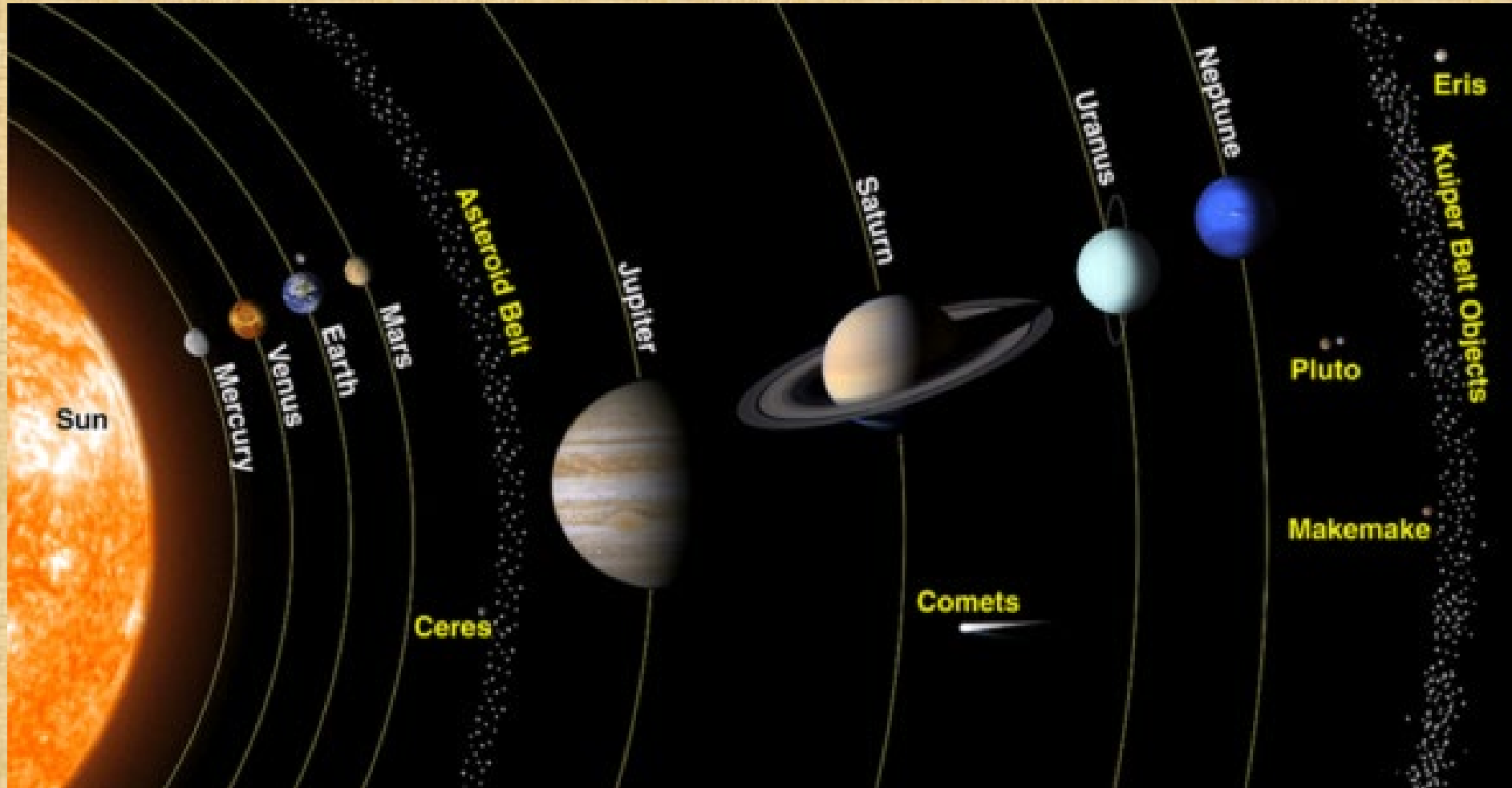


La formation des systèmes planétaires

Introduction

- 1). Notre système solaire est-il unique ou pas ?**
- 2). Est-ce que les planètes sont des objets fréquents dans l'univers ?**
- 3). Comment est-ce qu'il s'est formé pour obtenir ce que l'on a actuellement ?**
- 4). Est-ce que le type d'architecture que l'on a est typique ou totalement anormal ?**

Petit rappel de ce qu'on a autour de Boujailles...



Depuis 1995 ...

Au 1^{er} juillet 2020 :



- _ 4 281 exoplanètes détectées
- _ 3 163 systèmes différents
- _ 701 systèmes planétaires multiples



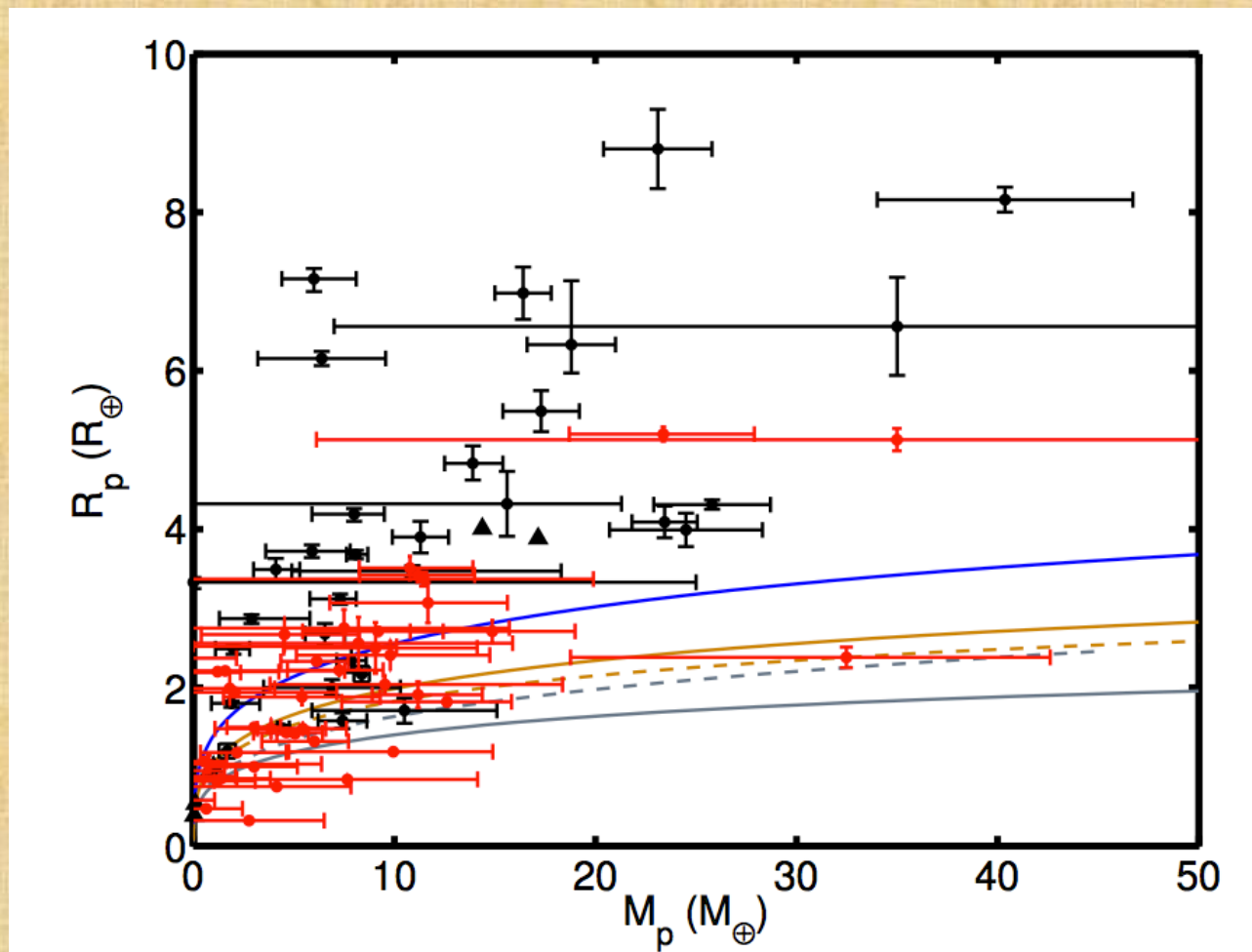
Ce que l'on sait après 30 ans de recherche

