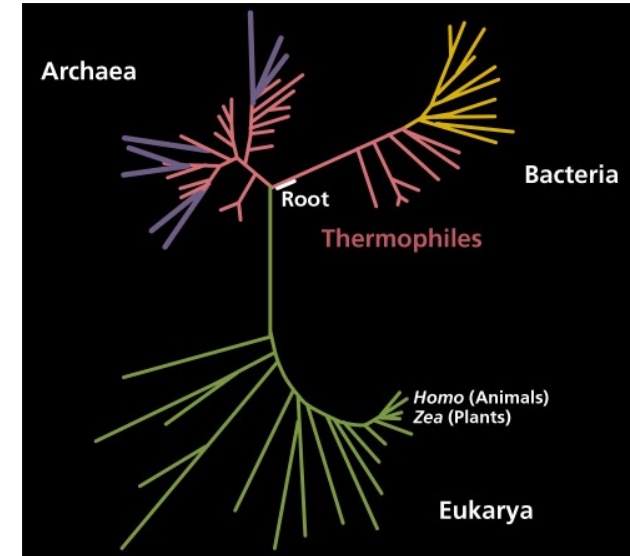




Exobiologie



Sébastien Rodriguez

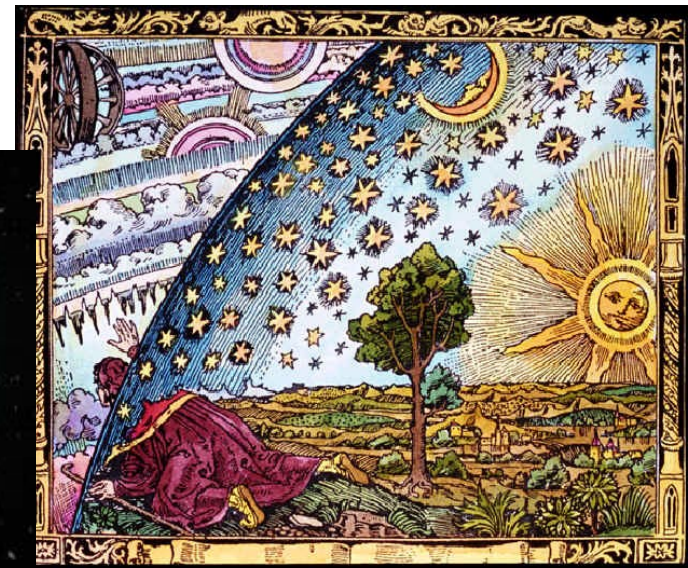
Université Paris 7 / A.I.M.

sebastien.rodriquez@cea.fr

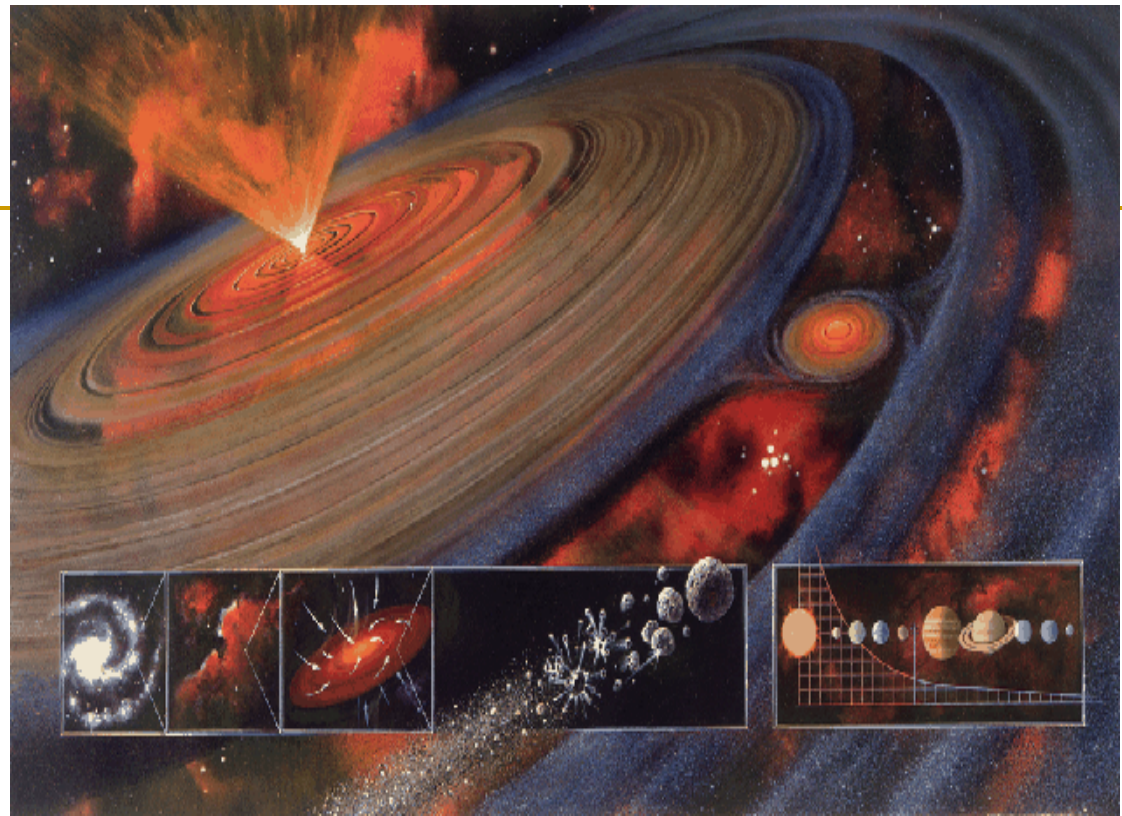


Origines des éléments chimiques. Une chimie universelle

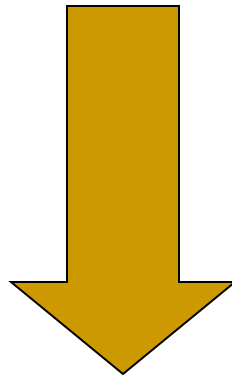
- Atome et lumière
- Naissance de l'Univers - Big-Bang et nucléosynthèse primordiale
- Nucléosynthèse stellaire et explosive (naissance et mort des étoiles)
- Formation des planètes



IV. Formation des systèmes planétaires

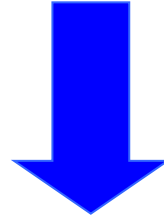


**Quand on descend les échelles de tailles on remarque
que les structures se complexifient**



**Les grandes structures engendrent des structures
plus petites et plus complexes**

Comprendre l'origine des planètes



Comprendre comment se créent les planètes à partir :

⇒ Des Etoiles

⇒ Du Gaz et poussières interstellaires

1. Les contraintes (observations, données etc..)

2. Les premières théories modernes

3. Le modèle actuel : principes

4. Les autres systèmes solaires

1. Les observations

Qu'est ce qu'un système planétaire ?

Une étoile entourée d'une ou plusieurs planètes.

Combien en connaît-on ?

1 très bien :

Notre Système Solaire

**+> 1561 systèmes de
planètes extrasolaires :
Epsilon Andromède, 47 UMA, ...**

+

En tout ≈1783 exoplanètes (7 mars 2014)

**Pas ou peu
de
détectations
directes**

Exoplanet.eu

[Accueil](#) [Tous les catalogues](#) [Diagrammes](#) [Bibliographie](#) [Recherche](#) [Conférences](#) [Autres Sites](#) [VO](#)

The Extrasolar
Planets Encyclopaedia

Depuis Février 1995
Developped and maintained by the [exoplanet TEAM](#)
mise à jour : 7 mars 2014 (1783 planets)
Please report any problems to vo.exoplanet@obspm.fr



Catalog

Filter, sort, export — arbitrary
data manipulations with the
Extrasolar Planets
Encyclopaedia



Diagrams

Analyze the Extrasolar Planets
Encyclopaedia data online. Simple
plotting tool right in the browser

Composants de notre Système-Solaire :

1 étoile centrale : Le Soleil

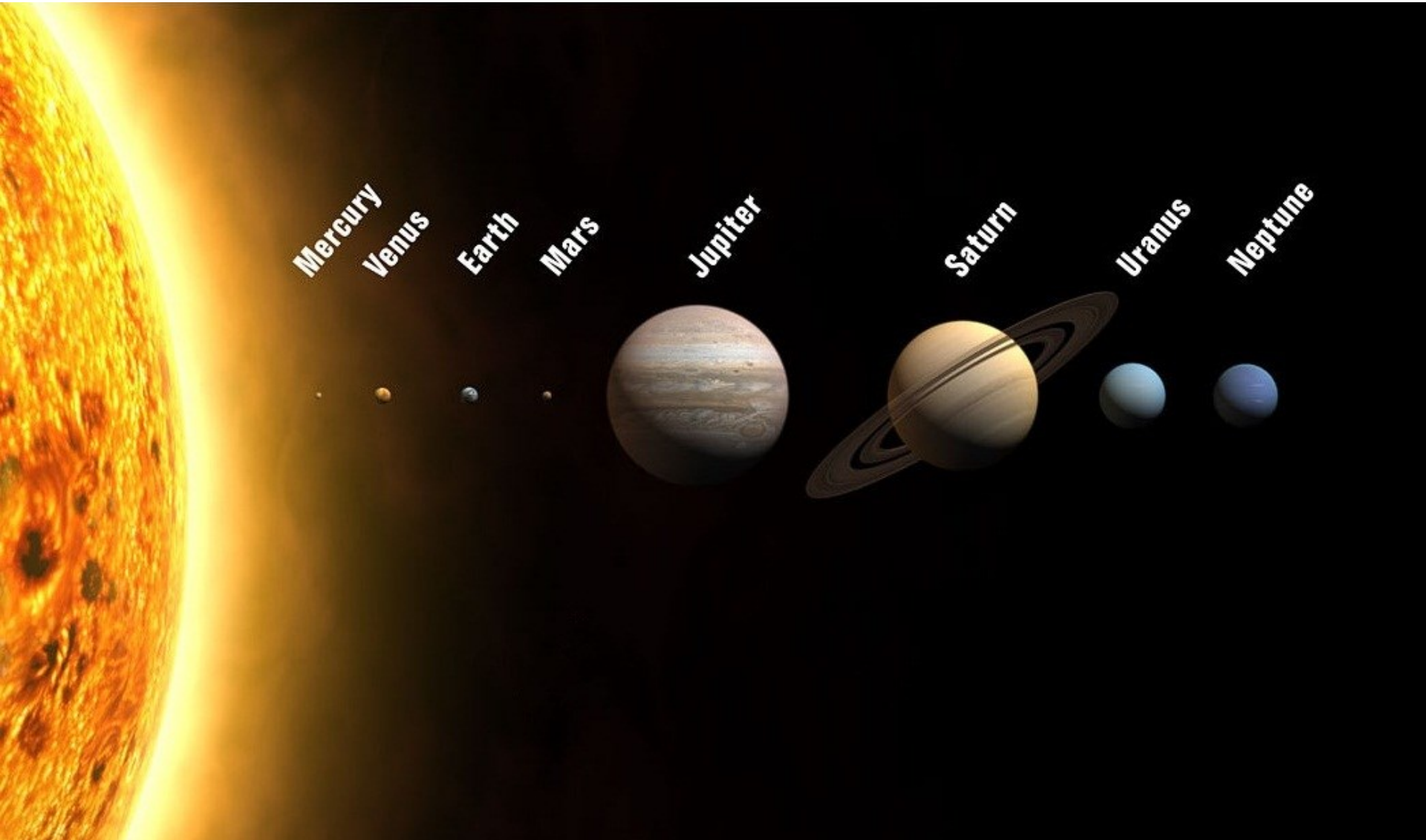
Un cortège de 8 planètes

**Deux ceintures de petits corps :
1 interne et 1 externe (Kuiper) avec des
planètes naines et des astéroïdes**

Des comètes très à l'extérieur

Portrait de famille du Système Solaire

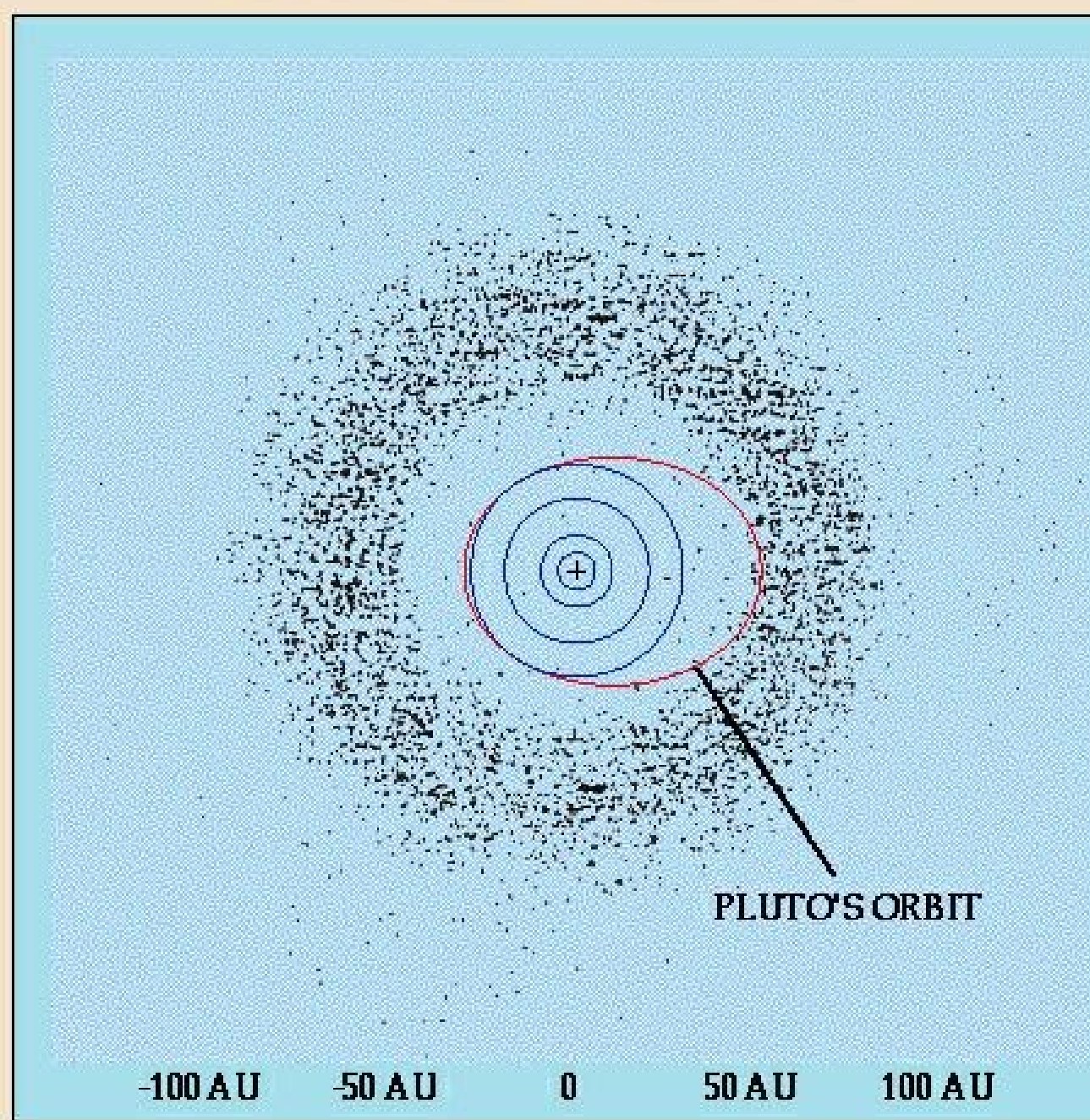
Des planètes, des planètes naines et une ceinture d'astéroïde interne



