# Explorarea bazei de date

*Utilizarea instrumentelor statistice*

*Catalogul acoperă mii de obiecte, cu zeci de parametri per obiect. Cum găsești informații într-un astfel de tabel?*

**Nivel:** gimnaziu/liceu

**Obiectivele**

- Înțelegerea informațiilor accesibile într-o bază de date folosind instrumente statistice
- Interpretați o diagramă și înțelegeți limitele acestui instrument
- Sunt analizate 7 diagrame/histograme ale datelor din catalog

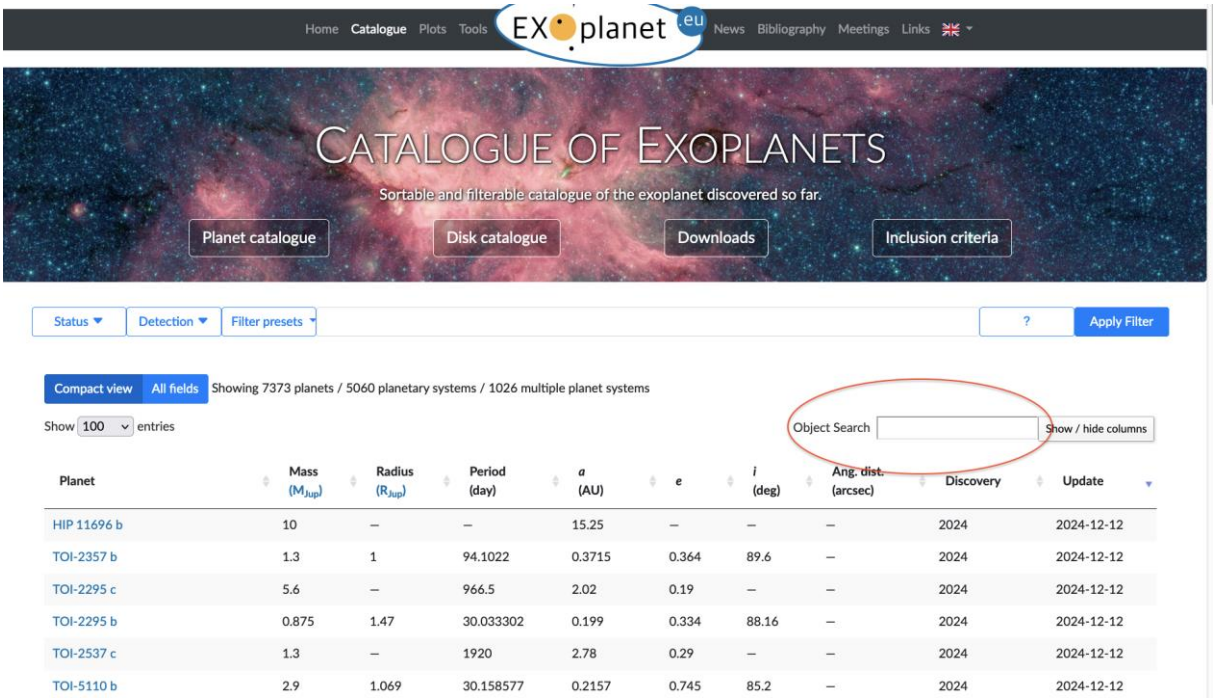
**Materiale necesare:** acces la baza de date [https://exoplanet.eu/catalog/].

**Durata:** aproximativ 3 ore

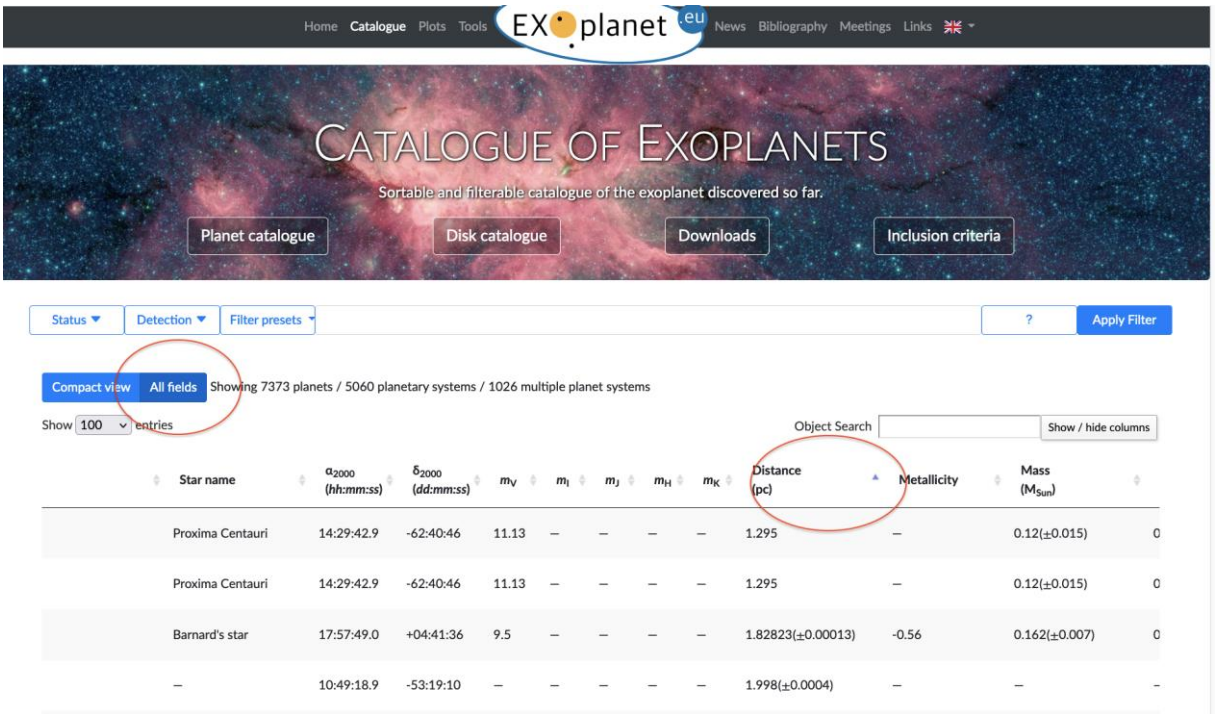
**Autor:** Françoise Roques, LIRA/UFE, Observatoire de Paris

## Planul lecţiei

Puteți căuta un anumit obiect introducând numele acestuia în fereastra de căutare:




Puteți ordona valorile luate de un anumit parametru și puteți găsi, de exemplu, planeta cea mai apropiată de noi sortând parametrul corespunzător. Parametrul distanță este vizibil în *Toate câmpurile*, iar săgețile mici de lângă numele parametrului pot fi folosite pentru a sorta valorile parametrilor în ordine crescătoare sau descrescătoare.



