

# Planètes et exoplanètes

Rosa M. Ros, Hans Deeg

*Union astronomique internationale*

*Université Polytechnique de Catalogne, Espagne*

*Institut d'Astrophysique des Iles Canaries, Espagne*



# Objectifs

- Comprendre la signification des données sur les planètes du système solaire
- Comprendre les principales caractéristiques des systèmes planétaires extrasolaires



# Systeme solaire

Nous cherchons des modèles qui fournissent des informations qui ne sont pas seulement issues d'un point de vue artistique











# Selon le contenu

Mais des modèles qui donnent des informations scientifiques



# Activité 1: Modèle des distances

<b>Mercure</b>	<b>57 900 000 km</b>		<b>6 cm</b>	<b>0.4 AU</b>
<b>Venus</b>	<b>108 300 000 km</b>		<b>11 cm</b>	<b>0.7 AU</b>
<b>Terre</b>	<b>149 700 000 km</b>		<b>15 cm</b>	<b>1.0 AU</b>
<b>Mars</b>	<b>228 100 000 km</b>		<b>23 cm</b>	<b>1.5 AU</b>
<b>Jupiter</b>	<b>778 700 000 km</b>		<b>78 cm</b>	<b>5.2 AU</b>
<b>Saturne</b>	<b>1 430 100 000 km</b>		<b>143 cm</b>	<b>9.6 AU</b>
<b>Uranus</b>	<b>2 876 500 000 km</b>		<b>288 cm</b>	<b>19.2 AU</b>
<b>Neptune</b>	<b>4 506 600 000 km</b>		<b>450 cm</b>	<b>30.1 AU</b>



## Activité 2: Modèle des diamètres

<b>Soleil</b>	<b>1 392 000 km</b>		<b>139.0 cm</b>
<b>Mercure</b>	<b>4 878 km</b>		<b>0.5 cm</b>
<b>Venus</b>	<b>12 180 km</b>		<b>1.2 cm</b>
<b>Terre</b>	<b>12 756 km</b>		<b>1.3 cm</b>
<b>Mars</b>	<b>6 760 km</b>		<b>0.7 cm</b>
<b>Jupiter</b>	<b>142 800 km</b>		<b>14.3 cm</b>
<b>Saturne</b>	<b>120 000 km</b>		<b>12.0 cm</b>
<b>Uranus</b>	<b>50 000 km</b>		<b>5.0 cm</b>
<b>Neptune</b>	<b>45 000 km</b>		<b>4.5 cm</b>

# Activité 2: Modèle des diamètres

T-shirt avec les diamètres des planètes à l'échelle



# Activité 3: Diamètres des planètes et distances au Soleil

<b>Soleil</b>	<b>1 392 000 km</b>			<b>25.0cm</b>	
<b>Mercure</b>	<b>4 878 km</b>	<b>57 900 000 km</b>		<b>0.1cm</b>	<b>10 m</b>
<b>Venus</b>	<b>12 180 km</b>	<b>108 300 000 km</b>		<b>0.2 cm</b>	<b>19 m</b>
<b>Terre</b>	<b>12 756 km</b>	<b>149 700 000 km</b>		<b>0.2 cm</b>	<b>27 m</b>
<b>Mars</b>	<b>6 760 km</b>	<b>228 100 000 km</b>		<b>0.1 cm</b>	<b>41 m</b>
<b>Jupiter</b>	<b>142 800 km</b>	<b>778 700 000 km</b>		<b>2.5 cm</b>	<b>140 m</b>
<b>Saturne</b>	<b>120 000 km</b>	<b>1 430 100 000 km</b>		<b>2.0 cm</b>	<b>250 m</b>
<b>Uranus</b>	<b>50 000 km</b>	<b>2 876 500 000 km</b>		<b>1.0 cm</b>	<b>500 m</b>
<b>Neptune</b>	<b>45 000 km</b>	<b>4 506 600 000 km</b>		<b>1.0 cm</b>	<b>800 m</b>

En général, dans une cour d'école on peut présenter les planètes jusqu'à la planète Mars

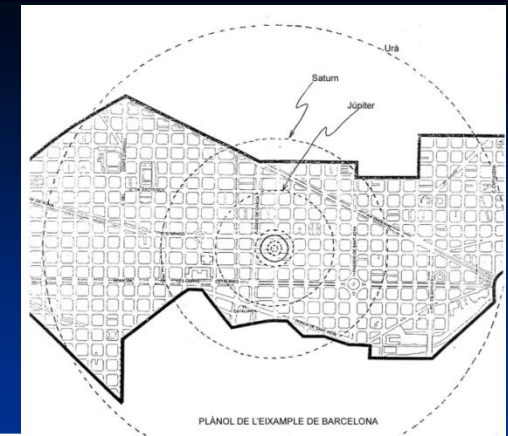




# Activité 3: Modèle des diamètres et des distances dans la cour de récréation



# Activité 4: Modèle dans la ville (*Barcelone*)



<b>Soleil</b>	<b>Machine à laver</b>	<i>Puerta Instituto</i>
<b>Mercure</b>	<b>Œuf de caviar</b>	<i>Puerta Hotel Diplomatic</i>
<b>Venus</b>	<b>pois</b>	<i>Pasaje Méndez Vigo</i>
<b>Terre</b>	<b>pois</b>	<i>Entre Méndez Vigo y Bruc</i>
<b>Mars</b>	<b>Grain de poivre</b>	<i>Paseo de Gracia</i>
<b>Jupiter</b>	<b>orange</b>	<i>Calle Balmes</i>
<b>Saturne</b>	<b>mandarine</b>	<i>Pasaje Valeri Serra</i>
<b>Uranus</b>	<b>châtaigne</b>	<i>Calle Entenza</i>
<b>Neptune</b>	<b>châtaigne</b>	<i>Estación de San</i>