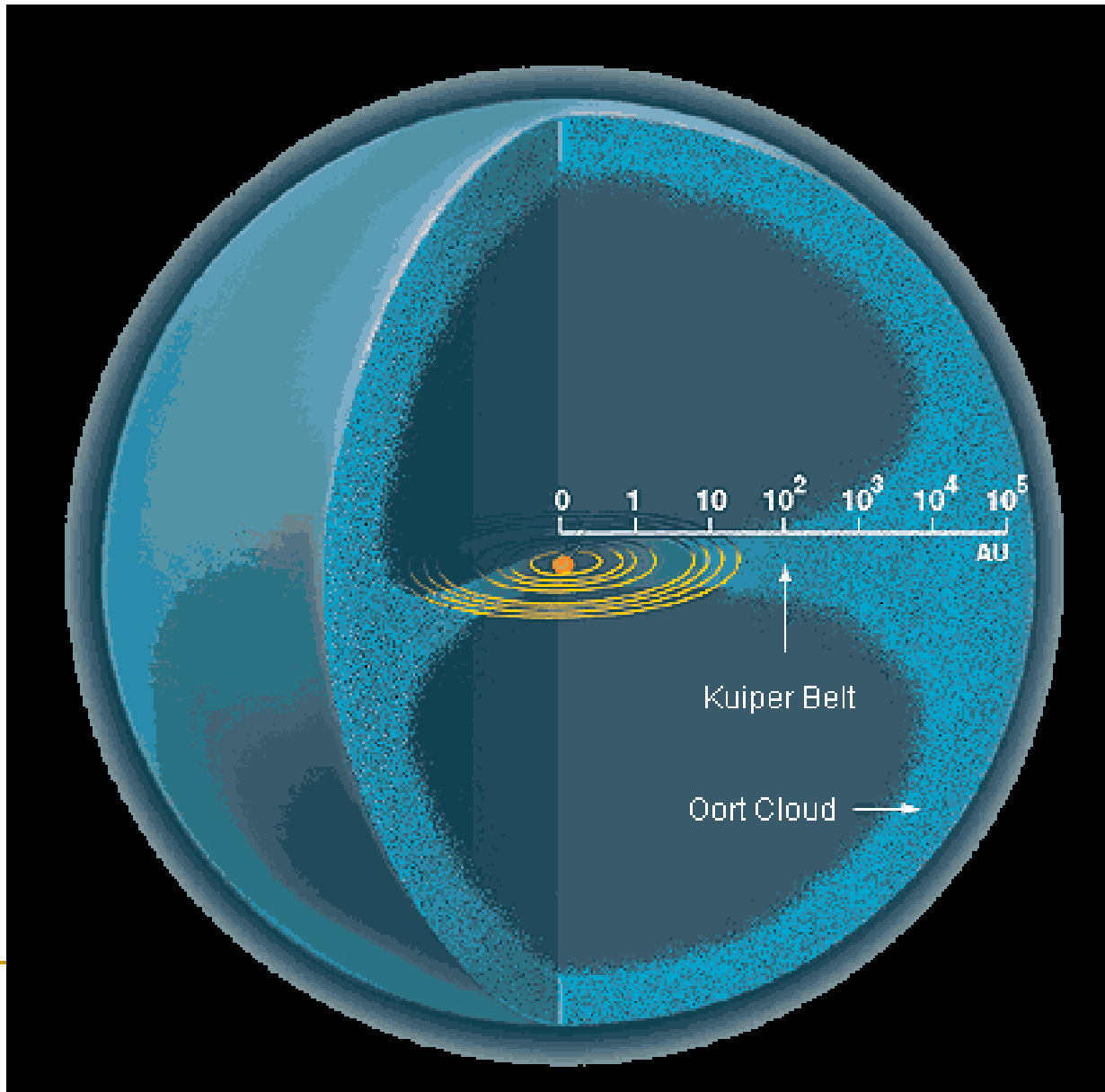
Plus à l'extérieur :

Une 2ème ceinture

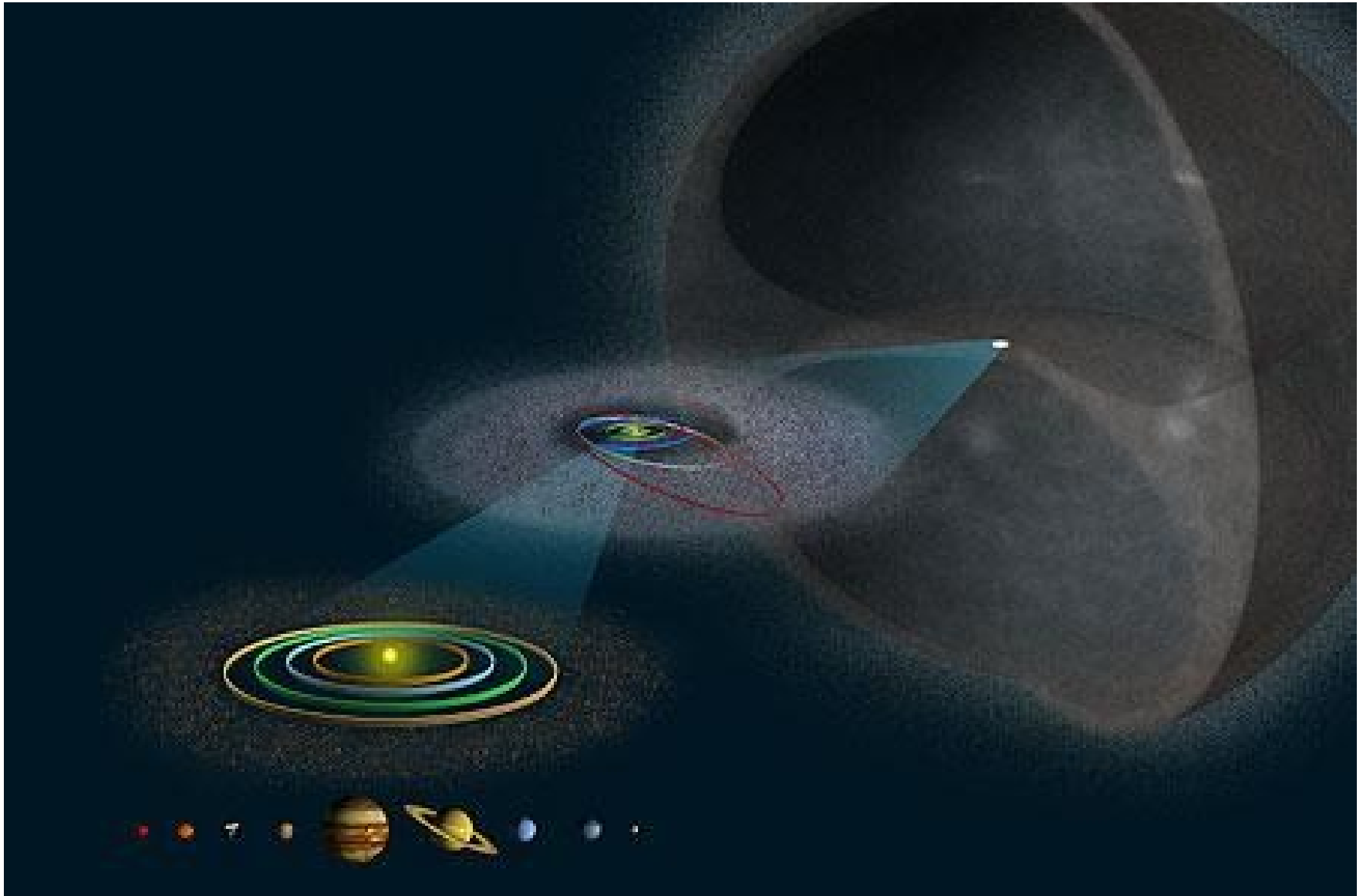
dite de « Kuiper »



Encore plus loin : le nuage d'Oort : lieu de résidence des comètes (à longue période)



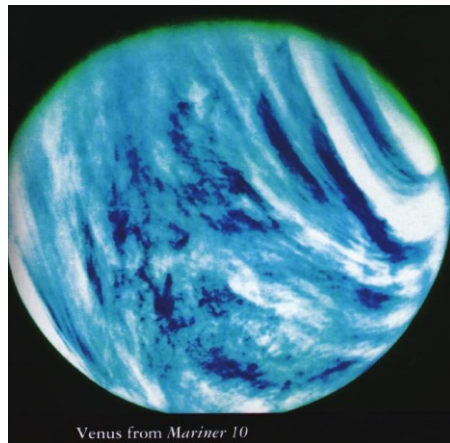
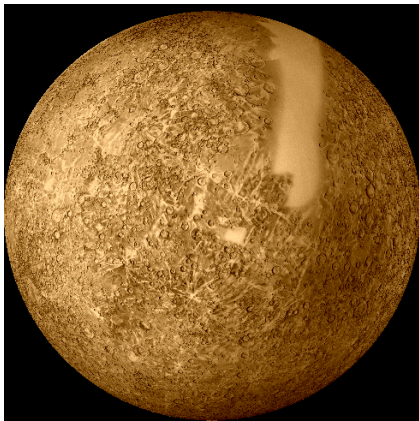
Encore plus loin : le nuage d'Oort : lieu de résidence des comètes (à longue période)



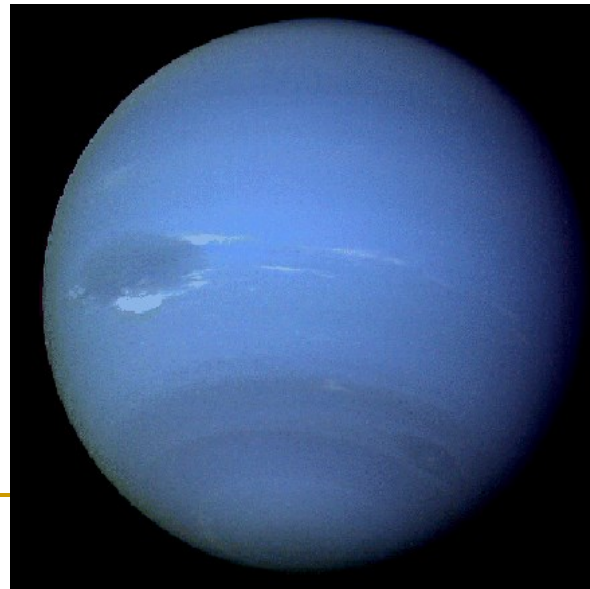
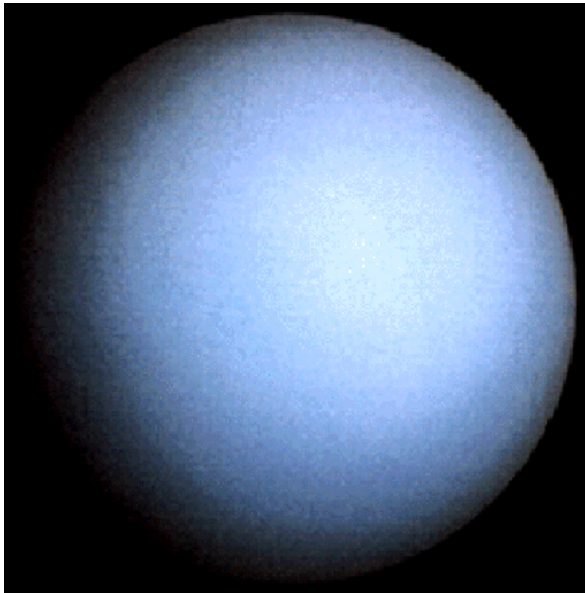
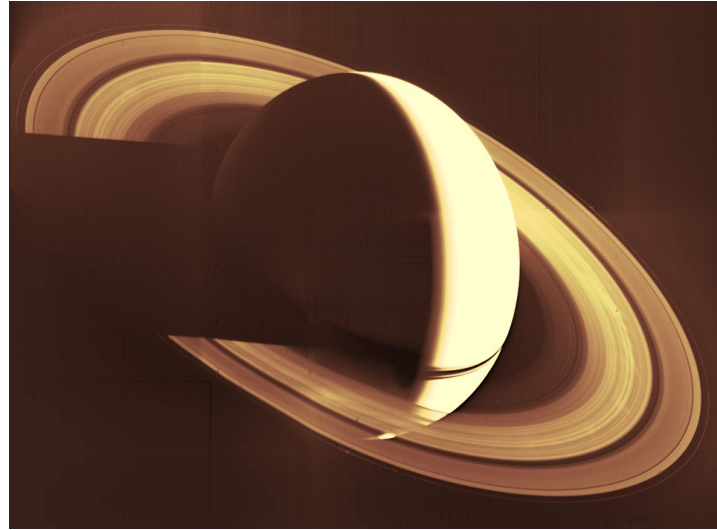
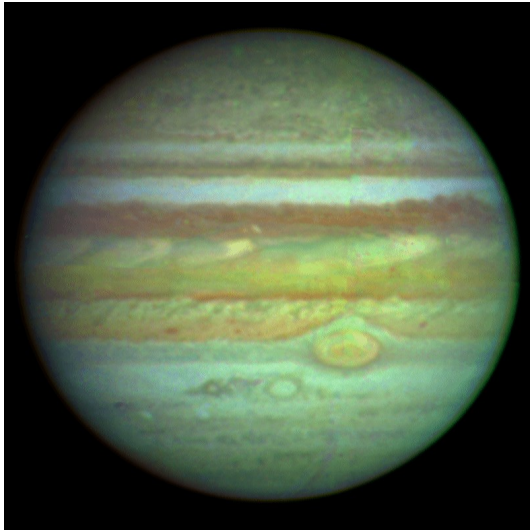
Pour les planètes : grands faits à expliquer