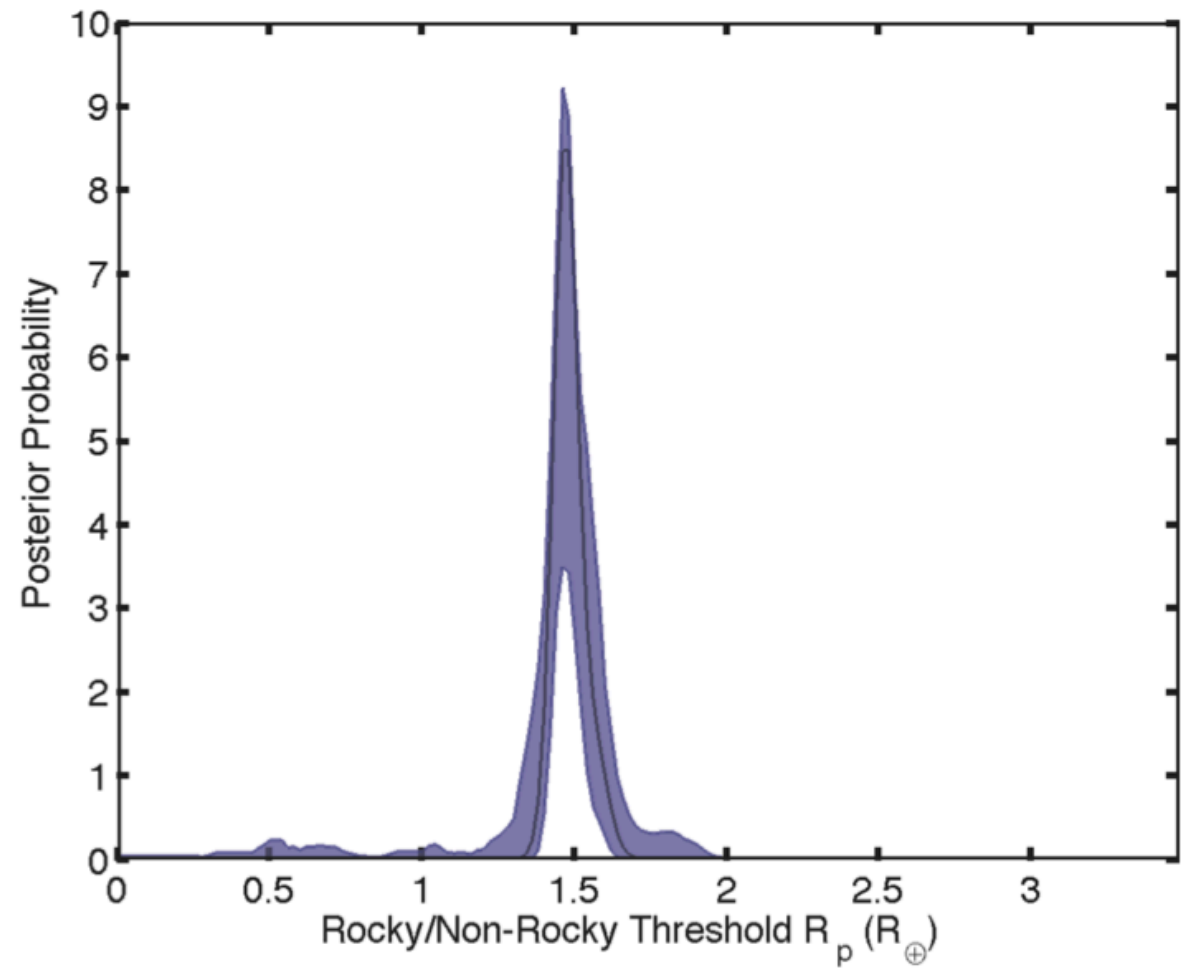
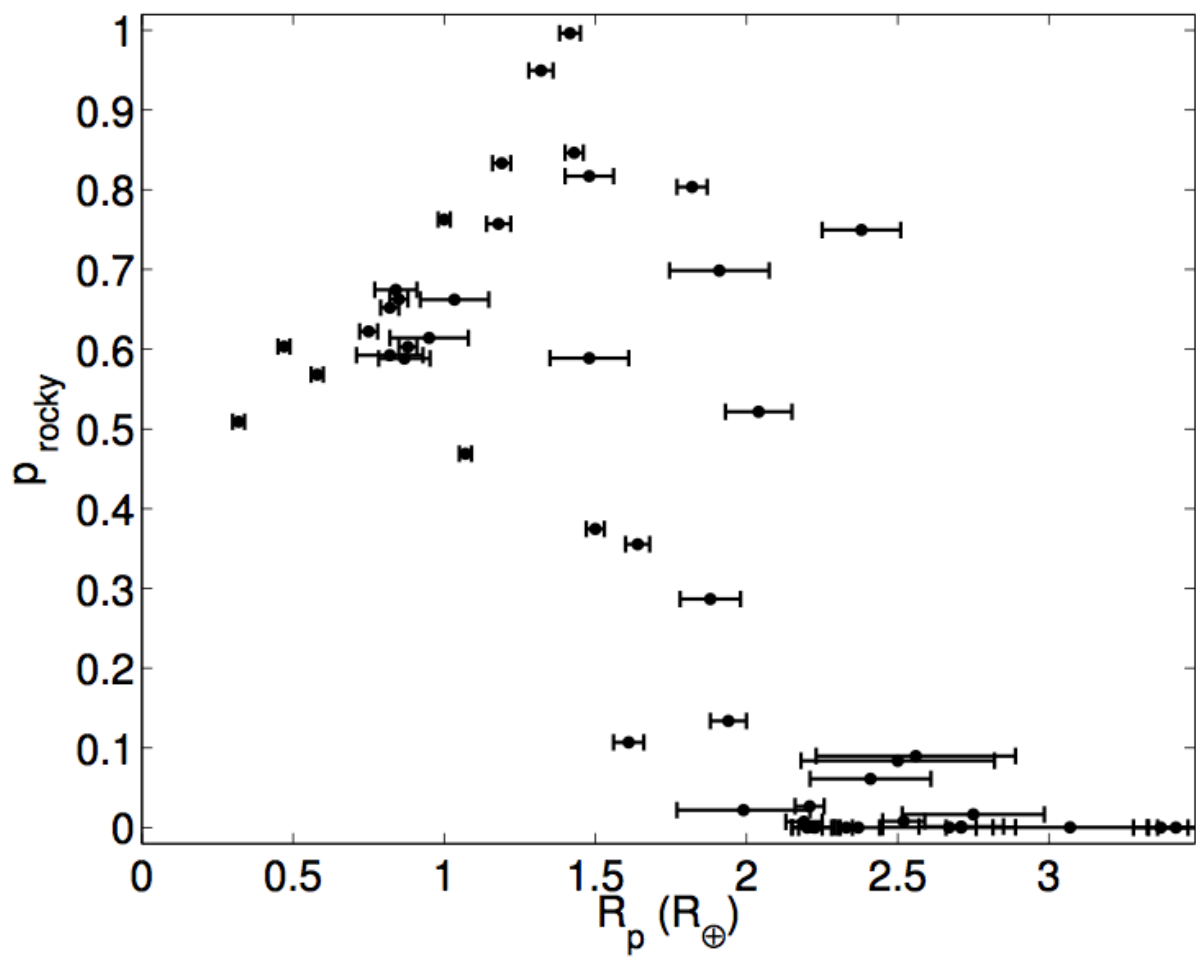
“Environ la moitié des étoiles de type solaire ont au moins une planète de rayon 1 à 4 fois le rayon terrestre qui orbite en 100 jours ou moins”

(ce qui est environ à l'orbite de Mercure ou moins)

[Morbidelli, A., and Raymond, S.N. (2016)]

2014, travaux de Leslie Rogers





Notre système serait donc rare...

