TP
Exploiter la base de données exoplanétaire pour visualiser et analyser les propriétés des exoplanètes

(durée approximative 1h30)

Exploration du site exoplanet.eu :

1. Allez sur le site exoplanet.eu, onglet « plots » et utilisez l'outil adéquat pour produire un histogramme du nombre de découvertes d'exoplanètes au cours du temps.

2. Expliquez les variations observées. Vous pouvez si nécessaire vous aider d'internet pour retrouver les dates de certaines missions ou instruments.

1995 : La découverte de 51 Pegasi b, la première exoplanète confirmée en orbite autour d'une étoile semblable au Soleil,
2009-2018 : La mission Kepler de la NASA a révolutionné la recherche d'exoplanètes. Kepler a découvert plus de 2 600 exoplanètes, avec un pic notable de découvertes entre 2014 et 2016
Depuis 2018 : Le lancement du Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) a continué à augmenter le nombre de découvertes, en se concentrant sur les étoiles les plus proches de la Terre

3. Utilisez l'outil histogramme pour analyser la distribution spatiale des étoiles accueillant des exoplanètes. Qu'en concluez-vous ?

En affichant les coordonnées « declinaison » puis « RA », on constate que la distribution est isotrope. Les exoplanètes sont partout !

4. Explorez l'histogramme des masses. Commentez la borne minimale et maximale. La distribution des masses montre un nombre croissant de planètes quand la masse diminue. Est-ce réel ? Activer l'échelle log pour « zoomer sur les petites valeurs » , et passer l'unité de masses en masses terrestres. Commentez ce qui se passe vers 30 masses terrestres?

- La borne supérieure de l'histogramme est liée à la définition du catalogue qui est basée sur la masse. On inscrit dans le catalogue les objets moins massifs que 60 masses de Jupiter (MJ), ou du moins dont la limite inférieure de la barre d'erreur sur la masse est inférieure à 60 MJ (par ex. 70 plus ou moins 20MJ).
- les objets plus massifs sont des naines brunes et des étoiles. La population d'objets entre 13 et 73 MJ contient très probablement un mélange de naines brunes et de planètes ->art37].
- La borne inférieure de l'histogramme, la planète la moins massive, est définie par la sensibilité des instruments. Cette limite va décroitre quand les instruments de plus en plus performants détecteront des planètes plus légères.
- La distribution des masses montre un nombre croissant de planètes quand la masse diminue. Cette tendance est réelle puisque les méthodes de détection ont toutes tendance à détecter plus facilement les planètes massives. Il y a réellement beaucoup plus de planètes peu massives que de planètes massives.
- En activant l'échelle log et les unités en masses terrestres, l'histogramme montre alors un creux vers 0.1 masses de Jupiter (30 masses terrestres). Ce creux n'est pas un biais puisqu'il persiste quand on se limite à une seule méthode de détection, transits ou

vitesses radiales. Il pourrait correspondre à la frontière entre les planètes telluriques ? et les planètes gazeuses.

5. Explorez l'histogramme des demi-grands axes. Où se trouvent les plus lointaines exoplanètes détectées ? le mettre en perspective par rapport aux distances dans le Système solaire. Où se situent la plupart des planètes découvertes ? Justifiez cette valeur par un calcul rapide.

L'histogramme s'étale jusqu'à plus de 100000 ua. Pour comparaison, la planète la plus éloignée du soleil est à 30 ua et les sondes spatiales les plus lointaines n'ont que récemment dépassé 165 ua. Les exoplanètes au-delà de 100 ua de leur étoile ont toutes été détectées par imagerie directe. Il faut noter qu'il est alors difficile d'être sûr que la planète détectée soit liée gravitationnellement à l'étoile.
L'essentiel des planètes sont à moins de 10ua 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 $30^{2/3}$ = 10 ua.

6. Explorez l'histogramme des excentricités. Commentaires ?

- 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).

- 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 :

Mercure : 0.2 - Vénus : 0.007 - Terre : 0.02 - Mars : 0.09 - Jupiter : 0.05 - Saturne : 0.05 - Uranus : 0.05 - Neptune : 0.004

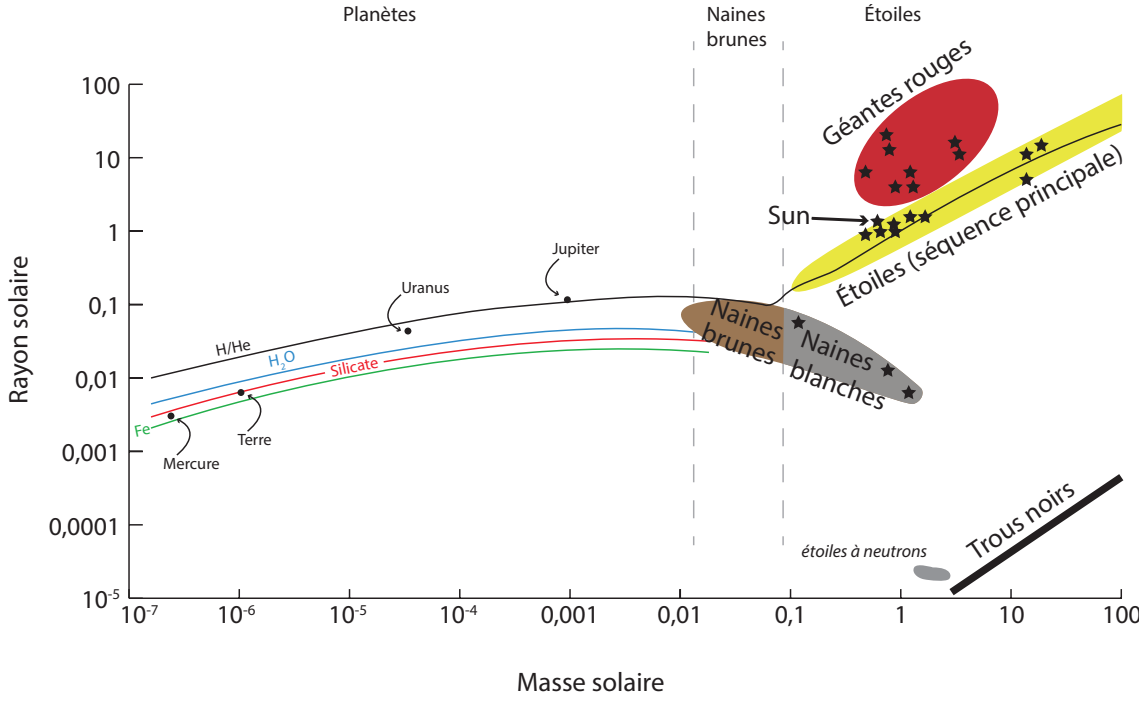
7. Utilisez un autre outil du site exoplanet.eu pour produire la figure représentant l'ensemble des exoplanètes connues à ce jour classées par distance à l'étoile (x), masse (y) et excentricité (variable taille).

