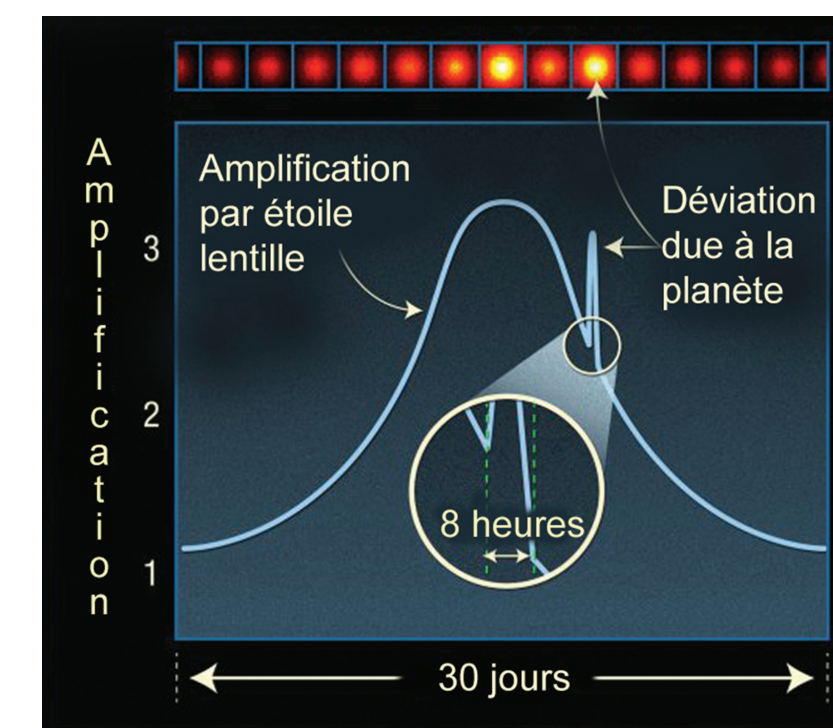


RECHERCHE DE PLANÈTES PAR MICROLENTILLE

EFFET DE MICROLENTILLE GRAVITATIONNELLE :

Quand un objet compact (étoile, planète, trou noir) passe près de la ligne de visée d'une étoile d'arrière-plan, il joue le rôle d'une lentille gravitationnelle en provoquant une amplification du flux lumineux de la source. C'est un phénomène rare, avec une probabilité de l'ordre d'un millionième vers le bulbe de notre galaxie. La durée du phénomène est de 30 jours pour une étoile de 0,3 masse solaire, un jour pour une planète comme Jupiter, quelques heures pour une planète de type terrestre.



COMMENT DÉTECTER DES PLANÈTES PAR EFFET DE MICROLENTILLES

Quand l'observateur, la lentille et la source sont exactement alignés, l'amplification est maximum et l'image de l'étoile source est un anneau de rayon 1 RE (rayon d'Einstein dépendant de la masse et des distances entre l'observateur, la source et la lentille). Dès 1992, Gould et Loeb montrèrent que les microlentilles (une étoile comme lentille) offrent un moyen très efficace pour découvrir des planètes autour de ces étoiles.