Dar nu putem accesa proprietățile populației de exoplanete fără instrumente statistice [https://voparis-exoplanet-new-dev.obspm.fr/scholar/spip.php?article357&lang=en], în special diagrame [https://voparis-exoplanet-new-dev.obspm.fr/scholar/spip.php?article92&lang=en] care arată relațiile dintre doi parametri sau histograme care arată distribuția valorilor unui parametru. Veți găsi o diagramă și un instrument de histogramă pe site-ul științific, prin intermediul acestui link (https://exoplanet.eu/plots/].

În continuare, vom descoperi și comenta mai multe exemple de histograme (etichetate H) și diagrame (etichetate D).

# D. Ani de descoperire *vs* mase

## Cum se vizualizează diagrama

Pe pagina portalului, alegeți Diagramă. În coloana din stânga,

- alegeți *Anul descoperirii* din meniul vertical din fereastra variabilă *axa X* .
- dezactivați butonul *Utilizați scala logaritmică* din fereastra variabilă axa *X*.
- alegeți *Masa planetară* din meniul derulant din fereastra variabilă a axei *Y* .




Diagrama Anul descoperirii vs Masă (22/06/2025)

## Ce arată această diagramă?

Datorită scalei logamitare a variabilei de masă, putem vedea progresul în metodele de detectare, permițându-ne să descoperim planete din ce în ce mai puțin masive.

Dacă mutați mouse-ul peste planetele descoperite în 1995, veți vedea 51 Pegasus b, prima exoplanetă descoperită. Aceste obiecte au fost adăugate la catalog când s-a descoperit că obiectele între 30 și 60 de mase ale lui Jupiter includ atât planete, cât și pitice brune. Înainte de 1995, obiecte au fost descoperite în jurul pulsarilor. Deoarece pulsarii sunt rămășițele supernovelor, fazele explozive ale anumitor stele la sfârșitul vieții lor, obiectele din jurul lor nu pot avea proprietățile așteptate de la o planetă, cum ar fi o atmosferă și o temperatură moderată. Prin urmare, istoria nu a înregistrat obiectele menționate ca planete. Putem vedea și planeta HD 114762 b, anunțată în 1989, dar a cărei natură planetară nu a fost confirmată decât mai târziu.

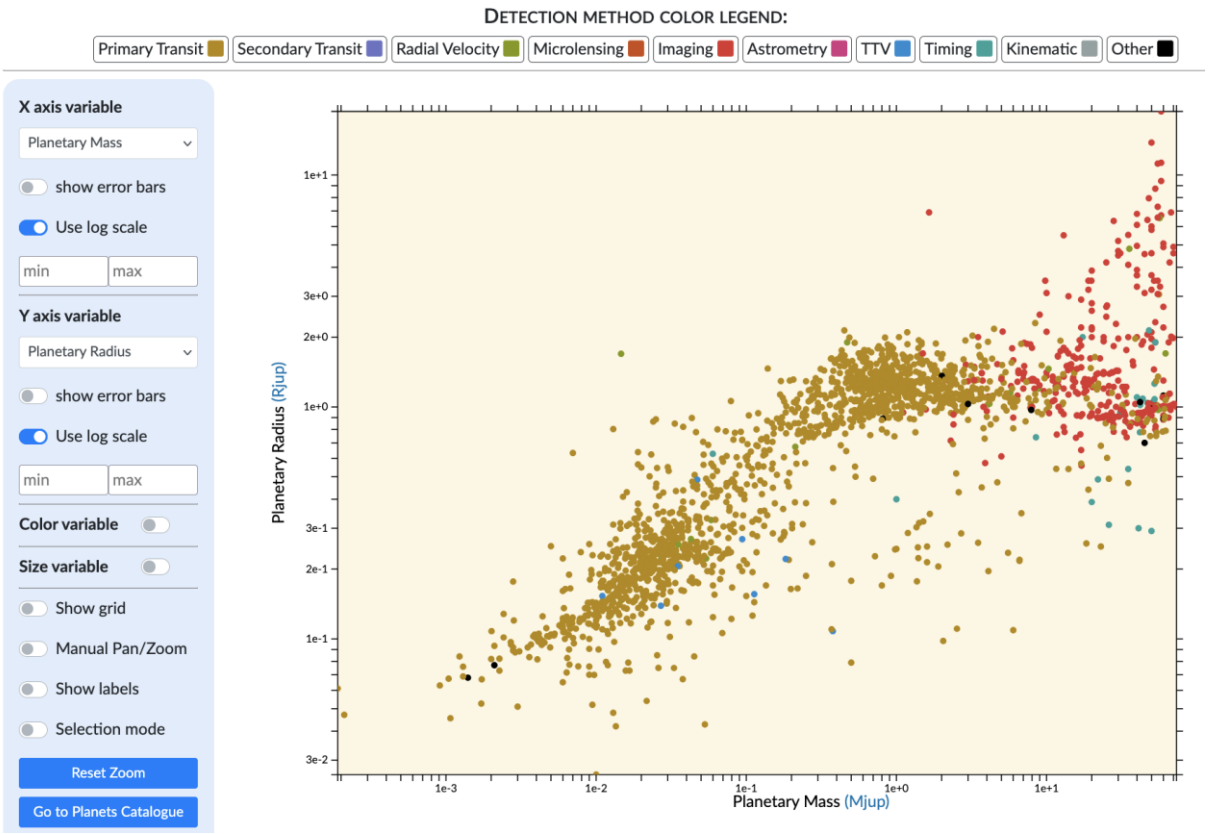
Alegând să prezentăm masele în *masele Pământului* [$M_{Earth}$] pe axa verticală, putem vedea că detectarea planetelor mai puțin masive decât Pământul a fost posibilă din 2010.

## D. Mase *vs* raze

### Cum se vizualizează diagrama

Pe portalului, alegeți Diagramă. În coloana din stânga,

- alegeți *Masa planetară* din meniul derulant din fereastra variabilă axa *X* .
- alegeți *Rază planetară* din meniul derulant din fereastra variabilă a axei *Y* .




### Ce arată această diagramă?

Planetele prezentate în această diagramă sunt cele a căror masă și rază sunt cunoscute. Amintiți-vă că metoda vitezei radiale [https://voparis-exoplanet-new-dev.obspm.fr/scholar/spip.php?article345&lang=en] oferă informații despre masă, dar nu și rază, iar metoda tranzitului [https://voparis-exoplanet-new-dev.obspm.fr/scholar/spip.php?article349&lang=en] dă valoarea razei, dar nu și masa. Ambele metode trebuie utilizate pentru a accesa ambii parametri.

Deși, în general, putem vedea că masa planetelor crește pe măsură ce raza lor crește, există o dispersie uriașă. Planetele cu o rază de 0,9 din cea a lui Jupiter sunt împrăștiate între 0,02 și 60 de mase ale lui Jupiter. Dacă adăugăm barele de eroare, putem vedea că o parte din această dispersie se datorează erorilor în măsurători, dar o parte din ea este reală și reflectă obiecte de densități extrem de diferite.

Observați populația de obiecte detectate prin imagistică (o tehnică favorizată de o distanță mare de stea), afișată cu roșu, care corespunde celor mai masive obiecte. Unele dintre aceste obiecte au o rază mare, reflectând corpuri tinere în proces de prăbușire.