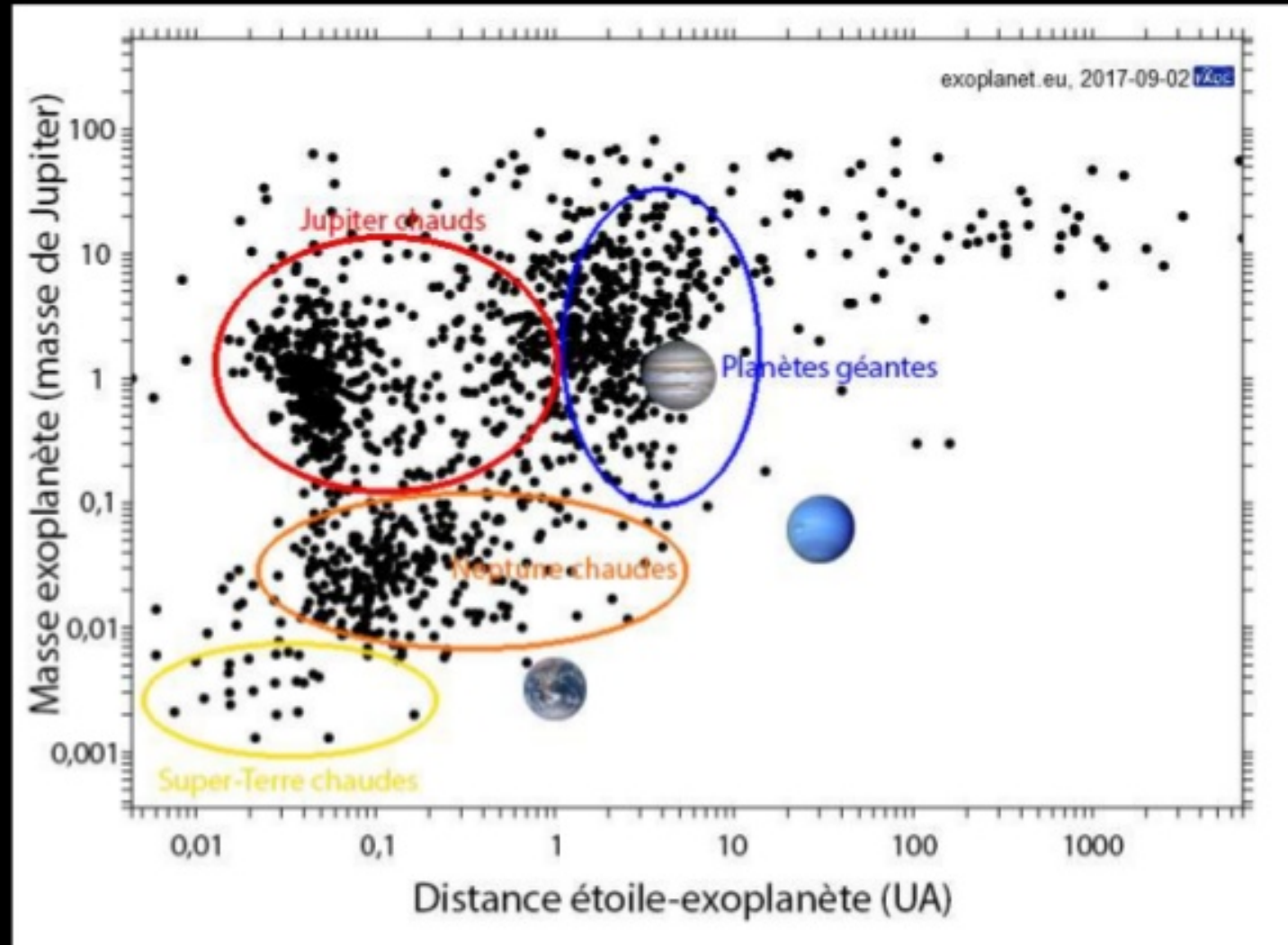


Super-Terres ?

Mini-Neptunes ?

**Des orbites égales
ou inférieures à
celle de Mercure ?**

Rare, peut-être... mais unique ?

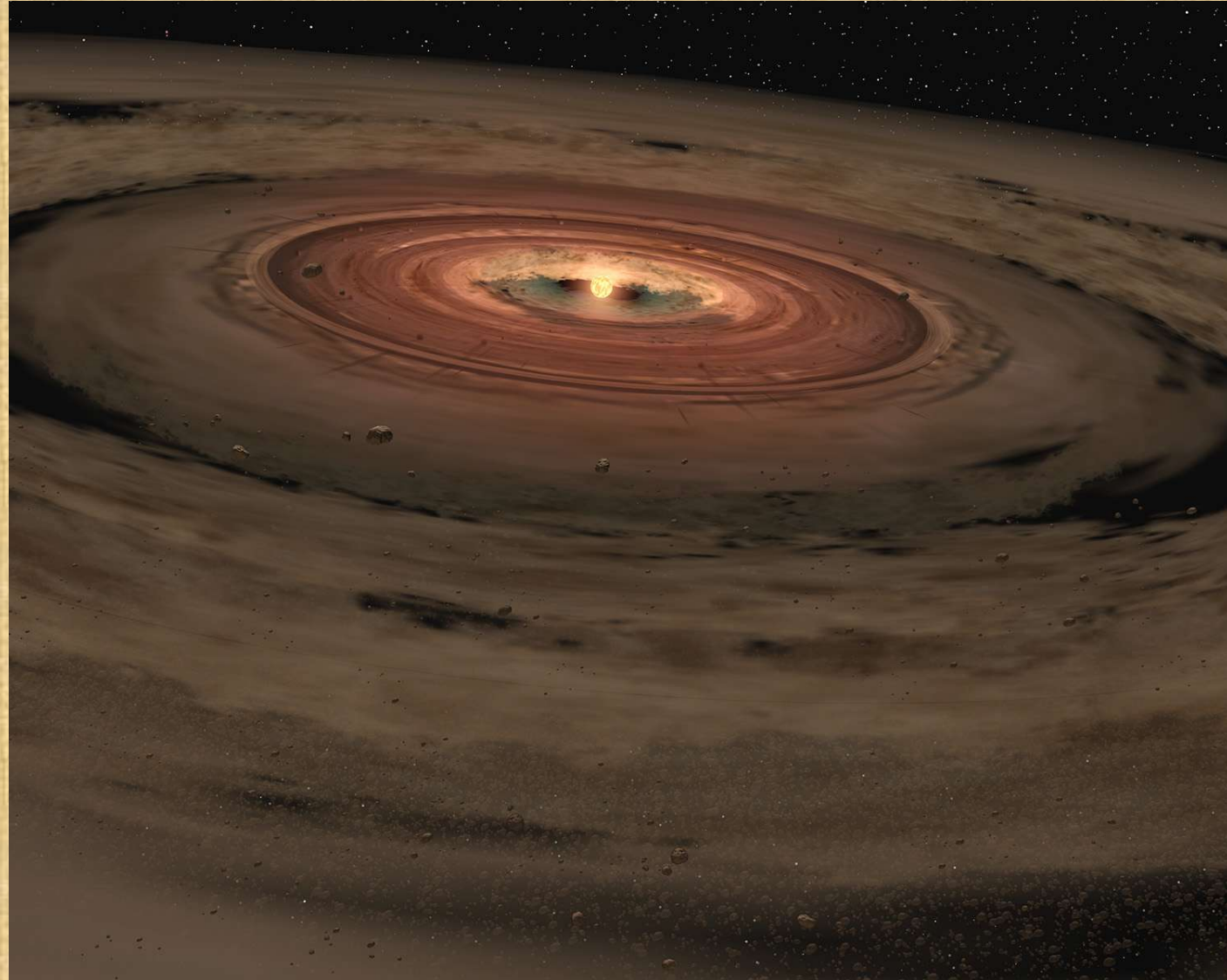


Comment se forme un système ?