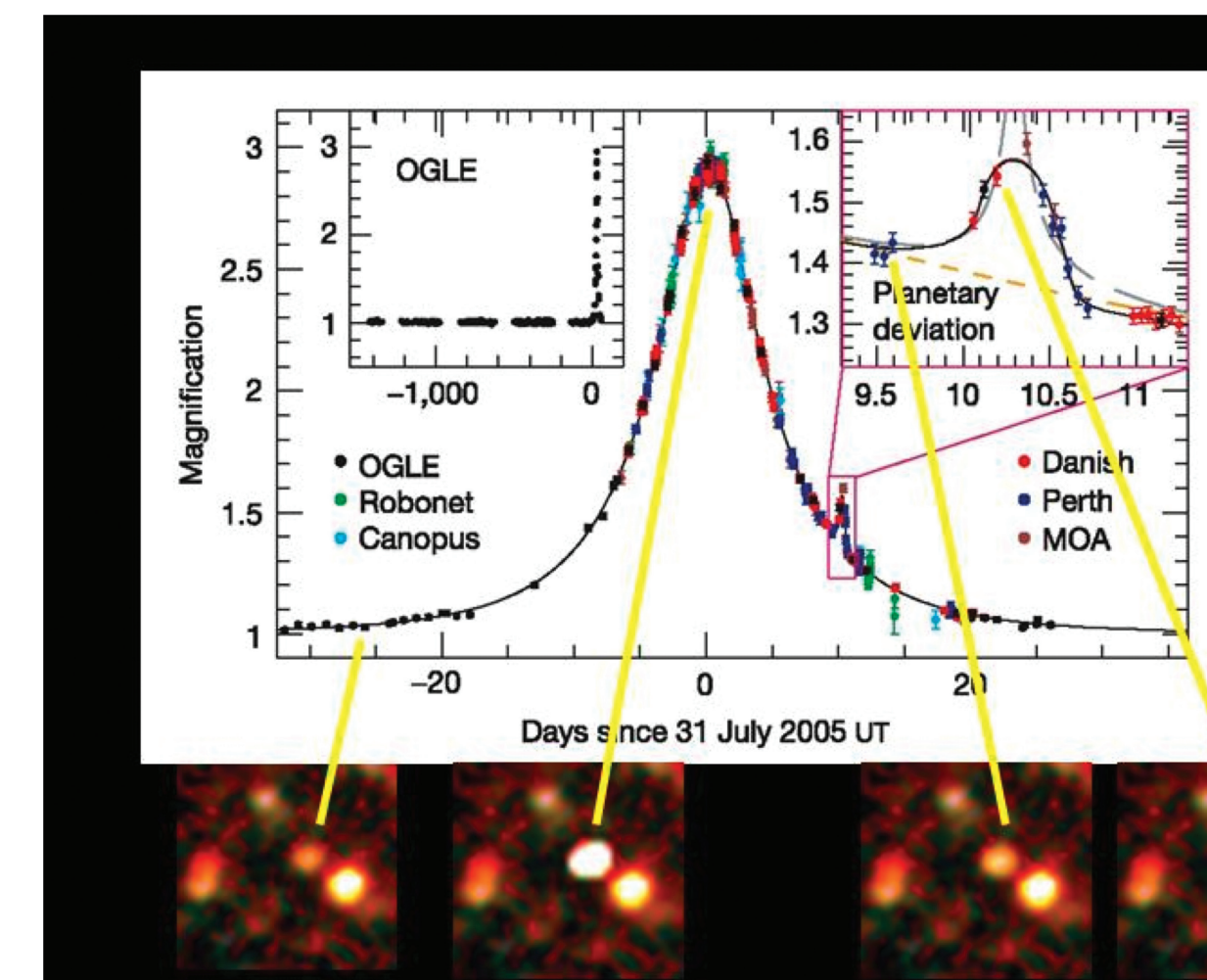
1/ Détecter en temps réel des microlentilles alors qu'elles sont en cours d'amplification

Surveillance de 200 millions d'étoiles chaque nuit, à l'aide de télescopes équipés d'une caméra grand champ.

2/ Réaliser un suivi photométrique 24h/24 en utilisant un réseau mondial de télescopes

- Observations coordonnées des cibles avec le meilleur potentiel pour détecter des planètes
- Analyse de données photométriques en temps réel pour affiner les stratégies d'observation
- Distribution par internet des données et modèles (<http://planet.iap.fr>)
- Observations complémentaires avec système d'optique adaptative (KECK, VLT, SUBARU) et/ou HST

