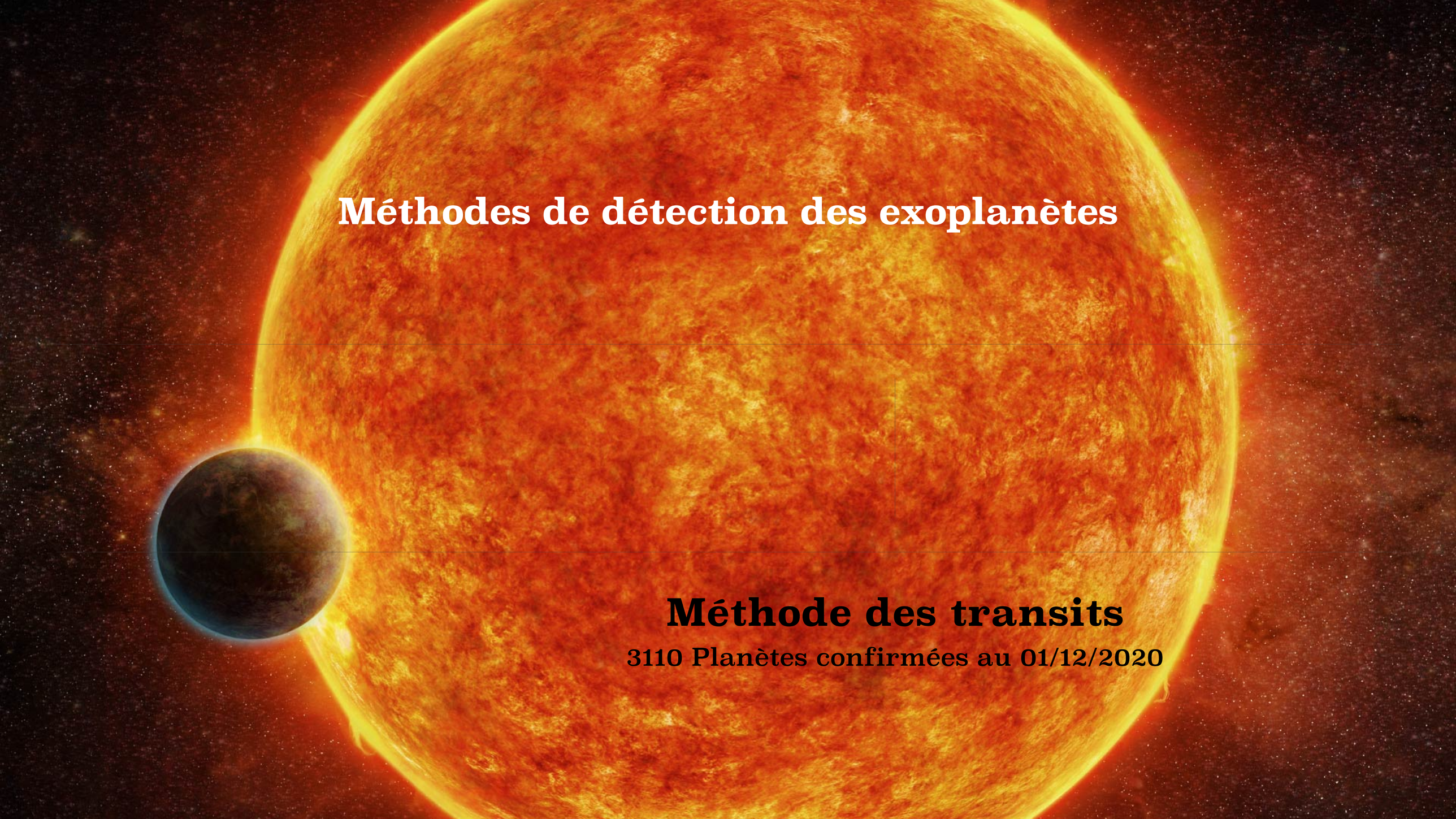
Méthodes de détection des exoplanètes



Méthode des transits

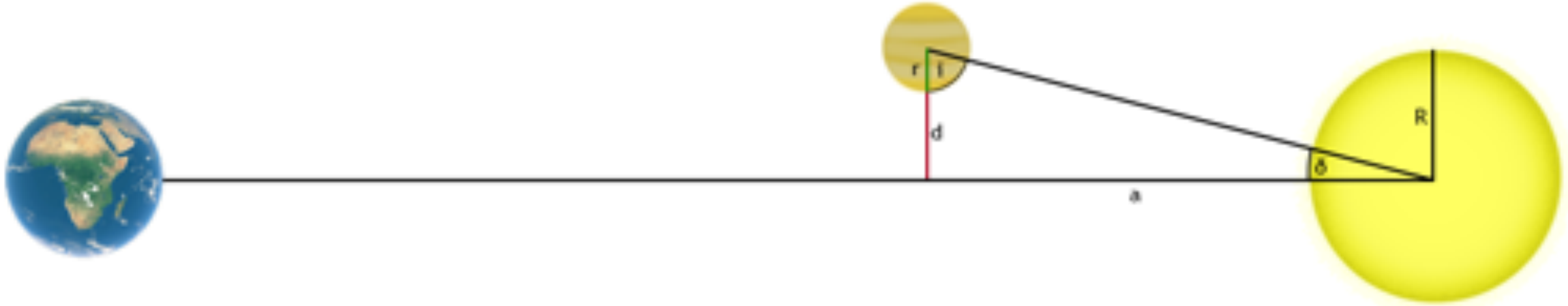
3110 Planètes confirmées au 01/12/2020

La premiere planète détectée par cette méthode a été OGLE-TR-56b, connue maintenant sous le nom de HD 209458b en 2003 par Maciej Konacki et ses collègues du MIT

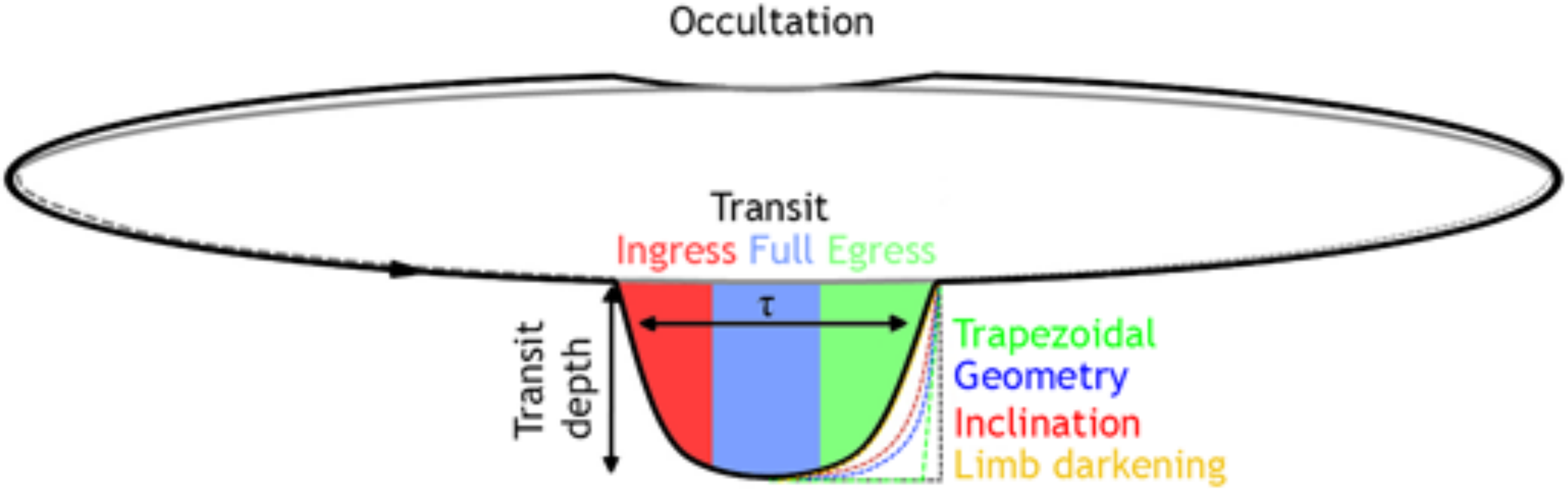
https://www.cfa.harvard.edu/~sasselov/exopl/og56.taf

Période 29,08h Distance 0,0225UA

L'Optical Gravitational Lensing Experiment est un projet d'astronomie polonais basé à l'Université de Varsovie, axé principalement sur la découverte de matière noire en utilisant les microlentilles gravitationnelles. Depuis que le projet a débuté en 1992, il a permis de découvrir différentes planètes extra-solaires