## Activitate sugerată (de scris)

Diagrama masă vs rază poate fi comparată cu diagrama tuturor obiectelor cerești [https://voparis-exoplanet-new-dev.obspm.fr/scholar/spip.php?article338&lang=en] prin suprapunerea celor două diagrame și potrivirea unităților. Aceasta presupune întinderea/contractarea primului cu un software de editare a imaginilor, astfel încât unitățile să fie suprapuse corect. Presupunem că o rază solară valorează 10 raze Jupiter și că o masă solară valorează 1.000 de mase Jupiter.

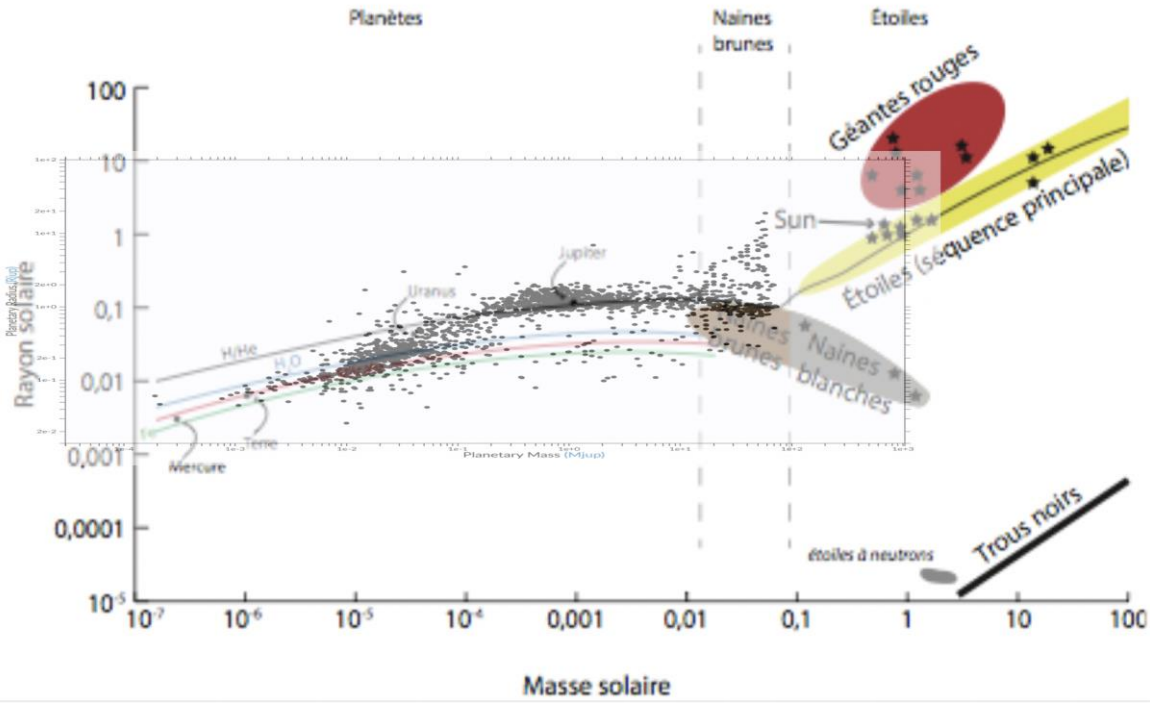



Diagrama masă vs rază este suprapusă transparent pe diagrama teoretică.

Suprapunerea arată diferența de compoziție dintre cele două grupuri de exoplanete: planetele solide pe de o parte și planetele gazoase pe de altă parte. Într-adevăr, planetele cu mase mai mici de $10^{-4}$ mase solare, adică 0,1 mase ale lui Jupiter, sunt centrate pe modelul planetei stâncoase, în timp ce planetele cu mase mai mari de 0,1 mase ale lui Jupiter sunt centrate pe modelul planetei gazoase.

## D. Distanțe *vs* mase

### Cum se vizualizează diagrama

Pe pagina portalului, alegeți Diagramă. În coloana din stânga,

- alegeți *Distanța până la o stea gazdă* din meniul derulant din fereastra variabilă *axa X* .
- alegeți *Masa planetară* din meniul derulant din fereastra variabilă a axei *Y* .

