Corrections : Explorer la base de donnée

Diagramme

Diagramme : Années de découverte - Masses

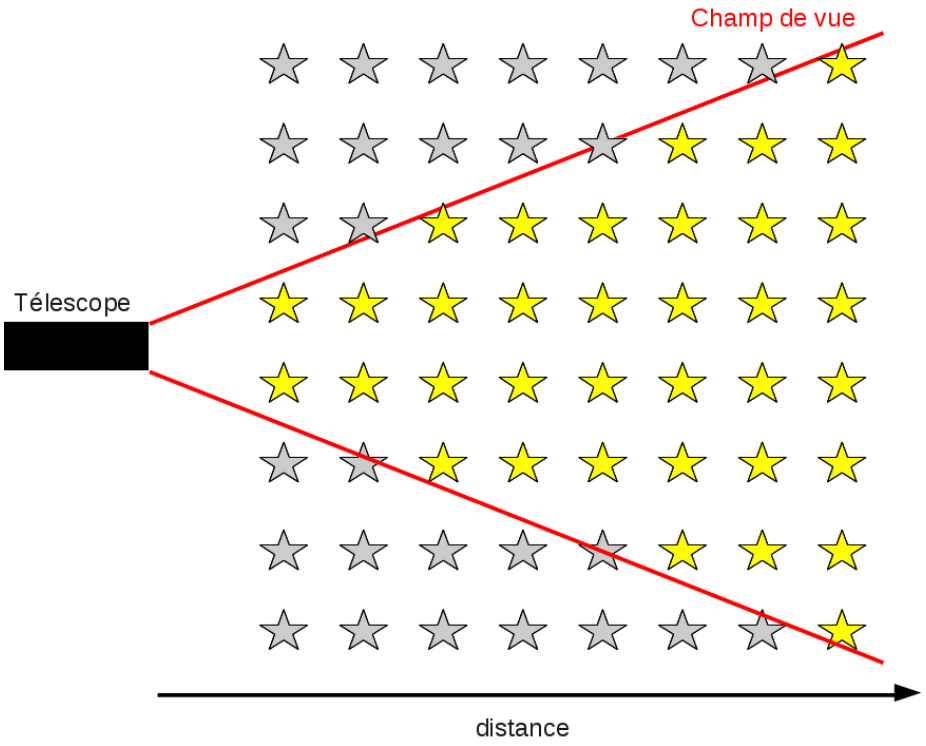
- Grace à l'échelle log sur la variable masse, on voit les progrès des méthodes de détection qui permettent de découvrir des planètes de moins en moins massives.
- En passant la souris sur les planètes découvertes en 1995, on voit 51 Pégase b, la première exoplanète découverte. Or, on voit sur le diagramme des exoplanètes découvertes avant cette date en particulier des naines brunes découvertes en imagerie. Ces objets ont été ajoutés au catalogue quand on a découvert que les objets entre 30 et 60 masses de Jupiter comprenait des planètes et des naines brunes. Avant 1995, des objets avaient été découverts autour de pulsars. Les pulsars étant des restes de supernova, phases explosives de certaines étoiles en fin de vie, les planètes de ces pulsars ne peuvent pas avoir les propriétés attendues pour une planète, atmosphère, température modérée, etc... L'histoire n'a donc pas retenu ces objets comme des planètes. On voit aussi la planète HD 114762 b, annoncée en 1989, mais dont la nature planétaire n'a été confirmée que plus tard.
- En choisissant de présenter les masses en masses terrestres [Mearth] dans l'axe vertical, on voit que, les détections de planètes moins massives que la Terre, ont été possibles à partir de 2010.

Diagramme : Masses - Rayons

- Les planètes représentées dans ce diagramme sont celles pour lesquelles on connait la masse **et** le rayon. Rappelons que la méthode des vitesses radiales donne une information sur la masse mais ne permet pas de connaitre le rayon, et la méthode des transits donne la valeur du rayon mais pas celle de la masse. Il faut utiliser les deux méthodes pour accéder aux deux paramètres.
- Si, globalement, on voit que la masse des planètes augmente quand leur rayon augmente, il y a une énorme dispersion. Les planètes de 0.9 rayon de Jupiter sont dispersées entre 0.02 masse de Jupiter et 60 masses de Jupiter. En ajoutant les barres d'erreur, on voit qu'une partie de cette dispersion est due aux erreurs sur les mesures, mais une partie est réelle et reflète des objets de densités extrêmement différentes.
- On note la population des objets détectés en imagerie (technique favorisée par une grande distance à l'étoile) qui correspond aux objets les plus massifs. Certains de ces objets ont un rayon important qui traduit des jeunes corps en cours d'effondrement.