1. Une différenciation chimique interne/externe

Planètes internes (< 3 UA) petites et faites de roches et de métaux



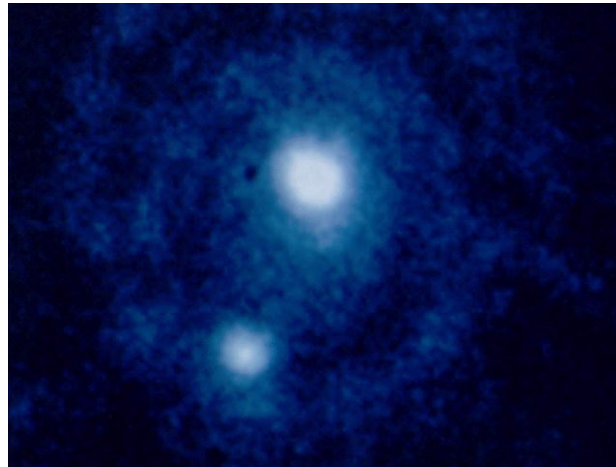
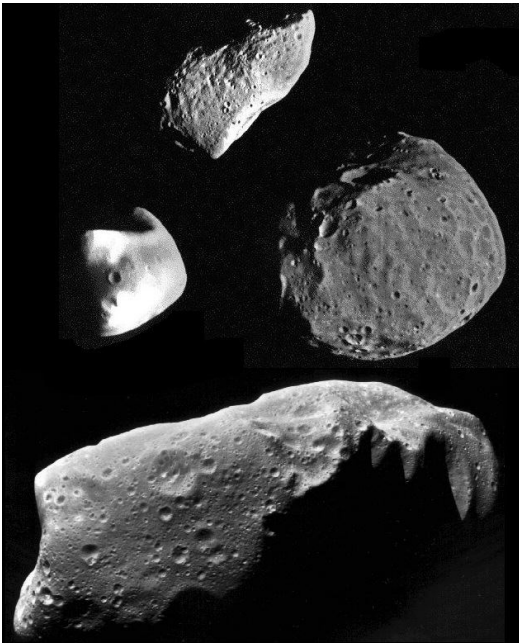
2. Planètes externes (> 5 UA) géantes et composées de gaz



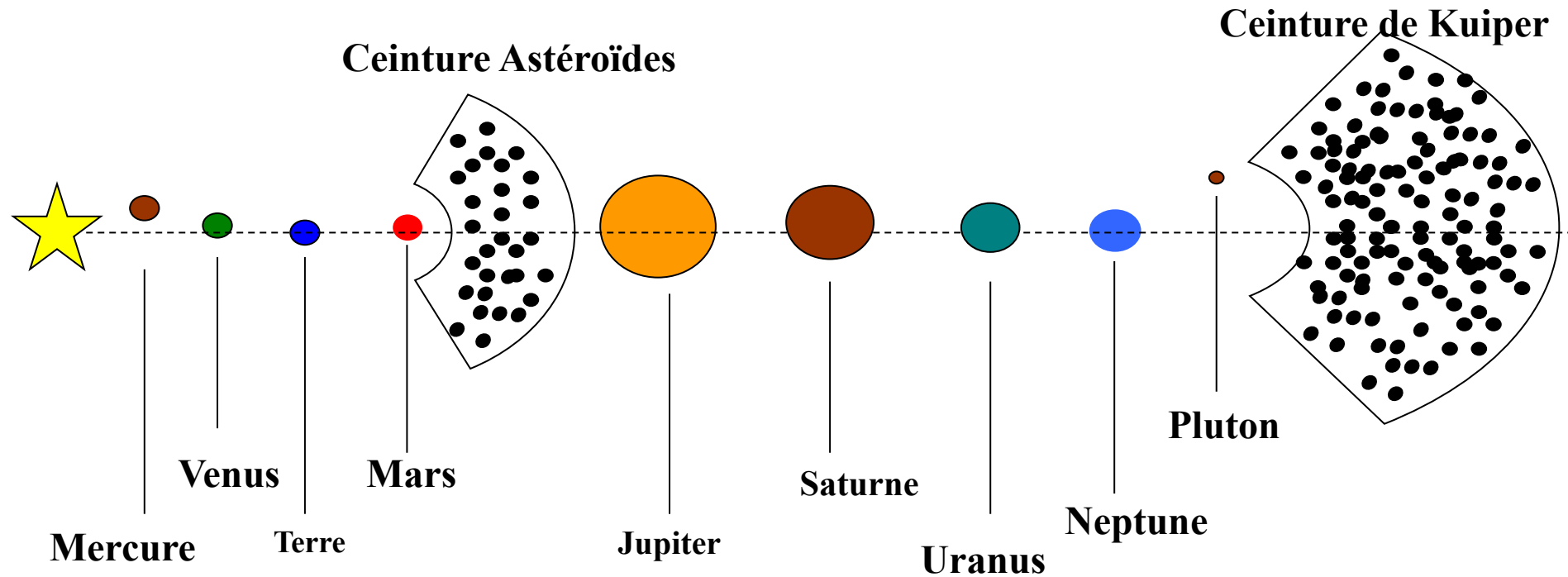
15 à 300 x la masse
de la terre

2. Les petits corps (1 à 2000 km) sont répartis :

1. Dans la ceinture d'astéroïde (3 UA)
2. Dans la ceinture de Kuiper (40 UA)
3. Dans le nuage d'Oort (comètes) (10^4 UA)



3. Les planètes ne « vivent » pas n'importe où : dans le plan de l'écliptique



3. La Masse et le Moment Cinétique ne sont pas répartis également dans le Système-Solaire

	SOLEIL	PLANETES
MASSE	99 %	1%
Moment Cinétique	1%	99%

2. Les premières théories modernes

2 Familles de théories

- Les théories unitaires

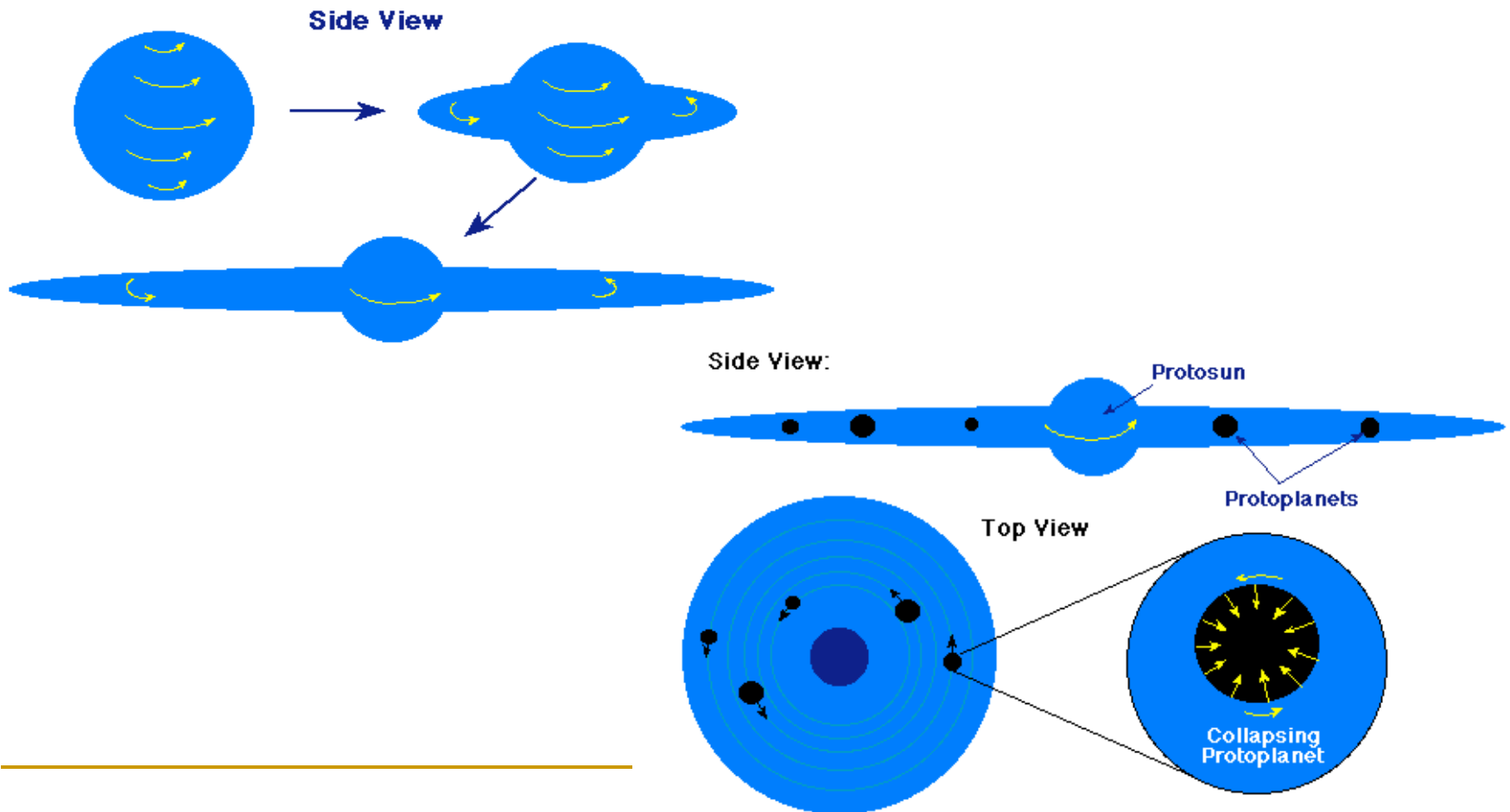
**Le soleil et les planètes
sont issus du même environnement**

- Les théories « Catastrophiques »

**Le soleil a engendré les planètes
à l'issue d'un phénomène catastrophique**

Théorie unitaire :

Nébuleuse primitive de KANT-LAPLACE (fin XVIII^e s.) :
Effondrement d'une nébuleuse primordiale faite de gaz
et de poussières.



AVANTAGE :

Toutes les planètes se forment
Dans le même plan
Explique à la fois :
Origine du Soleil et des Planètes.

PROBLEME :

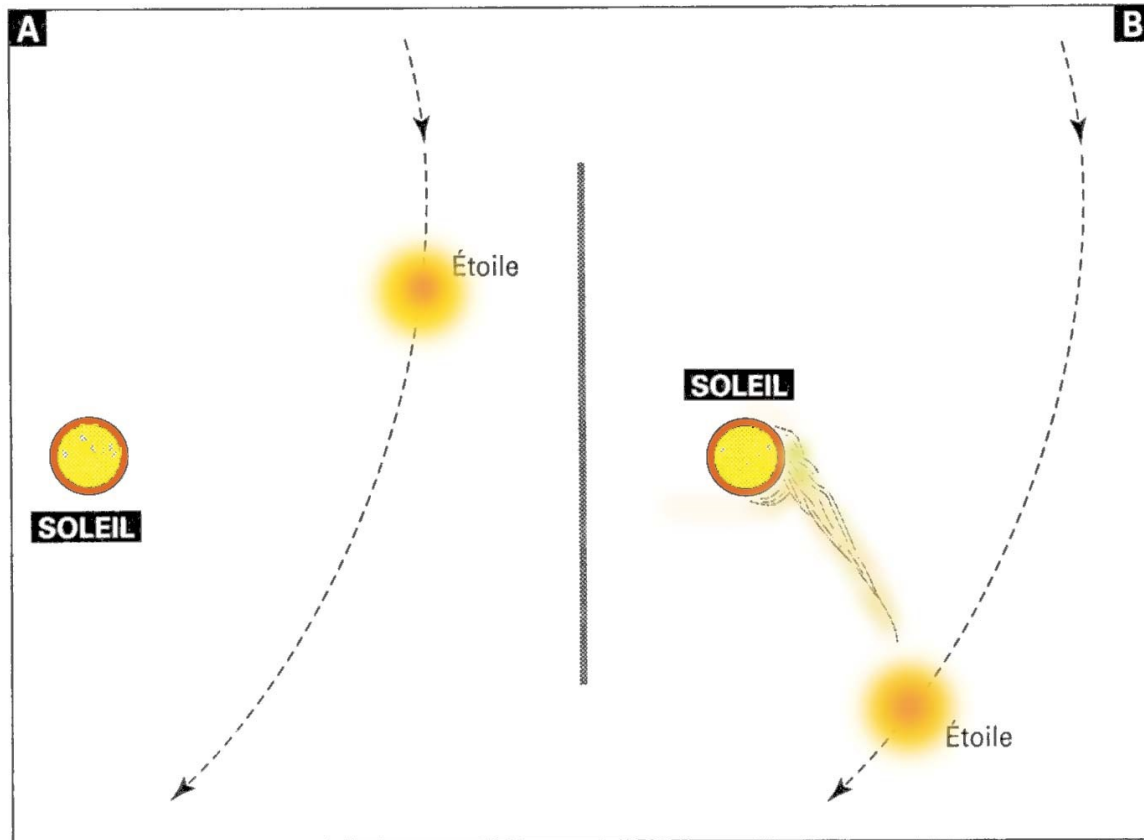
Répartition de la quantité de rotation :

Le soleil tournerait trop vite sur lui
même

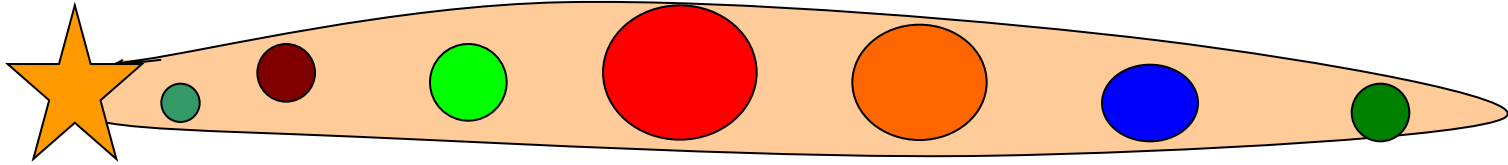
Théorie Catastrophique

Buffon (1707-1788), Jeans (19^e), Jeffreys (20^e)

Une étoile proche a arraché de la matière
au Soleil



Condensation des planètes dans le filament



AVANTAGE :

Pas de pb. de quantité de Rotation
(remis en question + tard)

Les planètes les + grandes sont au milieu
Les planètes sont dans le même Plan

PROBLEME :

Événement TRES rare

Filament trop chaud : pas de condensation possible

On sait que La Terre s'est formée dans un milieu FROID

ET ALORS ?

