

Trier et classer le Système solaire

Alain Doressoundiram



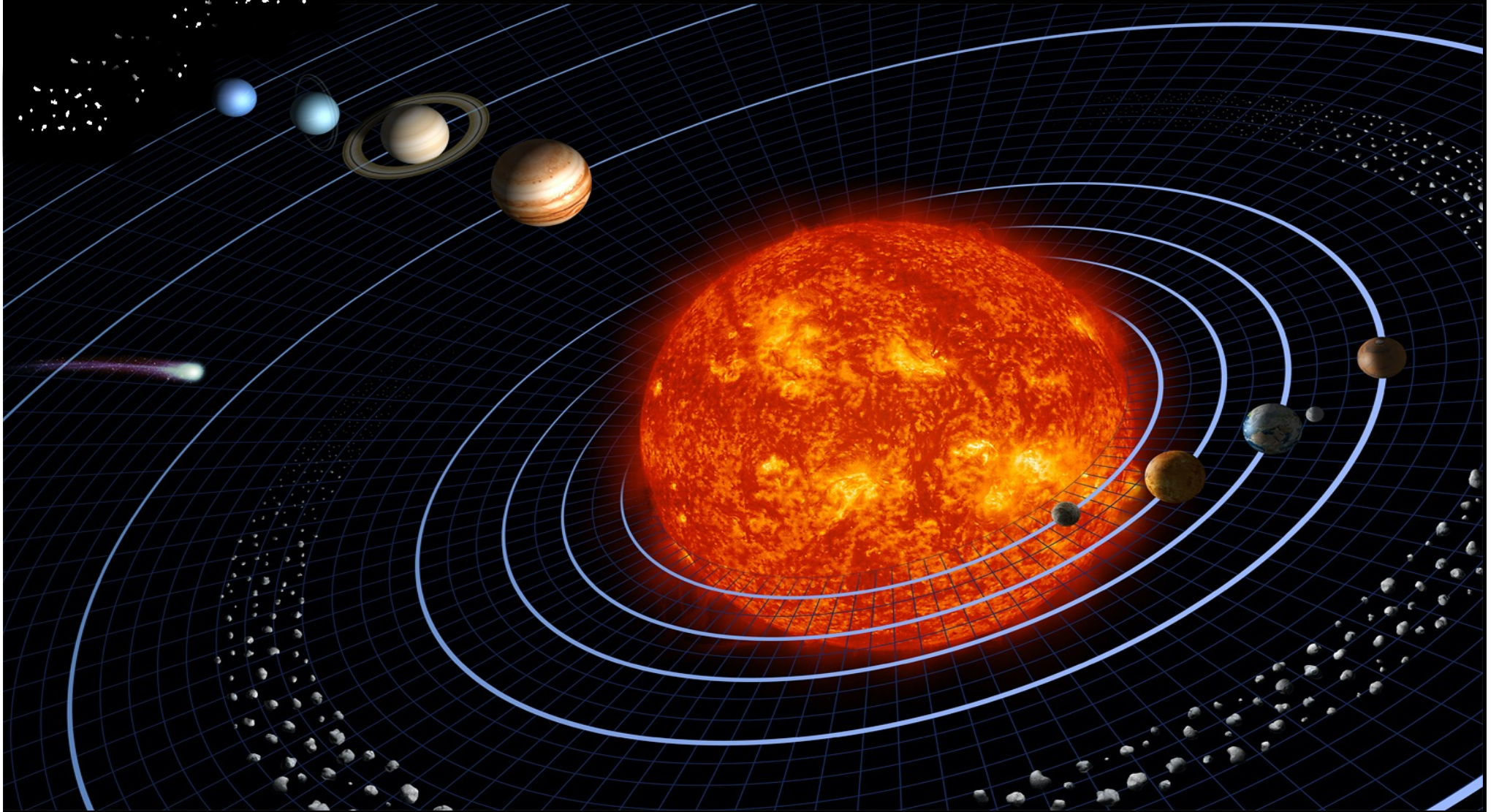
Deux exemples

- **Définir une planète**
- **Taxonomie des astéroïdes**

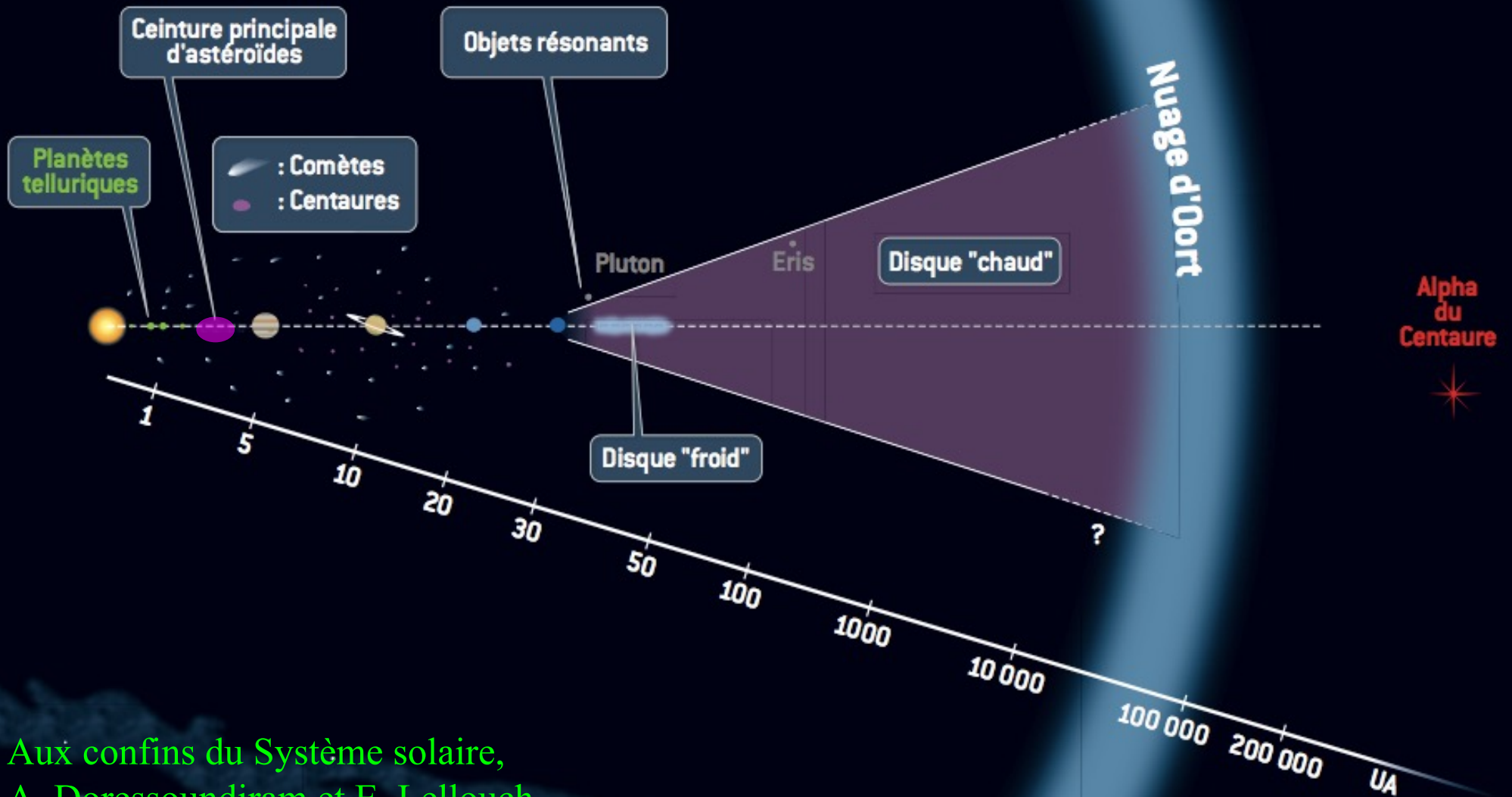
Taxonomie : science du classement

*Définir une
planète*

Le Système solaire



Coupe du Système solaire



Aux confins du Système solaire,
A. Doressoundiram et E. Lellouch
Belin (2008)

Le Système solaire après le 24 Août 2006



Définition d'une planète

- en orbite autour du Soleil
- « rond »
- a fait le « ménage » sur son orbite

Transneptuniens

Crédit NASA

A space scene with a bright star in the upper left, a galaxy in the background, and two asteroids in the foreground. The scene is set against a dark blue background with scattered stars.

7 7 11 16 6 7 11 12 13 8 10 8 9 8

The background is a dark space scene with a gradient from deep blue to black. It features a large, reddish-brown planet in the lower-left quadrant, a smaller brown planet in the upper-middle, and a bright star with a lens flare in the upper-right. Numerous small white stars are scattered throughout.

*Le nombre
des planètes
au cours de
l'histoire*

antiquité

1543

1610

1684

Début 18e

1781

1807

1845

1846

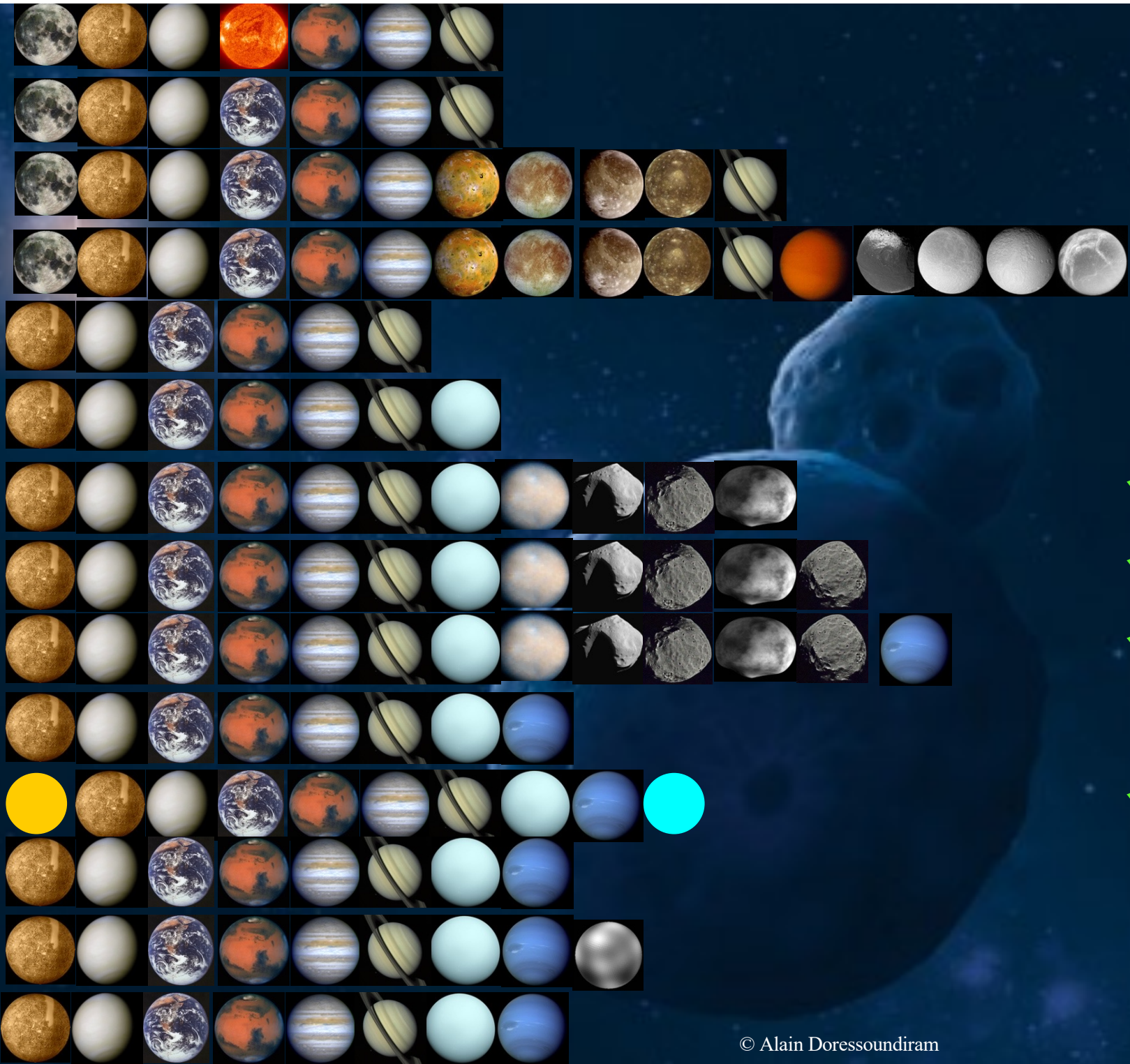
1850'

1859

Début 20e

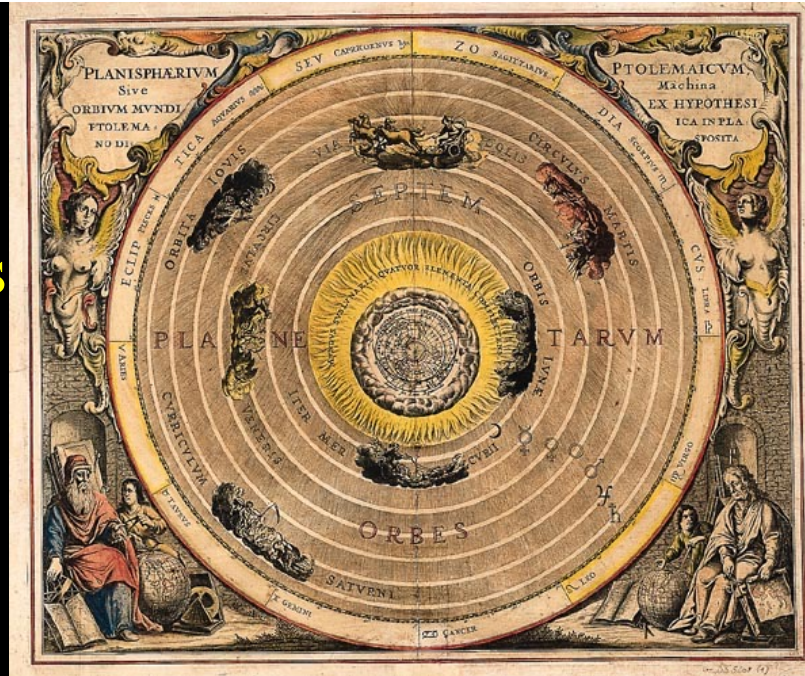
1930

2006



7
7
11
16
6
7
11
12
13
8
10
8
9
8

Aristote (-384 -322)
et Ptolémée (90 - 168):
La Terre au centre de l'univers



définition

« planète » = astre errant,

tout ce qui bouge par rapport aux étoiles fixes



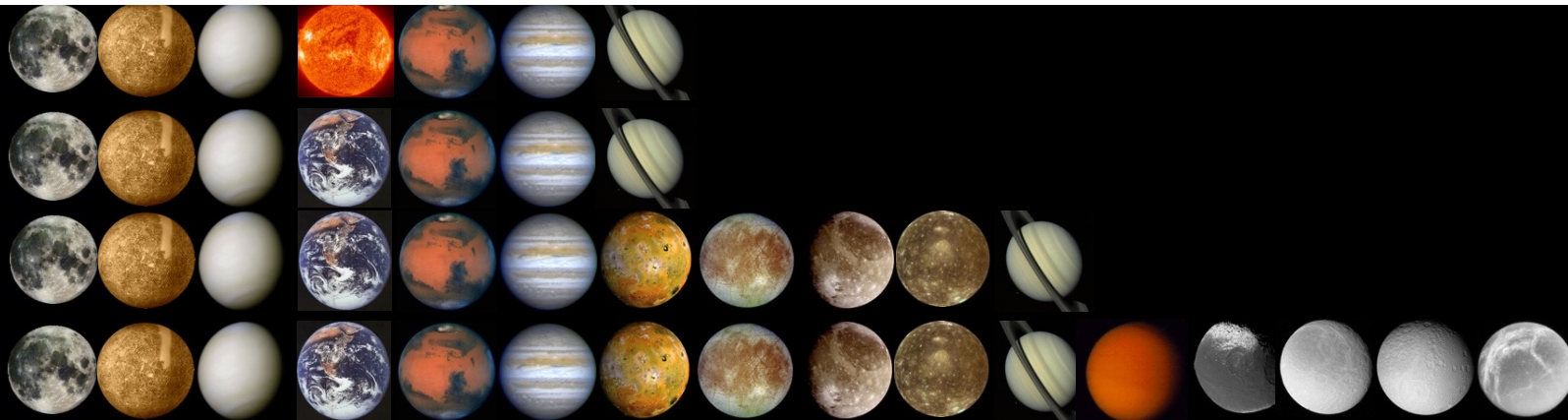
Nicolas Copernic (1473 - 1543)
De revolutionibus orbium celestium
Un système héliocentrique