Diagramme : Distances - Masses

- Ce diagramme permet de voir la complémentarité des différentes techniques utilisées pour étudier les exoplanètes. Nous avons surtout découvert des planètes à proximité du Soleil, jusqu'à quelques milliers de parsecs pour les plus éloignées. Toutes ces étoiles sont DANS la Voie Lactée, notre galaxie qui a un rayon de 15 000 parsecs .
- Les planètes détectées et étudiées avec les méthodes de vitesse radiale et d'imagerie directe sont proches de nous, parce que ces méthodes sont plus efficaces pour les étoiles brillantes. La première technique a besoin d'étoiles lumineuses pour faire de la spectroscopie de haute résolution, là où la seconde cherche à détecter la lumière des planètes, qui est très faible et qu'on ne peut détecter que pour les systèmes relativement proches du Soleil.
- Les transits détectent des planètes plus éloignées, parce que cette méthode est "aléatoire": La détection d'un transit n'est possible que si le plan de l'orbite de la planète est perpendiculaire au plan du ciel, ce qui est rare. Il faut donc observer un grand nombre d'étoiles pour détecter des transits de planètes. Or, dans un angle solide (le champ de l'instrument), il y a plus d'étoiles éloignées que d'étoiles proches.



- C'est pour la même raison que les planètes les plus éloignées ont été détectées par micro-lentilles gravitationnelles, qui est aussi une méthode "aléatoire".
- L'étoile la plus proche du Soleil, alpha du Centaure à 1,3 parsec est entourée de planètes, mais, si on les cherche à l'aide de la souris, on ne les trouvera pas, parce qu'on ne connait pas leur masse mais seulement la valeur de mass $\times \sin(i)$ obtenue par la technique des vitesses radiales. On les verra apparaitre en remplaçant le paramètre *Planetary Mass* par *planetary mass* $\times \sin(i)$.

Diagramme : Périodes - Demi-grands axes

- Ce diagramme en coordonnées log-log montre une relation de proportionnalité entre le logarithme du demi-grand axe de l'orbite, a, et le logarithme de la période orbitale, P. Il s'agit de la troisième loi de Kepler :

$$\frac{P^2}{a^3} = constante$$

exprimée sous la forme :

$$2 \times \log(P) = 3 \times \log(a) + C$$

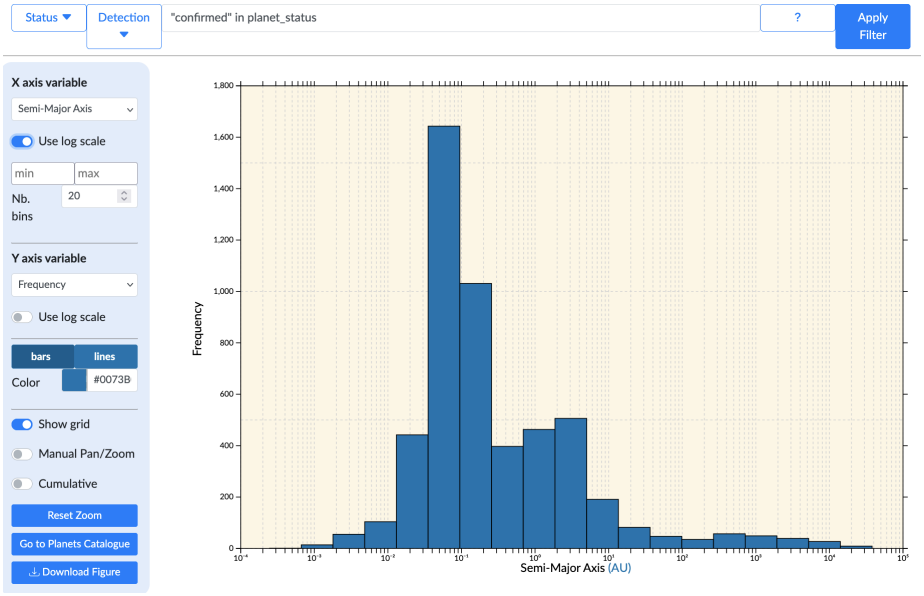
Cette loi est utilisée pour déduire la valeur du demi-grand axe de l'orbite d'une exoplanète, à partir de la mesure de la période de révolution et de la connaissance de la masse de l'étoile.

