

UNE LIMITE SUPÉRIEURE DANS LE PLAN MASSE-MÉTALLICITÉ DES EXO-NEPTUNES

B. Courcol, F. Bouchy, M. Deleuil

Aix-Marseille Université, CNRS, Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, UMR 7326, 13388 Marseille, France

Problématique

La transition entre les exo-Neptunes et les Super-Terres est encore mal comprise. Aucune limite claire en masse, rayon et même densité n'est établie. Cependant, avec des populations toujours plus importantes, il devient crucial d'étudier leurs propriétés statistiques afin de mieux comprendre leurs particularités, leurs processus de formation et d'évolution. La métallicité est particulièrement importante de par son rôle clé dans la formation planétaire. Nous avons donc entrepris d'explorer le plan masse-métallicité des planètes de faible masse.

Le diagramme masse-métallicité

La Figure 1 représente le diagramme masse-métallicité de l'échantillon. Une zone d'exclusion est immédiatement visible dans le coin supérieur gauche pour les hautes masses et faibles métallicités. Cela ne peut pas être du aux biais observationnels ou de sélection de l'échantillon. Il s'agit donc d'un effet physique. Pour les métallicités supérieures à -0.5, on peut approximer la limite supérieure de la distribution par la formule :

$$[Fe/H] > -0.5 : M_{max} = 43.3 \times [Fe/H] + 29.2M_{\oplus}$$

L'échantillon

L'échantillon considéré contient toutes les exoplanètes de faible masse ($M \sin(i) < 40M_{\oplus}$) avec une précision meilleure que 20%, et une précision sur la métallicité ($[Fe/H]$) de leurs étoiles hôtes meilleure que 0.2 dex. La liste finale contient 157 planètes de masses variant de $1.13 M_{\oplus}$ à $38.1 M_{\oplus}$ et dont les métallicités des 97 systèmes correspondants s'échelonnent entre -0.89 et 0.39 dex. Le type stellaire des étoiles hôtes varie de M à F. 88% des planètes ont une période inférieure à 100 jours.

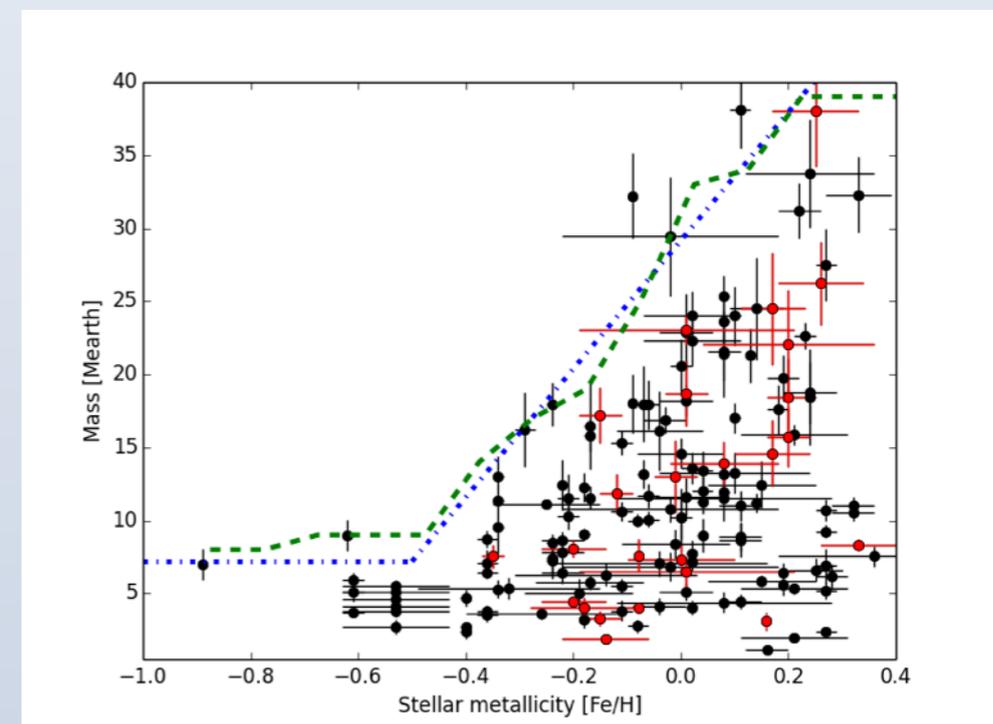


Figure 1 — Diagramme masse/métallicité des planètes connues avec $M \sin(i) < 40M_{\oplus}$ et $\Delta M/M < 0.2$. Les points rouges sont les planètes connues en transit. La ligne verte est la limite supérieure de l'échantillon et la bleue son approximation par la formule ci-contre.

