

Notre Galaxie, naissance des étoiles et des planètes

- ① **Voyage dans notre Galaxie**
sa morphologie, dynamique, composition
- ② **Formation des étoiles dans le milieu interstellaire**
l'effondrement gravitationnel
- ③ **Histoire d'un système planétaire**
le passage d'une proto-étoile à notre système solaire

- Plan:

- a) Petit historique ..
- b) Processus de formation d'un disque *proto-planétaire*
- c) Caractéristiques d'un disque *proto-planétaire*
- d) Processus de formation des planètes dans le disque *proto-planétaire*

a) Petit historique concernant la formation des planètes :

Descartes, Newton, Kant, Laplace

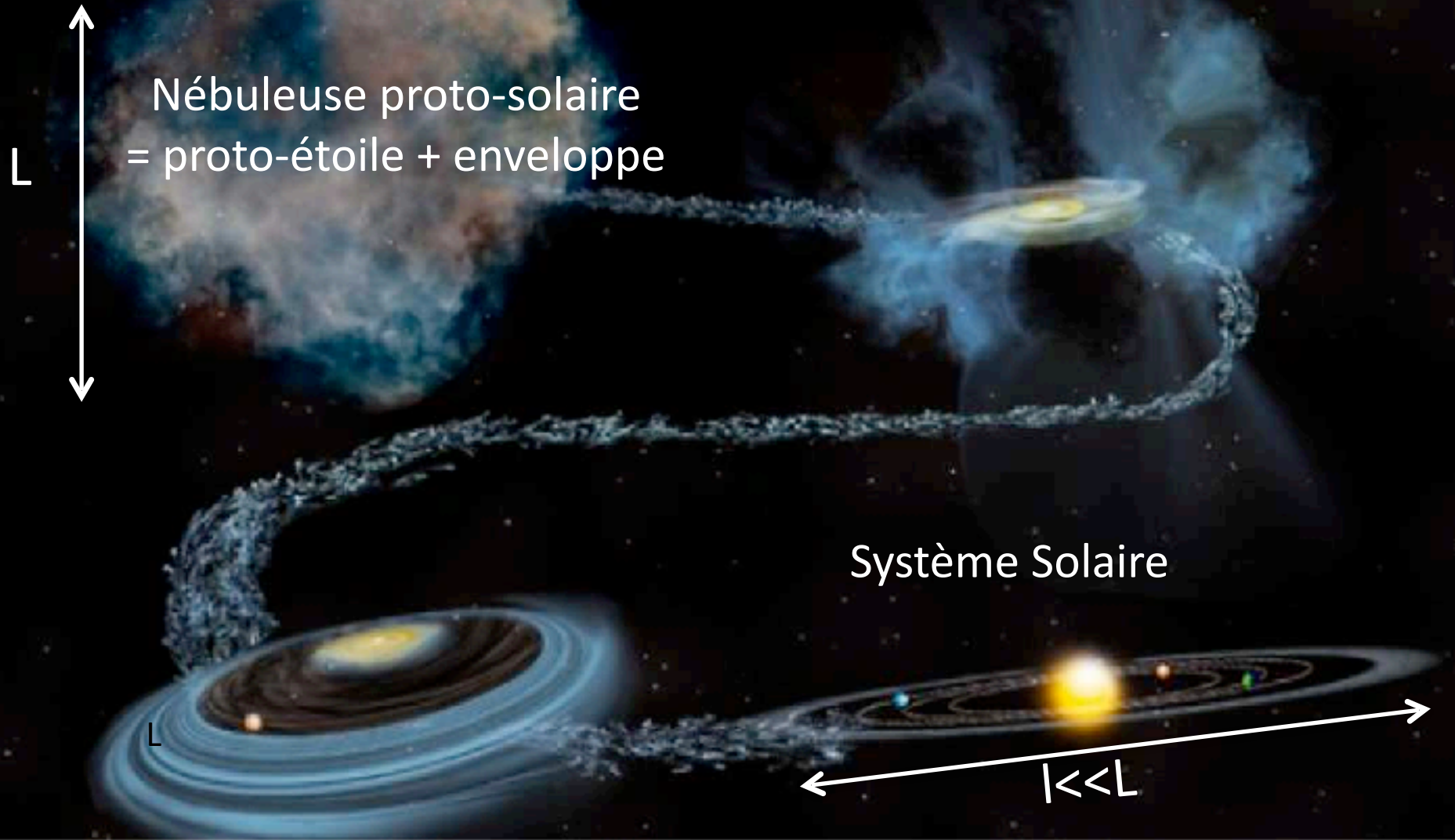
- **le Soleil et les planètes** sont à peu près situés dans le **même plan**
=> le Soleil et les planètes ont nécessairement une **origine commune**
- **les planètes tournent autour du Soleil dans le même sens**