La dispersion des points est due à la dépendance de la constante vis-à-vis de la masse de l'étoile-hôte.

Histogrammes

Histogramme : Demi-grands axes

- Ce premier diagramme montre qu'il y a des valeurs entre 0 et 40 000 UA mais que l'essentiel se trouve dans les plus petites valeurs. Pour voir cette région, choisissez une échelle logarithme *Use log scale* dans X axis variable).



- Le diagramme est maintenant centré sur 10 UA et la plupart des valeurs sont entre 0.04 UA et 0.2 UA, soit des exoplanètes plus proches de leur étoile que Mercure du Soleil.
- L'essentiel des planètes sont à moins de 10 UA de leur étoile. En jouant sur les méthodes de détection, on voit que ce biais ne concerne que les planètes détectées par transits ou par vitesses radiales. Ces méthodes indirectes nécessitent de suivre le mouvement de l'étoile pendant au moins une période de la planète. La recherche d'exoplanètes ayant commencé il y a 30 ans, les méthodes indirectes n'ont pu détecter que des planètes de période inférieure à 30 ans. La 3eme loi de Kepler permet de calculer que cette période correspond à un demi-grand axe de $30^{\frac{2}{3}} = 10$UA.

Histogramme : Excentricités

- Plusieurs exoplanètes ont une excentricité exactement nulle. Il s'agit de planètes pour lesquelles on n'a pas d'information sur la forme de l'orbite que l'on suppose donc circulaire ($e = 0$). Il s'agit donc d'un biais observationnel.
- On note aussi que la distribution des excentricités est décroissante mais qu'il y a quand même de nombreuses planètes dont les orbites sont très

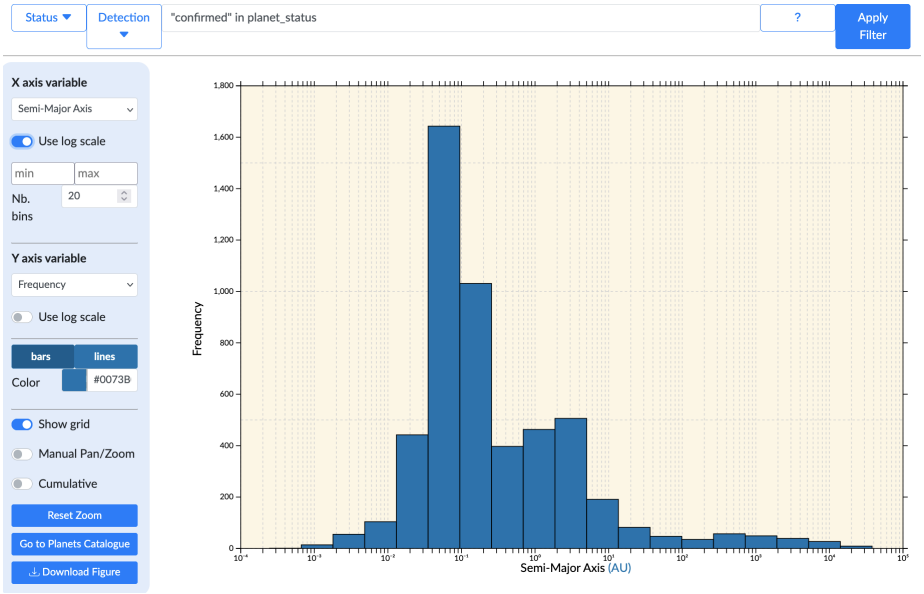
excentriques. Avec une excentricité de 0.2, la planète sera une fois et demi plus loin de son étoile à sa plus grande distance (apoastre) qu'à sa plus grande proximité (périapse).