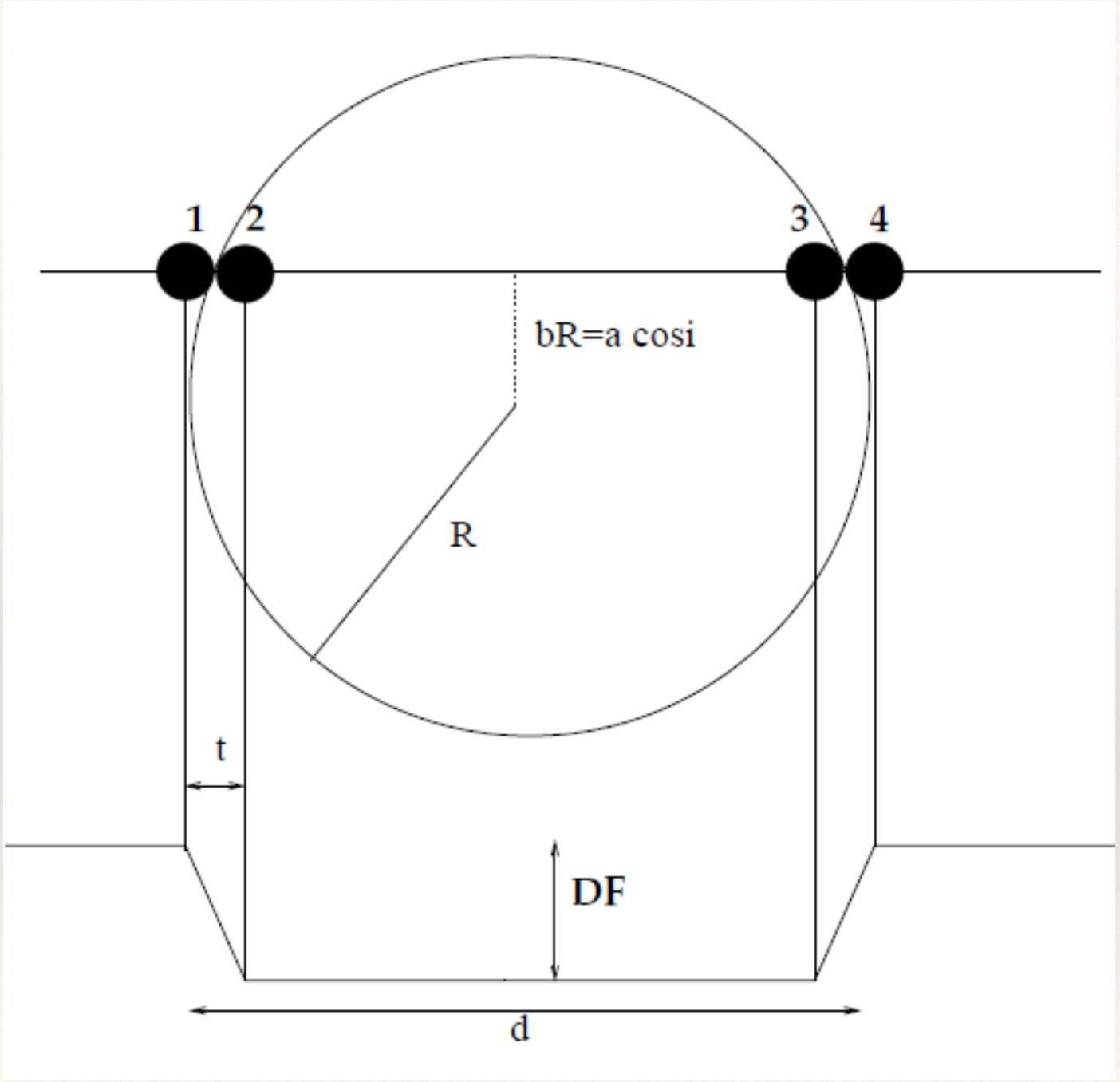

r
i
d
R
δ
a

$$P = R/a$$


Occultation
Transit
Ingress Full Egress
τ
Transit depth
Trapezoidal
Geometry
Inclination
Limb darkening

	a (MKm)	Probabilité de transit
Mercure	58000	1,200 %
Venus	108000	0,644 %
Terre	150000	0,464 %
Mars	228000	0,305 %
Jupiter	778000	0,089 %
Saturne	1421000	0,049 %
Uranus	2877000	0,024 %
Neptune	4503000	0,015 %

Probabilité d'observation de transit des planètes de notre système pour un observateur extérieur avec $R_{Soleil} \approx 696000$ Km



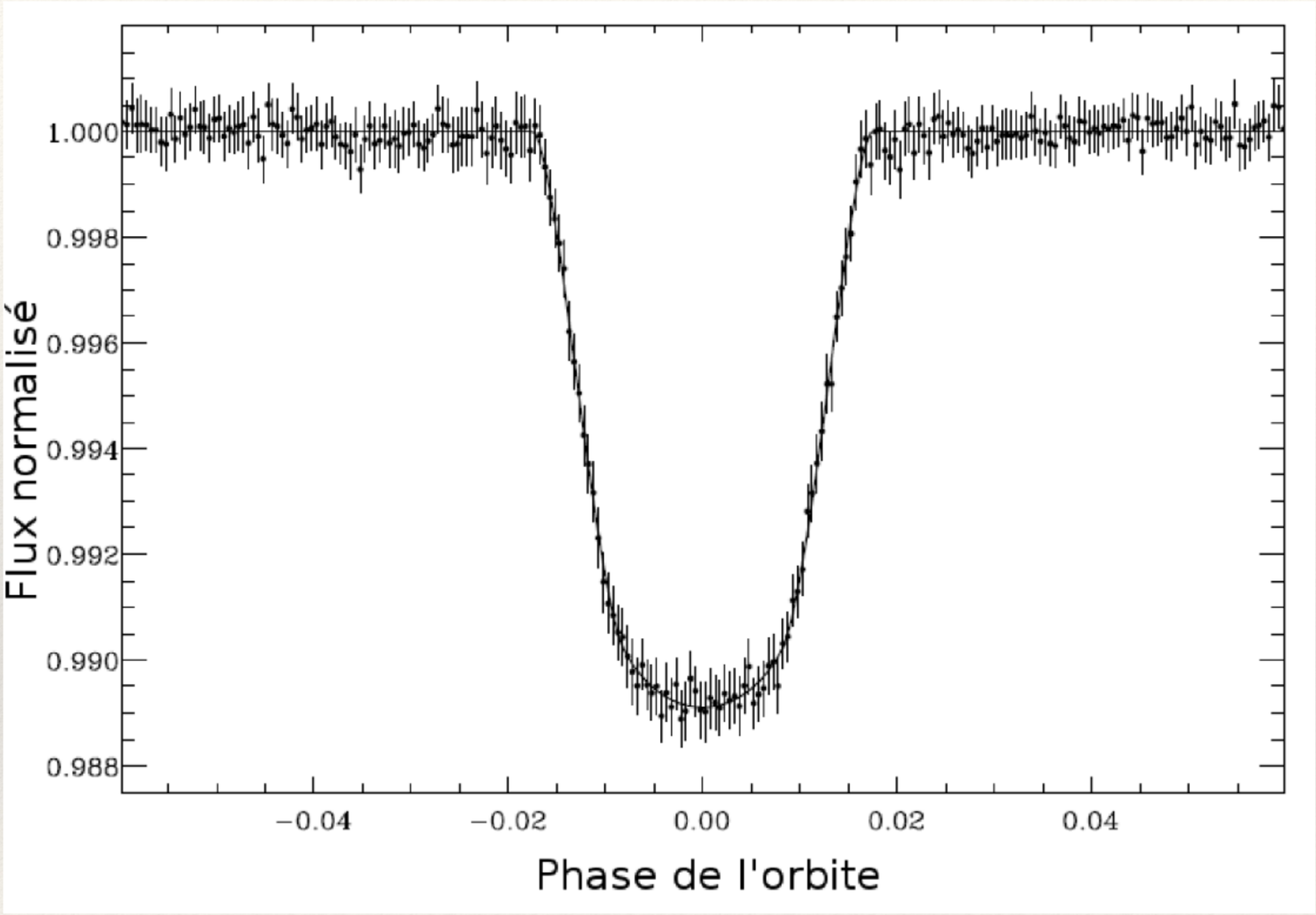
- (1) Début du transit.
- (2) Début de l'immersion totale.
- (3) Fin de l'immersion totale/Début d'émersion.
- (4) Fin du transit.