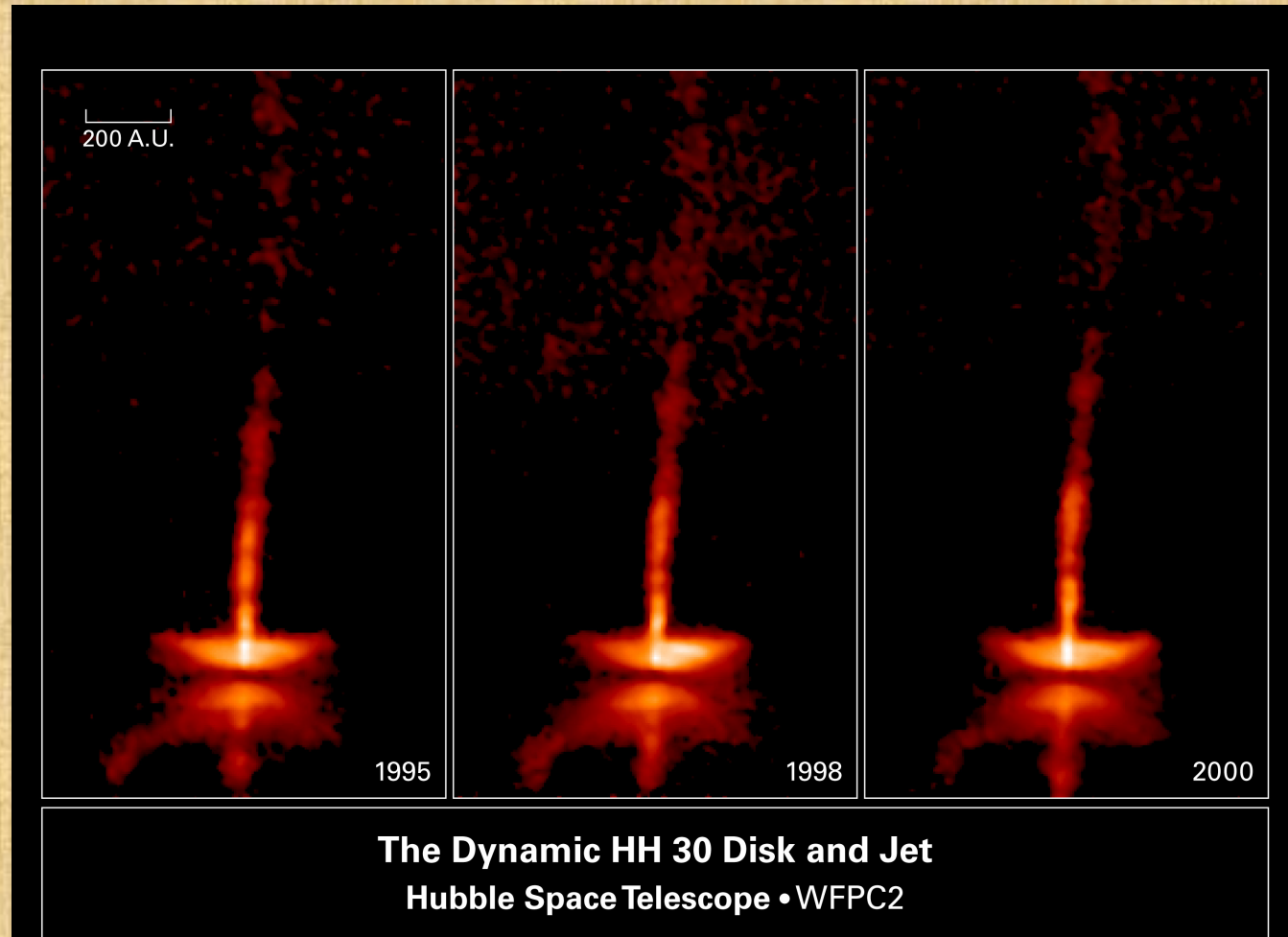




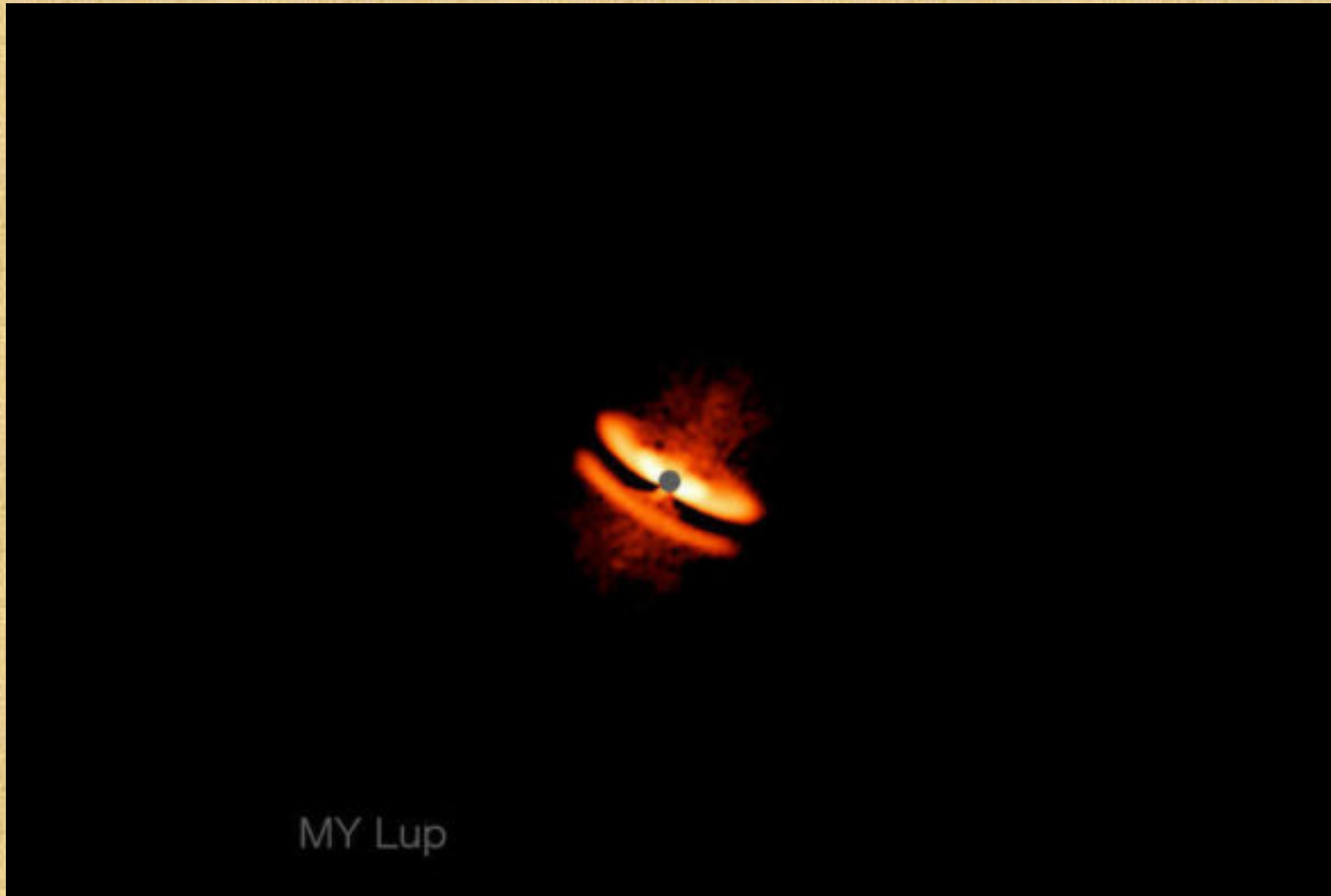
Disque protoplanétaire



Un disque protoplanétaire par Hubble



“My lup” observé par VLT/SPHERE en proche infrarouge



L'accrétion des planètes

_de poussière en grains

_de grains en cailloux

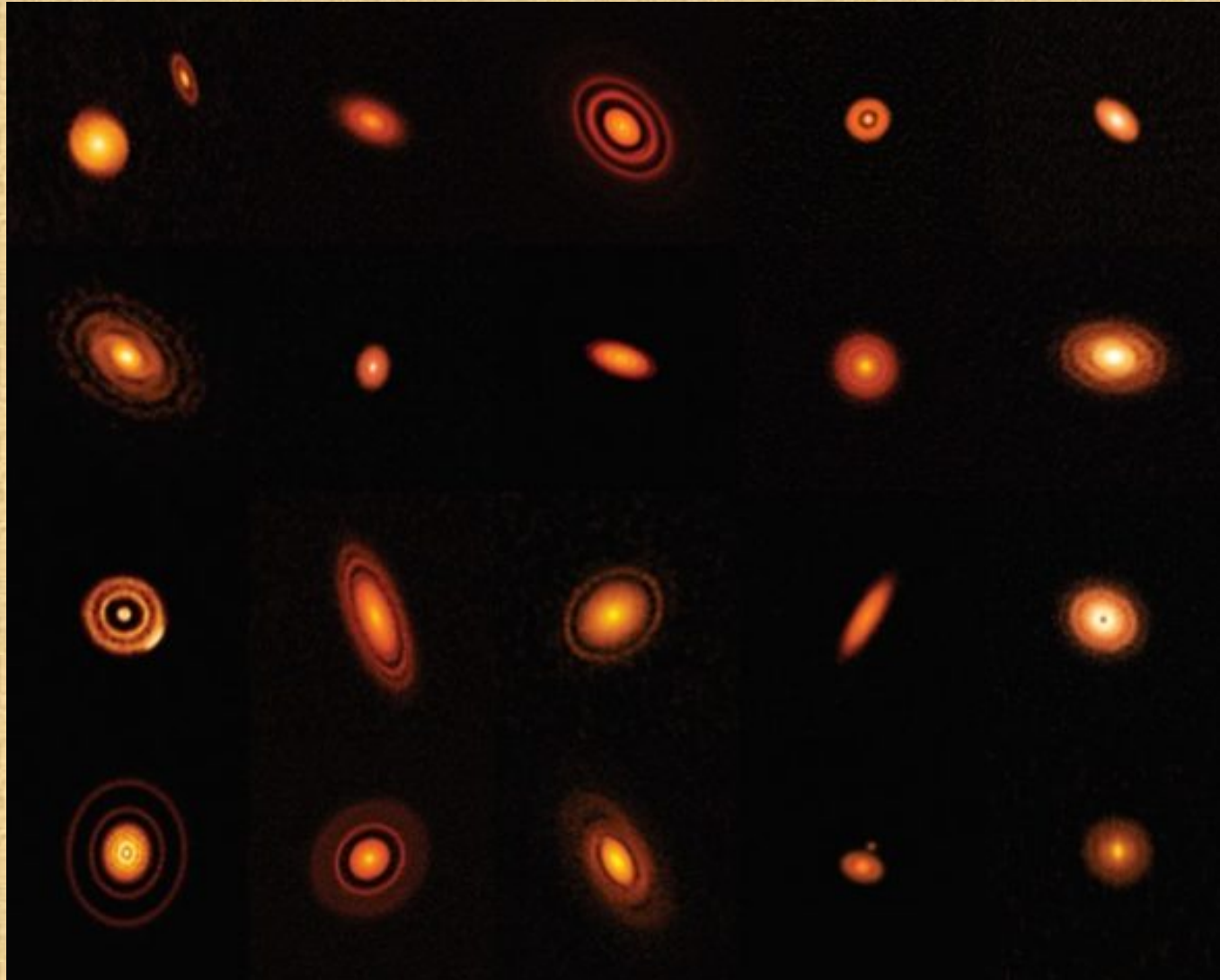
_de cailloux en astéroïdes

_d'astéroïdes en planétésimaux

_de planétésimaux en protoplanètes.



Quelques disques protoplanétaires observés par Alma



**Un petit, un gros...
pas de problème**



**Deux plus ou moins identiques...
aïe !**



**Problème n°1:
Barrière du cm**

Petite parenthèse politique...

