

A LA RECHERCHE DES EXOPLANÈTES

C'est quoi? (définition)



COMMENT? (détection)

51 peg b
Étoile et
constellation

Des exoP habitables?

Qatar (pays) Wasp (téléscope)



ELLE BOUGE BIEN

UNION ASTRONOMIQUE INTERNATIONALE :

"Une planète est un astre en orbite autour du Soleil, qui possède une masse suffisante pour que son auto-gravité produise une forme d'équilibre hydrostatique (presque ronde), et qui a dégagé le voisinage autour de son orbite"



ELLE A UNE BELLE FORME

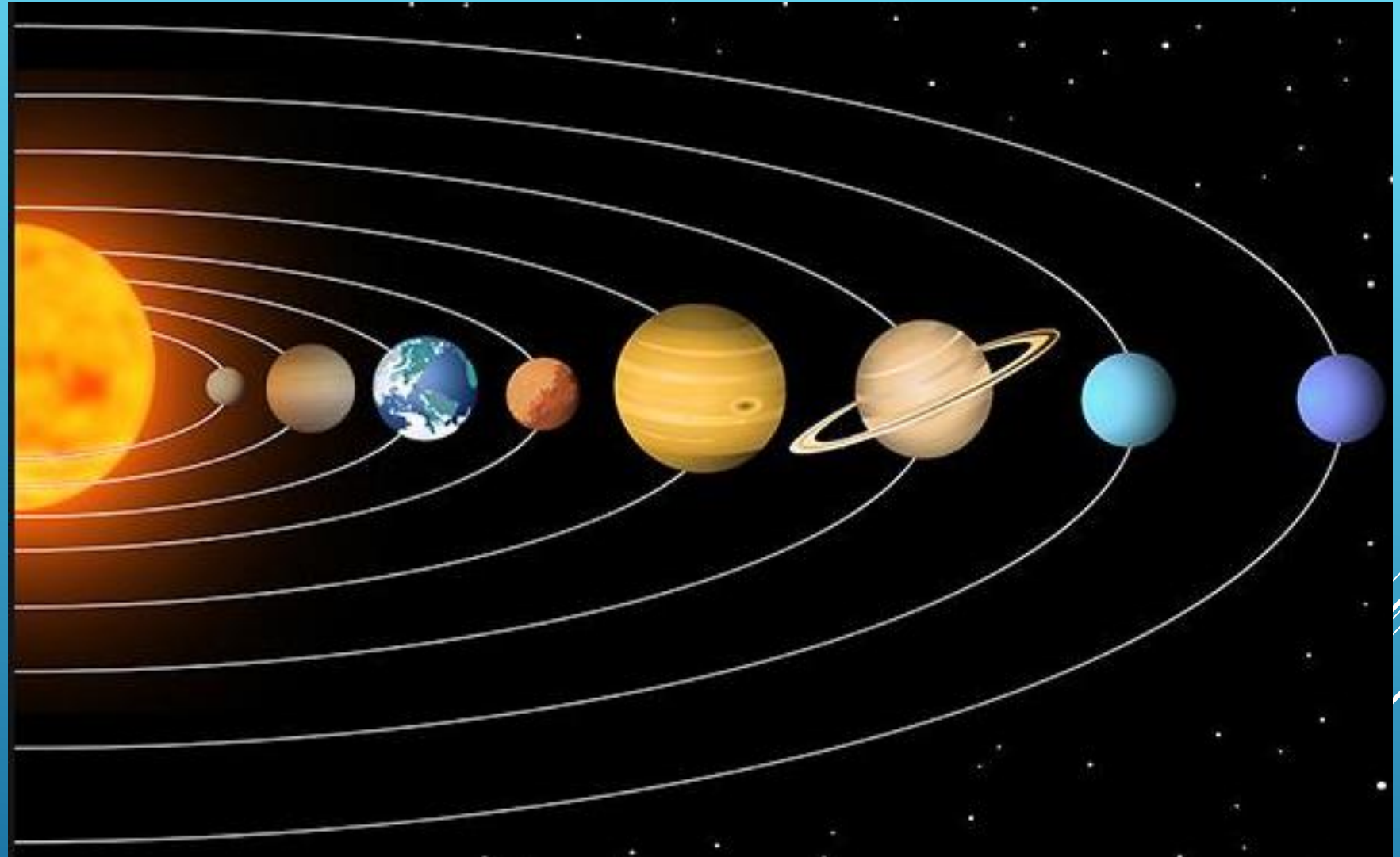
ELLE EST SEULE

Définition

Détection

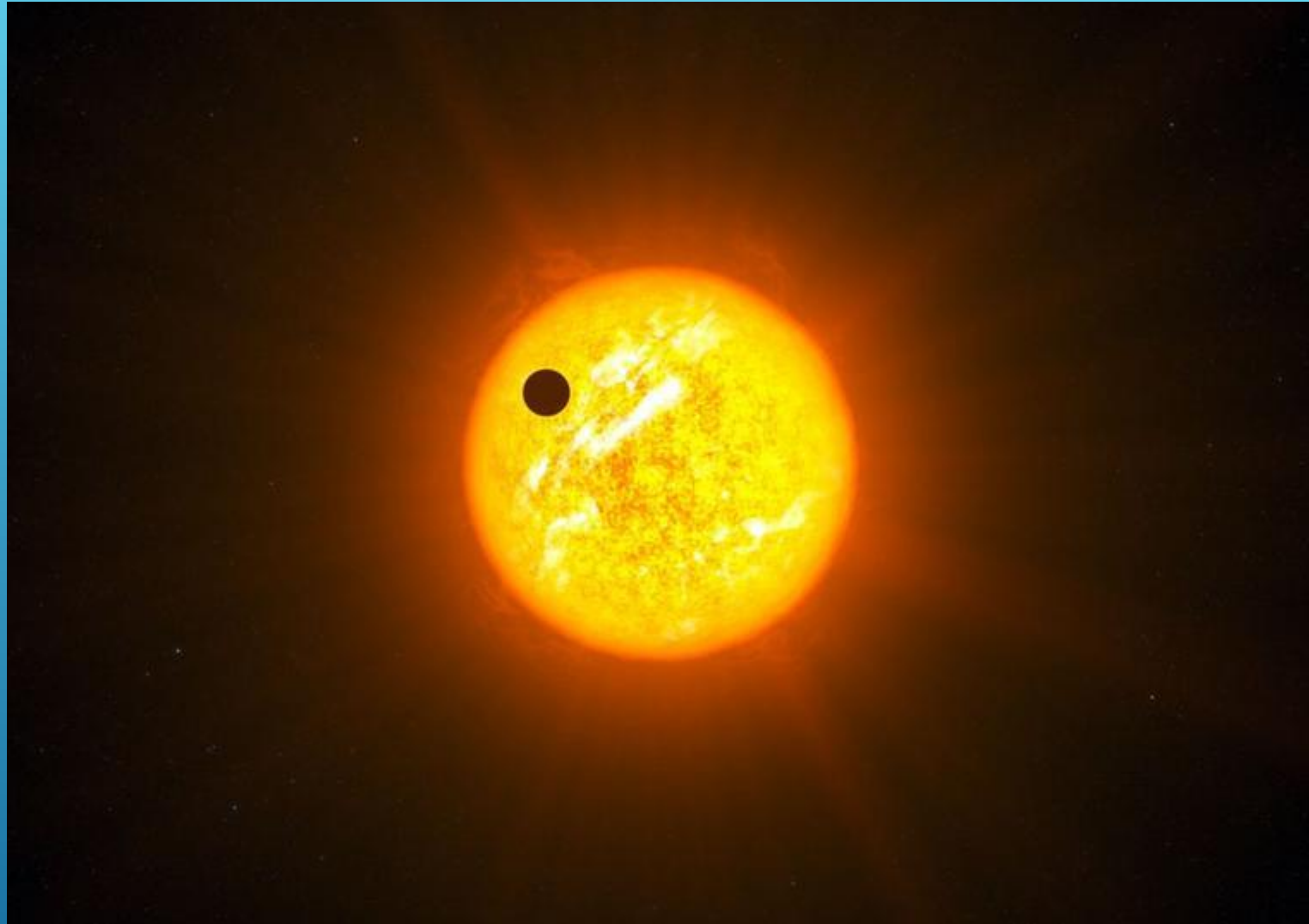
Résultats

Attention: ni échelle de
taille, ni échelle de
distance



Exoplanète = Planète tournant autour **d'une autre étoile** que le
Soleil = planète Extra solaire *Larousse*

Comment les
détecter?