b : distance projetée du centre de la planète à l'équateur stellaire (en rayon de l'étoile)

bR=a cos(i) : paramètre d'impact

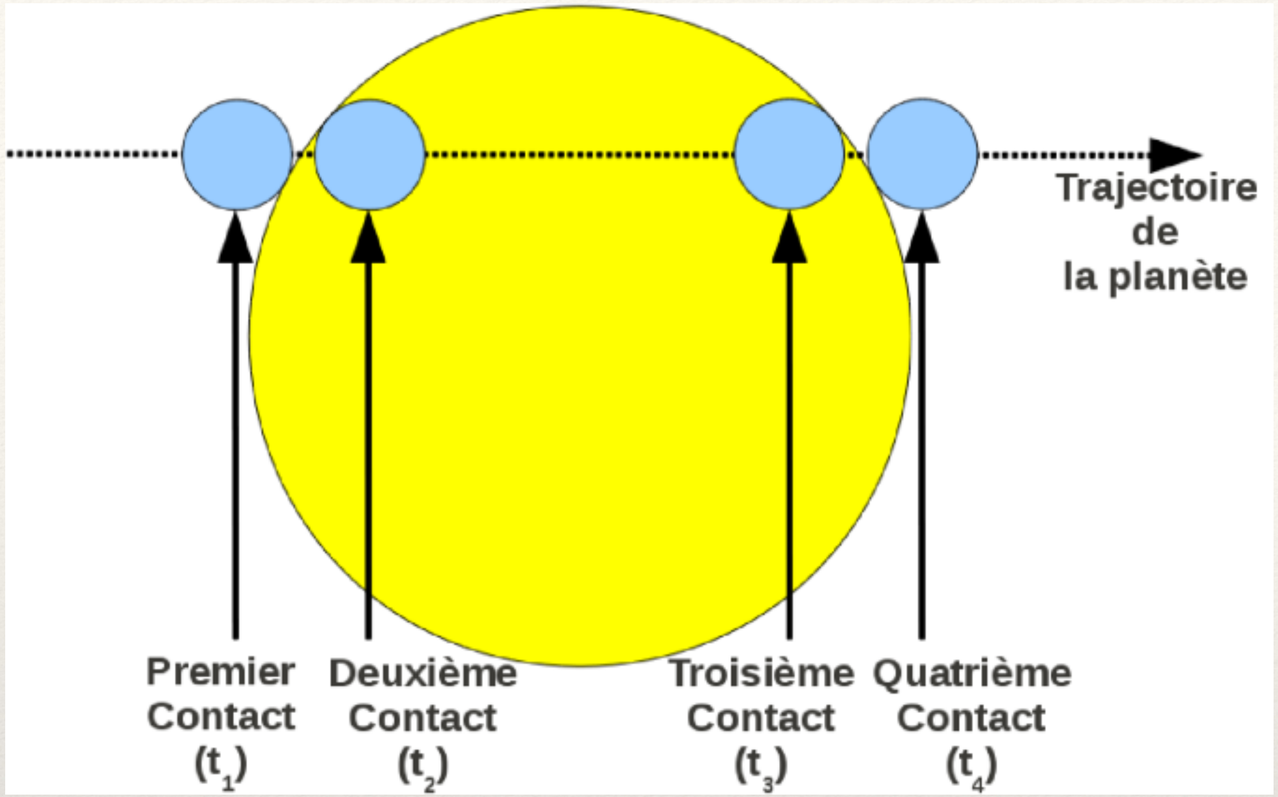
i : inclinaison du plan orbital
a : demi-grand axe de l'orbite planétaire
R, M : rayon et masse de l'étoile
r, m : rayon et masse de la planète
DF : profondeur du transit
d : durée du transit

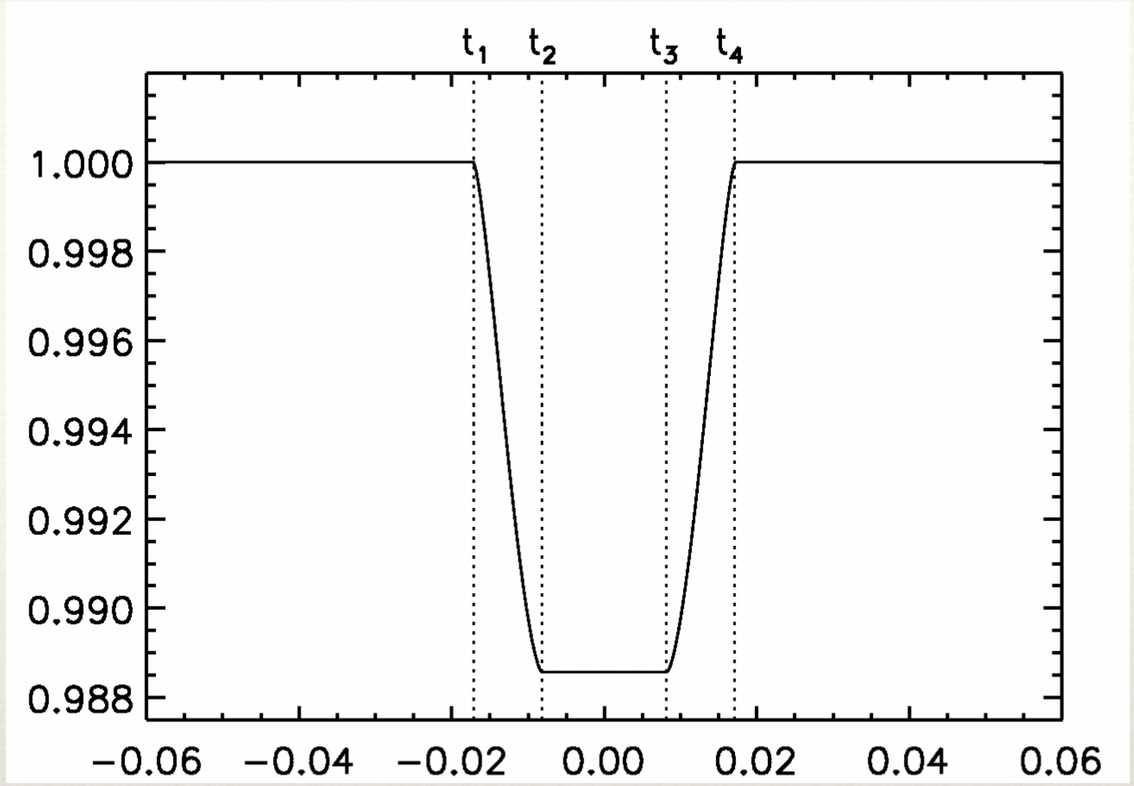
les différentes étapes du transit



La forme de la courbe dépendra essentiellement du paramètre b, soit de la distance entre la planète et l'équateur stellaire. Plus la planète sera éloignée de l'équateur, plus le transit sera court et plus la courbe aura une forme de « V ». Au contraire, plus la planète sera proche de l'équateur, plus les durées d'immersion et d'émersion seront relativement courtes par rapport au transit total, donnant à la courbe une forme en « U »

Transit de la planète CoRoT-11b détecté par le télescope spatial CoRoT. Les points noirs représentent les valeurs de mesure, avec leur barre d'erreur





Diminution du flux lumineux

$$\varepsilon = \frac{\Delta F}{F_0} = (\frac{r}{R})^2$$

Si le rayon R de l'étoile est déjà connu par d'autres moyens (spectroscopie stellaire et modèles), on obtient le rayon r de la planète

Durée du transit

$$\tau = 2(R+r)(\frac{P}{2\pi GM})^{\frac{1}{3}}\sqrt{\frac{1-(\rho\cos(i))^2}{(R+r)^2}}\frac{\sqrt{1-e^2}}{1+e\cos(\varphi)}$$

$$\tau = \frac{2R}{V_p} = \frac{P}{\pi}\frac{R}{a} \text{ avec } V_p = \frac{2\pi a}{P}$$

Avantages et inconvénients de la méthode des transits

Avantages

- Adaptée aux systèmes multiples

- Couplée avec la méthode des vitesses radiales, elle permet de trouver la masse des planètes, la taille de l'orbite, et par conséquence la densité de l'objet (planète rocheuse ou gazeuse)

- Possibilité d'étudier la composition de l'atmosphère le la planète en cas d'occultation

