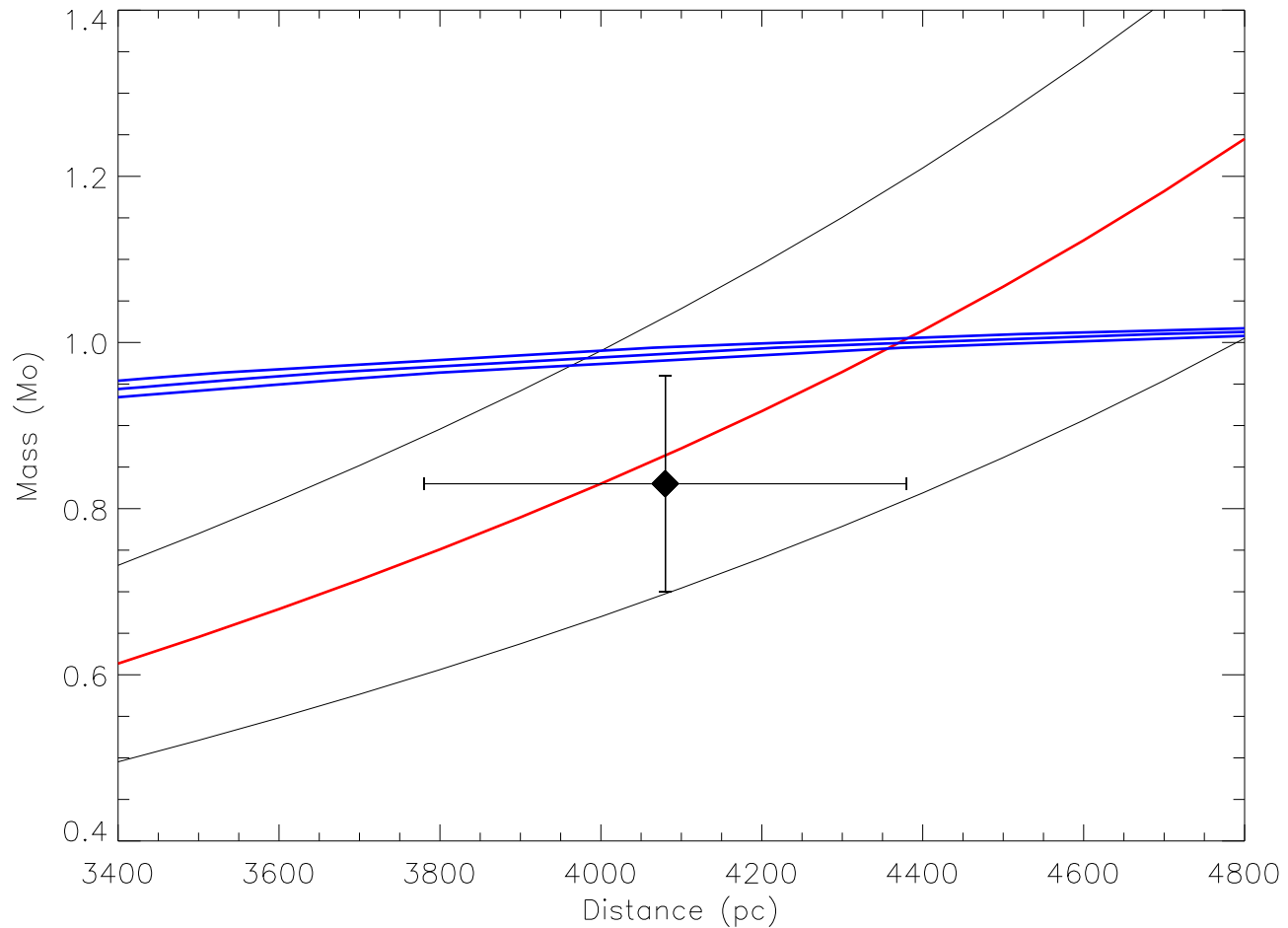
Han et al. 2013

$M_L = 0.83 \pm 0.25 M_\odot$
 $M_1 = 0.64 M_{\text{Jup}}$
 $M_2 = 37.5 M_{\text{earth}}$
 $r_1 = 3.03 \text{ UA}$
 $r_2 = 3.53 \text{ UA}$
 $D_L = 3.8 \pm 0.7 \text{ kpc}$