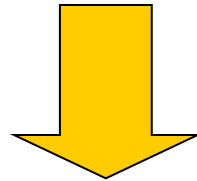
Observations récentes :

Les jeunes étoiles sont entourées d'un disque de gaz et de poussières

Théorie récente :

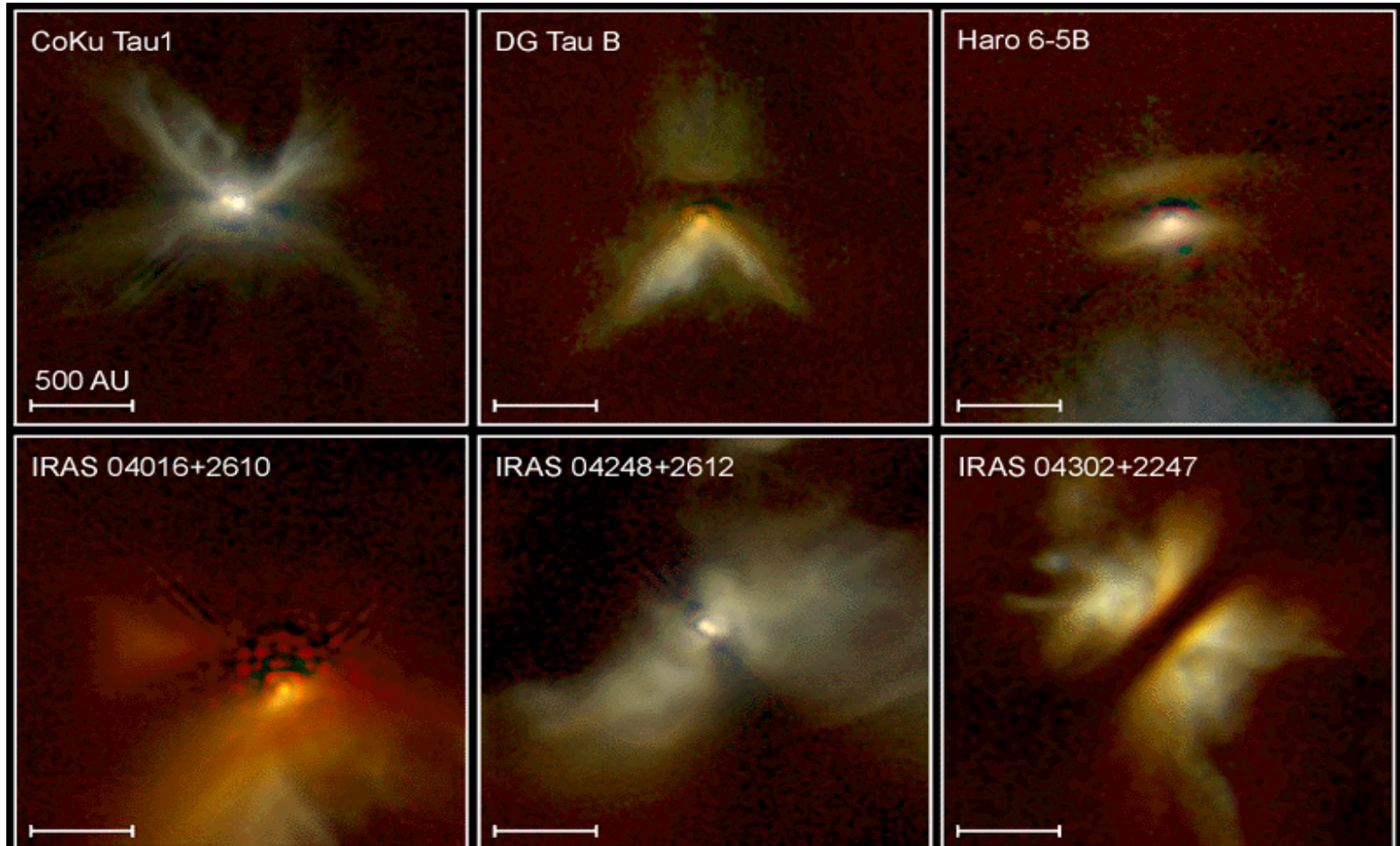
En 1967 E . Schatzman trouve un mécanisme pour diminuer la rotation du Soleil. D'autres mécanismes depuis.

(Transfert de moment cinétique par vents solaires et couplage magnétique avec le disque)



Théorie unitaire : Nébuleuse de Kant – Laplace

Disques autour d'étoiles jeunes



Young Stellar Disks in Infrared

HST • NICMOS

PRC99-05a • STScI OPO

D. Padgett (IPAC/Caltech), W. Brandner (IPAC), K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

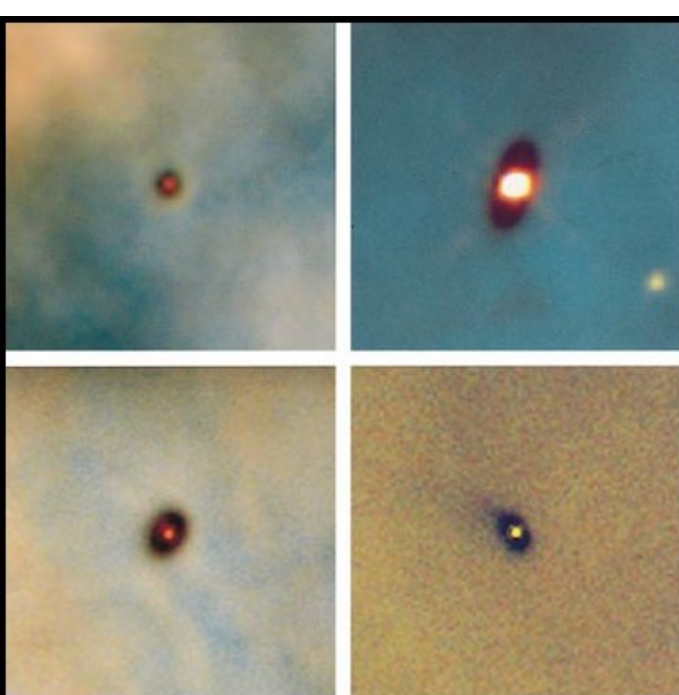
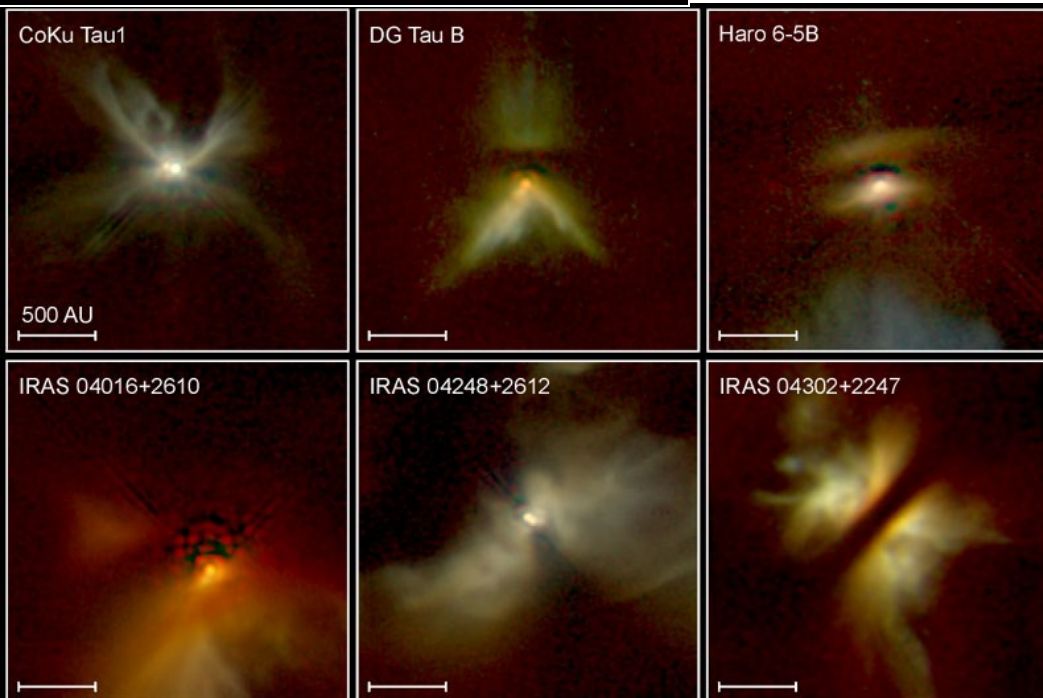
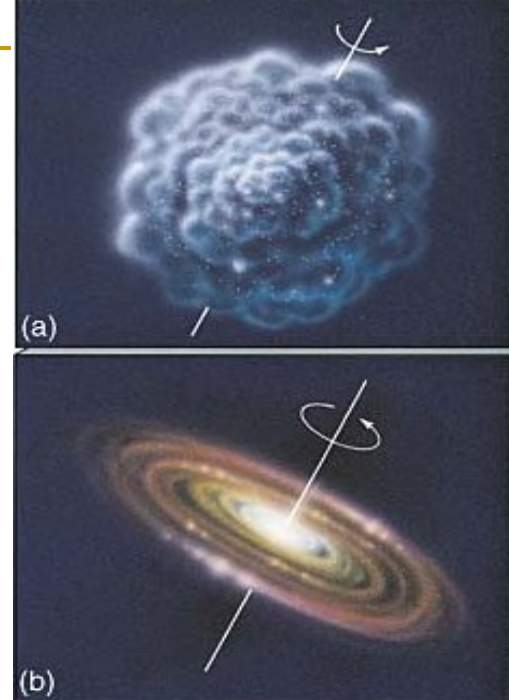


Schéma →
formation disque

Disque avec
proto-étoile &
vent

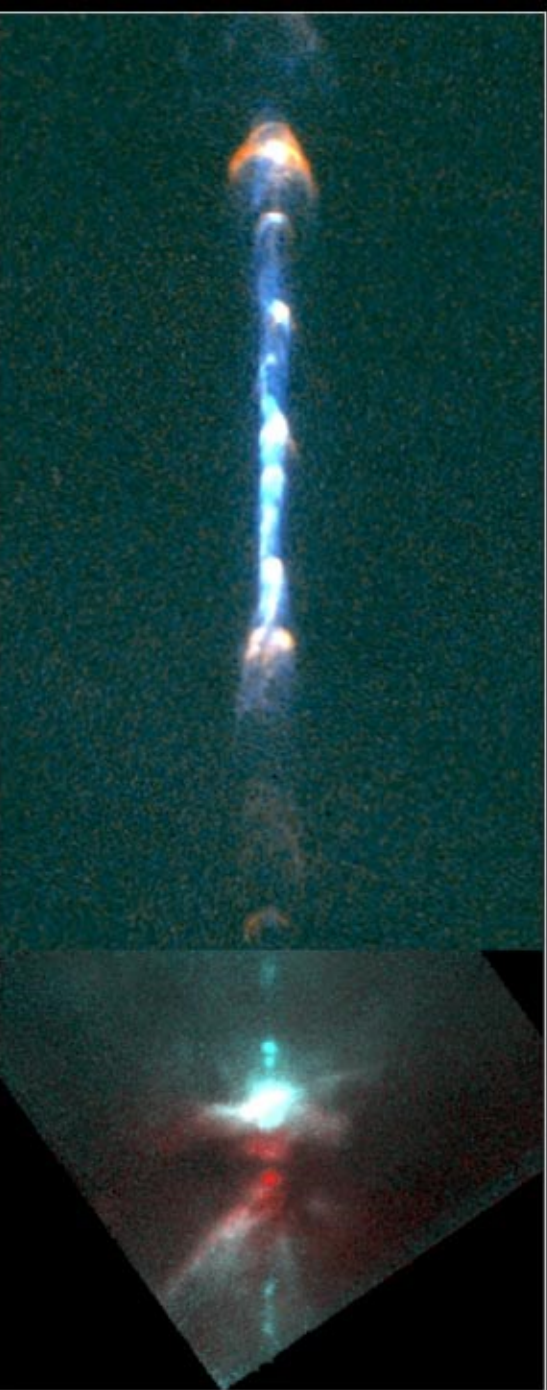


Young Stellar Disks in Infrared

HST • NICMOS



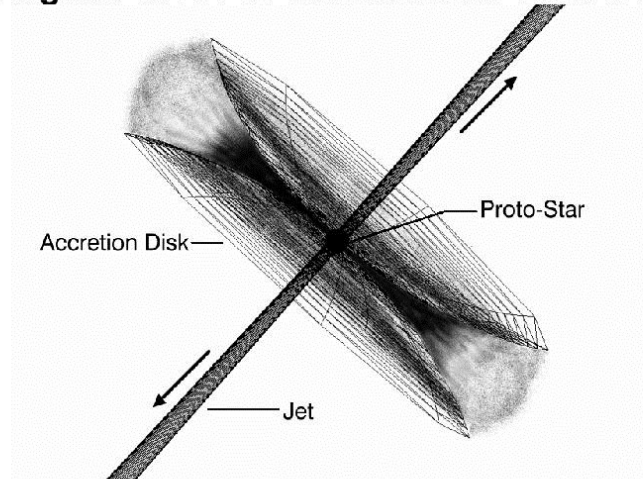
Planètes se forment dans le disque



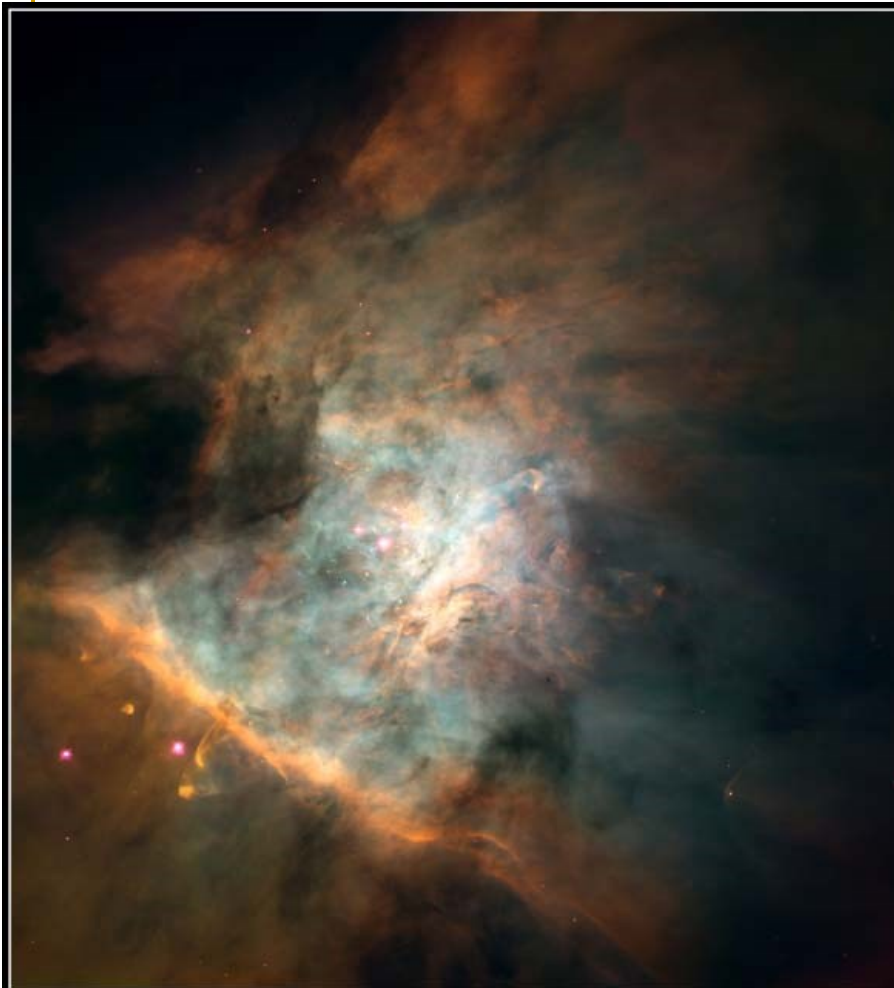
Etat Initial :