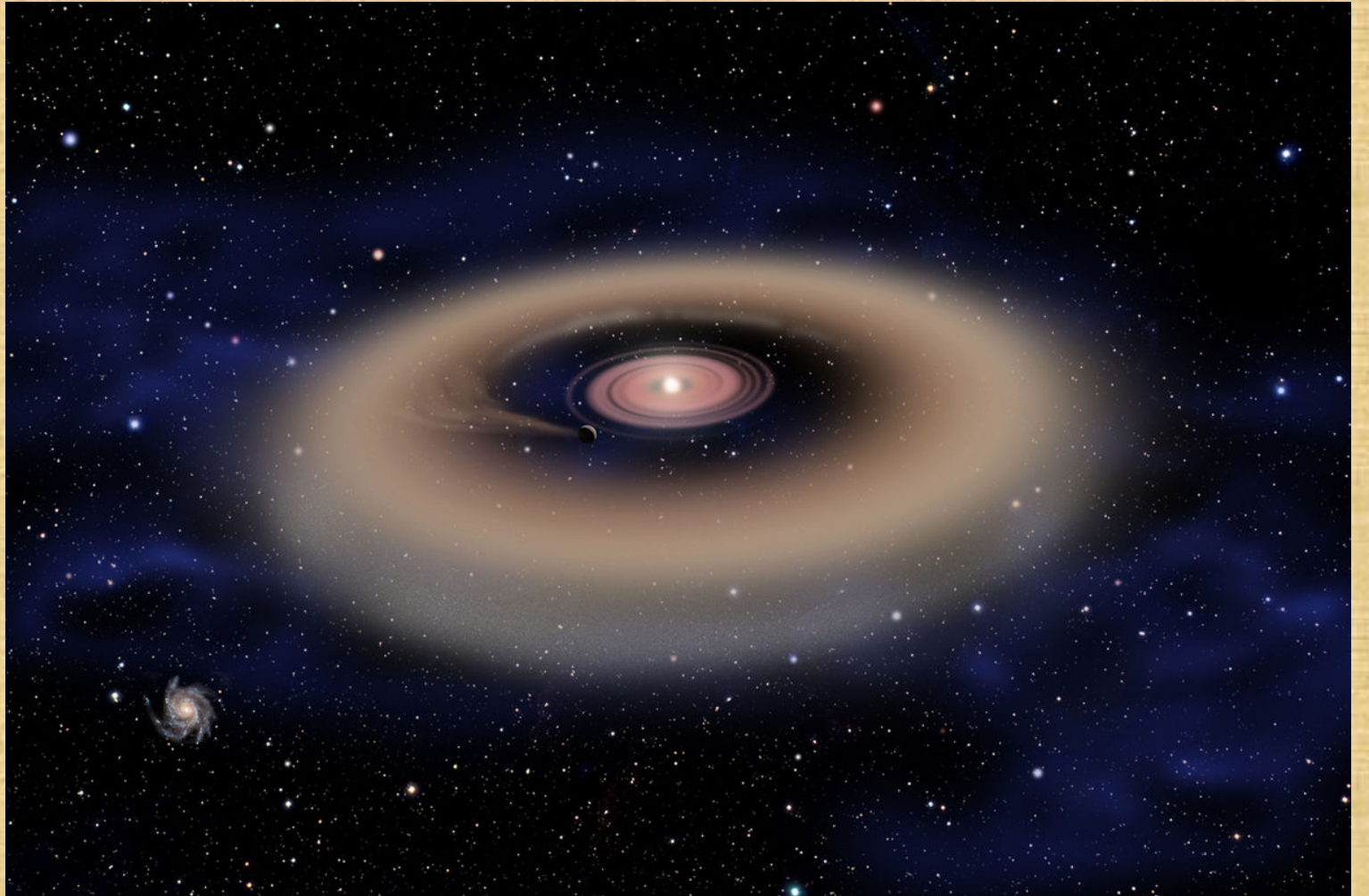
Thèse américaine



Thèse russe



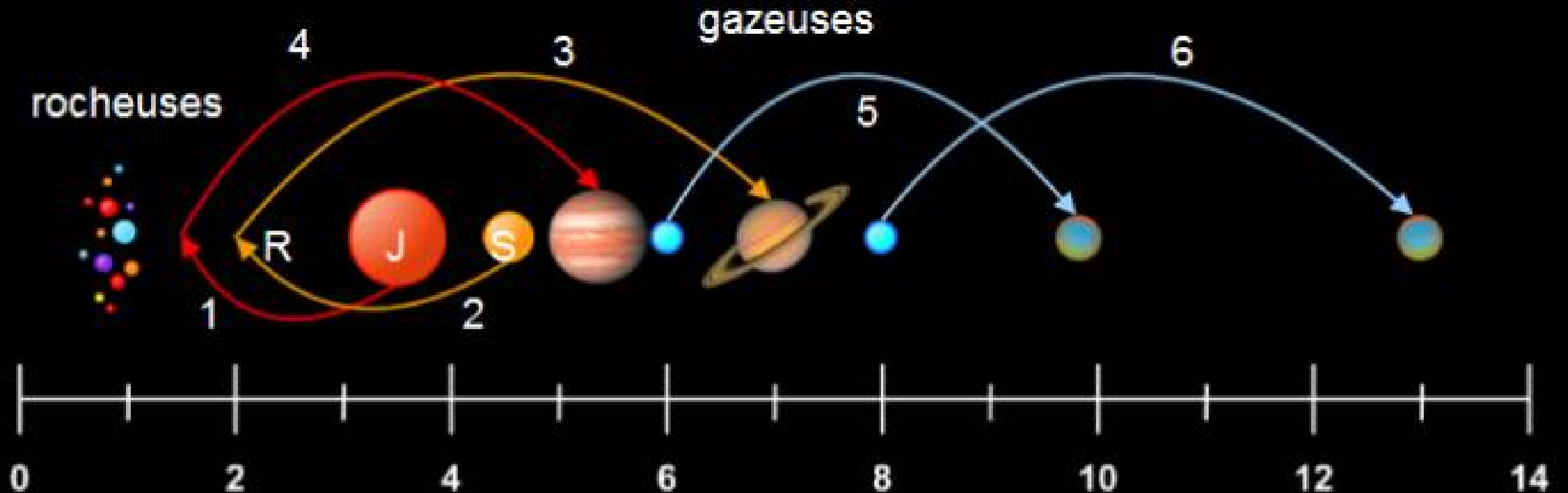
- **Problème n°2 :**
- **Barrière du mètre**



Problème N°3 : la migration



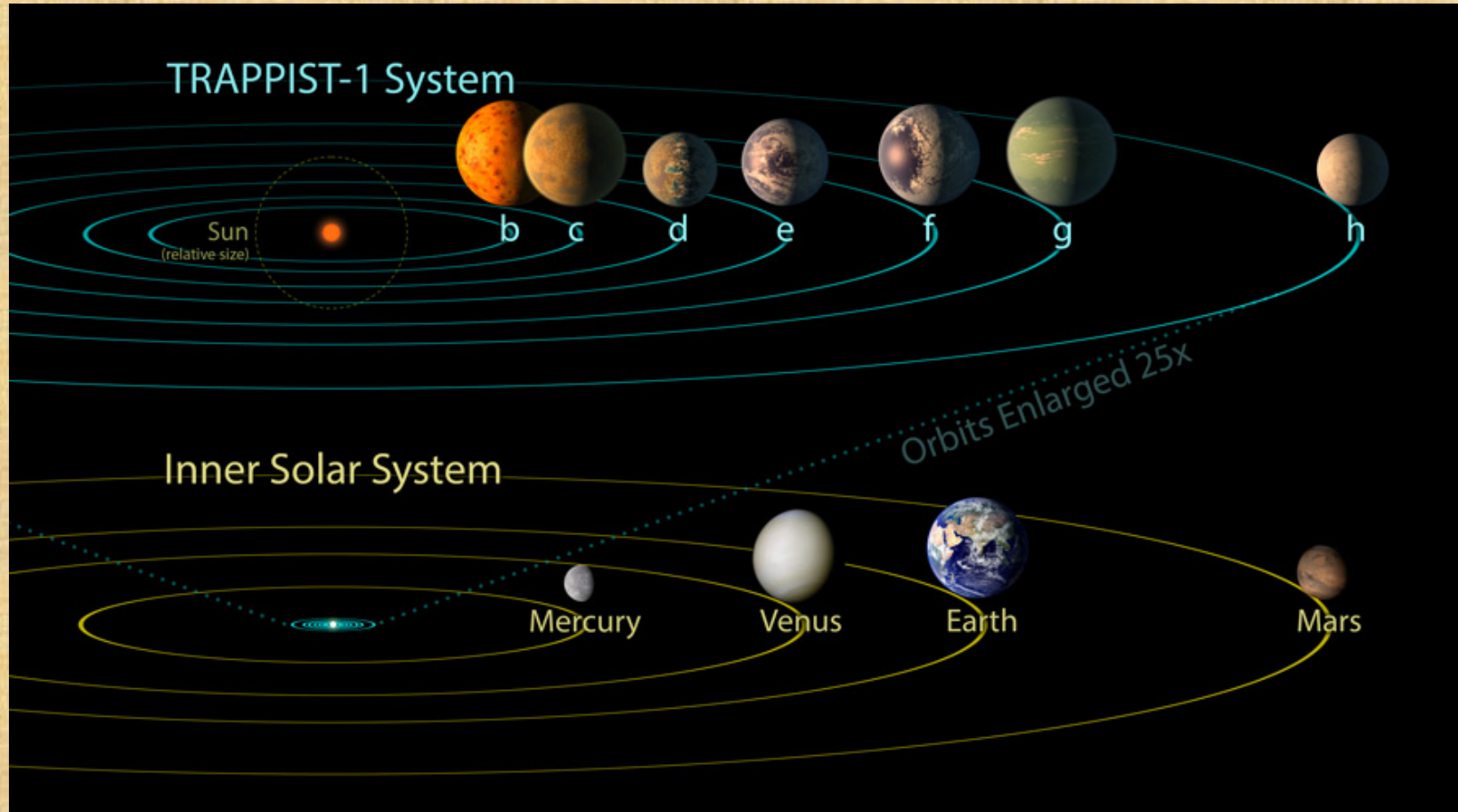
preuves scientifiques: modèle de Nice (2005 - 2011)