antiquité

1543

1610

1684

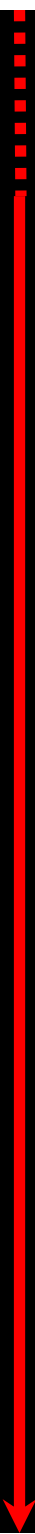


7

7

11

16



1610
 Ser.^{mo} Principe.
 Galileo Galilei Humiliss.^o Servo della Ser.^a V.^a inuigilando assiduamente, et da ogni spirito di potere no solam satisfare alcarico che tiene della lettera di Mathematici nella sua Dio di Padova,
 Si uore da uore determinato di presentare al Ser.^{mo} Principe l'Orchiale et a p. essere di Giouamenti inestimabile p. ogni bisogno et ombra marittima o terrestre stimo di tenere quel nuovo artificio nel maggior segreto et sceler a disposizione di S.^a Ser.^a L'Orchiale conato dalle piu re d'arte speculazioni di prospettiva ha il uantaggio di scoprire Legni et Vele dell'inimico p. due hore et piu di tempo prima che essi scuopra noi et distinguendo il numero et la qualita de i dappelli giudicare le sue forze pallestarsi alla caccia al ambattimento o alla fuga, o pure anco nella campagna aperta uedere et partialarmy distinguere ogni suo moto et preparamento.
 Aprile 7. di Gennaio
 Giove si uede anco * * * * *
 Ad 8. anco * * * * *
 Ad 12. si uede in tale costruzione * * * * *
 Ad 13. si uedono manij. a Giove 4 stelle * * * * *
 Ad 14. e rugolo * * * * *
 Ad 15. * * * * *
 La spazi delle 3 aueritabili no era maggiore del diametro di 7. et e uano in linea retta.
 7. long. 71. 38 Lat. 1. 13

Galileo Galilei (1564-1642)

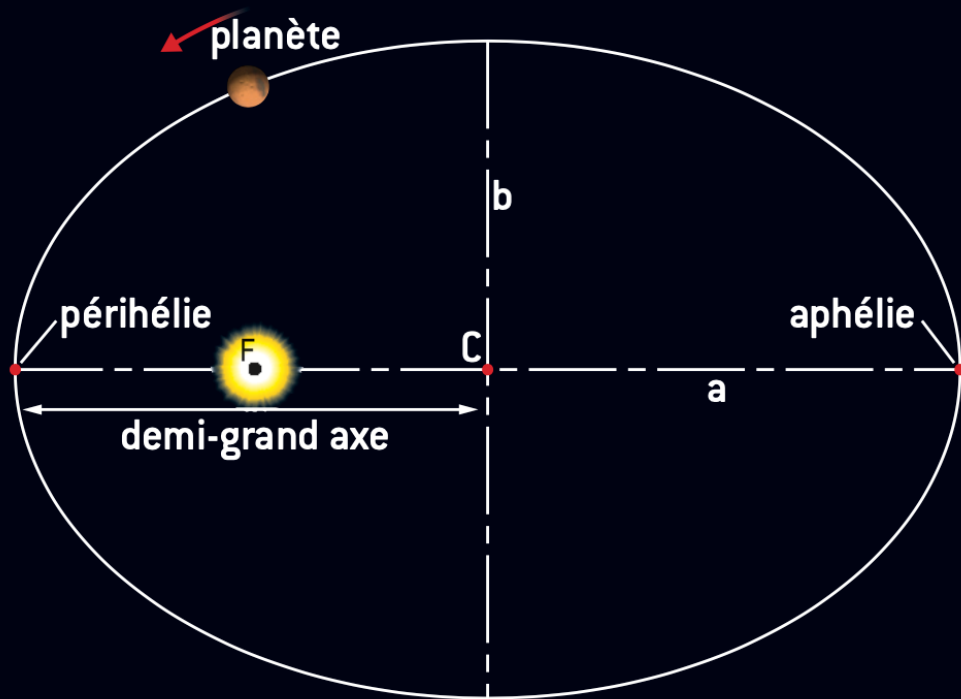
La lettre de Galileo Galilei (1610) au Doge de Venise décrivant ses observations des satellites de Jupiter



Jean-Dominique Cassini

1625-1712

Découverte de 4 satellites de Saturne



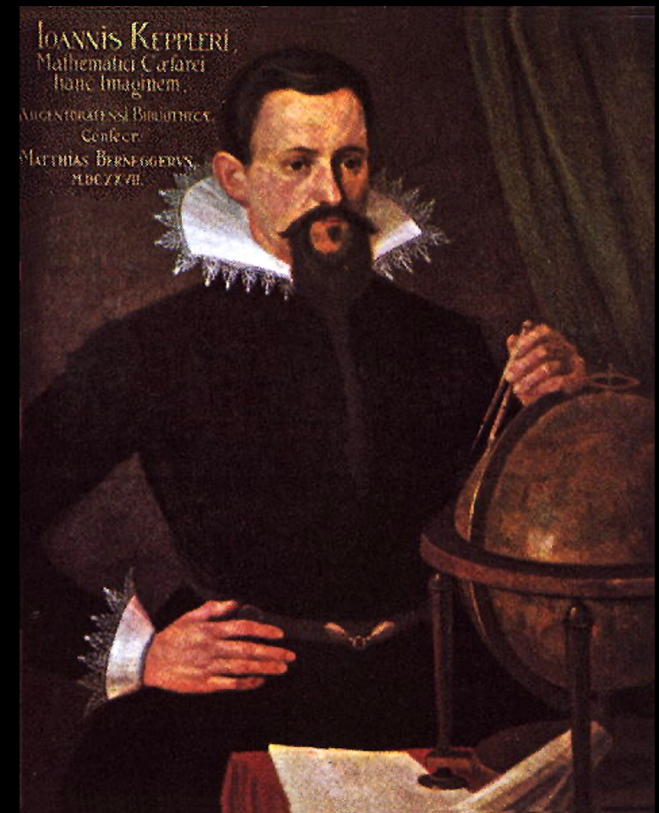
Demi grand axe a
Période de révolution P

Johannes Kepler (1564-1642)

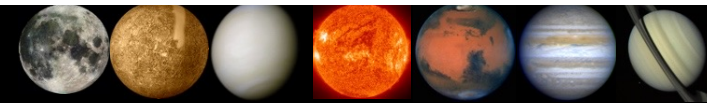
3^{ème} loi de Kepler (1619):

$$a^3 / P^2 = \text{constante}$$

définition



antiquité



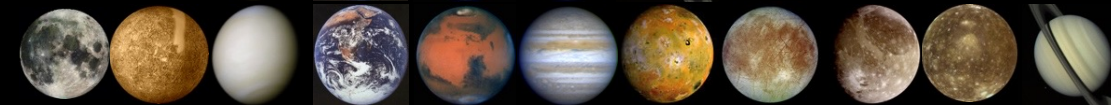
7

1543



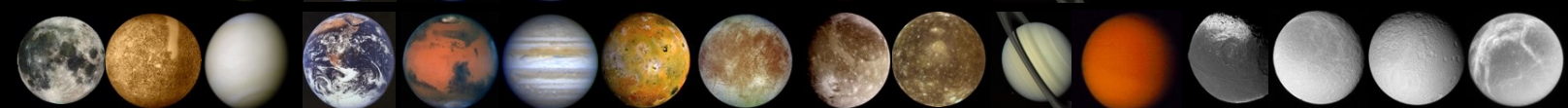
7

1610



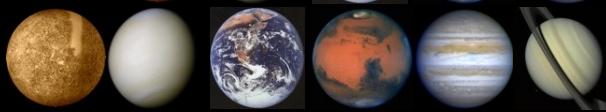
11

1684



16

Début 18e

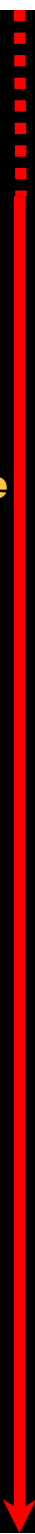


6

1781



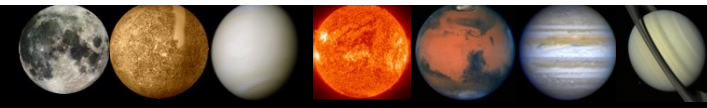
7



William Herschel
17 Mars 1781
Découverte d' Uranus



antiquité



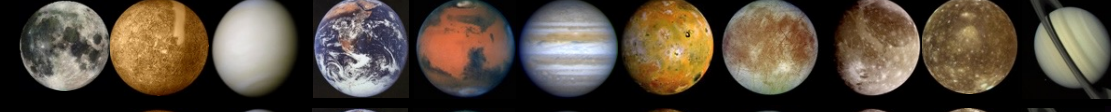
7

1543



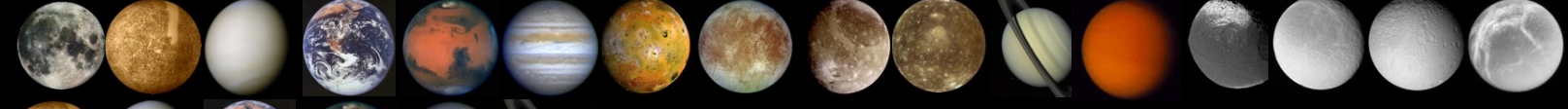
7

1610



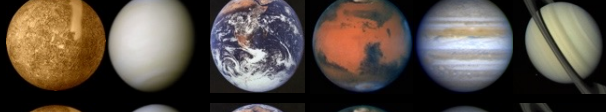
11

1684



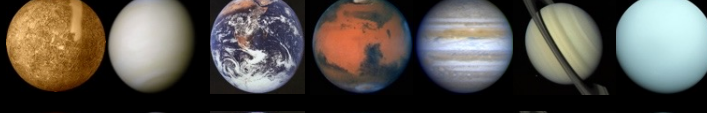
16

Début 18e



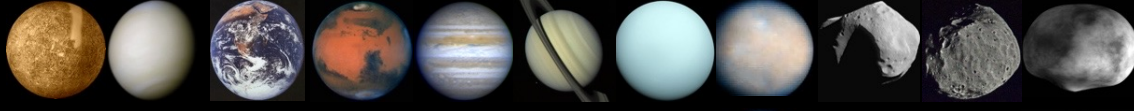
6

1781



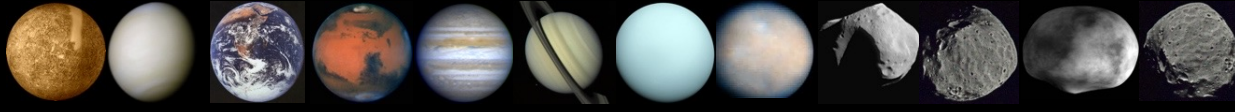
7

1807

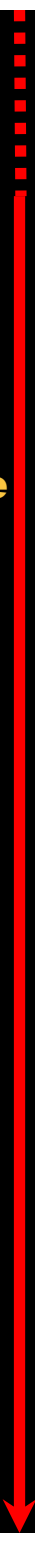


11

1845



12



Loi de Titus Bode (1766)

$$d_{\text{planète}} = 0,4 + 0,3 \times N \quad \text{définition}$$

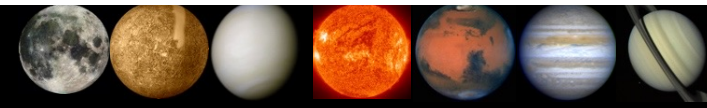
$d_{\text{planète}}$: distance héliocentrique en U.A.
 $N = 0,1,2,4,\dots$



Giuseppe Piazzi 1746 - 1826

Planète	N	Distance prédite	Distance réelle
Mercure	0	0,4	0,39
Venus	1	0,7	0,72
Terre	2	1	1,00
Mars	4	1,6	1,52
Lacune	8	2,8	2,77
Jupiter	16	5,2	5,20
Saturne	32	10,0	9,54
Uranus	64	19,6	19,19
Neptune	128	38,8	30,07
Pluton	256	77,2	39,53