- Repérez sur cette figure les planètes du Système solaire, ainsi que 51 Peg b (a=0,05UA ; m=0,47 M_J) et Kepler 10 b (a=0,017UA ; m=4,6 M_T).
- Retrouvez les différentes familles d'exoplanètes présentées dans le cours.

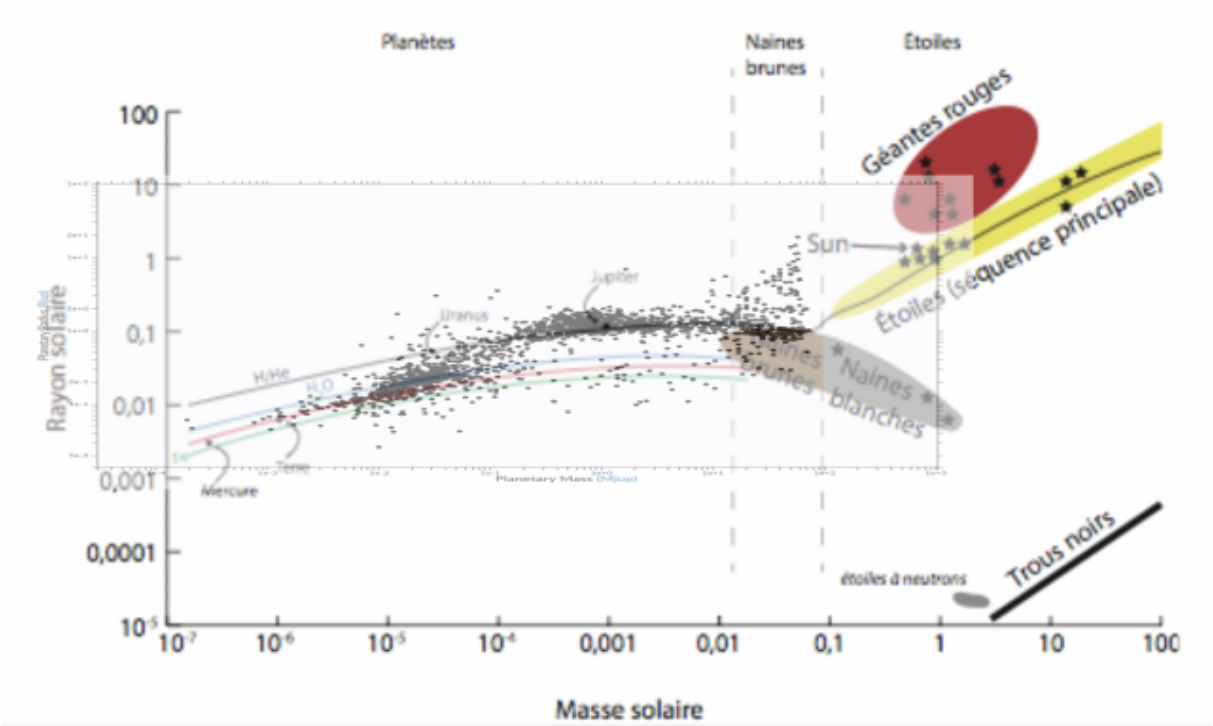
Zoomer pour mieux repérer les 2 planètes et servez vous de la souris et affichez la grille des coordonnées pour mieux repérer les cibles!
Les différentes familles : Jupiter chaud ; super Terre ; Jupiter tièdes,…

8. Explorez le diagramme Masse - Rayons, en coordonnées log-log et en unités terrestres. Comment se dispersent les planètes de rayon terrestre ? La figure suivante donne le diagramme de tous les objets célestes et les compare avec densités de matériaux. On voit que la Terre et Mercure sont compatibles avec des objets rocheux. Commentaires ?

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 1 rayon terrestre sont dispersées entre 0.7 et 30 masses terrestres. 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. Ainsi, les planètes du système solaire (points noirs ci-dessous) sont beaucoup moins dispersées.



On superpose le diagramme précédent sur les données. Pour cela, on considère qu'un rayon solaire vaut 10 rayons de Jupiter et qu'une masse solaire vaut 1000 masses de Jupiter. Les naines brunes sont entre 13 et 60 M_J. Les objets les plus denses sont situés en bas à droite du diagramme (e.g. trou noirs)



9. Affichez le diagramme Périodes - Demi-grands axes, en coordonnées log-log. Que montre t-il ? Expliquez la dispersion des points

Il 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 :

P^2/a^3 = cste exprimée sous la forme :2*log(P)=3*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.

Auteur : Alain Doressoundiram, été 2025