

## La formation du système solaire

Pour commencer, quelques observations

- **Observation 1 : Régularité des orbites planétaires** - toutes les planètes tournent autour du soleil dans le même sens et dans un plan proche du plan équatorial du soleil. Les plans orbitaux de toutes les planètes sont inclinés de moins de  $3,5^\circ$  par rapport au plan de l'écliptique = plan de l'orbite de la Terre. Seules les deux planètes extrêmes Mercure et Pluton ont des inclinaisons plus importantes ( $7^\circ$  et  $17^\circ$ ). Il est d'ailleurs à noter qu'en raison de sa composition, sa taille et son orbite particulière, Pluton a été déclassée du rang de planète il y a quelques années et a été redéfinie comme un gros astéroïde de la ceinture de Kuiper.

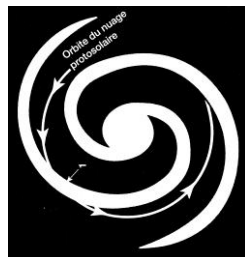
Le fait que toutes les planètes tournent dans un même sens et quasiment dans un même plan est une observation très importante en faveur de la naissance des planètes à partir d'un seul et unique disque de matière. Elle exclut pratiquement la possibilité que les planètes aient été des corps capturés les uns après les autres après un passage à proximité du soleil. En effet, dans ce cas, les orbites n'auraient aucune raison de se situer sur un même plan.

- **Observation 2 :** Le soleil tourne sur lui-même dans le même sens que les planètes. Sa vitesse de rotation dépend de la latitude mais elle est en moyenne de 27 jours. On peut noter que dans le système solaire, le soleil représente 99% de la masse mais seulement 2% du moment cinétique total. Ceci veut dire que le soleil semble tourner très lentement sur lui-même...

- **Observation 3 :** Les roches les plus anciennes datées sur Terre par des méthodes de radiochronologie montrent un âge de  $4.4 \cdot 10^9$  ans (Australie, 2014). Les échantillons rapportés de la Lune donnent un âge de  $4.2 \cdot 10^9$  ans. Les météorites primitives (les plus anciennes) sont datées à  $4.5 \cdot 10^9$  ans. Cette proximité des âges semblent indiquer que tous ces objets se sont formés à peu près en même temps, probablement dès le début de l'histoire du système solaire...

### Scénario de formation du système solaire

Tout a probablement commencé lorsqu'un nuage interstellaire appelé « nébuleuse » est passé dans un des bras de notre galaxie (bras = onde de densité équivalente à un embouteillage en accordéon pour faire simple).



Trajectoire supposée du nuage interstellaire à l'origine du système solaire.

Au passage de l'onde de compression, le nuage s'est fragmenté en « globules » plus petits. L'un de ces globules a donné naissance à notre soleil et ses planètes... Le nuage interstellaire où s'est formé le soleil ressemblait probablement à la nébuleuse d'Orion ou celle de l'Aigle (voir ci-dessous)

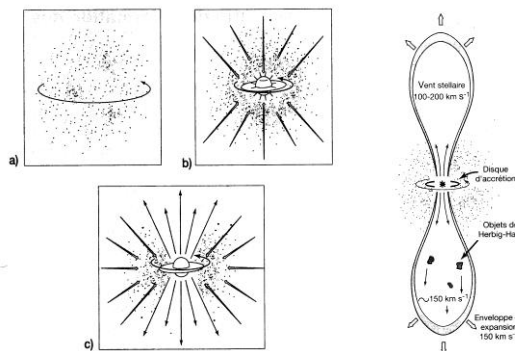


*Nébuleuse d'Orion (à gauche) et effondrement d'un globule dans la nébuleuse de l'Aigle. La lumière semblant sortir du nuage provient probablement d'étoiles en formation.*

Une fois le nuage fragmenté, le globule formé s'effondre sur lui-même sous l'effet des forces d'attraction gravitationnelle. Pendant très longtemps, les physiciens se sont demandés comment cet effondrement était possible car 2 choses s'y opposent en réalité :

- Les nuages développent un champ magnétique généré par le mouvement des particules. Ce champ s'oppose à l'effondrement.
- Lors de l'effondrement, il doit y avoir conservation du moment cinétique. C'est à dire que plus le globule se contracte, plus il doit tourner vite, à l'image d'un patineur qui resserre ses bras pour accélérer sa vitesse de rotation. Or si la rotation devient trop rapide, le globule doit re-éclater...

