

CATALOGUES
EXOPLANÈTES
ORBITES KÉPLÉRIENNE
SOUS GEOGEBRA

Depuis le 6 octobre 1995 annonce de la première découverte certaine d'une exoplanète (41 Pegasi b) par la méthode des vitesses radiales.

- les découvertes se sont multipliées
- Les techniques ont évoluées et se sont multipliées
- Des satellites spécialisés ont été lancés



Satellites dédiés à la recherche des exoplanètes

Que l'on peut construire en maquette pour les bricoleurs.

Corot (*maquette_corot_sat.pdf*)

4 pages à imprimer sur bristol ou carton fort

7 pages d'instructions

Sur le site : <http://smc.cnes.fr/lcCOROT/maquette.pdf>



Kepler

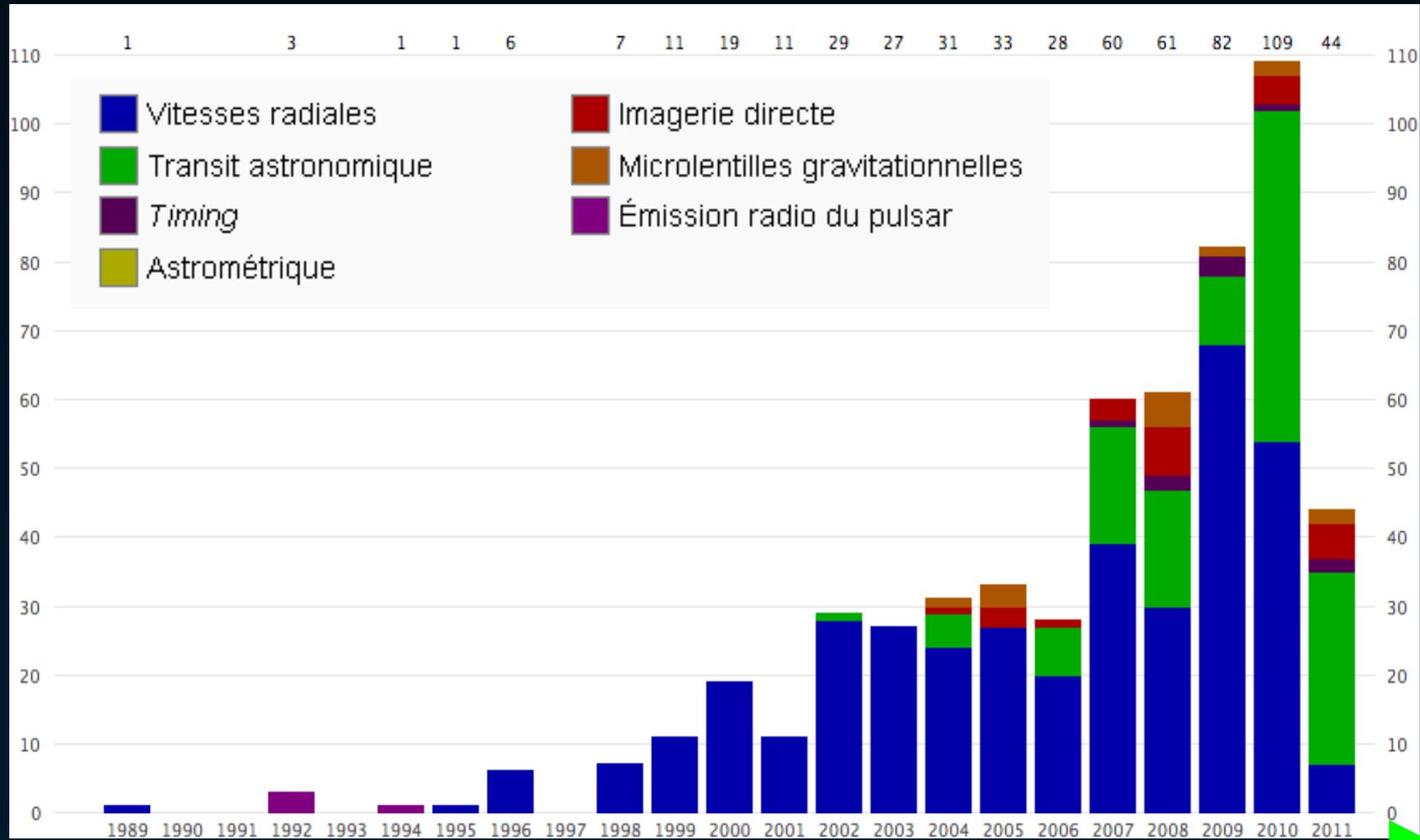
4 pages à imprimer sur bristol ou carton fort

8 pages d'instructions (en anglais)

<http://kepler.nasa.gov/education/ModelsandSimulations/papermodel/>



Évolution du nombre d'exoplanètes découvertes chaque année selon la méthode de détection (dernière mise à jour : juillet 2011)



La découverte des exoplanètes s'est faite jusqu'à présent principalement par la méthode des vitesses radiales.