Exercice de pensée:

si on déconstruit les planètes dans notre tête (on les pulvérise), qu'est-ce qu'on obtient ?

Un disque qui tourne..

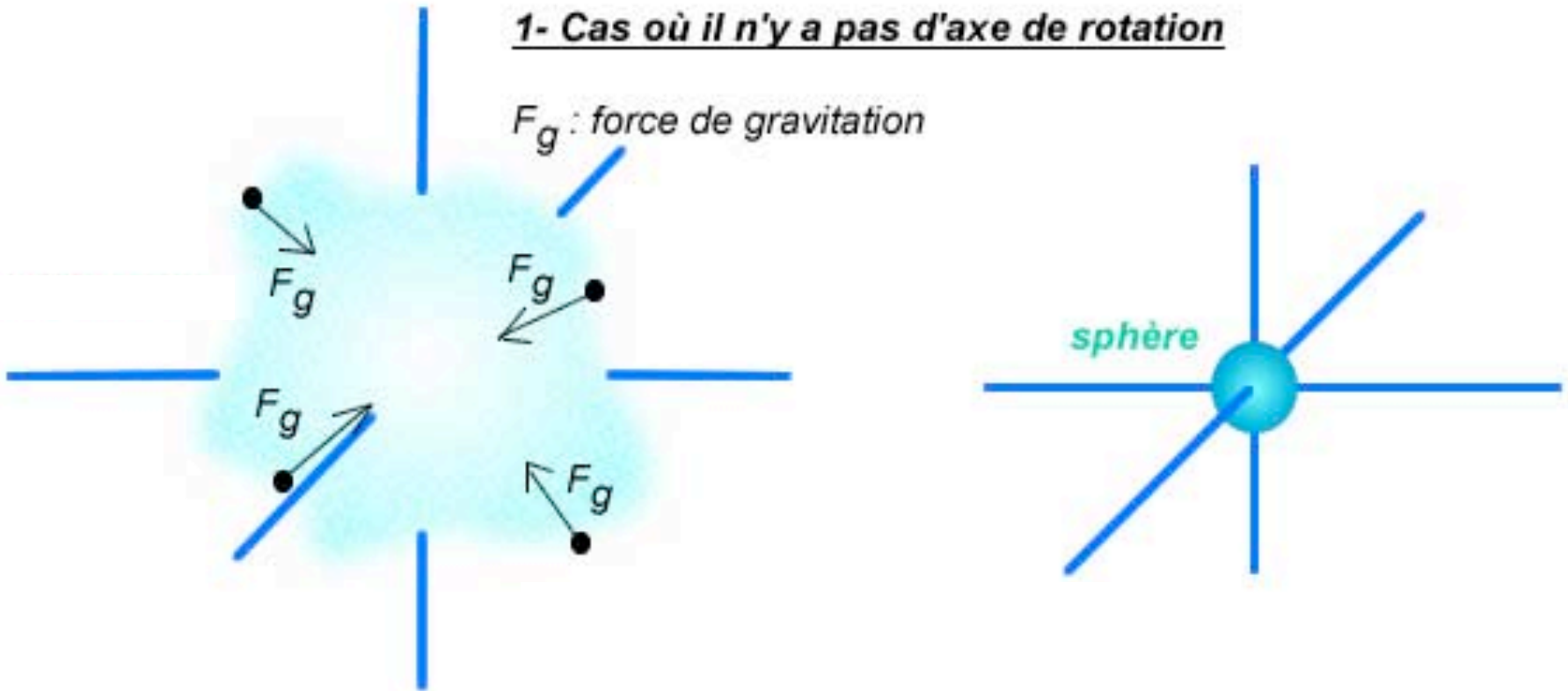
=> les planètes se sont donc condensées à partir d'un disque qui tourne autour du Soleil