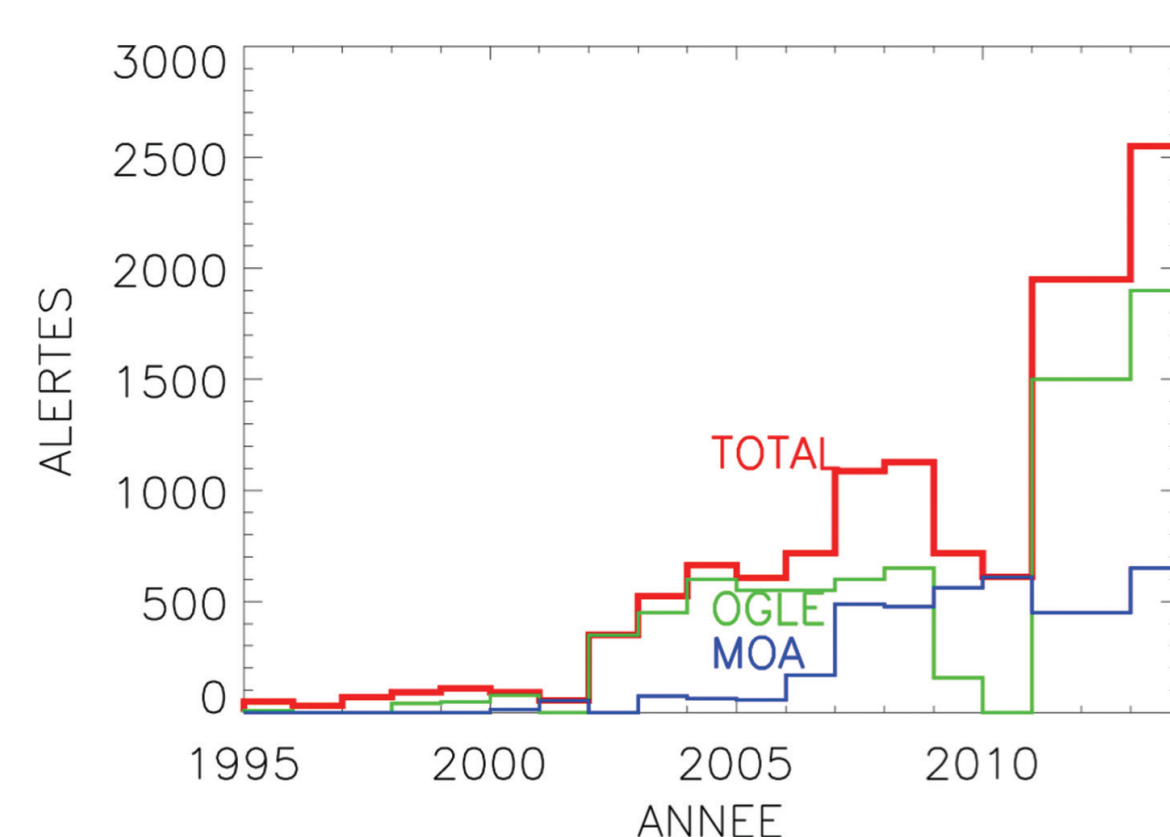
- Phénomène transitoire qu'on observe qu'une fois
- Sensibilité à des planètes de la masse de Jupiter jusqu'à celle de la Terre
- Maximum de sensibilité obtenu pour une planète à ~1 RE de son étoile
- Planètes détectables jusqu'à la distance du centre de notre Galaxie, alors que les autres méthodes n'accèdent qu'à des planètes du voisinage solaire
- Détection de planètes autour d'étoiles de faible brillance
- Seule manière pour détecter des planètes errantes froides
- Espoir de détecter des planètes dans une galaxie voisine



Courbe de lumière observée et meilleur modèle tracé en fonction du temps de la microlentille OGLE 2005 BLG 390. Le jeu de données est composé de 650 points de mesure pris avec les télescopes de PLANET : Danos, La Silla, Perth, Canopus, RoboNet Faulkes Nord, ainsi que OGLE et MOA. La planète est de masse ~5 masses terrestres sur une orbite de ~2,8 UA autour d'une étoile naine M du disque de notre Galaxie, de masse ~0,20 masse solaire (Beaulieu et al., 2006). Note : UA = distance moyenne Terre - Soleil

SPÉCIFICITÉ DE LA MÉTHODE DES MICROLENTILLES

GRAND RELEVÉ DE MICROLENTILLES



Au début des années 1990 les expériences EROS (voir le panneau sur cette mission), MACHO (Massive Compact Halo Objects) et OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) ont commencé à sonder le halo et le disque de notre Galaxie en utilisant cet effet. De quelques dizaines de microlentilles par an à compter de 1995, on est passé à quelques centaines à partir de 2005. Avec depuis 2005 le télescope MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) basé en Nouvelle-Zélande, c'est plus de 2000 microlentilles qui ont été annoncées par OGLE et MOA en 2013, qui disposent de caméras de 1,4 et 2 degrés carrés respectivement. Ils observent des champs du Bulbe galactique avec une fréquence de 10 min à quelques heures.

