

EXOPLANÈTES : 20 ans déjà...



Aurélien Crida

et

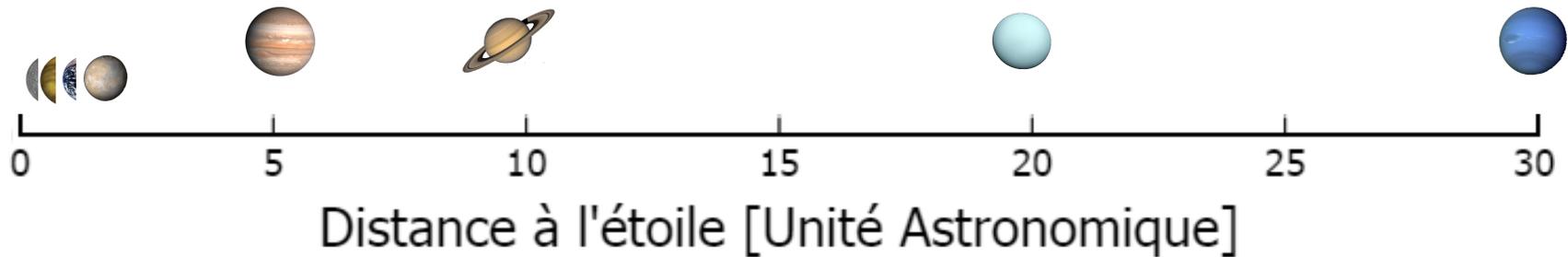
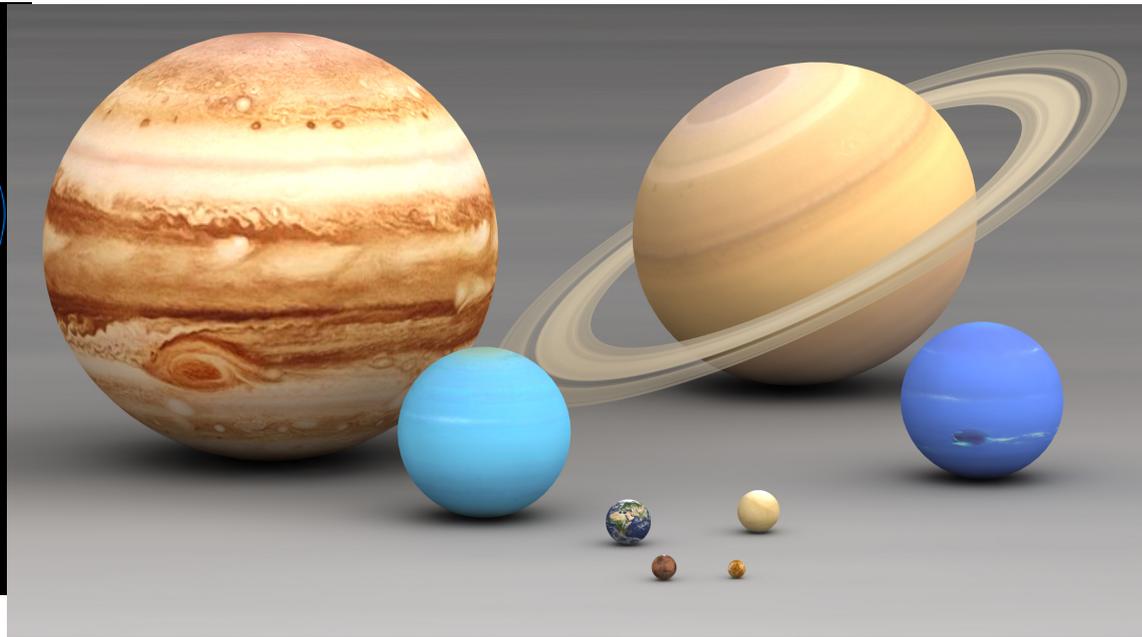
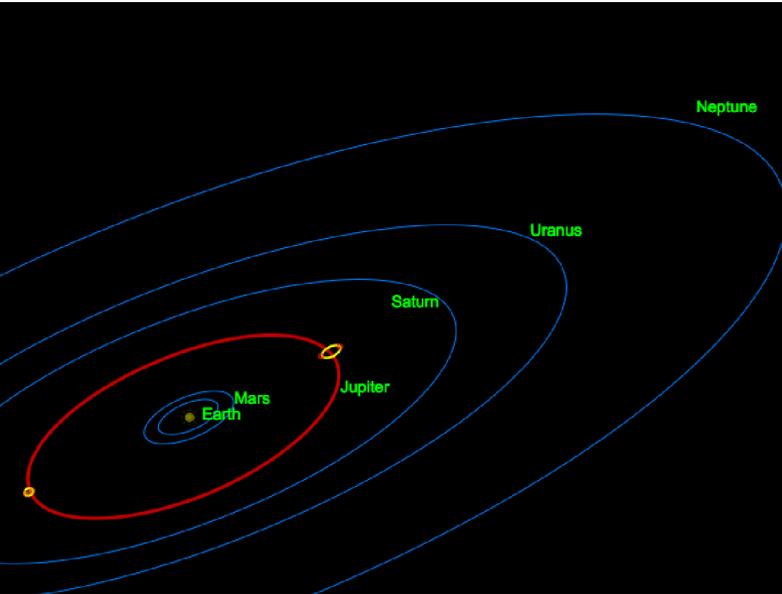
Sean Raymond



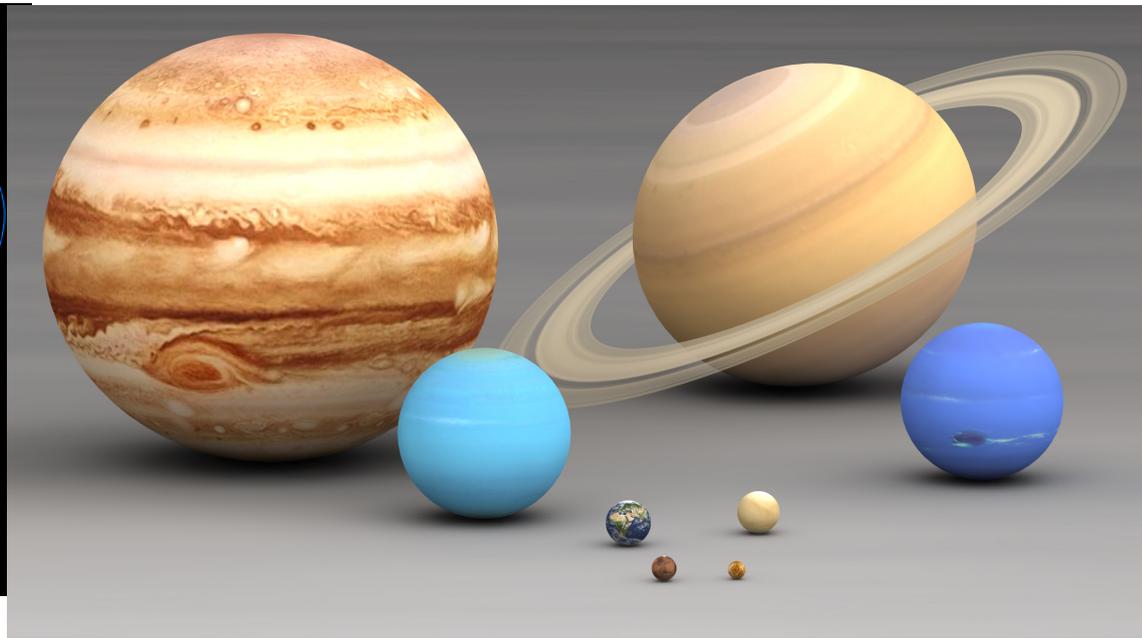
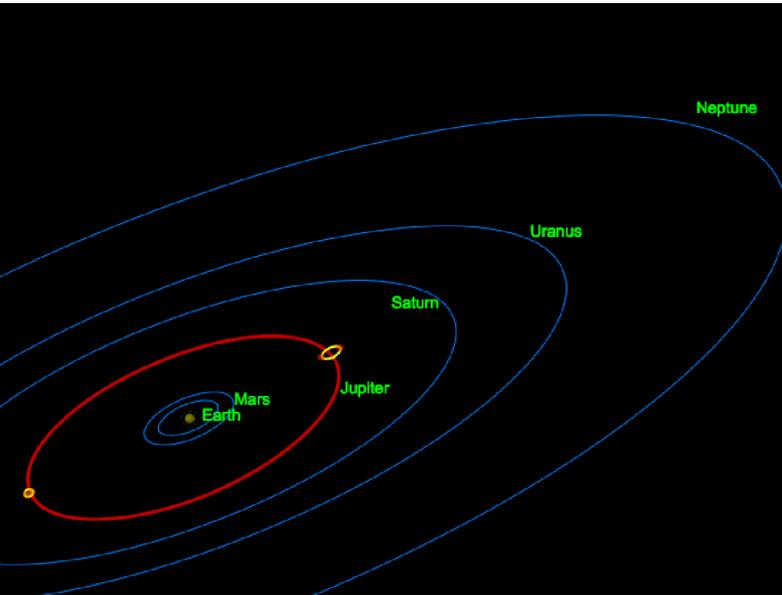
Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux

Observatoire de Nice
6 Octobre 2015

Le Système Solaire

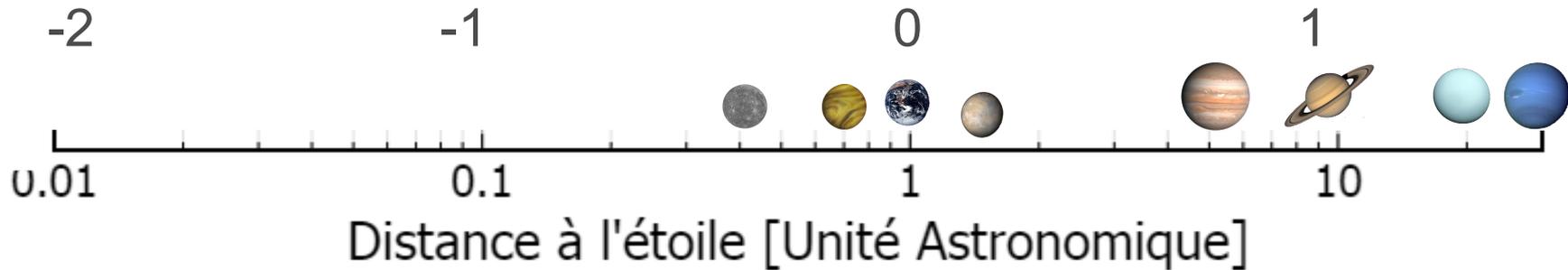


Le Système Solaire

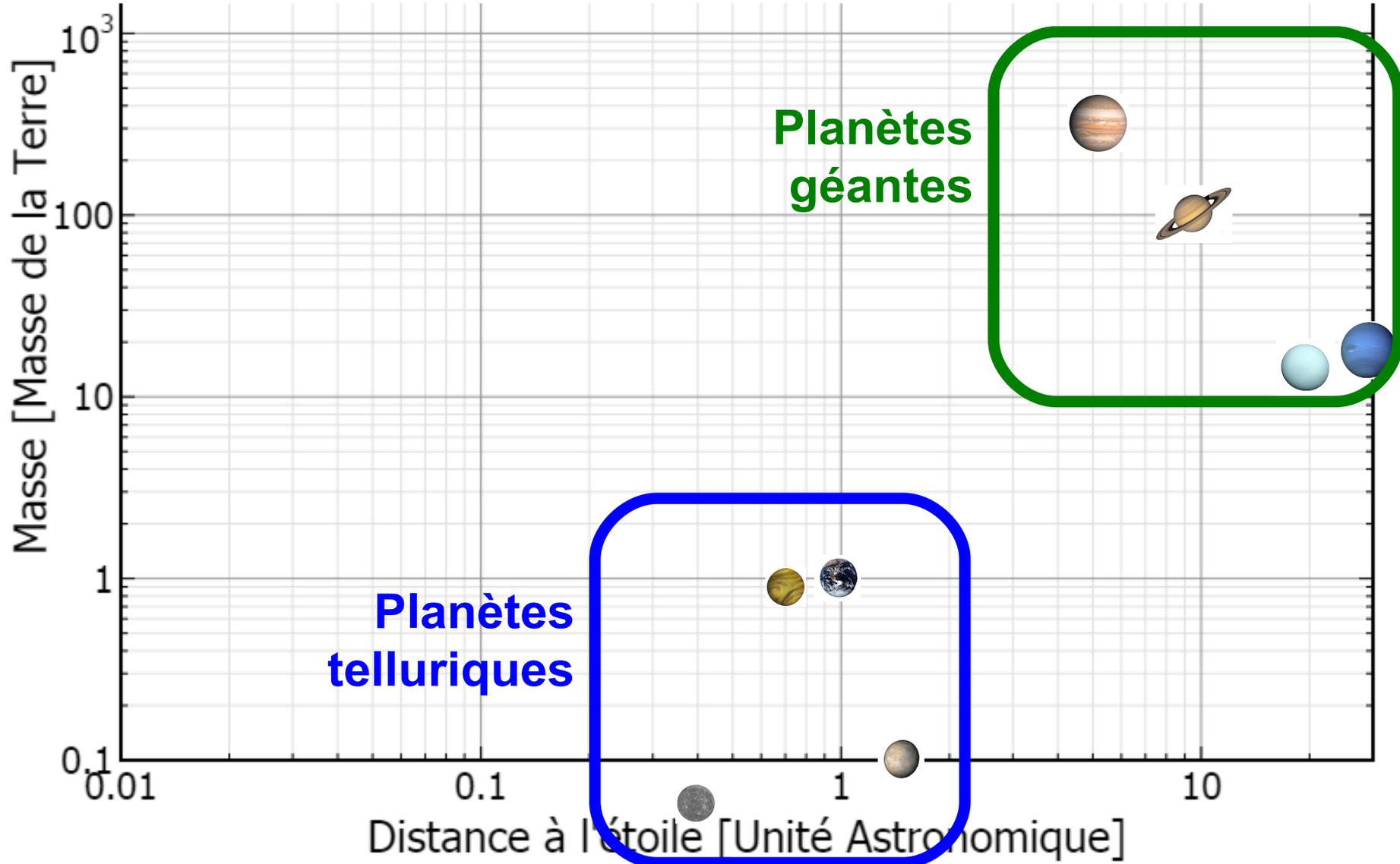


Échelle *logarithmique* :

Log(Distance) :

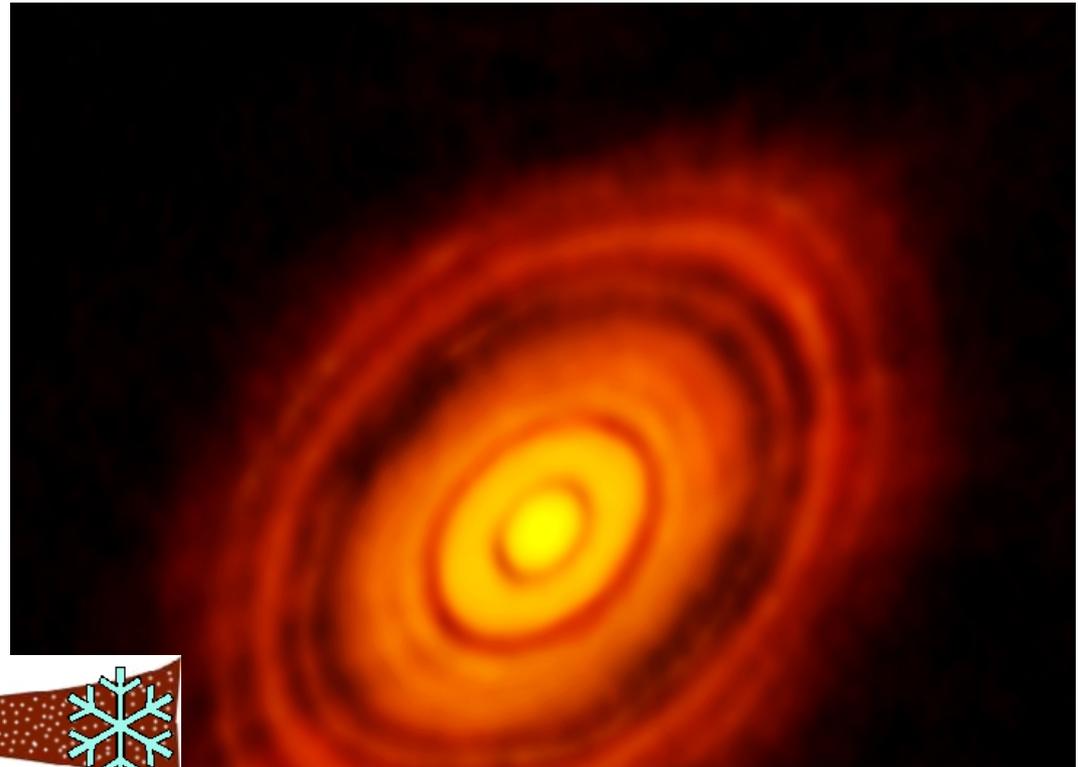
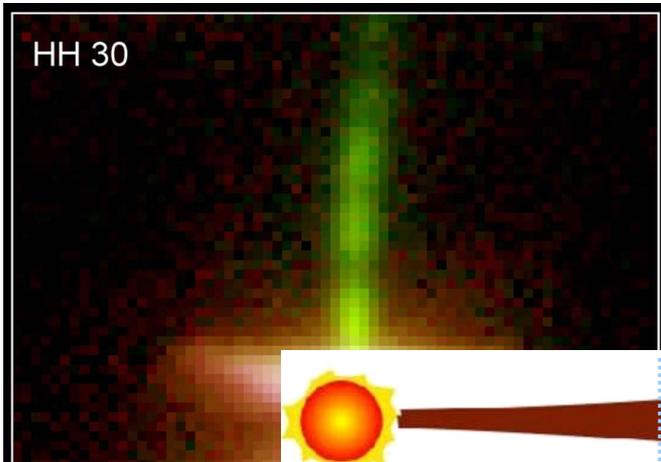


Le Système Solaire



Origine des planètes

Dans des disques de gaz et poussières autour des étoiles jeunes.