C'est la découverte de la formation de « jets bipolaires » se produisant pendant l'effondrement qui explique que la contraction peut effectivement se produire.



*Effondrement du nuage pour former le protosoleil (a-c) et jets bipolaires (à droite) évacuant matière, champ magnétique et moment cinétique.*

Ces jets de matière, de part et d'autre du disque formé par la rotation, évacuent de la matière, du champ magnétique et du moment cinétique. Le nuage peut alors se contracter sans acquérir une vitesse de rotation trop importante. Cela explique également que le soleil semble tourner plus lentement que ce à quoi l'on pourrait s'attendre.

L'effondrement donne naissance à un **proto-soleil** qui émet de l'énergie sous forme de rayonnement. Cette énergie évacuée provient de la perte d'Énergie Potentielle en lien avec la

contraction. A ses débuts, le soleil était ainsi bien plus lumineux qu'aujourd'hui. Cette phase de contraction a duré pendant près de **20millions d'années** (ce qui est très rapide !).

L'effondrement s'est arrêté lorsque pression et température au centre ont été suffisantes pour initier des réactions thermonucléaires avec **formation d'Hélium à partir d'Hydrogène**. L'Energie libérée par la réaction s'oppose à l'effondrement et le soleil acquiert un équilibre hydrostatique. Cet équilibre hydrostatique durera tant qu'il y aura de l'Hydrogène à transformer en Hélium, soit encore pendant  $5 \cdot 10^9$  ans...

Lors de l'arrêt de l'effondrement du proto-soleil, il se produit une baisse de température dans le disque de gaz autour du soleil. Il se produit alors des phénomènes de condensation et de petits minéraux commencent à apparaître aboutissant à des grains de quelques millimètres.

Ces grains vont ensuite progressivement s'agglomérer en raison des instabilités gravitationnelles et donner naissance à des corps de quelques centaines de mètres que 'on appelle les **planétésimaux**. Ce phénomène d'accrétion va se poursuivre et donner les planètes. Au total, cette phase d'accrétion dure environ **100millions d'années**.

Si l'on regarde la composition des planètes, on remarque 2 types de planètes :

- Mercure, Vénus, Terre et Mars : petites et composées d'éléments « lourds » (Si, C, Al, Ca, Mg, Fe...+ O). Ce sont les **planètes telluriques**.
- Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, plus grosses et formées d'éléments légers renvoyées à la périphérie du disque lors de l'accrétion : H et He majoritairement. Ce sont les planètes **externes ou géantes**.

### Retour sur le soleil et son devenir...

Lorsque dans  $5 \cdot 10^9$  ans, le soleil aura brûlé tout son Hydrogène, la réaction va se stopper et le soleil va entamer une nouvelle contraction. Cette nouvelle contraction va engendrer une nouvelle augmentation de pression et température en son centre et déclencher une seconde réaction nucléaire qui est la transformation de l'Hélium en Carbone... L'Energie émise sera alors bien plus importante qu'aujourd'hui et le rayon externe du soleil va croître (300 fois le soleil actuel) pour englober notre Terre... la fin du monde est hélas programmée... Le soleil sera alors une **géante rouge**. Lorsque tout l'Hélium sera brûlé, la masse du soleil étant relativement faible, son évolution s'arrêtera là car la nouvelle contraction qui s'en suivra ne pourra pas enclencher de nouvelles réactions nucléaires. Le soleil s'éteindra progressivement pour devenir une **naine blanche**...