Une nébuleuse de gaz et de poussière unique, appelée nébuleuse proto-solaire, qui se serait contractée puis aplatie

Le résultat final est : une jeune étoile au centre + un disque perpendiculaire à l'axe de rotation dans lequel va se former les planètes

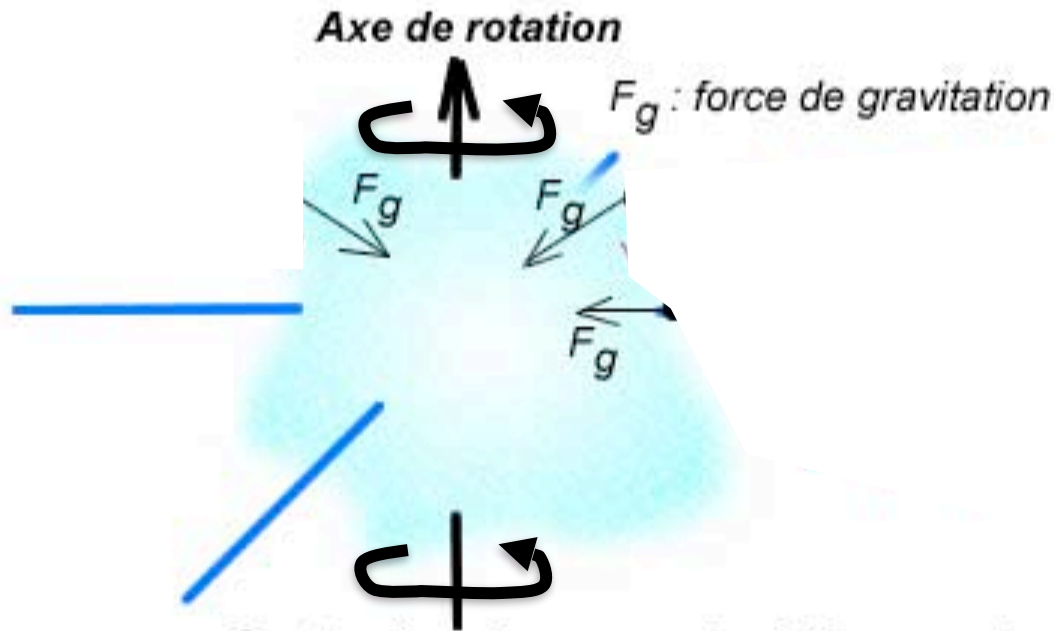
b) Pourquoi la sphère s'aplatit ? Pourquoi on forme un disque ?