antiquité



7

1543



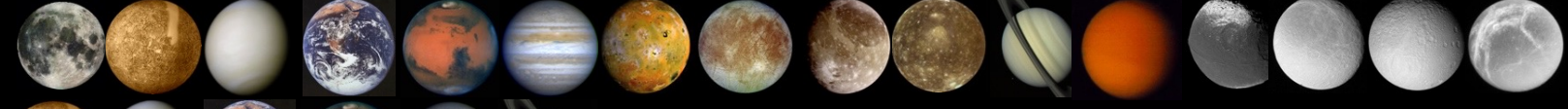
7

1610



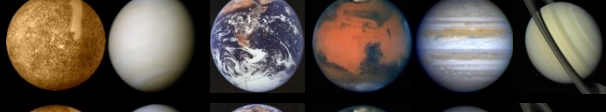
11

1684



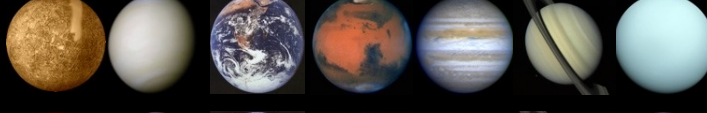
16

Début 18e



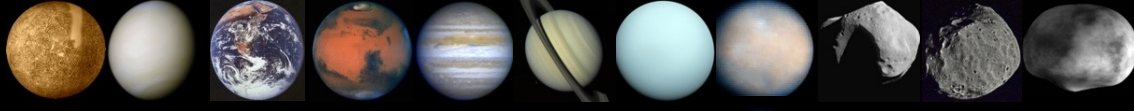
6

1781



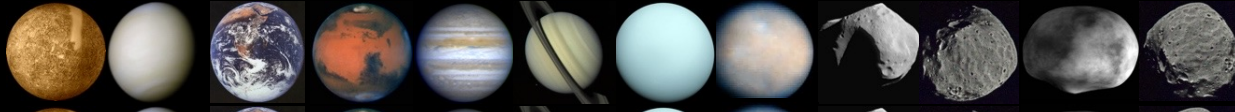
7

1807



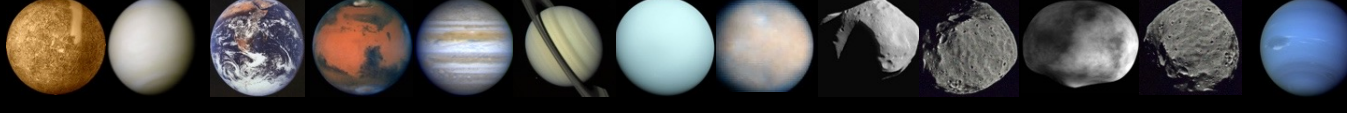
11

1845

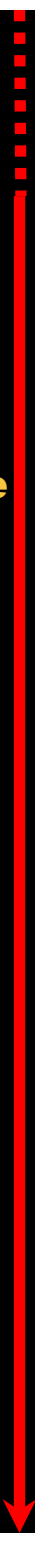


12

1846

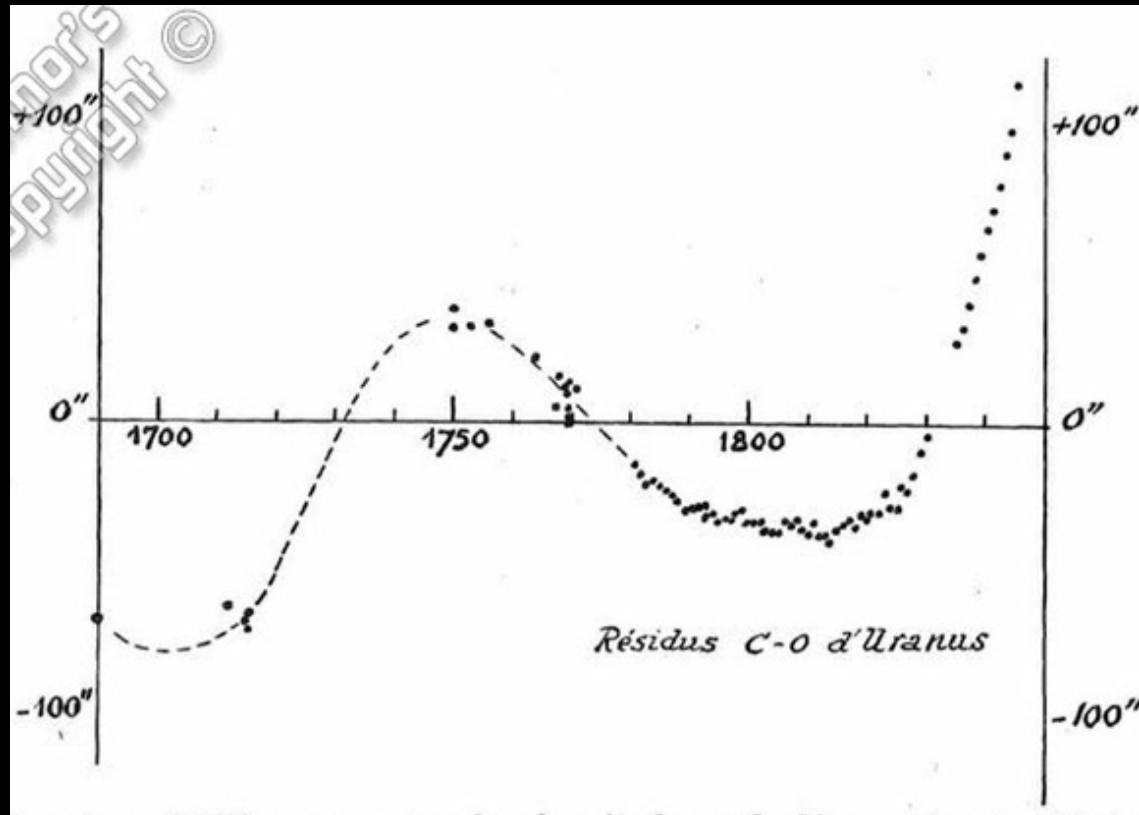


13



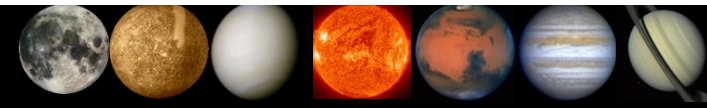
Une découverte à la pointe de la plume!

Le problème du mouvement d'Uranus et la découverte de Neptune (Adams, Le Verrier, Galle) le 23 Septembre 1846



Billet de 50 francs pour le centenaire de la découverte

antiquité



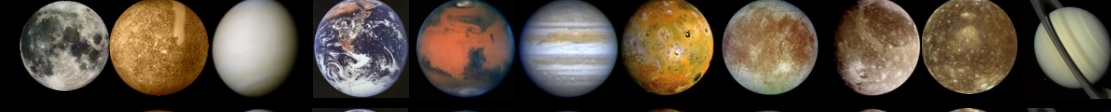
7

1543



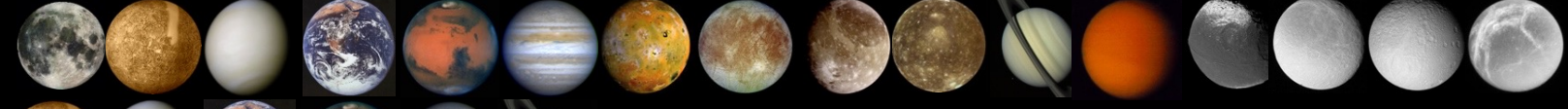
7

1610



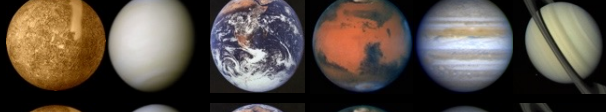
11

1684



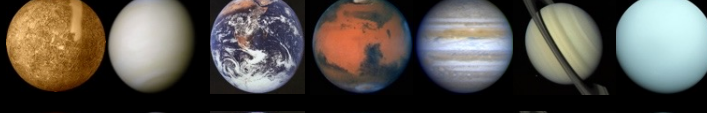
16

Début 18e



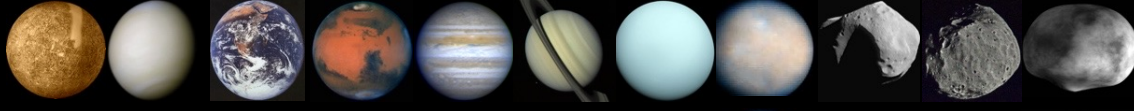
6

1781



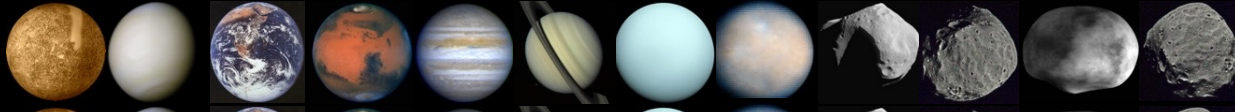
7

1807



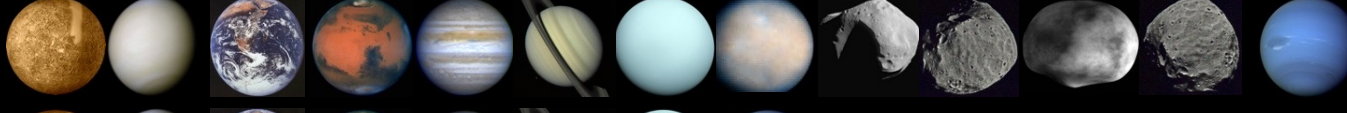
11

1845



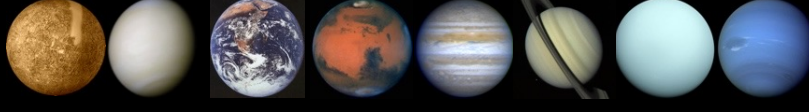
12

1846

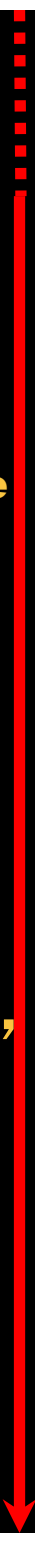


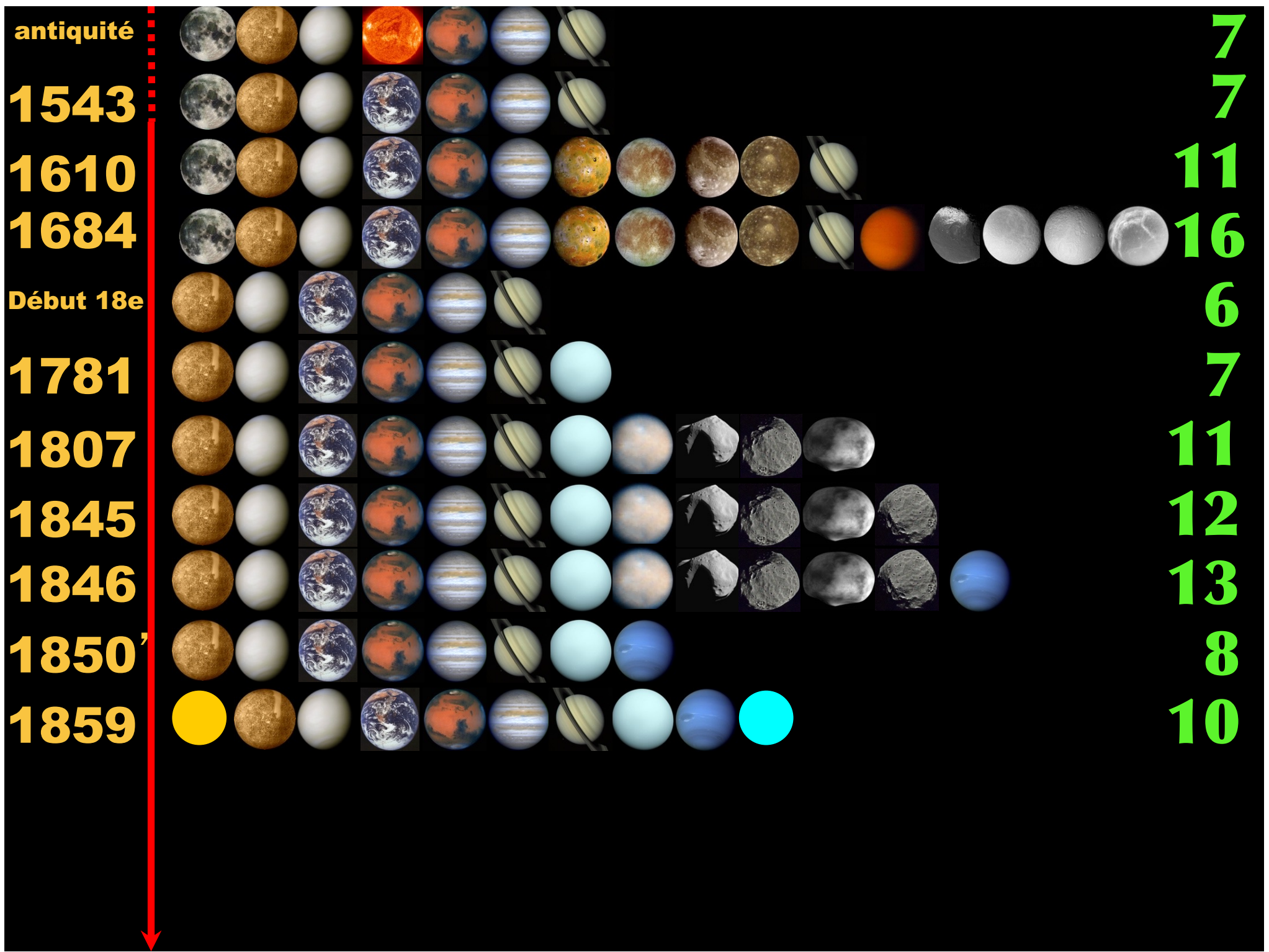
13

1850'



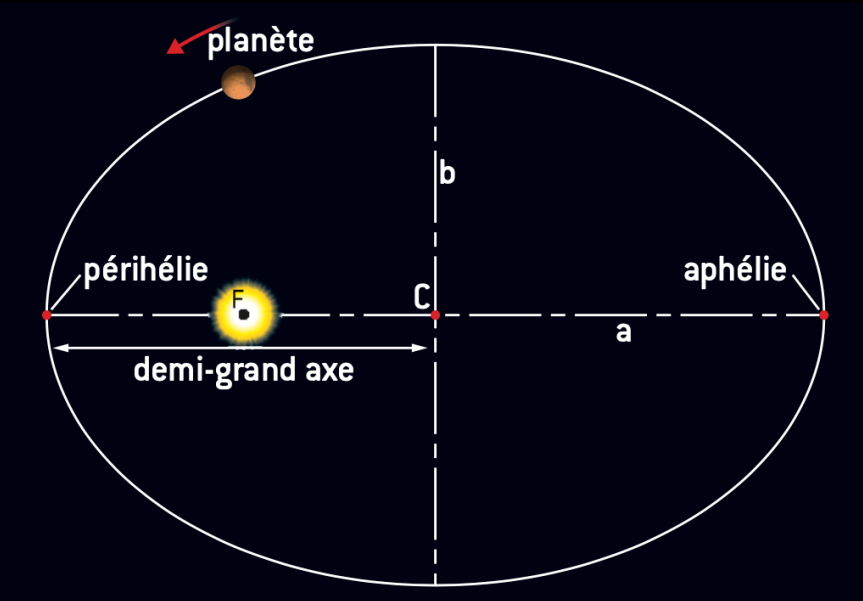
8



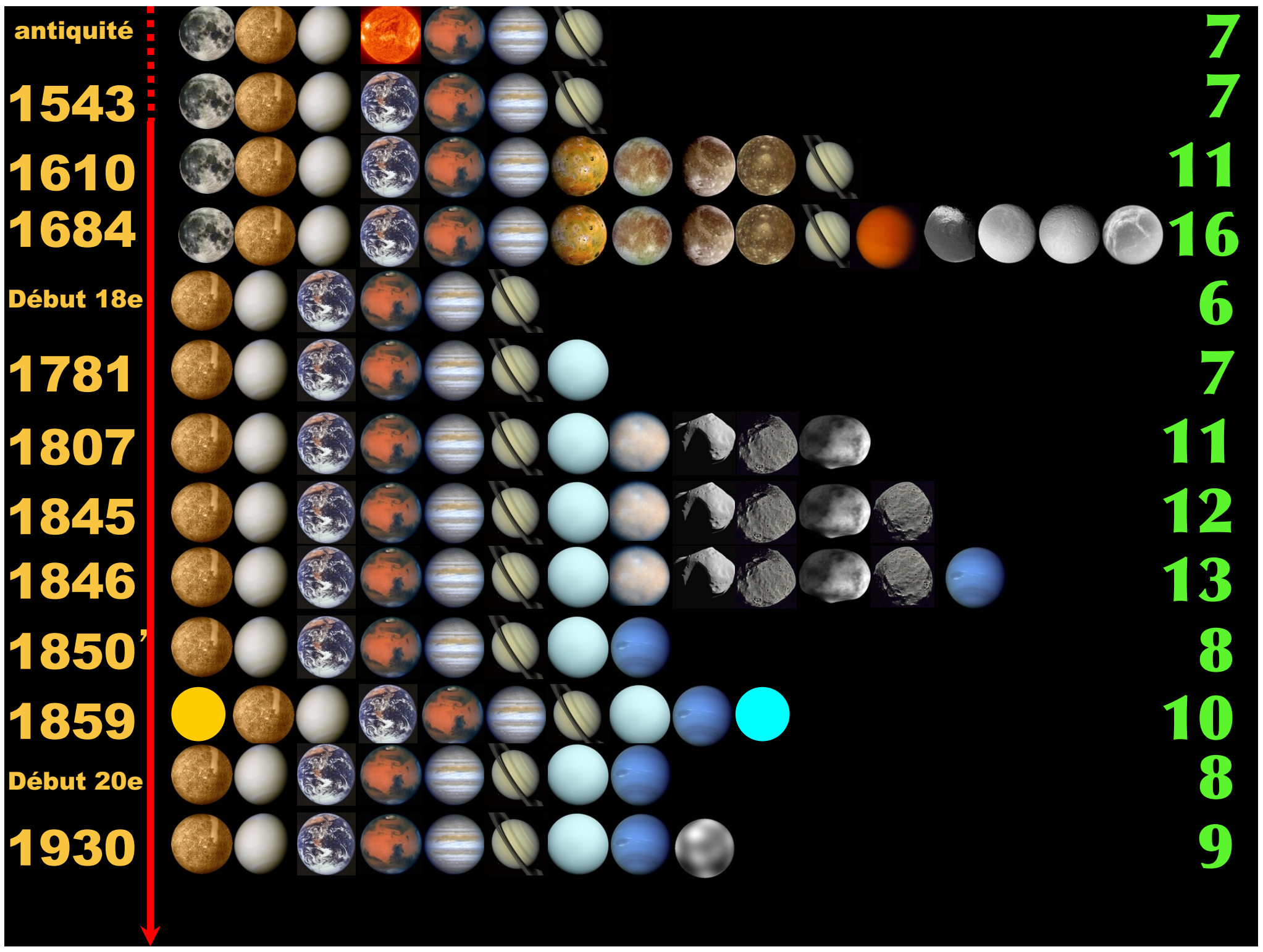


1859 : La planète Vulcain ?