Beaulieu et al. 2014

$M_L = 1.00 \pm 0.03 M_\odot$
 $D_L = 4.3 \pm 0.2 \text{ kpc}$

Beaulieu et al 2014



CONCLUSION

Intérêt des observations complémentaires à haute résolution :

- Détection de la lentille
- Raffinement des paramètres du système
- Détection de la vitesse propre lentille/source

Perspectives futures en microlentilles :



- observations depuis l'espace avec WFIRST
- tests espace/sol effectués avec Spitzer pour mesure de parallaxe
- réseau télescopes grand champ automatisés avec OGLE, MOA et KMNET



Projet soutenu par l'attribution d'une allocation post-doctorale Région Ile-de-France

Mass-Distance Relation

$$\theta_E = \theta_* t_E/t_*$$

$$= 0.205 \text{ mas}$$

Mean proper motion of a star in the bulge:

$$\mu \sim 6.4 \text{ mas/yr}$$

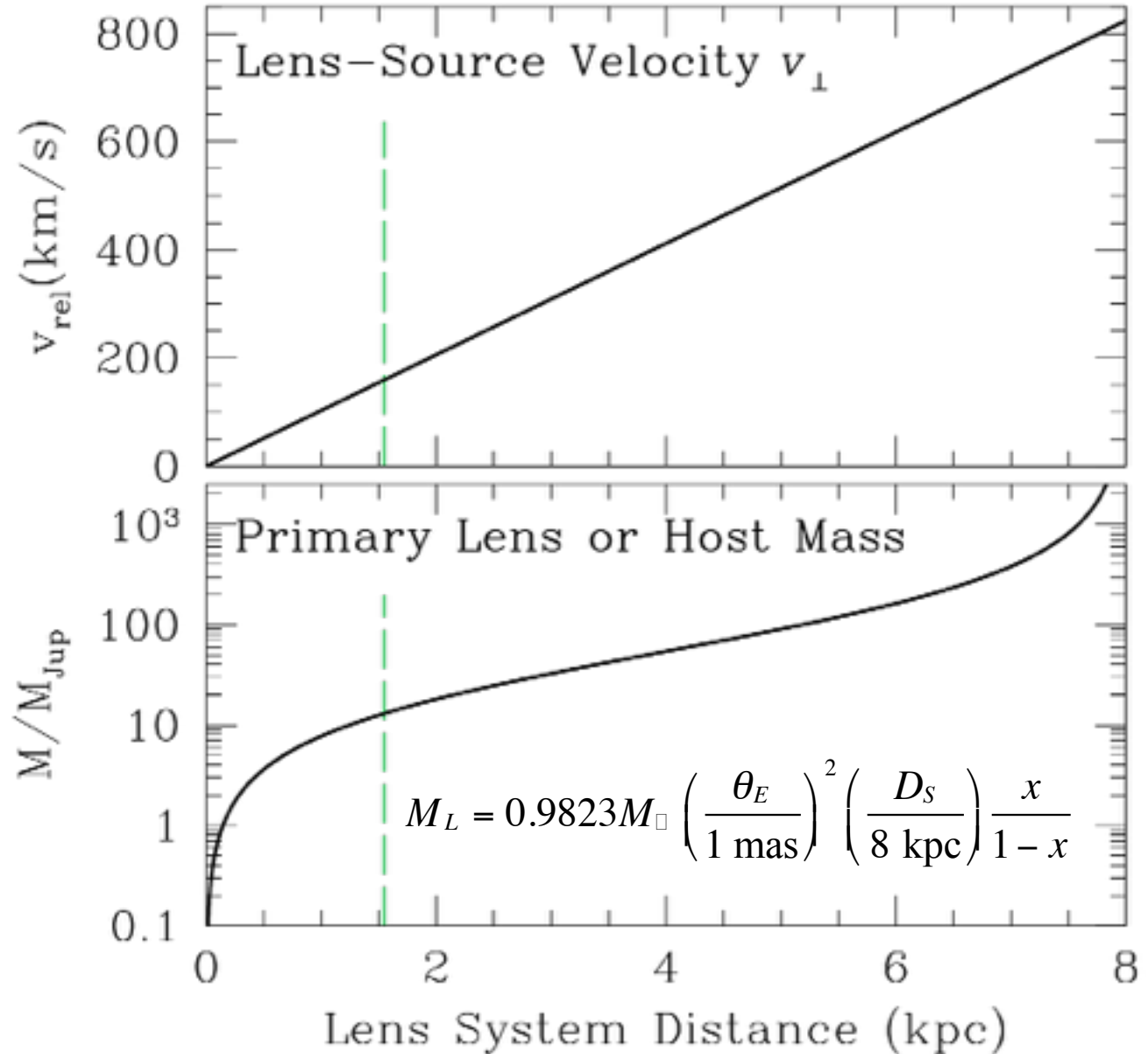
Dispersion $\sim 100 \text{ km/s}$
(2.6 mas/yr)