# Modèle dans la ville de Metz (France)



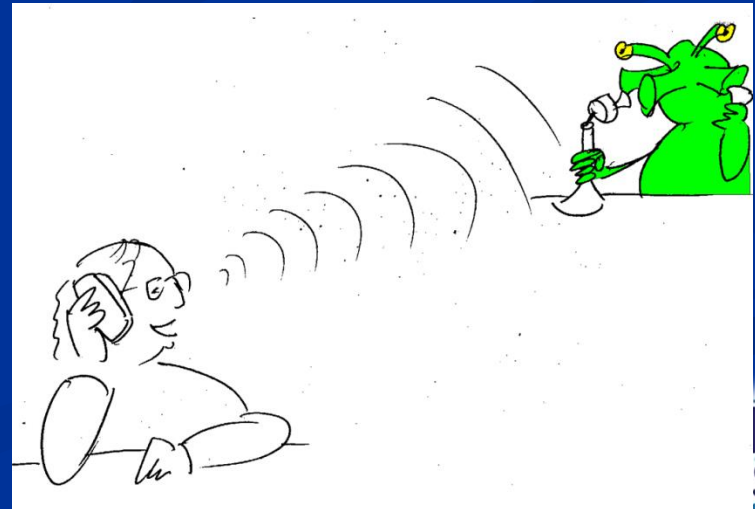
# Activité 5: Modèle du temps

- $c = 300\,000 \text{ km/s}$

Le temps nécessaire pour que la lumière nous parvienne de la Lune est:

$$t = \text{distance EM} / c = 384\,000 \text{ km} / 300\,000 = 1.3 \text{ s}$$

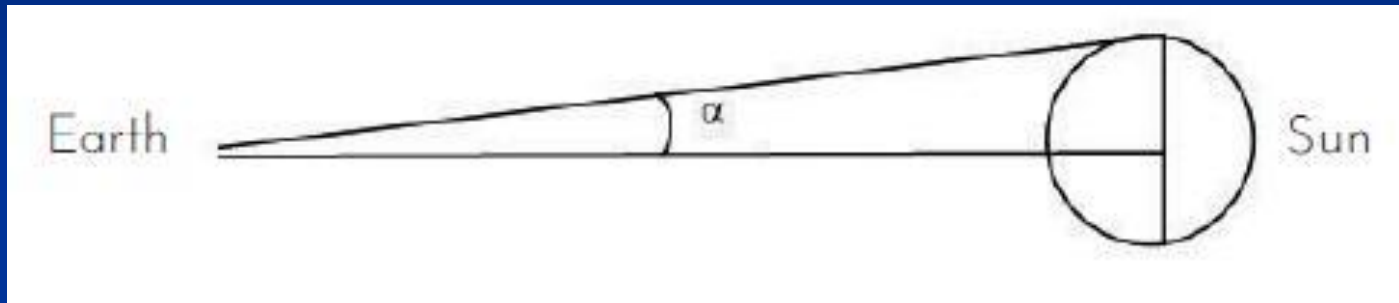
Comment une conversation entre planètes serait - elle par "vidéo"?



# La lumière du soleil met pour arriver à...

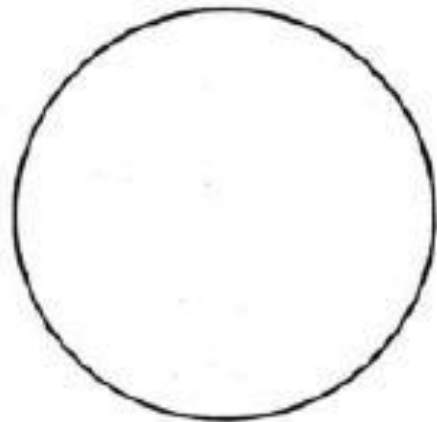
<b>Mercure</b>	<b>57 900 000 km</b>		<b>3.3 minutes</b>
<b>Venus</b>	<b>108 300 000 km</b>		<b>6.0 minutes</b>
<b>Terre</b>	<b>149 700 000 km</b>		<b>8.3 minutes</b>
<b>Mars</b>	<b>228 100 000 km</b>		<b>12.7 minutes</b>
<b>Jupiter</b>	<b>778 700 000 km</b>		<b>43.2 minutes</b>
<b>Saturne</b>	<b>1 430 100 000 km</b>		<b>1.32 heures</b>
<b>Uranus</b>	<b>2 876 500 000 km</b>		<b>2.66 heures</b>
<b>Neptune</b>	<b>4 506 600 000 km</b>		<b>4.16 heures</b>

# Activité 6: Le Soleil vu des planètes



- $\alpha = \tan \alpha = \text{radius Sun} / \text{distance to Sun} =$   
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ radian} = 0.255^\circ$
- $\alpha = \tan \alpha = \text{rayon Soleil} / \text{distance au Soleil} =$   
 $= 700\,000 / 150\,000\,000 = 0.0045 \text{ rayon} = 0.255^\circ$
- De la Terre, le Soleil mesure  $2 \alpha = 0.51^\circ$

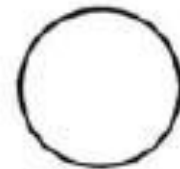
# Activité 6: Le Soleil vu des planètes



From Mercury



From Venus



From Earth



From Mars



From Jupiter



From Saturn



From Uranus



From Neptune

# Activité 7: Model de densités



Soleil	1.41 g/cm <sup>3</sup>	➡	Sulfure (1.1-2.2)
Mercure	5.41 g/cm <sup>3</sup>	➡	Pirite (5.2)
Venus	5.25 g/cm <sup>3</sup>	➡	Pirite (5.2)
Terre	5.52 g/cm <sup>3</sup>	➡	Pirite (5.2)
Mars	3.90 g/cm <sup>3</sup>	➡	Blende (4.0)
Jupiter	1.33 g/cm <sup>3</sup>	➡	Sulfure (1.1-2.2)
Saturne	0.71 g/cm <sup>3</sup>	➡	Bois de pin(0.55)
Uranus	1.30 g/cm <sup>3</sup>	➡	Sulfure (1.1-2.2)
Neptune	1.70 g/cm <sup>3</sup>	➡	Argile(





# Activité 8: Modèle d'aplatissement

- Coupez des bandelettes en carton de 35 cm de longueur et 1 cm de largeur.
- Attachez-les à un bâton cylindrique de 50 cm de long et 1 cm de diamètre en laissant l'extrémité inférieure libre de sorte qu'il puisse se déplacer le long du bâton.
- Tournez le bâton entre vos mains rapidement dans une direction et dans une autre. La force centrifuge déforme les bandes de carton comme dans le cas des planètes.



# Activité 8: Aplatissement

Planètes	(Rayon équatorial-rayon polaire) / rayon équatorial
Mercure	0.0
Venus	0.0
Terre	0.0034
Mars	0.005
Jupiter	0.064
Saturne	0.108
Uranus	0.03
Neptune	0.03



# Activité 9: Modèle des périodes orbitales

- Attachez un écrou à une extrémité d'une corde, maintenez l'autre extrémité de la corde et faites la tourner sur votre tête.
- Si la corde est longue, l'objet prend plus de temps pour faire une orbite complète que si nous prenons une corde plus courte, qui prendra moins de temps



# Données orbitales de la Terre

La vitesse orbitale moyenne  $v=2\pi R/T$

Pour la Terre

$$v=2\pi \times 150 \times 10^6 / 365$$

$$v= 2\,582\,100 \text{ km/jour} = 107\,590 \text{ km/h} = 29.9 \text{ km/s}$$

(La vitesse orbitale moyenne du Soleil autour du centre galactique est de 220 km/s ou 800 000 km/h.)