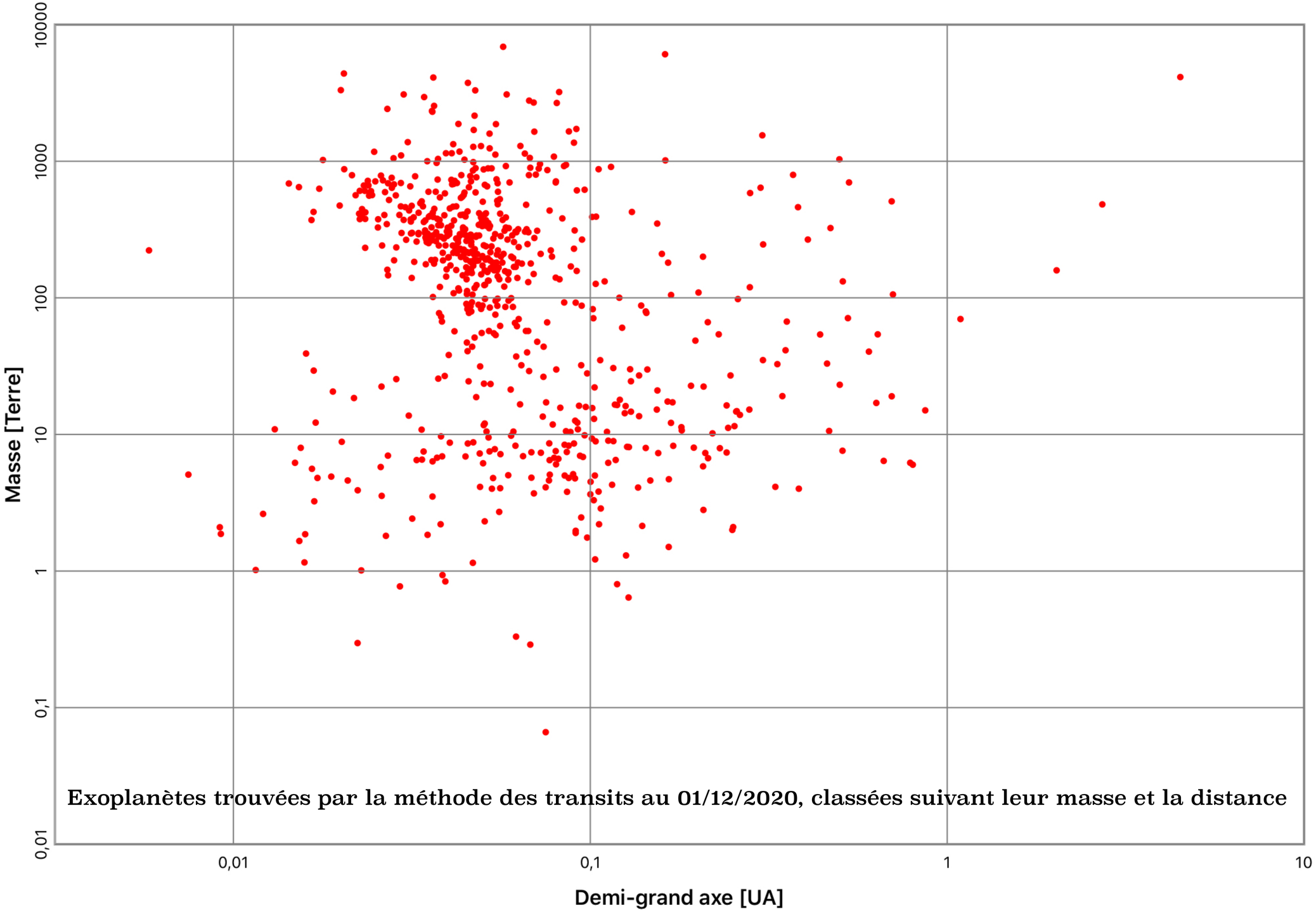
Inconvénients

- Faux positifs, à cause de la vibration des étoiles, de l'activité des tâches solaires, de l'agitation de l'atmosphère terrestre pour les observations faites au sol.

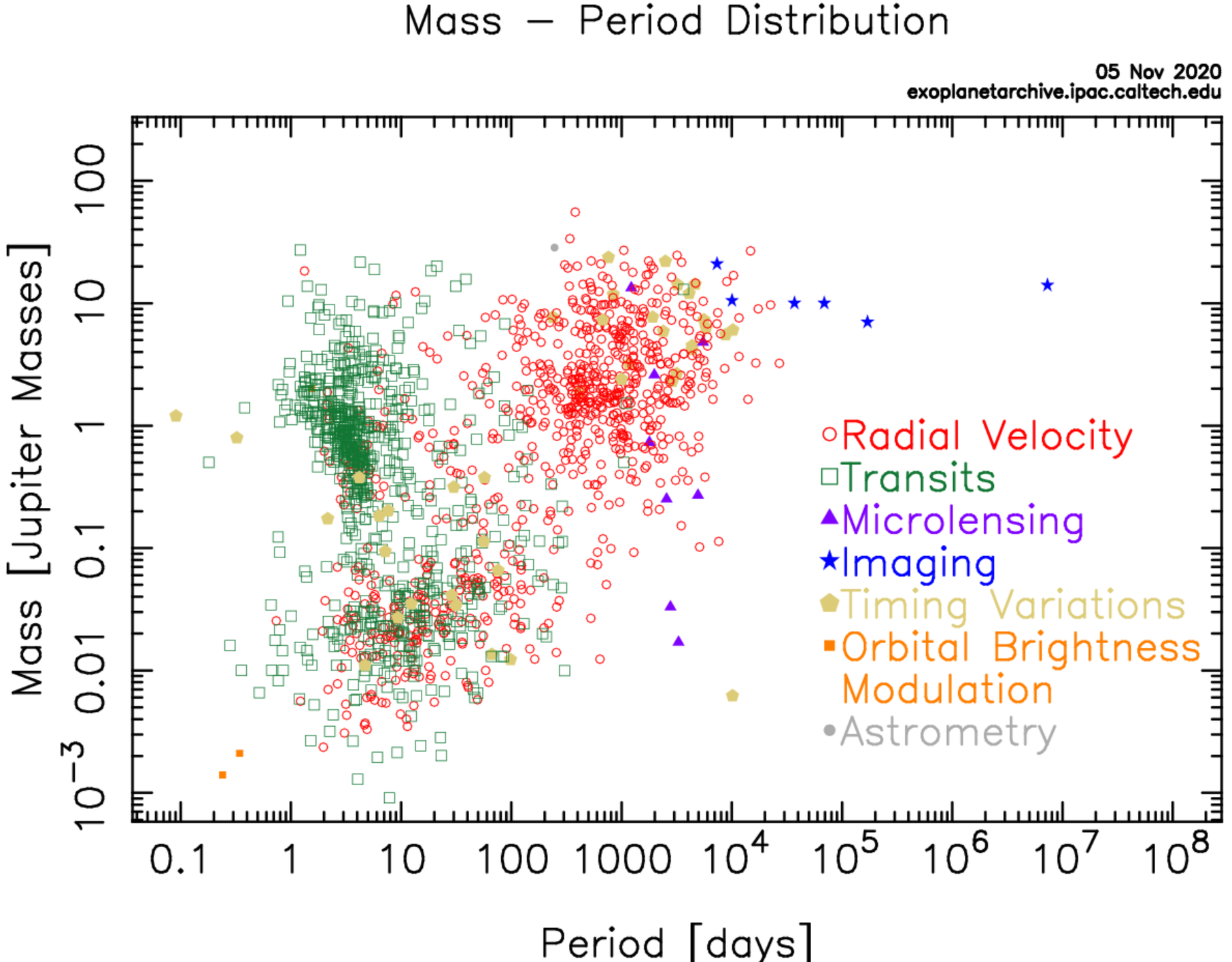
- Observation en continue pour augmenter les chances de détection

- Confirmation nécessaire sur 3 périodes

- Précision des photomètres. La Terre passant devant le soleil baisse sa luminosité de $(\frac{1}{109})^2$ soit 0,008%



Exoplanètes trouvées par la méthode des transits au 01/12/2020, classées suivant leur masse et la distance


Mass – Period Distribution
05 Nov 2020
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu
Mass [Jupiter Masses]
10^{-3}
0.01
0.1
1
10
100
Period [days]
0.1
1
10
100
1000
10^4
10^5
10^6
10^7
10^8
Radial Velocity
Transits
Microlensing
Imaging
Timing Variations
Orbital Brightness Modulation
Astrometry

Les satellites d'observation

- CoRoT : Satellite européen lancé fin 2006 désactivé en 2014 environ 600 exoplanètes découvertes, 33 confirmées

- Kepler : Satellite américain lancé en 2009 opérationnel jusqu'en 2019 environ 3000 exoplanètes découvertes, les confirmations continuent toujours.