La méthode des transits opérationnelle sur les satellites va bientôt changer cette donne.

Actuellement 497 VR pour 292 Transits

Les mesures permettent de détecter les mouvements orbitaux de l'étoile hôte, d'en déduire son orbite, sa période et de calculer l'orbite de la planète invisible.

Avec Geogebra, on va pouvoir visualiser le système des orbites et de l'étoile.



Système képlérien à deux corps

Pour simplifier, on prendra des orbites circulaires.

La troisième loi de Kepler suffira.

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M_1 + M_2) \quad G \text{ cte de la gravitation}$$

Avec pour paramètres :

a	demi-grand axe en u.a.
M_1	masse premier corps
M_2	masse deuxième corps
P	période du système



Système képlérien à deux corps

Si l'on prend comme :

unités de masse la masse solaire,
unité de distance l'unité astronomique,
unité de temps, l'année sidérale (environ 365.25 jours)

la formule s'écrit :

$$\frac{a^3}{P^2} = M_1 + M_2$$

Le système tourne autour de son centre de gravité.

Les orbites par rapport à ce centre ont pour caractéristiques :

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{M_2}{M_1} \quad \text{avec } a = a_1 + a_2$$



Systeme képlérien à deux corps

On en déduit a_1 et a_2

$$a_1 = a \frac{M_2}{M_1 + M_2} \quad a_2 = a \frac{M_1}{M_1 + M_2}$$

Avec des orbites circulaires, on en déduit de façon simple les vitesses orbitales :

$$V_1 = \frac{2\pi a_1}{P} \quad \text{et} \quad V_2 = \frac{2\pi a_2}{P}$$

Le système à deux corps va être appliqué à un système *étoile hôte – planète*.



Représentation sous Geogebra

On veut simuler le système Soleil-Jupiter puis la Soleil-Terre et enfin des exoplanètes autour de leur étoile.

Données de départ :

Masses

	<i>kg</i>	<i>M sol</i>	<i>M jup</i>	
Soleil	1.99E+30	1	1047.7	
Jupiter	1.90E+27	9.55E-04	1	
Terre	5.97E+24	3.00E-06	0.00315	

Orbites

demi-grand axe		<i>km</i>	<i>u.a.</i>	
	Jupiter	778412027	5.20	
	Terre	149597888	1	

Rayons

	<i>km</i>	<i>R sol</i>	<i>R jup</i>	<i>R sol</i>
Soleil	696342	1	9.740	109
Jupiter	71492	0.10267	1	11.2
Terre	6378	0.00915	0.0892	1



Unités utilisées

Les unités employées avec les étoiles et planètes sont diverses :

- le système MKS : kg, mètre, seconde
- avec les planètes, il est commode d'utiliser l'unité astronomique (u.a.), la masse de Jupiter, le jour ou l'année
- avec les étoiles, la masse et le rayon solaires sont pratiques et parlants.

Nous utiliserons pour

- les étoiles : masse et rayons solaires
- les planètes : la masse de Jupiter, l'u.a., l'année ou le jour

Il faudra bien faire attention aux unités employées et mettre les bons coefficients pour rester homogène.

Les tableaux de la page précédente sont inclus dans le fichier Geogebra de départ.

Ils permettent de convertir les unités.