# Paramètres orbitaux

Planètes	Période orbitale (jours)	Distance au Soleil (km)	Vitesse Orbitale (km/s)	Vitesse Orbitale (km/h)
Mercure	87.97	57.9 $10^6$	47.90	172440
Venus	224.70	108.3 $10^6$	35.02	126072
Terre	365.26	149.7 $10^6$	29.78	107208
Mars	686.97	228.1 $10^6$	24.08	86688
Jupiter	4331.57	778.7 $10^6$	13.07	47052
Saturne	10759.22	1 430.1 $10^6$	9.69	34884
Uranus	30.799.10	2 876.5 $10^6$	6.81	24876
Neptune	60190.00	4 506.6 $10^6$	5.43	19558












# Activité 10: Modèle de la gravité à la surface

- Gravité à la surface,  $F = GM m/d^2$ , avec  $m = 1$ ,  
 $d = R$ . Ainsi  $g = GM/R^2$ , où  $M = 4/3 \pi R^3 \rho$
- En remplaçant:  $g = 4/3 \pi G R \rho$



# La gravité à la surface

Planètes	Rayon Equatorial	Densité		Gravité calculée	Gravité réelle	
Mercure	2439 km	5.4 g/cm <sup>3</sup>		0.378	3.70 m/s <sup>2</sup>	0.37
Venus	6052 km	5.3 g/cm <sup>3</sup>		0.894	8.87 m/s <sup>2</sup>	0.86
Terre	6378 km	5.5 g/cm <sup>3</sup>		1.000	9.80 m/s <sup>2</sup>	1.00
Mars	3397 km	3.9 g/cm <sup>3</sup>		0.379	3.71 m/s <sup>2</sup>	0.38
Jupiter	71492 km	1.3 g/cm <sup>3</sup>		2.540	23.12 m/s <sup>2</sup>	2.36
Saturne	60268 km	0.7 g/cm <sup>3</sup>		1.070	8.96 m/s <sup>2</sup>	0.91
Uranus	25559 km	1.2 g/cm <sup>3</sup>		0.800	8.69 m/s <sup>2</sup>	0.88
Neptune	25269 km	1.7 g/cm <sup>3</sup>		1.200	11.00 m/s <sup>2</sup>	1.12
Lune					1.62 m/s <sup>2</sup>	0.16

# Activité 11: Modèle des “cratères d’impact”

- Couvrez le sol par des journaux, pour éviter de le salir.
- Mettez une couche de 2 à 3 cm de farine dans un plateau à l’aide d’un tamis pour que la surface soit très lisse.
- Mettez une couche de quelques millimètres de poudre de cacao sur la farine avec une passoire
- A une hauteur d’environ 2 mètres, laissez tomber un projectile : une cuillère de service de cacao en poudre. La chute laisse des marques semblables à celles des cratères d’impact
- La farine utilisée peut être recyclée pour une nouvelle expérience





# Activité 12: Vitesse d'échappement

- $E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2$
- $E_{\text{pot}} = -GM_{\text{planète}} m/R_{\text{planète}}$
- $E_{\text{méc}} = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = 0$
- $g_{\text{planète}} = GM_{\text{planète}}/R_{\text{planète}}^2$

Alors:  $-GM_{\text{planète}} m/R_{\text{planète}} + \frac{1}{2} mv^2 = 0$

$$\frac{1}{2} mv^2 = g_{\text{planète}} mR_{\text{planète}}$$

la vitesse d'échappement devient :

$$v = (2gR)^{1/2}$$



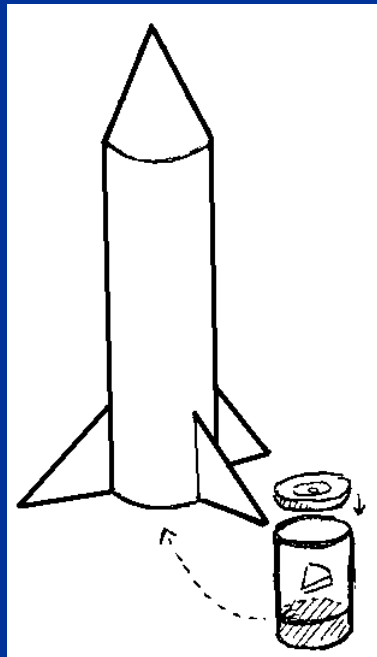
# Activité 12: Vitesse d'échappement

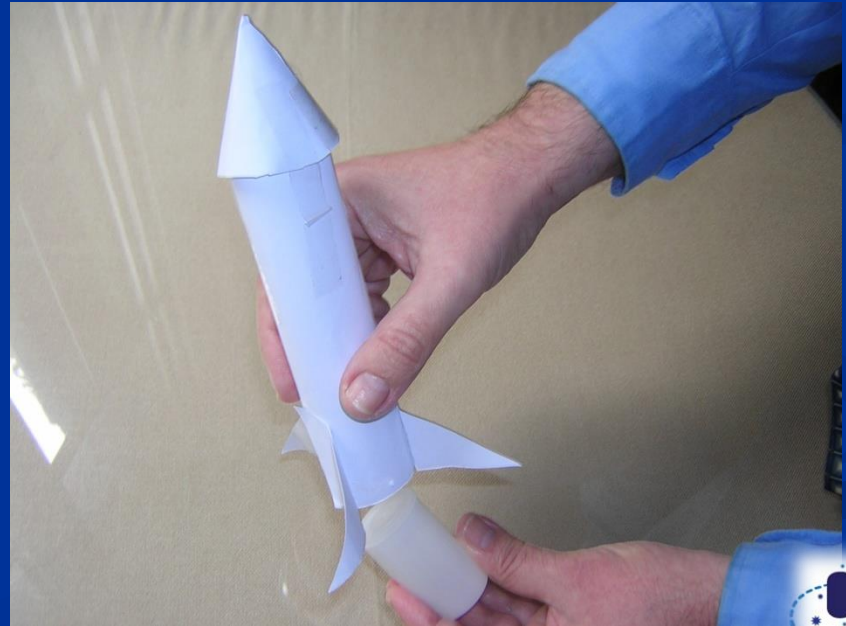
Planètes	Rayon Equatorial	Gravité Superficielle		Vitesse d'échappement
Mercury	2 439 km	0.378		4.3 km/s
Venus	6 052 km	0.894		10.3 km/s
Earth	6 378 km	1.000		11.2 km/s
Mars	3 397 km	0.379		5.0 km/s
Jupiter	71 492 km	2.540		59.5 km/s
Saturn	60 268 km	1.070		35.6 km/s
Uranus	25 559 km	0.800		21.2 km/s
Neptune	25 269 km	1.200		23.6



# Lancement de fusées

- Papier carton
- Capsule de film
- $\frac{1}{4}$  de comprimé Effervescent





# Systemes planétaires extrasolaires



En 1995, Michael Mayor et Didier Queloz ont  
annoncé la détection d'une exoplanète en  
orbite autour de 51 Pégase