-TESS : Satellite américain lancé en 2018, mission en cours. Recherche de super terres. 66 découvertes confirmées, 2100 en attente de confirmation.

- CHEOPS : Satellite européen lancé fin 2019, mission en cours, observation de 300 étoiles sélectionnées pour obtenir des caractéristiques détaillées des exoplanètes déjà recensées.

A venir

WFIRST en 2025, PLATO et ARIEL en 2026 et 2028

Applications pratiques

Quelques constantes

Masse du soleil : $1{,}99 \times 10^{30}$ kg

Rayon du soleil : $6{,}96 \times 10^{8}$ m

Masse de Jupiter : $1{,}9 \times 10^{27}$ kg

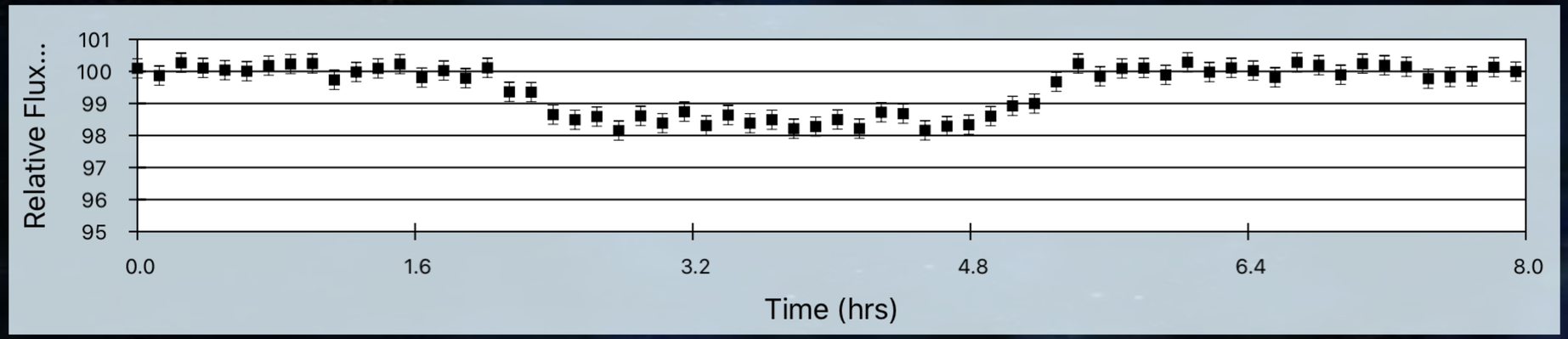
Rayon de Jupiter : $6{,}99 \times 10^{7}$ m

1 UA : $1{,}5 \times 10^{11}$ m

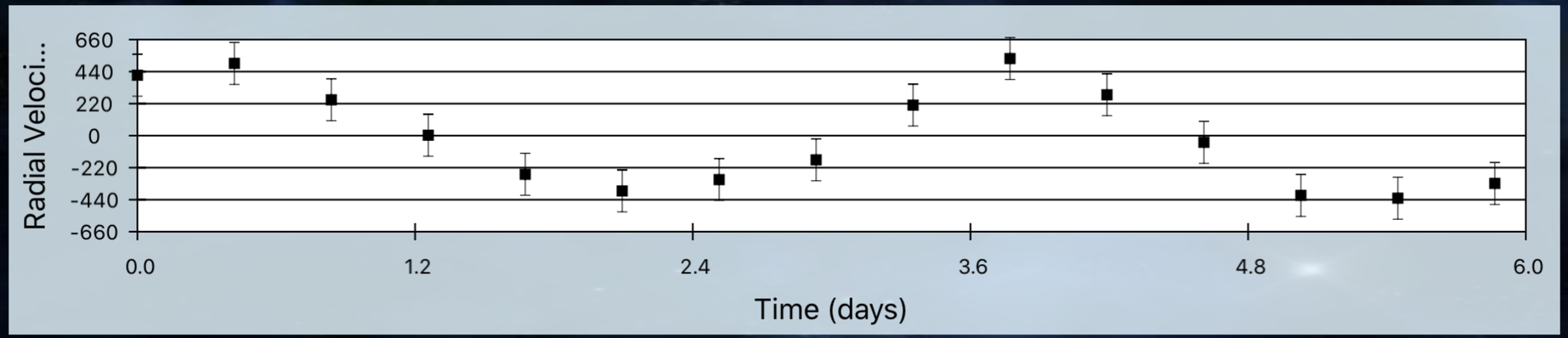
Constants

Transit Light Curve

New Quiz



Radial Velocity Curve



1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

Planetary Orbital Velocity in km/s: ?

Planetary Mass in Jupiter Masses: ?

Planetary Radius in Jupiter Radii: ?

Orbital Radius in AU: ?

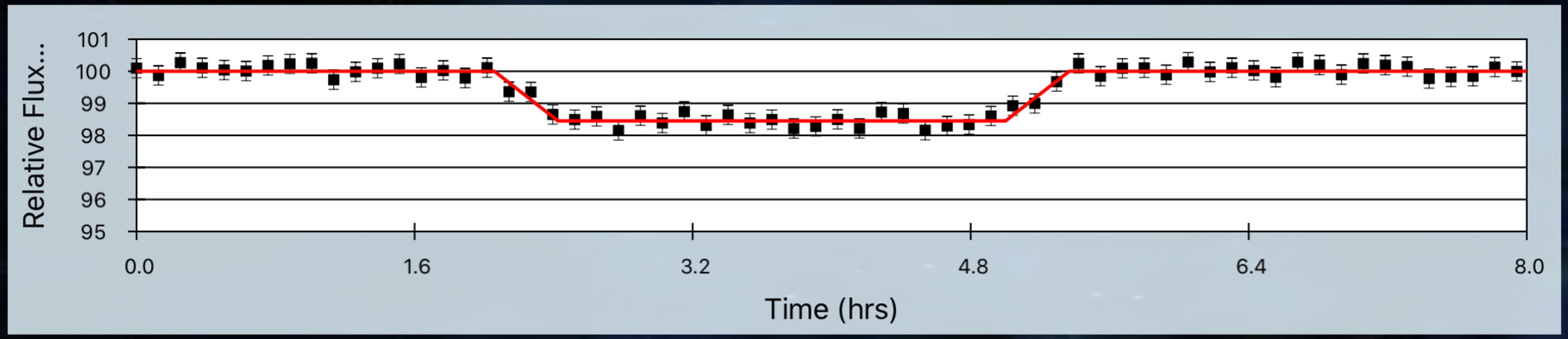
Toggle Theoretical Curves

Show Answer

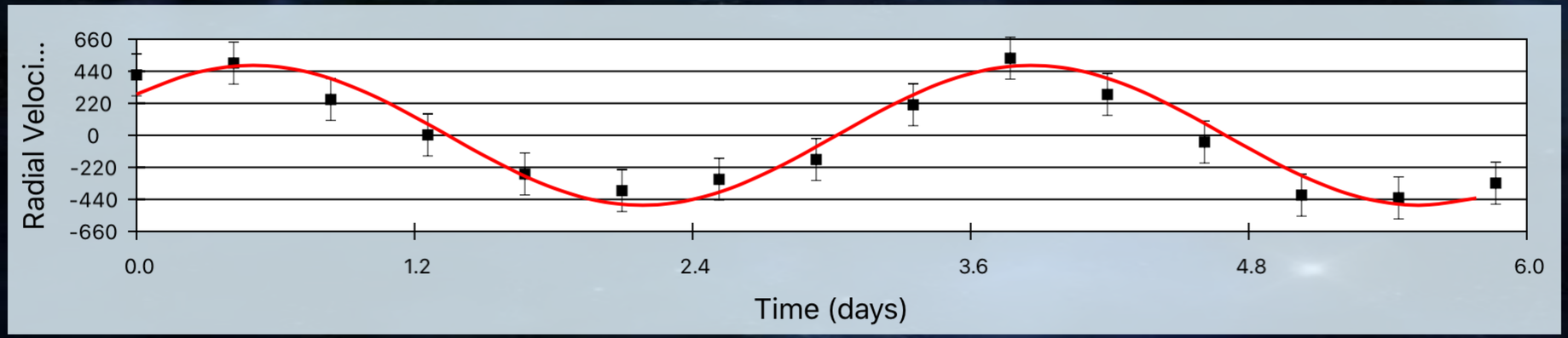
Constants

Transit Light Curve

New Quiz



Radial Velocity Curve



1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

Planetary Orbital Velocity in km/s: ?

Planetary Mass in Jupiter Masses: ?