Contraction des cœurs denses pré-stellaires due aux seules forces de gravitation

=> une sphère

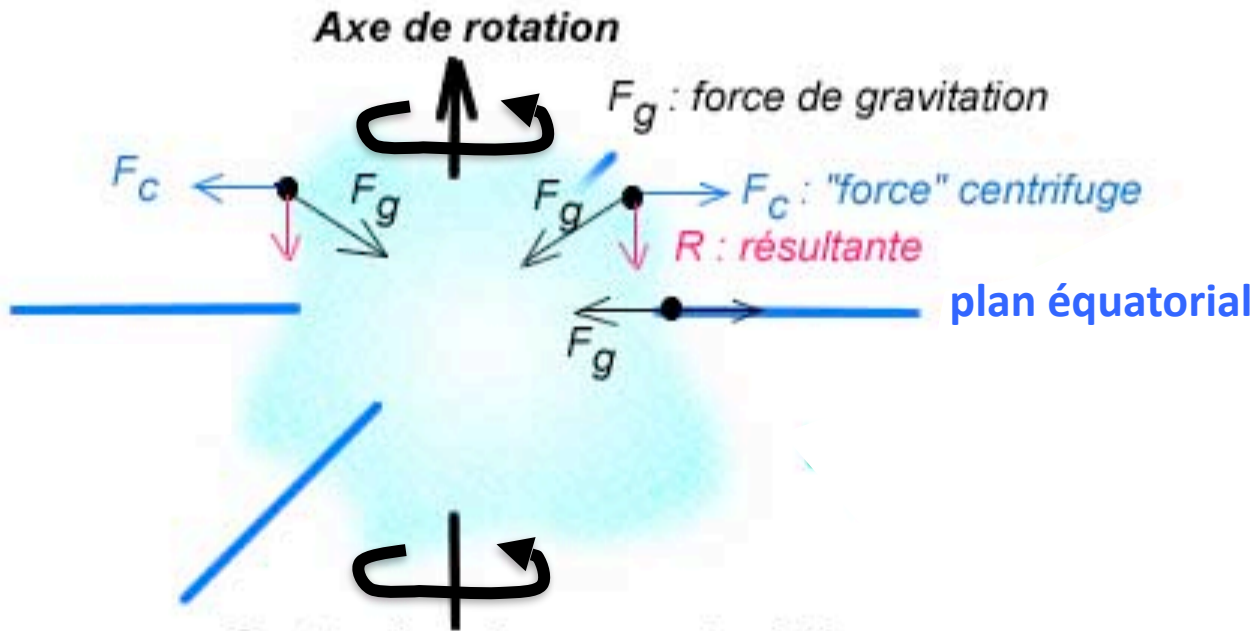
2- Cas où il existe un axe de rotation
(dû à l'existence d'un moment cinétique non nul pour l'ensemble du nuage)



- **Par conservation du moment cinétique : $L = r \times m \times v = \text{constant}$**
Plus la sphère se contracte (rayon $r \searrow$)
Plus la vitesse v de rotation augmente (vitesse $v \nearrow$)

Analogie: le patineur augmente sa vitesse de rotation sur lui-même lorsqu'il ramène ses bras contre son corps....

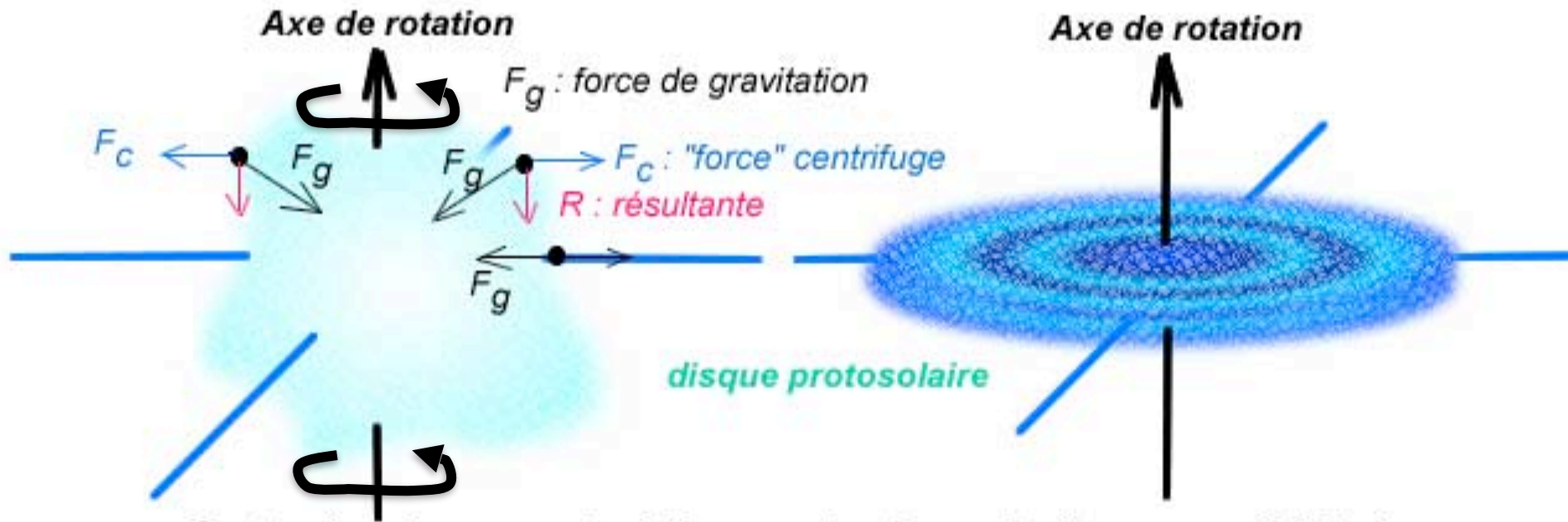
2- Cas où il existe un axe de rotation
(dû à l'existence d'un moment cinétique non nul pour l'ensemble du nuage)