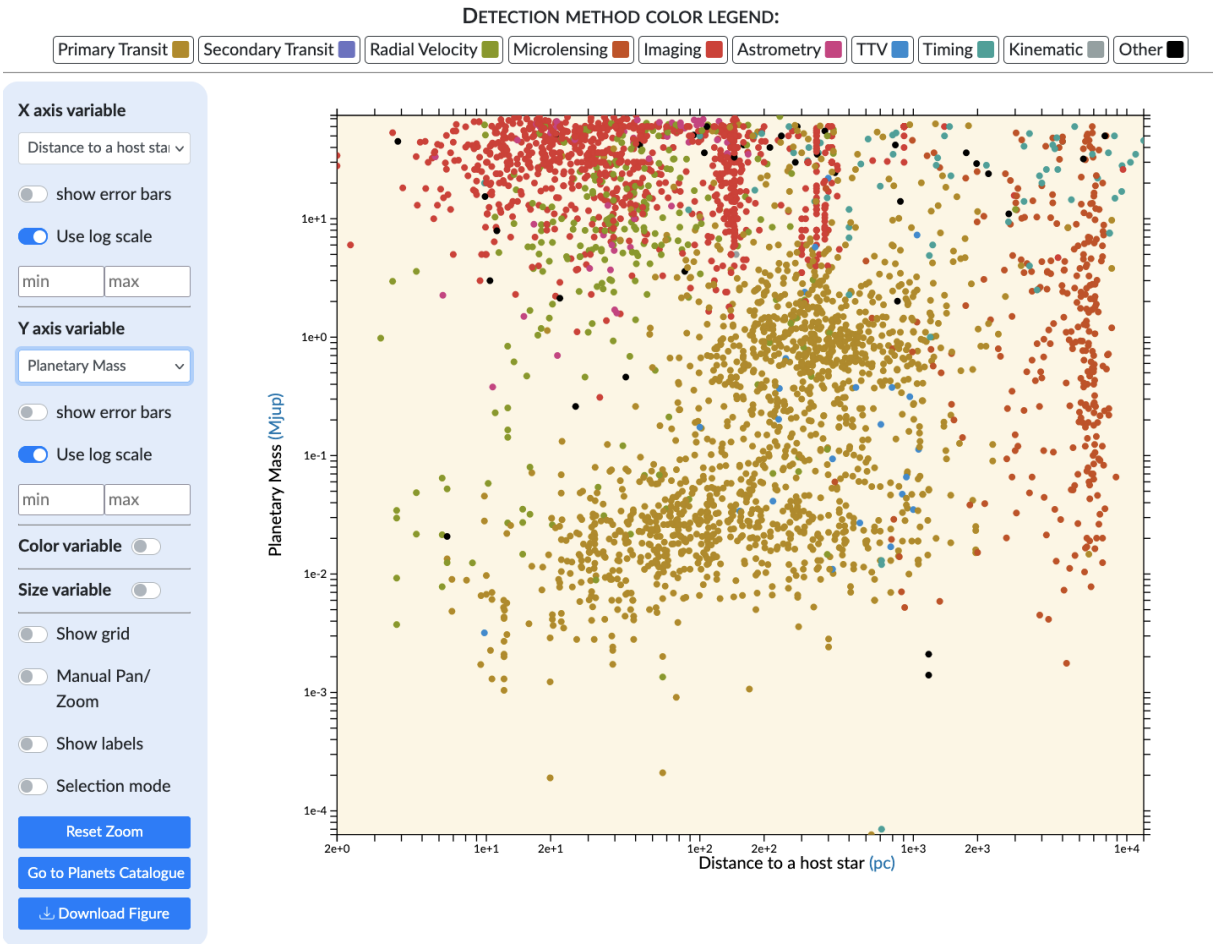



Diagrama distanței până la steaua gazdă vs masa planetară (22/06/2025)

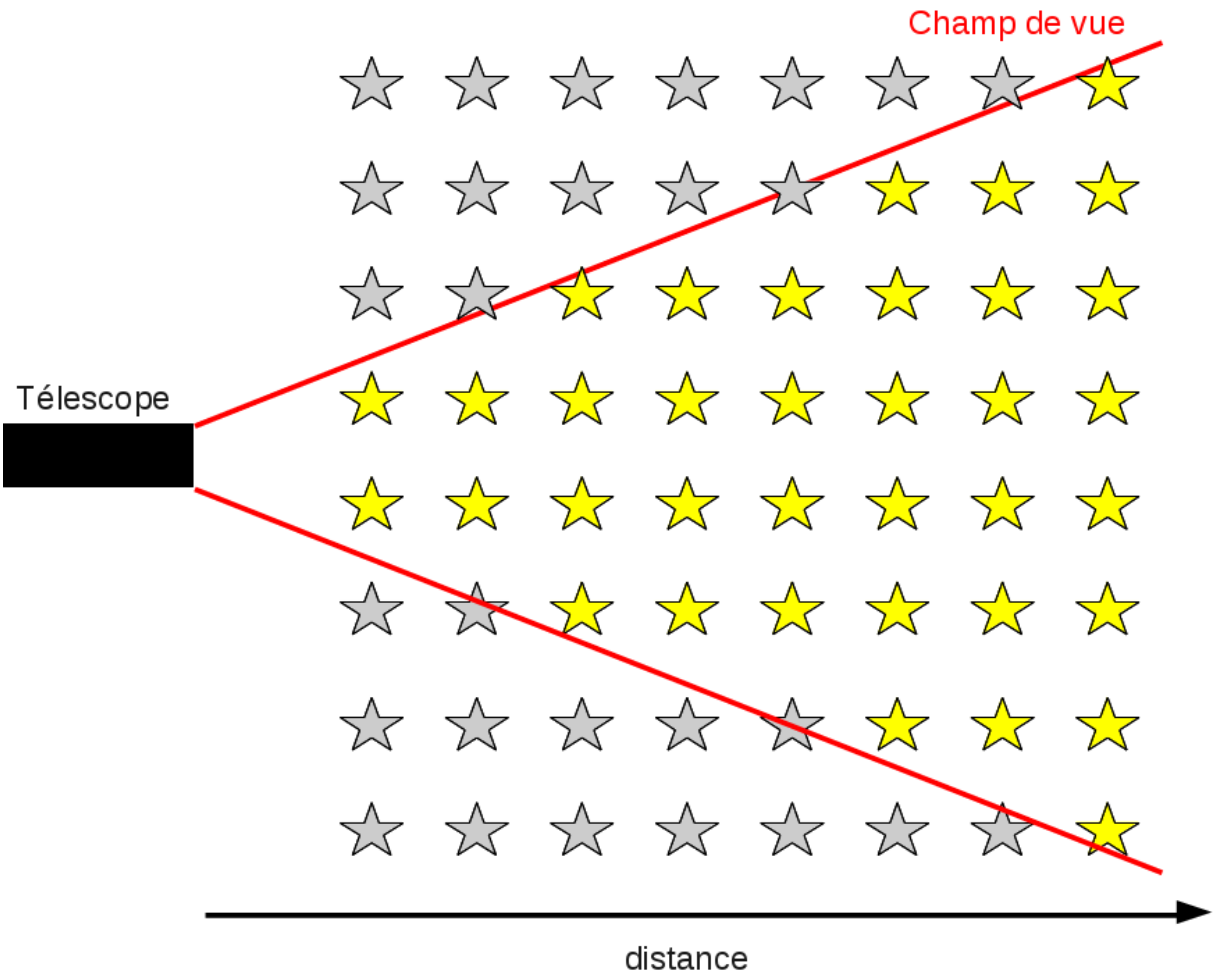
### Ce arată această diagramă?

Această diagramă arată cum diferitele tehnici folosite pentru a studia exoplanetele se completează reciproc. Am descoperit în principal exoplanete în sisteme stelare apropiate de Soare, până la câteva mii de parseci pentru cele mai îndepărtate. Toate aceste stele sunt în Calea Lactee, galaxia noastră care are o rază de 15.000 de parseci.

Exoplanetele detectate și studiate folosind metodele vitezei radiale (în verde) și imagistică directă (în roșu) sunt aproape de noi, deoarece aceste metode sunt mai eficiente pentru stelele strălucitoare. Prima tehnică necesită stele strălucitoare pentru spectroscopie de înaltă rezoluție, în timp ce cea de-a doua caută să detecteze lumina de la planete, care este foarte slabă și poate fi detectată doar în sisteme care sunt relativ aproape de Soare.

Tranzitele (în galben) ne permit să detectăm planete mai îndepărtate, deoarece această metodă este "aleatorie": detectarea unui tranzit este posibilă numai dacă planul orbitei exoplanetei este

perpendicular pe planul cerului, ceea ce este rar. Prin urmare, trebuie să observați un număr mare de stele pentru a detecta tranzitele planetare. Cu toate acestea, într-un unghi solid dat (câmpul vizual al instrumentului), există mai multe stele îndepărtate decât stele apropiate.




Numărul de stele observabile în câmpul vizual în funcție de distanță

Din același motiv, cele mai îndepărtate exoplanete au fost detectate prin microlentile gravitaționale (în maro), care este, de asemenea, o metodă "aleatorie".