Planetary Radius in Jupiter Radii: ?

Orbital Radius in AU: ?

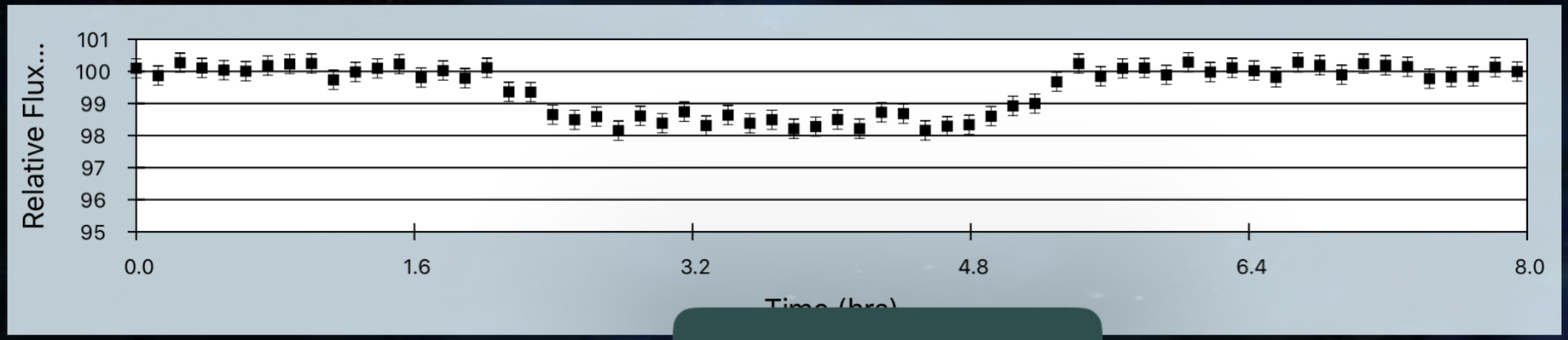
Toggle Theoretical Curves

Show Answer

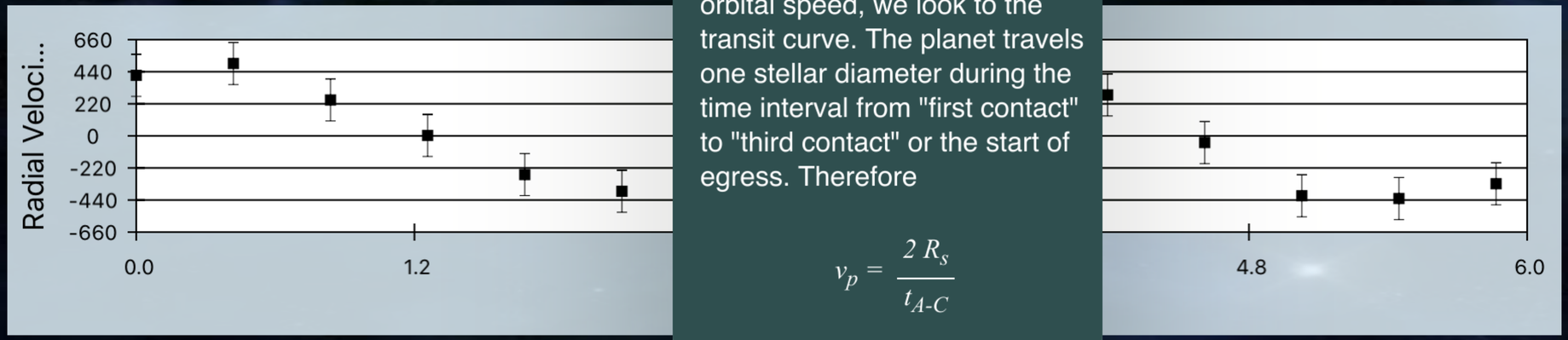
Constants

Transit Light Curve

New Quiz



Rad



Hint:

To estimate the exoplanet's orbital speed, we look to the transit curve. The planet travels one stellar diameter during the time interval from "first contact" to "third contact" or the start of egress. Therefore

$$v_p = \frac{2\,R_s}{t_{A\text{-}C}}$$

1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

- Planetary Orbital Velocity in km/s: ?
- Planetary Mass in Jupiter Masses: ?
- Planetary Radius in Jupiter Radii: ?
- Orbital Radius in AU: ?

Toggle Theoretical Curves

Show Answer

Calcul de la vitesse orbitale de la planète

$$V_p = \frac{2R_s}{t_3 - t_1}$$

D'après le graphique $t_3 - t_1 = 3h = 10800s$

$$R_S = 1{,}15R_\odot = 8 \times 10^8 m$$

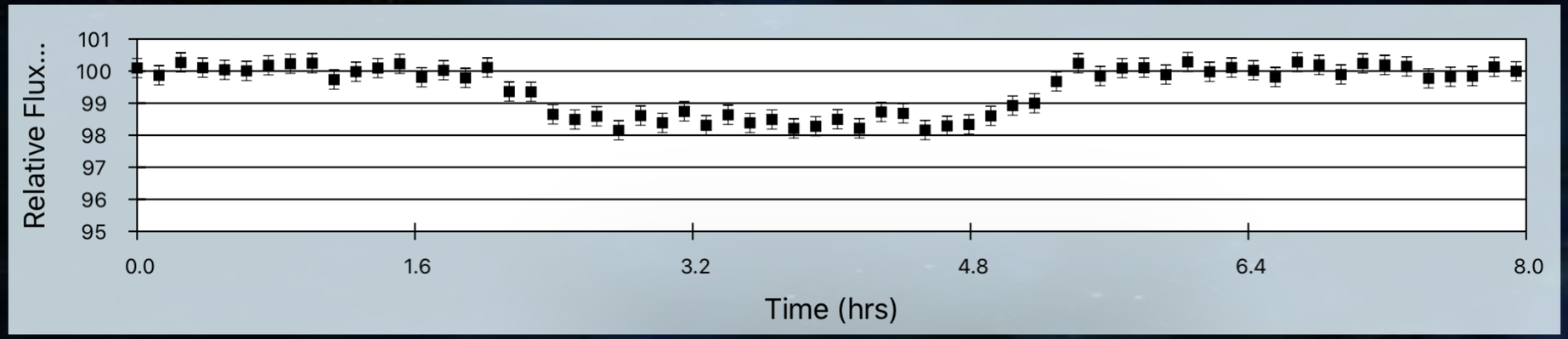
$$V_p = \frac{16 \times 10^8}{10800} = V_p = \frac{4000000}{27} = 148148m/s = 148km/s$$

R _ { S } = 1,15 R _ { \odot } = 8 \times 10 ^ { 8 } m

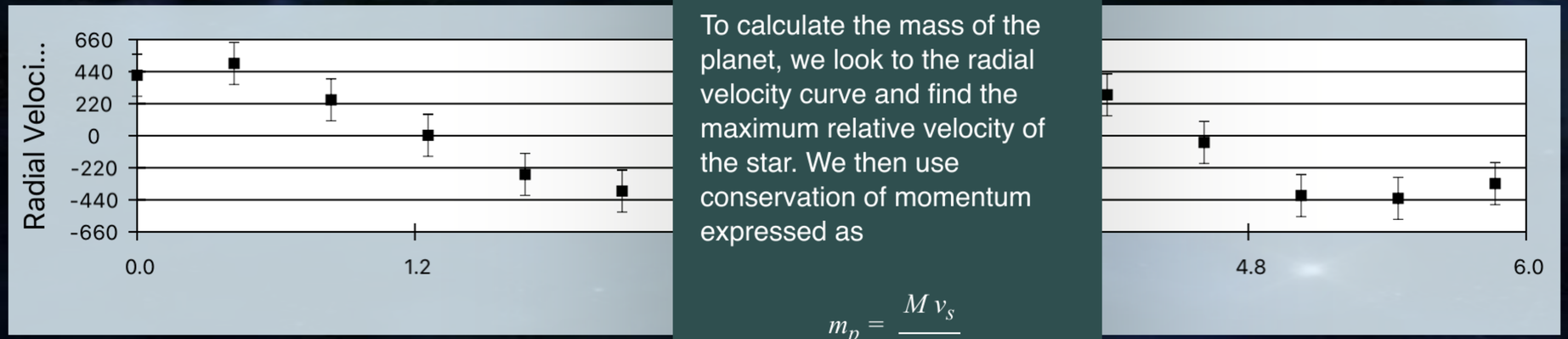
Constants

Transit Light Curve

New Quiz



Rad



Hint:

To calculate the mass of the planet, we look to the radial velocity curve and find the maximum relative velocity of the star. We then use conservation of momentum expressed as

$$m_p = \frac{M\, v_s}{v_p}$$

1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

Planetary Orbital Velocity in km/s: ?