- En comparant aux planètes du Système solaire, on voit que beaucoup d'exoplanètes ont des orbites bien plus excentriques que les planètes du Soleil :

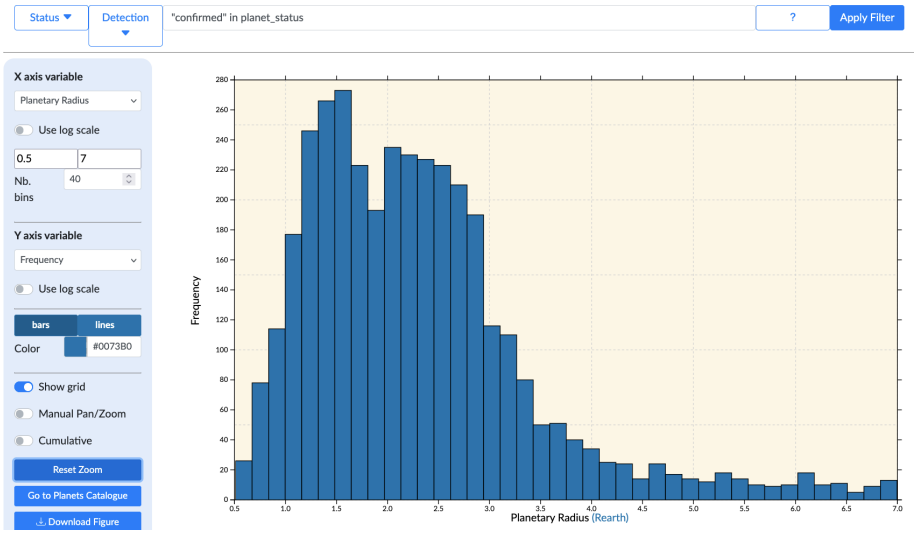
Planètes	Excentricités
Mercure	0.2
Vénus	0.007
Terre	0.02
Mars	0.09
Jupiter	0.05
Saturne	0.05
Uranus	0.05
Neptune	0.004

Histogramme : Rayons

- Ce premier histogramme est en échelle linéaire et montre que l'essentiel des exoplanètes a un rayon inférieur à 2 rayons de Jupiter.
- En activant *Primary transit* dans le menu déroulant *Detection* en haut de la page, le seul changement est le nombre de planètes (*Represented planets* en bas de la page) qui a perdu quelques dizaines. Cela montre que les mesures de rayons d'exoplanètes sont presque exclusivement obtenues par la méthode des transits.
- Pour voir plus de détails, activer l'échelle log dans le menu déroulant de *X axis variable*.



- L'histogramme montre alors qu'il y a deux populations et que les grosses planètes, de rayon égal ou supérieur à un rayon de Jupiter sont moins nombreuses que les petites.
- La limite de gauche du diagramme (les plus petites planètes) est un biais observationnel dû aux limites instrumentales.
- Le nombre important de planètes dans l'histogramme permet de mettre en évidence des mécanismes importants en sélectionnant bien les paramètres de l'histogramme, comme la mise au point d'une lunette. Le diagramme ci-dessous (échelle linéaire, unités en rayons terrestres, intervalle entre $0.5-7 R_⊕, et nombre de bins de 40) met en évidence un creux centré sur 1.8 rayons terrestres. Ce *manque* d'objets est appelé la vallée des rayons ou lacune de Fulton (https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89cart_de_Fulton)



Ce creux est la signature d'un phénomène important, la photo-évaporation des atmosphères. Les planètes de cet histogramme sont quasiment exclusivement des planètes découvertes par transit et donc très proches de leur étoile. A droite de cette vallée, les mini-Neptunes sont des planètes avec une dense atmosphère d'hydrogène et d'helium. A gauche de la vallée, les planètes sont assez proches de leur étoile pour que leur atmosphère s'évapore. Elles deviennent alors des planètes rocheuses avec des rayons plus petits que les mini-Neptunes. Cet épisode, qui ressemble à un événement cométaire, est au coeur de la recherche actuelle afin de comprendre les démarcations de la vallée pour différents types d'étoiles. Il est aussi possible que d'autres mécanismes interviennent comme une perte de masse due à l'évolution du noyau planétaire lui-même.