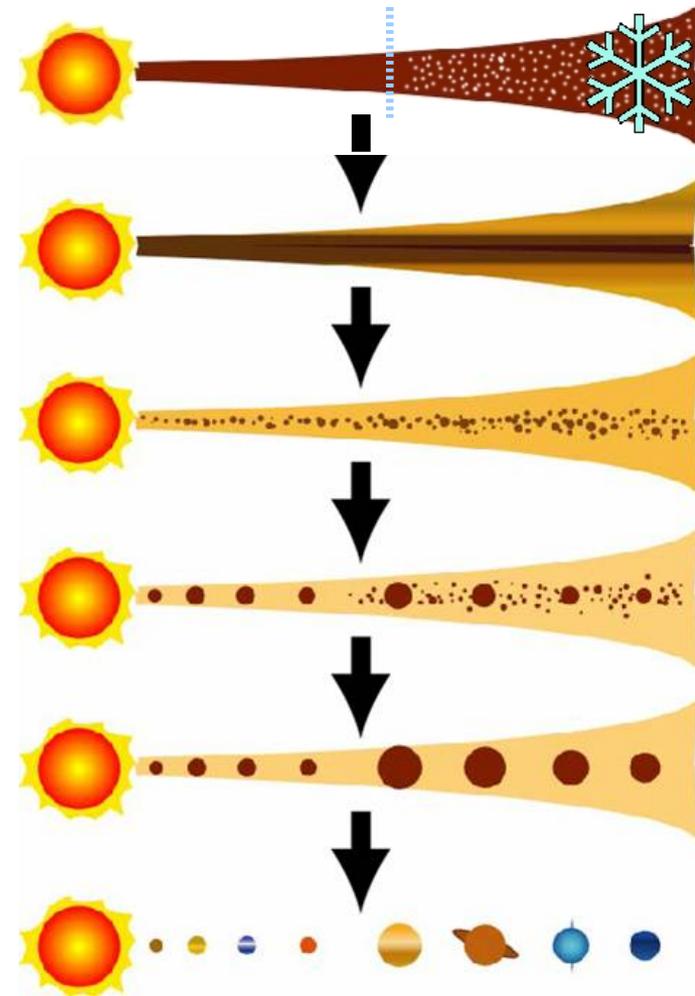


Près de l'étoile, il fait chaud, H_2O est sous forme vapeur.
Loin du Soleil, H_2O est sous forme solide : il neige !

La limite s'appelle la *ligne des glaces* (snowline).
Elle est à environ 3-4 UA.

Origine des planètes

- 1) Condensation des solides.
- 2) Sédimentation des grains dans le plan médian.
- 3) Agrégation jusqu'à ~1cm.
- 4) Formation de planétésimaux (10km)
- 5) Protoplanètes et cœurs. (100 – 1000 km)
- 6) Dissipation du gaz.

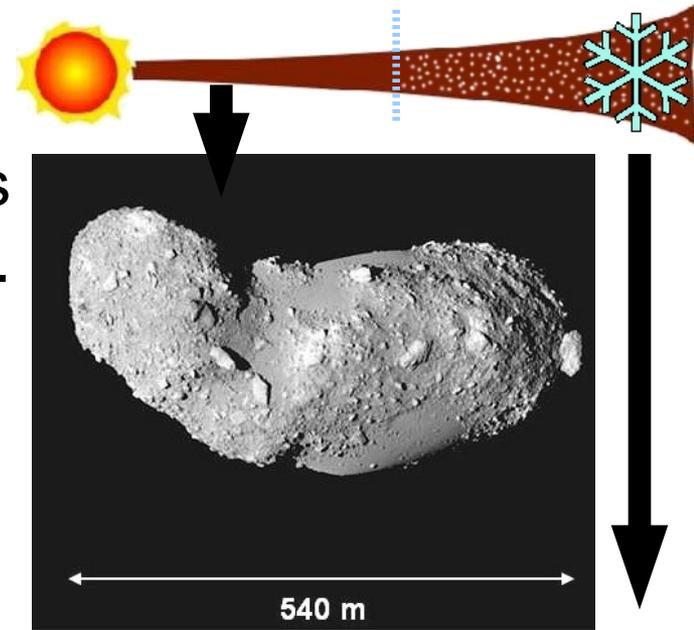
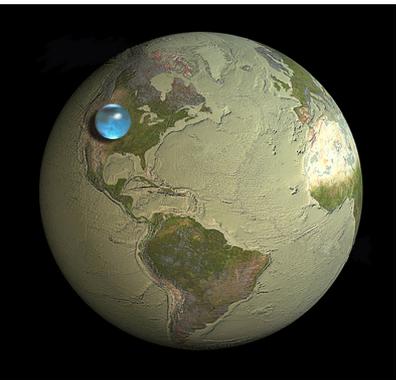


Remarque: L'étape N dure $\sim 10^N$ ans.

La lignes des glaces

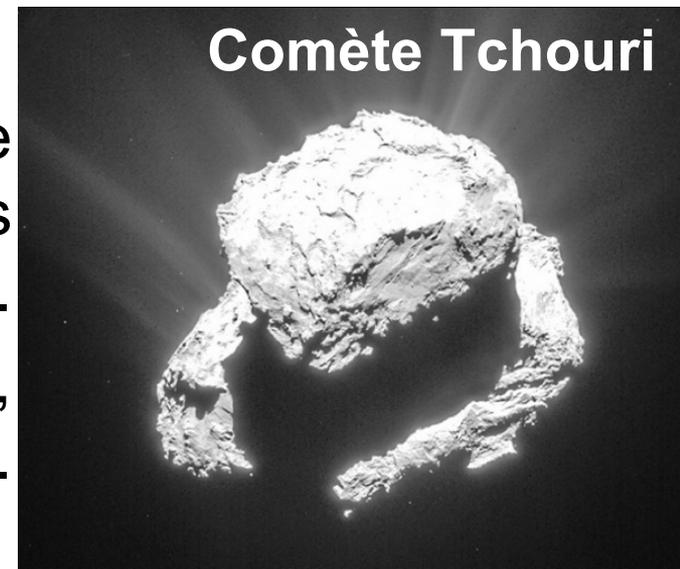
En deçà de 3 UA, objets rocheux et métalliques, dépourvus d'eau : ce sont les ancêtres des planètes telluriques et des astéroïdes.

Rappel: La Terre est une planète sèche (<0,1% d'eau)



Au delà de 3 UA, objets composés de roches, métaux, et ~50% glaces (d'eau, de CO₂, de méthane...).

Les plus petits deviendront des comètes, les plus gros des coeurs de planète géante.



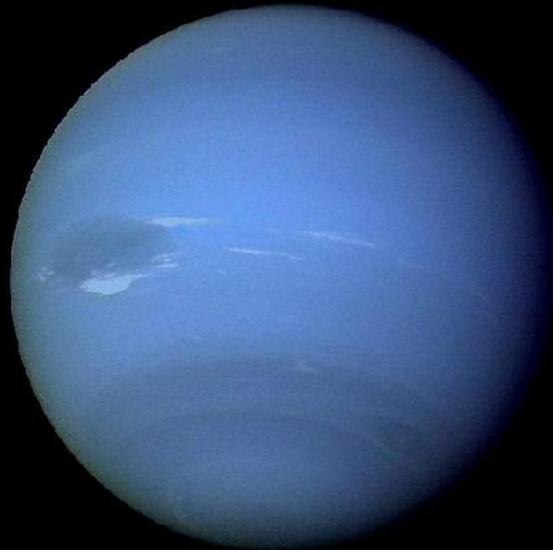
Comète Tchouri

Planètes géantes de glace

Modèle d'accrétion par un cœur :

Un objet très massif ($10 M_{\text{Terre}}$) retient du gaz froid du disque, s'entoure d'une enveloppe, qui se refroidit et se concentre lentement...

→ géantes de glace



Neptune : $17 M_{\text{Terre}}$



**Uranus :
 $14 M_{\text{Terre}}$**

Planètes géantes gazeuses

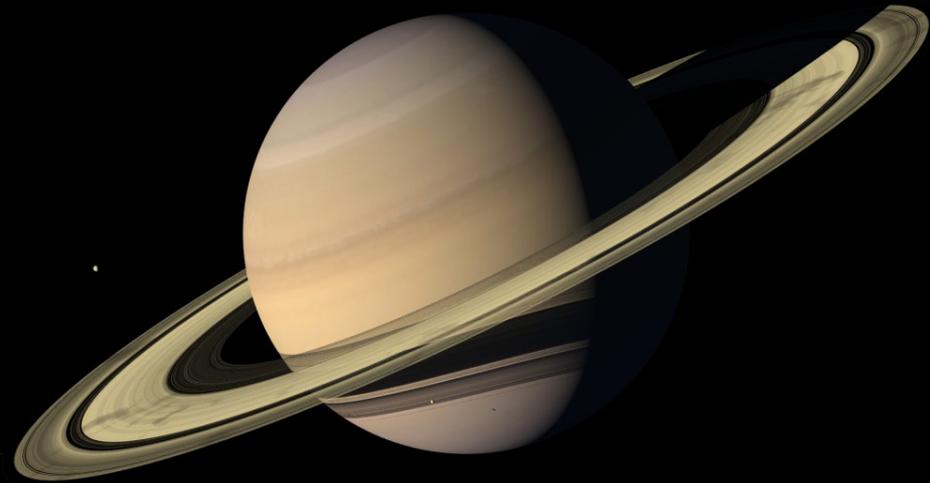
Modèle d'accrétion par un cœur :

Un objet très massif ($10 M_{\text{Terre}}$) retient du gaz froid du disque, s'entoure d'une enveloppe, qui se refroidit et se concentre lentement...

Si la masse de gaz dépasse celle du cœur, **effondrement**.
La planète devient une géante gazeuse.

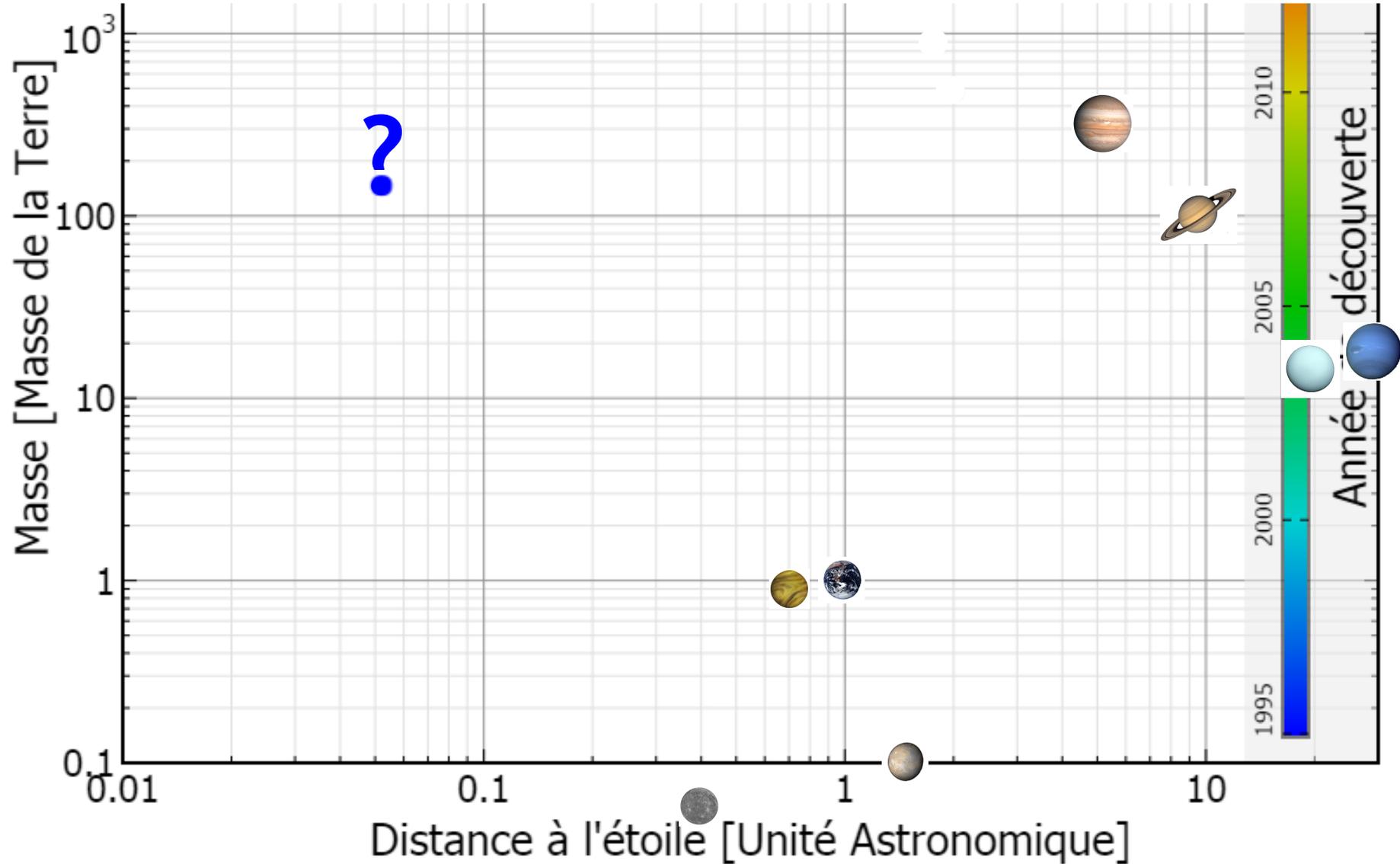


Jupiter : $300 M_{\text{Terre}}$



Saturne : $100 M_{\text{Terre}}$

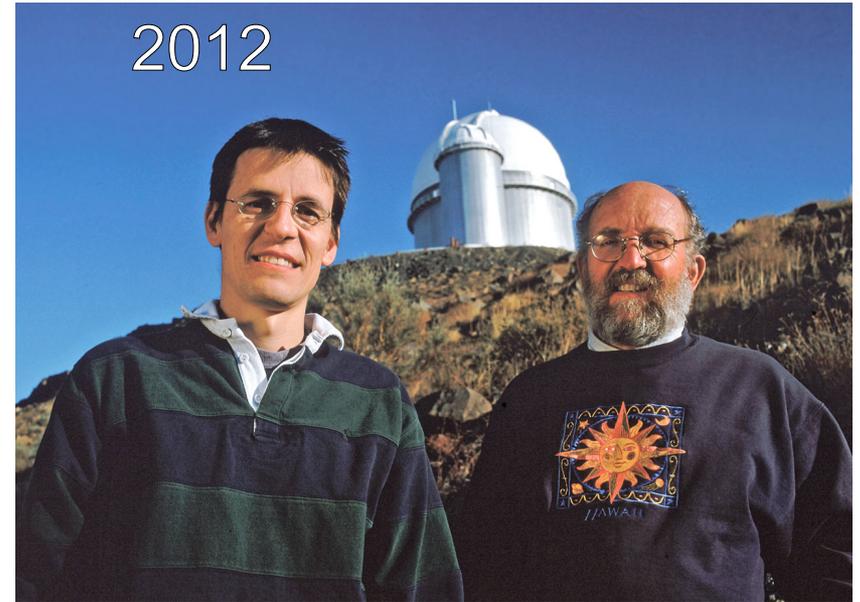
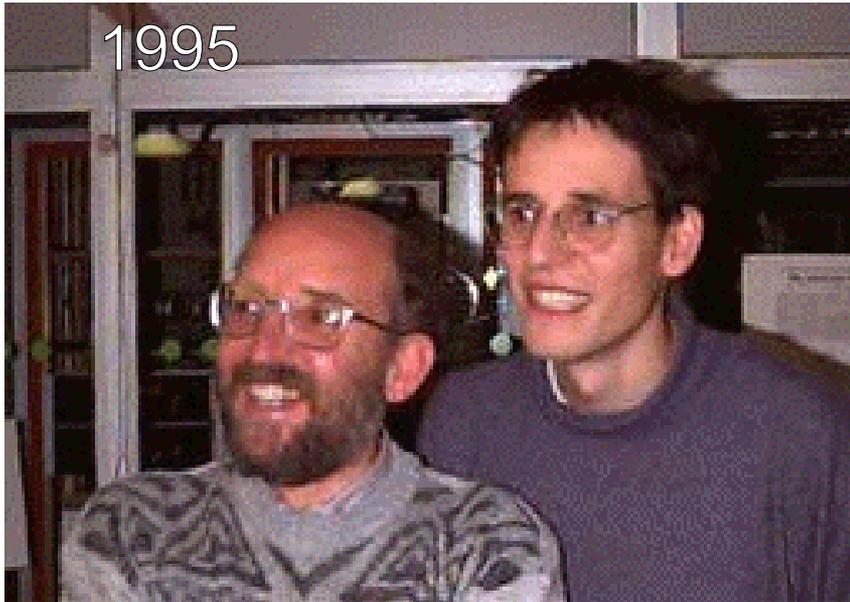
51 Pegasi b



51 Pegasi b

Par qui a-t-elle été découverte ?

2 suisses : Michel Mayor et Didier Queloz.