1<sup>ère</sup> photo  
16 Mars 2003

2M1207b directly imaged (ESO)



# Nous dépendons de la technologie



En 1610 Galilée a observé pour la première fois Saturne avec son télescope, il n'a pas vu un anneau fin, mais a interprété l'objet comme une étoile à trois corps. On doit attendre Huygens (1659) avec un télescope plus performant pour résoudre le problème des anneaux. Pour cette raison, la peinture de Rubens (1636-1638) symbolise Saturne avec trois objets selon la découverte de Galileo

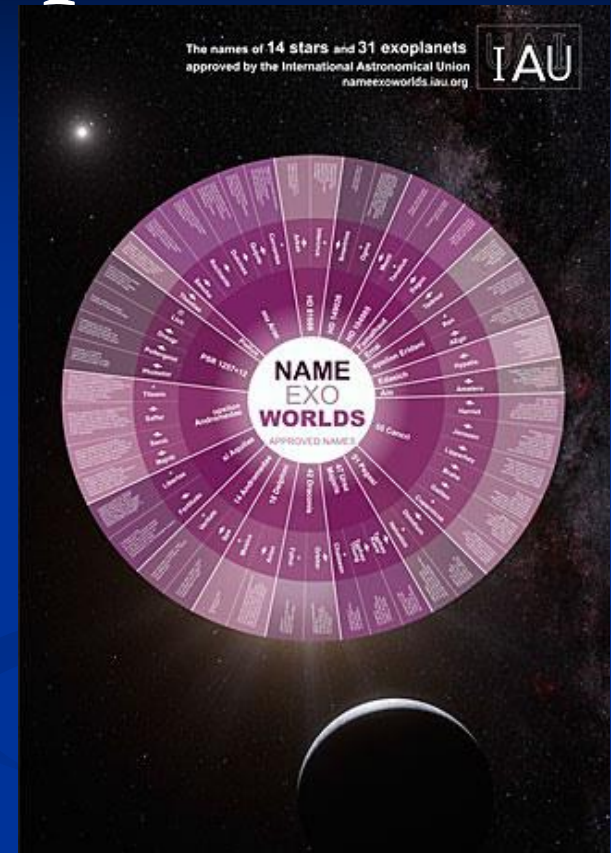


# Les noms des exoplanètes

Une lettre est placée après le nom de l'étoile centrale commençant par "b" pour la première planète trouvée dans le système  
(*e.g. 51 Pegasi b*).

Les planète suivantes sont nommées avec les lettres suivantes de l'alphabet c, d, e, f, etc.

(*51 Pegasi c, 51 Pegasi d, 51 Pegasi e or 51 Pegasi f*).





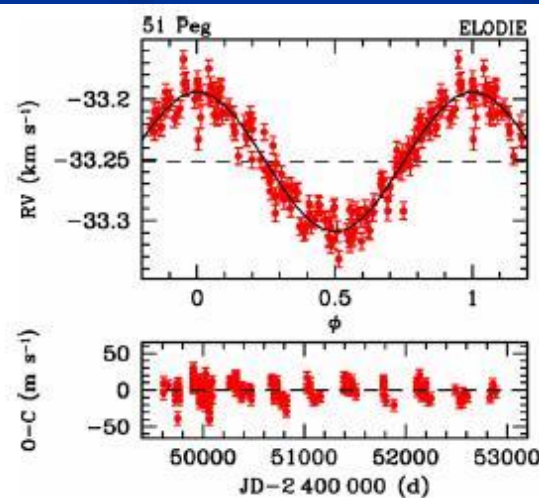
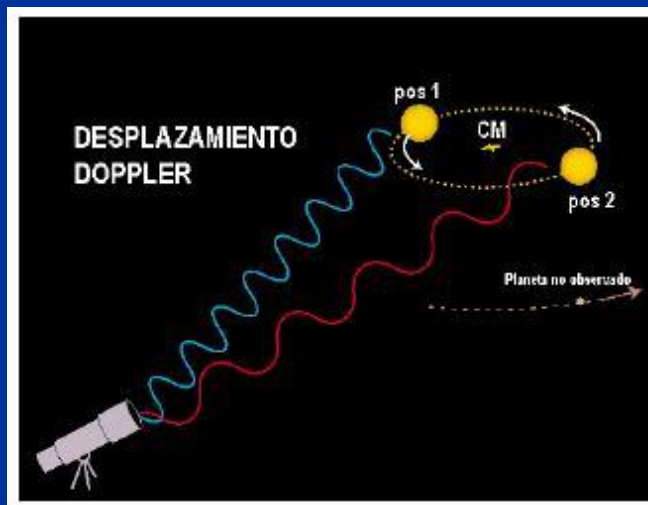
# Méthodes de détection des exoplanètes

Plusieurs méthodes:

- ❑ Vitesse radiale et effet Doppler
- ❑ Méthode de transit
- ❑ Lentille gravitationnelle
- ❑ Autres

# Méthode de détection: vitesse radiale

La variation de la vitesse radiale de l'étoile causée par l'effet Doppler engendré par le mouvement de l'étoile autour du barycentre du système planète + étoile. C'est avec cette méthode que la première exoplanète 51 Pégaso b a été détectée.

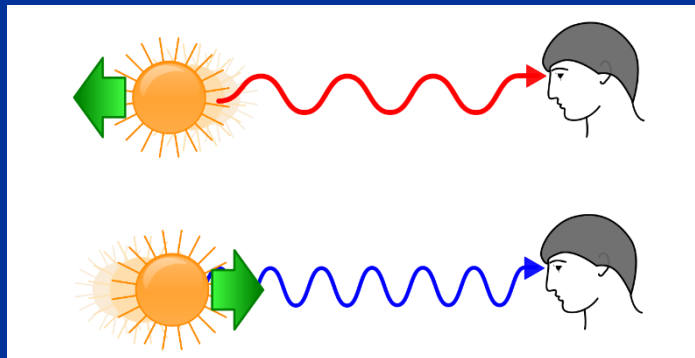


# Activité 13: effet Doppler

L'effet Doppler fait également varier la longueur d'onde d'un son ou d'une onde électromagnétique lorsque la source se déplace.