Expected relative proper motion for bulge source and lens $\sim 2.7 \text{ kpc}$:

$$\mu_{\text{rel}} \sim 8.2 \text{ mas/yr}$$

\Rightarrow we are higher than that

\Rightarrow nearby lens favored ($< 2.7 \text{ kpc}$)

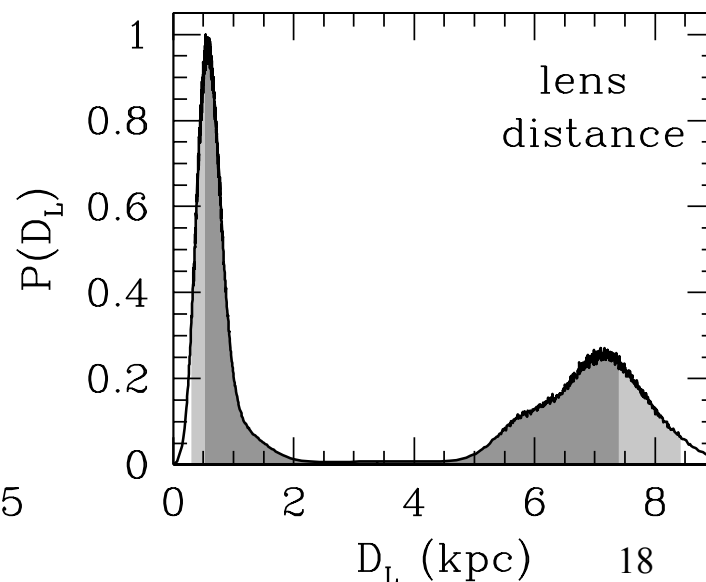
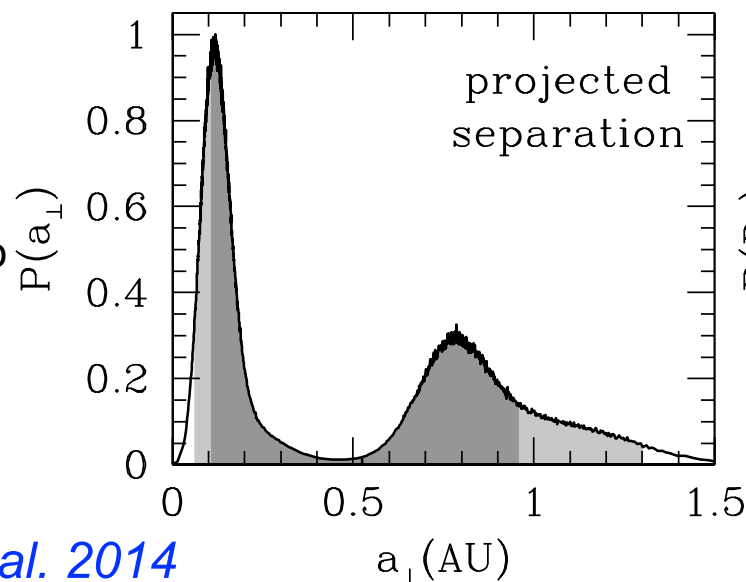
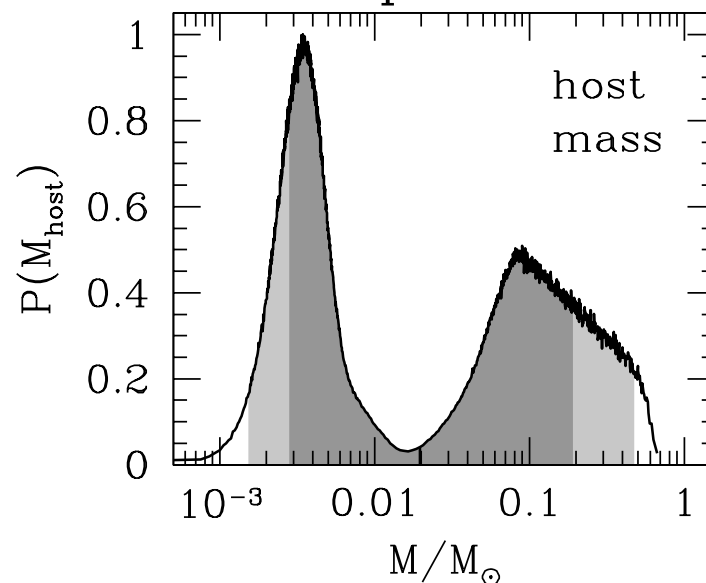