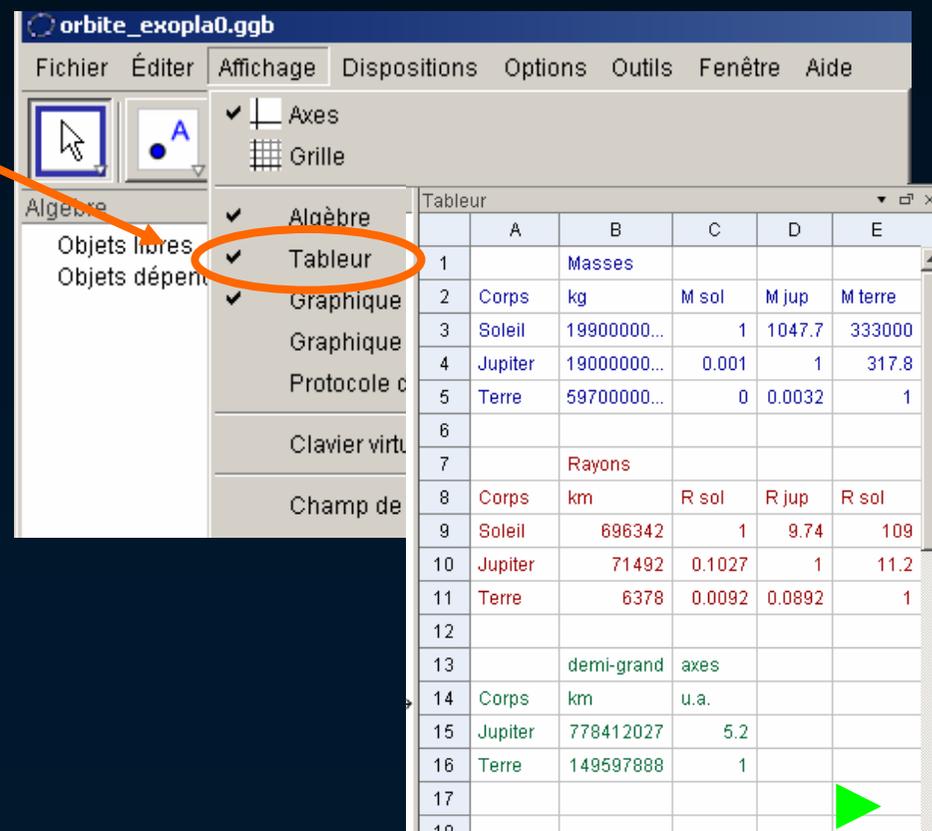
Geogebra

Lancer Geogebra

Prendre le fichier *orbite_exopla0.ggb* dans le répertoire *orbites&catalogue_exoplanetes*

Afficher le tableur s'il ne l'est déjà.

Les données y sont placées, pour permettre les conversions d'unités.



The screenshot shows the Geogebra interface with the 'Tableur' (Table) window open. The 'Tableur' window is highlighted with a red circle, and an orange arrow points to it from the text 'Afficher le tableur s'il ne l'est déjà.' The 'Tableur' window contains data for various celestial bodies, including their masses and radii.

	A	B	C	D	E
1		Masses			
2	Corps	kg	M sol	M jup	M terre
3	Soleil	19900000...	1	1047.7	333000
4	Jupiter	19000000...	0.001	1	317.8
5	Terre	59700000...	0	0.0032	1
6					
7		Rayons			
8	Corps	km	R sol	R jup	R sol
9	Soleil	696342	1	9.74	109
10	Jupiter	71492	0.1027	1	11.2
11	Terre	6378	0.0092	0.0892	1
12					
13		demi-grand axes			
14	Corps	km	u.a.		
15	Jupiter	778412027	5.2		
16	Terre	149597888	1		
17					
18					

Construction Geogebra

A partir des données du Soleil et de Jupiter, on construit les orbites autour du leur centre de gravité G.

Procédure de construction

Les noms des objets sont libres, mais il vaut mieux qu'ils rappellent le contenu.

- Les données étoile et planète comme objets libres
- Les calculs : période, demi-grands axes
- Construction : orbites, corps, axe, étoile, animation
- Observations en changeant d'échelle
- Changement de système étoile-(exo)planète



Construction Geogebra

1 – Définir les objets libres :

le demi-grand axe a , la masse de l'étoile M_E , la masse de la planète M_P ,
le rayon de l'étoile R_E

A rentrer dans la fenêtre de saisie en bas de page



Indices

$$a = 5.2$$

lettres
grecques

Syntaxe Geogebra :

$$M_E = 1$$

$$M_P = 1$$

$$R_E = 1$$



Construction Geogebra

2 – Calcul pour vérifier de la période képlérienne en année p et en jours p_j .

Application de la 3^{ème} loi

Syntaxe Geogebra :

$$p = \text{sqrt}(a^3 / (M_E + M_P / D3))$$

$$p_j = p * 365.25$$

Cellule du tableau pour conversion

Vérifier et comparer avec la période de la littérature.



Construction Geogebra

3 – Calcul de a_E et a_P (formule du centre de gravité)

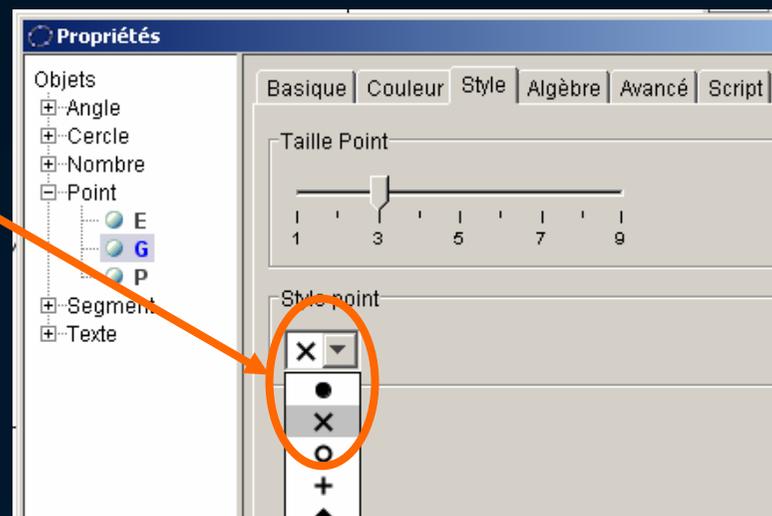
$$a_E = a M_P / D3 / (M_E + M_P / D3)$$

$$a_P = a M_E / (M_E + M_P / D3)$$

4 – Placer le centre de gravité G au centre du graphique.

$$G = (0,0)$$

Changer style : de "o" rond passer à croix "x".