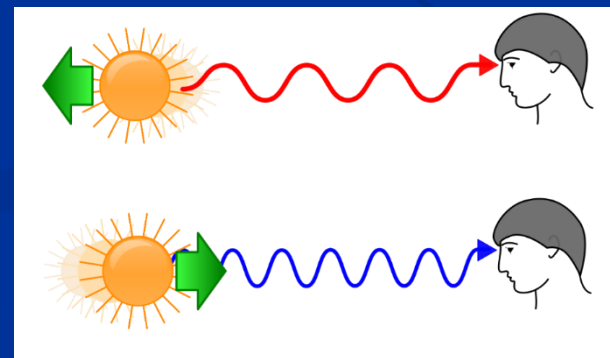
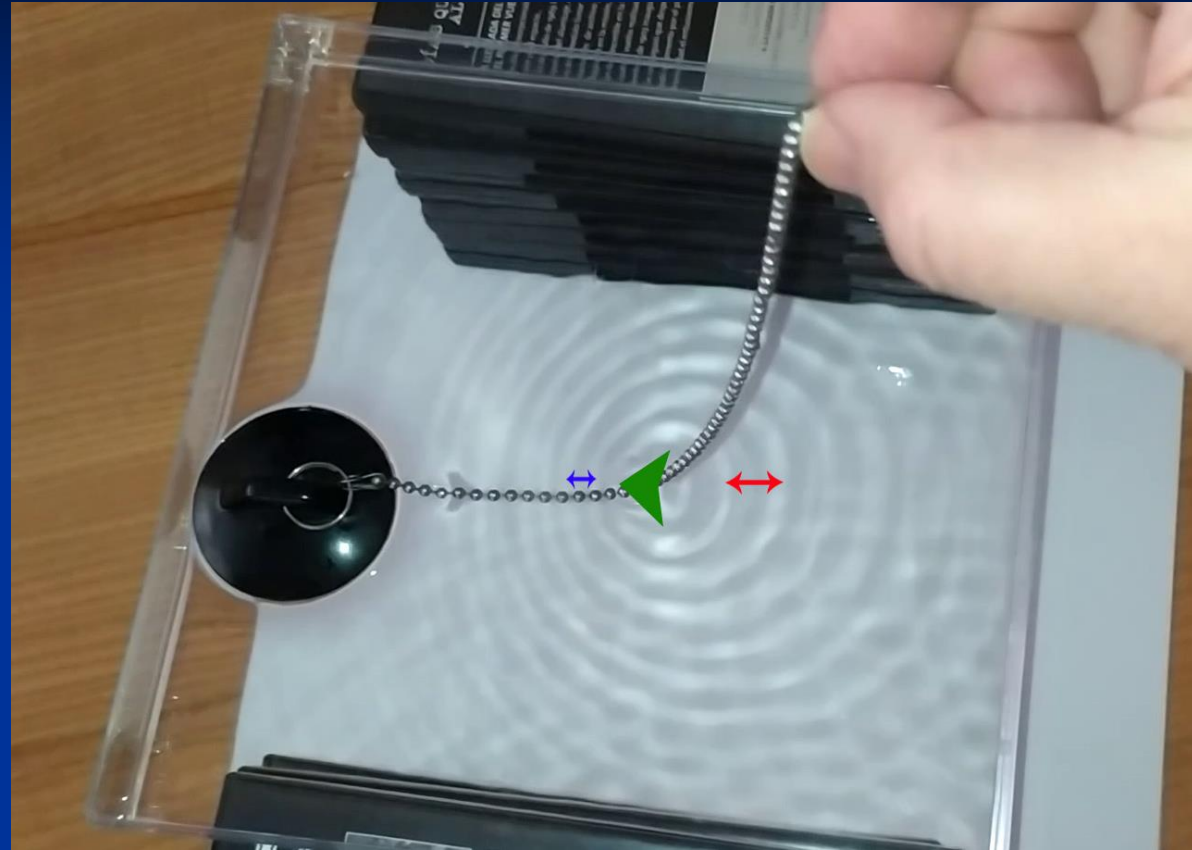
Lorsque la source se rapproche du spectateur, la longueur d'onde de l'onde diminue. Pour la lumière il y a un déplacement vers la partie bleue du spectre visible.

Lorsque la source s'éloigne de nous, la longueur d'onde augmente et sa lumière se déplace vers la partie rouge du spectre visible.



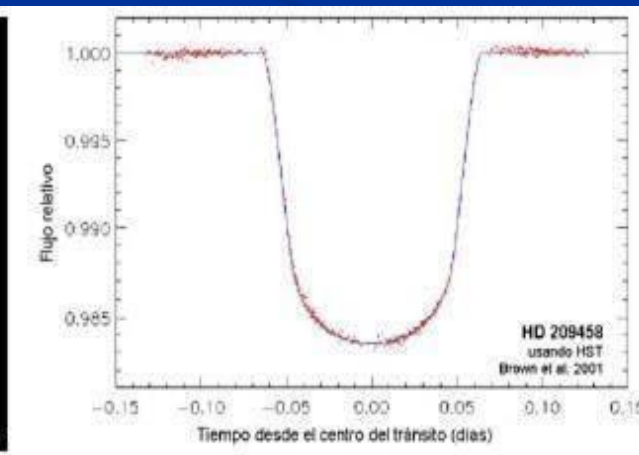
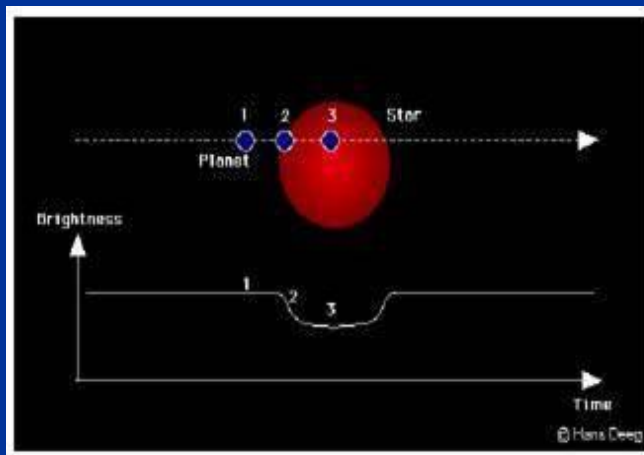
# Activité 13: effet Doppler

On peut reproduire cet effet avec une petite chaîne submergée dans une caisse au fond transparent en soulevant lentement la chaîne.



# Méthode de détection: Transits

Lors du transit d'une exoplanète, la luminosité de l'étoile diminue légèrement. Pour les étoiles de type solaire et les planètes de la taille de Jupiter, la diminution de la luminosité est d'environ 1%, dans le cas des planètes de la taille de la Terre, la diminution est d'environ 0,03%.



# Activité 14: Simulation du transit

Utiliser deux boules: une grande pour l'étoile et une petite pour l'exoplanète,

Pour un observateur dans le même plan de rotation, il verra la planète passer devant les étoiles et la courbe de luminosité a une altération.

Mais si l'observateur n'est pas dans le même plan de rotation, aucun changement dans la courbe de luminosité ne sera observé.