Un disque de gaz et
de poussières
entourant une
étoile en formation

Diagram of HH 30 Circumstellar Disk & Jet



MASSE DISQUE = 1% MASSE ETOILE



Orion Nebula Mosaic

PRC95-45a • ST ScI OPO • November 20, 1995
C. R. O'Dell and S. K. Wong (Rice University), NASA

HST • WFPC



Protoplanetary Disks
Orion Nebula

HST • WFPC2

PRC95-45b • ST ScI OPO • November 20, 1995
M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA



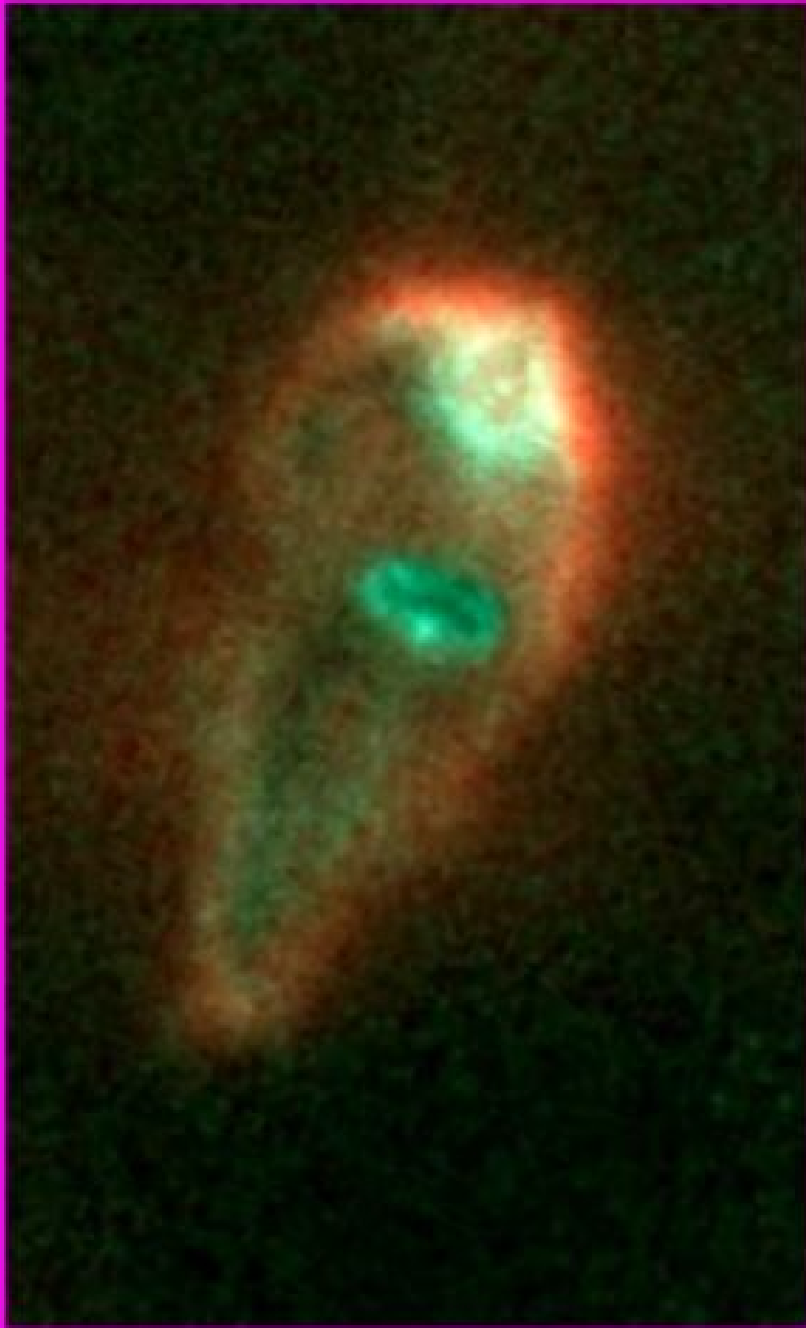
Edge-On Protoplanetary Disk Orion Nebula

HST • WFPC2

PRC95-45c • ST ScI OPO • November 20, 1995

M. J. McCaughrean (MPIA), C. R. O'Dell (Rice University), NASA





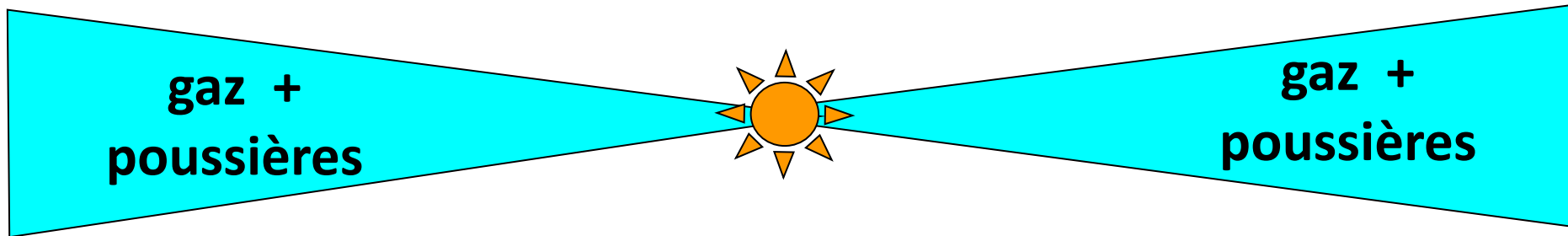
DISQUE :

99 % GAZ (HYDROGENE)

1 % GRAINS

1 à 2 % de la masse Soleil

TAILLE DES GRAINS : 1 micron



**Les grains vont grandir et donneront les planètes
d'aujourd'hui.**

Le pb: par quel processus physique des grains micrométriques
vont-ils pouvoir grandir et atteindre des tailles planétaires ???

Disque interne chauffé par le jeune soleil.
Les glaces et gaz ne peuvent condenser:
seules les roches subsistent.

Silicates et métaux

Silicates, métaux
et glaces diverses

Mercury

Venus

Earth

Mars

Jupiter

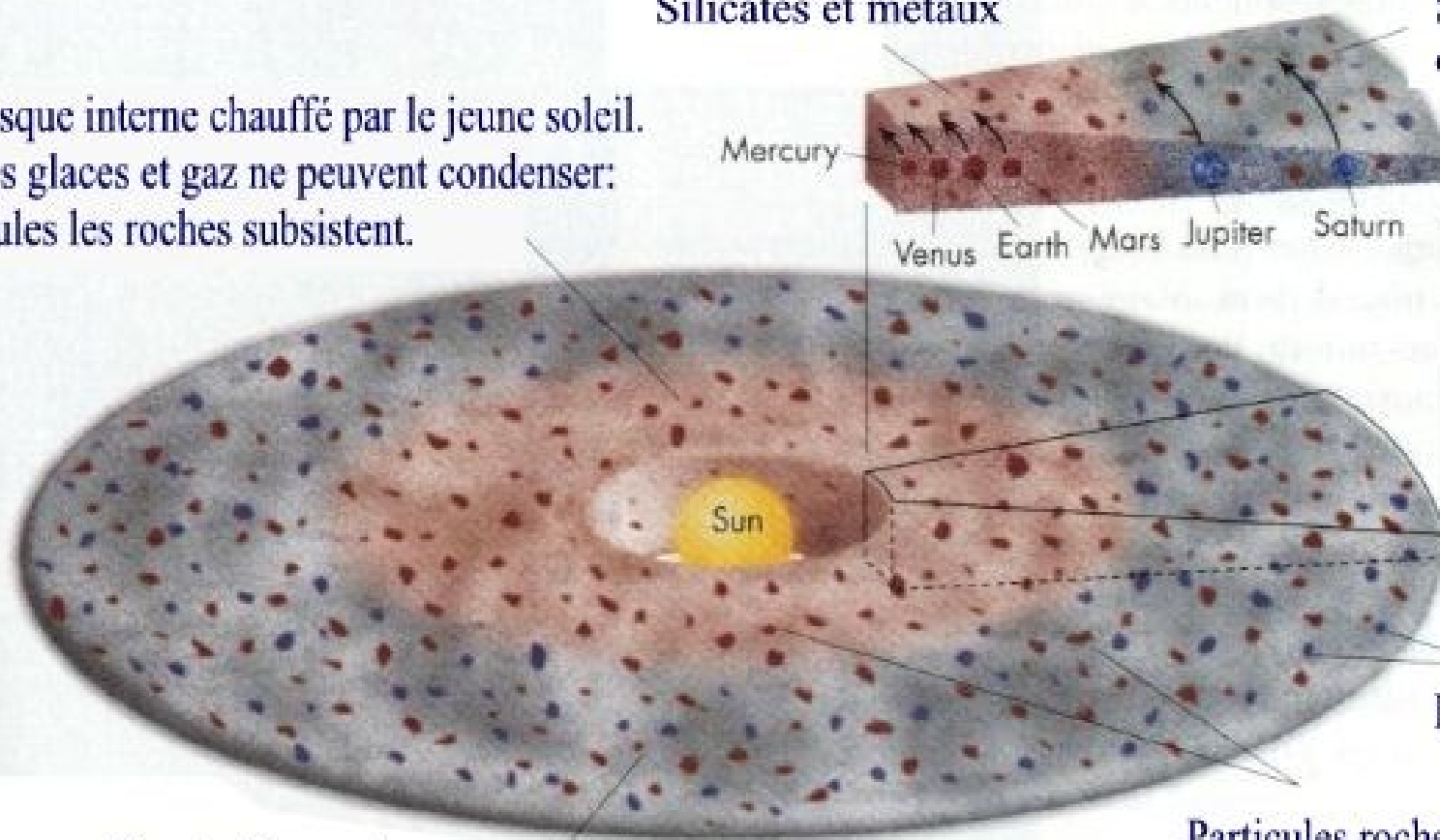
Saturn

Sun

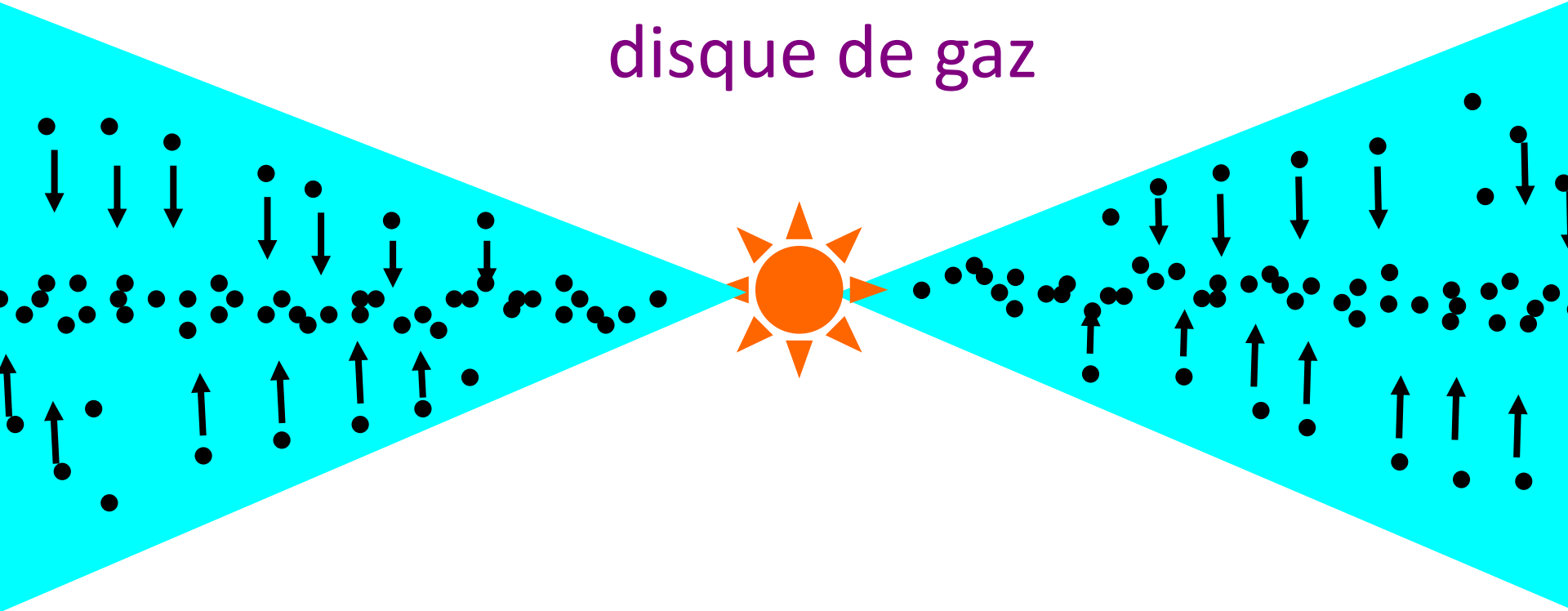
Particules de glaces.