RÉSULTATS DANS LA PÉRIODE 2007-2013 :

Entre 2007 et 2011, nous avons découvert (ou participé à la découverte) entre 3 et 6 planètes par an. En 2012, ce sont 22 planètes qui ont été détectées. Parmi les résultats importants :

- Avoir une planète est plutôt la règle qu'une exception pour les étoiles de notre galaxie.
- Découverte de planètes **plus massives que Jupiter en orbite autour d'étoiles de faible masse**, en contradiction avec les prédictions des scénarios de formation des systèmes planétaires par accréation de cœur.
- Une planète de la masse de Saturne en orbite autour d'une étoile située dans le bulbe de notre Galaxie.
- Détection de plusieurs super-Terres, Neptunes, Saturnes, Jupiters.
- Une planète de **3,2 masses terrestres** en orbite autour d'une étoile de faible masse (0,08 masse solaire)
- Observation simultanément d'une microlentille depuis le sol et avec le satellite DEEP IMPACT pour utiliser la parallaxe Terre-espace permettant de contraindre les paramètres physiques du système à 10 % de précision.
- **Un modèle réduit à l'échelle 1/2 de notre système solaire** comportant une étoile de 0,5 masse solaire et deux géantes gazeuses similaires à Jupiter et Saturne.

RÉSEAU DE TÉLESCOPES « PLANET »

Dès les premières microlentilles détectées en temps réel en 1995, une collaboration internationale, PLANET (Probing Lensing Anomaly Network), s'est mise en place. PLANET est un réseau de télescopes (Chili, Australie Hobart et Perth, Afrique du Sud) chargé de réaliser un suivi photométrique de microlentille 24h/24, avec une analyse temps réel pour détecter des anomalies dues à des planètes extrasolaires. Mû par un grand enthousiasme, les astronomes de PLANET observèrent alors les microlentilles disponibles pendant les mois de l'hiver austral et développèrent des chaînes de traitement photométrique, des outils d'analyse en ligne et de modélisation. C'est à partir de 1997 que le projet entra dans une phase d'opération régulière, avec une trentaine de scientifiques d'une dizaine de pays différents.

En 2002, le leadership de PLANET fut transféré de la fondatrice P. Sackett à J.P. Beaulieu à l'IAP. Ainsi l'IAP devint le cœur du réseau, tout d'abord avec le soutien de l'INSU, puis par l'ANR HOLMES.

Dans la période 2002 - 2004, notre stratégie observationnelle était centrée sur la détection de Jupiters. Compte tenu des données accumulées, il est clair que la fraction des Jupiters en orbite autour des naines MK est au maximum de 30 % (Gaudi et al. 2002). Nous avons donc modifié notre stratégie observationnelle pour augmenter notre sensibilité aux Neptunes/Super-Terres.

En 2004 une première planète fut découverte par MOA et OGLE (Bond et al., 2004), donc par les grands relevés et pas par les réseaux de télescopes. 2005 vit enfin nos efforts récompensés, avec la participation à la détection d'un Jupiter (Udalski et al., 2005), puis la découverte de la première super-Terre glacée en orbite autour d'une étoile naine M (Beaulieu et al., 2006).