Dessin d'artiste

Définition

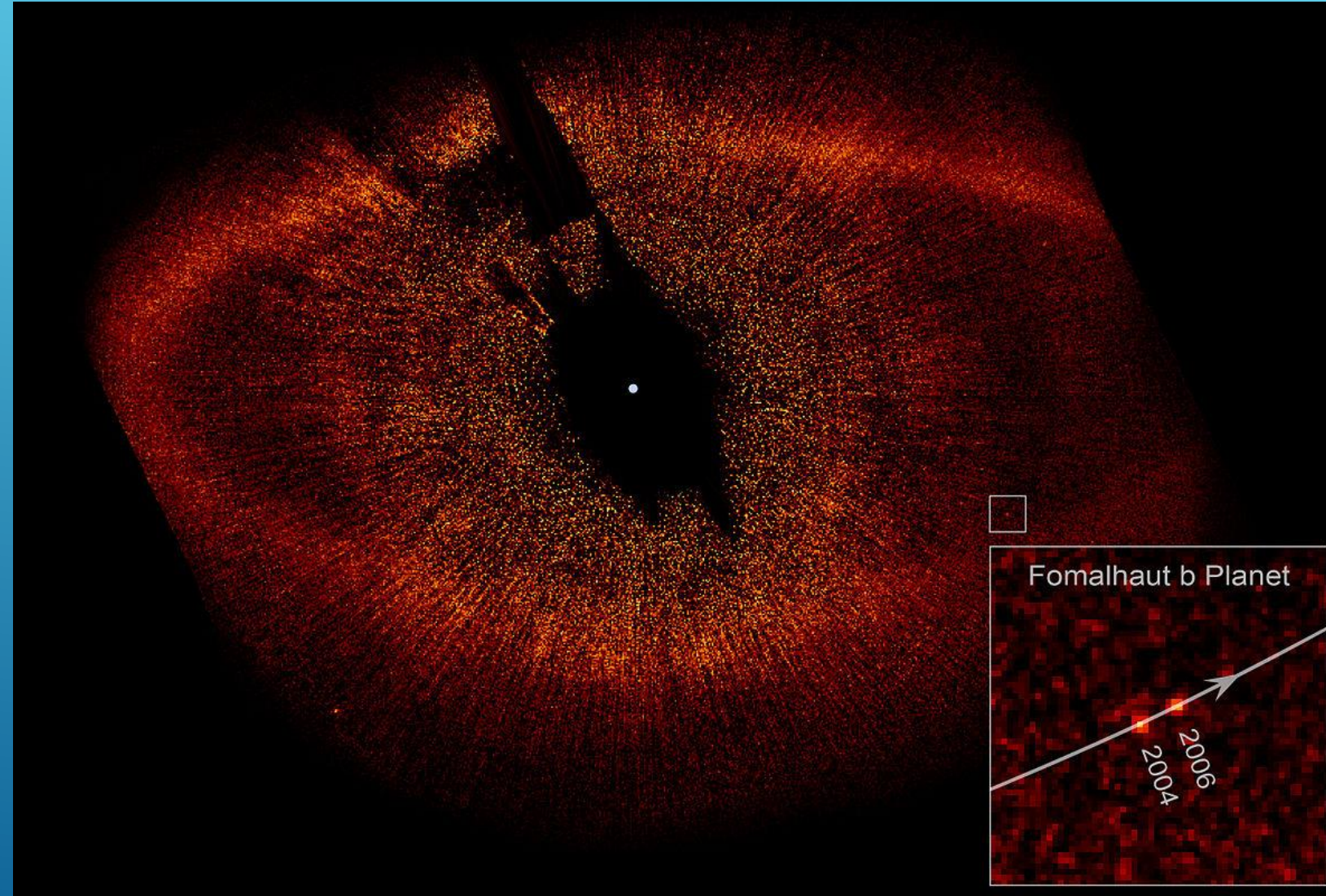
Détection

Résultats

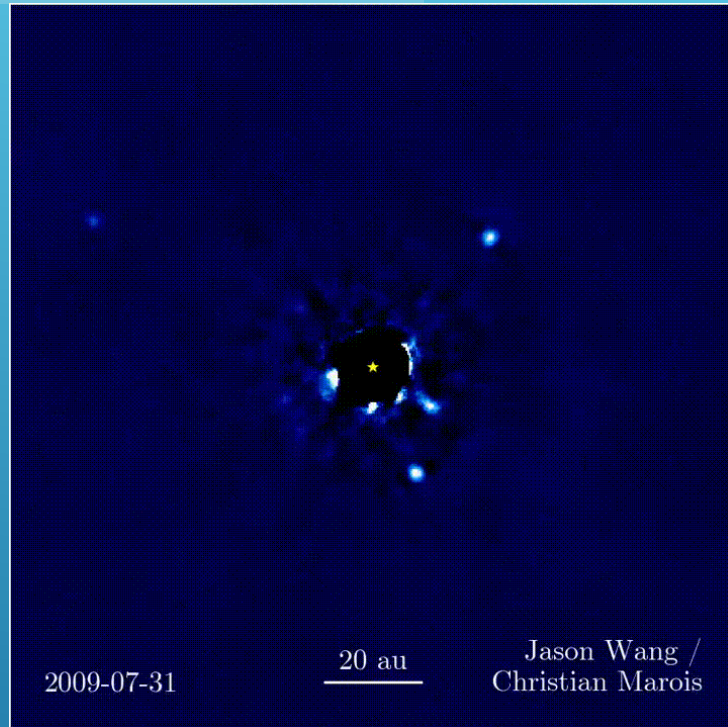
Méthode 1 Imagerie directe

Planet Fomalhaut b	
Name	Fomalhaut b
Planet Status	Confirmed
Discovered in	2008
Mass	$3.0 (-3.0^{+0.0}) M_J$
Mass* $\sin(i)$	—
Semi-Major Axis	115.0 AU
Orbital Period	320000.0 day

Star	
Fomalhaut	
Nom	Fomalhaut
Distance	$7.704 (\pm 0.028)$ pc
Spectral type	A3 V
Apparent magnitude V	1,16
Mass	$1.92 (\pm 0.02) M_{Sun}$



Méthode 1 Imagerie directe



Comment piloter le télescope www.BANDICAM.COM

Commentaire

OPTIQUE ADAPTATIVE

Turbulences atmosphériques

Front d'onde déformé

Miroir déformable

Système de contrôle (temps réel)

Analyse du front d'onde

DÉFORMATION DU MIROIR

Avant de régler le coronographe, il faut stabiliser l'image

CORONOGRAPHE

Objectif

Lentille

Diaphragme

Écran

Disque Occulteur

RÉGLAGE DU CORONOGRAPHE

développé par Chronotopie

OAMP - CNRS / CNES

Animation de l'orbite partielle des quatre exoplanètes autour de la jeune étoile HR 8799. Celle-ci, au centre, est masquée par un disque noir. © Jason Wang, Christian Marois
39 pc découverte en 2008