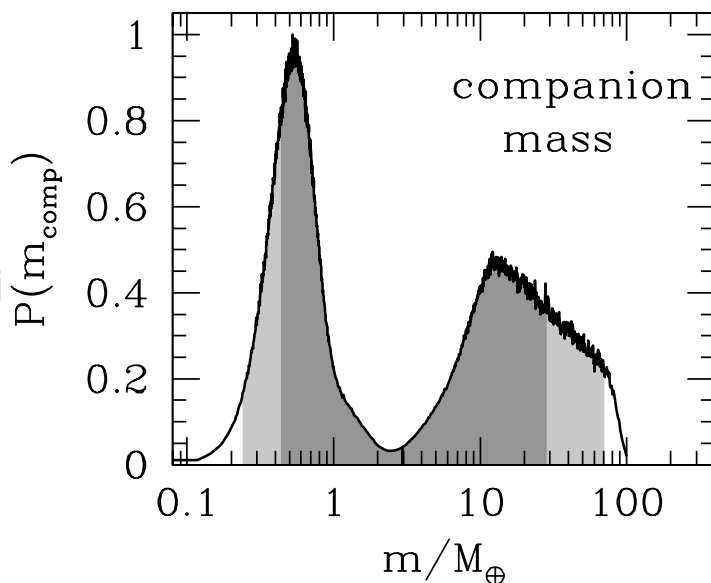


Bayesian analysis

MOA-2011-BLG-262Lb Properties

Priors on:

- stars velocity distribution
- mass function (Sumi et al. 2011)
- microlensing events rate
- stellar densities (Robin et al. 2003) (barred bulge, thin and thick disks, spheroid)
- measured mass ratio independent of the mass of the host



Reduction/calibration of Keck images