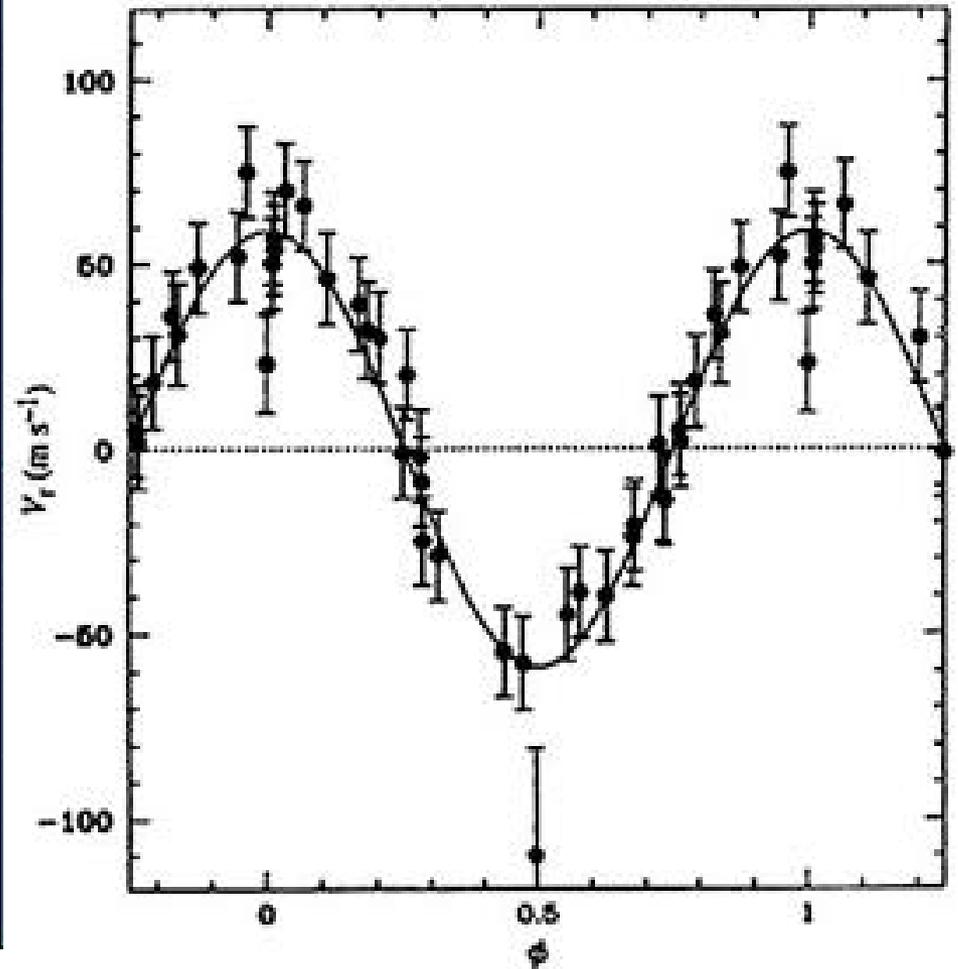
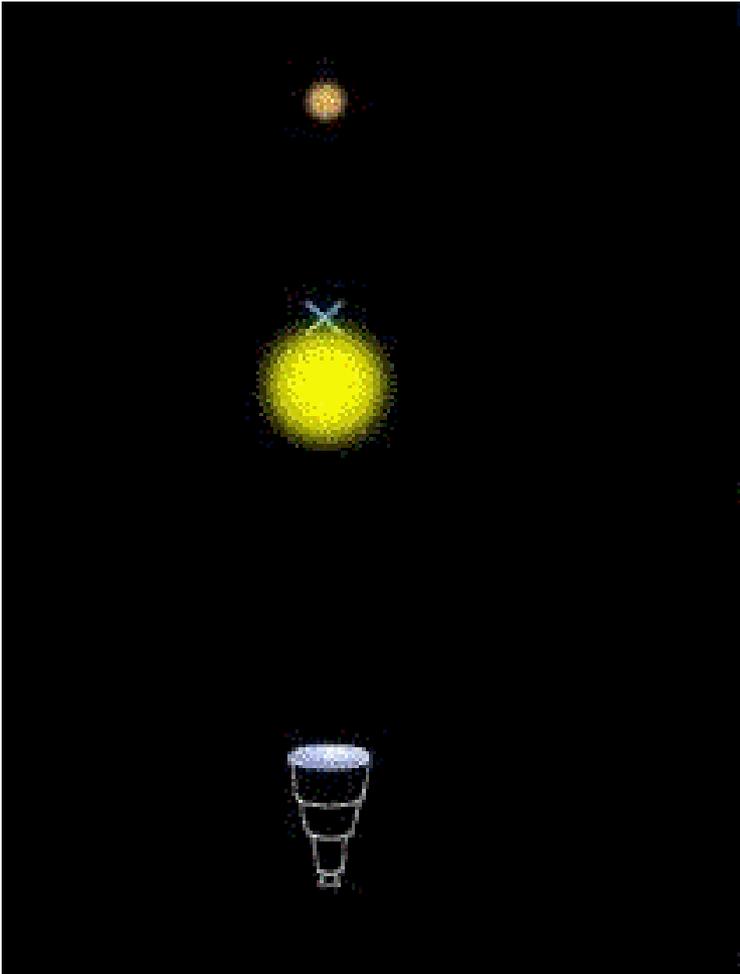
« *A Jupiter mass companion to a solar type star* »

6 Octobre 1995, *Nature*.

51 Pegasi b

Comment a-t-elle été découverte ?

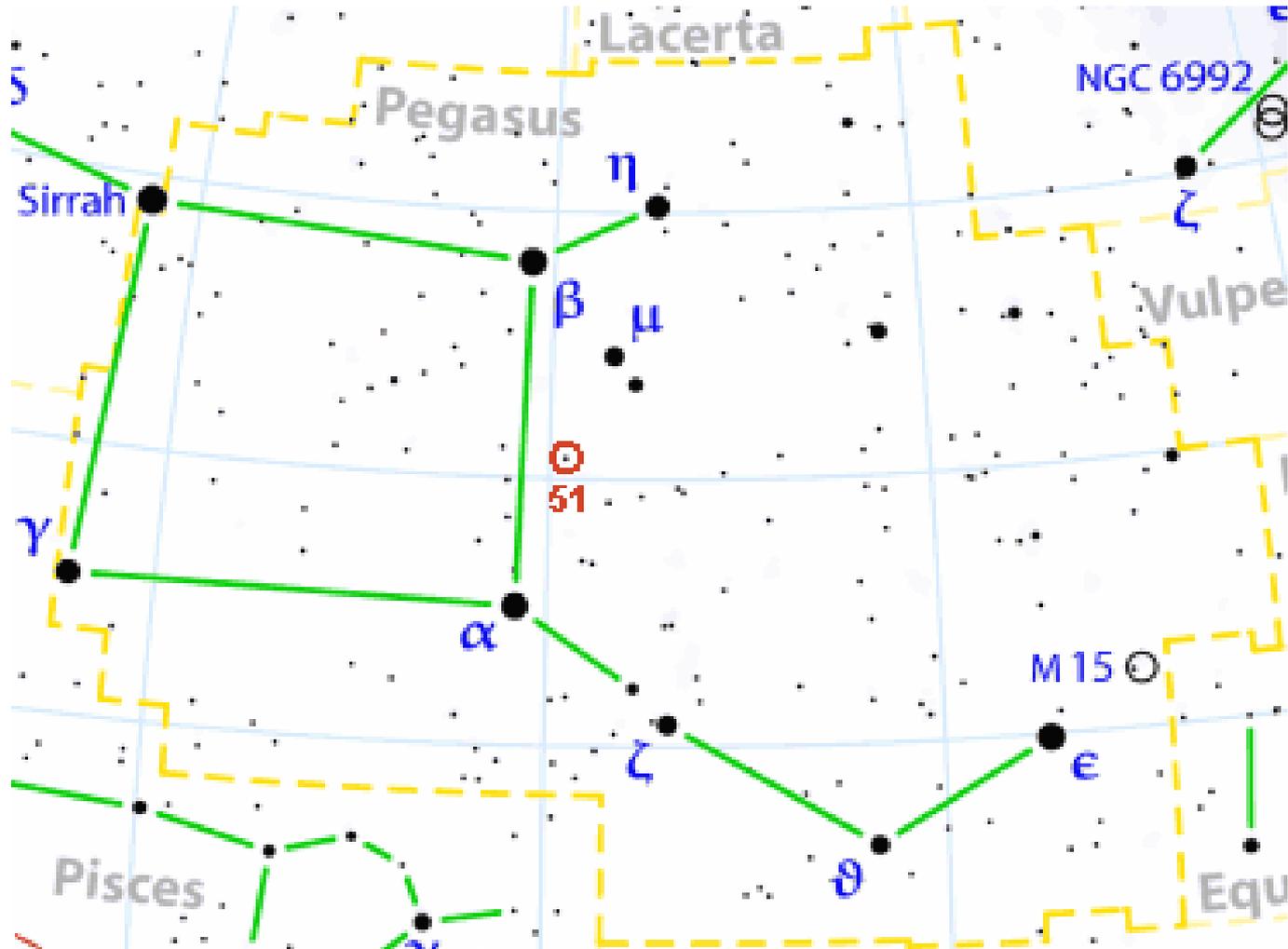
→ Par la méthode de vélocimétrie



51 Pegasi b

Où ça ?

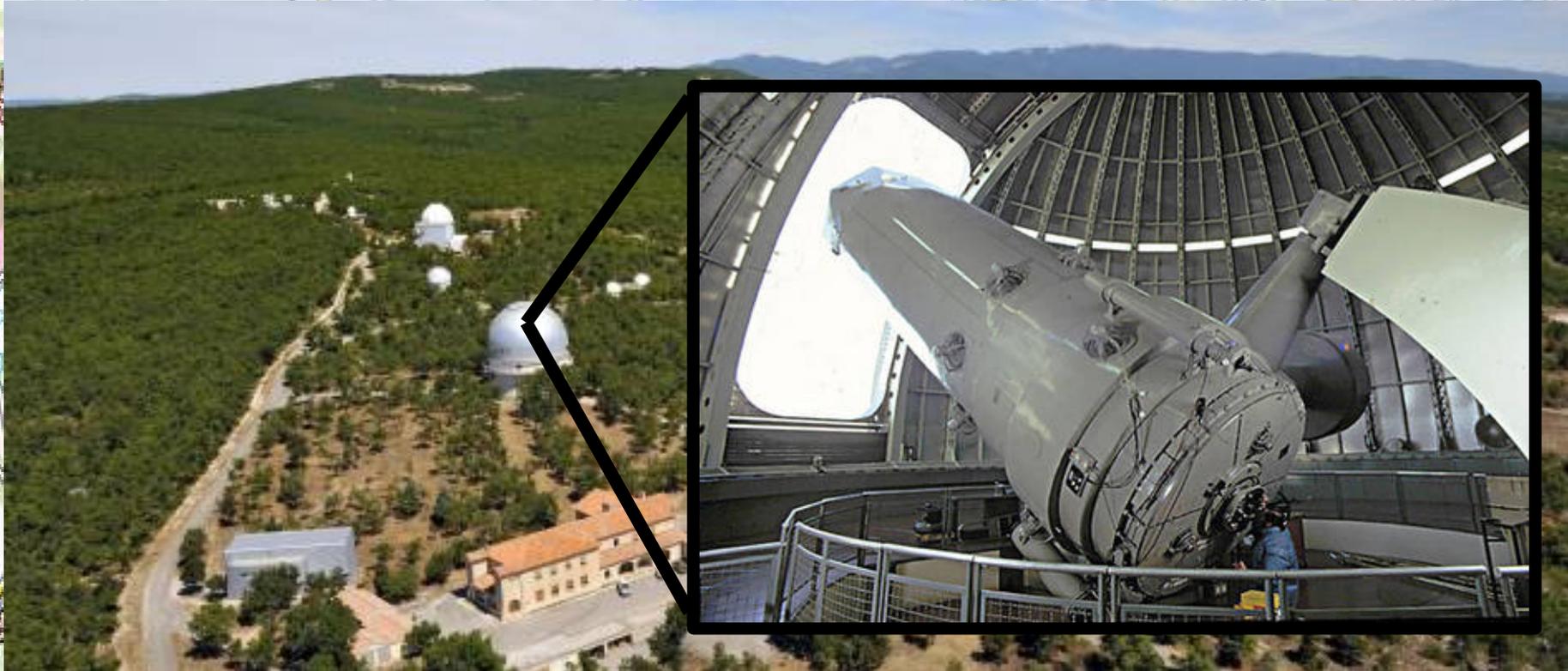
Là :



51 Pegasi b

Où ça ?

À l'Observatoire de Haute Provence, au télescope de 193 cm.



51 Pegasi b

Où ça ?

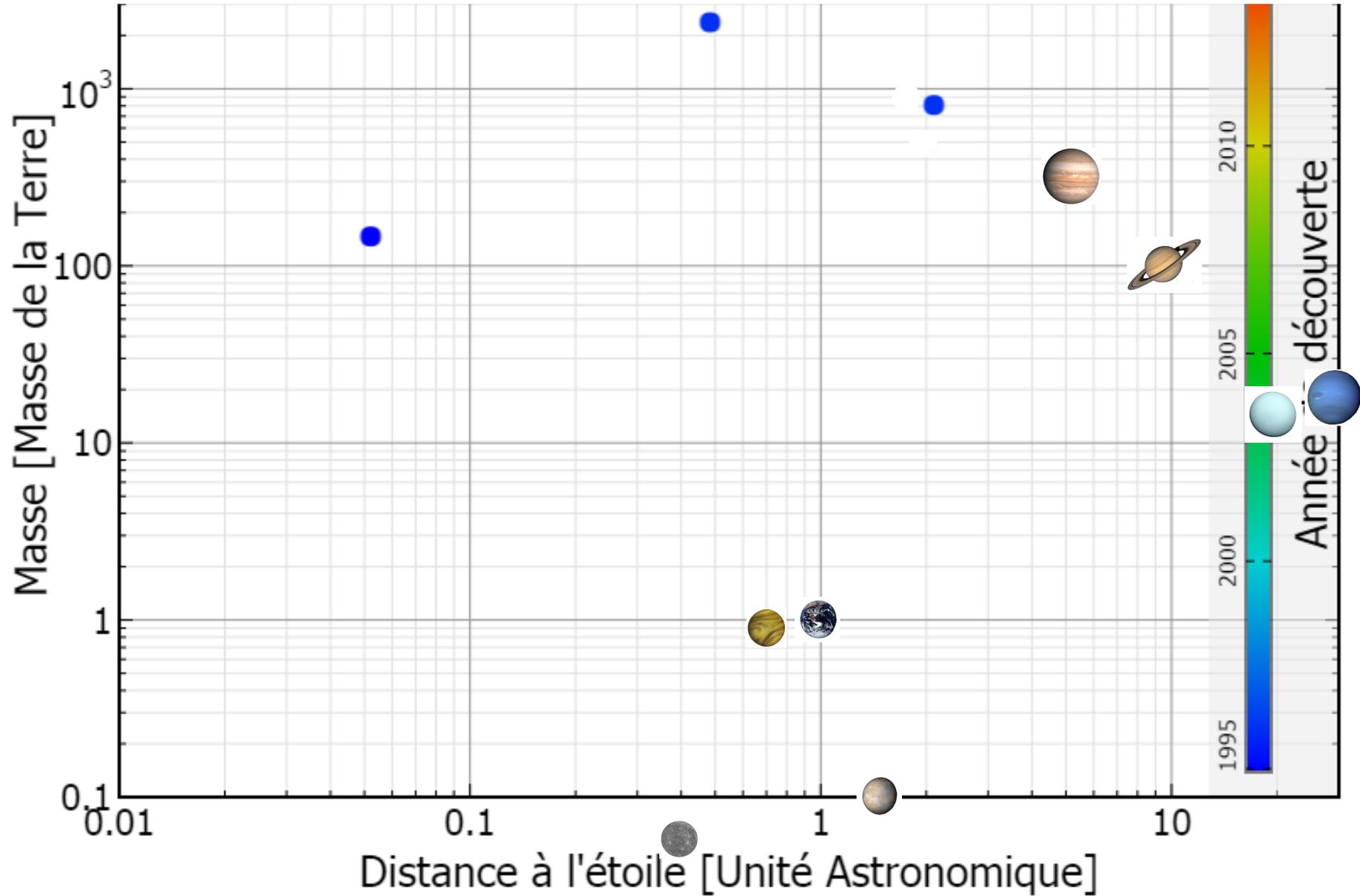
À l'Observatoire de Haute Provence, au télescope de 193 cm.

Conférence pour les
15 ans de 51 Peg b,
août 2010.

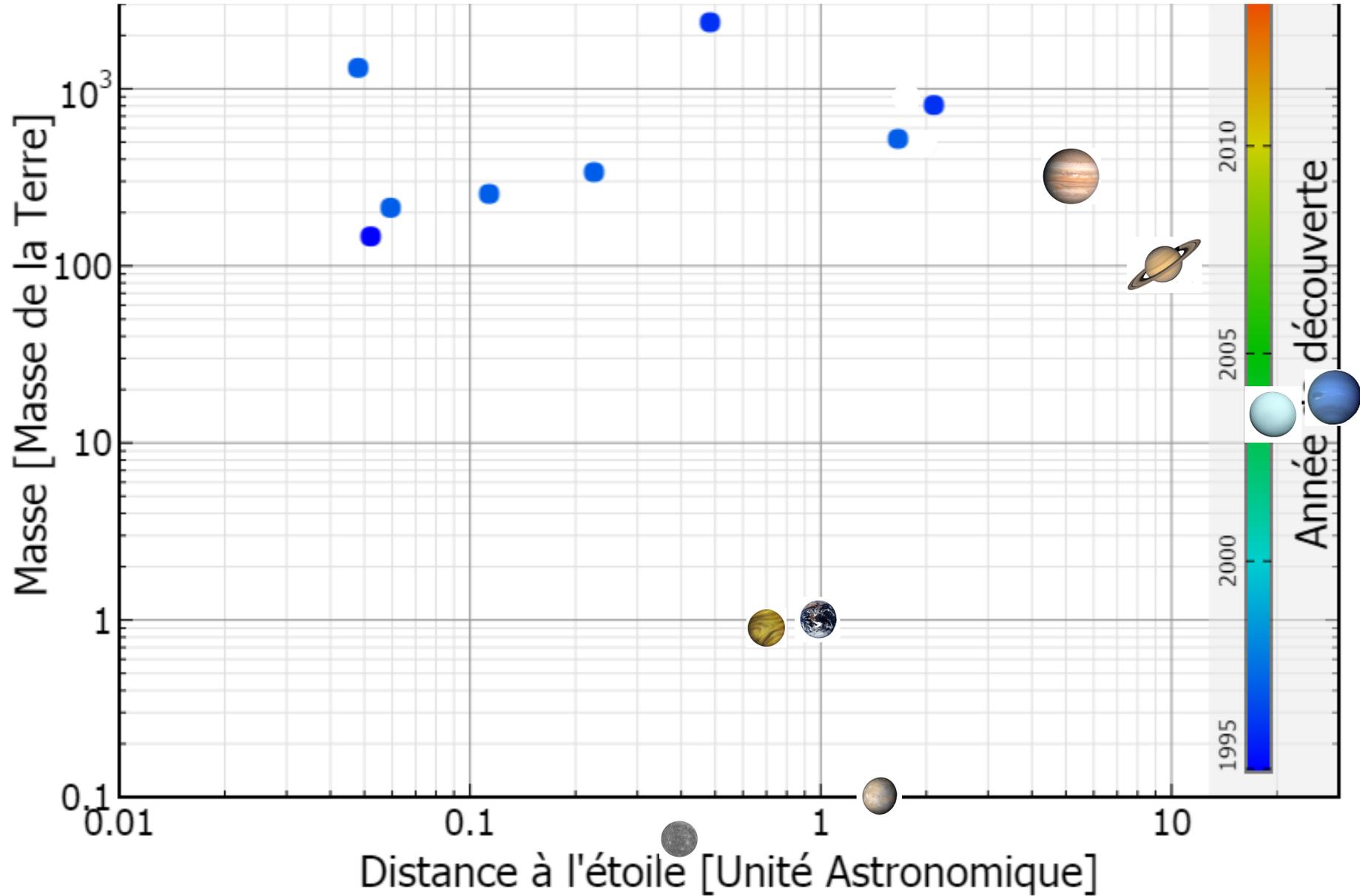
Cette semaine:
conférence pour les
20 ans de 51 Peg b.