UNE LIMITE SUPÉRIEURE DANS LE PLAN MASSE-MÉTALLICITÉ DES EXO-NEPTUNES

Corrélation avec la période

La nature inhabituelle de la connection entre la masse planétaire et la métallicité stellaire pourrait être expliquée par l'existence de corrélation avec d'autres paramètres. Nous avons investigué un possible lien avec la période orbitale. Une **corrélation existe entre la distance à la limite supérieure $M_{\max}-M$ et le $\log(P)$** . Le coefficient de corrélation de Pearson obtenu est -0.44 , mais la probabilité de l'hypothèse de non-corrélation est $8e-9$. **Si cette corrélation est faible, elle est extrêmement significative.** Ce résultat indique que la **limite supérieure décroît pour les planètes à faible période** et suggère que les planètes de type Neptune pourraient exister autour d'étoiles peu métalliques à des périodes plus importantes.

Discussion

Une telle limite supérieure est **cohérente avec la théorie de core accrétion**. Une étoile sous-métallique pourrait voir ses planètes formées à partir de noyaux plus petits, qui accréteraient le gaz de manière moins efficace. La corrélation avec la période peut s'expliquer de deux manières différentes :

- **Par une formation in-situ** : dans les zones fortement irradiées et pauvres en gaz les planétésimaux seraient plus dépendant de la quantité d'éléments lourds et la formation des exo-Neptunes moins efficace.
- **Par une corrélation métallicité-période** : les Neptunes se formeraient à toutes les métallicité, mais à des **périodes plus importantes autour des étoiles sous-métalliques** et non détectées en vitesse radiales. Cela pourrait être également causé par un **mécanisme migratoire moins efficace** à faible métallicité (voir Adibekyan et al. 2013).

Un échantillon plus complet sera nécessaire afin de tester la robustesse de cette limite supérieure et d'explorer de possible corrélations avec d'autres paramètres (irradiation, multiplicité, etc).

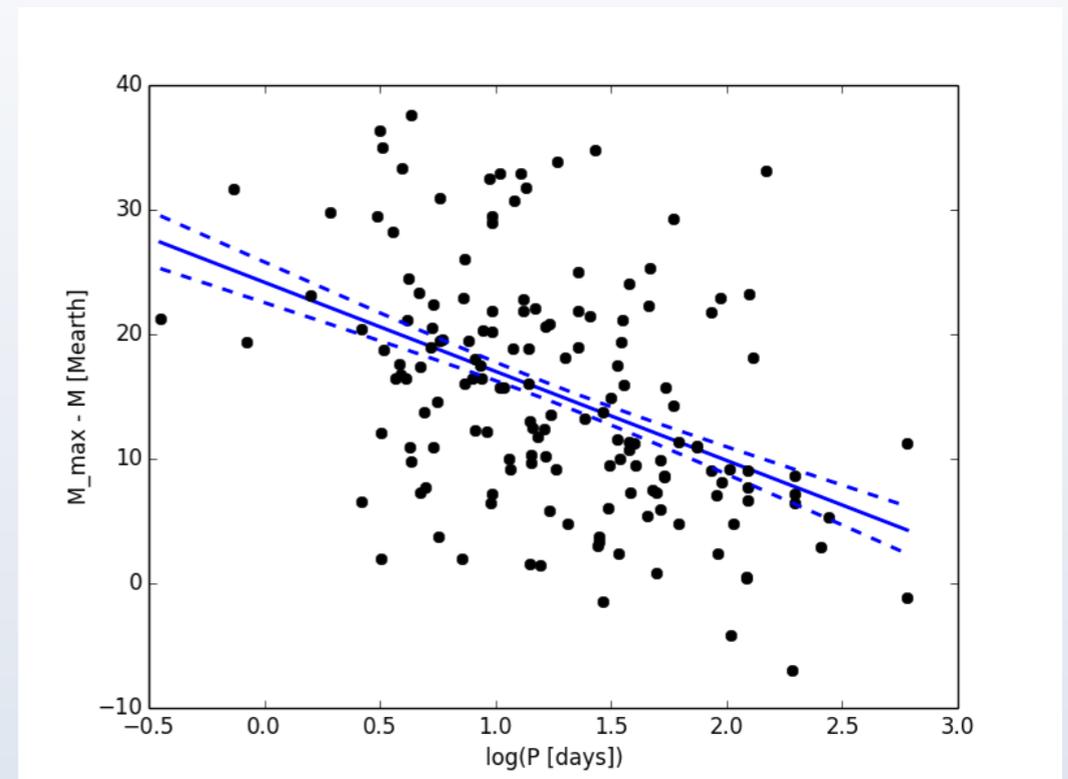


Figure 2 — Distance à la limite supérieure $M_{\max}-M$ en fonction de $\log(P)$. La ligne pleine est la régression linéaire correspondante et les lignes pointillés les écarts à 1 sigma.