Méthode 1 Imagerie directe

Showing 138 planets / 104 planetary systems / 4 multiple planet systems

Show 100 entries

Planet Search

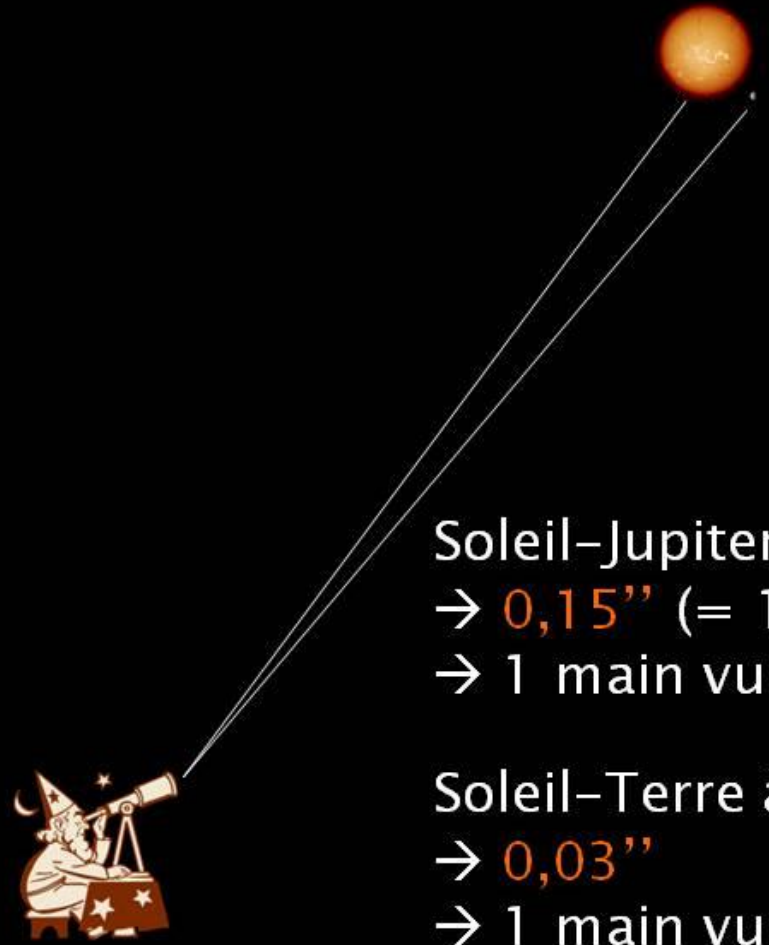
Planet	Planet Status	Mass (M_{Jup})	Mass* $\sin(i)$ (M_{Jup})	Radius (R_{Jup})	Period (day)	a (AU)	e	i (deg)	Ang. dist. (arcsec)	Discovery	Update
CFBD 1458 B	Confirmed	10.5 (\pm 4.5)	—	—	—	—	—	—	—	2011	2020-04-20
VHS 1256-1257 b	Confirmed	19.0 (\pm 5.0)	—	—	—	102.0 (\pm 9.0)	—	—	—	2015	2020-04-14
2MASS J10475385+2124234	Confirmed	42.0 (\pm 26.0)	—	—	—	—	—	—	—	1999	2020-04-11
1I/'Oumuamua	Confirmed	—	—	2e-06	—	—	1.196 (\pm 0.004)	—	—	2017	2020-03-25
TT 8908-700-1 b	Confirmed	14.0 (\pm 3.0)	—	3.0 ($-0.7^{+0.2}$)	—	162.0	—	—	—	2020	2020-03-04
CWISEP 11935-1546	Confirmed	11.0 (\pm 9.0)	—	—	—	—	—	—	—	2019	2020-03-04
2I/Borisov	Confirmed	—	—	6.2e-05	—	—	3.155 (\pm 0.13)	—	—	2019	2020-03-02
2MASS J1155-7919 b	Confirmed	10.0	—	—	—	582.0	—	—	—	2020	2020-02-13
GJ 223 B	Confirmed	35.0 ($-15.0^{+15.0}$)	1.61971 (\pm 0.664)	—	52890.0 ($-24055.0^{+19639.0}$)	19.433 ($-6.9^{+4.7}$)	0.03 ($-0.03^{+0.2}$)	—	—	1995	2020-01-09
DH Tau b	Confirmed	11.0 ($-0.003^{+0.01}$)	—	—	—	330.0	—	—	—	2005	2020-01-08
beta Pic b	Confirmed	12.7 (\pm 2.2)	—	1.65 ($-0.06^{+0.06}$)	8191.0 (\pm 365.0)	9.68 (\pm 0.3)	0.15 (\pm 0.05)	88.824 (\pm 0.1)	0.440415	2008	2019-12-11
USco 1621A b	Confirmed	15.0 (\pm 2.0)	—	—	—	2880.0 (\pm 20.0)	—	—	—	2019	2019-12-11
USco 1556A b	Confirmed	14.0 (\pm 2.0)	—	—	—	3500.0 (\pm 40.0)	—	—	—	2019	2019-12-11
AB Dor C b	Confirmed	13.0 (\pm 1.0)	—	—	—	0.58	—	—	—	2019	2019-11-14
WISE 2150A b	Confirmed	34.0 (\pm 22.0)	—	—	—	341.0	—	—	—	2019	2019-11-13
ROXs 42B (AB) b	Confirmed	9.0 ($-3.0^{+3.0}$)	—	2.5	—	140.0 (\pm 10.0)	—	—	—	2013	2019-11-08
HD 106906 (AB) b	Confirmed	11.0 ($-2.0^{+2.0}$)	—	—	—	654.0 (\pm 3.0)	—	—	—	2013	2019-11-08
PDS 70 c	Confirmed	4.4 (\pm 1.1)	—	—	69945.0 ($-11500.0^{+5771.0}$)	30.2 ($-2.4^{+2.0}$)	—	—	—	2019	2019-10-25
PDS 70 b	Confirmed	7.0 (\pm 2.0)	—	—	45108.0 ($-1790.0^{+3580.0}$)	22.7 ($-0.5^{+2.0}$)	—	—	—	—	—
51 Eri b	Confirmed	2.6 (\pm 0.3)	—	1.11 ($-0.13^{+0.16}$)	10260.0 ($-1800.0^{+6300.0}$)	11.1 ($-1.3^{+4.2}$)	0.49 (\pm 0.05)	—	—	—	—
HIP 77900 b	Confirmed	34.0 (\pm 14.0)	—	1.76 ($-0.12^{+0.15}$)	—	3200.0 (\pm 300.0)	—	—	—	—	—
HIP 78530 b	Confirmed	28.0 (\pm 10.0)	—	1.83 (\pm 0.16)	—	710.0 (\pm 60.0)	—	—	—	—	—

DIFFICULTÉ 1



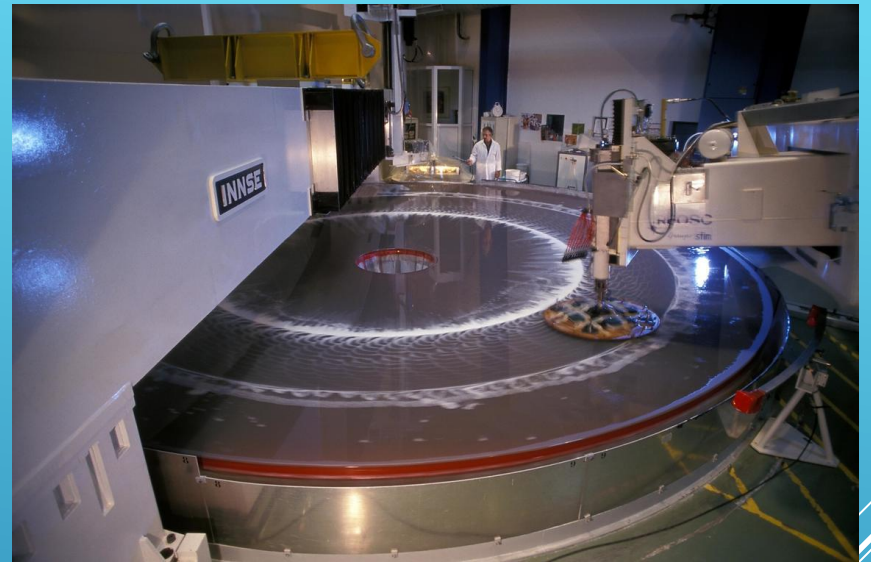
Soleil-Jupiter à 4 années-lumière
→ 4 secondes d'angle (= 1/900 degré)
→ 1 main vue à 3 km !