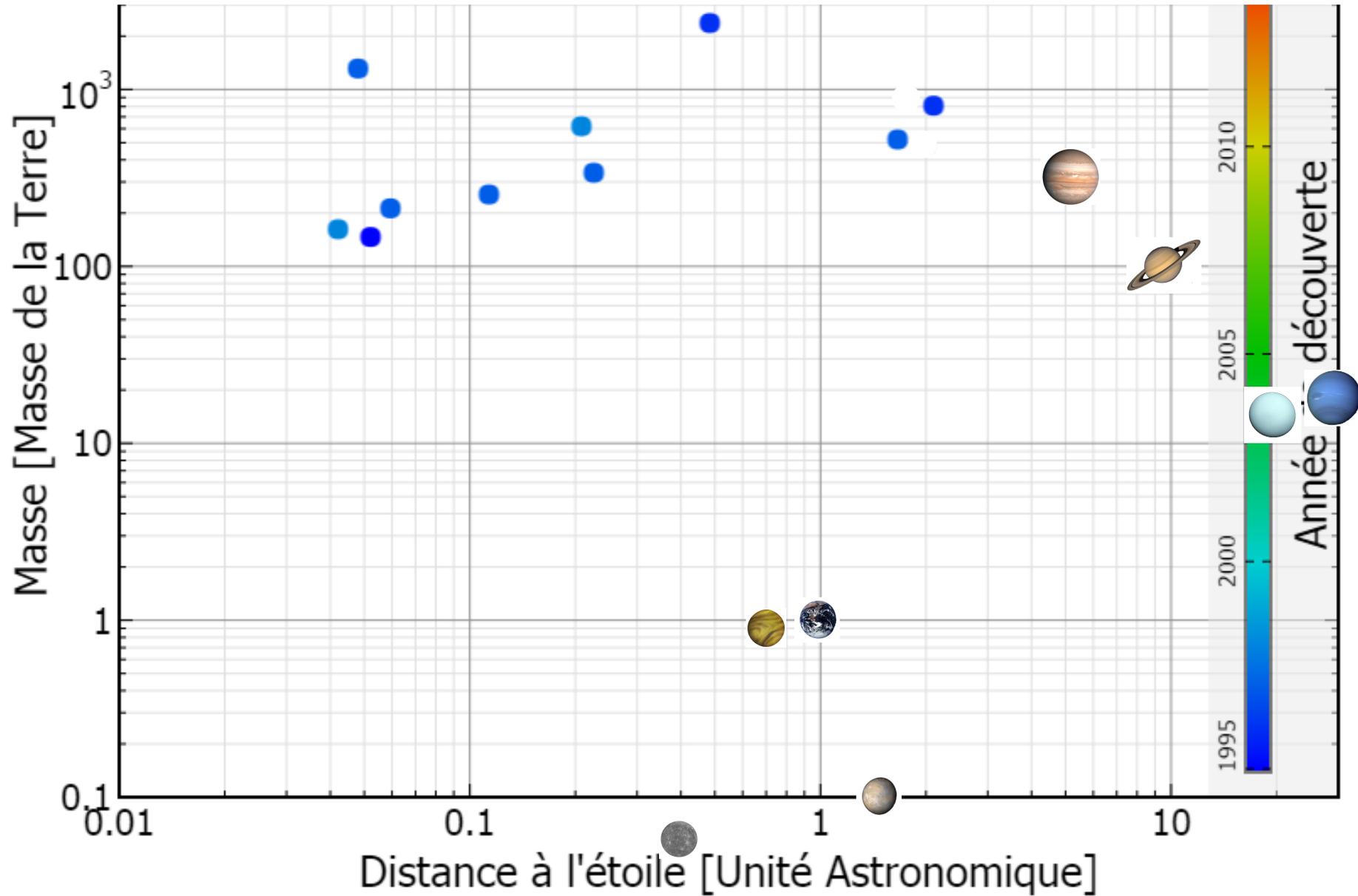
1996



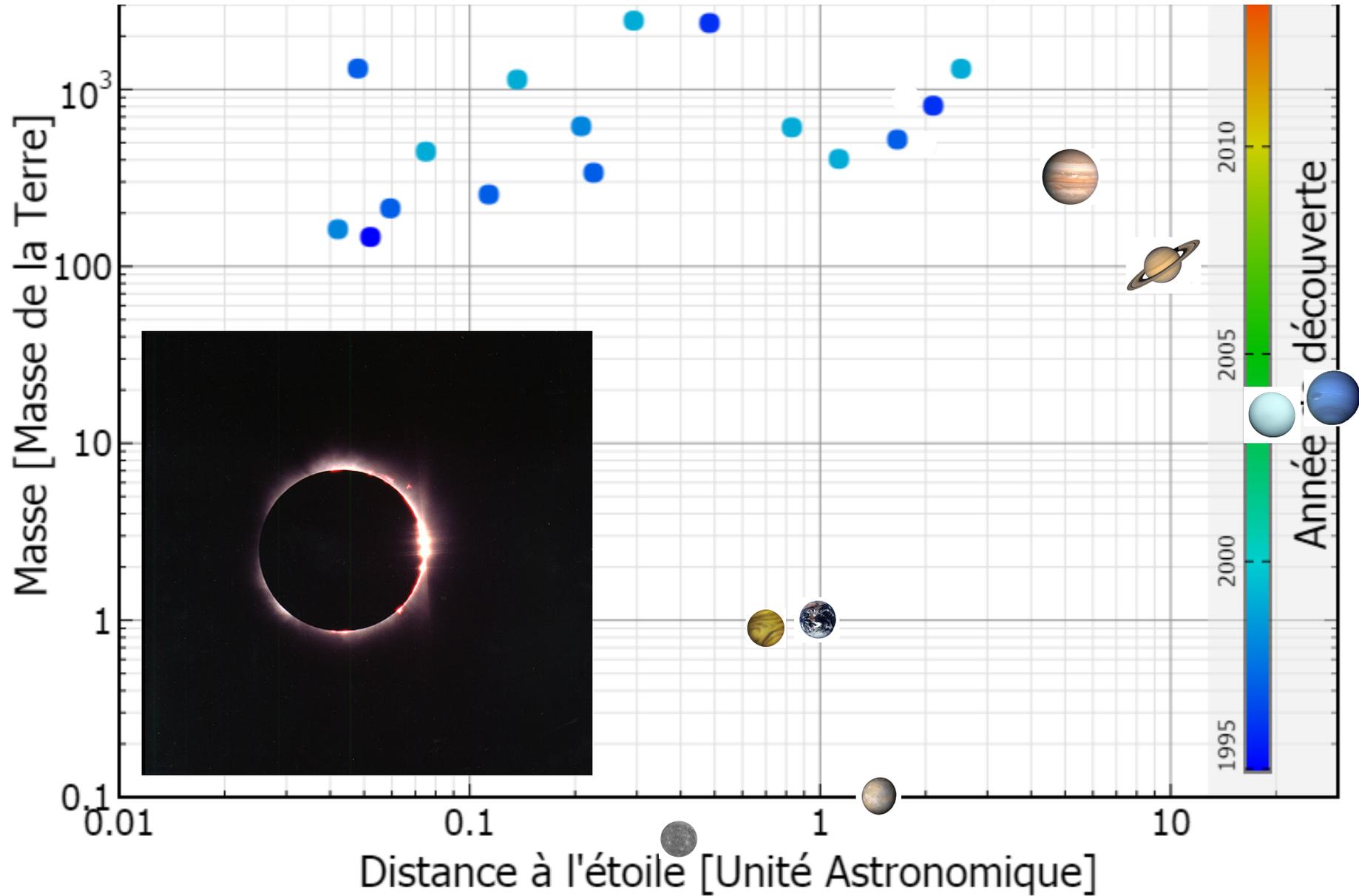
1997



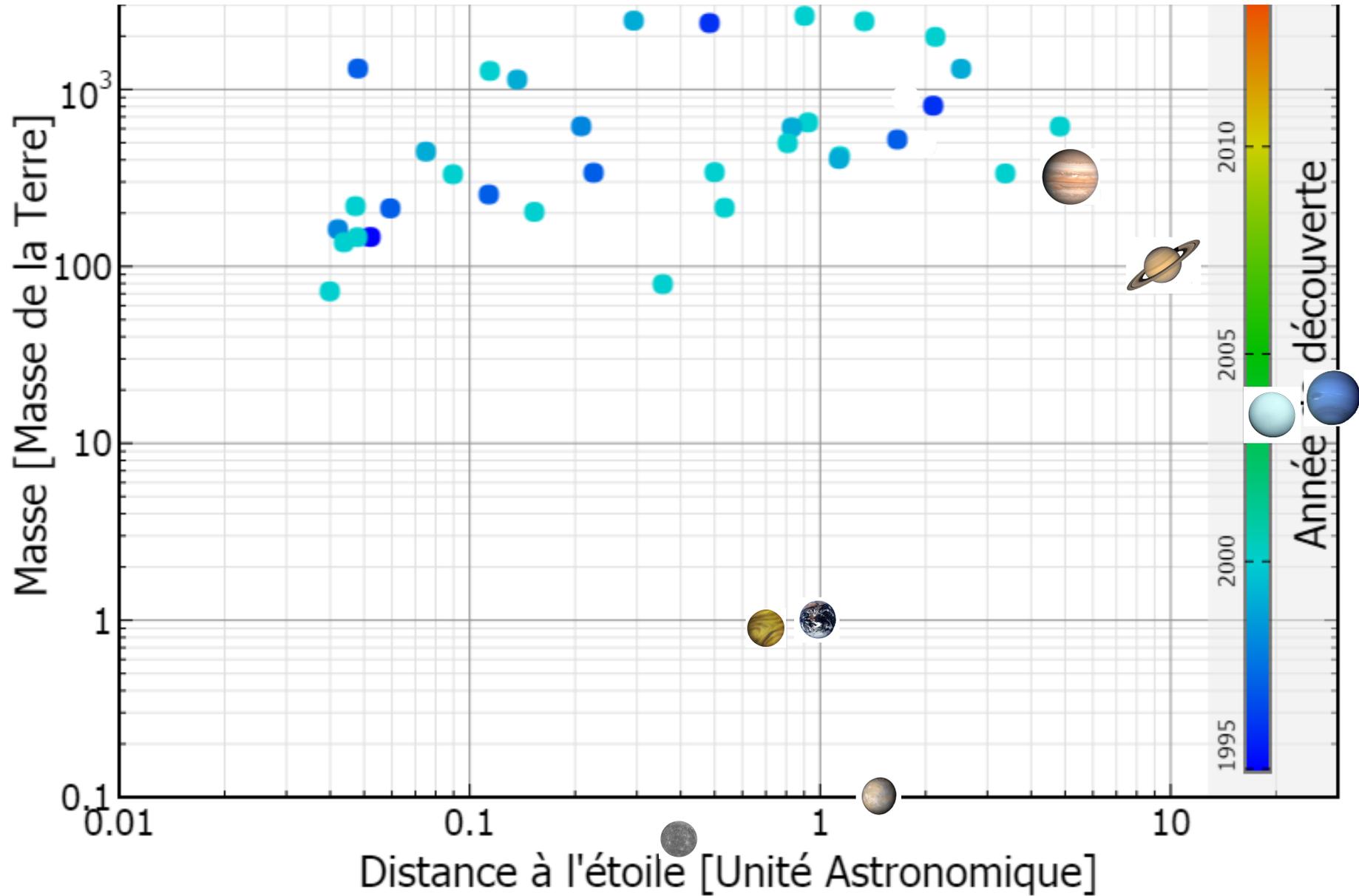
1998



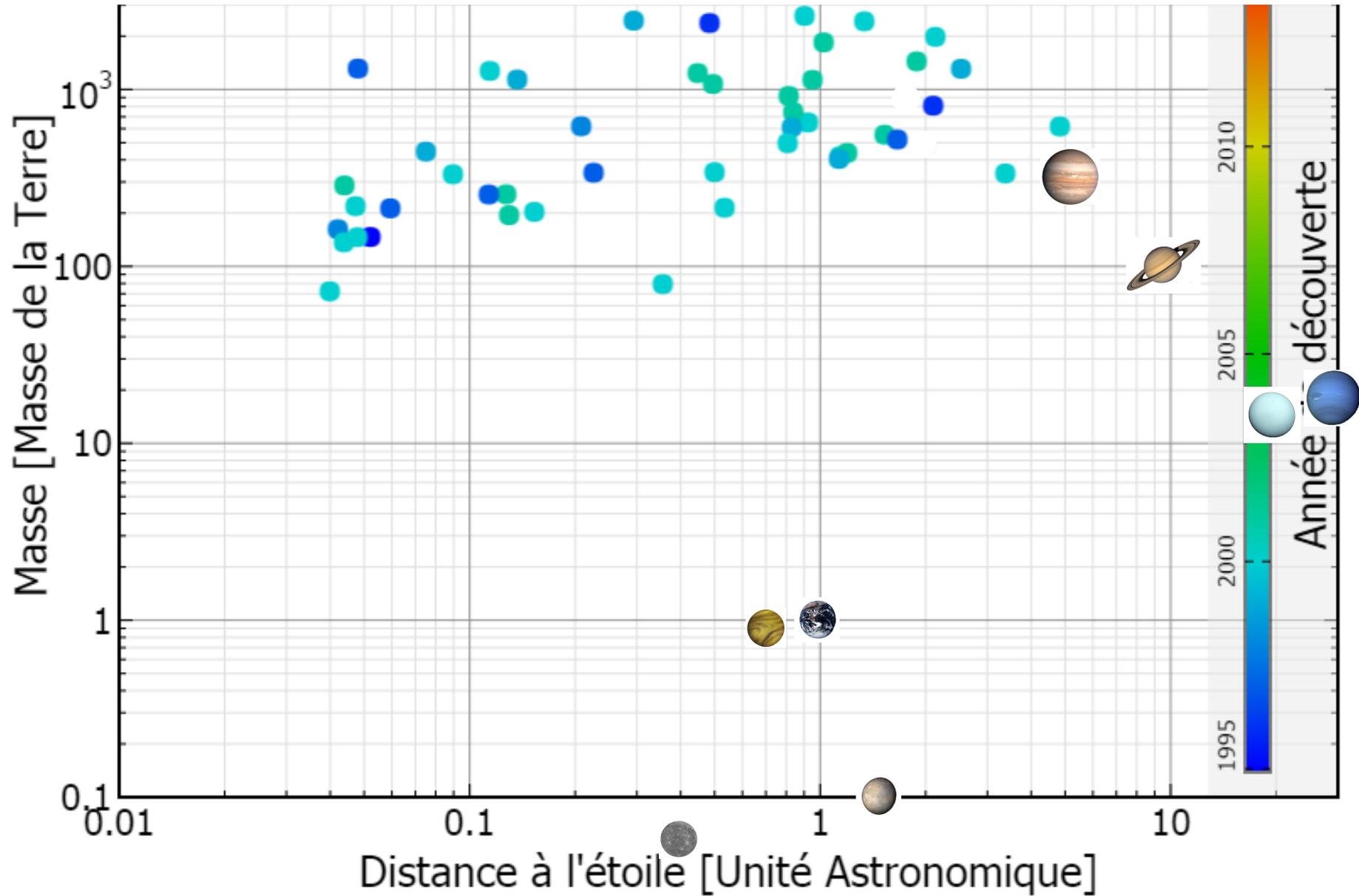
1999



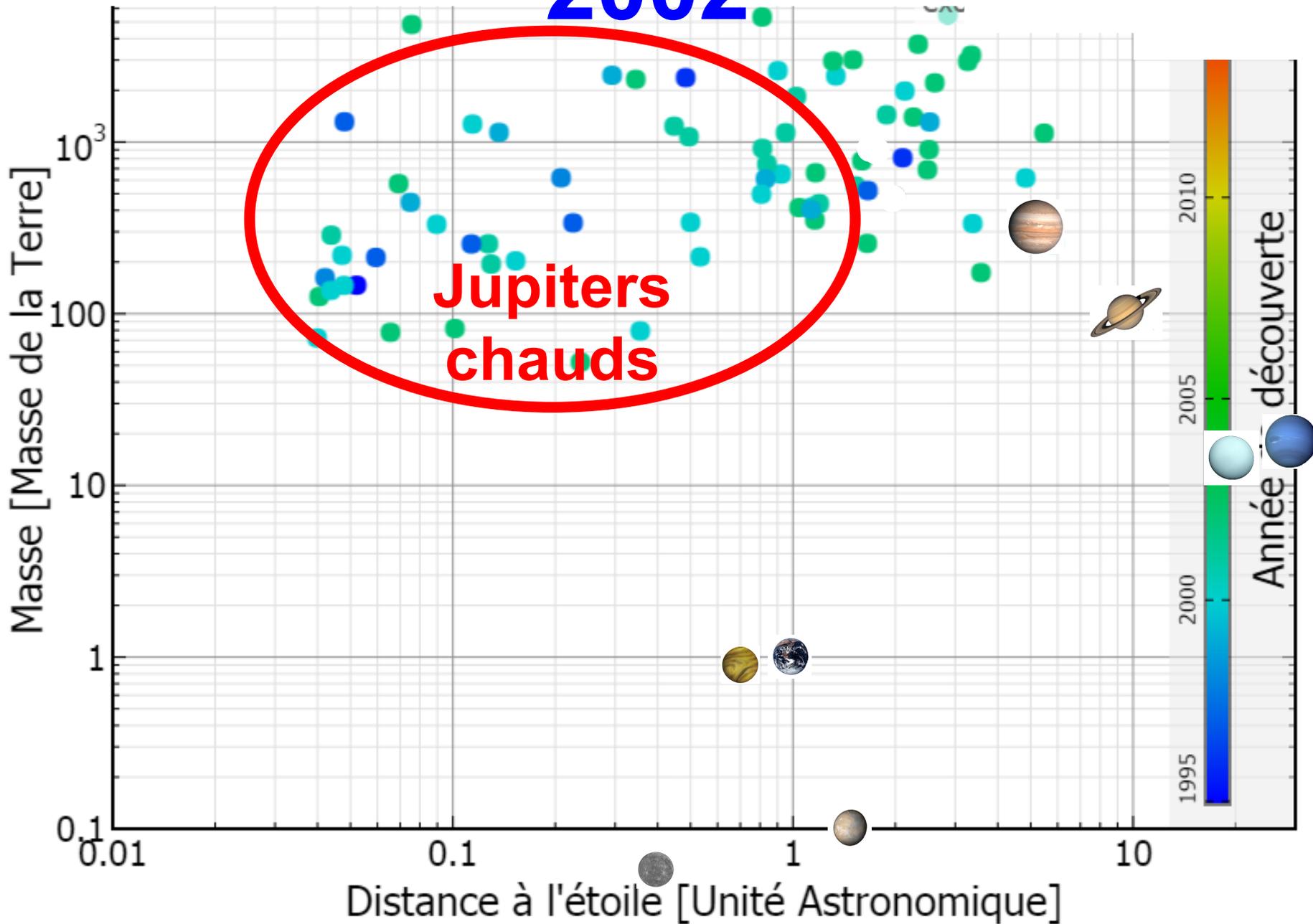
2000



2001



2002

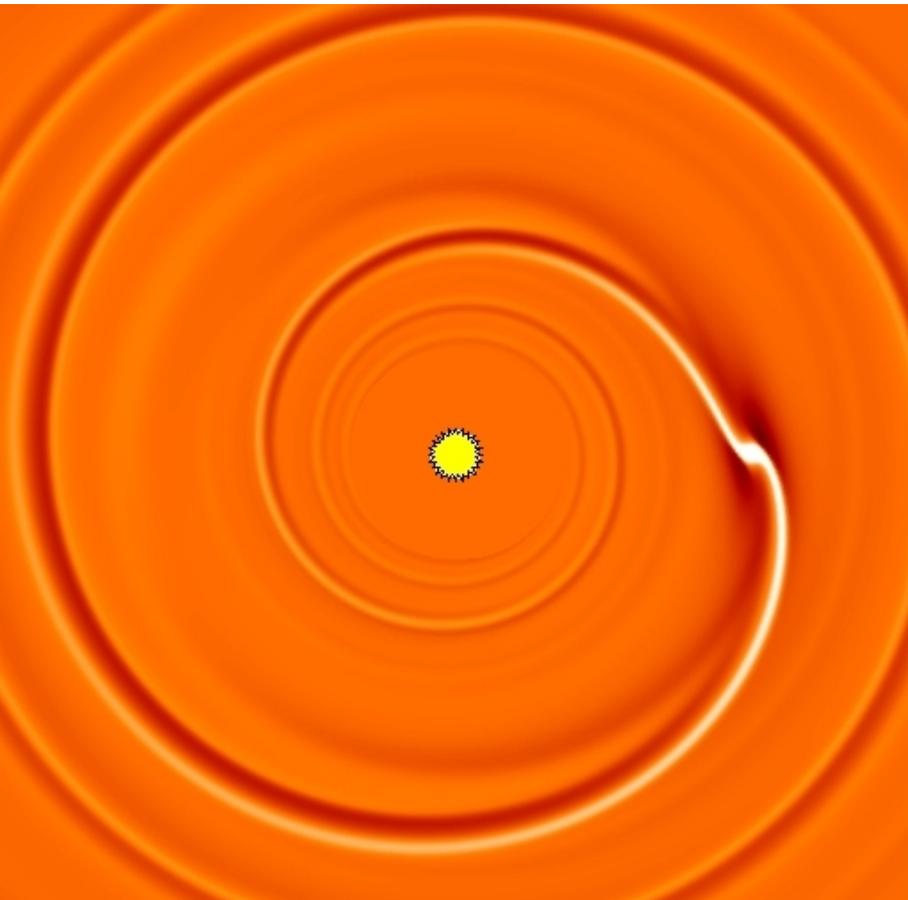


Migration Planétaire

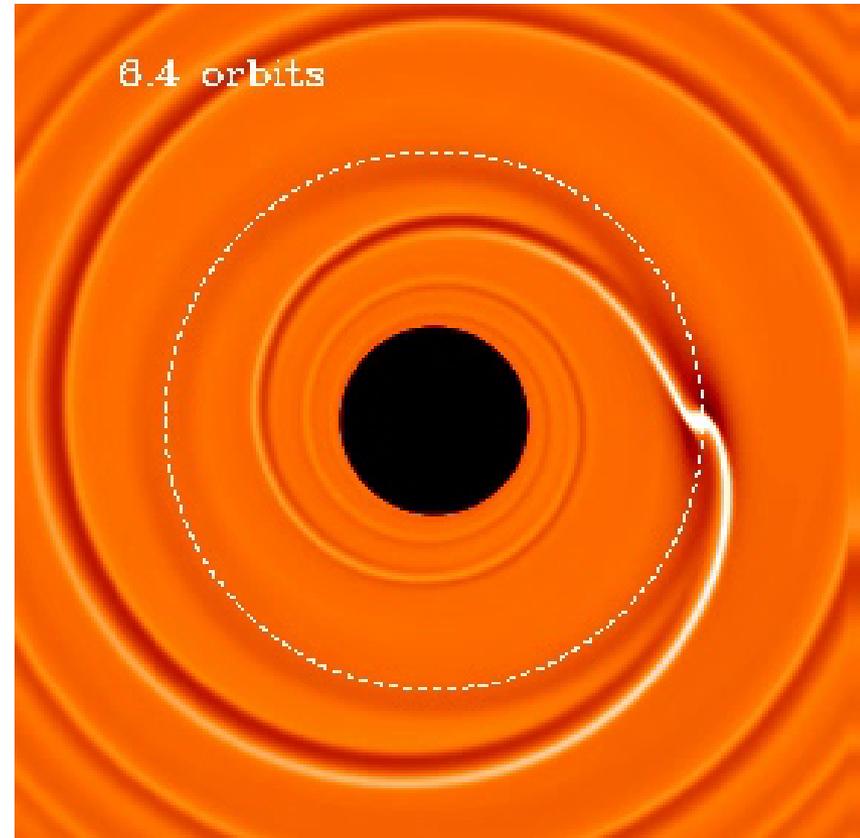
Les planètes se forment dans des disques de gaz.

Donc planètes et disque inter-agissent, pendant quelques Ma.

Formation d'un sillage :



Migration :



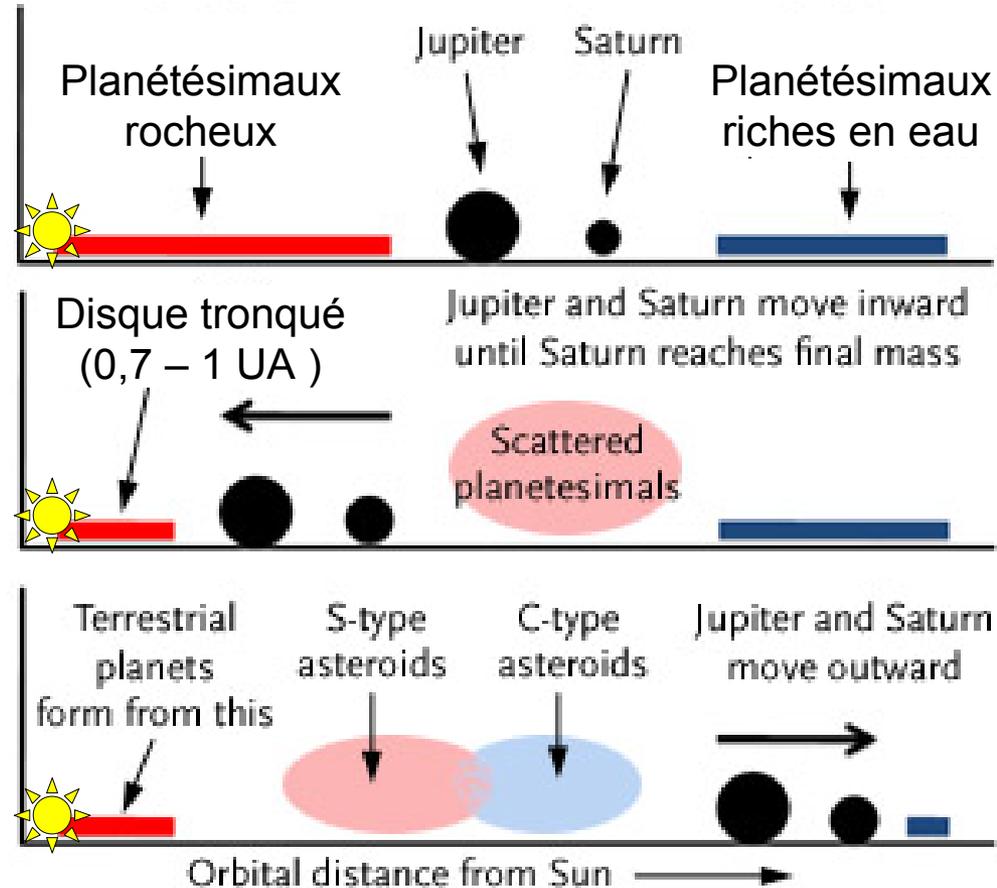
Mais... et Jupiter alors ?

Jupiter aurait commencé à migrer vers le Soleil, jusqu'à 1,5 UA, avant d'être rattrapé par Saturne. Leurs interactions font alors migrer la paire de planètes vers l'extérieur.