- **Bilan des forces**

- En dehors du plan équatorial : F_{gra} et F_{cen} s'additionnent pour donner une force résultante dirigée vers le plan équatorial... le long de l'axe de rotation : la matière tombe
- Dans le plan équatorial : $F_{\text{gravitationnel}}$ et $F_{\text{centrifuge}}$ vont s'équilibrer...

2- Cas où il existe un axe de rotation
(dû à l'existence d'un moment cinétique non nul pour l'ensemble du nuage)



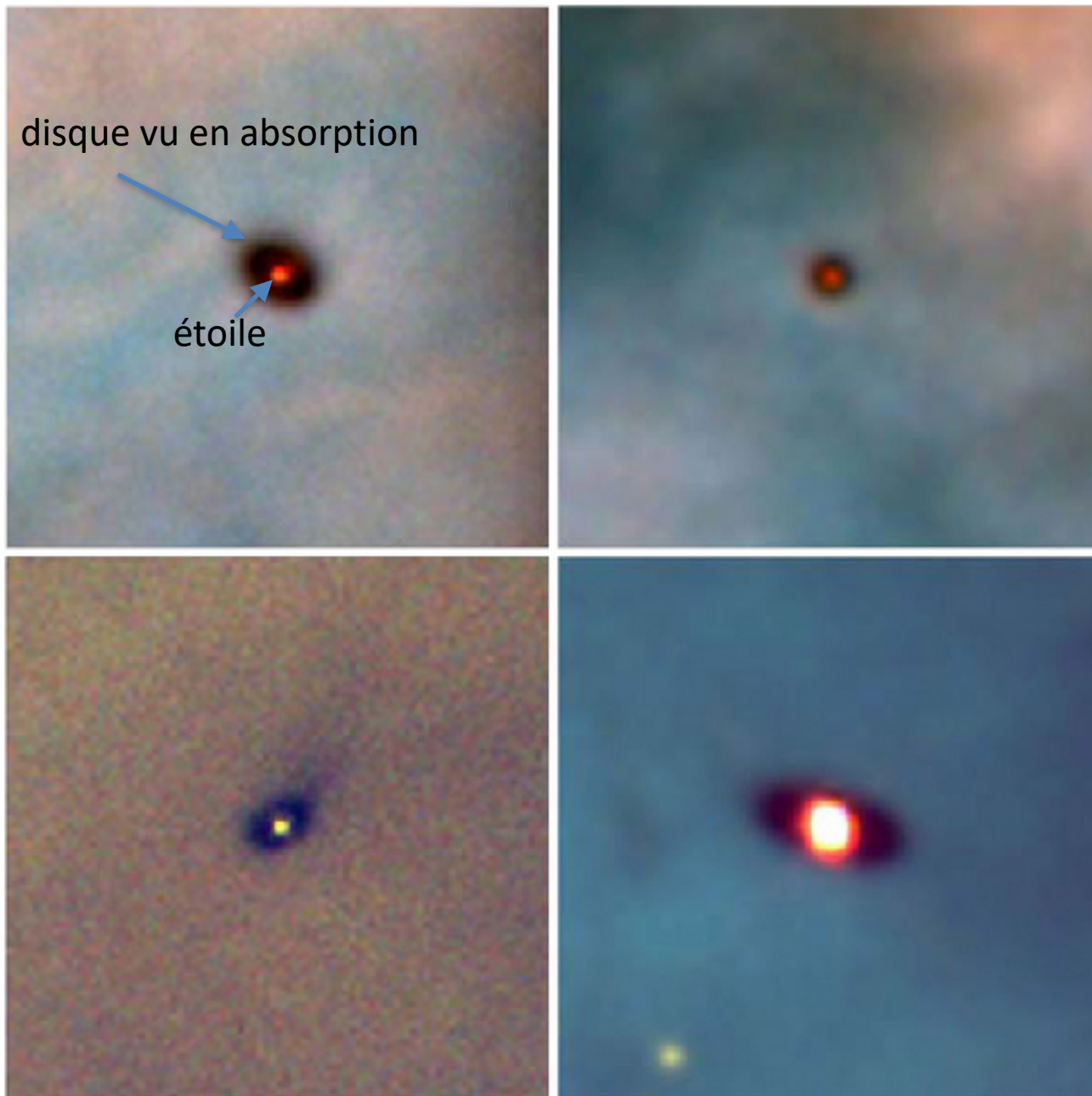
→ **Aplatissement en forme de disque**
(comme une boule de pâte à pizza!)