Les gros télescopes (VLT) et Gaia le peuvent



Soleil-Jupiter à 100 années-lumière
→ 0,15'' (= 1/24 000 degré)
→ 1 main vue à 200 km !!

Soleil-Terre à 100 années-lumière
→ 0,03''
→ 1 main vue à 1000 km !!!



Définition
Détection
Résultats

0,15 seconde d'angle
(Jupiter)

0,03' angle (Terre)

0,024 seconde d'angle



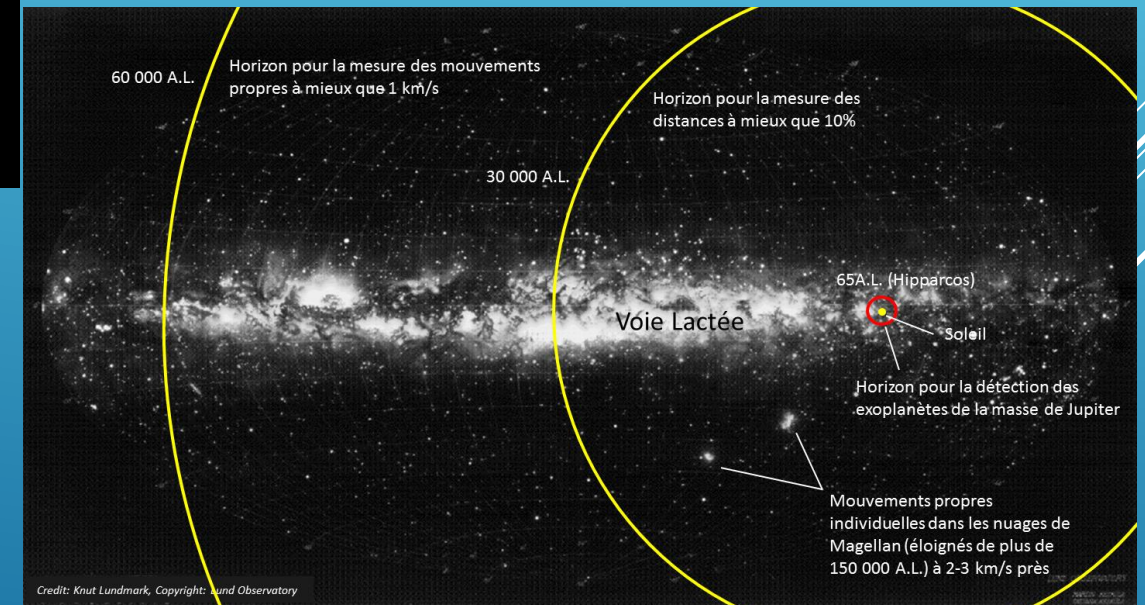
Mission GAIA 2013 voir le diamètre d'un cheveu à 1000km (précision de 24 micro arc seconde). Observation des étoiles 70 fois sur une durée de 5 ans.

Gaia DR2 (2018) : 1,7 milliards
d'étoiles (mesure de VR) soit 27
tonnes en grains de riz

460 étoiles analysées par
seconde

600 GO de données /jours

19 /12- 2013



Notre galaxie, et la partie explorée par GAIA. En rouge, la partie explorée précédemment par Hipparcos. Les distances sont en années-lumières (A.L.)

DIFFICULTÉ 2



Ce qu'on devrait voir

L'étoile est jusqu'à 10 000 000 000 plus brillante que la planète !



Ce que l'on voit





planète peu massive et invisible

Étoile massive (visible)

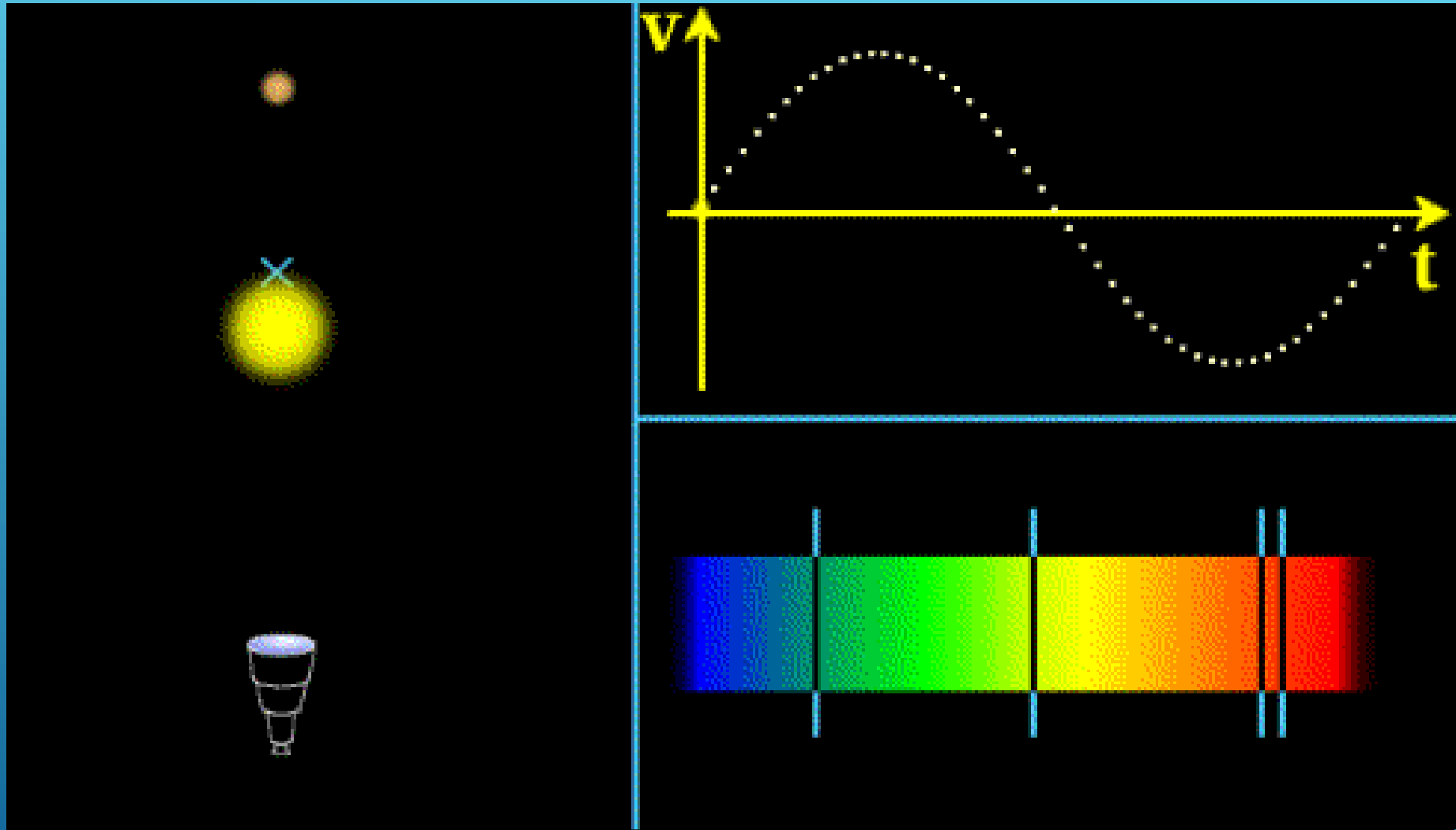
Méthode 2: spectroscopie

■



Méthode 2: spectroscopie

Définition
Détection
Résultats

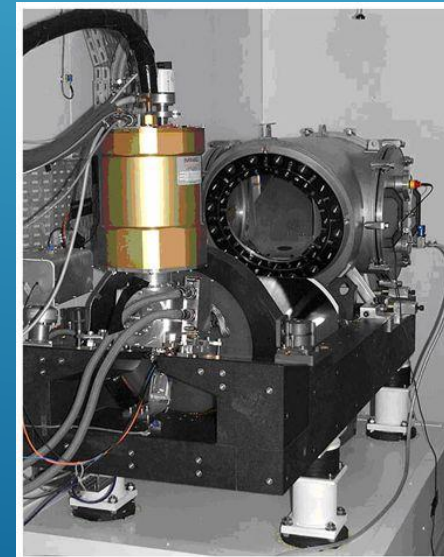




OHP

CNRS

En 1995, sur le télescope de 193cm
équipé du spectrographe ELODIE,
Michel Mayor et Didier Queloz
découvraient la première planète
extrasolaire 51 Pegb autour
d'une étoile autre que le Soleil.