Construction Geogebra

5 – Tracé des cercle des orbites c_E et c_P

$$c_E = \text{Cercle}[G, a_E]$$

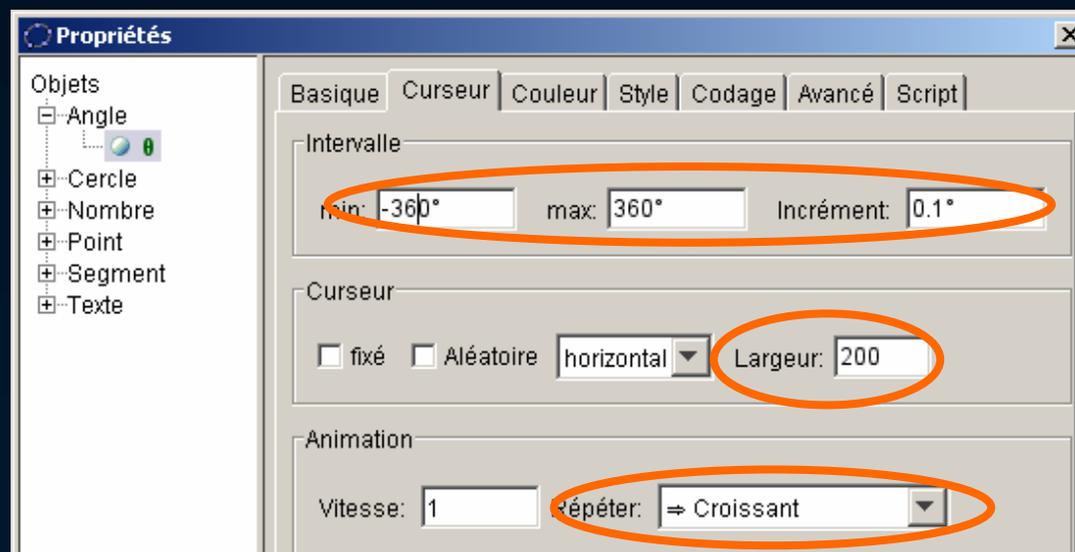
$$c_P = \text{Cercle}[G, a_P]$$

6 – Création du curseur θ pour la rotation avec un pas de 0.1 de -360° à 360°

On rentre $\theta = 0^\circ$ puis
fenêtre « Propriétés »

Dans l'onglet « Curseur » :