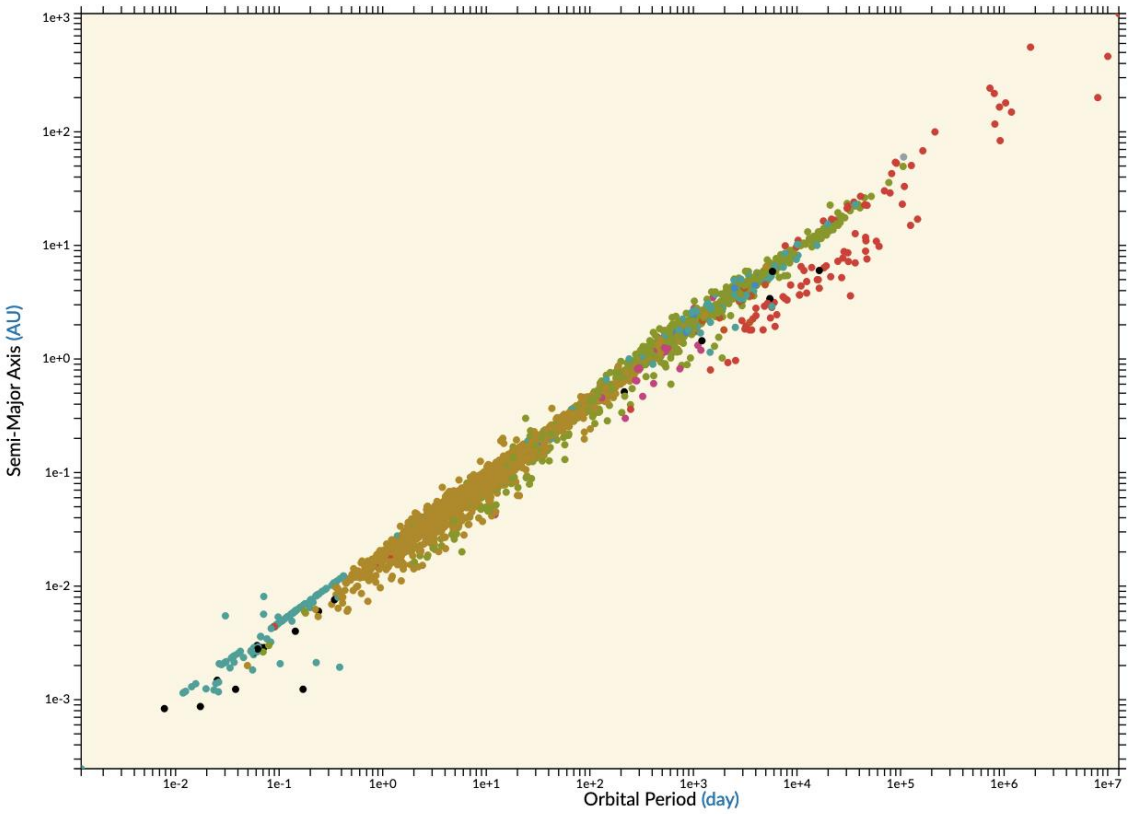
Steaua cea mai apropiată de Soare, Alpha Centauri, la 1,3 parsec, este înconjurată de planete, dar dacă le căutăm în diagramă cu mouse-ul, nu le vom găsi, deoarece nu le cunoaștem masa ci doar valoarea M*sin(i) obținută prin tehnica vitezei radiale. Ele vor apărea prin înlocuirea parametrului Masa *planetară* cu *Masa planetară*sin(i*).

## D. Perioade *vs* semi-axe majore

### Cum se vizualizează diagrama

Pe pagina portalului, alegeți *Diagramă*. În coloana din stânga,

- alegeți *Perioadă orbitală* din meniul derulant din fereastra variabilă *axa X* .
- dezactivați butonul *Utilizați scala logaritmică* din fereastra variabilă axa *X*.
- alegeți *Semiaxa majoră* din meniul derulant din fereastra variabilă *axa Y* .




### Ce arată această diagramă?

Această diagramă în coordonatele log-log arată o relație de proporționalitate între logaritmul semi-axei majore a orbitei, *a* , și logaritmul perioadei orbitale *P*. Aceasta este a treia lege a lui Kepler:

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

Uneori exprimat ca:

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

Această lege este folosită pentru a deduce valoarea semiaxei majore a orbitei unei exoplanete, pe baza măsurării perioadei de revoluție și a cunoașterii masei stelei.

Dispersia punctelor se datorează dependenței constantei *C* de masa stelei gazdă.

## H. Semiaxa majoră

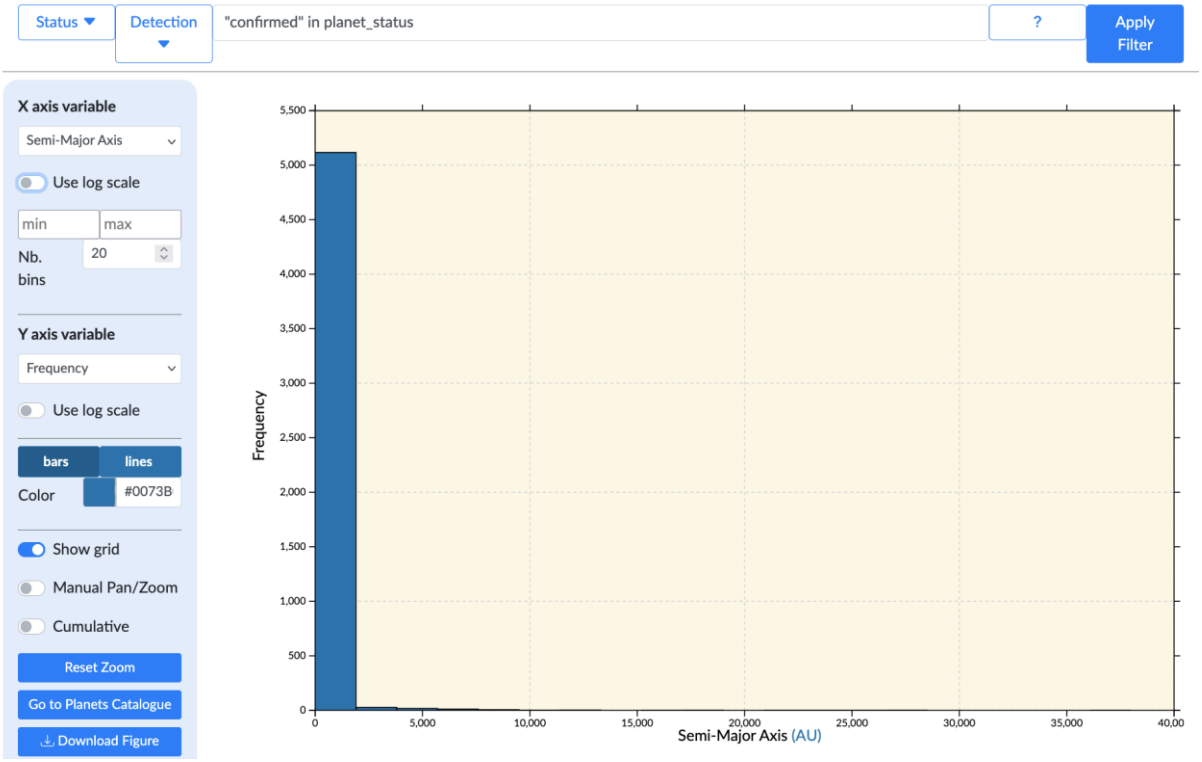
Semiaxa majoră este un descriptor al distanței dintre exoplanetă și steaua gazdă. Unitatea folosită aici este unitatea astronomică AU, definită ca distanța Pământ-Soare, adică 150.000.000 km.