Longueur d'onde (vitesse de la voiture de Robert

longueur d'onde perçue nm

en km/h

rouge





650

170000000

547,685185185185000000

Inscrire dans les cases rouges la couleur du feu (en nm) et la vitesse de la voiture (en km/h)



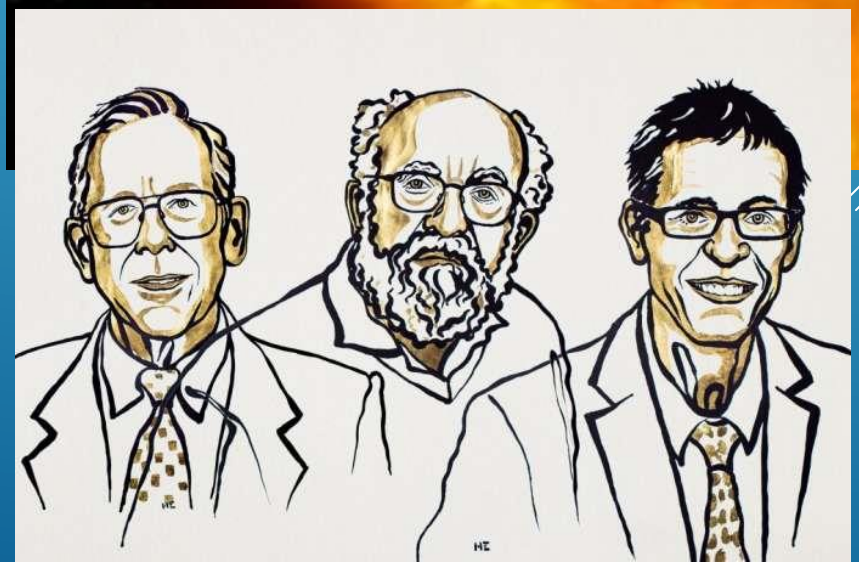
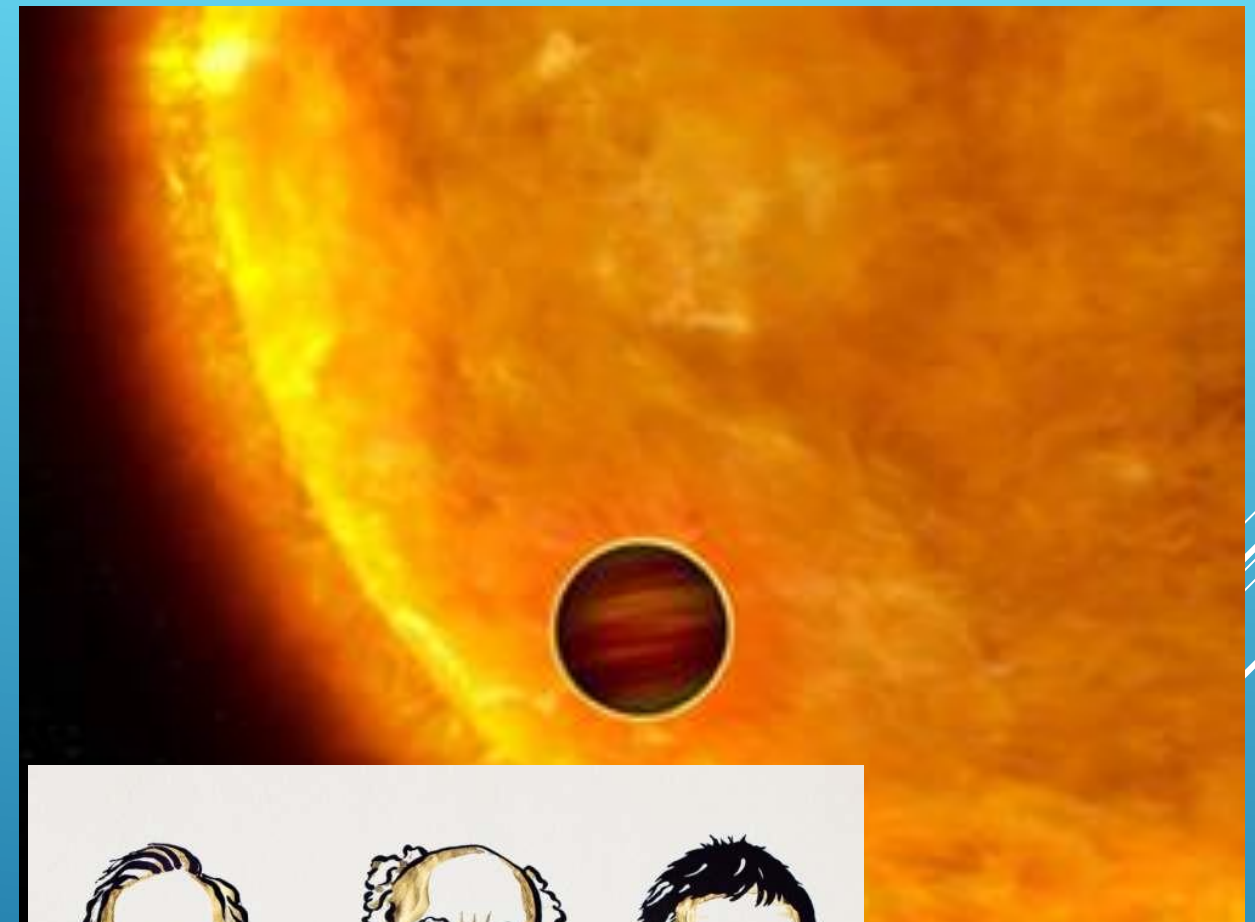
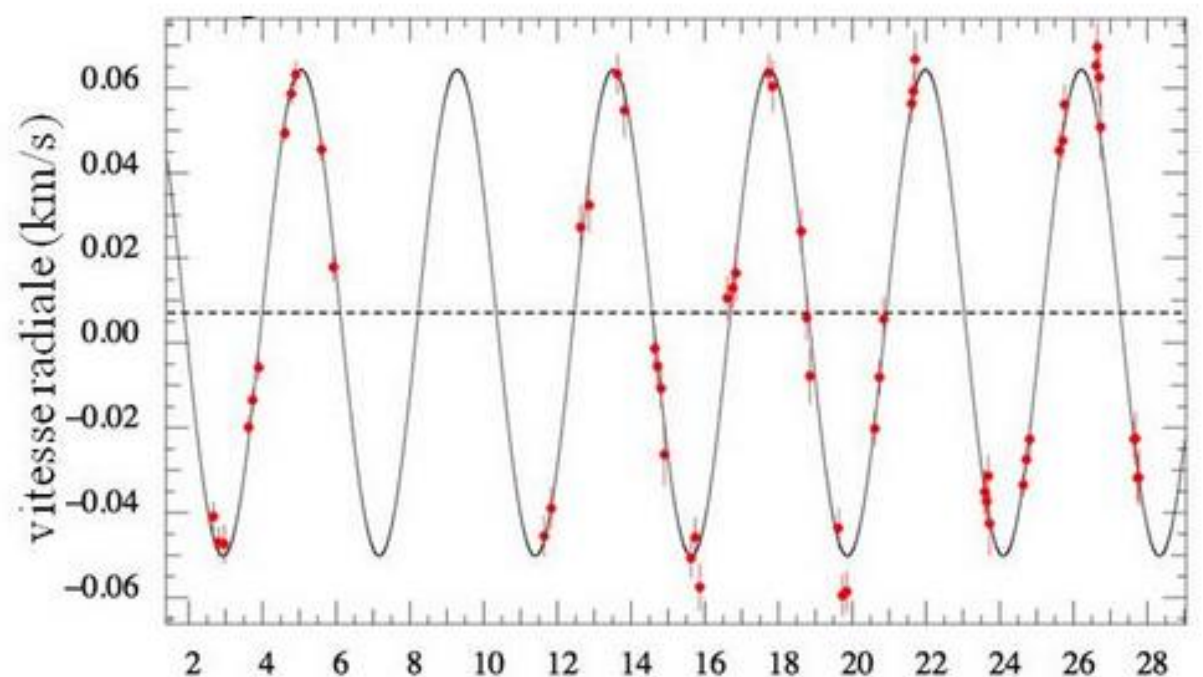
Désignation	Couleur	Longueur d'onde (nm)
Rouge		~ 625 - 740
Orange		~ 590 - 625
Jaune		~ 565 - 590
Vert		~ 520 - 565
Cyan		~ 500 - 520
Bleu		~ 450 - 500
Indigo		~ 430 - 450
Violet		~ 380 - 430