- intervalle
- largeur
- animation



Construction Geogebra

7 – placement des deux corps E et P

$$E = (a_E; \theta)$$

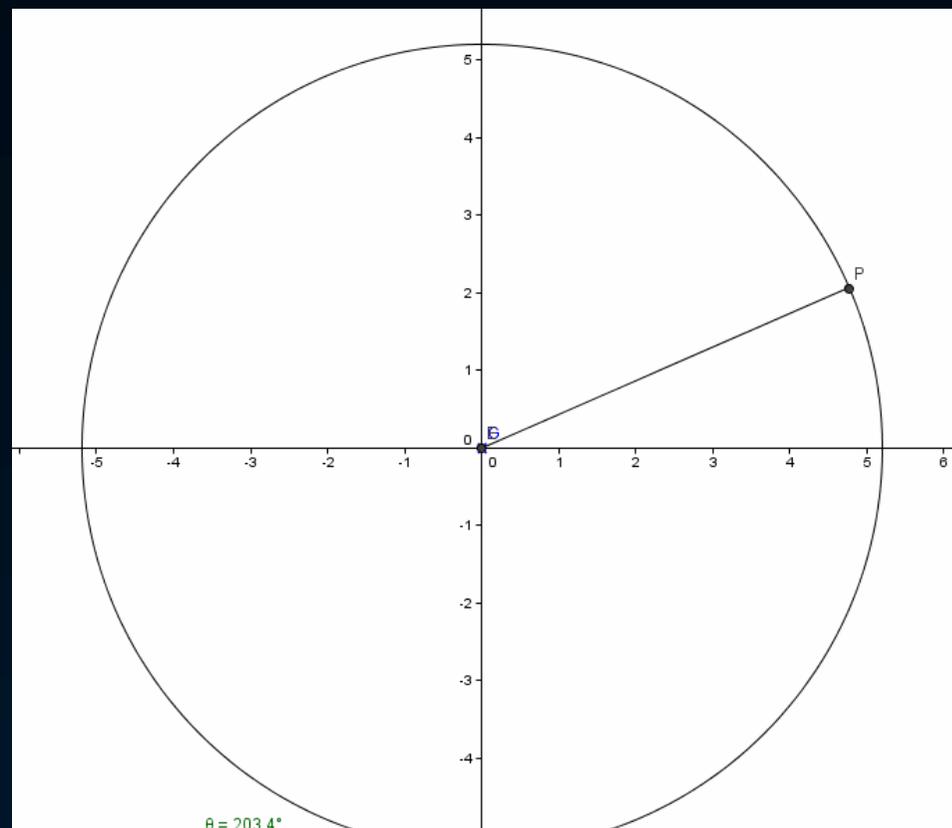
$$P = (a_P; \theta + \pi)$$

8 – Tracé du demi-grand axe laps

$$\text{laps} = \text{Segment}[E, P]$$

Pour voir les deux orbites, utiliser le zoom (molette de la souris).

Pour animer la simulation, valider la case « Animer » de l'onglet « Basique » des propriétés de θ .



Objets

- Angle θ
- Cercle
- Nombre
- Point
- Segment
- Texte

Basique | Curseur | Couleur | Style | Codage

Nom: θ

Valeur: 203.4°

Légende:

Afficher l'objet

Sélectionnable

Afficher l'étiquette: Nom & Valeur

Animer

Bouton On/Off d'animation

Construction Geogebra

9 – calcul des vitesses de rotation v_P et v_E .

Circonférence parcourue en un tour (en km) divisée par le nombre de secondes dans une période de rotation.

$$v_P = 2 \cdot \pi \cdot a_P \cdot B16 / (p_J \cdot 24 \cdot 3600)$$

$$v_E = 2 \cdot \pi \cdot a_E \cdot B16 / (p_J \cdot 24 \cdot 3600)$$

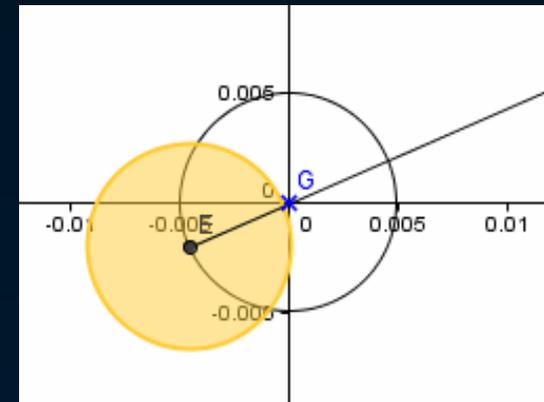
10 – Tracer le cercle de l'étoile cr_E à l'échelle et changer sa couleur.

$$cr_E = \text{Cercle}[E, R_E \cdot B9 / B16]$$

Le mettre en jaune et son fond semi transparent.

11 – Calculer le diamètre angulaire de l'étoile vue de la planète : ra_E

$$ra_E = 2 \cdot \text{atan}(R_E \cdot B9 / B16 / a) \cdot 180 / \pi$$

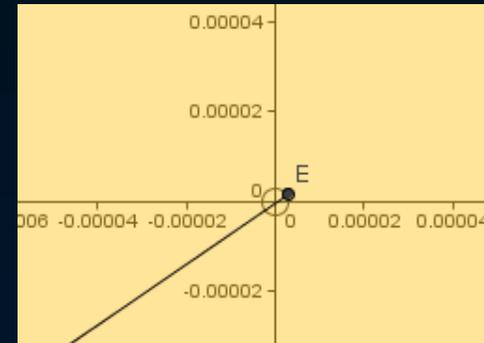


Construction Geogebra – application à la Terre

Changer les données de Jupiter par les données de la Terre

Regarder l'amplitude de la trajectoire du Soleil s'il n'y avait que la Terre.

Calculer l'orbite du Soleil en kilomètres.



Enfin les exoplanètes !



Où les trouver ?

Dans les catalogues spécialisés.

The Extrasolar Planets Encyclopaedia

<http://exoplanet.eu/>

<http://exoplanet.eu/catalog/>

Ou fichier (au 08/01/2013) :
catalogue_exoplanete_eu.xls



The screenshot shows the homepage of the Exoplanet.eu website. At the top, there is a navigation menu with links for 'Accueil', 'Catalog', 'Diagrams', 'Bibliographie', 'Searches', 'Conférences', 'Autras Sites', and 'VO'. The main content area features the title 'The Extrasolar Planets Encyclopaedia' and a brief history: 'Depuis Février 1995', 'Jean Schneider, CNRS/LUTH - Observatoire de Paris', 'Last update: 26 décembre 2012 (854 planets)', and 'Please report any problems to vo.exoplanet@obspm.fr'. There are two main sections: 'Catalog' with a calendar icon and the text 'Filter, sort, export — arbitrary data manipulations with the Extrasolar Planets Encyclopaedia', and 'Diagrams' with a 3D pie chart icon and the text 'Analyze the Extrasolar Planets Encyclopaedia data online. Simple plotting tool right in the browser'.