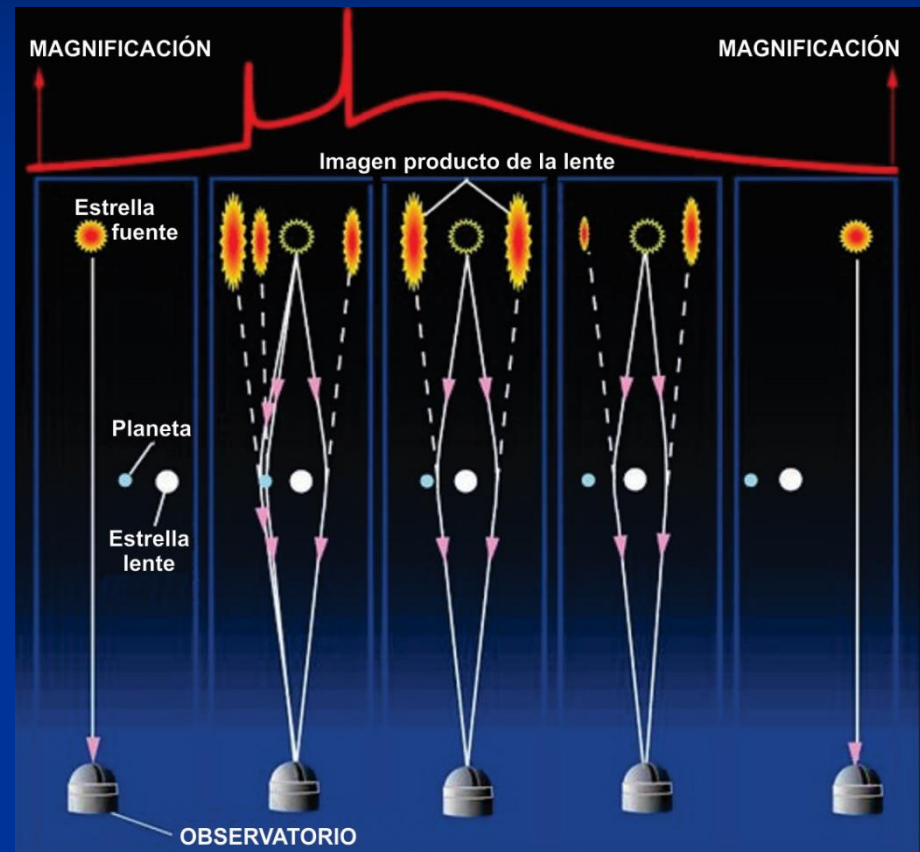
Observateur n'est pas dans le plan de rotation



Observateur dans le même plan de rotation

# Méthode de détection: Micro lentilles

Il y a un agrandissement ou une distorsion qui met en évidence le système étoile-exoplanète, en raison de l'alignement dudit système avec une étoile ou un objet qui contient une lentille gravitationnelle.



Il doit y avoir un alignement visuel complet entre les 3 corps (terre, objet-lentille et étoile-exoplanète).

# Activité 15: Simulation de microlentilles



Avec seulement un pied en verre on ne voit rien

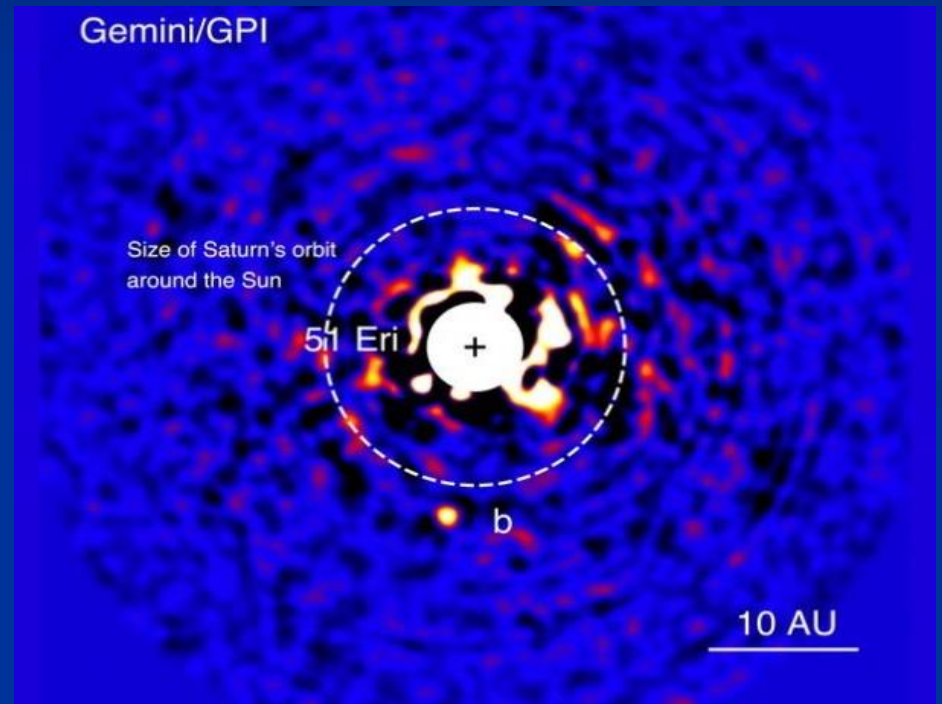


Avec une paire de pieds en verre à vin  
Puis on passe l'un sur l'autre et un point émerge puis même deux.