Particules rocheuses

Dans le disque externe,
plus froid, les glaces subsistent.



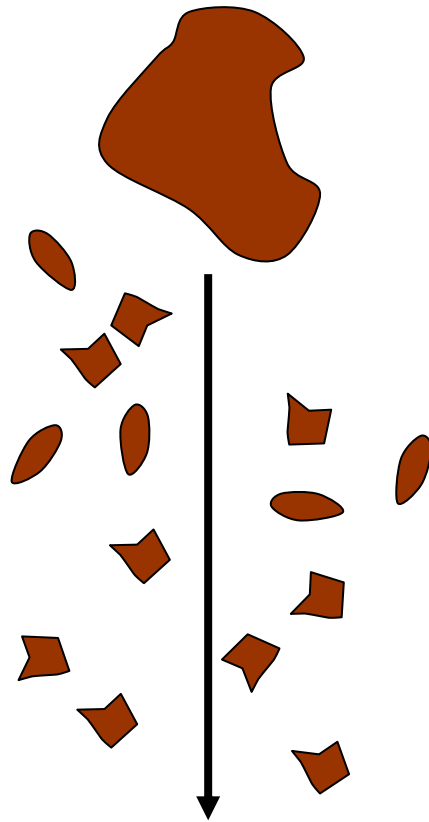
Les petits grains tombent vers le centre du disque de gaz



- Au début, densité du gaz suffisante pour freiner fortement les mvts des grains $\Rightarrow$ regroupement des grains dans le plan du disque
 - Taille de qq cm atteinte en qq milliers d'années

PENDANT LA CHUTE :

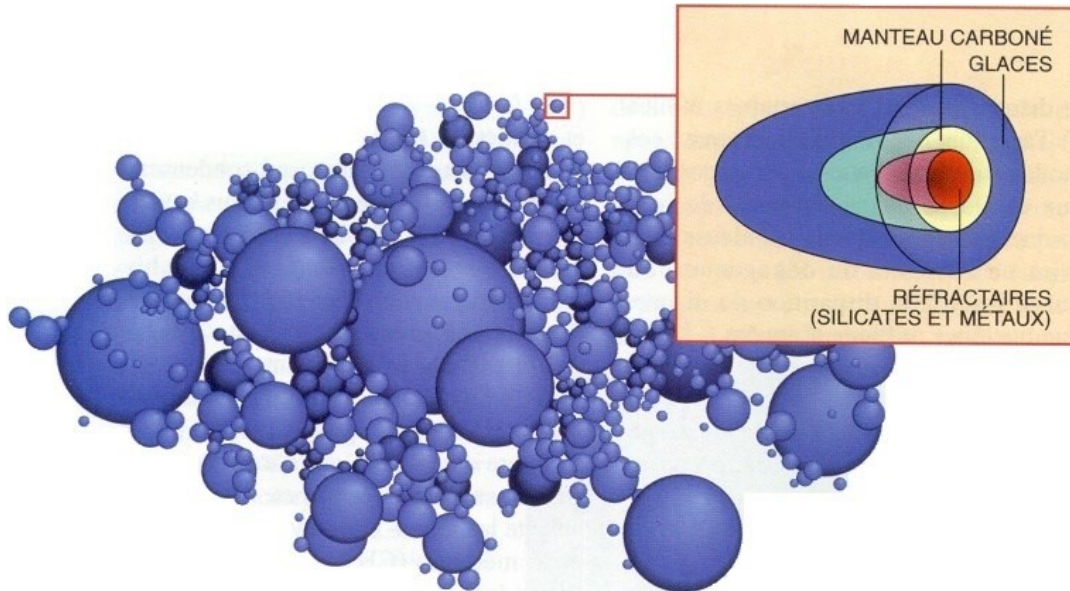
Les plus gros « flocons » rattrapent les plus petits et les absorbent



CROISSANCE DES GRAINS :

Collisions mutuelles entre les grains
+ collage
+ réactions chimiques

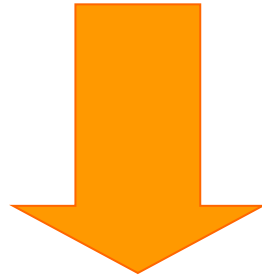
**Agrégats en
flocons**



TAILLE DES GRAINS : 1 centimètre

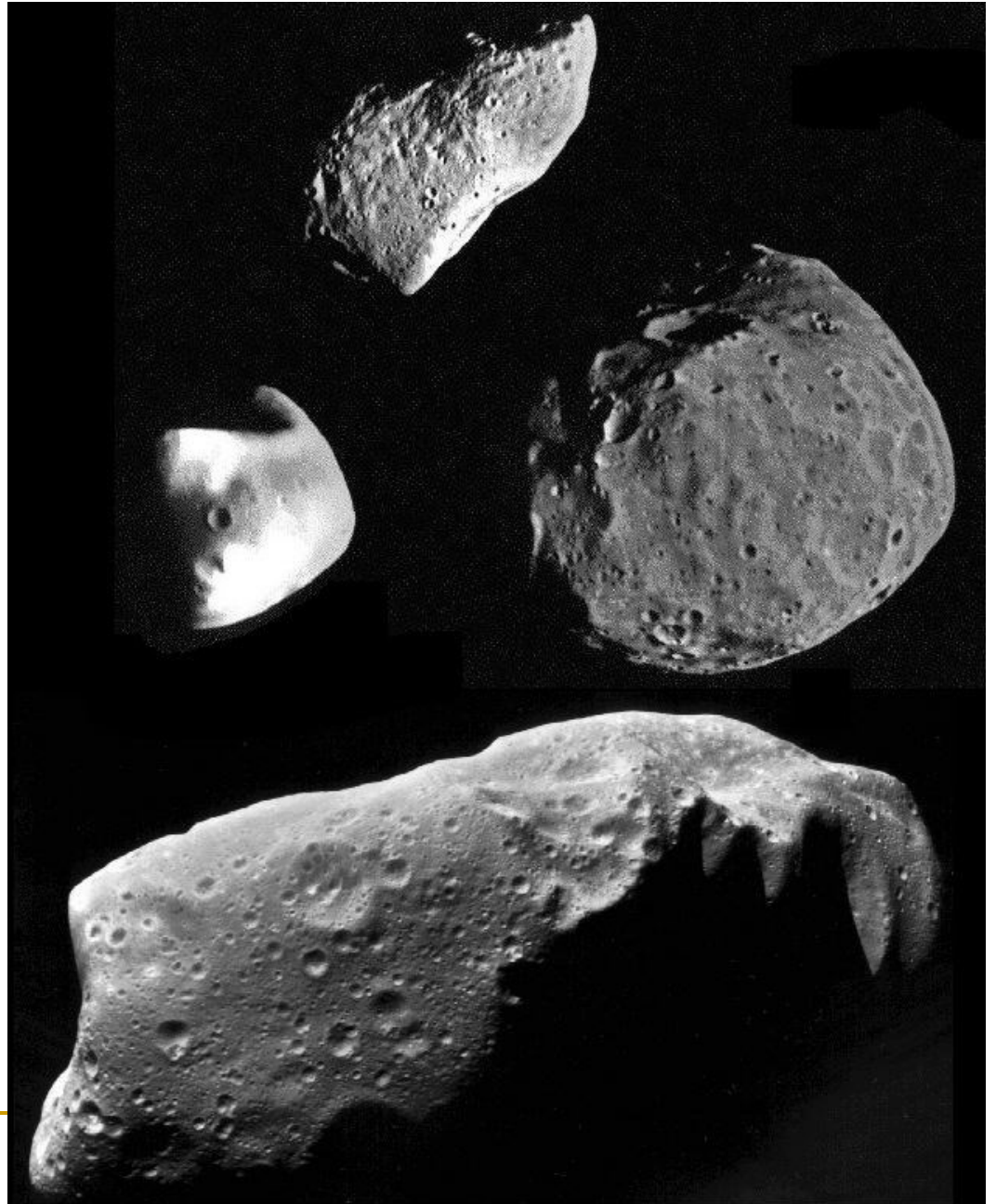
Comment continuer à grandir ?

Le disque mince de gros grains devient **INSTABLE (?)**
en raison de la gravité des grains (?)
+ **Tourbillons (?)**

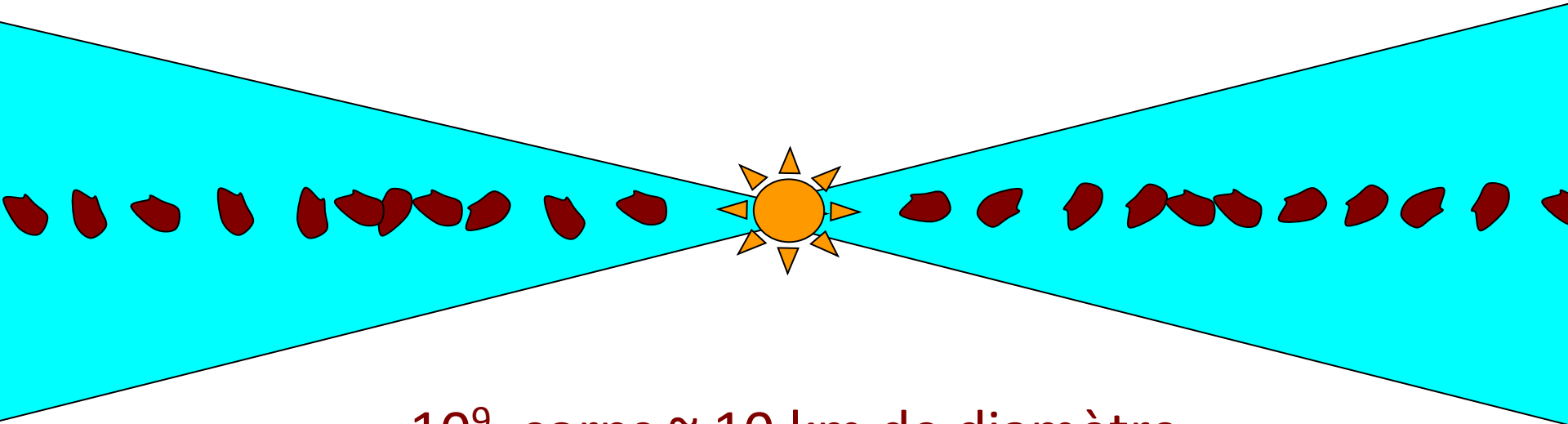


Processus de **collage** TRES efficace
« super-grains » de 10 km : PLANETESIMAU

PLANETESIMAX



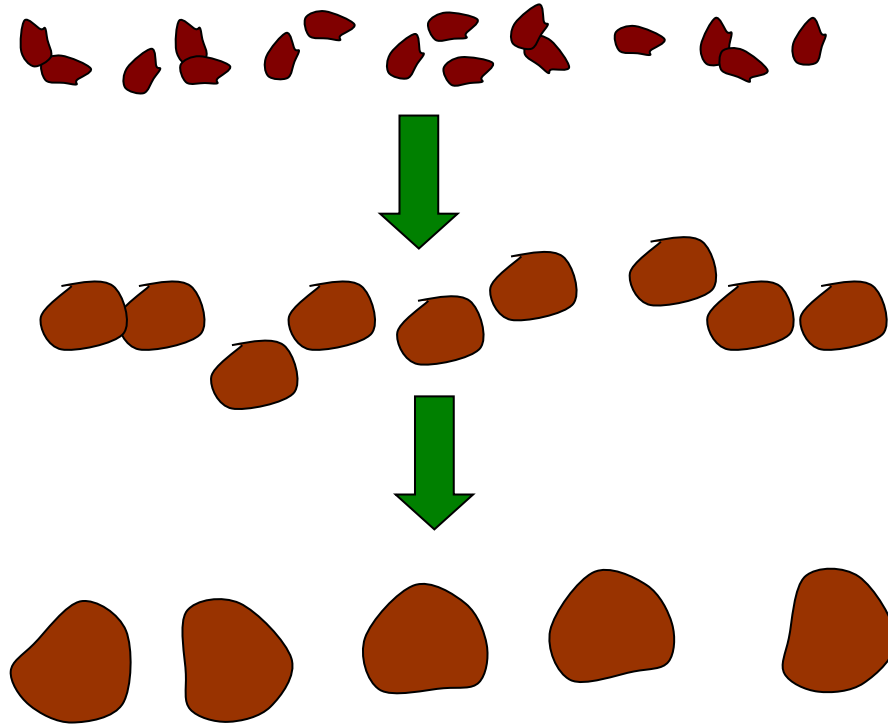
Un disque de planétésimaux



10^9 corps $\sim$ 10 km de diamètre

Croissance par collisions mutuelles

ECOLE SOVIETIQUE : (Safronov) Croissance ordonnée des corps



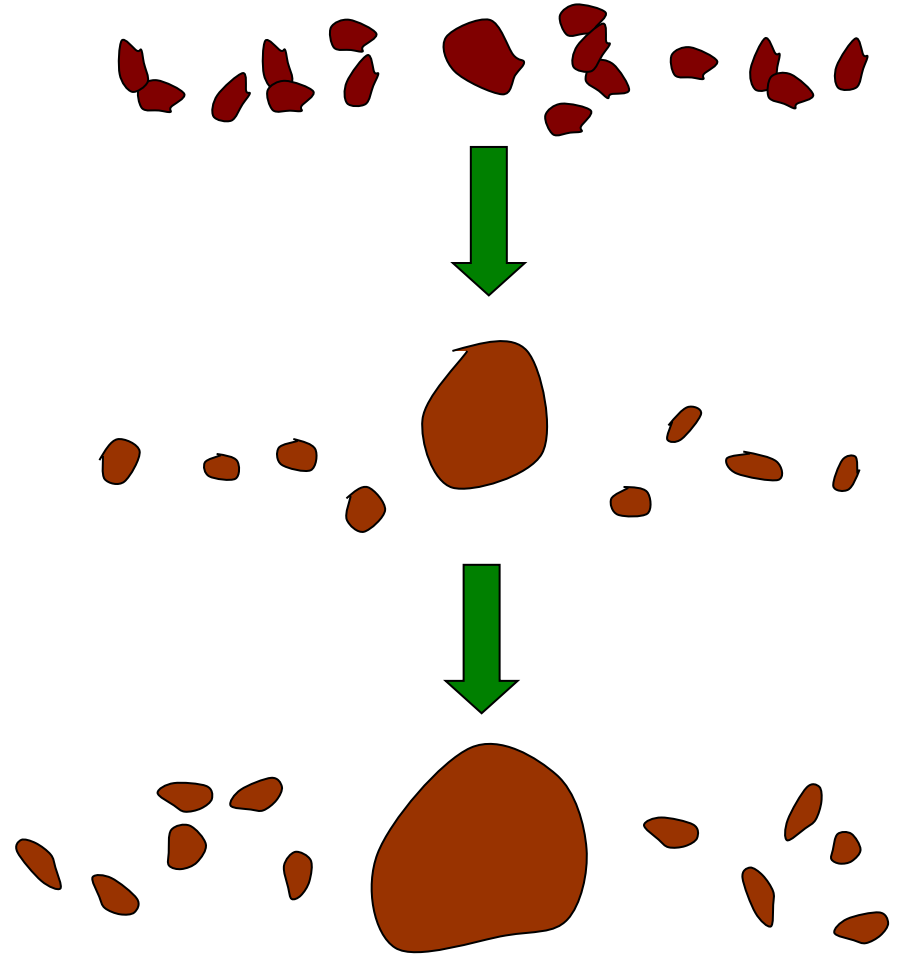
Problèmes:

- ⇒ Croissance trop lente , 100 millions A.
- ⇒ Une multitude de petites planètes

ECOLE AMERICAINE : (Greenberg , Weidenschilling, Wetherill...)