The Visual Exoplanet Catalogue

<http://exoplanet.hanno-rein.de/complete.php>

Ou fichier (au 08/01/2013) :
visual_exopla_catal.xls



The screenshot shows the homepage of the Visual Exoplanet Catalogue. It features a header with the title 'The Visual Exoplanet Catalogue' and the subtitle 'a visualisation toolkit for extrasolar planetary systems'. Below the header, there is a 'Catalogue' section with a 'Complete Catalogue' button and a 'Visual Exoplanet Catalogue' button. There is also an 'Options' section with a 'Customize Fields' button and an 'Update Table Now' button. The background of the page shows a stylized representation of a planet and its orbit.

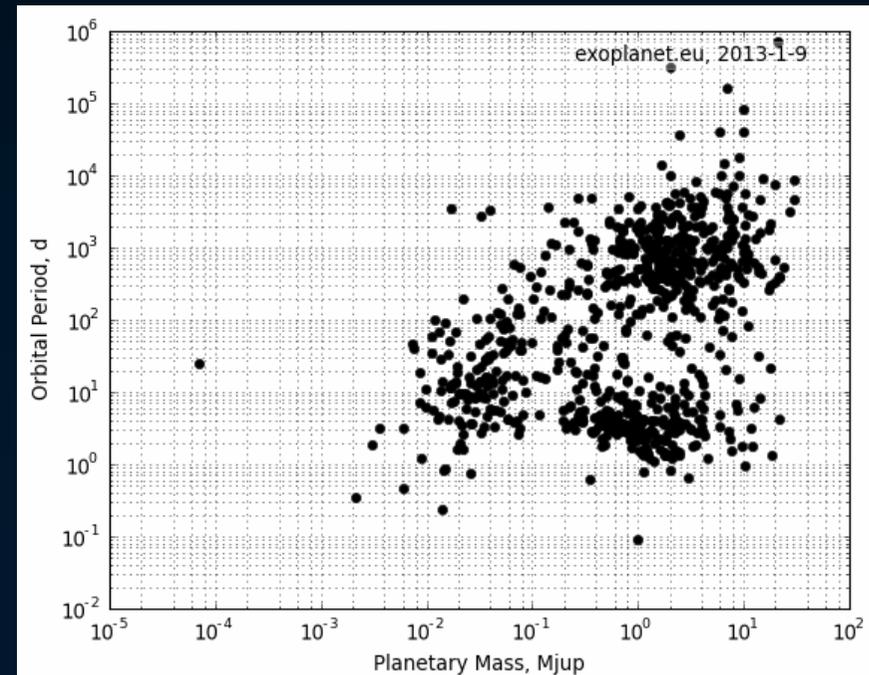
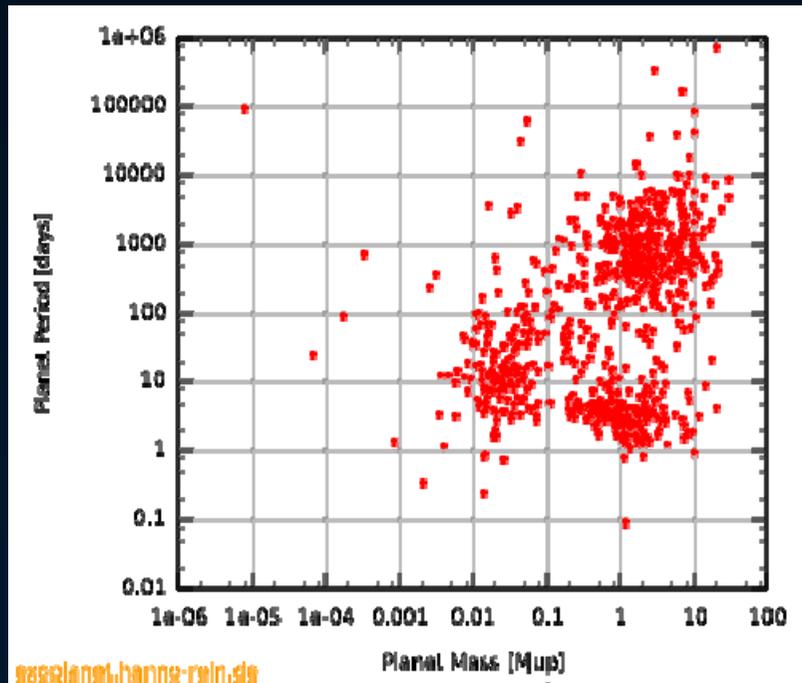


Tracés des corrélations - Histogrammes

Les deux sites permettent de tracer les diagrammes de deux variables choisies.