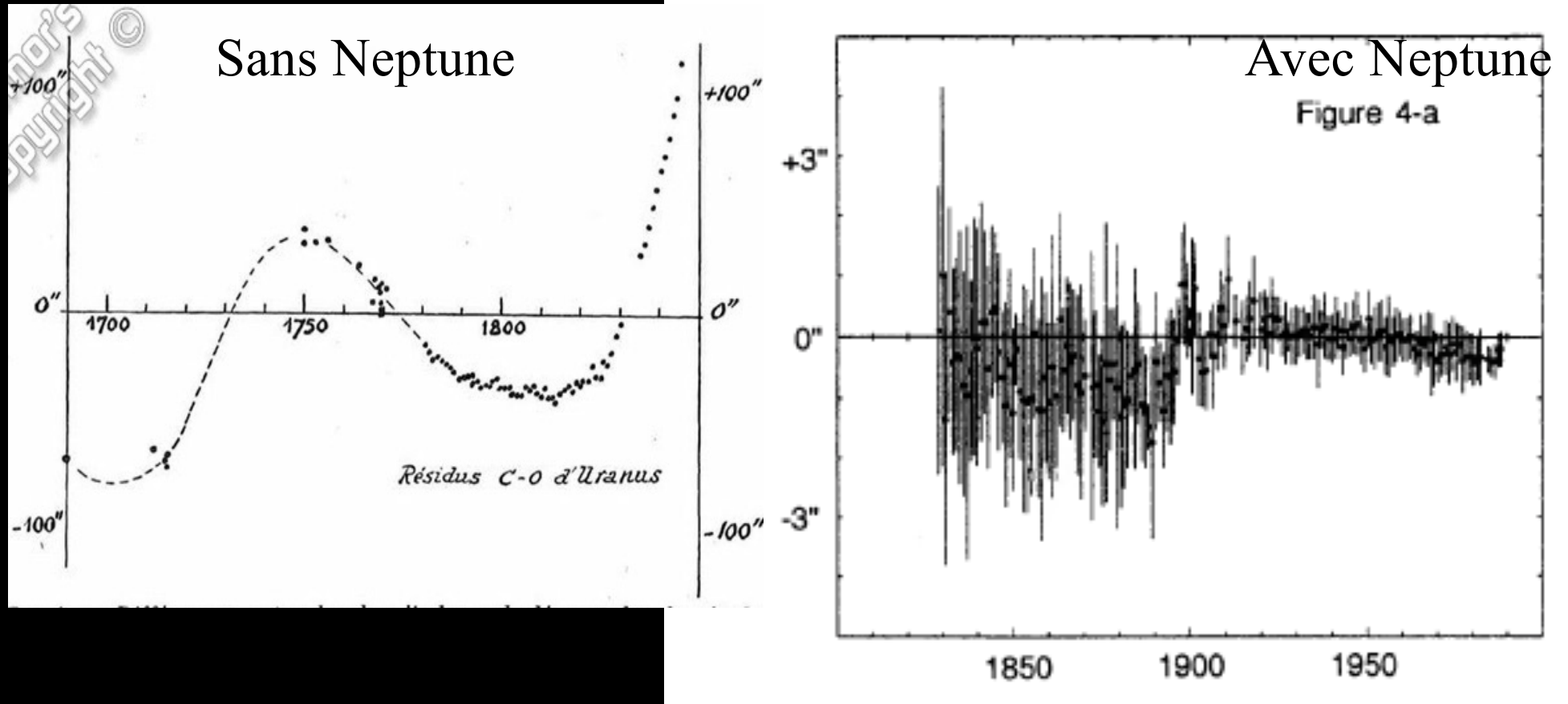
un autre grand problème de physique non résolu à l'époque: la *précession du périhélie* de Mercure.



Observatoire du Dr Lescarbault, 1863. Orgères en Beauce, (Eure et Loir). Cet astronome amateur croit avoir découvert la planète Vulcain en 1859
Cette observation ne fût jamais confirmée



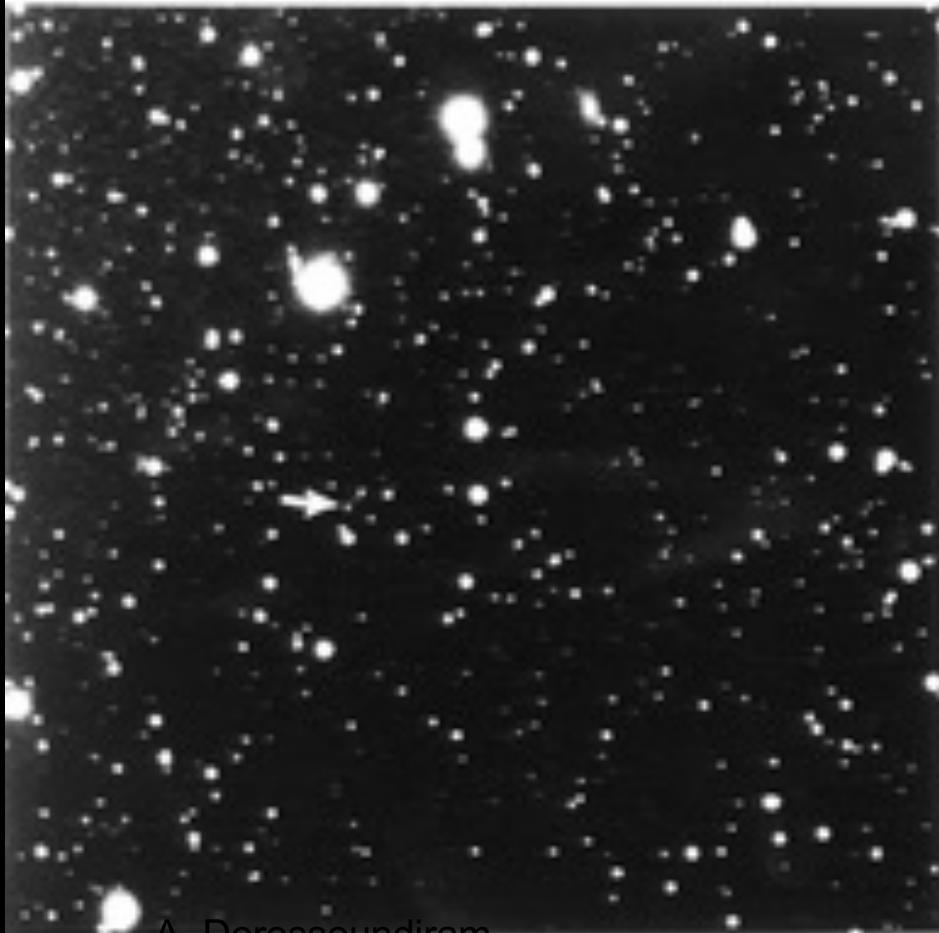
A la fin du XIXe siècle, le problème du mouvement d'Uranus ne semble pas entièrement réglé...



Janvier 1930: Découverte de Pluton par Clyde Tombaugh à Lowell Observatory



DISCOVERY OF THE PLANET PLUTO



A. Doressoundiram

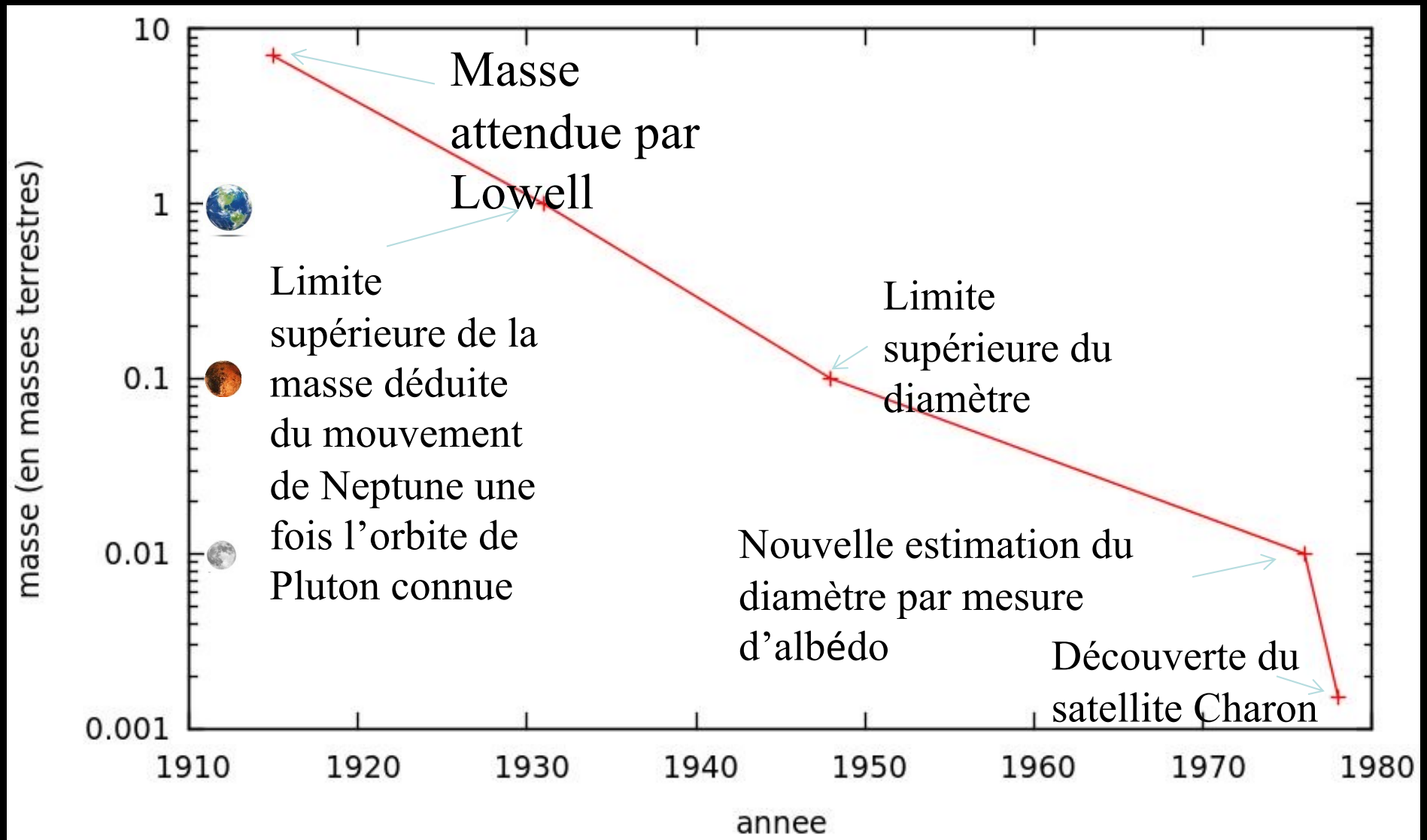
January 23, 1930



26

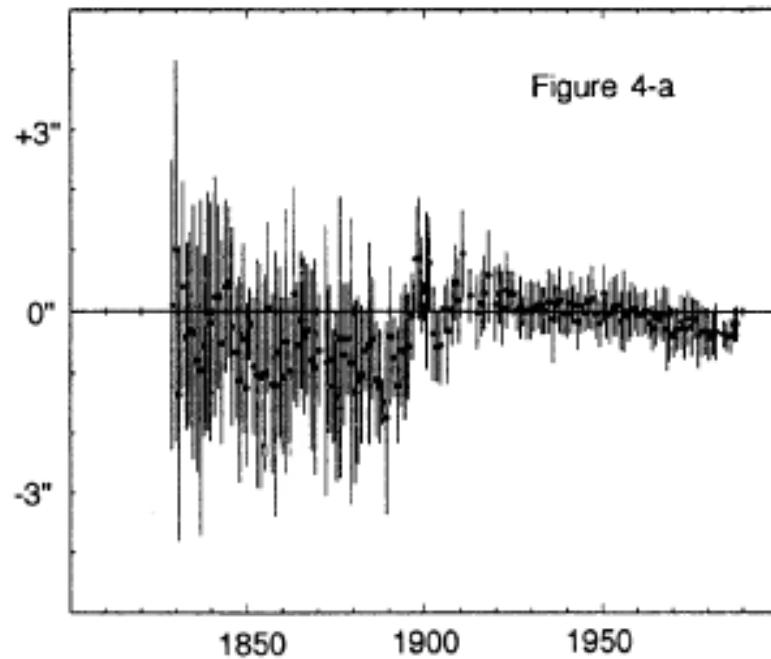
January 29, 1930

La descente aux enfers de Pluton

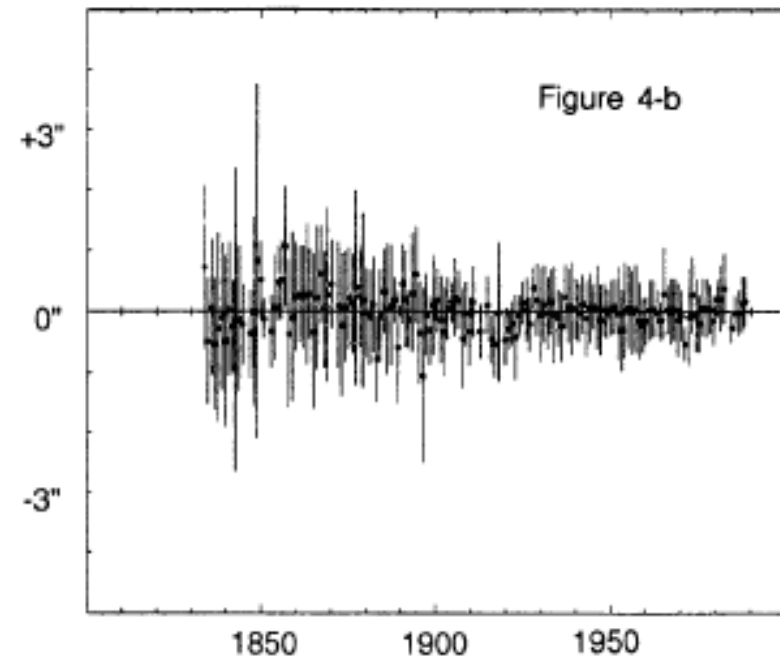


Pluton est une planète anormale, orbitalement ET physiquement

Il n'y avait pas besoin d'une planète X...