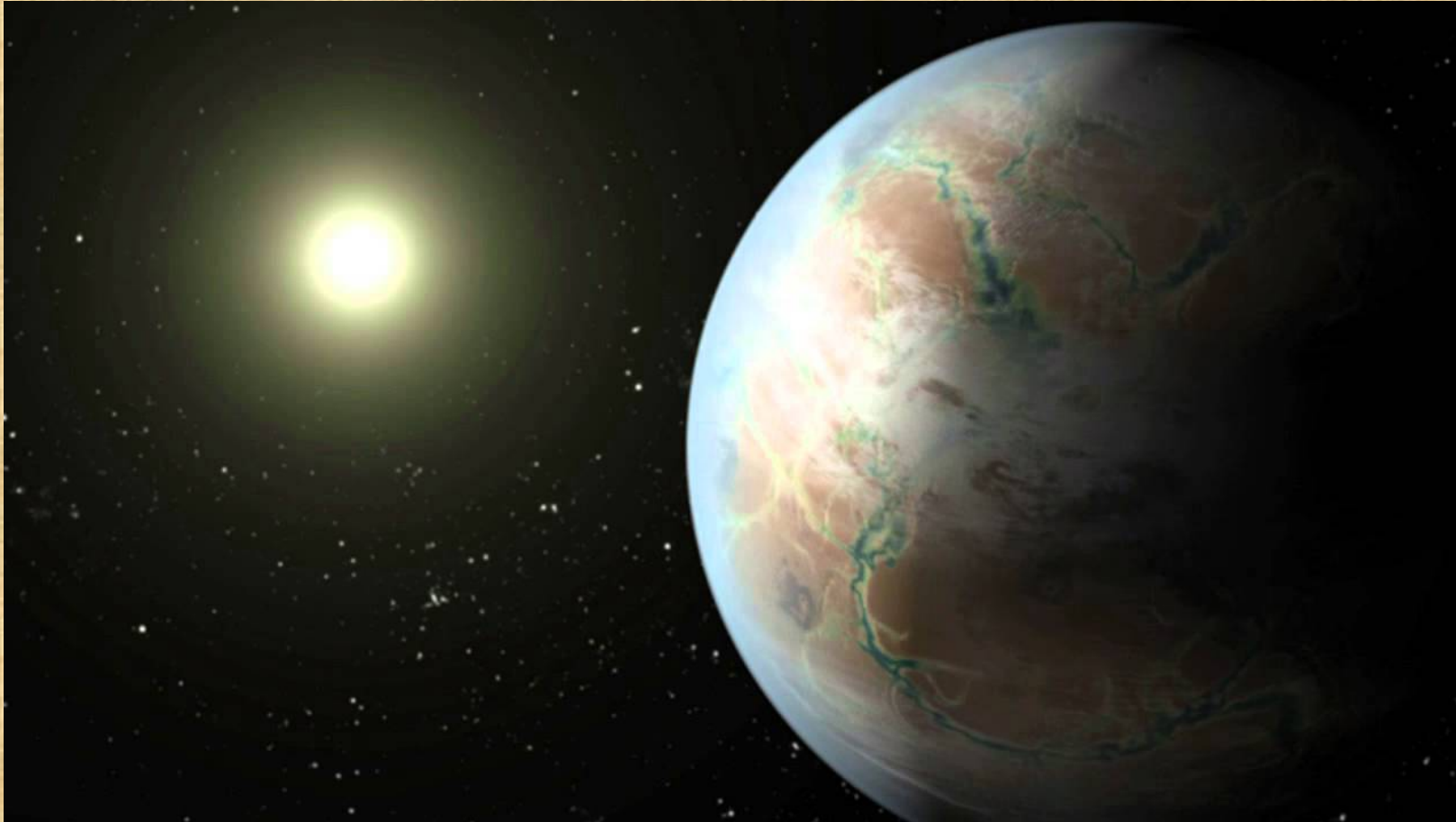
Trois types de migrations générales

- **Des supers terres, au-delà de la limite des glaces, migreront**
- **Une jupiter se forme et migrera lentement, bloquant les supers terres**
- **2 Jupiters se forment et migrent très peu**