Ca o reamintire, semiaxele majore ale planetelor din Sistemul Solar sunt: 0,38 UA pentru Mercur, 0,72 UA pentru Venus, 1 UA pentru Pământ, 1,52 UA pentru Marte, 9,57 UA pentru Jupiter, 19,30 UA pentru Saturn, 30,21 UA pentru Uranus și 39,91 UA pentru Neptun.

### Cum se vizualizează histograma

Pe pagina portalului, alegeți *Histogramă*. În coloana din stânga,

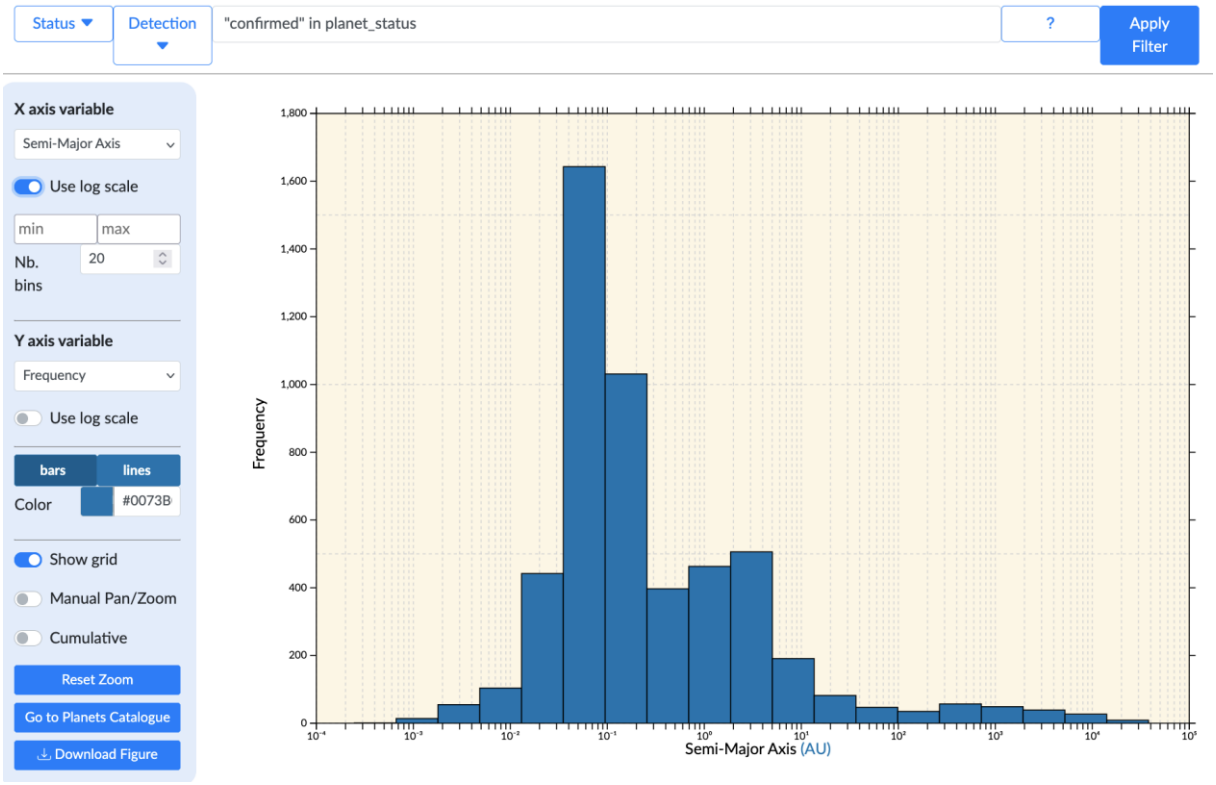
- alegeți *Semiaxă majoră* din meniul vertical din fereastra variabilă *axa X* .
- Alegeți fie *Probabilitate,* fie *Frecvență* din meniul derulant din fereastra variabilă *a axei Y*.




Histograma liniară a semiaxelor majore ale exoplanetelor (22/06/2025)

### Ce arată această histogramă?

Acest prim grafic arată că există valori în baza de date între 0 și 40.000 UA, dar majoritatea se află în partea cea mai joasă a acestui interval. Pentru a avea o vizualizare mai bună, să activăm butonul *Utilizați scala logaritmică* în *variabila axei X*.




Semiaxele majore ale exoplanetelor log-log Histogramă (22/06/2025)

Graficul este acum centrat pe 10 UA, iar majoritatea valorilor sunt între 0,04 și 0,2 UA, adică exoplanete mult mai aproape de steaua lor decât este Mercur de Soarele nostru.

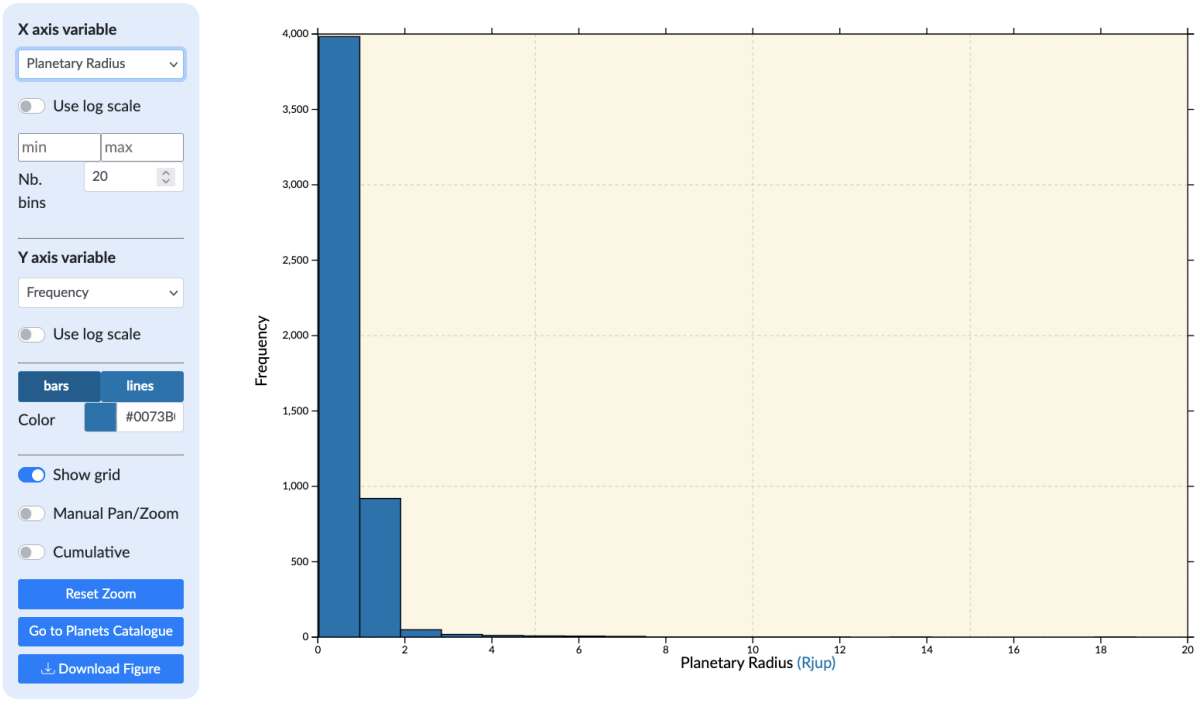
Majoritatea exoplanetelor sunt la mai puțin de 10 UA de steaua lor. Dacă ne jucăm cu metodele de detectare, putem vedea că această părtinire se referă doar la planetele detectate prin tranzite sau viteze radiale. Aceste metode indirecte necesită urmărirea mișcării stelei timp de cel puțin o perioadă a vieții planetei. De când a început căutarea exoplanetelor în urmă cu 30 de ani, metodele indirecte au fost capabile să detecteze planete doar cu perioade mai mici de 30 de ani. A 3-a lege a lui Kepler poate fi folosită pentru a calcula că această perioadă corespunde unei semiaxe majore de $30^{2/3}$ = 10 UA.