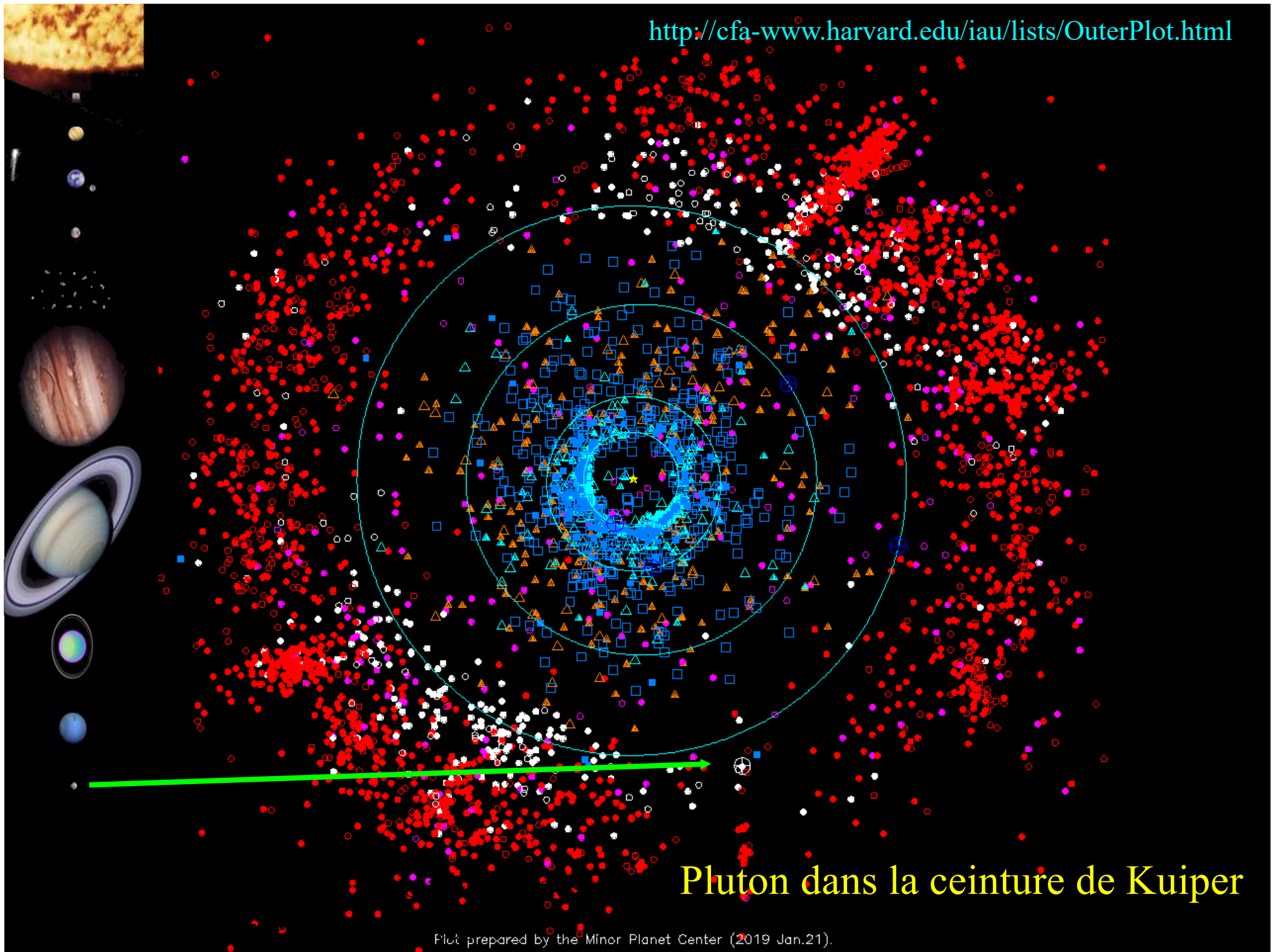


Avant Voyager



Après les mesures de masse
de Voyager (1979-1989)

**Résidus entre observation et théorie
dans le mouvement d'Uranus**



Pluton dans la ceinture de Kuiper

A large, dark, circular planet is positioned on the left side of the frame. The background is a vast, star-filled space with a prominent, glowing, yellowish-white ringed planet (resembling Saturn) in the upper right quadrant. The overall scene is set against a dark, starry sky with some nebulae visible.

*Comment définir une
planète au 21^e siècle?*

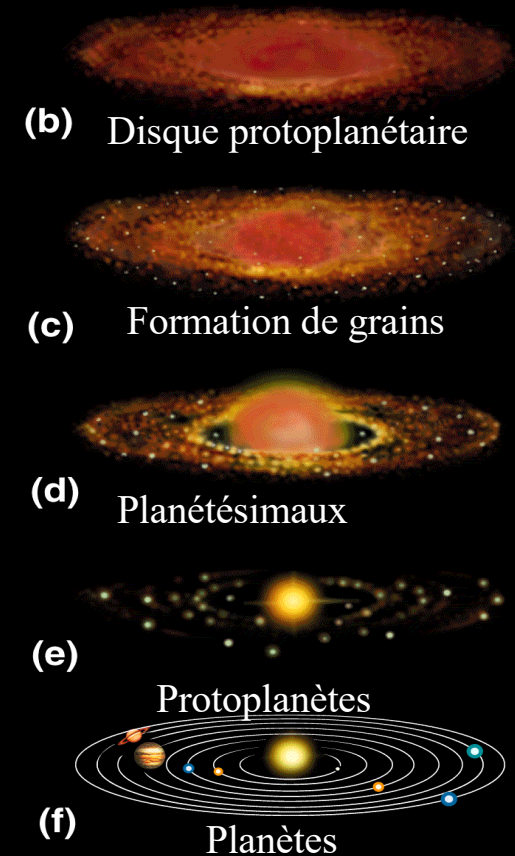
Définition d'une planète: le critère de « domination dynamique »

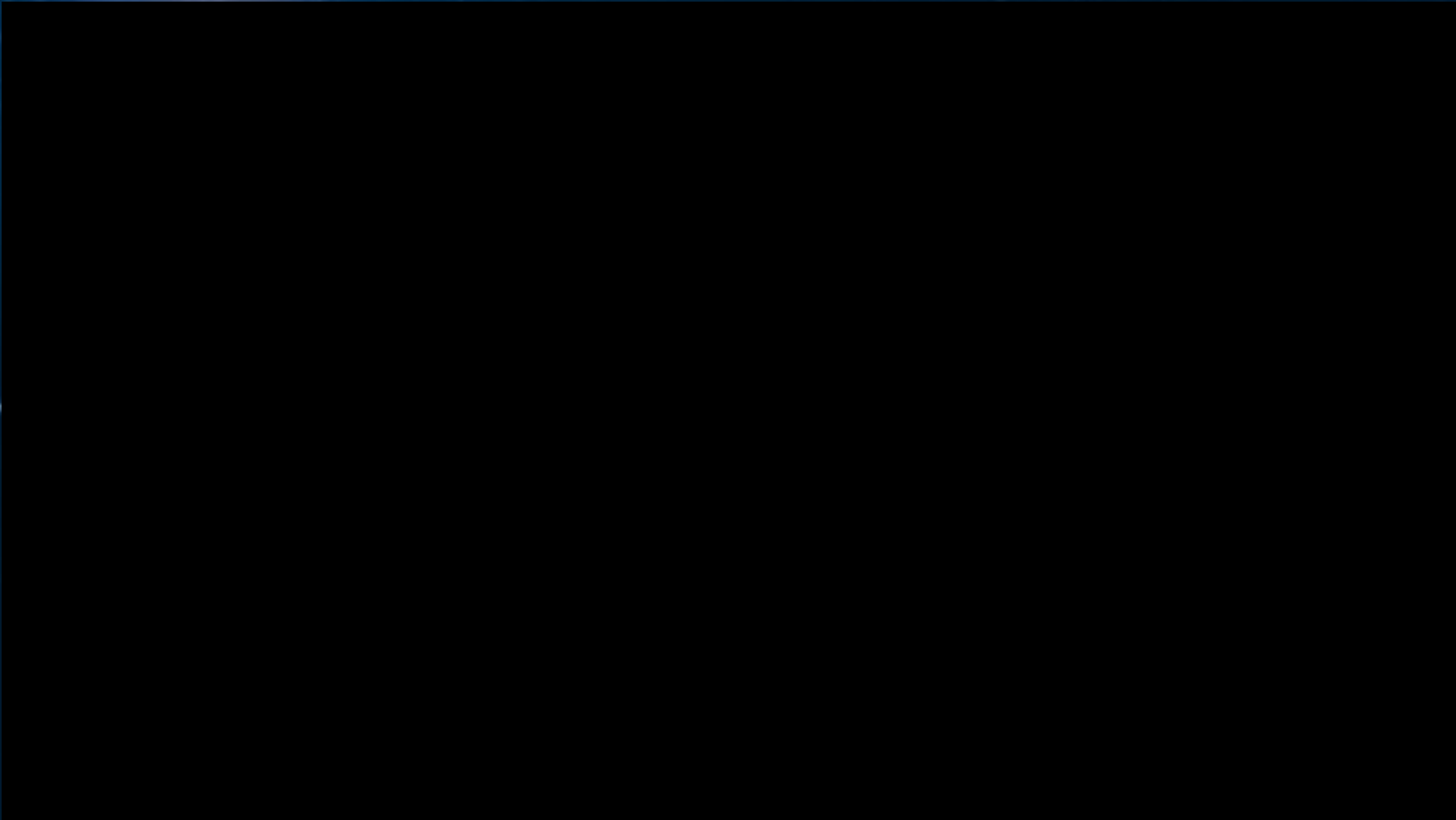
- Planète : objet qui domine son environnement
 - Objet isolé, ou dont la masse dépasse largement celle de sa « population locale » = les objets dont l'orbite croise celle du corps en question
 - Masse des astéroïdes géocroiseurs $< 1/10^6$ x masse de la Terre
 - Masse de Cérès = 1/3 masse de tous les astéroïdes

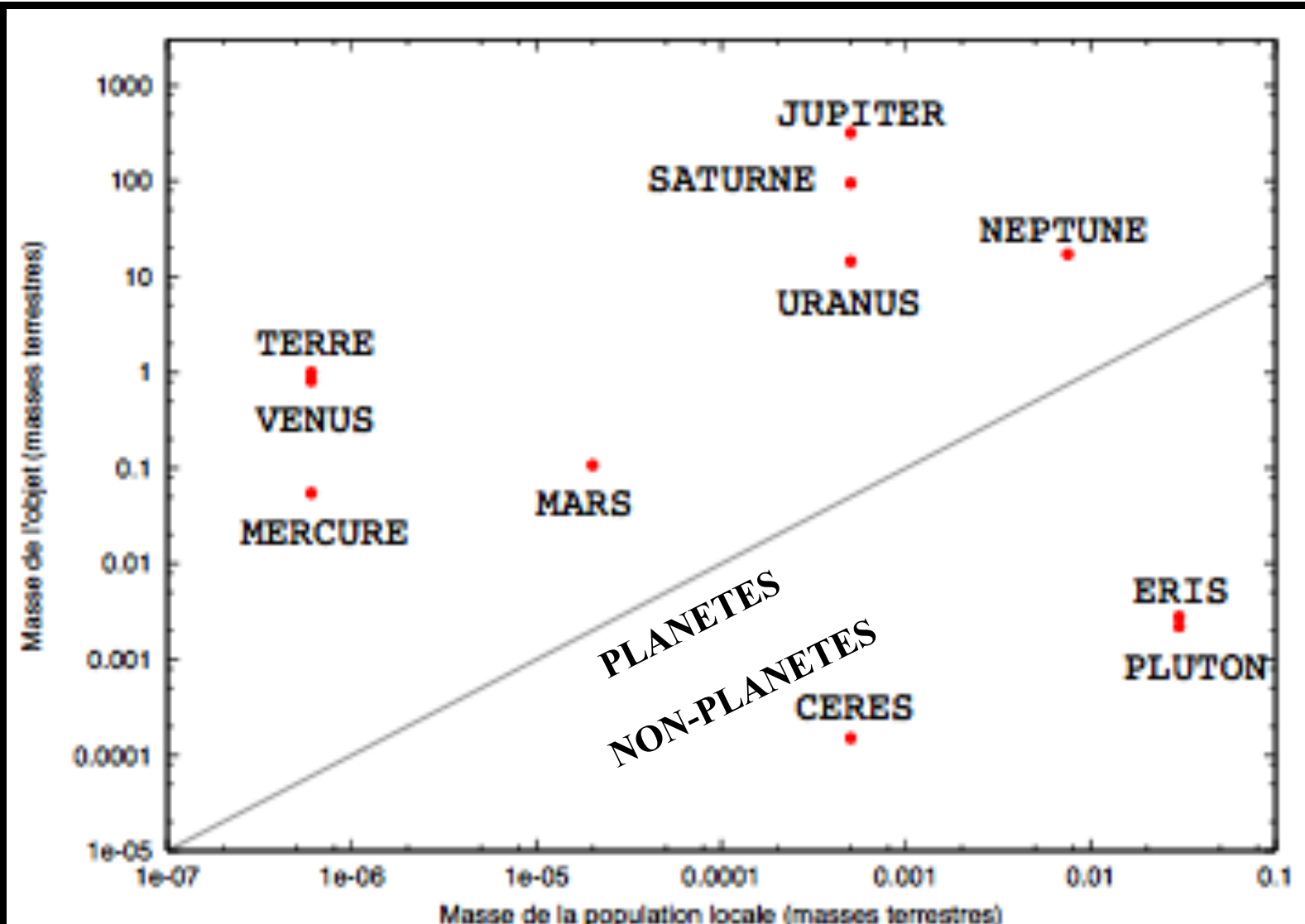
- Intérêt du critère
 - Renvoie au mécanisme de la formation planétaire

Planètes = le stade abouti du processus

Petits corps (astéroïdes, comètes) = les débris







Décision de l'Union Astronomique Internationale (24 août 2006)