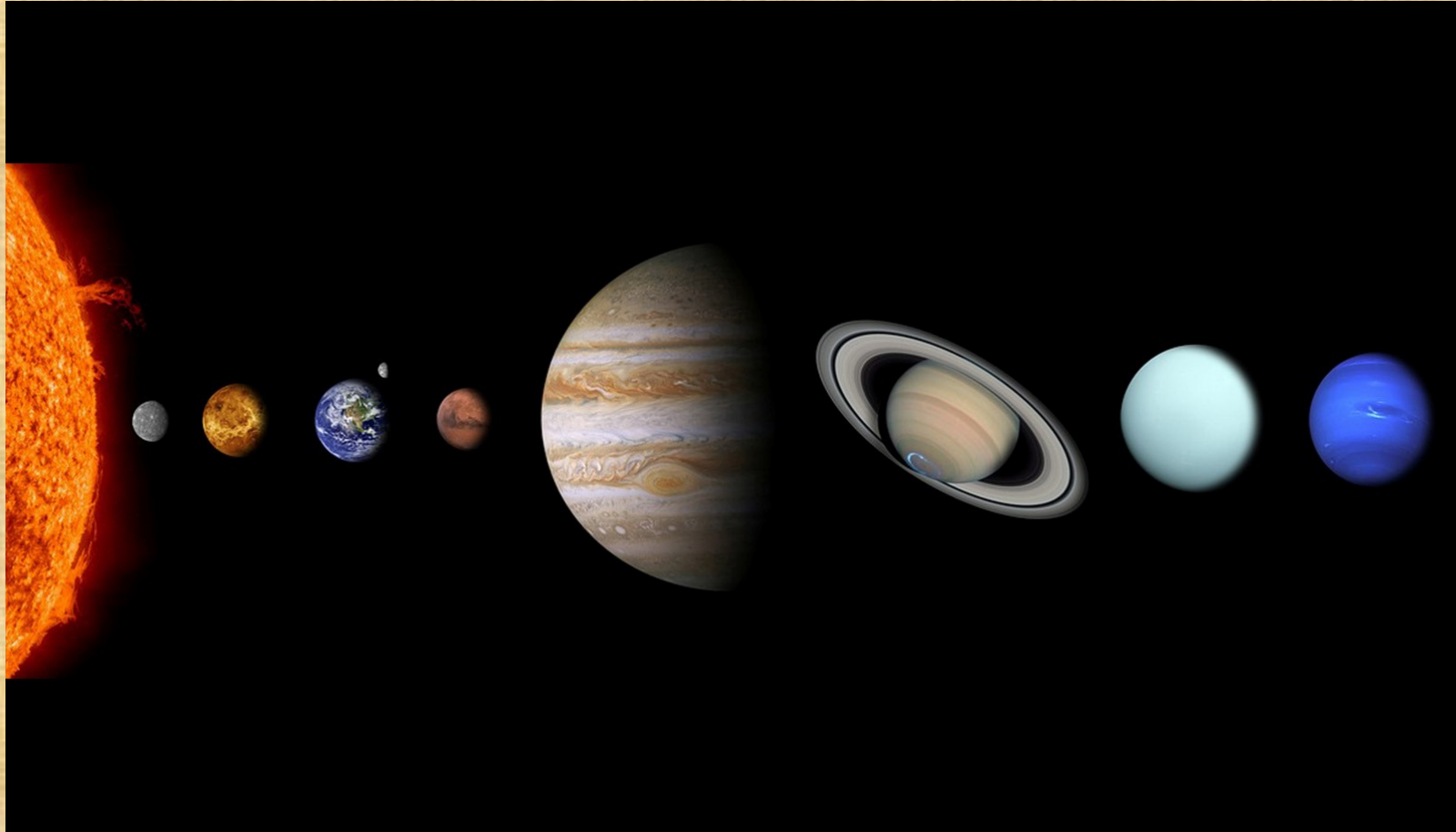
Cas 1 : un système de super terres chaudes