C'est le scénario du « Grand Tack »

→ petite masse de Mars

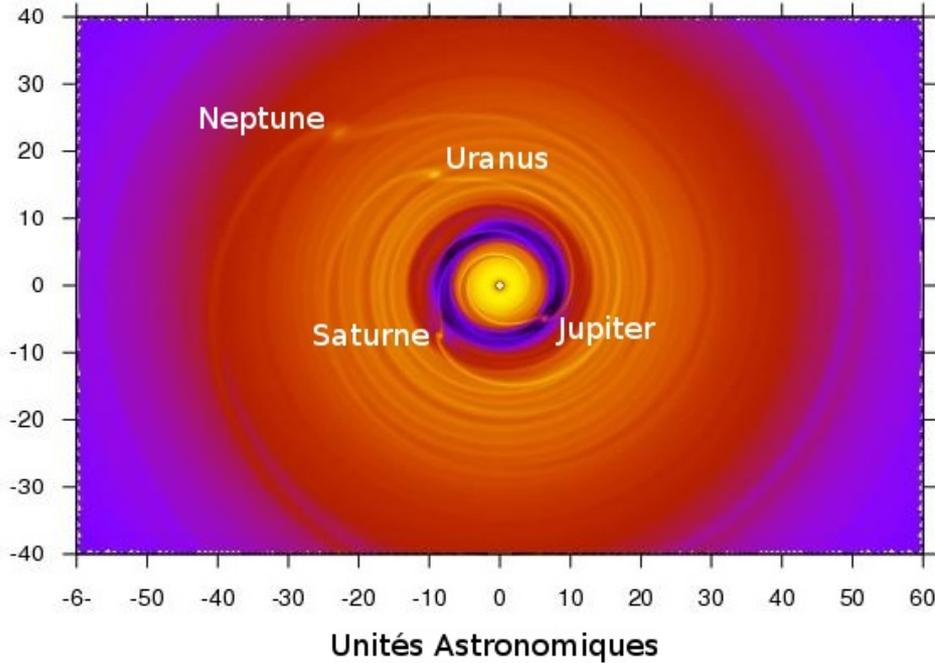
→ présence d'astéroïdes secs et hydratés dans la ceinture principale.



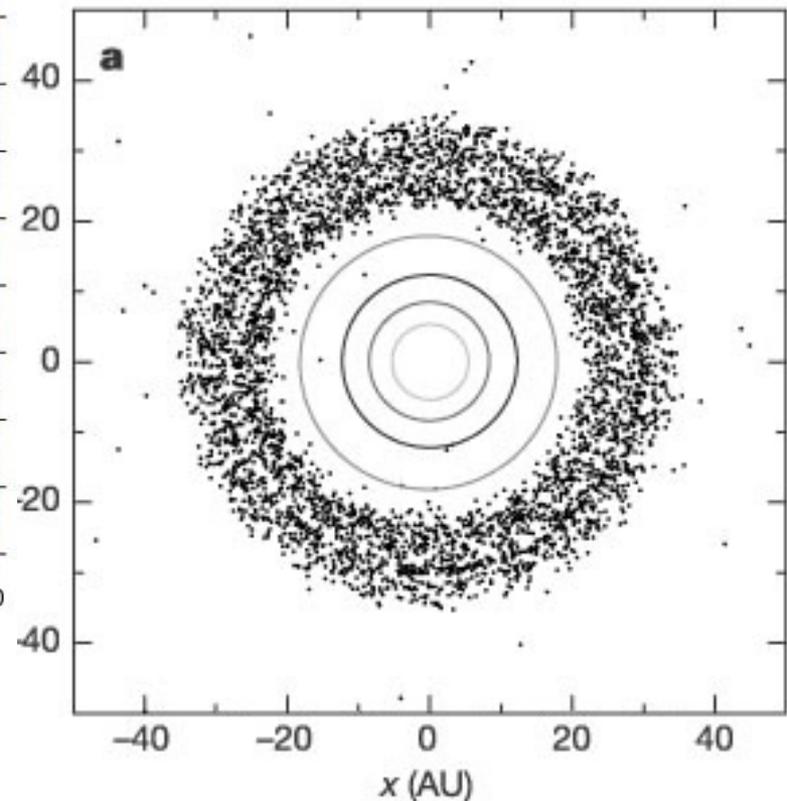
Modèle de Nice

À la fin de leur migration, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune étaient dans une configuration **compacte** (< 15 UA), sur des orbites **circulaires** et **coplanaires**.

Dans le disque de gaz :



Après dissipation du disque :



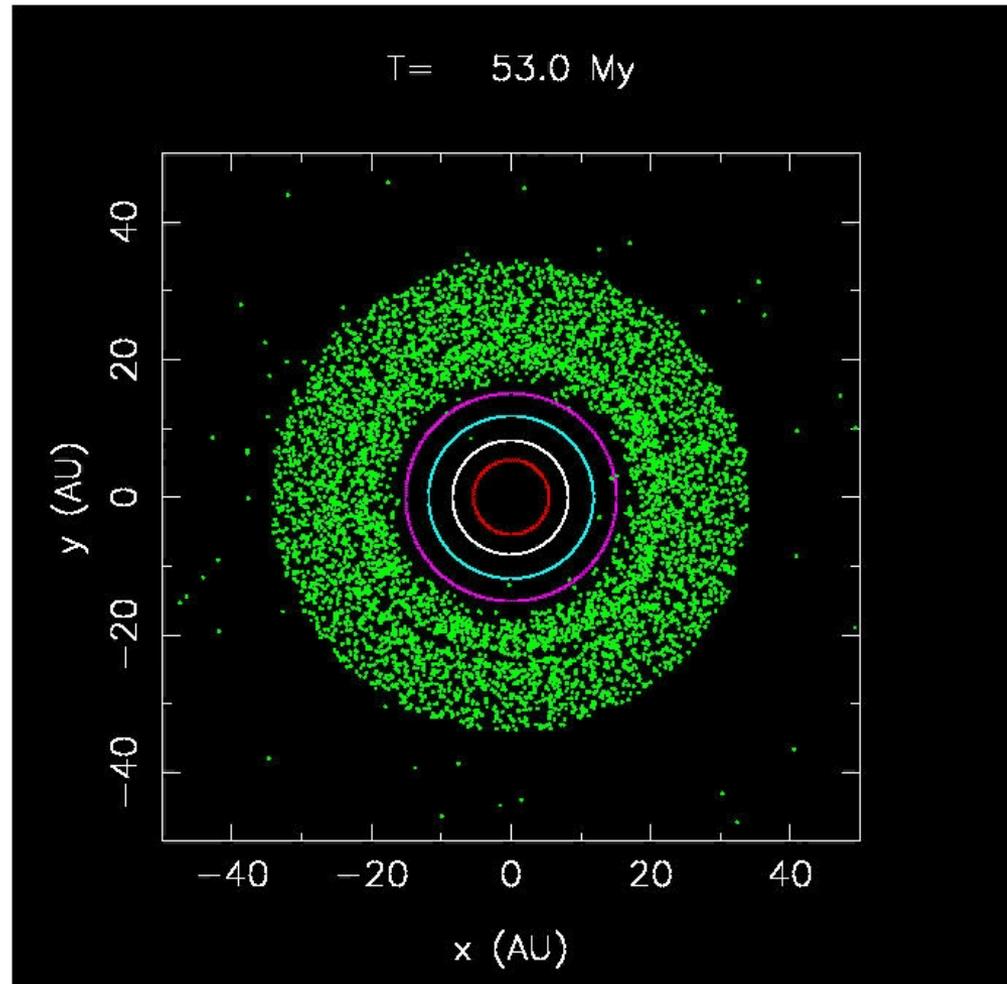
Modèle de Nice

À la fin de leur migration, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune étaient dans une configuration **compacte** (< 15 UA), sur des orbites **circulaires** et **coplanaires**.