Pour être une planète, un objet doit

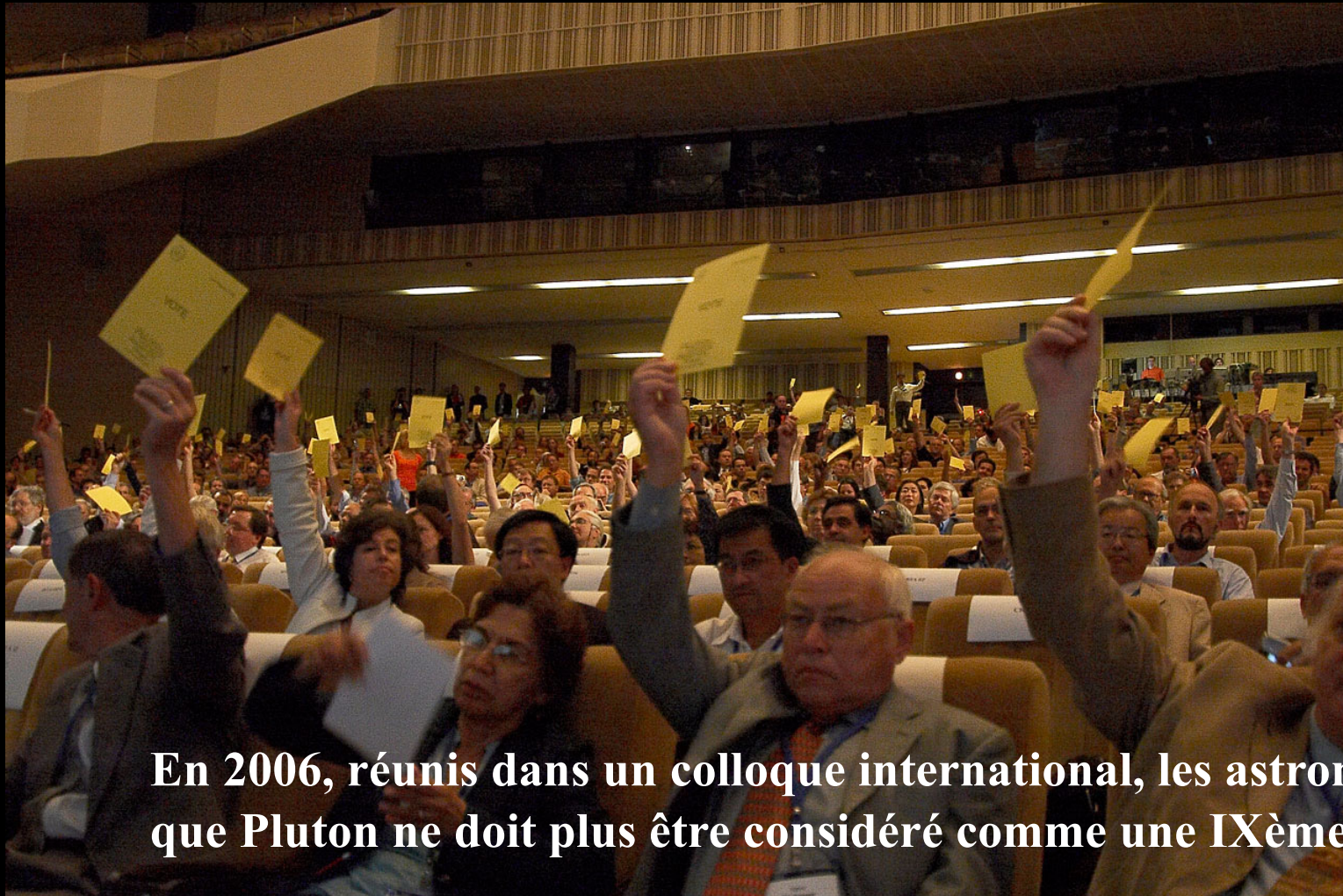
1. En orbite primaire autour du Soleil

2. Avoir une forme régulière (définie par l'équilibre hydrostatique)

3. Satisfaire au critère de domination dynamique (sinon, planète naine)

24 août 2006: Pluton disparaît de la liste des planètes

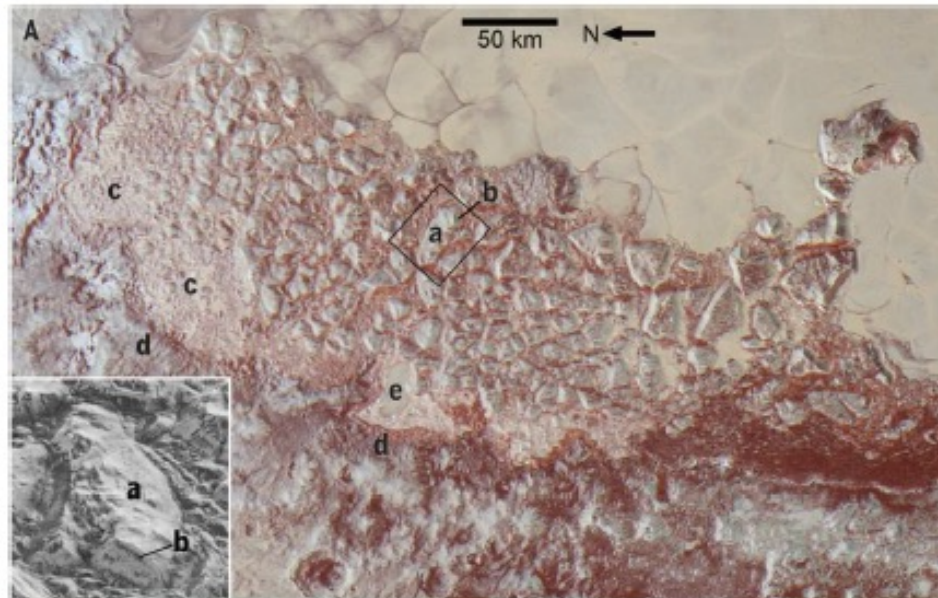
*« Nous avons découvert +1 Ceinture de Kuiper et -1 planète. C'est une bonne affaire »
D. Jewitt*



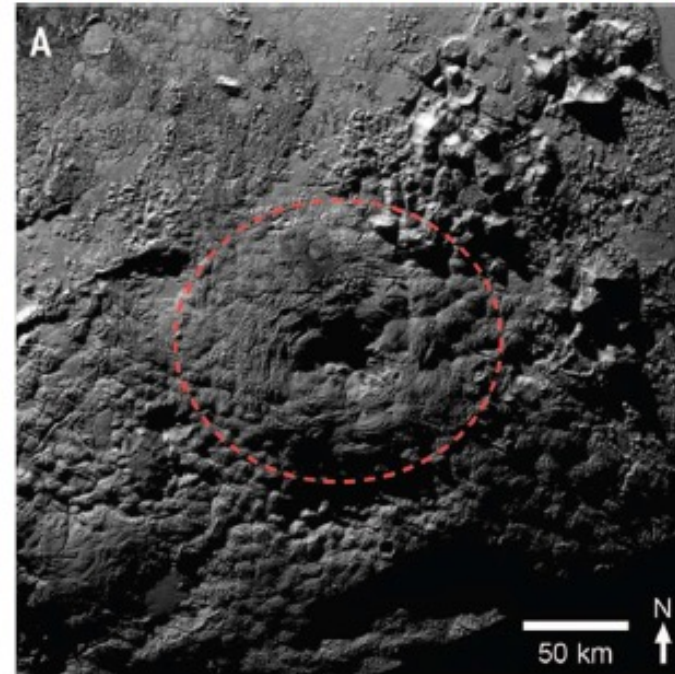
En 2006, réunis dans un colloque international, les astronomes votent que Pluton ne doit plus être considéré comme une IXème planète

La fascinante géologie de Pluton n'y change(ra) rien...

Chaotic mountains (Al-Idrisi) (west of SP)



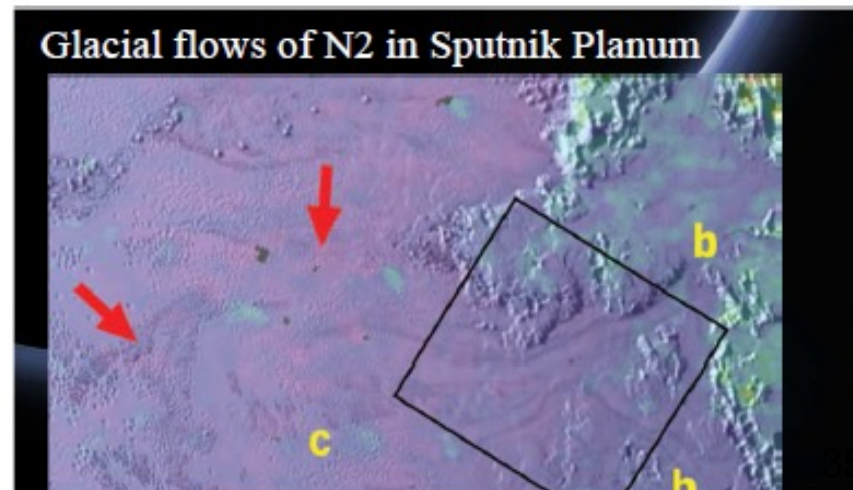
Wright Mons, (south-west of SP): cryovolcano ?



Tartarus Dorsa: methane-rich dunes?



Glacial flows of N2 in Sputnik Planum



antiquité

1543

1610

1684

Début 18e

1781

1807

1845

1846

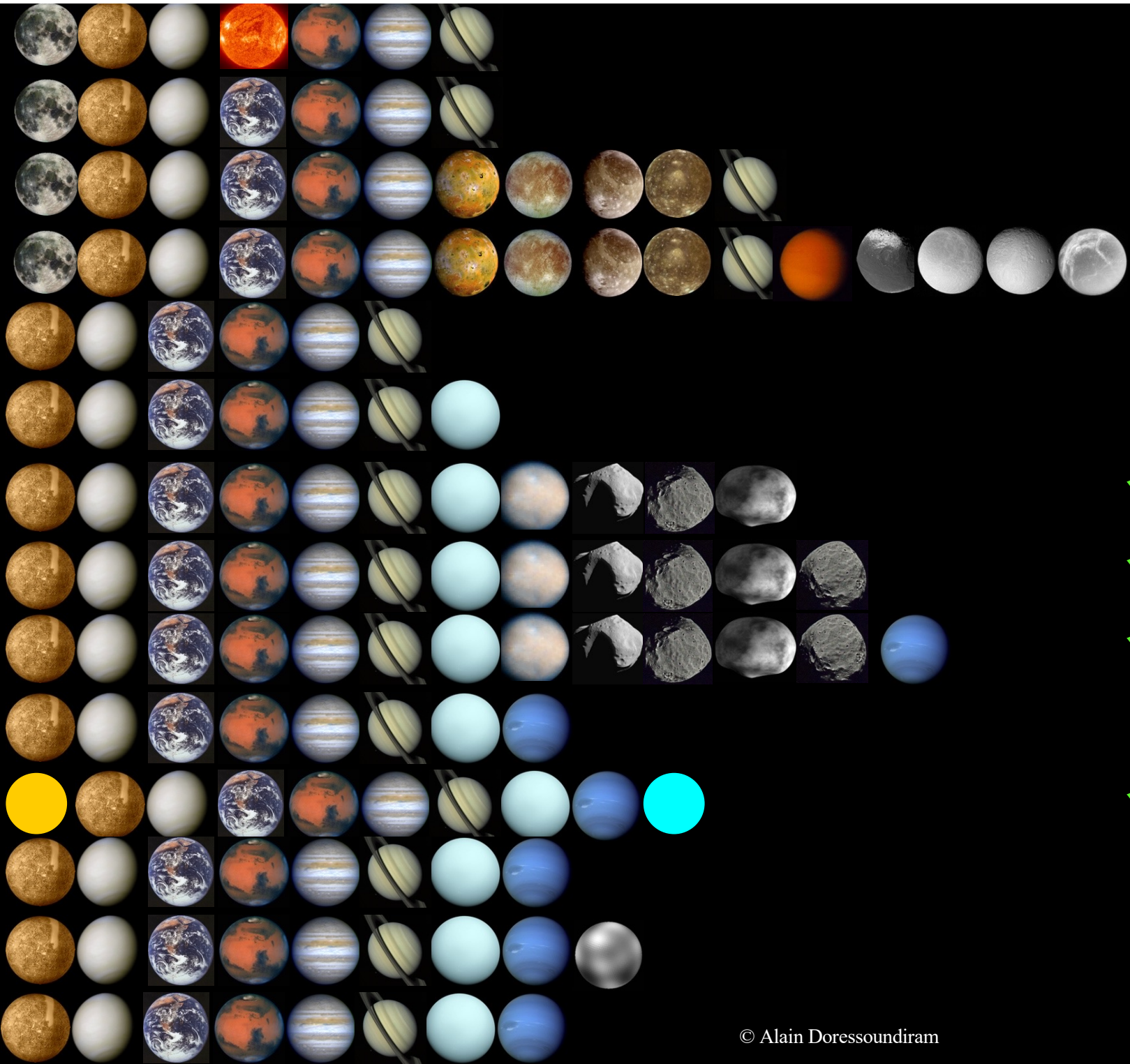
1850'

1859

Début 20e

1930

2006



7
7
11
16
6
7
11
12
13
8
10
8
9
8

*Est-ce la fin
de l'histoire?*



« Evidence » = Indication forte

EVIDENCE FOR A DISTANT GIANT PLANET IN THE SOLAR SYSTEM

KONSTANTIN BATYGIN AND MICHAEL E. BROWN

Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, USA; kbatygin@gps.caltech.edu