UNE LIMITE SUPÉRIEURE DANS LE PLAN MASSE-MÉTALLICITÉ DES EXO-NEPTUNES

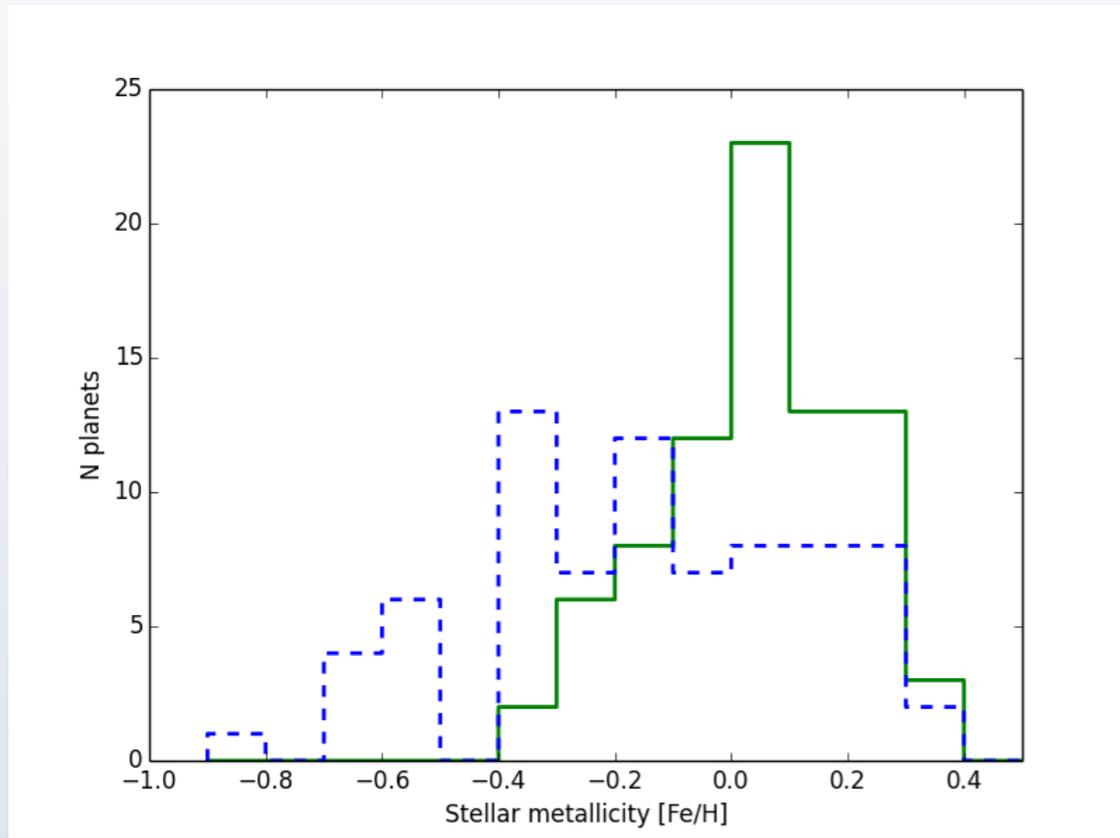


Figure 3 — Distribution en métallicité des Super-Terres ($M_{\text{Jup}} < 10 M_{\text{Jup}}$, bleu) et des Neptunes ($10 < M_{\text{Jup}} < 40 M_{\text{Jup}}$, vert).

Impact sur la fréquence des exo-Neptunes

La distribution en métallicité des Neptunes et des Super-Terres est représentée sur la Figure 3. Une telle distribution implique qu'au moins à l'ordre zéro, **le taux d'occurrence des exo-Neptunes augmente avec la métallicité**. Ce type de corrélation est bien connu pour les planètes géantes, mais **n'a pas été mis en évidence pour les petites planètes détectées en vitesses radiales** (e.g. Ghezzi et al. 2010, Mayor et al. 2011, Sousa et al. 2011) ou dans les modèles (voir Mordasini et al. 2012). Cela peut s'expliquer par le fait que ces études ne font pas la distinction entre Neptunes et Super-Terres. En effet, avec les données actuelles, il n'est pas possible de conclure quant à ces dernières. Par contre, ces **conclusions sont compatibles avec les résultats obtenus sur les planètes Kepler** par Buchhave et al. 2014 et Dawson et al. 2015.

References

- Courcol et al. 2016, MNRAS, Advance Access
- Ghezzi et al. 2010, Apj, 720, 1290
- Mayor et al. 2011, ArXiv e-prints 1109.2497
- Sousa et al. 2011, A&A, 533, A141
- Mordasini et al. 2012, A&A, 547, A112
- Adibekyan et al. 2013, A&A, 560, A51
- Buchhave et al. 2014, Apj, 509, 593
- Dawson et al. 2015, Apj, 453, 1471