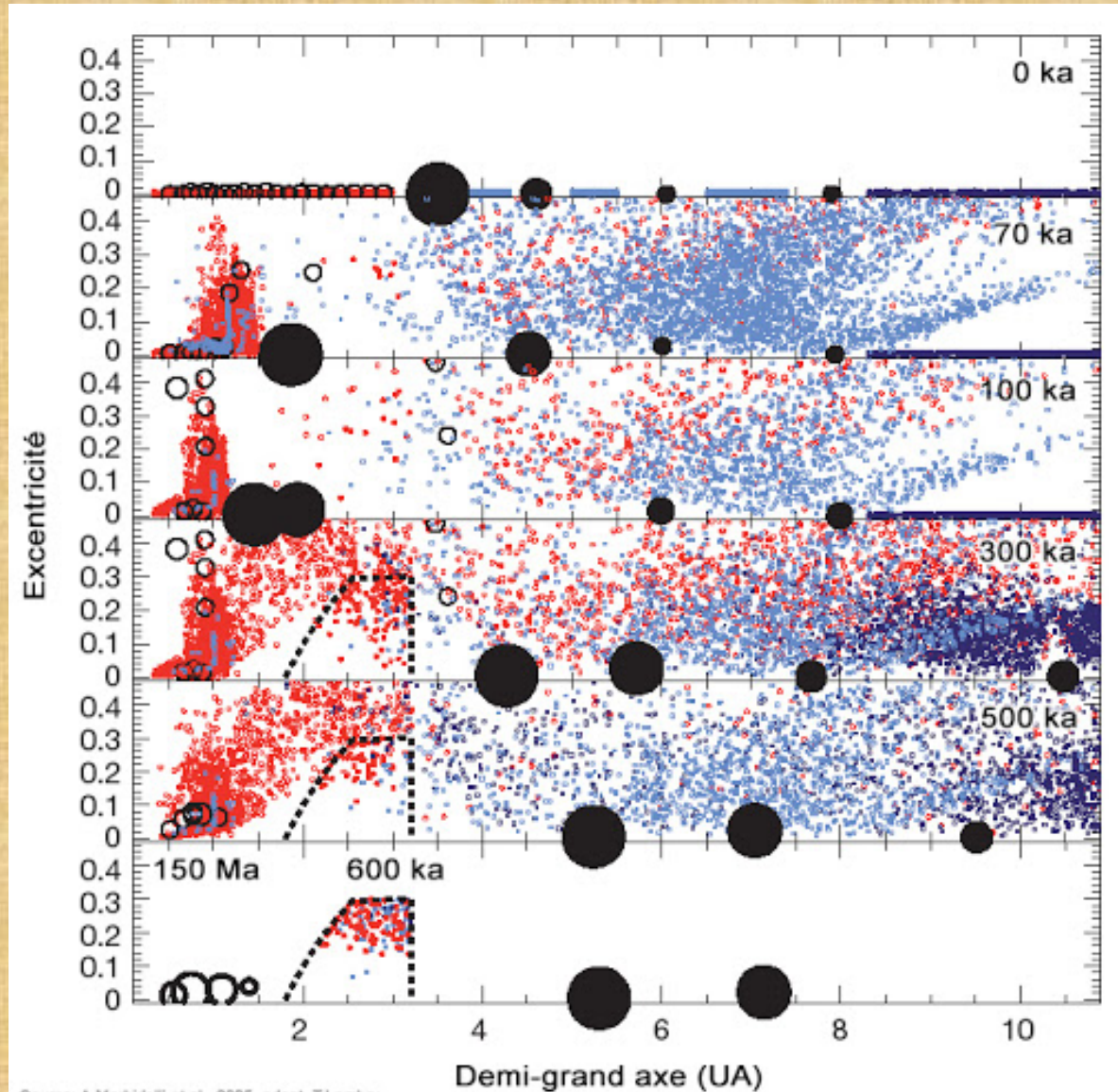
Cas 2 : une gazeuse aspire tout



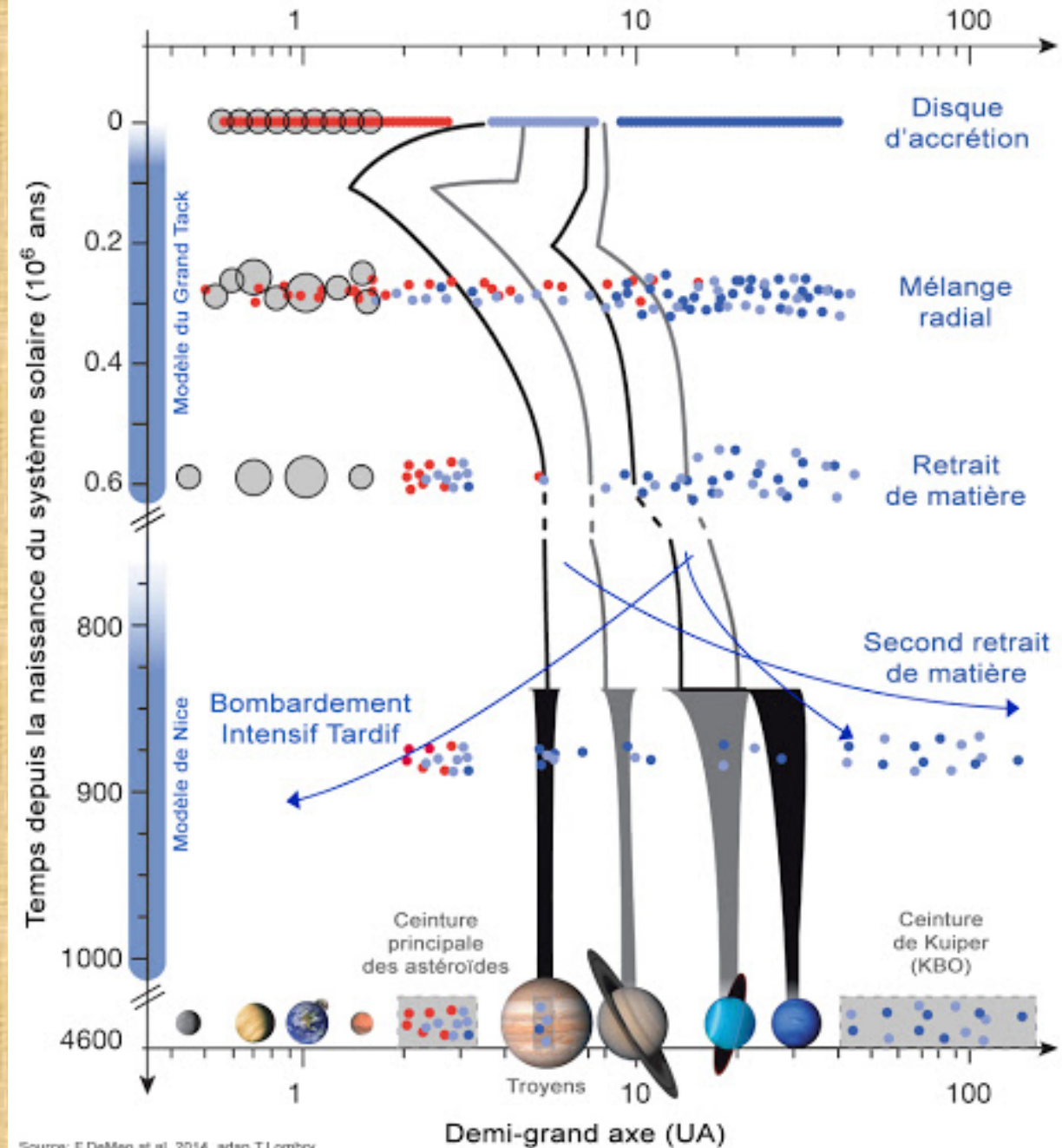
Cas 3 : **une deuxième gazeuse freine la 1ère**



Modèle du grand tack (virement de bord)

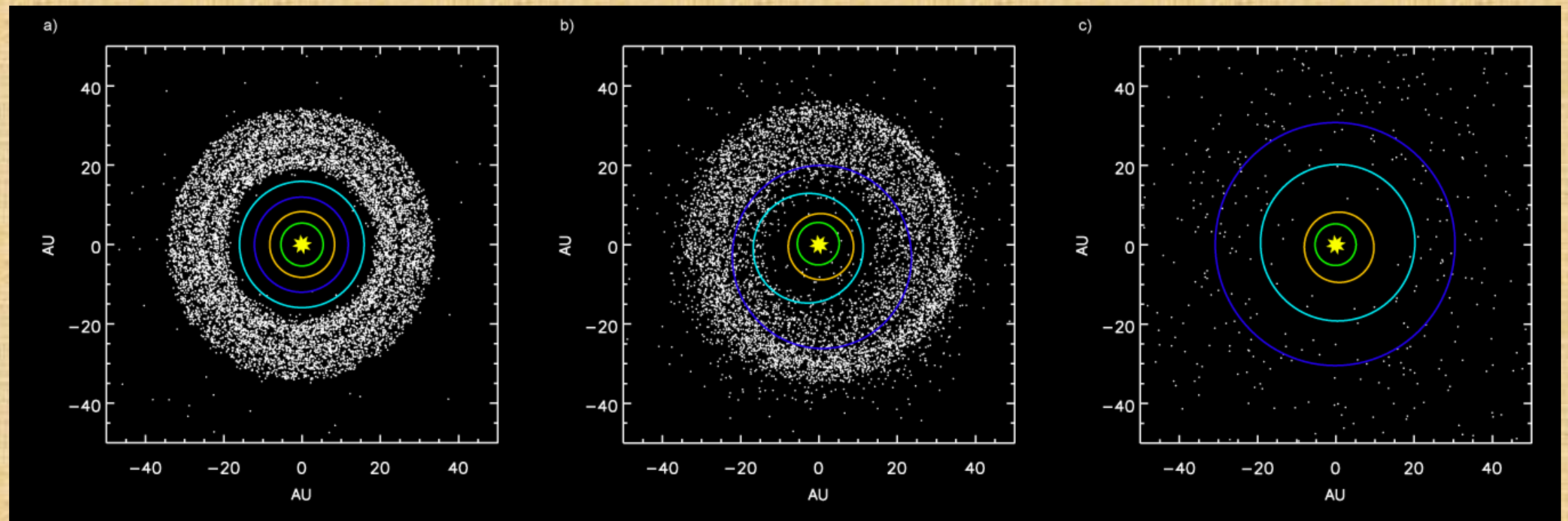


Le modèle de Nice



Source: F.DeMeo et al. 2014, adap.T.Lombry

Modèle de Nice



En conclusion...

- **Les exoplanètes sont fréquentes autour des autres étoiles.**
- **Notre système ne ressemble pas trop aux autres.**
- **La formation des étoiles se fait par effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et de poussière et est extrêmement rapide.**
- **Les planètes se forment par accumulations de grains de plus en plus gros.**
- **Les géantes gazeuses se forment rapidement et au-delà de la limite des glaces.**
- **Elles migrent vers le soleil selon une grande diversité de chemin possible.**
- **Une fois le système stable, on observe soit un système de super terres, sans géante gazeuse, soit une ou deux géantes chaudes.**
- **Si on comprend comment notre système a pu se former, les théories restent incomplètes.**
- **Détecter des systèmes semblables restera complexe, mais il en existe sans doute.**
- **Il faut observer des disques protoplanétaires et nos propres ceintures de débris pour affiner nos connaissances.**

PDS70

**Première observation d'un disque
protoplanétaire avec des planètes
(SPHERE)**