Croissance par effet “Boule de Neige”

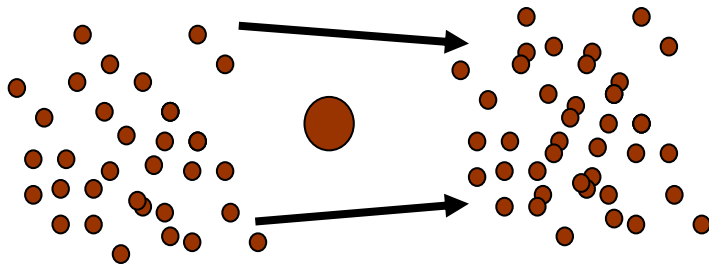
“Les plus gros grandissent les plus vite”



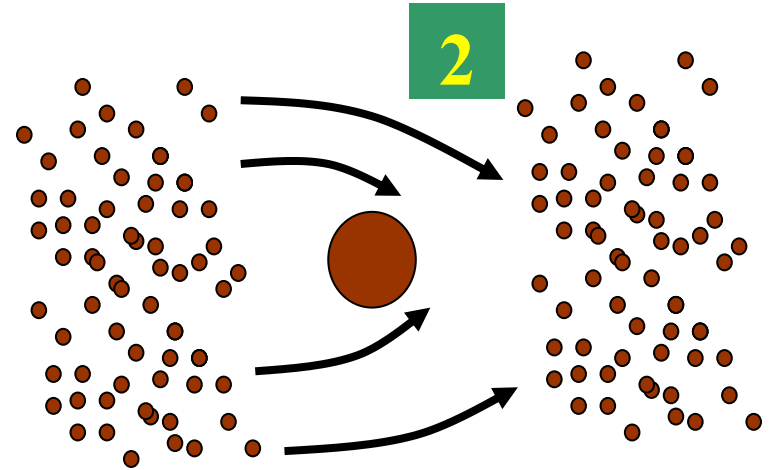
Mécanisme **TRES**
rapide : 100000 ans

L'effet « Boule de Neige »

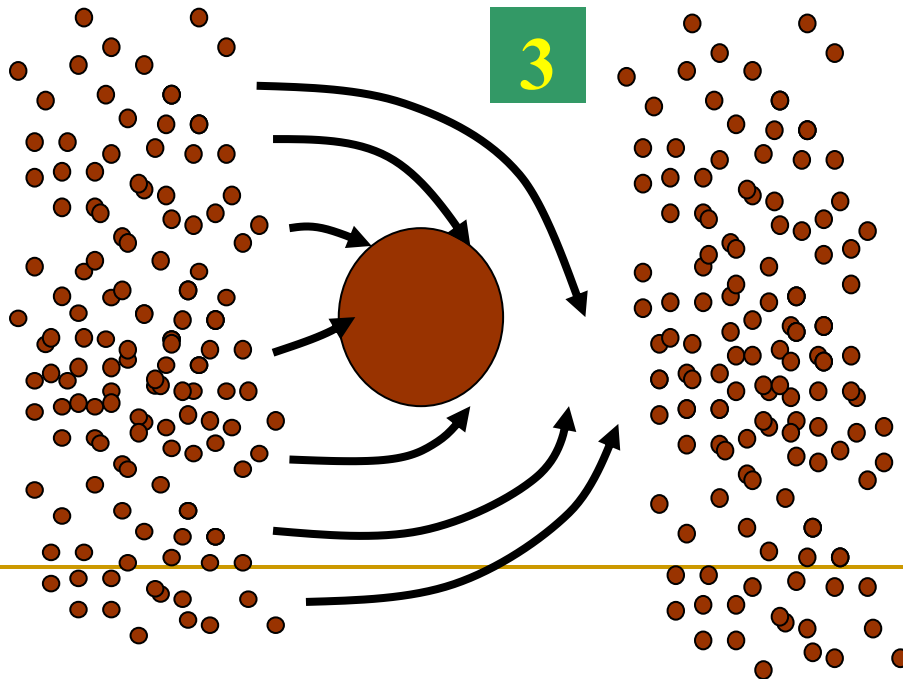
1



2

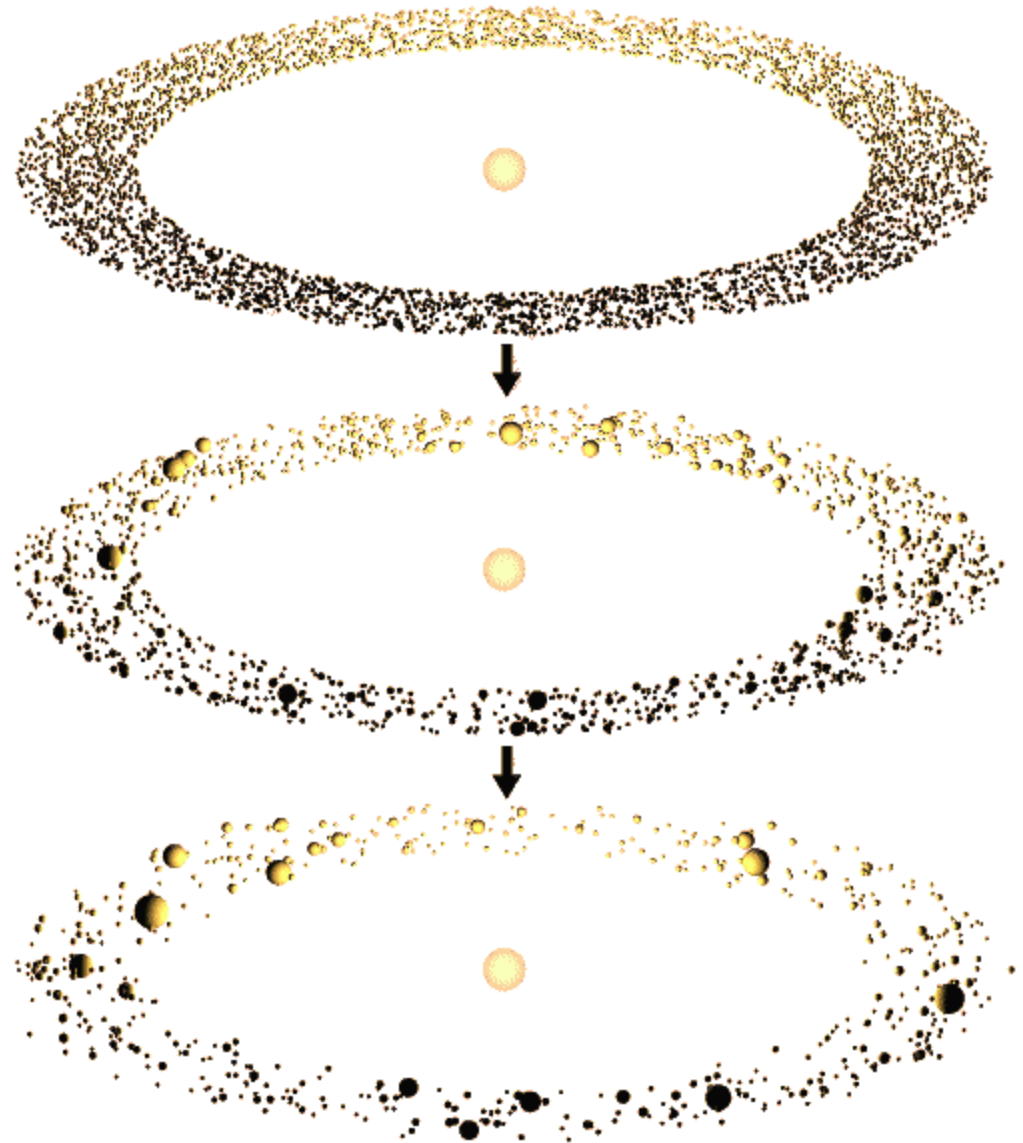


3



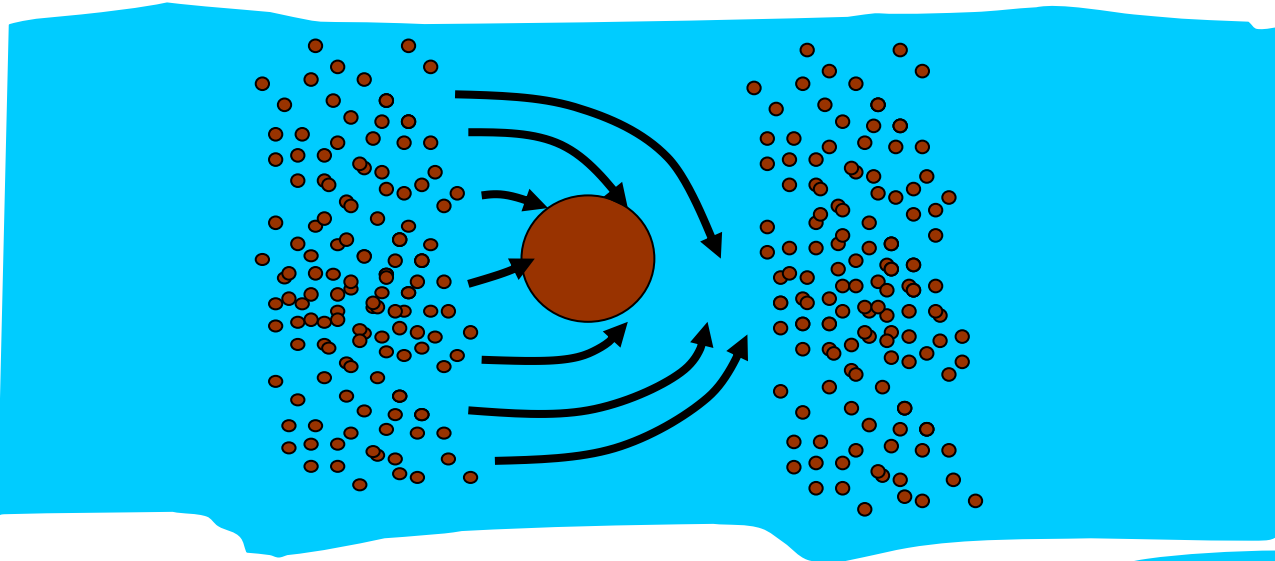
Une simulation Numérique

Apparition de
protoplanètes
(taille lunaire
à martienne)

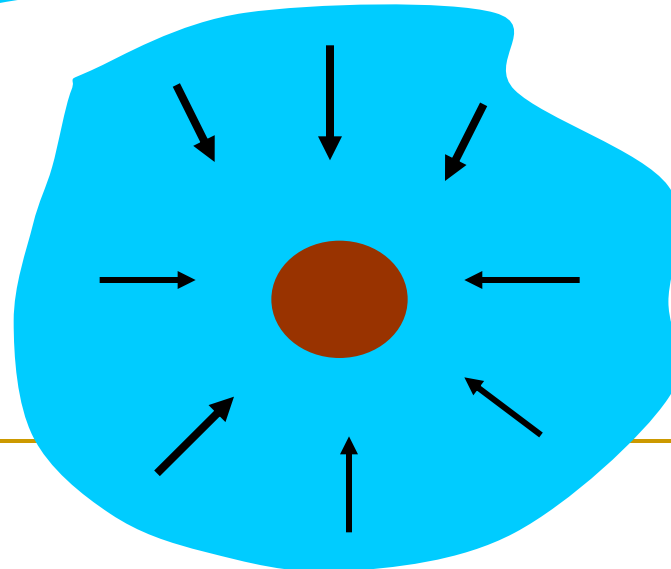


Croissance des planètes géantes gazeuses

⇒ Accrétion « Boule de Neige » au milieu du gaz



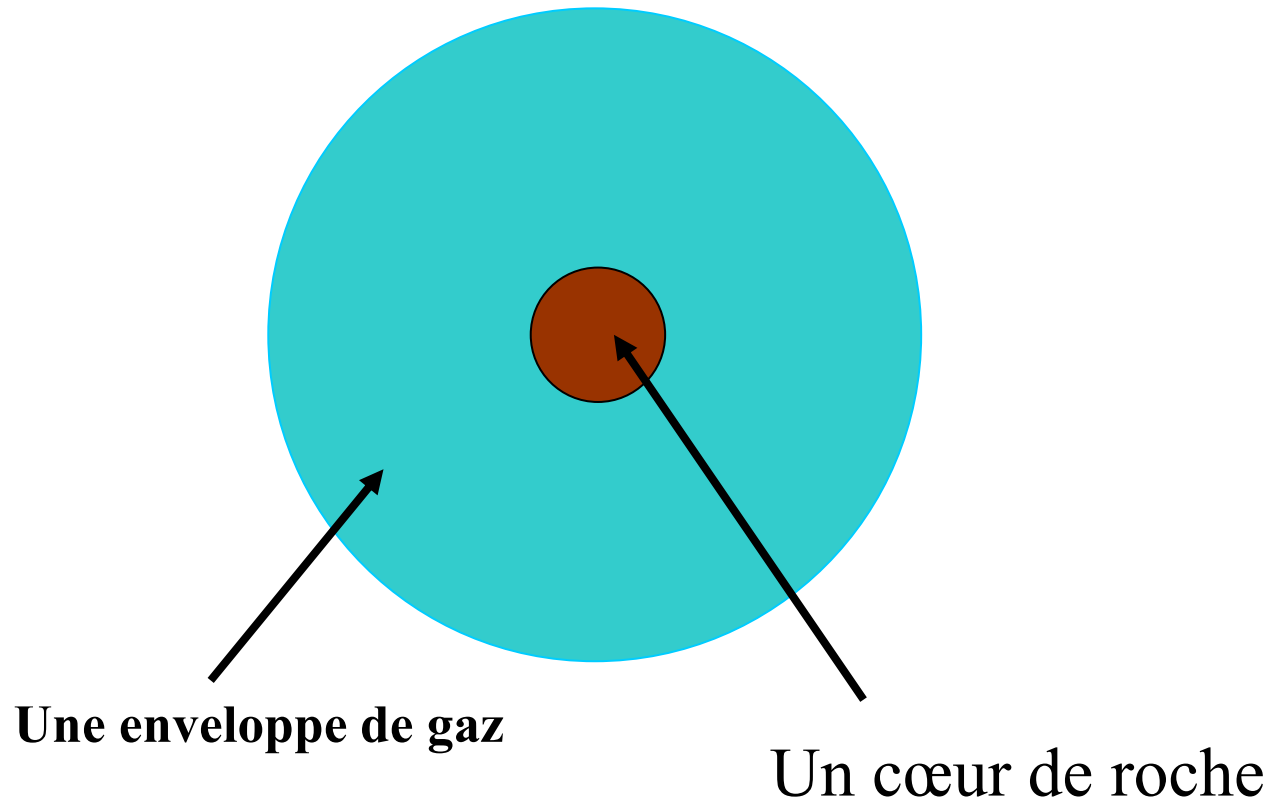
⇒ Accrétion du gaz



⇒ Emballement de l'accrétion d'une enveloppe de gaz

⇒ Effondrement rapide sur la planète

RESULTAT :