Remarque importante:

- **Si la rotation est trop rapide l'étoile et le disque se disloquent sous l'action de la force centrifuge**
- Une partie du moment cinétique doit absolument être évacuée par le disque pour pouvoir former des planètes
- Processus physique responsable de cette 'évacuation du moment cinétique': Jets et vents stellaires

c) Observations et caractéristiques des disques *proto-planétaires*

Disques observés avec Hubble dans la nébuleuses d'Orion

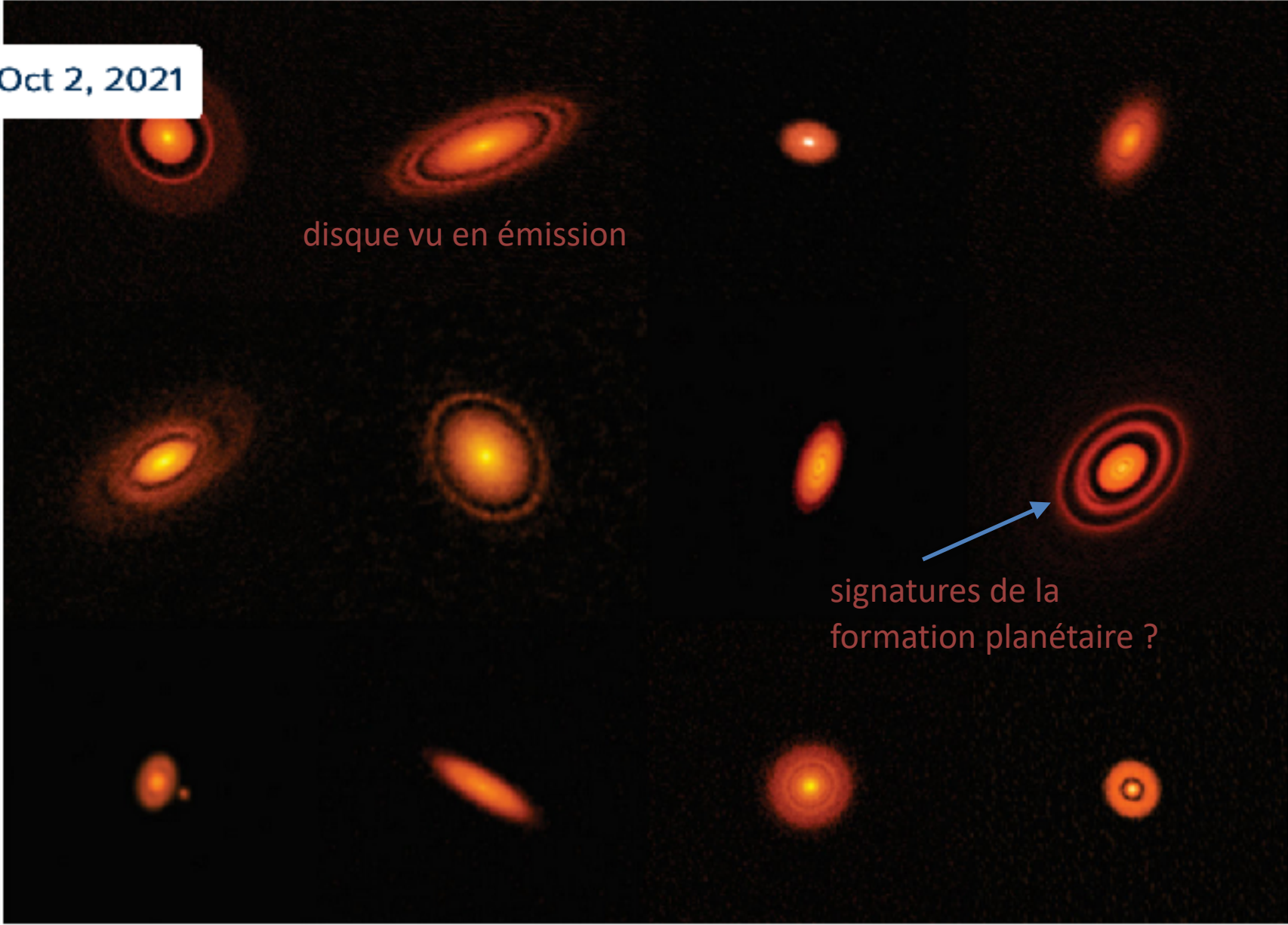


Disques observés par ALMA dans le millimétrique

Oct 2, 2021

disque vu en émission

signatures de la formation planétaire ?



Taille, composition et masse des disques

- Taille : on mesure typiquement ~ 10 - 1000 AU mais il est possible que l'on soit biaisé par la détection de grands disques massifs (facilement détectables)
- Composition initiale: 99% (H_2 , He), poussières (1%)
- Composition du disque change en fonction de la distance à l'étoile
Ex. pour notre système solaire:
 - distance > 3 au : l'eau (H_2O) sous forme de glace (=solide)
=> comètes
 - distance < 3 au : l'eau sous forme gazeuse; corps solide composés de roches et de métaux réfractaires qui condensent à haute T
=> astéroïdes
- Masse = $0.001 - 1 M_{sol}$, si plus gros les disques sont instables