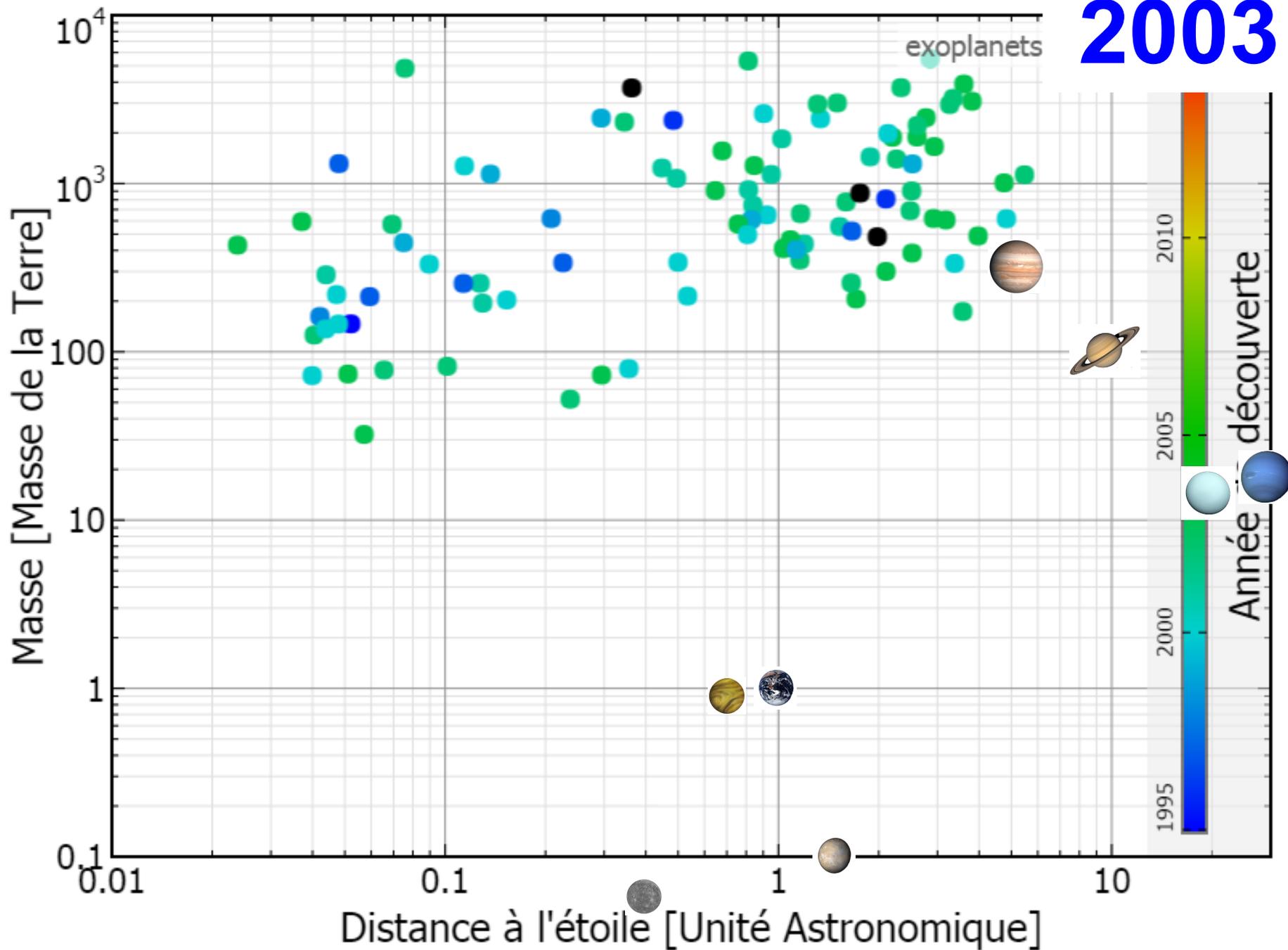
600 millions d'années plus tard, cette configuration, lentement perturbée par les planétésimaux restant, devient violemment instable.

Les géantes rejoignent leurs **orbites actuelles**, et dispersent les planétésimaux → **Grand Bombardement Tardif**.

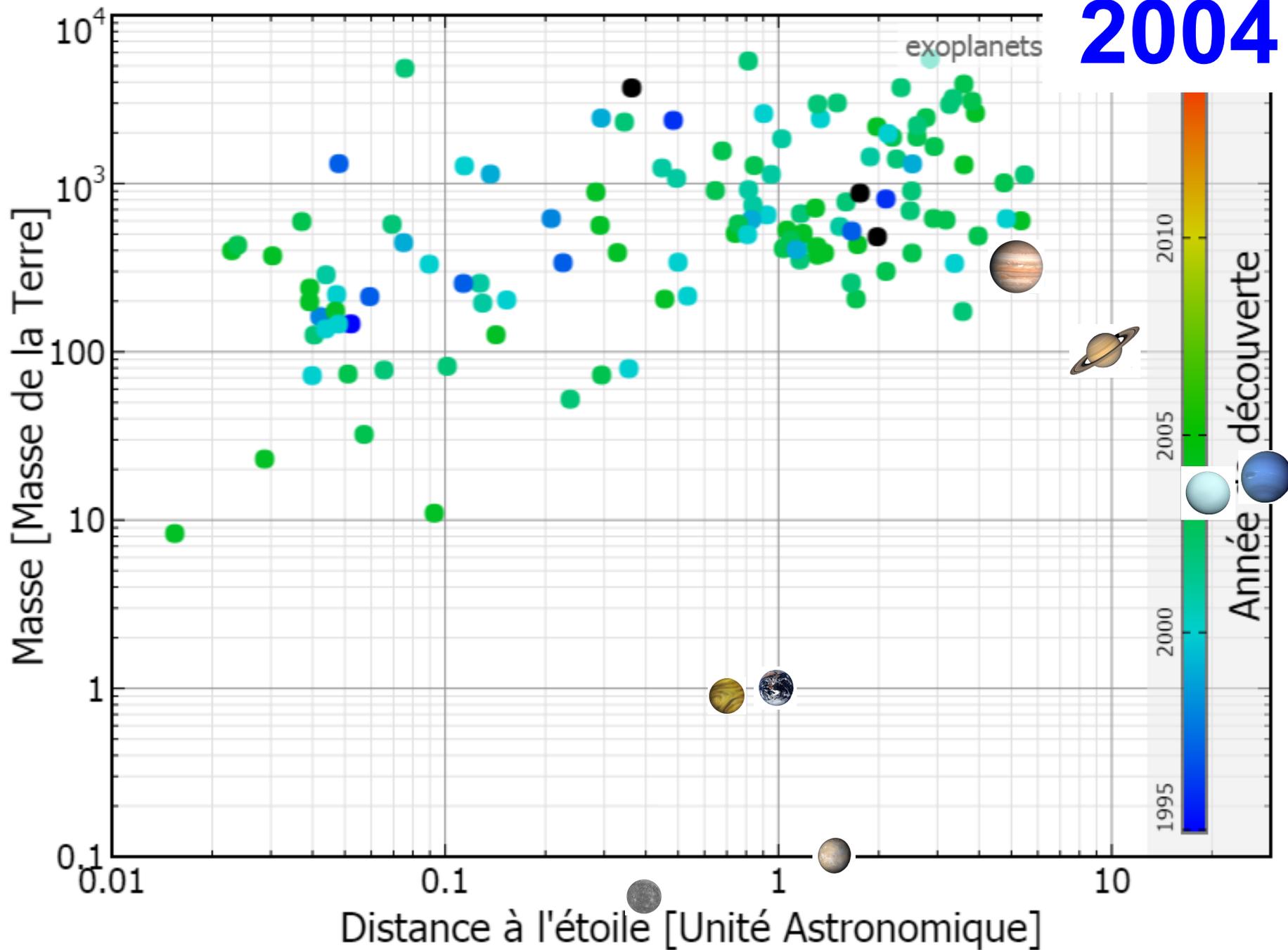
Film : Alessandro Morbidelli.
Regarder attentivement à 880 Myr.