# H. Raze

## Cum se vizualizează histograma

Pe pagina portalului, alegeți *Histogramă*. În coloana din stânga,

- alegeți *Rază planetară* din meniul derulant din fereastra variabilă *a axei X* .
- Alegeți *fie Probabilitate, fie Frecvență* din meniul derulant din fereastra variabilă *a axei Y*.



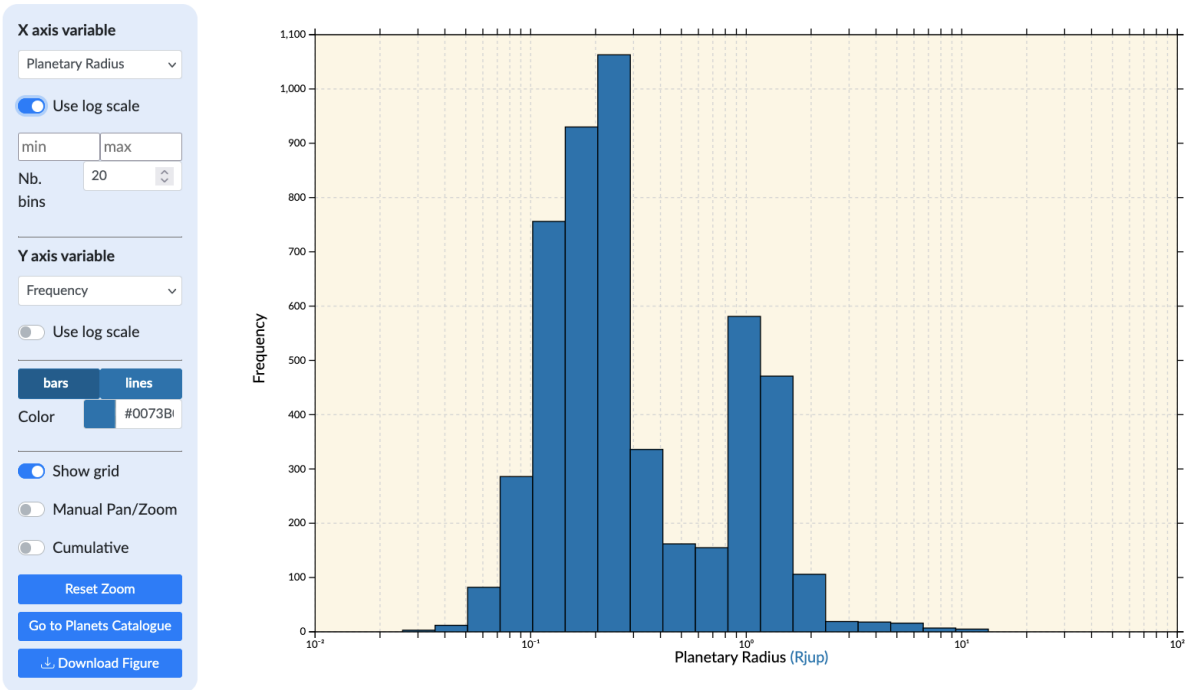

Histograma liniară a razelor exoplanetelor (22/06/2025)

## Ce arată această histogramă?

Această primă histogramă este la scară liniară și arată că majoritatea exoplanetelor au o rază mai mică de 2 raze Jupiter.

Prin activarea *tranzitului primar* în meniul *derulant Detectare* din partea de sus a paginii, singura schimbare este numărul de planete (numărul de *planete reprezentate* este vizibil în partea de jos a paginii), care a scăzut cu câteva zeci. Acest lucru arată că măsurătorile razelor exoplanetelor sunt obținute aproape exclusiv folosind metoda tranzitului.

Pentru a vedea mai multe detalii, să activăm butonul *Utilizați scara log* în *variabila axei X*.

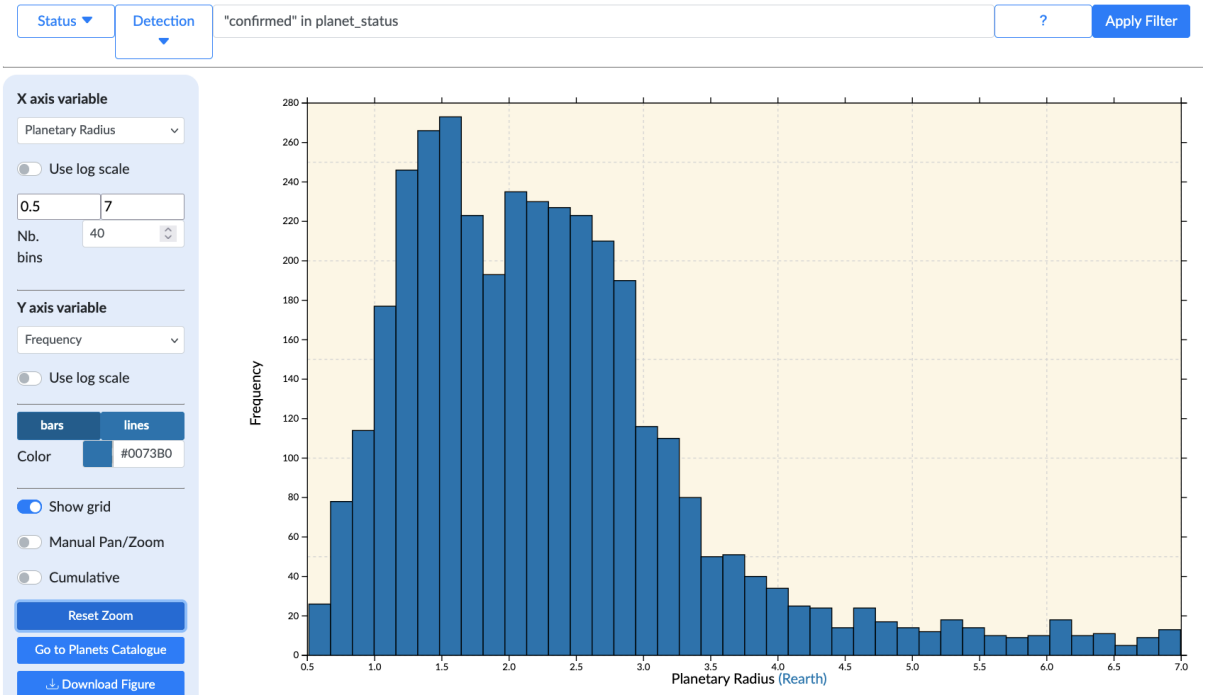



Histograma razelor exoplanetelor (22/06/2025)