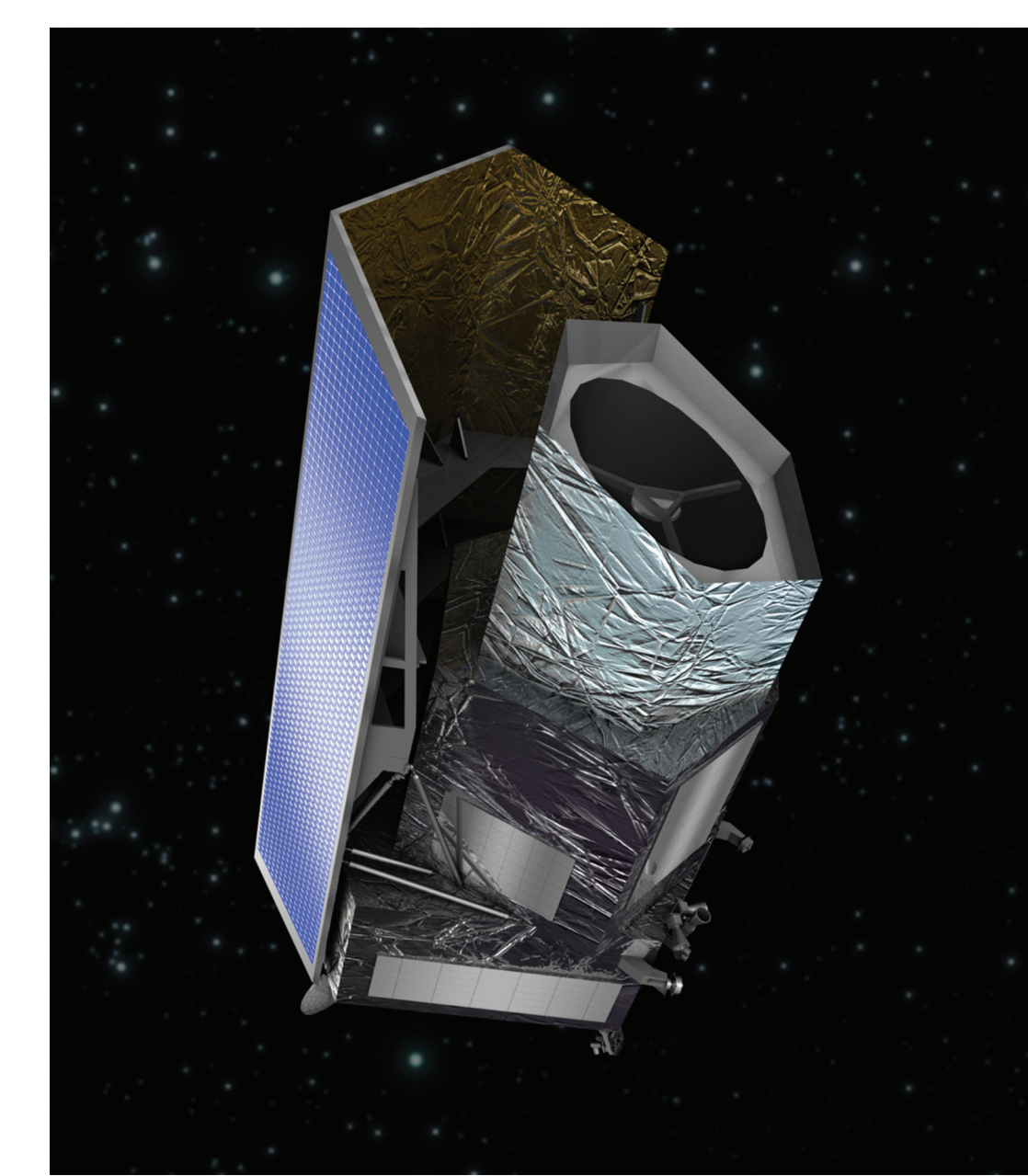
En 2006 l'équipe μ FUN publia aussi une Neptune détectée par microlentille (Gould et al., 2006) et confirma que ces planètes devaient être abondantes.

A partir de fin 2006, les différentes équipes en compétition/coopération (PLANET, μ FUN, MOA, OGLE) se fédèrent en un grand consortium mondial partageant données, codes, pipelines pour maximiser leur efficacité.

DES TERRES GELÉES AUX TERRES HABITABLES : 2013-2025

La communauté « microlentille » mondiale comporte environ 150 chercheurs. La prochaine étape (2012 - 2018) est de mesurer les statistiques des Terres froides en utilisant un réseau de télescopes munis de caméra grand champ. L'équipe de l'IAP continue son investissement dans cette phase, en participant activement à l'exploitation de deux télescopes en Australie (SkyMapper et un nouveau télescope de 1,3m en Tasmanie) qui opèrent conjointement avec ceux de OGLE (Chili), WISE (Israël), MOA (Nouvelle Zélande) et en aidant au déploiement d'un site en Afrique du Sud/Namibie.