Received 2015 November 13; accepted 2016 January 10; published 2016 January 20

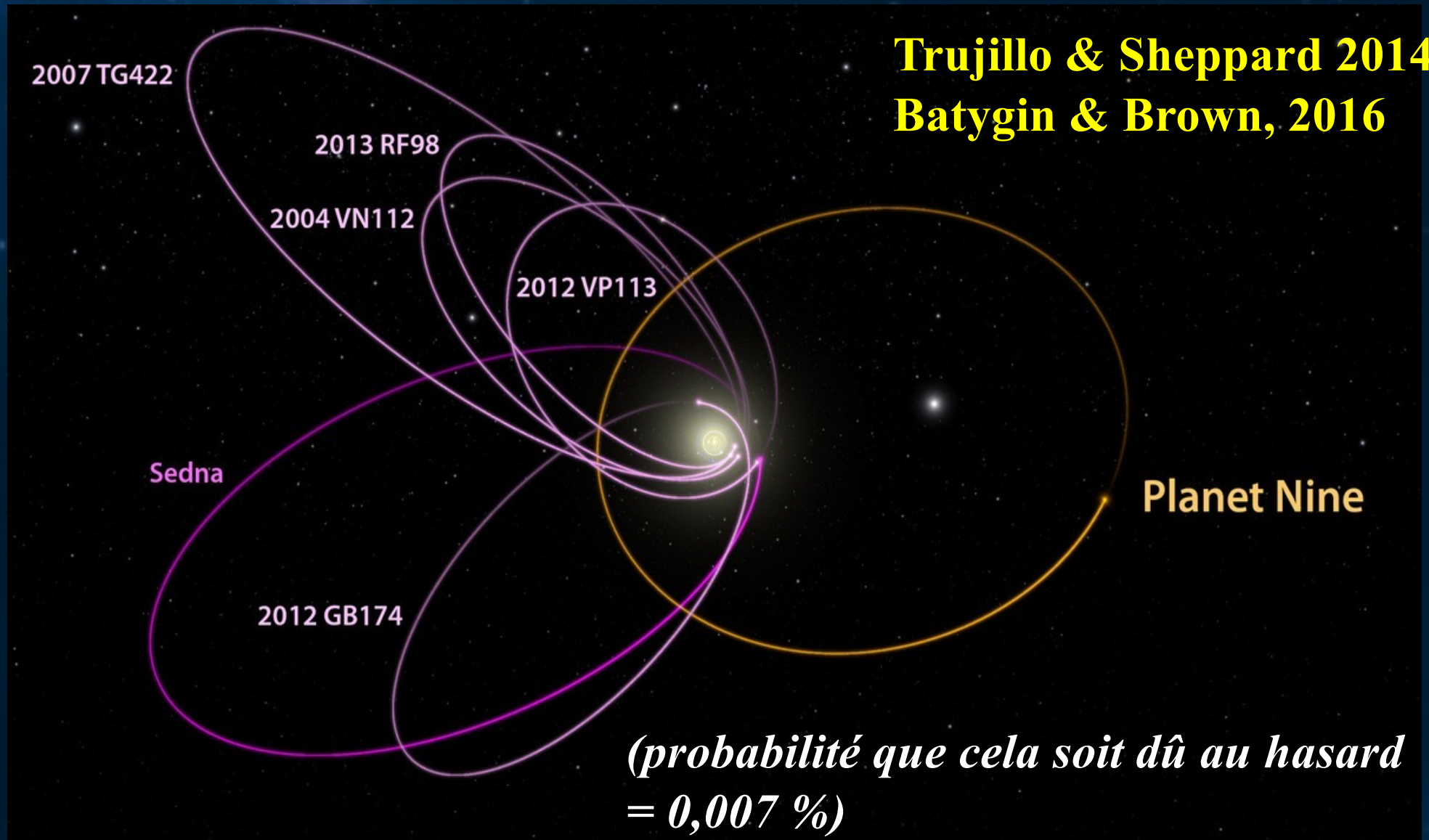


M. Brown

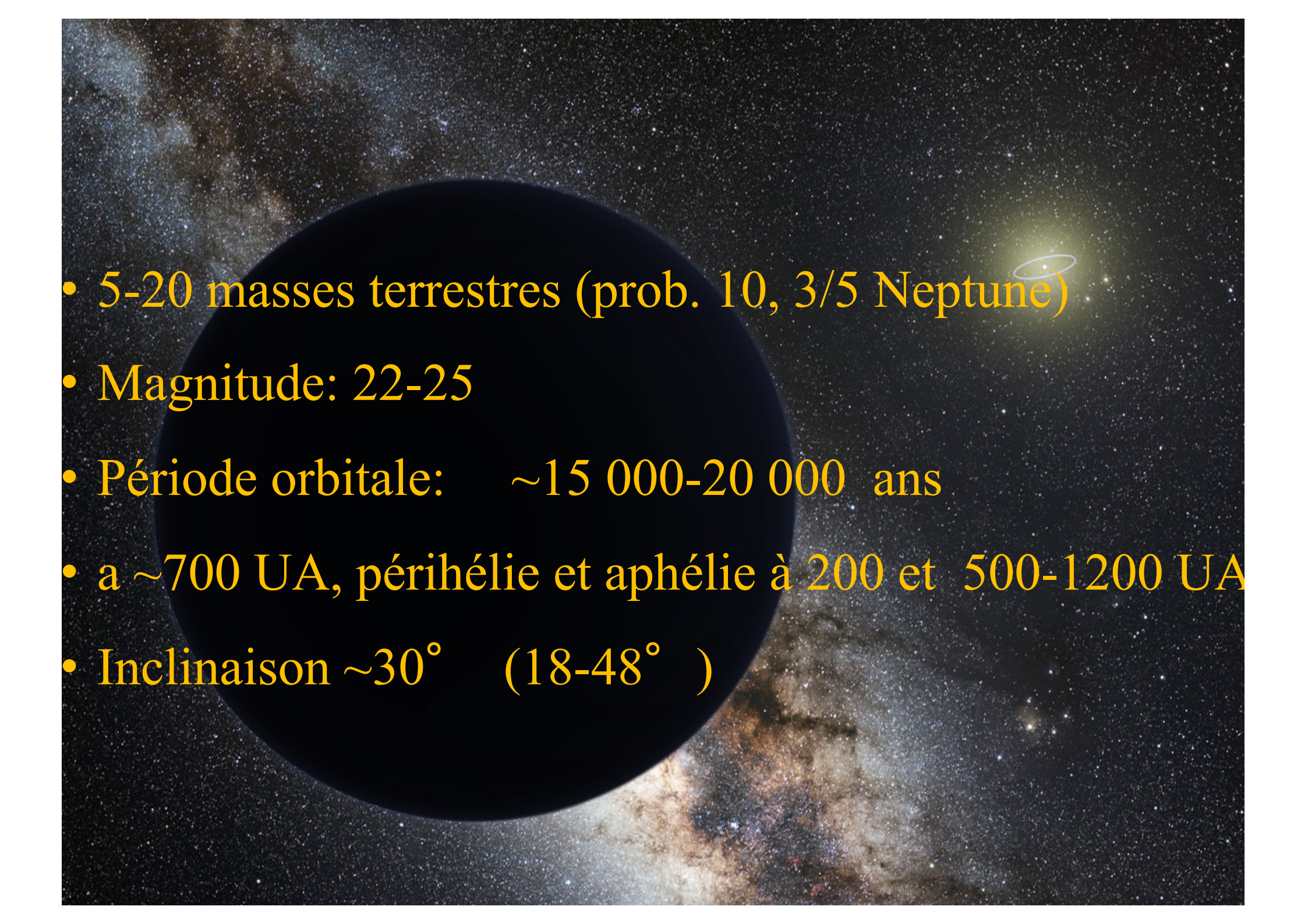
K. Batygin

Le confinement par une planète inclinée et « anti-alignée »

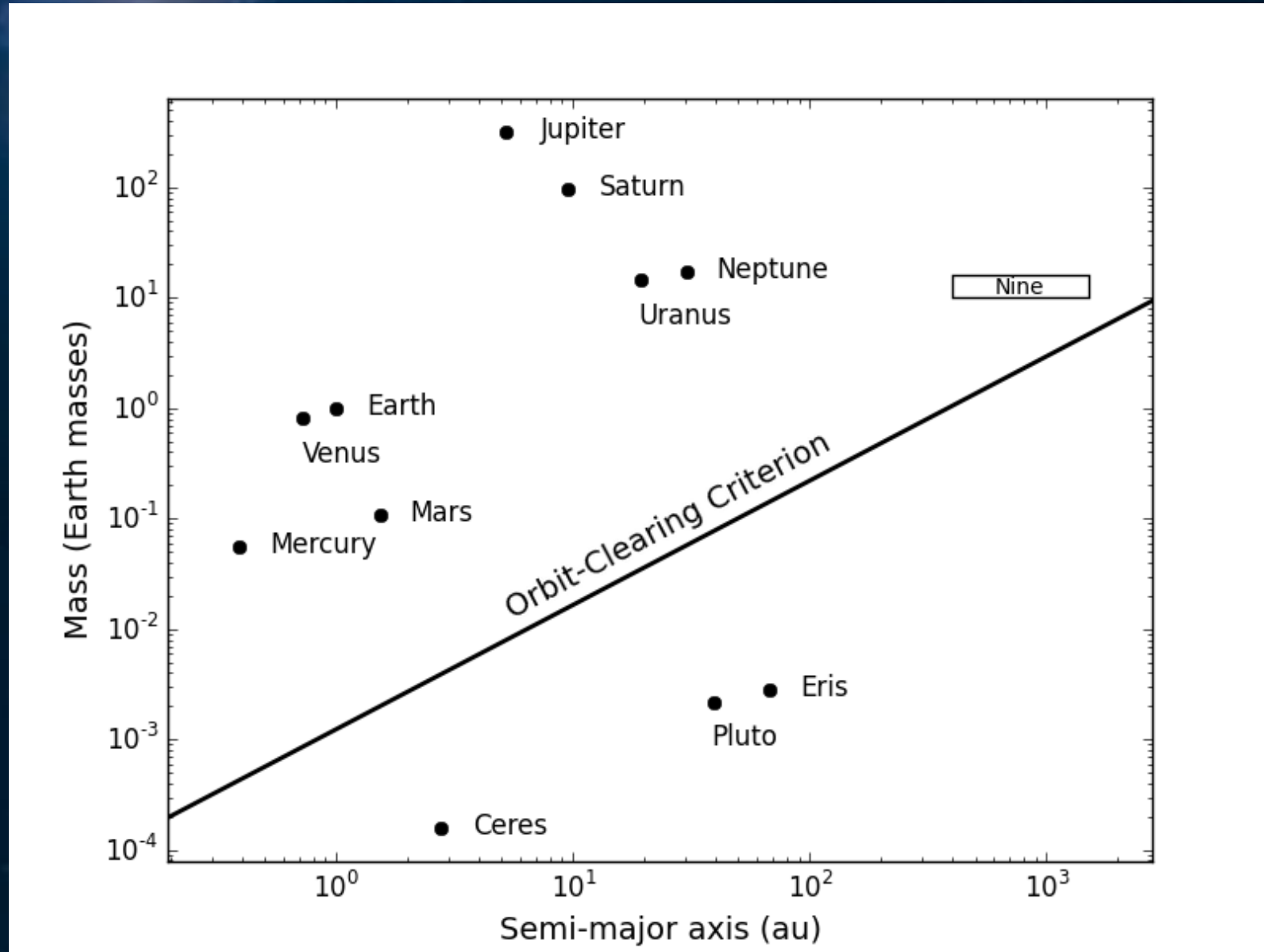
Trujillo & Sheppard 2014
Batygin & Brown, 2016



Les orbites anti-alignées avec celle de la planète 9 sont plus stables que les autres, car elles minimisent les rencontres avec la planète.

- 
- 5-20 masses terrestres (prob. 10, 3/5 Neptune)
 - Magnitude: 22-25
 - Période orbitale: ~15 000-20 000 ans
 - $a \sim 700$ UA, périhélie et aphélie à 200 et 500-1200 UA
 - Inclinaison $\sim 30^\circ$ (18-48°)

La planète 9 sera bien une planète...

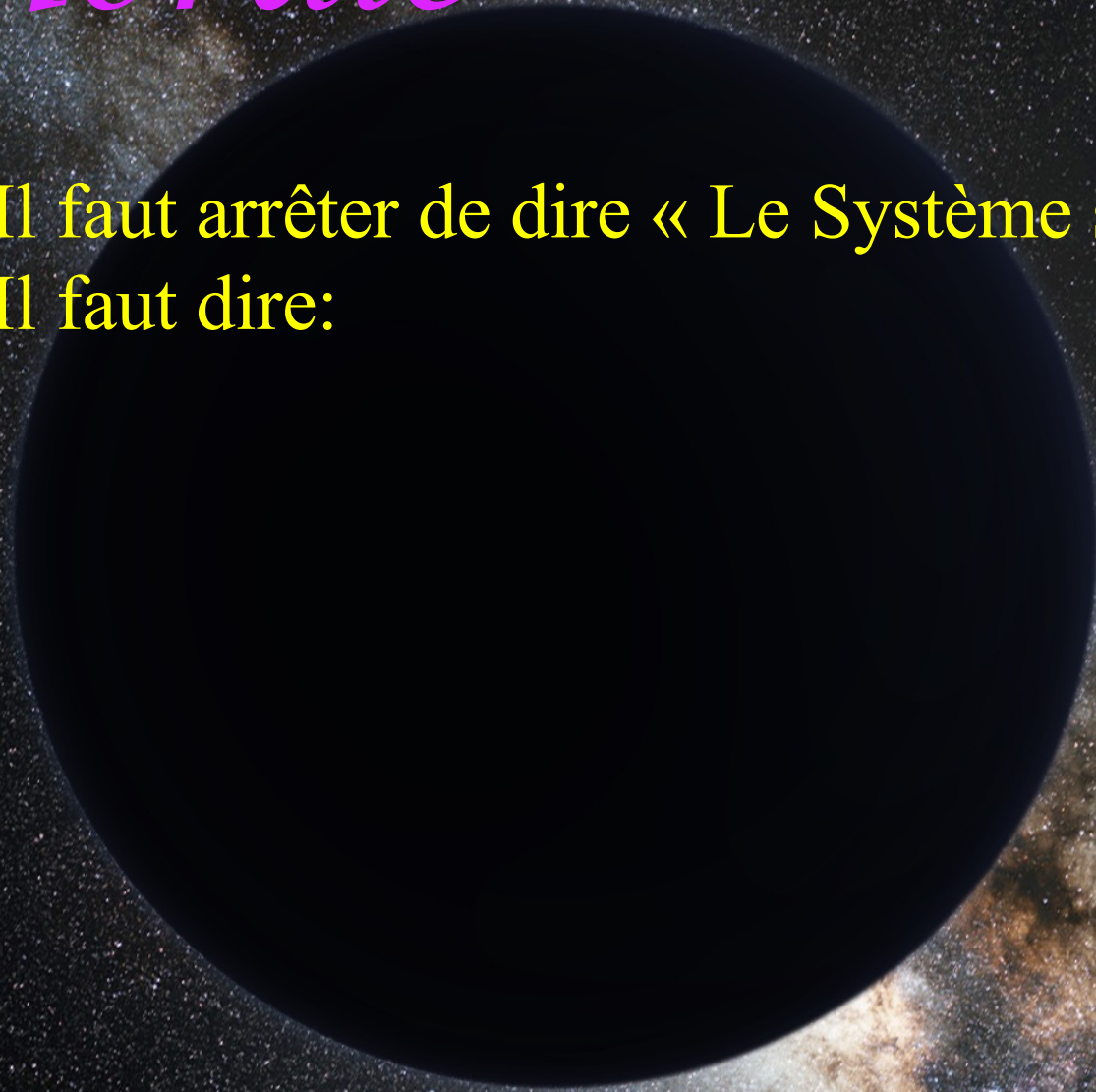




Mais jusqu'à présent
 Point de planète 9 !!!

Morale

Il faut arrêter de dire « Le Système solaire a 8 planètes »
Il faut dire:



Morale

Il faut arrêter de dire « Le Système solaire a 8 planètes »

Il faut dire:

« On connaît aujourd'hui 8 planètes dans le Système solaire »

Le mot de la fin

C'est le fonctionnement normal de la méthode scientifique

La science n'est pas quelque chose de figé mais qui évolue en fonction des découvertes et de l'avancée des connaissances

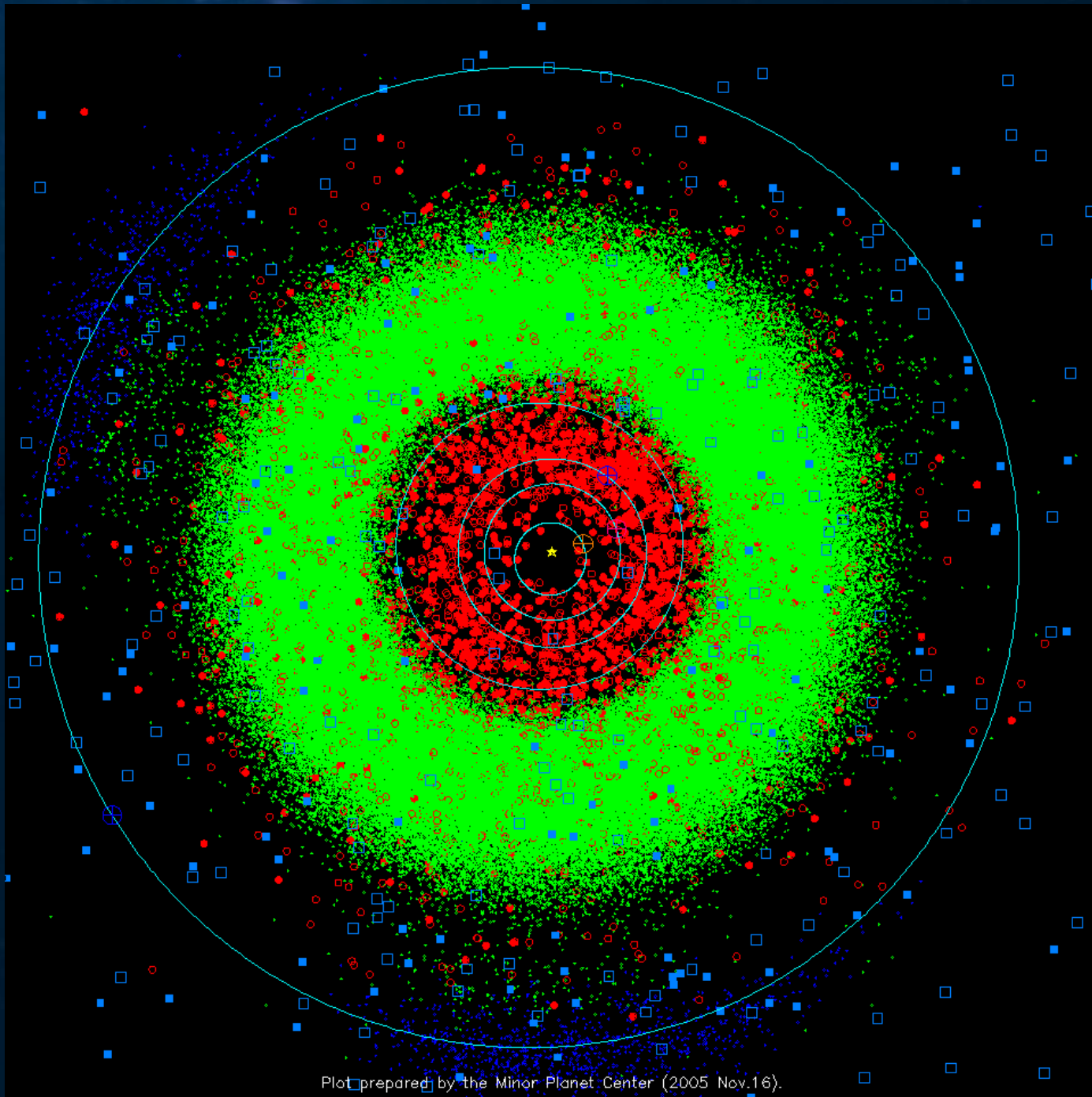
Et tout le monde a le droit de se tromper!