- Dans le Système Solaire, la masse des planètes représenterait moins de 10% de la masse initiale du disque. A cause du phénomène de dissipation du gaz dans le disque.
- les planètes géantes sont principalement composées de gaz, elles ont donc été formées avant que le gaz dans le disque ne se dissipe

d) Processus de formation des planètes dans le disque proto-planétaire

2 types de processus de formation

1. Effondrement gravitationnel d'une sur-densité dans le disque proto-planétaire (de larges structures instables dans le disque on forme des objets plus petits de la taille des planètes)
 - formation des planètes gazeuses géantes (composées de gaz et de glaces)
2. Processus d'accrétion à partir des très petits grains de poussière interstellaire
 - formation des planètes terrestres (composées de roches)

Processus d'accrétion

1ère étape: Grossissement des grains de très petite taille $\sim\mu\text{m}$ au $\sim\text{mm}$



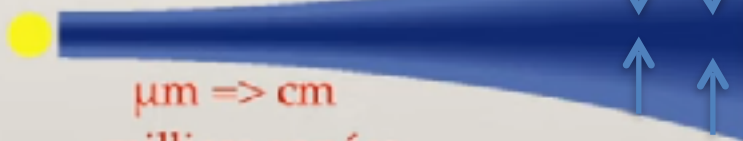
- **Collision des grains de poussière interstellaire micrométriques les uns avec les autres:** les grains ont une faible vitesse qui leur permet de se coller les uns aux autres lors d'une collision, et de former un agglomérat poreux de macromolécules
- Ces nouveaux grains sont ensuite **compactés par les collisions** successives

section du disque vu par la tranche

(gaz+poussières)