Planetary Mass in Jupiter Masses: ?

Planetary Radius in Jupiter Radii: ?

Orbital Radius in AU: ?

Toggle Theoretical Curves

Show Answer

Calcul de la masse par rapport à Jupiter

D'après la loi de conservation du mouvement

$$m_p V_p = M_s V_S$$

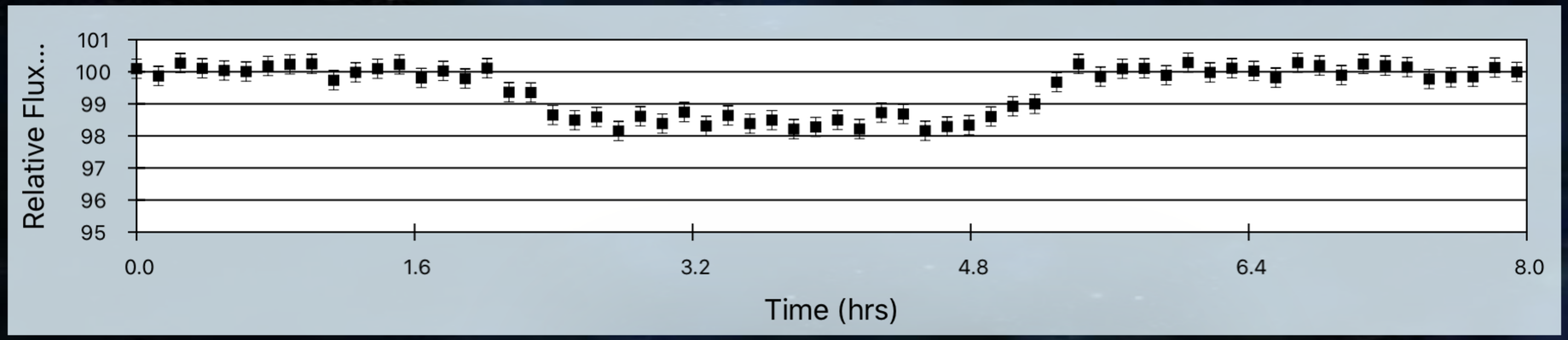
Sur le graphique on détermine V_S = 475 m/s

$$m_p = \frac{1{,}2 M_\odot \times 475}{148148} = 0{,}00384 M_\odot$$ **soit 4 fois la masse de Jupiter**

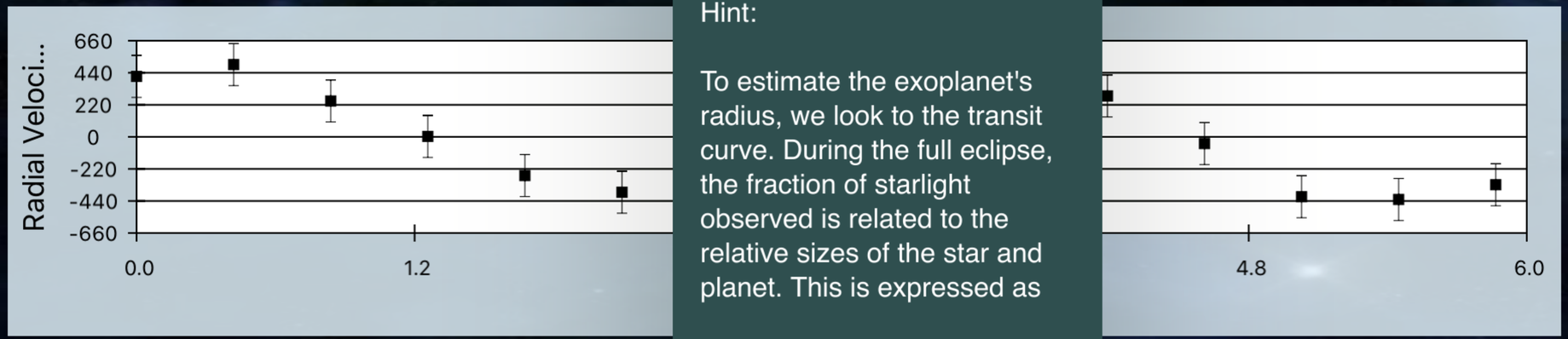
Constants

New Quiz

Transit Light Curve



Radi



Hint:

To estimate the exoplanet's radius, we look to the transit curve. During the full eclipse, the fraction of starlight observed is related to the relative sizes of the star and planet. This is expressed as

$$flux\ at\ full\ eclipse = 1 - \frac{R^2_{planet}}{R^2_{star}}$$

1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

rbital Velocity in km/s: ?

Mass in Jupiter Masses: ?

Planetary Radius in Jupiter Radii: ?

Orbital Radius in AU: ?

Toggle Theoretical Curves

Show Answer

Calcul du rayon de la planète

$$\varepsilon = \frac{\Delta F}{F_0} = (\frac{r}{R})^2 \qquad \varepsilon = 1{,}45/100 = 0{,}0145$$

$$r = 1{,}15 R_\odot \sqrt{\varepsilon} = 0{,}138 R_\odot = 1{,}37 Rjupiter$$

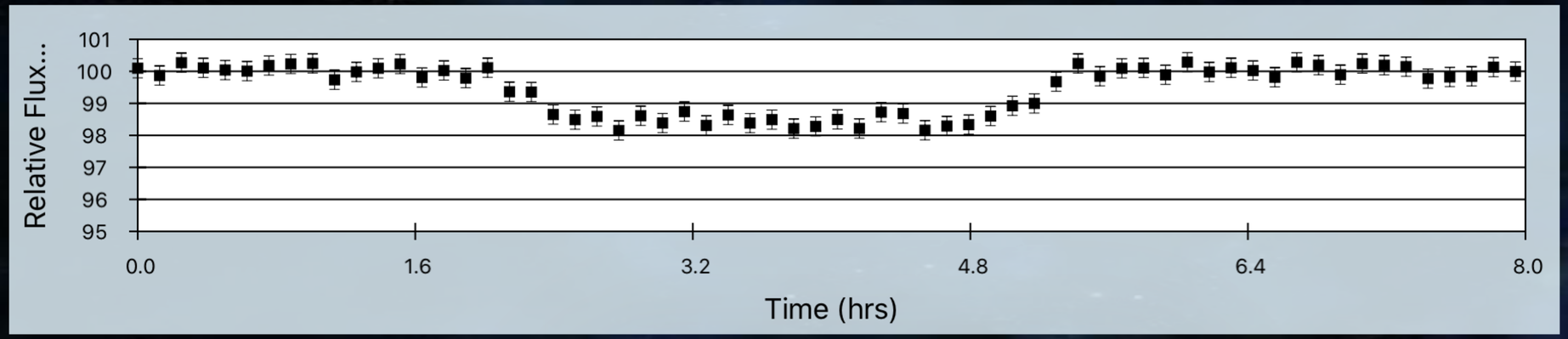
On peut également calculer la densité par rapport à Jupiter

$$d = \frac{m_p}{\frac{4\pi r^3}{3}} = \frac{4}{\frac{4\pi 1{,}37^3}{3}} = 1{,}16 dJ$$

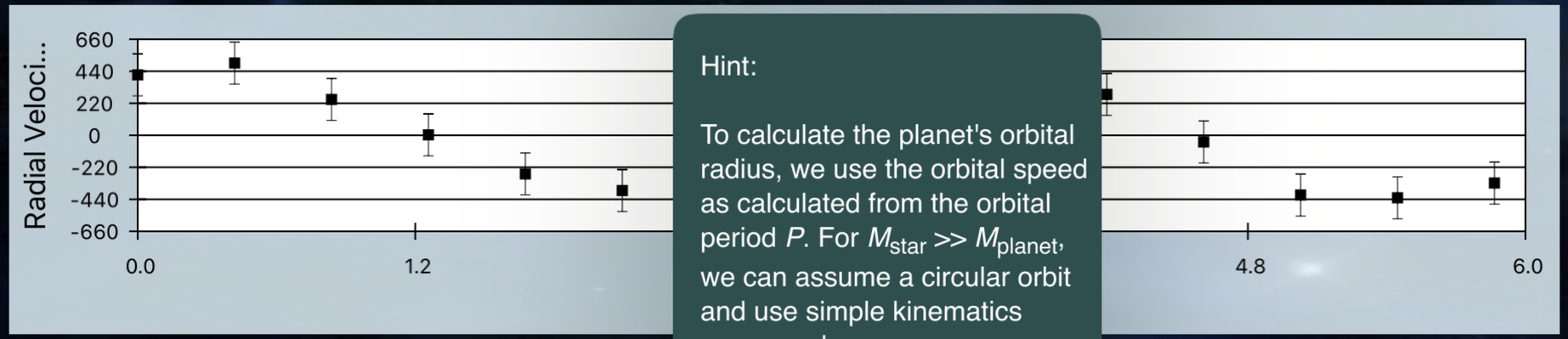
Constants

New Quiz

Transit Light Curve



Radial Velocity Curve



Hint:

To calculate the planet's orbital radius, we use the orbital speed as calculated from the orbital period *P*. For $M_{star} >> M_{planet}$, we can assume a circular orbit and use simple kinematics expressed as

$$r_{orbit} \approx \frac{P\, v_p}{2\,\pi}$$

1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

rbital Velocity in km/s: ?

lass in Jupiter Masses: ?

adius in Jupiter Radii: ?