Histograma arată că există două populații; mai mult, planetele mari, cu o rază egală sau mai mare decât raza lui Jupiter, sunt mai puțin numeroase decât planetele mici.

Limita din stânga diagramei (cele mai mici planete) este o tendință observațională datorată limitelor instrumentale.

Numărul mare de planete din histogramă face posibilă evidențierea mecanismelor importante prin selectarea cu atenție a parametrilor histogramei, preferând focalizarea unui telescop. Graficul de mai jos (scara liniară, unități în raza Pământului, interval între 0,5 și 7 $R_{Earth}$ și numărul de compartimente de 40) evidențiază o scădere centrată pe razele Pământului de 1,8. Această lipsă de obiecte se numește "golul Fulton" sau "deșertul sub-Neptun" [https://en.wikipedia.org/wiki/Small_planet_radius_gap].




Histograma razelor exoplanetelor (22/06/2025). Scăderea la 1,8 $R_{Earth}$ este diferența Fulton.

Această adâncime în histogramă este semnătura unui fenomen important numit fotoevaporarea atmosferei. Exoplanetele din această histogramă sunt aproape exclusiv planete descoperite prin tranzit și, prin urmare, foarte aproape de steaua lor. În dreapta acestei văi, mini-Neptunii sunt planete cu o atmosferă densă de hidrogen și heliu. În stânga văii, planetele sunt suficient de aproape de steaua lor pentru ca atmosfera lor să se evapore. Apoi devin planete stâncoase cu raze mai mici decât mini-Neptunii.

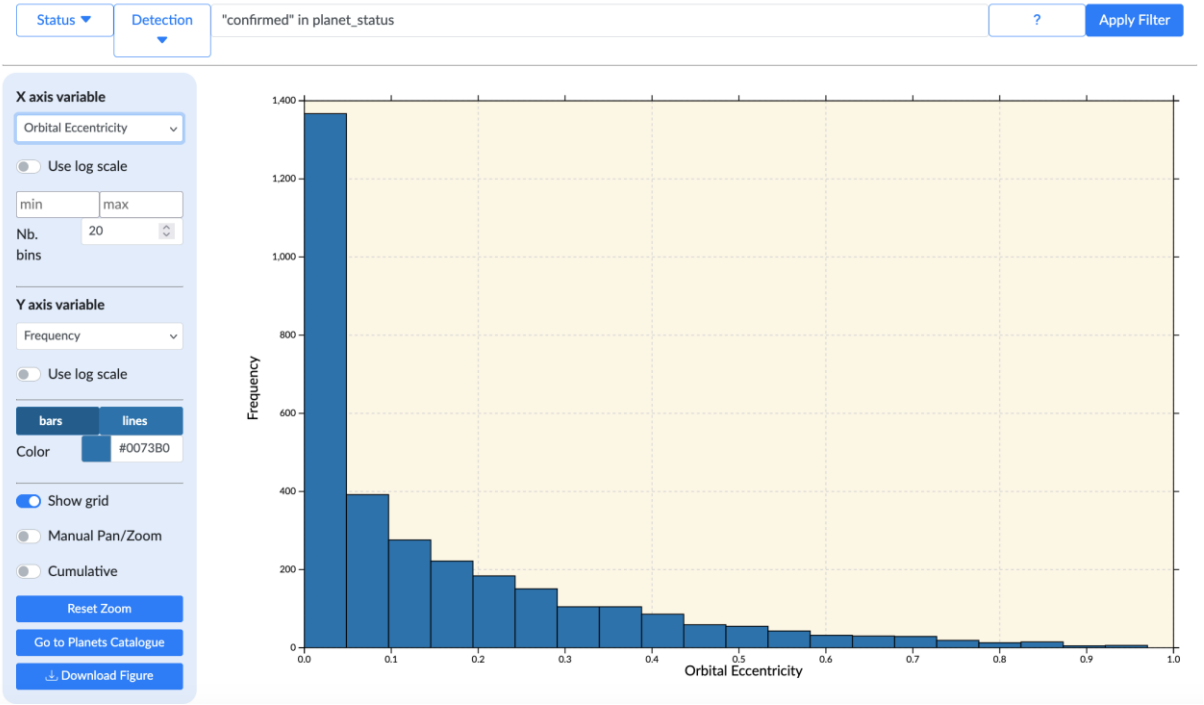
Acest episod, care seamănă cu un eveniment cometar, se află în centrul cercetărilor actuale privind înțelegerea demarcațiilor văilor pentru diferite tipuri de stele. De asemenea, este posibil să fie implicate și alte mecanisme, cum ar fi o pierdere de masă din cauza evoluției nucleului planetar în sine.

# H. Excentricităţi

## Cum se vizualizează histograma

Pe pagina portalului, alegeți *Histogramă*. În coloana din stânga,

- alegeți *Excentricitate orbitală* din meniul derulant din fereastra variabilă *axa X* .
- Alegeți *fie Probabilitate, fie Frecvență* din meniul derulant din fereastra variabilă *a axei Y*.




Histograma excentricităților exoplanetelor (22/06/2025)

## Ce arată această histogramă?

Mai multe exoplanete au excentricitatea zero. Acestea sunt planete pentru care nu avem informații despre forma orbitei, care se presupune a fi circulară (e = 0). Ca atare, aceasta este evident o prejudecată observațională.

Observăm, de asemenea, că distribuția excentricităților este în scădere, majoritatea exoplanetelor prezentând o mică excentricitate orbitală, dar că există încă multe planete cu orbite foarte excentrice. Cu o excentricitate de doar 0,2, planeta va fi deja de 1,5 ori mai departe de steaua sa la cea mai mare distanță (apocentru) decât la cea mai mare apropiere (periapsis).

Dacă le comparăm cu planetele din Sistemul Solar, putem vedea că multe exoplanete au orbite mult mai excentrice decât cele ale planetelor Soarelui: Mercur (*e=0,2*), Venus (*e=0,007*), Pământ (*e=0,02*), Marte (*e=0,09*), Jupiter (*e=0,05*), Saturn (*e=0,05*), Uranus (*e=0,05*), Neptun (*e=0,004*).