*TAXONOMIE
DES
ASTÉROÏDES*

Images in situ



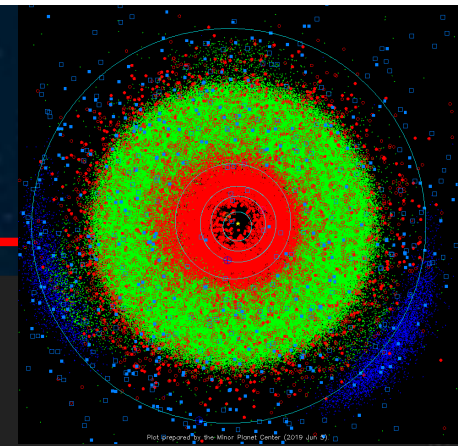
951 Gaspra



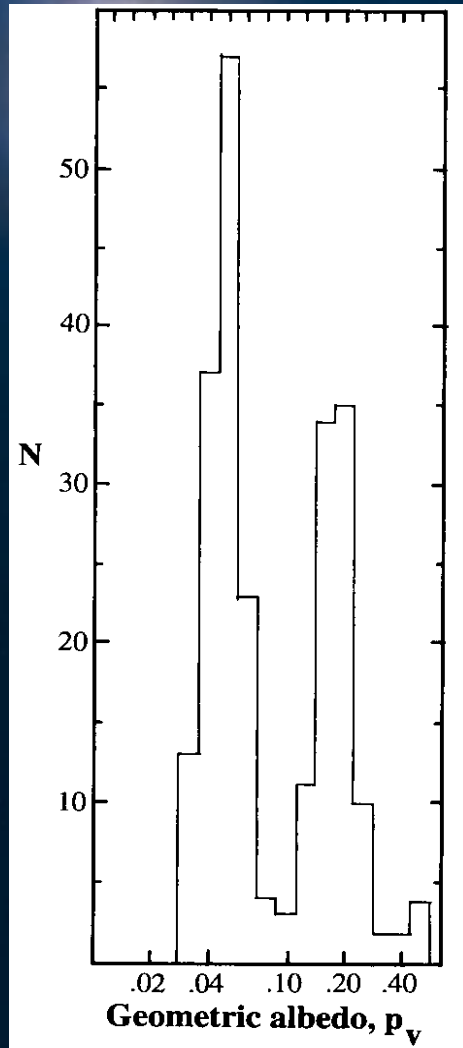
Plot prepared by the Minor Planet Center (2005 Nov.16).

Instantanée des
positions des
astéroïdes

Diversité de forme, de taille et de composition

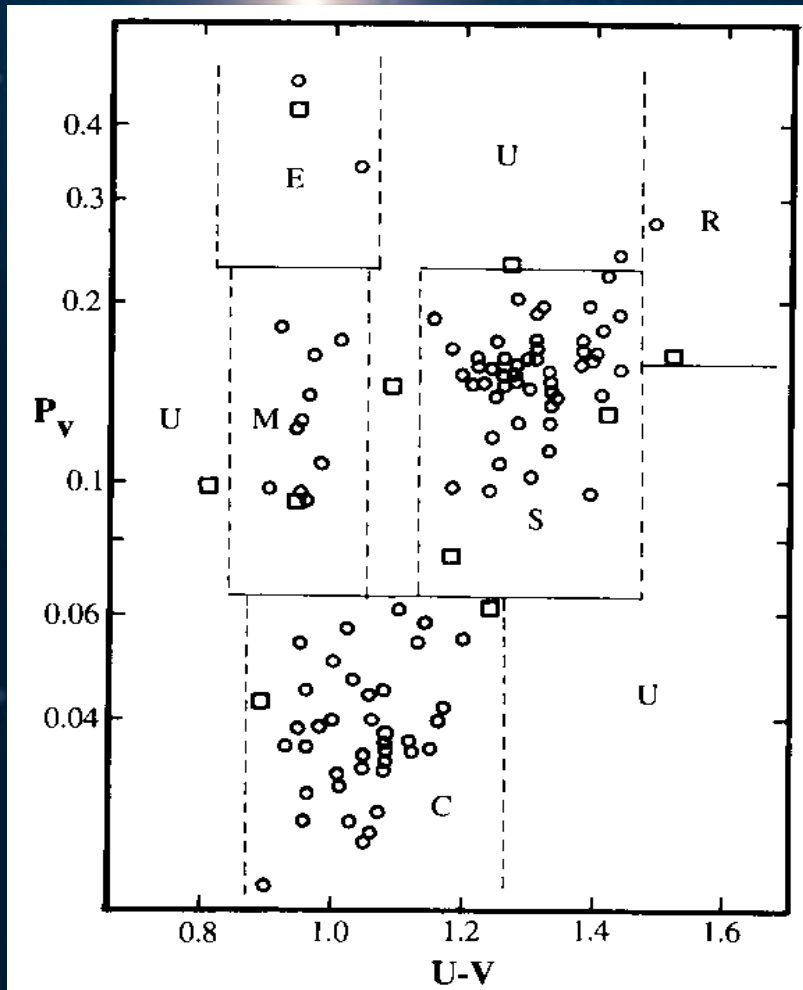


Distribution des albédos



- **Distribution bimodale avec des pics à 0,05 et 0,18.**

Classes taxonomiques



- **Sur la base de leurs albédo et spectre, les astéroïdes peuvent être classés en groupes taxonomiques**

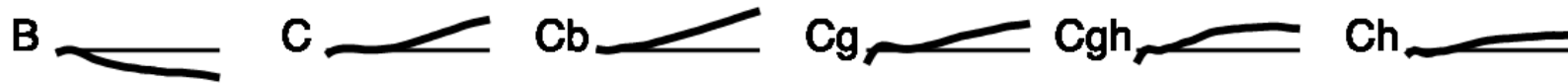
U-V : indice de couleur
Indication de la composition

Bus-DeMeo Taxonomy Key

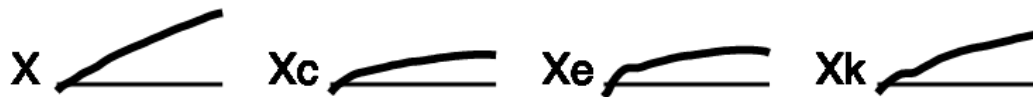
S-complex



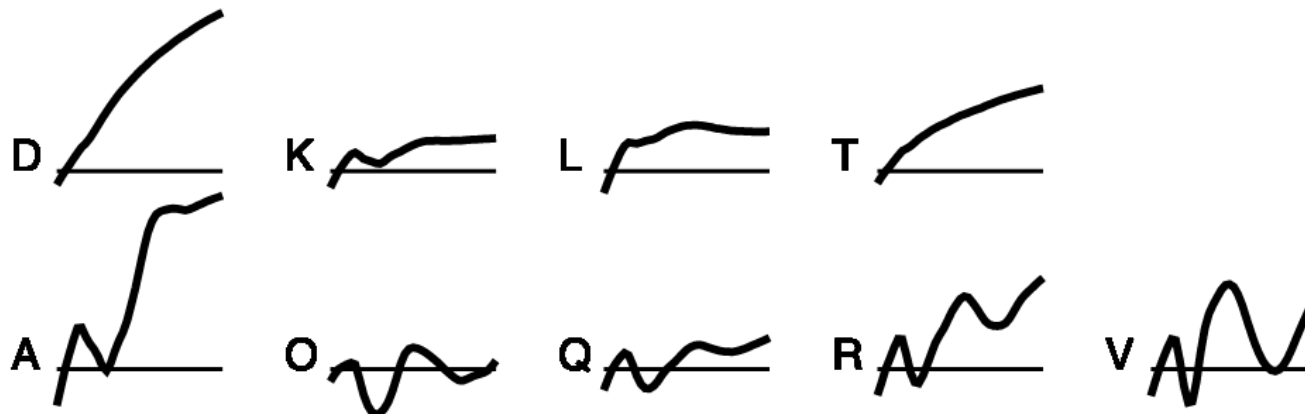
C-complex



X-complex

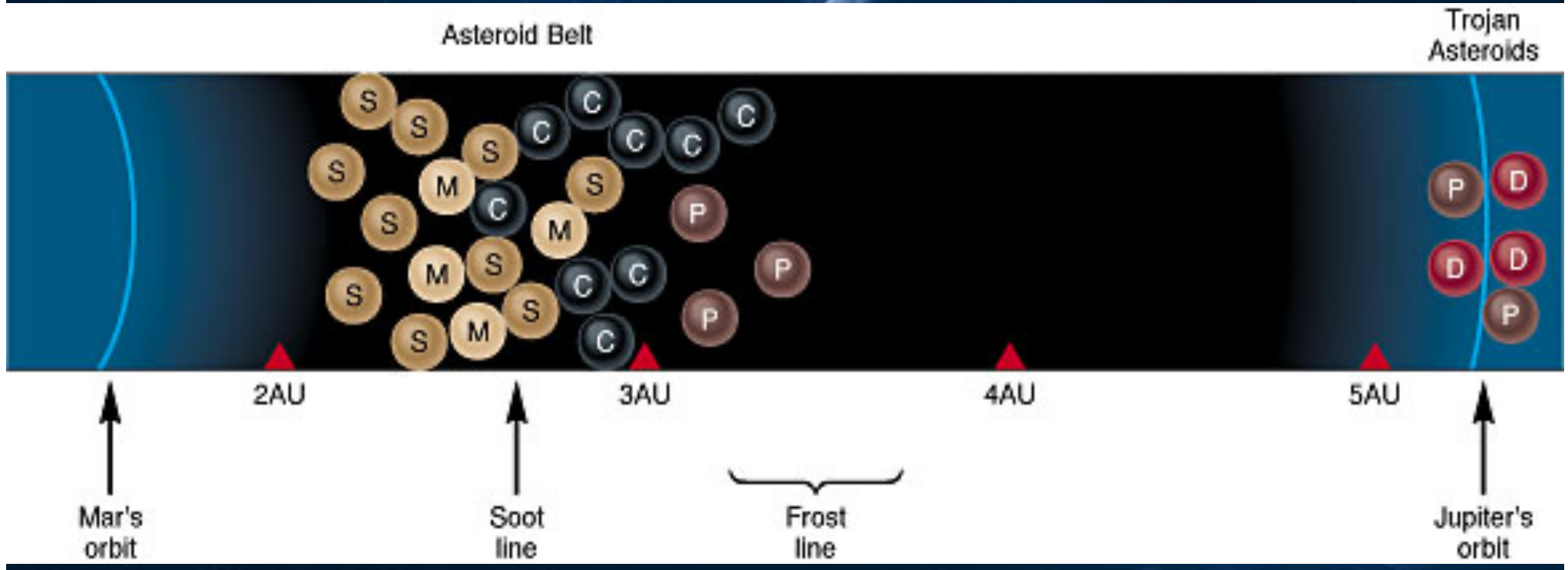


End Members



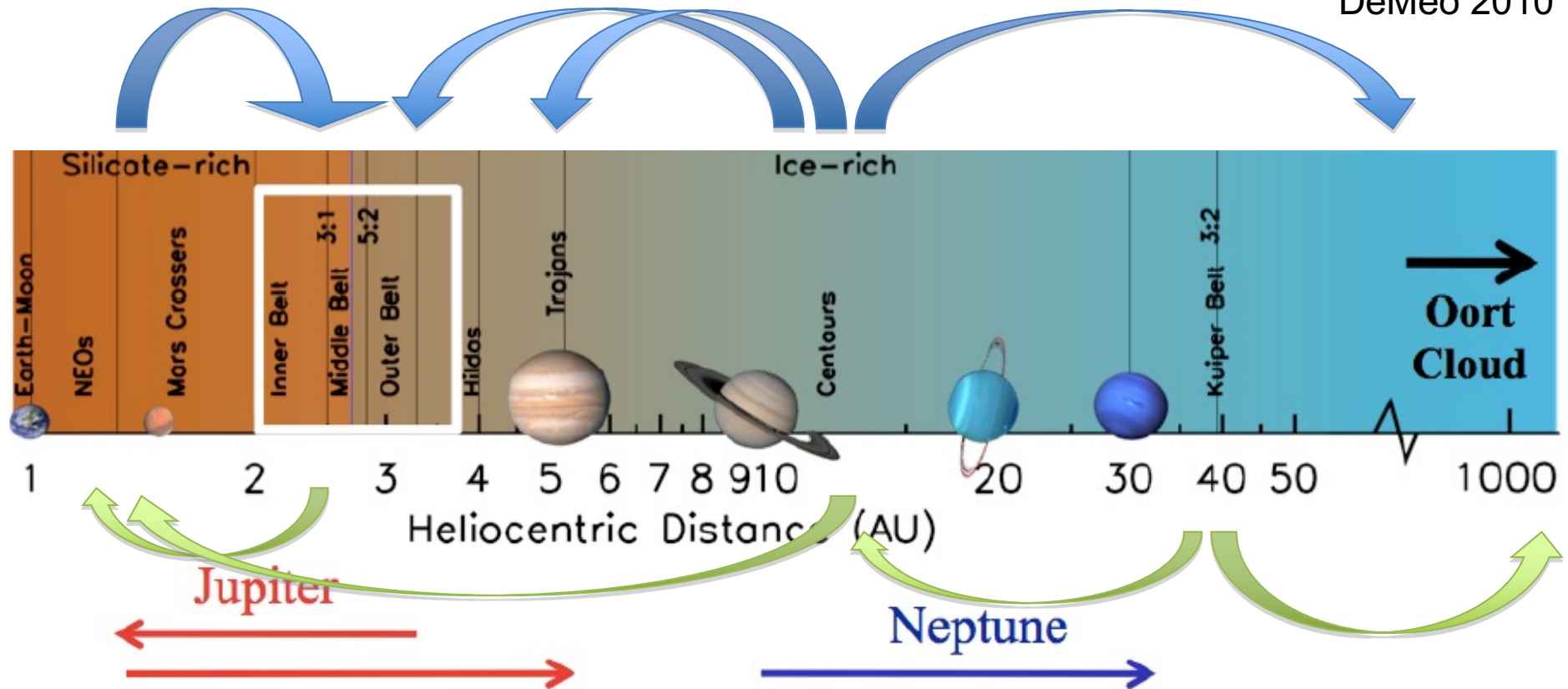
Composition

<i>Classe</i>	<i>Albédo</i>	<i>Minéralogie</i>
M (X)	0,1 - 0,18	métal
S (17%)	0,1 - 0,22	silicates, métal
C (75%)	0,03 - 0,07	silicates hydratés, organiques
D, P	0,02 - 0,05	matières organiques



Migration des planètes

DeMeo 2010



Le scénario du Grand-Tack : La Ceinture Principale contient de la matière primitive issue des régions externes et froides du Système solaire (Walsh et al. 2011)

Migration des planètes