<http://exoplanet.hanno-rein.de/correlation.php>

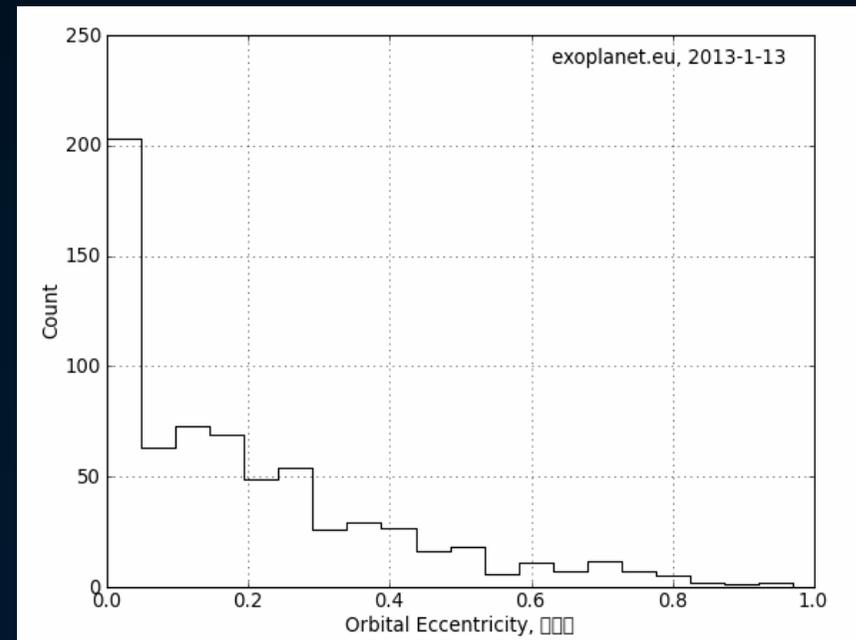
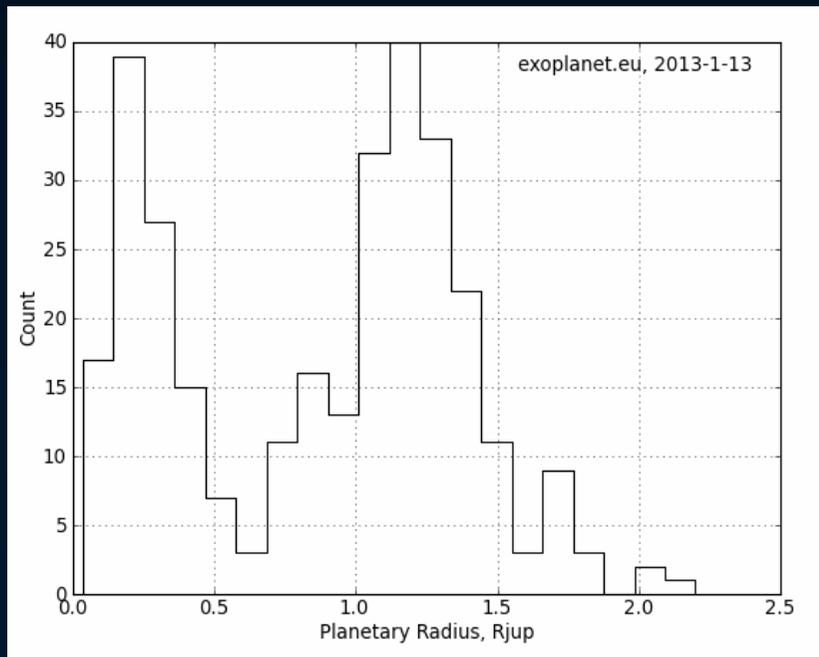
<http://exoplanet.eu/diagrams/>



Tracés des corrélations - Histogrammes

Mais un seul permet de faire des histogramme (comptage en fonction d'une variable)

<http://exoplanet.eu/diagrams/?t=h>



Présentation des données

Catalog Download [VOTable](#) | [CSV](#)

All planets [Filter](#)

Showing 673 planetary systems / 854 planets / 126 multiple planet systems Compact view

Planet Δ	Mass	Radius	Period	a	e	i	Ang. dist.	Status	Discovery	Update	ω	T_{peri}	Det. method	Molecules
11 Com b	19.4	—	326.03	1.29	0.231	—	0.011664	R	2008	2011-12-23	94.8	2452899.6	detected by radial velocity	—
11 UMi b	10.5	—	516.22	1.54	0.08	—	0.012887	R	2009	2009-08-13	117.63	2452861.05	detected by radial velocity	—
14 And b	5.33	—	185.84	0.83	—	—	0.010864	R	2008	2012-08-21	—	2861.4	detected by radial velocity	—
14 Her b	4.64	—	1773.4	2.77	0.369	—	0.153039	R	2002	2009-10-07	22.6	51372.7	detected by radial velocity	—
16 Cyg B b	1.68	—	799.5	1.68	0.689	—	0.078468	R	1996	2012-12-18	83.4	50539.3	detected by radial velocity	—
18 Del b	10.3	—	993.3	2.6	0.08	—	0.035568	R	2008	2008-02-20	166.1	1672.0	detected by radial velocity	—

plus la suite

Download [VOTable](#) | [CSV](#) | [DAT](#)