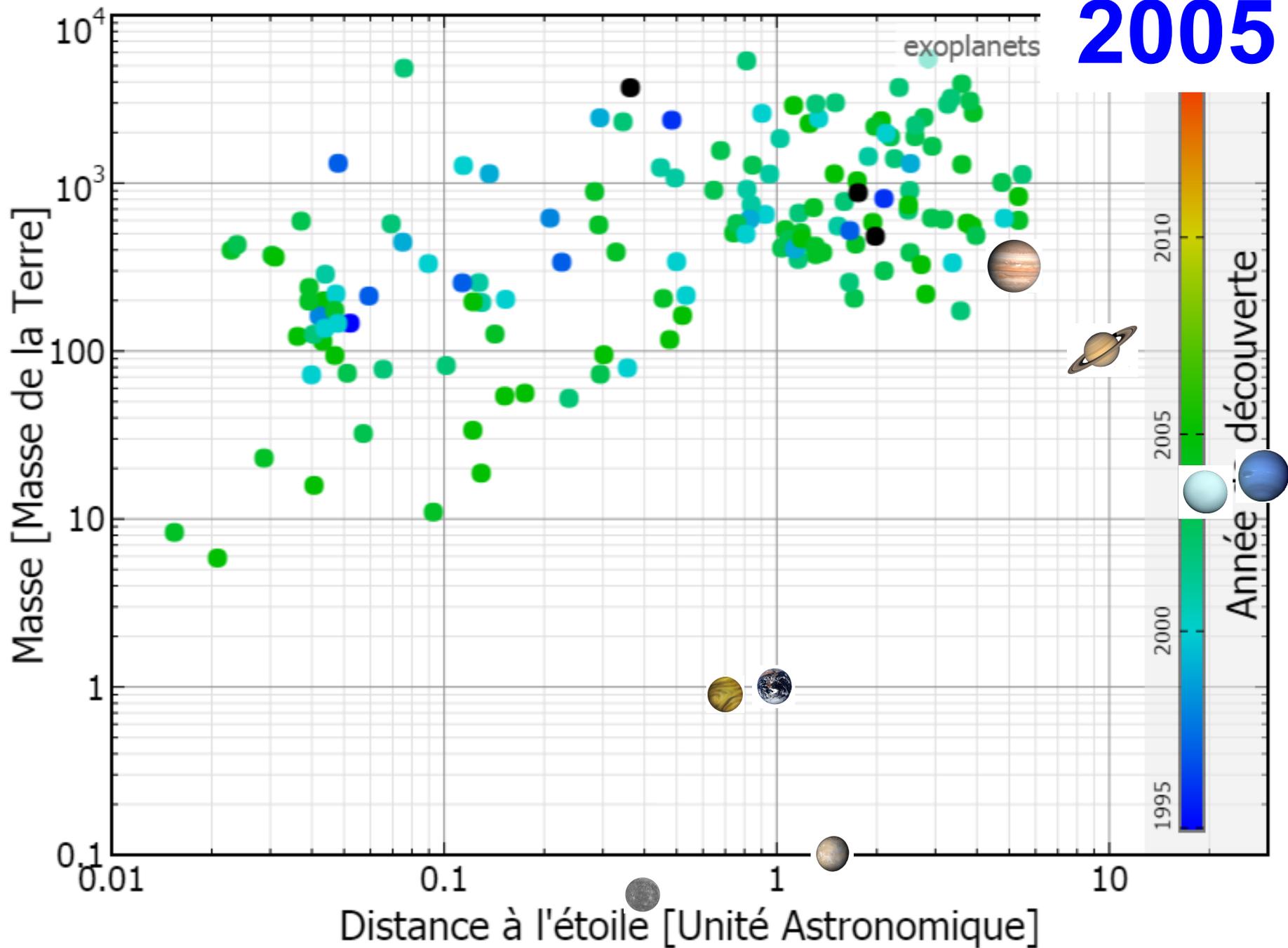
2003



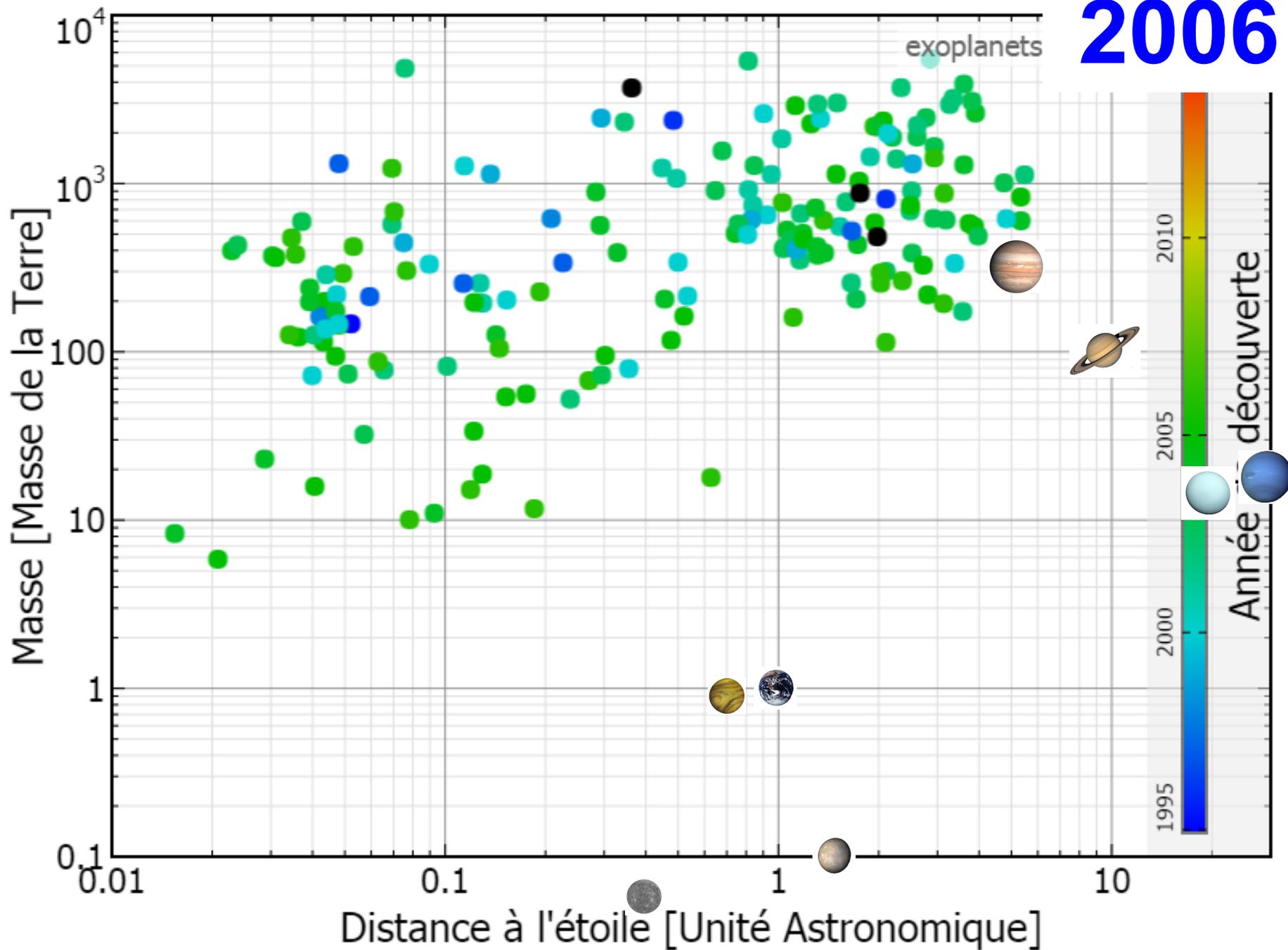
2004



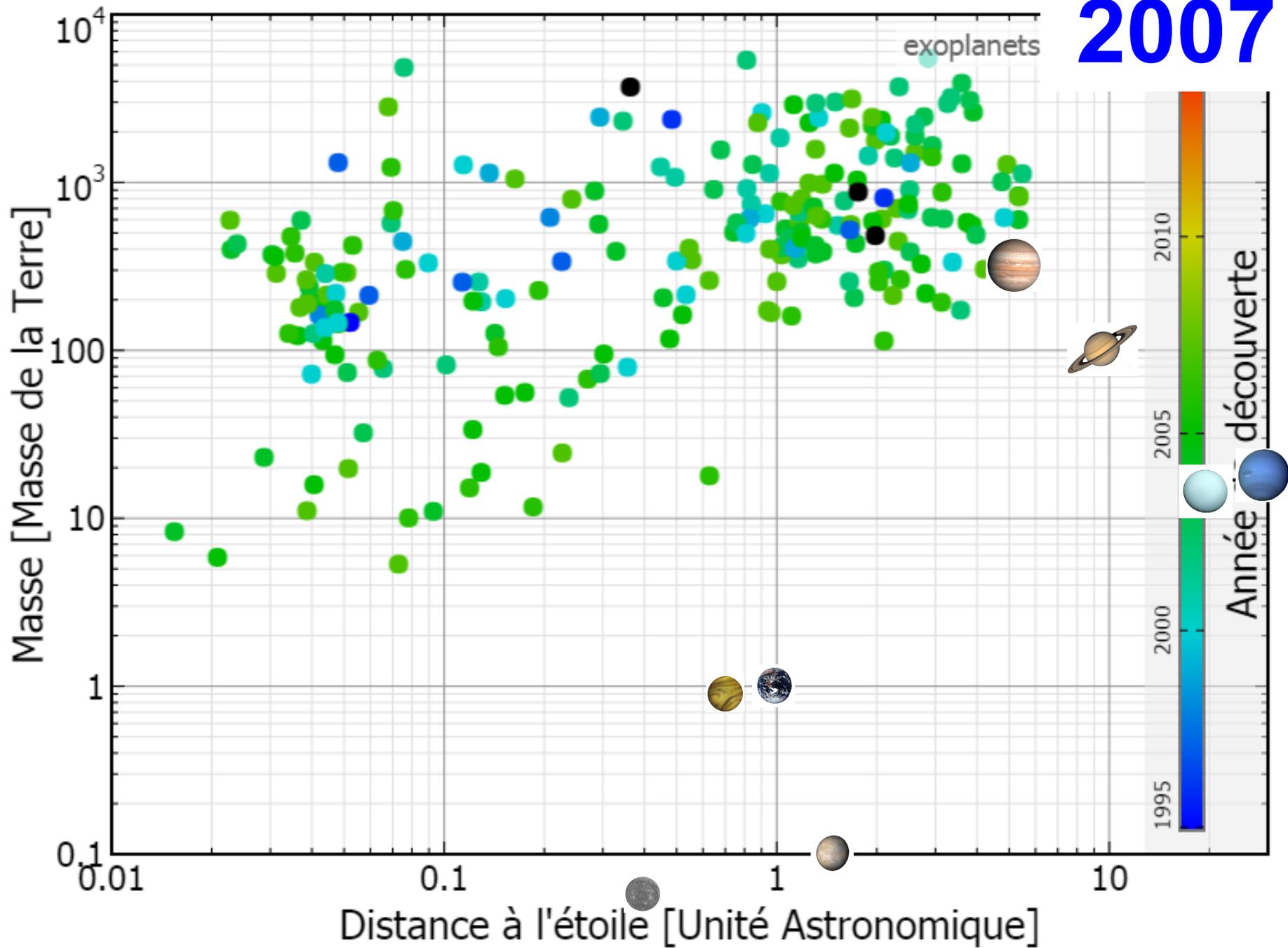
2005



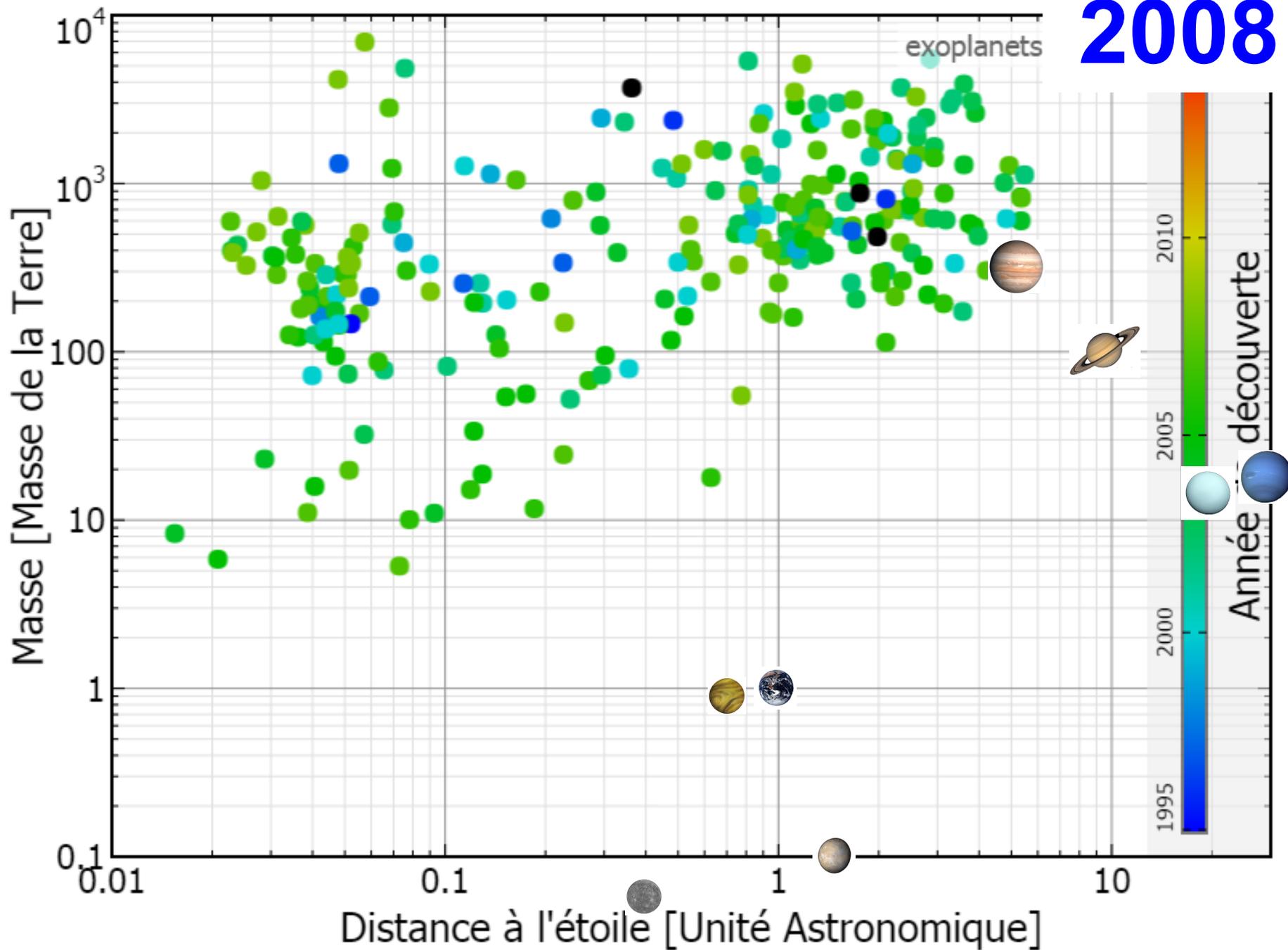
2006



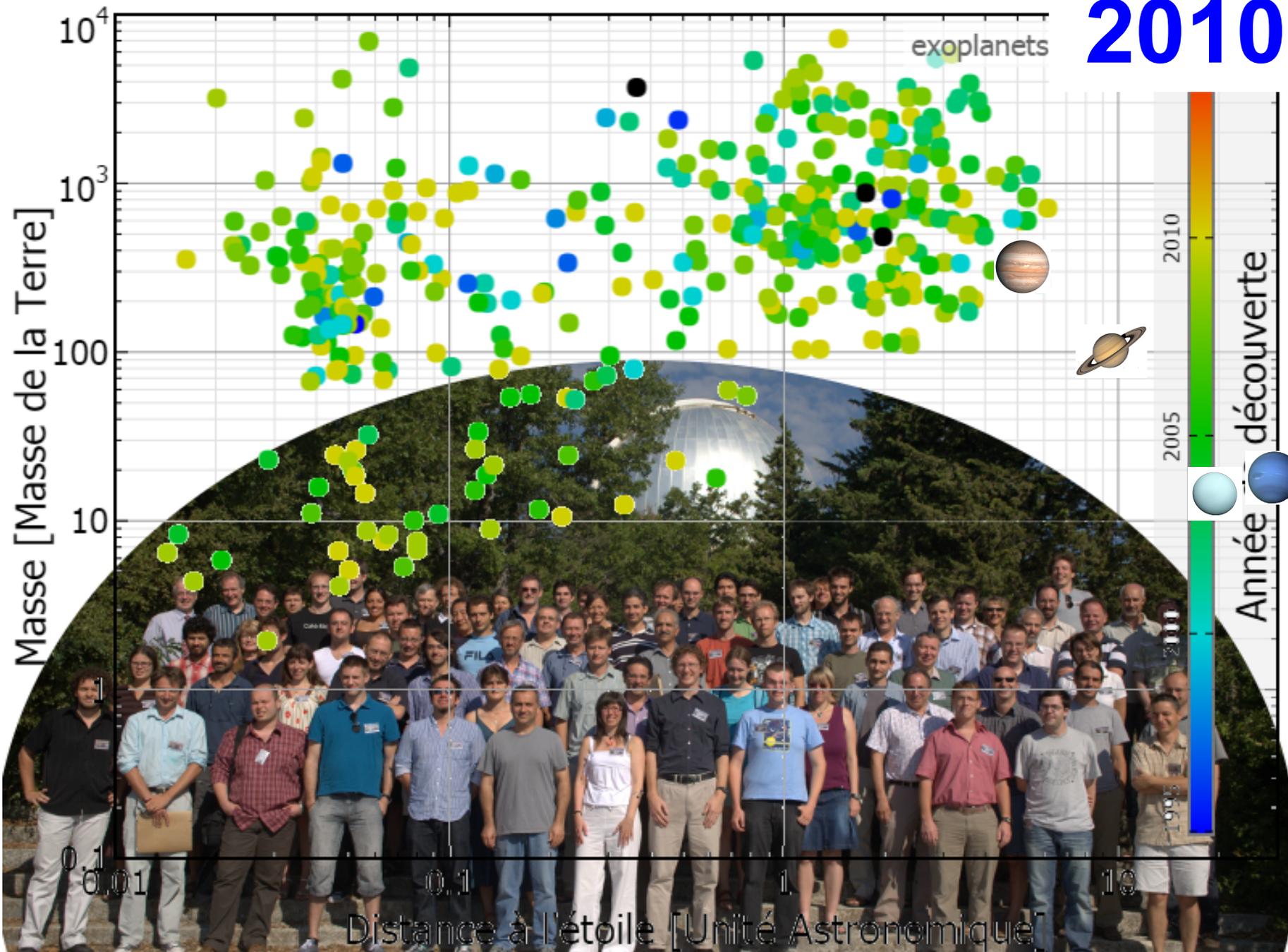
2007



2008



2010



Masse [Masse de la Terre]

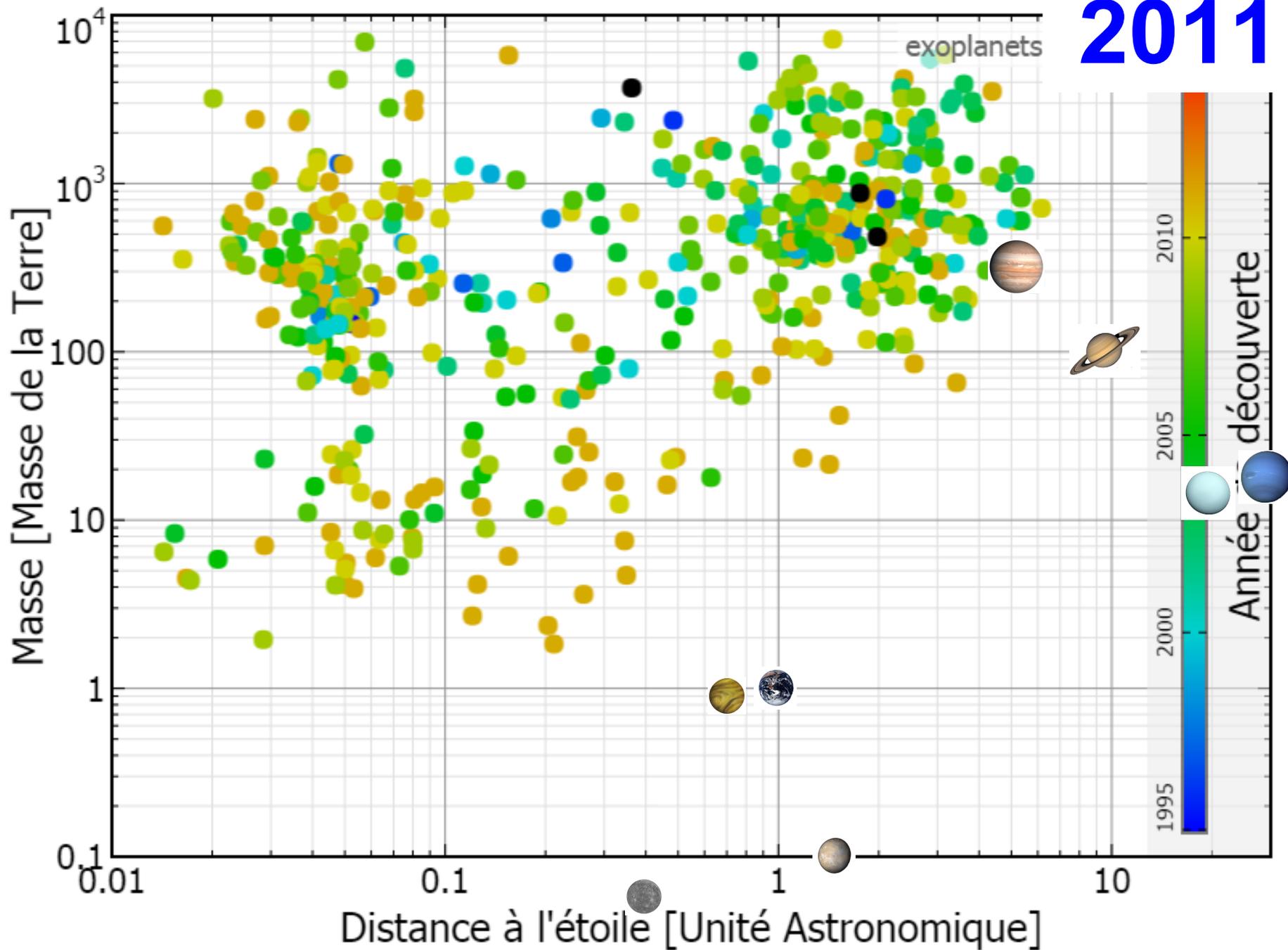
exoplanets

2010
2005

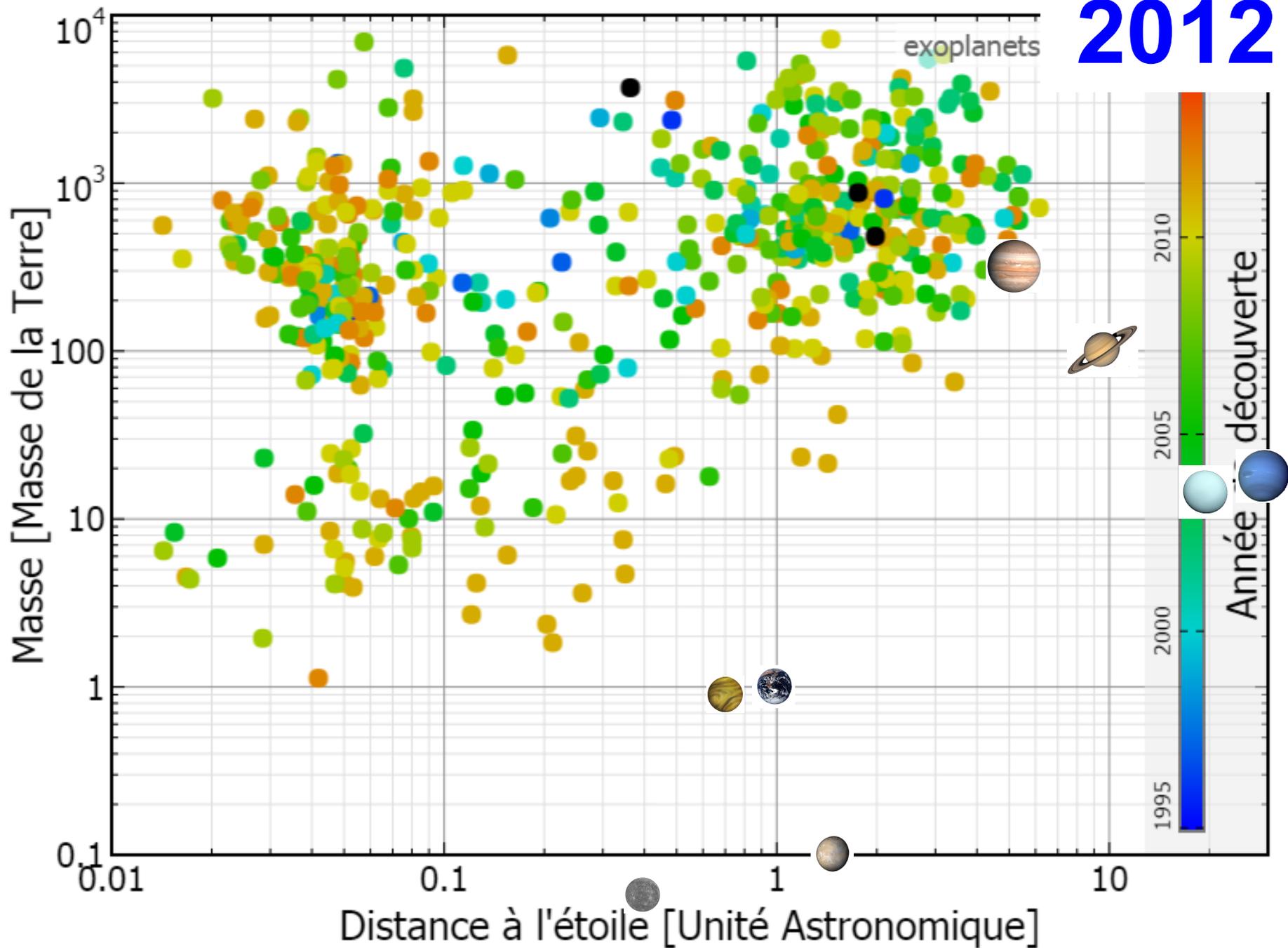
Année de découverte

Distance à l'étoile [Unité Astronomique]