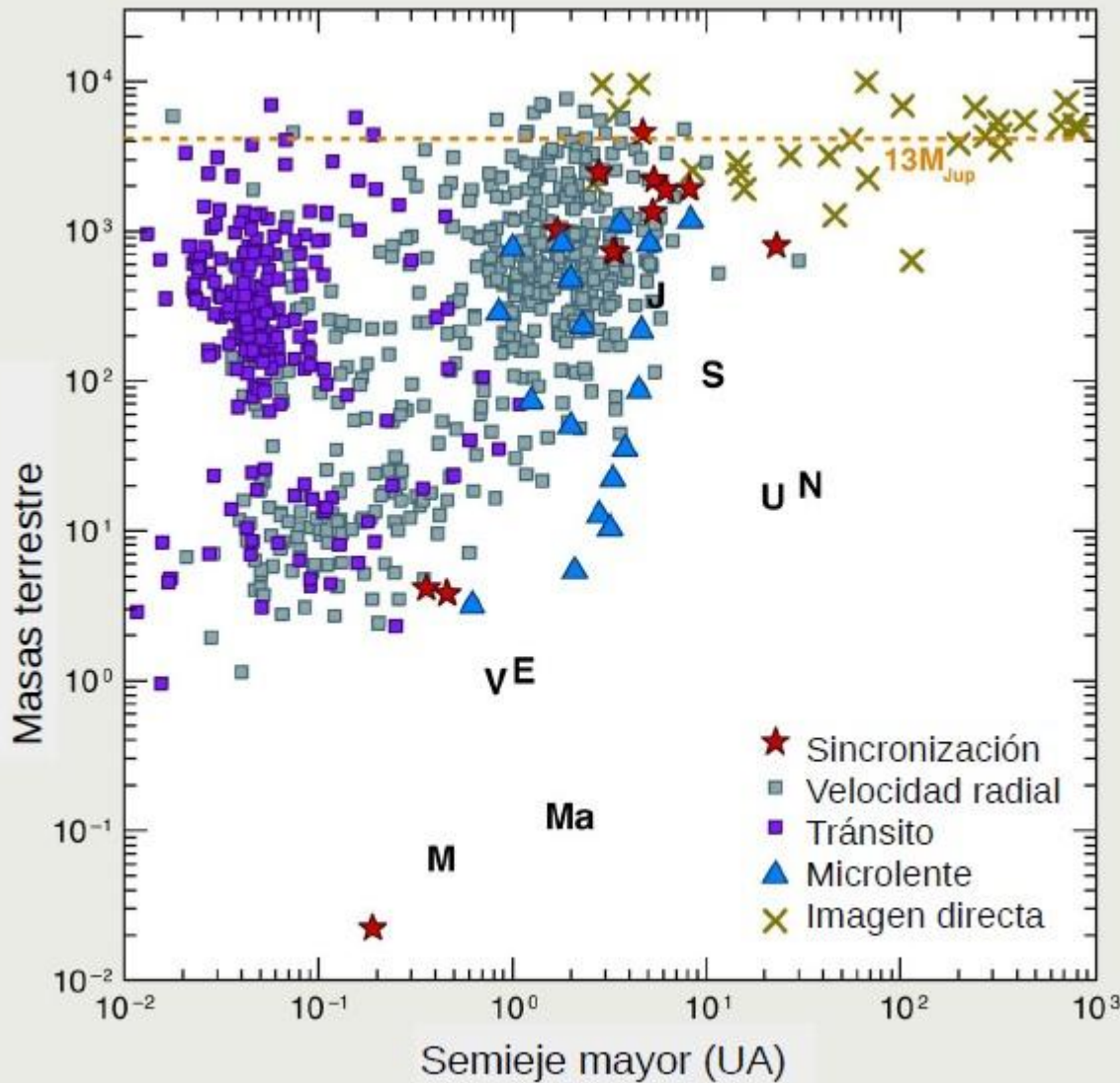
# Méthode de détection: directe

L'image de l'étoile est étudiée pour déterminer les exoplanètes qui l'entourent.



En raison de la quantité de lumière émise par l'étoile, ce n'est pas facile à réaliser.

# Exoplanètes connu en 2013 selon la méthode de détection



# Models of exoplanet systems

There are more than 2000 exoplanet systems confirmed and several thousand candidate exoplanets

Jet Propulsion Laboratory (NASA; <http://planetquest.jpl.nasa.gov/>)

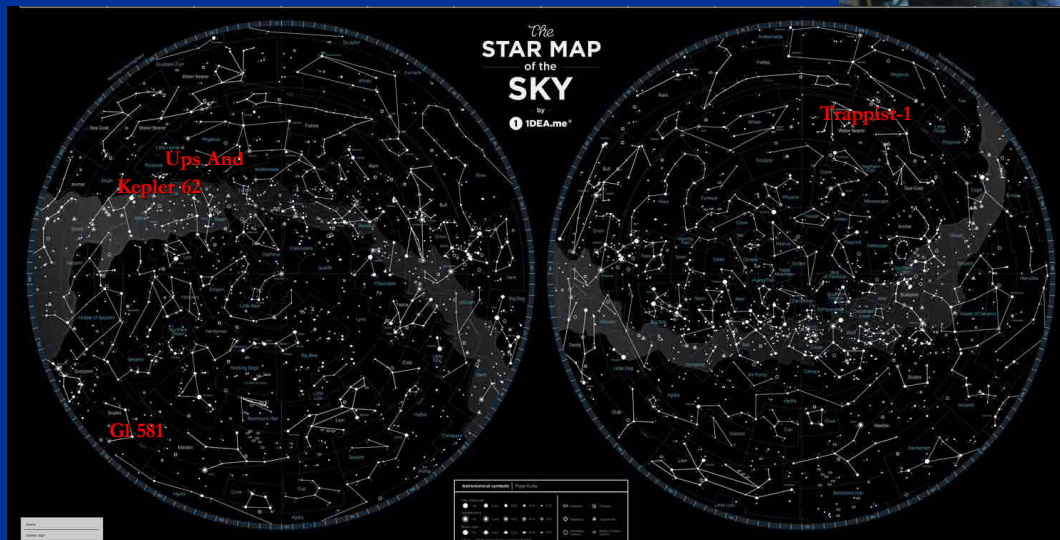
The masses are compared with Jupiter ( $M_j$ ) ( $1.9 \times 10^{27}$  kg) or the Earth ( $M_e$ ) ( $5.97 \times 10^{24}$  kg).



Technological limits are the cause.



# Activité 16: Modèles réduits de systèmes exoplanétaires



**Distance 1 AU = 1 m**  
**Diamètre 10000 km = 0.5 cm**

# Activité 16: Construire un système solaire:

Systeme Solaire	Distance UA	Diamètre km	Modèle Distance	Modèle Diamètre
Mercure	0.39	4879	40 cm	0.2 cm
vénus	0.72	12104	70 cm	0.6 cm
<b>La Terre</b>	<b>1</b>	<b>12756</b>	<b>1m</b>	<b>0.6 cm</b>
<b>Mars</b>	<b>1.52</b>	<b>6794</b>	<b>1.5 m</b>	<b>0.3 cm</b>
Jupiter	5.2	142984	5 m	7 cm
Saturne	9.55	120536	10 m	6 cm
Uranus	19.22	51118	19 m	2.5 cm
Neptune	30.11	49528	30 m	2.5 cm

L'étoile principale G2V, diamètre du soleil 35 cm

**Distance 1 AU = 1 m**

**Diamètre 10000 km = 0.5 cm**



# Activité 16: Construction (1<sup>er</sup> système planétaire extrasolaire )

Ups Andromedae Titawin		Distance UA	Diamètre km	Modèle Distance	Modèle Diamètre
Ups And b/Saffar	1996	0.059	108 000	6 cm	5.5 cm
Ups And c/Samh	1999	0.830	200 000	83 cm	10 cm
Ups And d/Majriti	1999	2.510	188 000	2.5 m	9 cm
Ups And e/Titawin e	2010	5.240	140 000	5.2 m	7 cm

L'étoile principale Ups Andromedae F8V à 44 al dans And.,  
Diamètre 1.28 fois le soleil dans le modèle 45 cm