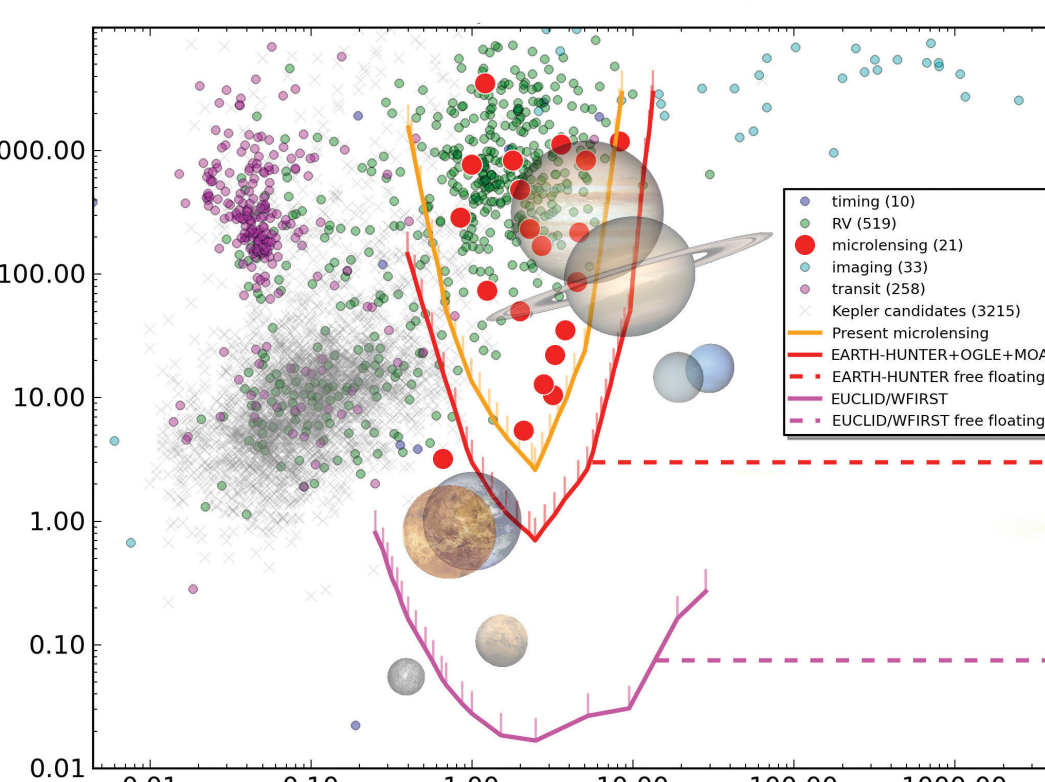
L'objectif 2020+ sera de détecter des planètes froides de masse martienne, puis des planètes de masse terrestre habitables. La machine idéale est un futur imageur infrarouge grand champ dans l'espace nommé EUCLID. Dès 2007, HOLMES a été le promoteur de la synergie entre mission de mesure de l'Energie Noire et de recherche de planètes par microlentilles. En 2010, le Decadal Survey américain a classé comme priorité 1 pour la prochaine décennie la satellite WFIRST, un imageur grand champ dans l'espace, avec Dark Energy et une étude statistique des planètes extrasolaires par microlentille. Il est remarquable qu'une vision promue pour la première fois en France soit suivie par le rapport de prospective américain !