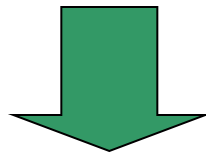


L'époque des protoplanètes

Quelques centaines de protoplanètes sont présentes
entre 0.5 et 5 UA

Elles se perturbent mutuellement

Elles entrent en collision

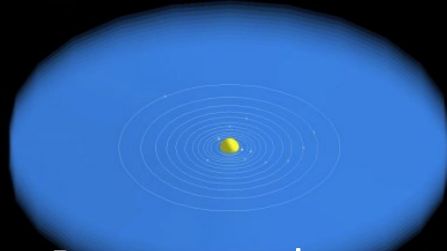


**Quelques planètes
seulement survivent**

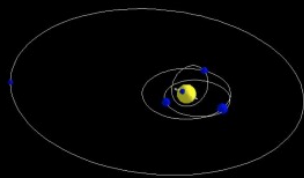
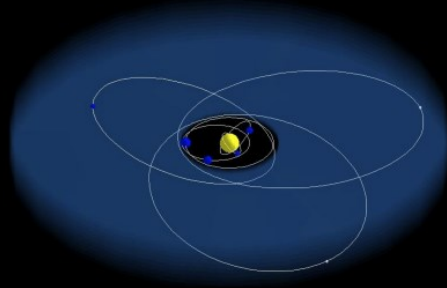
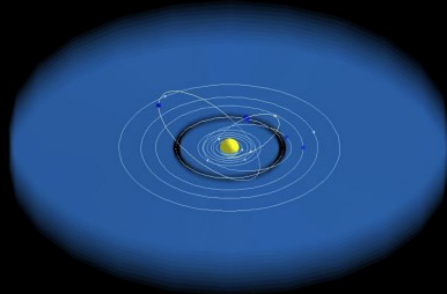
Phase très étudiée actuellement



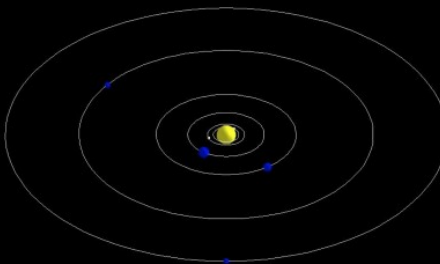
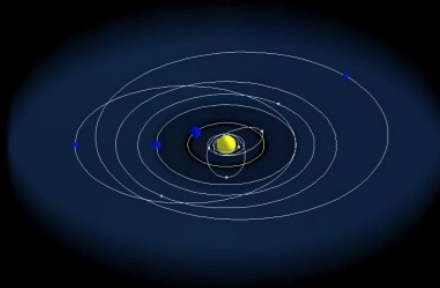
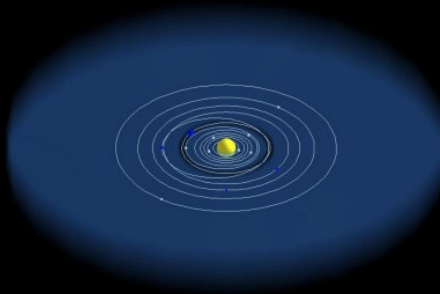
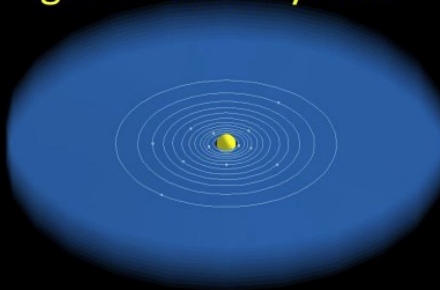
Typical disk which
grows gas giants



Beaucoup de gaz



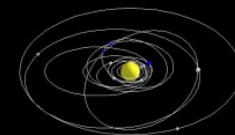
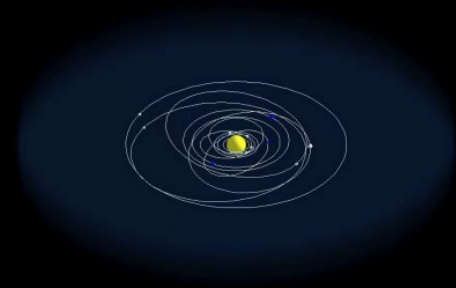
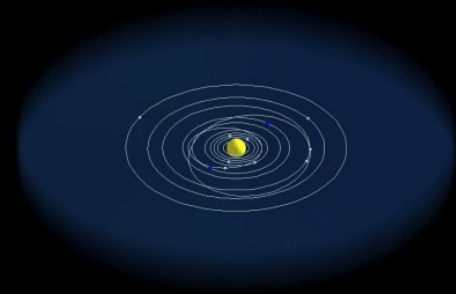
"Just right": disk which
grows Solar System



Typical disk which does
not grow gas giants



Peu de gaz

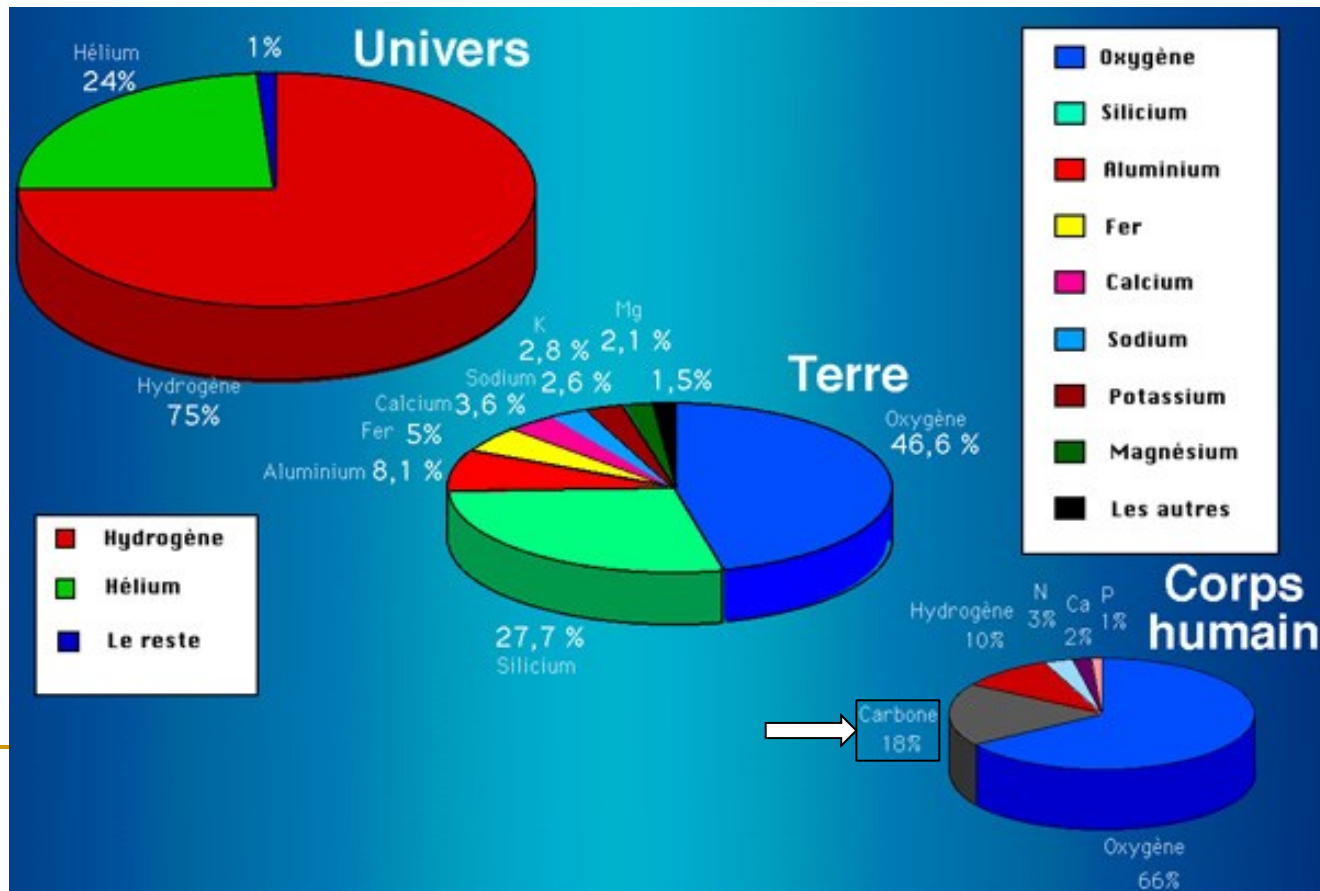


Pour résumer sur la formation planétaire

- Nébuleuse de gaz + poussières (grains μm) qui s'aplatit (cf force centrifuge + viscosité) : disque proto-planétaire → 5 phases
 - Planètes telluriques
 - Disque de gaz
 - Disque de grains (cm au m)
 - Disque de planétésimaux (10km)
 - Disque d'embryons planétaires (ou protoplanètes) (taille de l'ordre de Mars ou Lune)
 - Disque de planètes
 - Planètes gazeuses ou glacées : les embryons peuvent être 10 à 1000 fois plus massifs que dans le système interne (cf condensation de l'eau + augmentation de la masse disponible)
+ accrétion d'une enveloppe de gaz.
-

Abondance des éléments

- Composition de l'univers = H + He + « Z »
proportions en masse: ~ 75% H, ~23.5 % He, ~1.5 % Z
- Les atomes qui nous entourent sur Terre sont rares

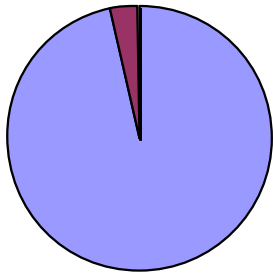


Atmosphères des planètes telluriques

■ Réelles :

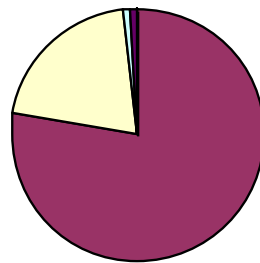
Vénus

■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ H₂O ■ Ar ■ SO₂



Terre

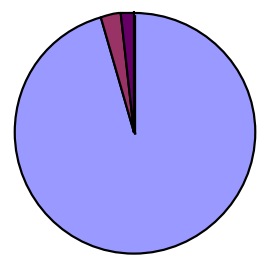
■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ H₂O ■ Ar ■ SO₂



??

Mars

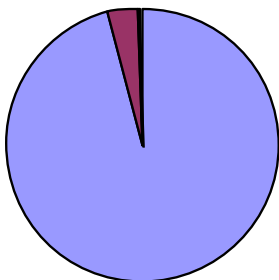
■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ H₂O ■ Ar ■ SO₂



■ En décomposant le calcaire qui a piégé le CO₂ et retirant l'O₂ apporté par la vie :

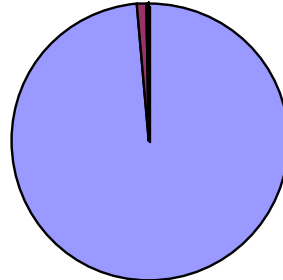
Vénus

■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ autres



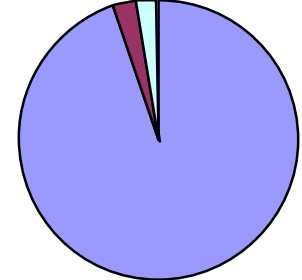
Terre

■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ autres



Mars

■ CO₂ ■ N₂ ■ O₂ ■ autres



Pourquoi une chimie carbonée ?

- Atomes nécessaires à la vie : H, C, O, N et un peu de P et S
- C abondant. Liaison covalente forte + nombreuses liaisons possibles (4 e⁻ sur couche externe). Pas détruite par lumière visible. UV oui.
- Gde diversité de molécules : longue chaîne, anneau, ...
- Pourquoi pas une chimie basée sur un autre atome ?
 - H : nécessaire; mais une seule liaison possible
 - O : important (1 ou 2 liaisons). Très réactif. Chaînes instables dès qu'elles contiennent plus de 2 O
 - N : pas de longue molécule
 - Si : similaire C, mais 10x - abondant.
 - Si-Si liaison covalente 2 fois - forte que C-C.
 - Si-O liaison + forte que Si-Si: pas de Si-Si-Si-....
 - Peu de liaisons multiples avec Si : pas comme C
 - Molécules avec Si (SiO₂, silicate) plutôt inerte (diff. CO₂, gaz)