Distance 1 AU = 1 m

Diamètre 10000 km = 0.5 cm



# Activité 16: Construire (avec des planètes «tellurique»)

Gliese 581	Année de la découverte	Distance UA	Diamètre Km	Modèle Distance	Modèle Diamètre
Gl.581 e	2009	0.030	15 200	3 cm	0.8 cm
Gl.581 b	2005	0.041	32 000	4 cm	1.6 cm
Gl.581 c	2007	0.073	22 000	7 cm	1.1 cm

L'étoile principale Gliese 581 M2,5V à 20,5 al dans la Libra,  
Diamètre 0.29 fois le soleil dans le modèle 10 cm

**Distance 1 AU = 1 m**  
**Diamètre 10000 km = 0.5 cm**



# Activité 16: Construire (planètes « tellurique habitables »)

Kepler 62	Année de la découverte	Distance AU	Diamètre km	Modèle de distance	Modèle de diamètre
Kepler-62 b	2013	0.056	33 600	5.6 cm	1.7 cm
Kepler-62 c	2013	0.093	13 600	9 cm	0.7 cm
Kepler-62 d	2013	0.120	48 000	12 cm	2.4 cm
Kepler-62 e	2013	0.427	40 000	43 cm	2 cm
Kepler-62 f	2013	0.718	36 000	72 cm	1.8 cm

L'étoile principale Kepler 62 K2V is at 1200 al dans la Lyr,  
Diamètre 0.64 fois le soleil dans le modèle 22 cm

Distance 1 AU = 1 m

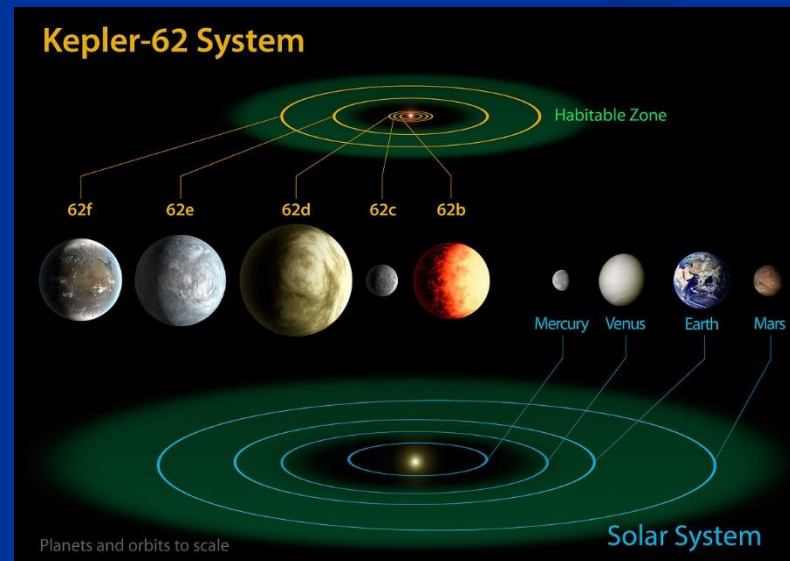
Diamètre 10000 km = 0.5 cm





# Habitabilité possible des exoplanètes

- Dans la zone habitable de Kepler-62: les deux exoplanètes pourraient avoir de l'eau liquide à leur surface. Pour Kepler-62e, qui est près de l'intérieur de la zone habitable, cela nécessiterait une couverture de nuages réfléchissants qui réduisent le rayonnement qui chauffe la surface. Kepler-62f, d'autre part, est dans la zone extérieure de la zone habitable



# Construire (planètes «terrestres habitables»)

Trappist-1	Année de la découverte	Distance AU	Diamètre km	Modèle de Distance	Modèle de Diamètre
Trappist-1 b	2016	0.012	28 400	1.2 cm	1.4 cm
Trappist-1 c	2016	0.016	28 000	1.6 cm	1.4 cm
Trappist-1 d	2016	0.022	20 000	2.2 cm	1.0 cm
Trappist-1 e	2017	0.030	23 200	3.0 cm	1.2 cm
Trappist-1 f	2017	0.039	26 800	3.9 cm	1.3 cm
Trappist-1 g	2017	0.047	29 200	4.7 cm	1.5 cm
Trappist-1 h	2017	0.062	19 600	6.2 cm	1.0 cm

Etoile principale Trappist 1 M8V à 40 al dans Acuaris, diamètre 0.1 fois le soleil dans le modèle 4 cm

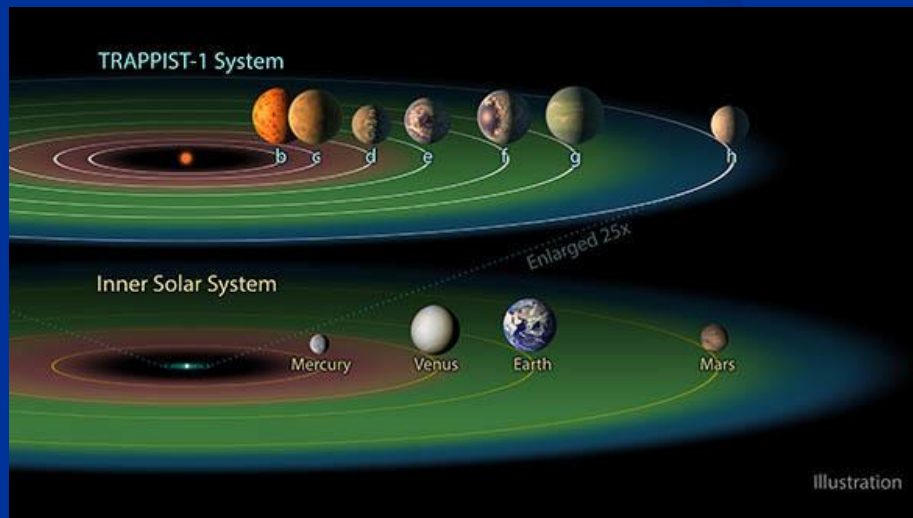
Distance 1 AU = 1 m

Diamètre 10000 km = 0.5 cm



# Exoplanètes Prometteuse

■ Dans le système Trappist-1, ils sont rocheux et peuvent contenir de grandes quantités d'eau à leur surface, soit sous forme liquide ou sous forme de vapeur, soit sous forme de croûte de glace. Dans la zone habitable de Trappist 1 se trouve Trappist-1e qui semble avoir un noyau dense, comparable à celui de la Terre, elle est susceptible d'avoir une magnétosphère protectrice . Ce qui indique que cette planète est prometteuse



# Conclusions

- La connaissance des planètes est plus “concrète”
- Relations établies "paramètres" qui permettent une meilleure compréhension des dimensions
- Le système solaire "est vide"
- Introduction d'exoplanètes. Reconnaître les méthodes de détection.



**Merci pour votre  
attention!**