Définition
Détection
Résultats



1995 : Michel Mayor & Didier Queloz

51 Pegasi b



Prix Nobel
2019

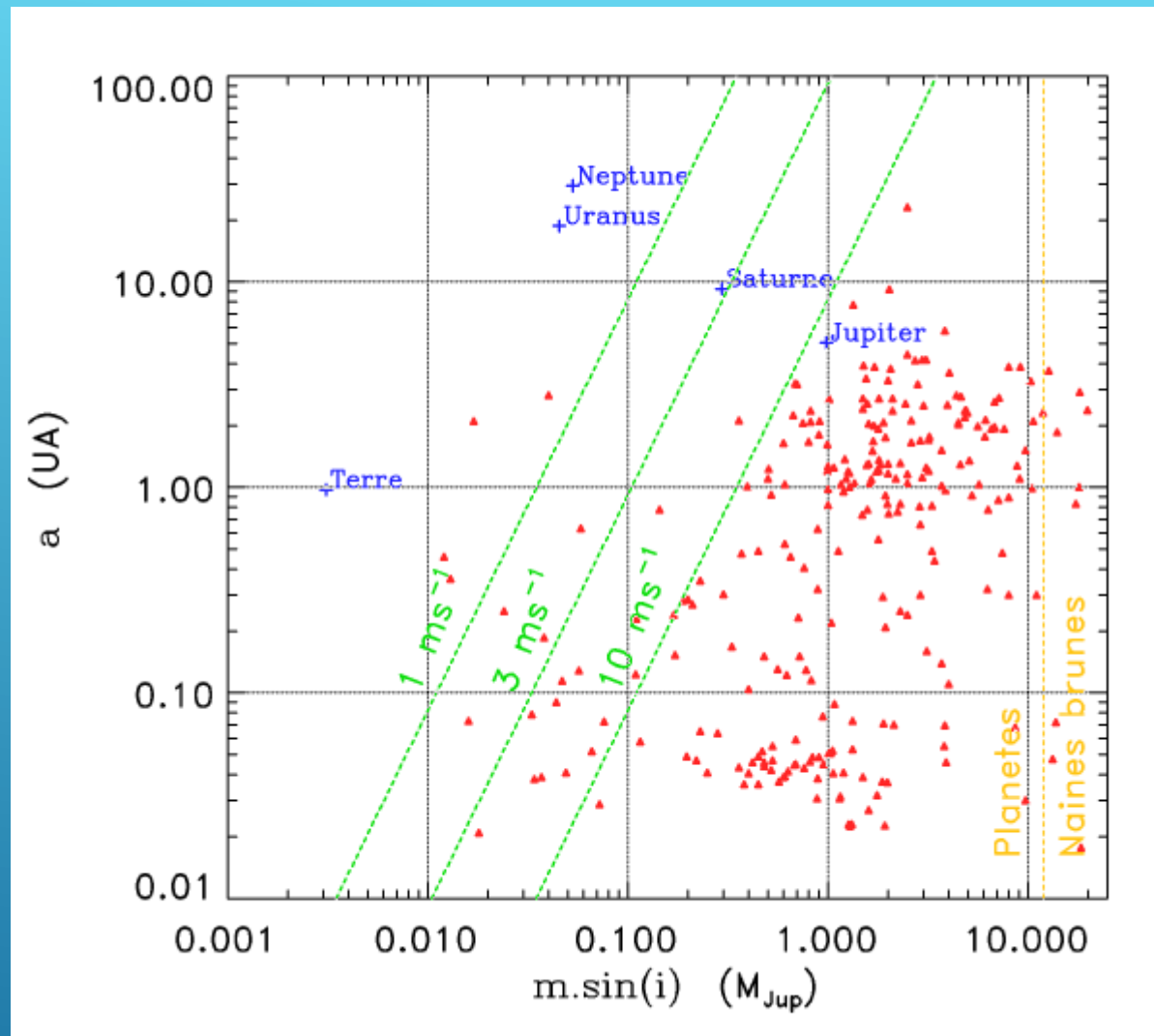
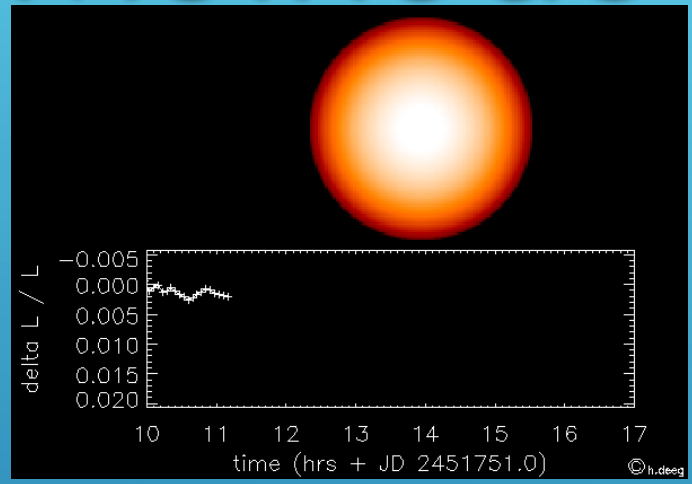


Diagramme $m \sin(i)$ - a des exoplanètes et des planètes du système solaire. Au delà de 13 fois la masse de Jupiter, on considère qu'il ne s'agit plus de planètes, mais de naines brunes.