Compact view

Update	ω	T_{peri}	Det. method	Molecules	Star name	α_{2000}	δ_{2000}	m_V	m_I	m_J	m_H	m_K	Distance	Metallicity	Mass	Radius	Sp. type	A
11-12-23	94.8	2452899.6	detected by radial velocity	—	11 Com	12:20:43.0	+17:47:34	4.74	—	—	—	—	110.6	-0.35	2.7	19.0	G8 III	
09-08-13	117.63	2452861.05	detected by radial velocity	—	11 UMi	15:17:06.0	+71:49:26	5.02	—	—	—	—	119.5	0.04	1.8	24.08	K4III	1.
12-08-21	—	2861.4	detected by radial velocity	—	14 And	23:31:17.0	+39:14:10	5.22	4.1	3.02	2.61	2.33	76.4	-0.24	2.2	11.0	K0III	
09-10-07	22.6	51372.7	detected by radial velocity	—	14 Her	16:10:23.0	+43:49:18	6.67	—	—	—	—	18.1	0.43	0.9	0.708	K0 V	5
12-12-18	83.4	50539.3	detected by radial velocity	—	16 Cyg B	19:41:51.0	+50:31:03	6.2	—	—	—	—	21.41	0.08	1.01	0.98	G2.5 V	8
08-02-20	166.1	1672.0	detected by radial velocity	—	18 Del	20:58:26.0	+10:50:21	5.52	—	4.03	3.44	3.67	73.1	-0.052	2.3	8.5	G6III	

Présentation des données

The Extrasolar Planets Encyclopaedia

http://exoplanet.eu/catalog/all_fields/

Showing 673 planetary systems / 854 planets / 126 multiple planet systems

Planet Δ	Mass	Radius	Period	a	e	i	Ang. dist.	Status	Discovery	Update	ω	Tperi	Det. method	Molecules	Star name	α 2000	δ 2000
11 Com b	19.4	—	326.03	1.29	0.231	—	0.011664	R	2008	13/12/2011	94.8	2452899.6	detected by r	—	11 Com	12:20:43	+17:47:34
11 UMi b	10.5	—	516.22	1.54	0.08	—	0.012887	R	2009	13/08/2009	117.63	2452861.05	detected by r	—	11 UMi	15:17:06	+71:49:26
14 And b	5.33	—	185.84	0.83	—	—	0.010864	R	2008	21/08/2012	—	2861.4	detected by r	—	14 And	23:31:17	+39:14:10
14 Her b	4.64	—	1773.4	2.77	0.369	—	0.153039	R	2002	07/10/2009	22.6	51372.7	detected by r	—	14 Her	16:10:23	+43:49:18
16 Cyg B b	1.68	—	799.5	1.68	0.689	—	0.078468	R	1996	18/12/2012	83.4	50539.3	detected by r	—	16 Cyg B	19:41:51	+50:31:03

plus la suite

Det. method	Molecules	Star name	α 2000	δ 2000	mV	ml	mJ	mH	mK	Distance	Metallicity	Mass	Radius	Sp. type	Age	Teff
detected by r	—	11 Com	12:20:43	+17:47:34	4.74	—	—	—	—	110.6	-0.35	2.7	19	G8 III	—	4742
detected by r	—	11 UMi	15:17:06	+71:49:26	5.02	—	—	—	—	119.5	0.04	1.8	24.08	K4III	1.56	4340
detected by r	—	14 And	23:31:17	+39:14:10	5.22	4.1	3.02	2.61	2.33	76.4	-0.24	2.2	11	K0III	—	4813
detected by r	—	14 Her	16:10:23	+43:49:18	6.67	—	—	—	—	18.1	0.43	0.9	0.708	K0 V	5.1	5311
detected by r	—	16 Cyg B	19:41:51	+50:31:03	6.2	—	—	—	—	21.41	0.08	1.01	0.98	G2.5 V	8	5766



Simuler des systèmes avec Geogebra

Choisir dans le catalogue une exoplanète

Prendre les quatre données de base dans la catalogue :

- demi-grand axe
- masse de l'étoile
- masse de la planète
- rayon de l'étoile

Les reporter dans Geogebra.

Faire varier le grandissement pour voir les positions respectives, l'emplacement de centre de gravité par rapport à l'étoile.

Regarder les vitesses orbitales et l'angle de vision de l'étoile vue de la planète.



FIN