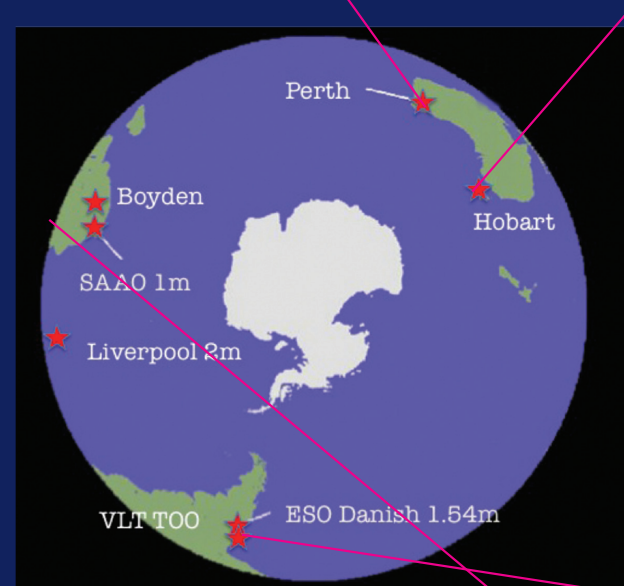
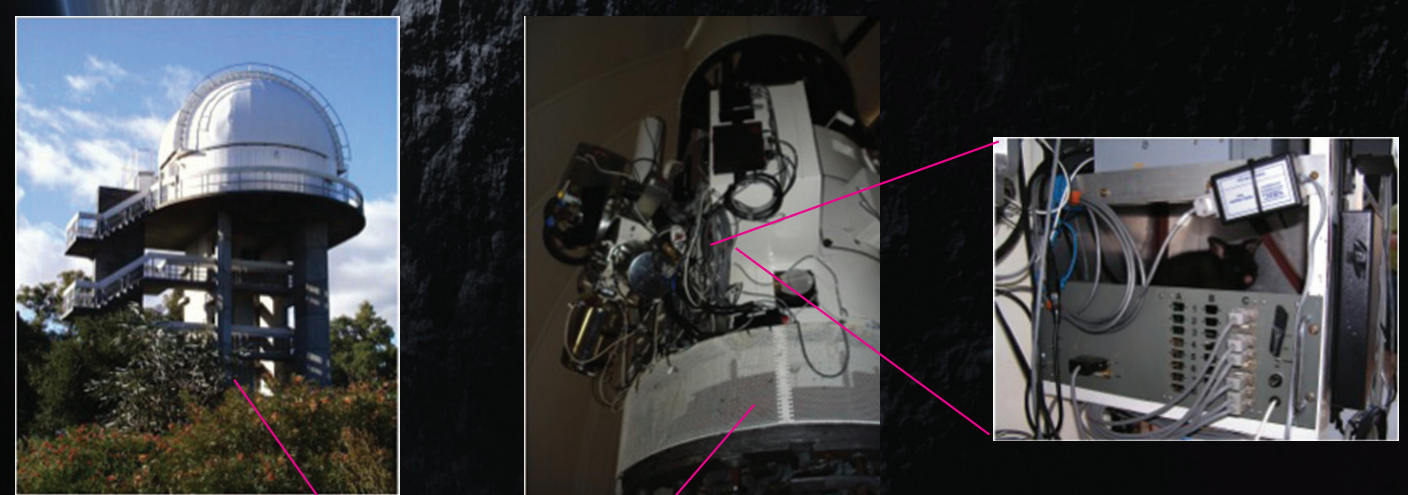
Le satellite EUCLID



Rayon de l'orbite en fonction de la masse des planètes découvertes par différentes méthodes : vitesses radiales, transits, détections directes et microlentilles (points rouges). Nous montrons aussi les 3215 candidats détectés par KEPLER. Le contour jaune indique la zone de sensibilité par microlentilles de PLANET, le contour rouge en utilisant un réseau mondial de télescopes avec caméra grand champ (2015-2018) et en rose un programme de 4 mois dédiés à bord d'EUCLID. Le nombre de planètes de masse terrestre attendu d'EUCLID est d'environ 30 à 60 suivant les hypothèses sur la fonction de masse des planètes. EUCLID est sensible à toutes les planètes de notre système solaire (sauf Mercure), ainsi qu'aux planètes telluriques éjectées au cours du processus de formation.



Vue d'artiste du système constitué d'une super-Terre glacée autour d'une étoile naine M (Beaulieu et al. 2006). Ces systèmes doivent être communs dans notre galaxie.



Renard du désert, compagnon des chasseurs de planète à La Silla

Participants de l'IAP (ou ayant été à l'IAP) : V. Batista, J.P. Beaulieu, A. Cassan, C. Coutures, S. Dieters, A. Gould, D. Kubas, J.B. Marquette, C. Ranc, P. Tisserand

Pour en savoir plus
<http://planet.iap.fr>
<http://holmes.iap.fr>