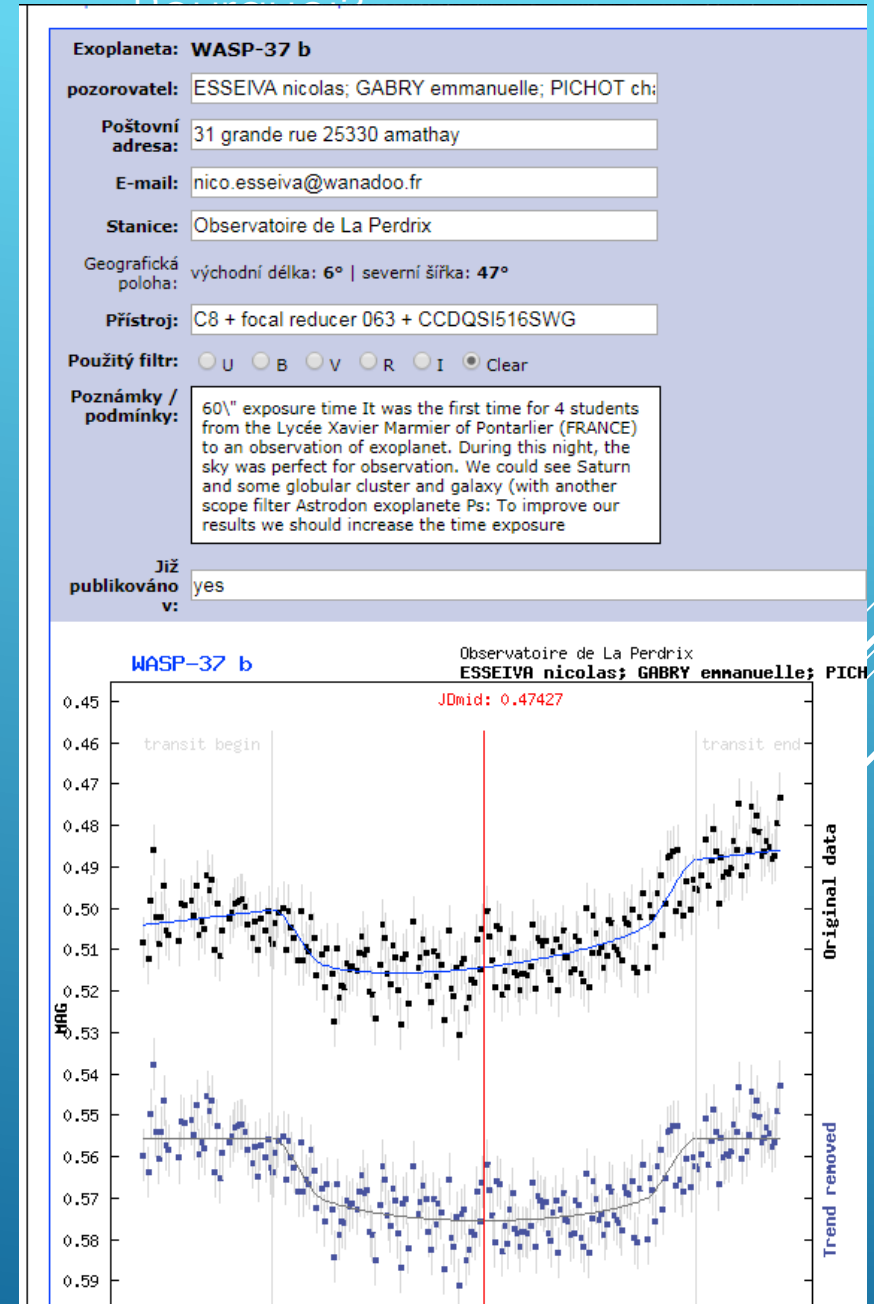
Méthode 3: Photométrie

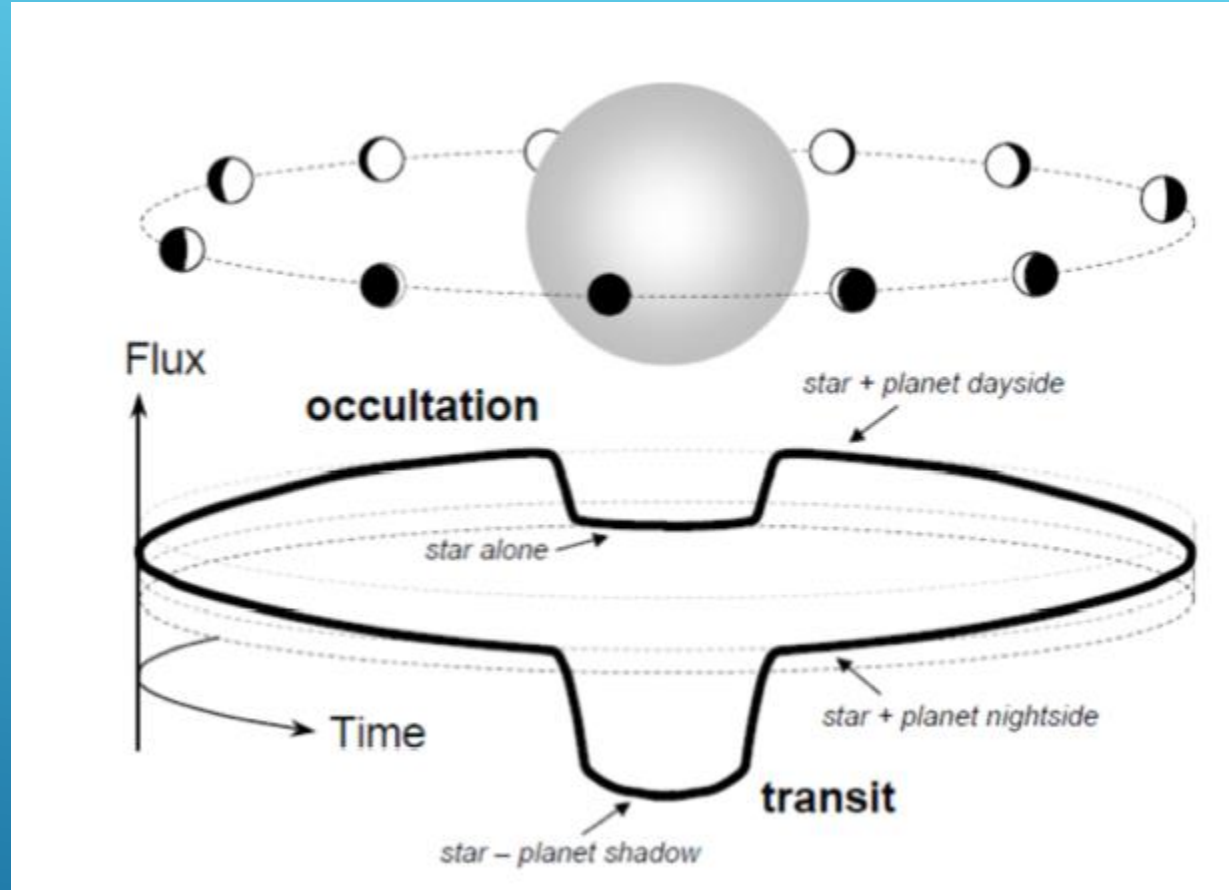


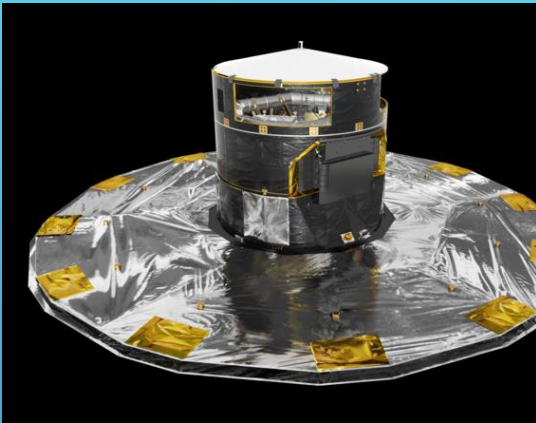
Définition Détection Résultats



Pas facile mais
on peut le faire







Showing 14 planets / 3 planetary systems / 0 multiple planet systems

[All fields](#)