Orbital Radius in AU: ?

Toggle Theoretical Curves

Show Answer

Calcul du rayon orbital de la planète :

On sait que : $2\pi a = V_p P$ **donc**

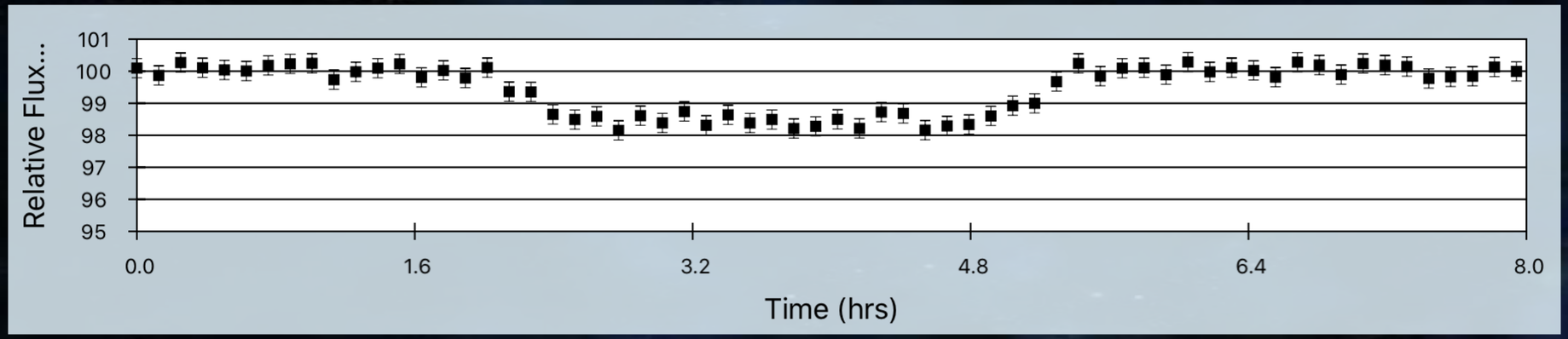
$$a = \frac{V_p P}{2\pi} \quad P = 3{,}4 jours = 293760 secondes \; V_p = 148148 m/s$$

$$a = 6926416197 M = 0{,}0463 UA$$

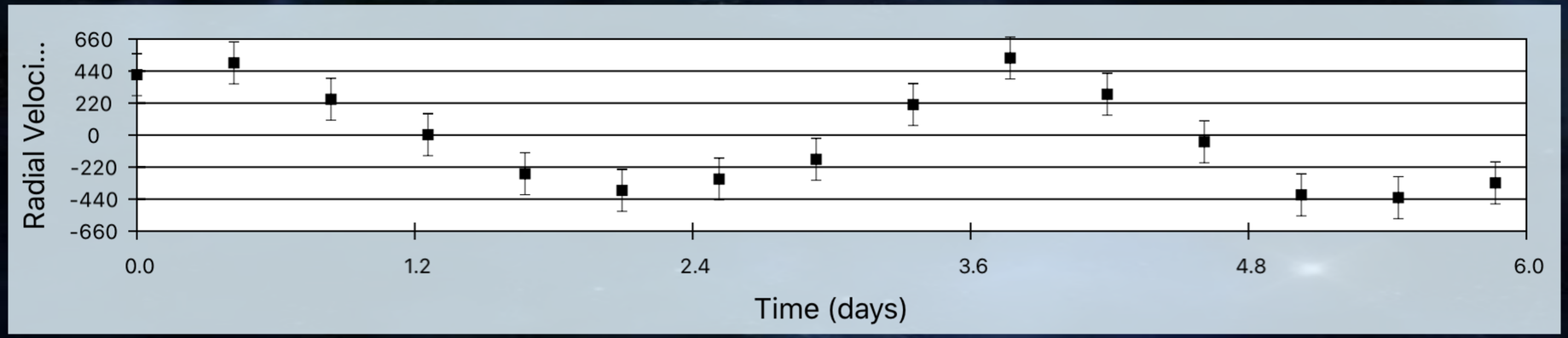
Constants

New Quiz

Transit Light Curve



Radial Velocity Curve



1.15 Solar Radii

1.20 Solar Masses

Planetary Orbital Velocity in km/s:	151.00	✔
Planetary Mass in Jupiter Masses:	4.00	✔
Planetary Radius in Jupiter Radii:	1.49	✔
Orbital Radius in AU:	0.047	✔

Toggle Theoretical Curves

WTS-1 b

WTS-1 b

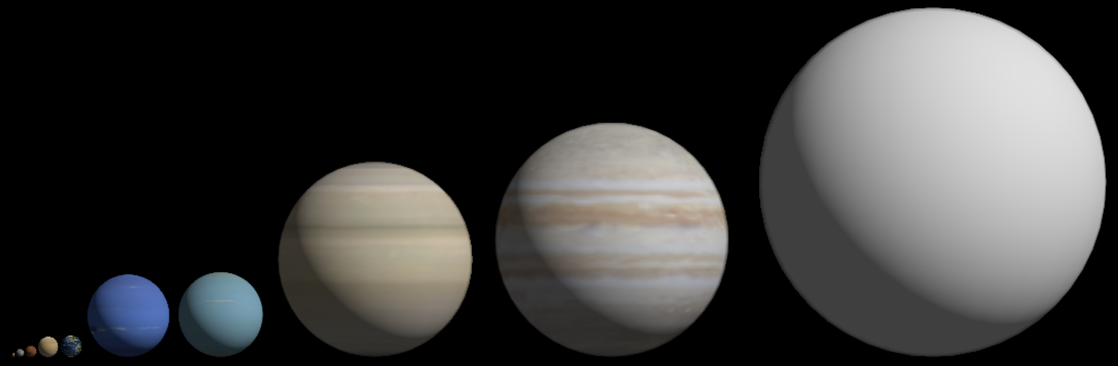
Type: Géantes gazeuses

Other identifiers of this planet:

Gaia DR2 2048464796206336896 b

Description and trivia:

The Hot Jupiter WTS-1 b is the first extrasolar planet found by the WFCAM Transit Survey. The observations were made at the 3.8-m United Kingdom Infrared Telescope and the Hobby-Eberly Telescope. The planet has one of the largest radius anomalies among the known Hot Jupiters its mass range.



Distance par rapport à la Terre	8 093 ± 916 années lumière
Ascension droite	19h 35m 56s
Déclinaison	36° 17' 46''
Année de la découverte	2012
Méthode de détection	transit
Dernière mise à jour	4 octobre 2012
Planète	
Masse	4,01 masses joviennes
Rayon	1,490 rayons joviens
Densité	1,212 densités joviennes
Gravité de surface	4,77 g
Temperature	1 362 K
Earth Similarity Index	0,1036
Période orbitale	3,35 jours
Demi-grand axe	0,0470 UA
Excentricité	0
Inclinaison	85,5 °
Next transit	6 déc. 2020 à 04:38
Other planets in this system	

Planète

Temperature	1 362 K
Earth Similarity Index	0,1036
Période orbitale	3,35 jours
Demi-grand axe	0,0470 UA
Excentricité	0
Inclinaison	85,5 °
Next transit	6 déc. 2020 à 04:38

Other planets in this system

No other planets have been detected yet.

Étoile (WTS-1)

Masse de l'étoile	1,200 masses solaires
Rayon de l'étoile	1,150 rayons solaires
Métallicité de l'étoile	N/A
Type spectral	F
Magnitude (V)	16,13
Zone habitable	1,37-2,29 UA
Température de l'étoile	6 250 K
Stellar age	N/A