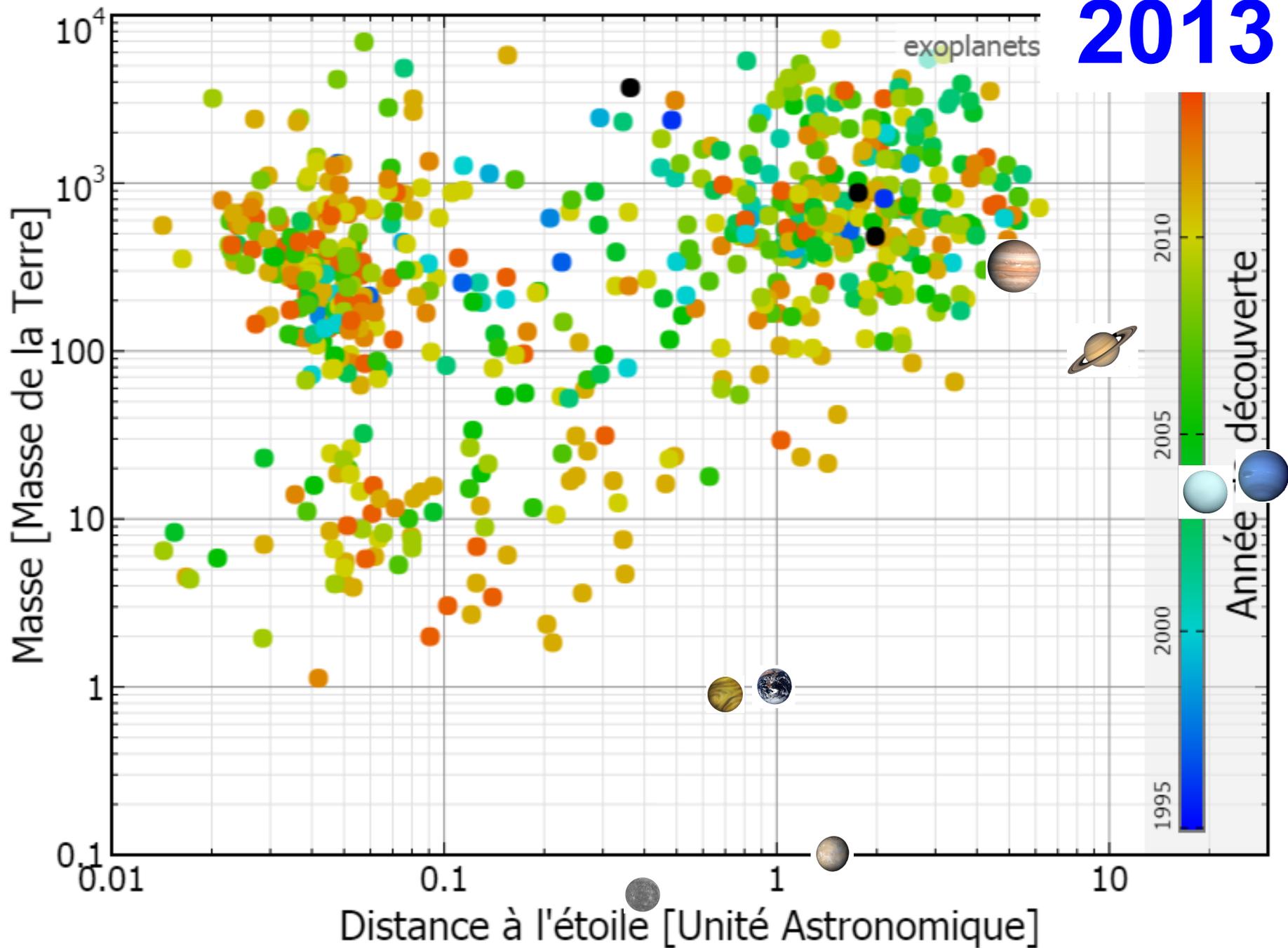
2011



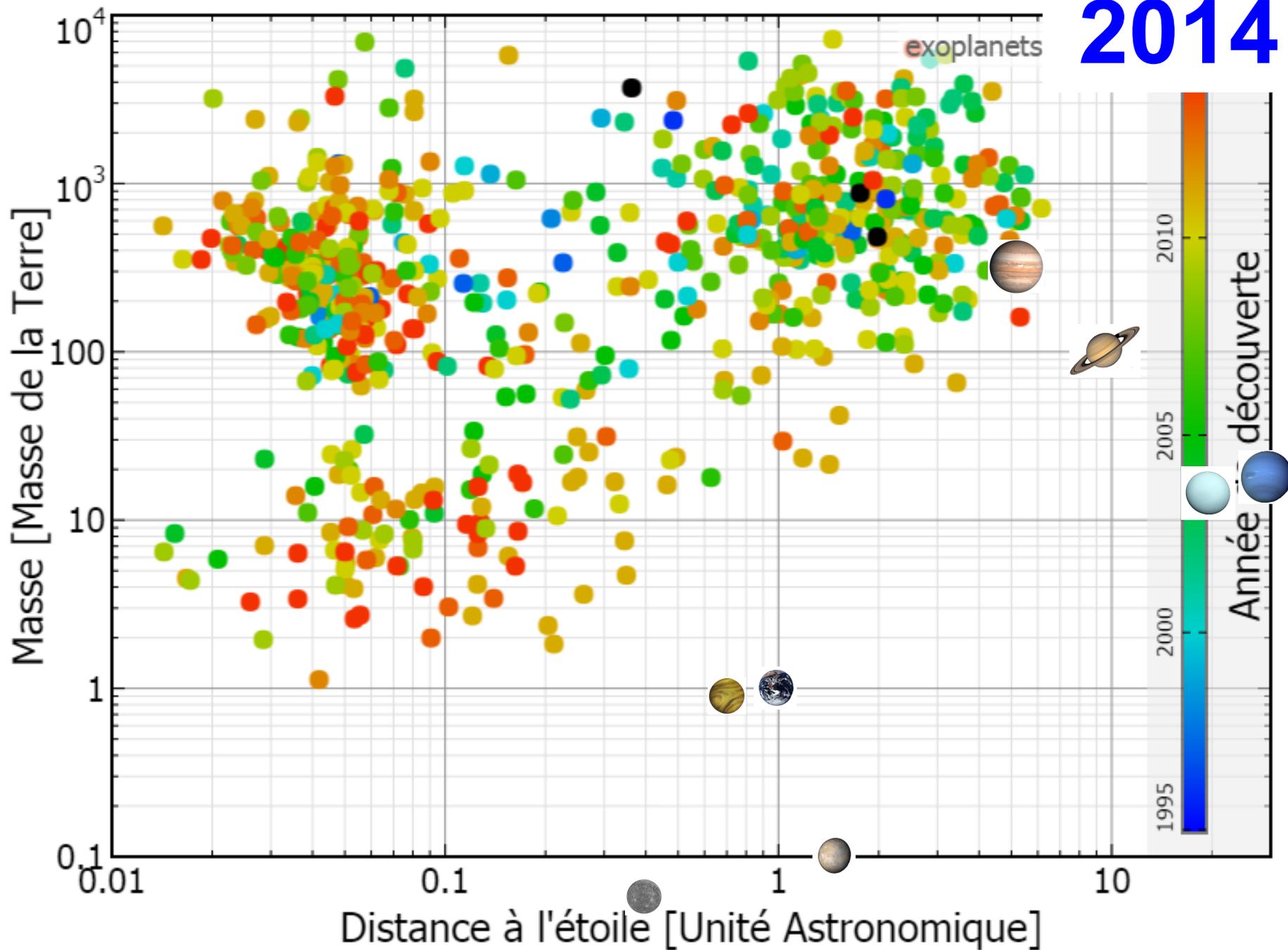
2012



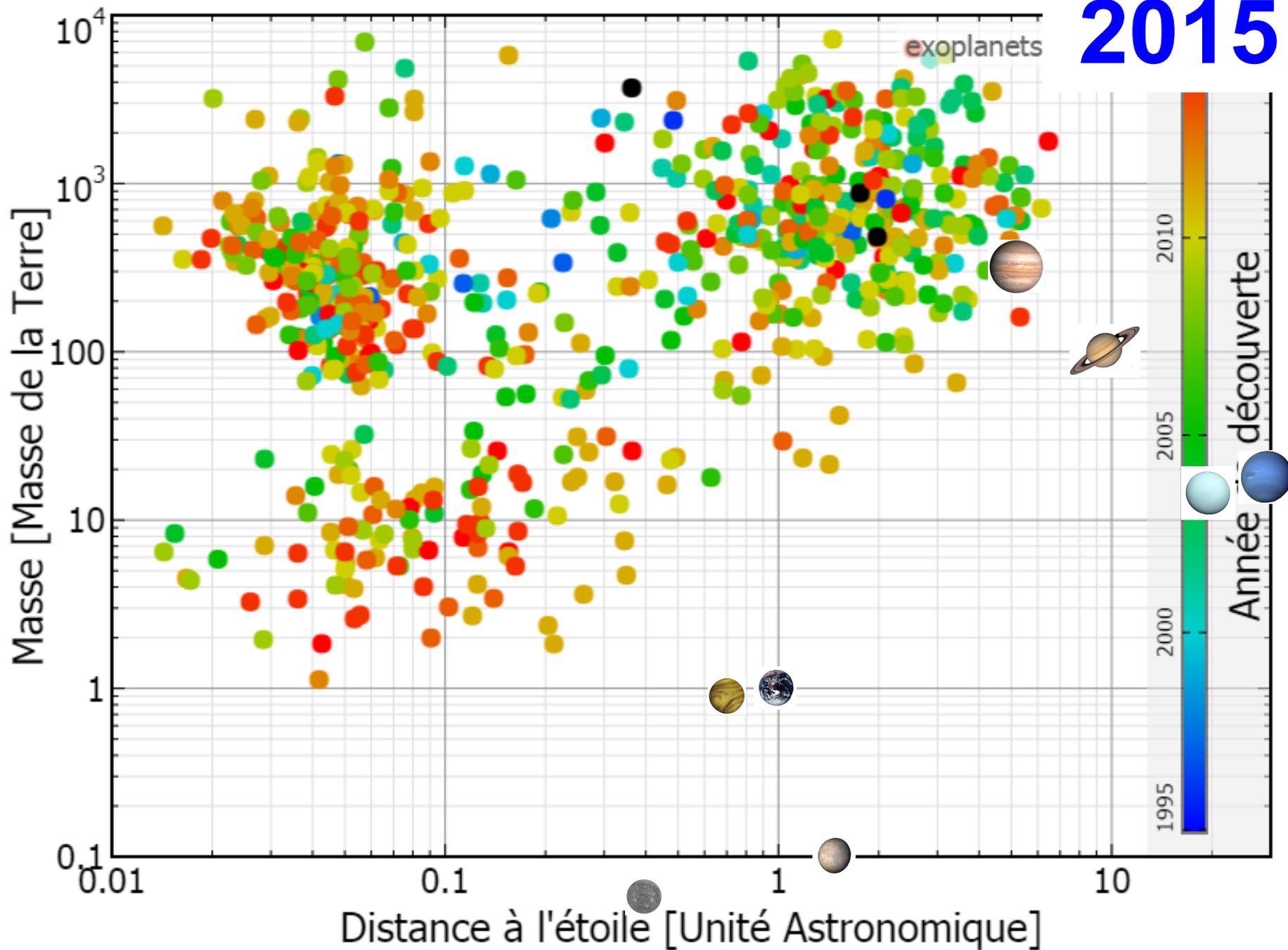
2013



2014

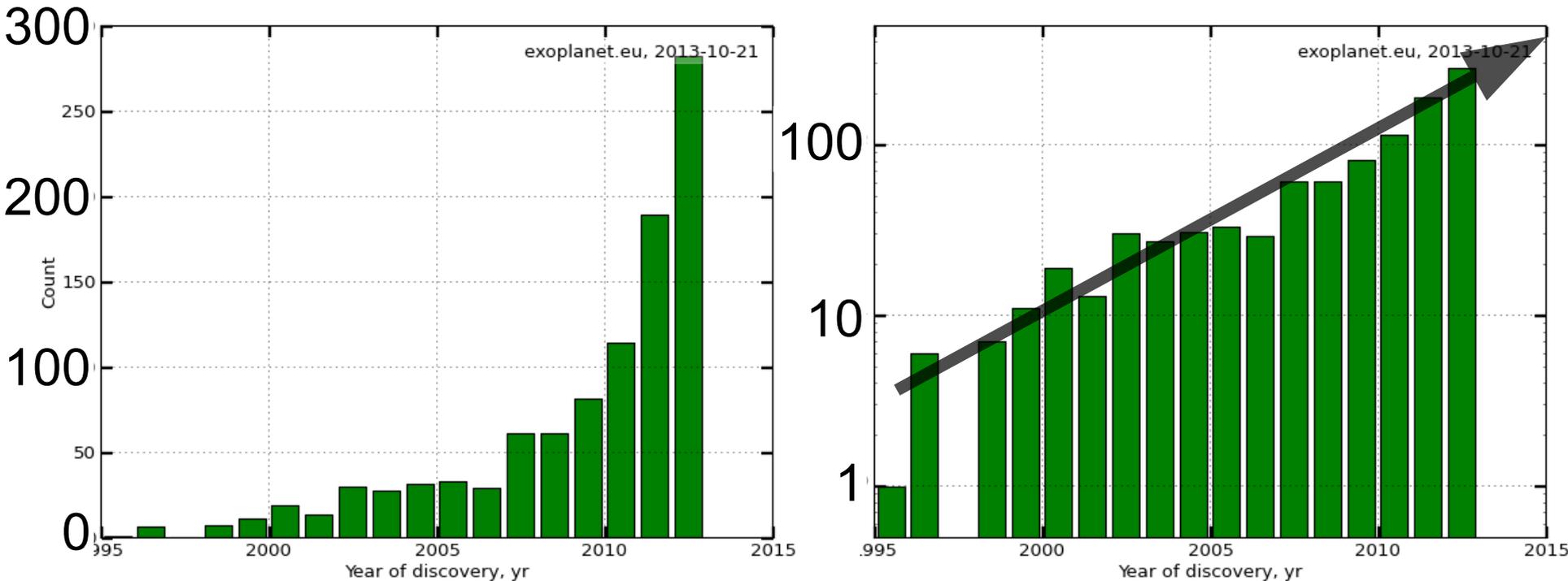


2015



Combien d'exoplanètes ?

Nombre de détection par an : une croissance exponentielle.

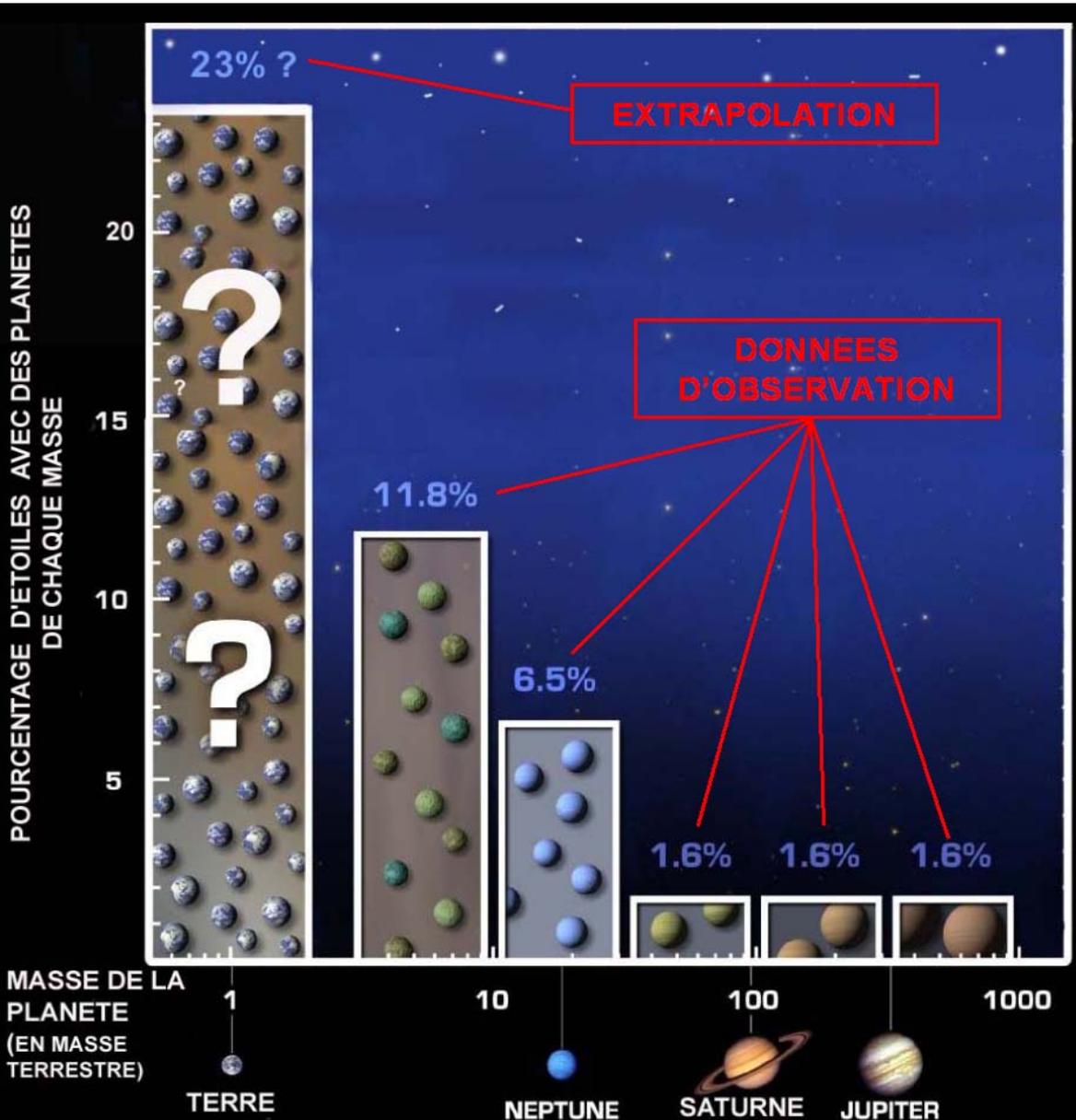


Octobre 1995 : 1ère exoplanète détectée
autour d'une étoile de type solaire.

Octobre 2013 : + de 1000 exoplanètes connues.

Octobre 2015 : près de 2000 !

Combien d'exoplanètes ?



En tenant compte des biais des méthodes de détection, on peut déduire que 25% au moins des étoiles ont une planète.

On peut extrapoler : il y a au moins 46 milliards de planètes de type terrestre dans notre Galaxie !

2015