Show entries

Planet Search

Show / hide columns

Planet	Mass (M_{Jup})	Radius (R_{Jup})	Period (day)	a (AU)	e	i (deg)	Ang. dist. (arcsec)	Discovery	Update
DE0630-18 (bc)	53	—	—	—	—	—	—	2020	2020-12-29
DE0630-18 a	58	—	—	—	—	—	—	2008	2020-12-29
TVLM 513-46546 b	0.38	—	220	0.3	0	71	—	2020	2020-08-05
SDSS J080531+481233 B	66.28	—	740.43	0.82	0.423	111.85	—	2016	2020-05-24
2M1059-21 b	66.95	—	690	0.8	0.146	32.9	—	2020	2020-05-01
WISE J0458+6434 A	57	—	15500	1	0.18	76.5	—	2019	2019-09-05
WISE J0458+6434 B	14	—	15500	4	0.18	76.5	—	2019	2019-07-19
2MASS J15344984-2952274 A	30.1	—	—	—	—	—	—	2008	2019-03-21
2MASS J15344984-2952274 B	28.2	—	5550	2.3	0.24	84.3	—	2008	2019-03-21
SDSS J080531+481233 A	60	—	—	—	—	—	—	2016	2018-12-04
2MASS J0249-0557A	48	—	—	—	—	—	—	2018	2018-07-31
2MASS J0249-0557 (AB) c	11.6	—	—	—	—	—	—	2018	2018-07-31
2MASS J0249-0557B	44	—	—	—	—	—	—	2018	2018-07-31
HD 176051 b	1.5	—	1016	1.76	0	—	0.117412	2010	2010-10-21

Showing 1 to 14 of 14 entries

MÉTHODE 4 ASTROMÉTRIE GAIA LANCÉ EN 2013




Définition

Détection

Résultats

www.BANDICAM.COM

Commentaire

Diamètre 11,2 Terre / 1,0 Jup
Masse 80,37 Terre / 0,259 Jup
Inclinaison 15°
Période 5,8 jour(s)
Distance 2 052 000 km
e = 0

DIAMÈTRE

PLAN DE L'ORBITE

DISTANCE PLANÈTE - ÉTOILE

EXCENTRICITÉ DE L'ORBITE

PLANÈTE GAZEUSE

PLANÈTE TELLURIQUE

MÉTHODE DES TRANSITS

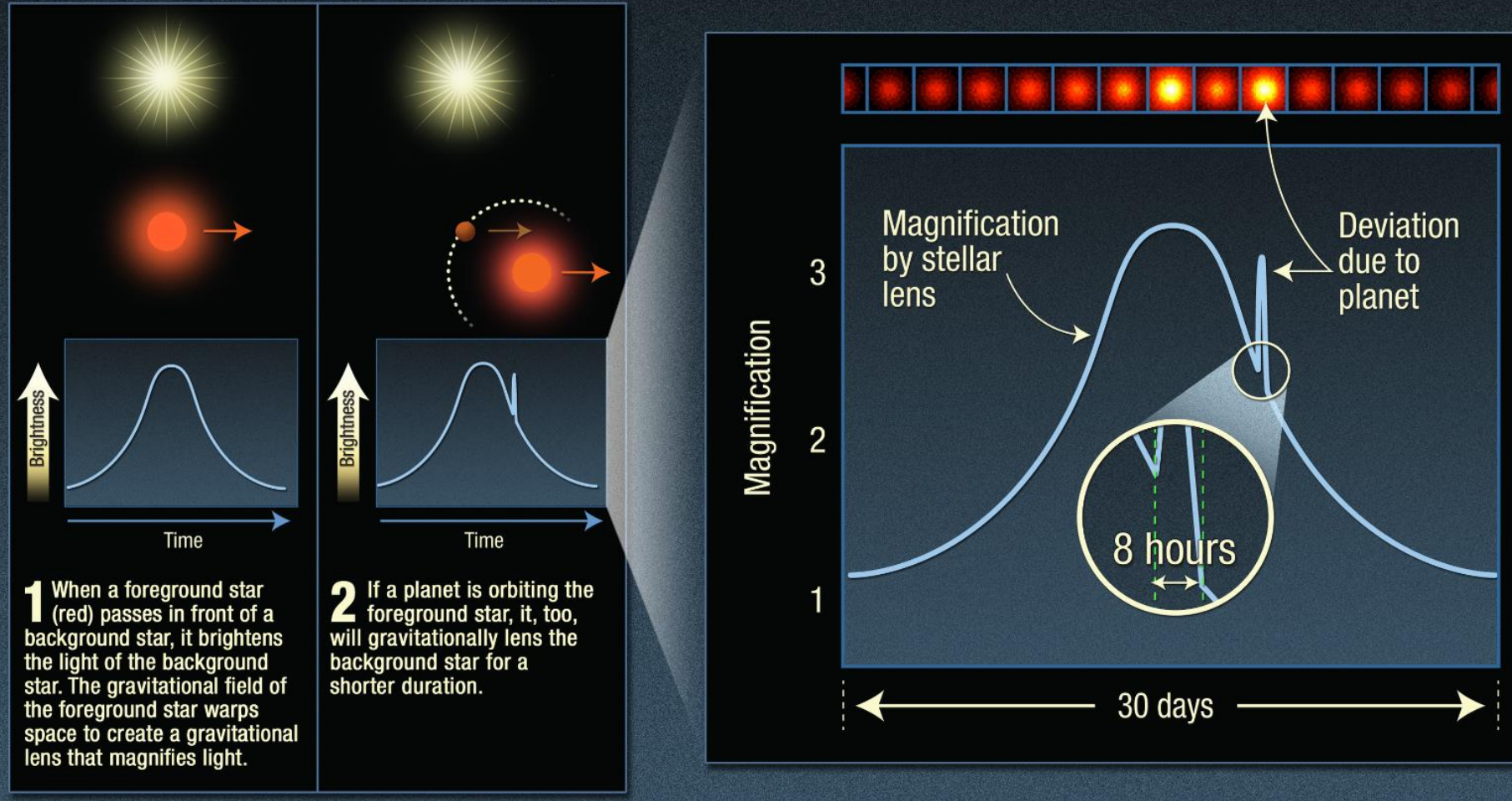
MÉTHODE DES VITESSES RADIALES

développé par Chronotopie

OAMP - CNRS / CNES

MÉTHODE 5 LENTILLE GRAVITATIONELLE

Extrasolar planet detected by gravitational microlensing



1 January 2018
 3572 exoplanets
 (~2600 systems, ~590 multiple)
 [numbers from NASA Exoplanet Archive]

Exoplanet Detection Methods

Indirect/miscellaneous

- protoplanetary disks
- debris disks/colliding planetesimals
- star accretion/pollution
- white dwarf pollution
- radio emission
- X-ray emission
- gravitational waves

decreasing planet mass

Dynamical

Microlensing

Photometry

Imaging

Transits

Timing

Astrometry

Radial velocity

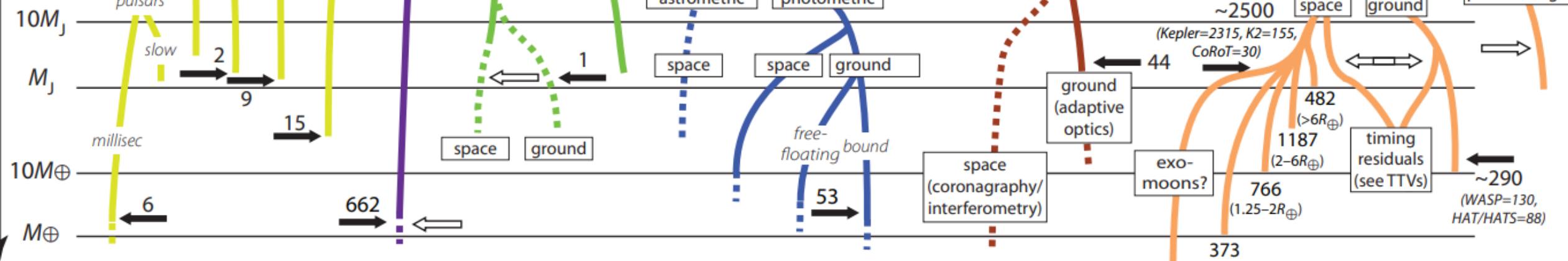
optical

radio

astrometric

photometric

reflected/polarised light



— existing capability

⋯ projected

n = planets known

➔ discoveries

⇨ follow-up detections



MERCI