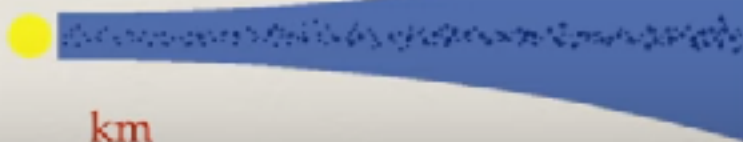
2. Sédimentation des poussières



$\mu\text{m} \Rightarrow \text{cm}$

~ milliers années

3. Formation planétésimaux



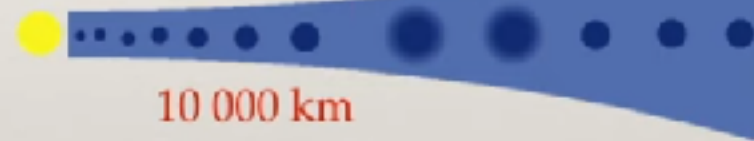
km

4. Formation des coeurs



~1000 km

5. Formation des géantes



10 000 km

~ millions années

6. Dissipation du gaz



- les grains plus lourds que le gaz sédimentent dans le plan du disque
- la densité des grains \uparrow dans le plan du disque et accélère leur grossissement par collisions
- la gravitation entre en jeu et accélère les collisions => formation de planétésimaux, des coeurs
- la masse des proto-planètes est suffisante pour accréter le gaz alentour et former des planètes géantes gazeuses avec des coeurs solides
- Dissipation du gaz ...

Dans notre Système Solaire

- **Planètes internes (<3 ua du Soleil) :**
 - Petites
 - Composées de roches et de métaux (éléments réfractaires qui condensent à haute T)

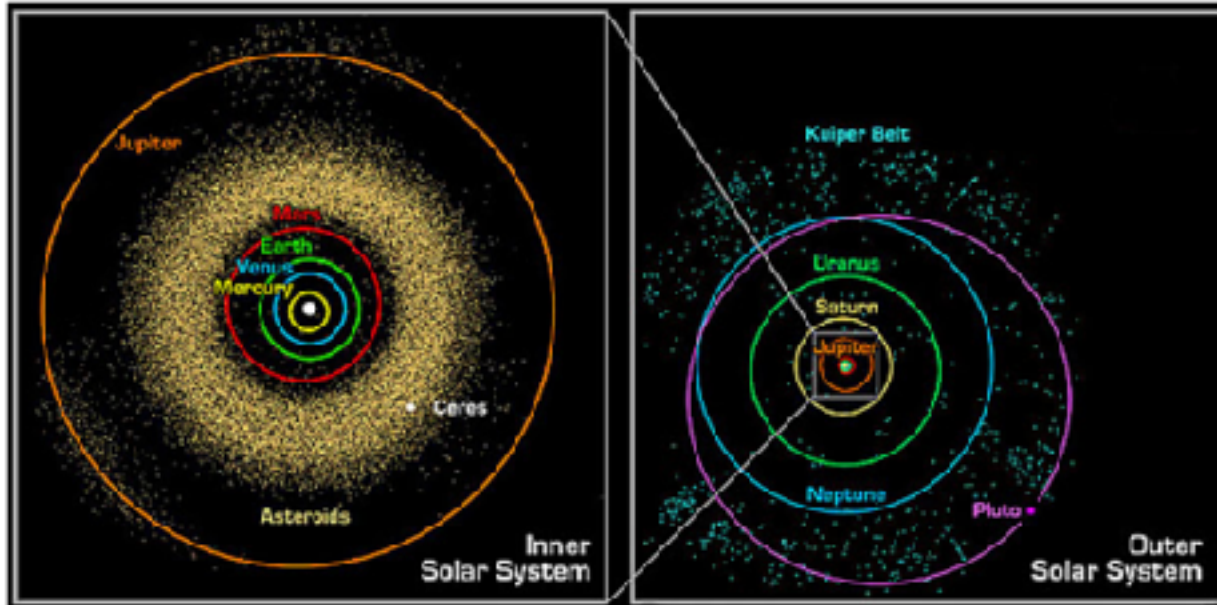
Planètes terrestres (ou télluriques)

- **Planètes externes (> 5 ua du Soleil):**
 - Géantes
 - Composées de volatils (gaz et glaces)

Planètes gazeuses géantes

Notre disque de débris

Dans notre propre système solaire, il reste des débris rocheux de la formation des planètes. Les plus gros corps sont les astéroïdes et les comètes, regroupés en deux ceinture:



- Ceinture d'astéroïdes principale (entre Mars et Jupiter) avec des corps de toutes tailles: des grains interplanétaires à des gros corps de 100 km (les 2 plus gros corps: astéroïde Vesta avec un diamètre de 530 km et une planète naine Cérès de diamètre 950 km)
- Ceinture de Kuiper (30 à 50 au) qui est 20 à 200 fois + massive avec des planètes naines (e.g., Pluton) et des comètes (riches en glaces et de composés organiques vaporisés lors d'un passage près du Soleil)