Voyage dans le système solaire au fil d'un collier

© Detlev van Ravenswaay/Science Photo Library/Cosmos

Comparaison des tailles respectives des objets principaux du système solaire, présentées dans l'ordre.

Le système solaire est grand, certes, mais grand *comment* ?
On peut bien sûr donner le nombre de millions de kilomètres qui séparent les planètes*, mais de tels chiffres donnent le tournis et au final, on n'aura pas une idée plus claire. Une autre solution : essayer de construire un système solaire à l'échelle. Problème : vu sa taille, si l'on veut utiliser une seule échelle pour représenter tailles et distances, il faut de la place (au minimum 100 m, voire 1 km). En plus, les tailles sont extrêmement variables : Jupiter est 10 fois plus grand que la Terre, certains astéroïdes plus de 100 fois plus petits… tout cela n'est pas très pratique pour choisir une échelle. Alors, contentons-nous d'étudier les distances relatives.

D'une planète à l'autre, avec des perles

Le plus facile est de faire **un collier de 80 cm**, où 2 cm équivalent à la distance Terre-Soleil – ce que l'on appelle une Unité Astronomique (UA). La table ci-dessous note les distances relatives entre les objets principaux. Vu sa taille, il n'est pas nécessaire de mettre un fermoir pour ce collier, un simple nœud suffira… **sauf si vous désirez l'ouvrir régulièrement pour faire la démonstration de notre voisinage céleste.**

Objet	Distance (par rapport à la distance Terre-Soleil qui vaut ~150 millions de km)	Distance pour le bracelet de 17 cm	Distance pour le collier de 80 cm
Mercure	0,39	0,16 cm	0,78
Vénus	0,72	0,31	1,44
Terre	1	0,43	2
Mars	1,52	0,65	3,04
Astéroïdes	2,1 à 3,3	0,9 à 1,4	4,2 à 6,6
Jupiter	5,2	2,2	10,4
Saturne	9,6	4,1	19,1
Uranus	19,2	8,2	38,4
Neptune	30,1	12,8	60,1
Ceinture de Kuiper (not. Pluton)	Au moins 39,4	16,7	78,8

• Commencer par choisir un joli repère doré pour marquer la présence du Soleil ; ajouter quatre petites perles bleues (représentant l'espace), puis une perle gris foncé pour Mercure, une petite perle bleue, une perle jaune-orangé pour Vénus, une petite perle bleue, une perle bleu/vert/brun pour notre planète (éventuellement avec une perle grise pour la Lune) une petite perle bleue, une perle rouge pour Mars…

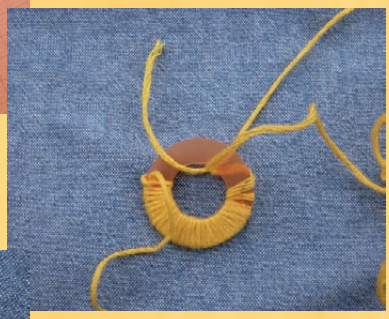
• Puis ajouter autant de petites perles bleues qu'il le faut pour arriver dans la zone des astéroïdes, et ajouter alors des perles irrégulières de couleur foncée (brunes ou noires).

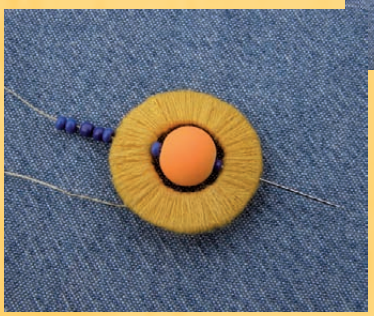
* À partir du Soleil, maître incontesté du système, on rencontre tout d'abord **Mercure**, puis **Vénus**, **la Terre**, **Mars**, **Jupiter**, **Saturne**, **Uranus**, et enfin **Neptune**. Pour retenir plus facilement cet ordre, il suffit de mémoriser la phrase "***M**on **V**ieux, **T**u **M**e **J**ettes **S**ur **U**n **N**uage*" : la première lettre de chaque mot donne la première lettre de la planète correspondante.

• Continuer avec des petites perles bleues (ou de petits tubes bleus) pour arriver jusqu'à Jupiter (une grosse perle rouge-orangé), que l'on peut accompagner de petites perles jaune, blanche, et brunes pour les satellites galiléens (Io, Europe, Ganymède et Callisto).

• Continuer avec des perles bleues pour arriver jusqu'à Saturne (une grosse perle jaune pâle), que l'on peut accompagner d'une petite perle orange pour Titan. Si vous avez une perle anneau, vous pouvez l'ajouter à Saturne, évidemment (vous pouvez aussi construire un anneau facilement en utilisant par exemple la technique illustrée ci-dessous).

Il est facile de fabriquer un anneau pour Saturne avec 2 disques ajourés qu'on découpe dans une feuille de plastique (les couvertures plastiques des cahiers, souples mais résistantes, conviennent idéalement).





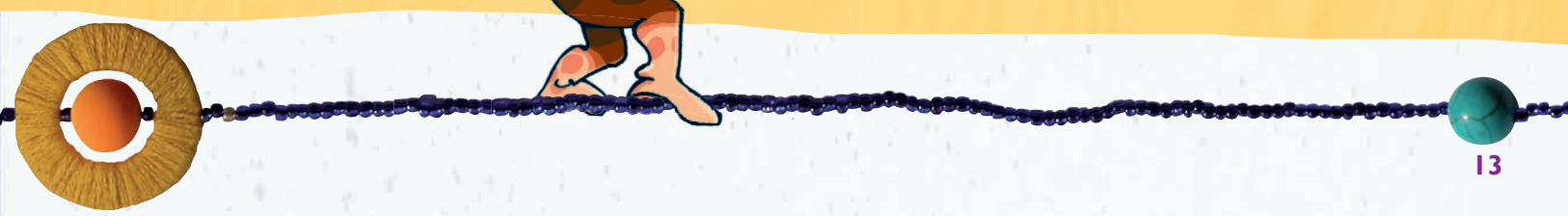
On enroule du coton à broder autour de ces 2 disques assemblés. L'aiguille passera entre les 2 disques, le fil sera maintenu en place par le coton. Ne pas oublier de calculer le trou intérieur en fonction de la perle utilisée pour le corps de la planète.

• Continuer avec des perles bleues pour arriver jusqu'à Uranus (une perle turquoise), puis recommencer jusqu'à Neptune (une perle bleue).

• Terminer par quelques petites perles blanches, les astéroïdes glacés de la Ceinture de Kuiper…

• Si le cœur vous en dit, vous pouvez ajouter une comète : il suffit par exemple de nouer deux brins de laine, l'un jaune pour la queue de poussières et l'autre bleu pour la queue de gaz ionisé, que l'on dispose dans le système ainsi construit – en principe, ces queues apparaissent quand la comète se trouve non loin du Soleil, mais cette zone-là est déjà fort encombrée : un peu de licence artistique, et voilà la comète décorant joliment le système solaire externe.

L'exercice est similaire si on préfère un bracelet (17 cm pour 80 UA), à ceci près qu'il faut prendre des perles plus petites et que l'échelle sera moins bien respectée au début.

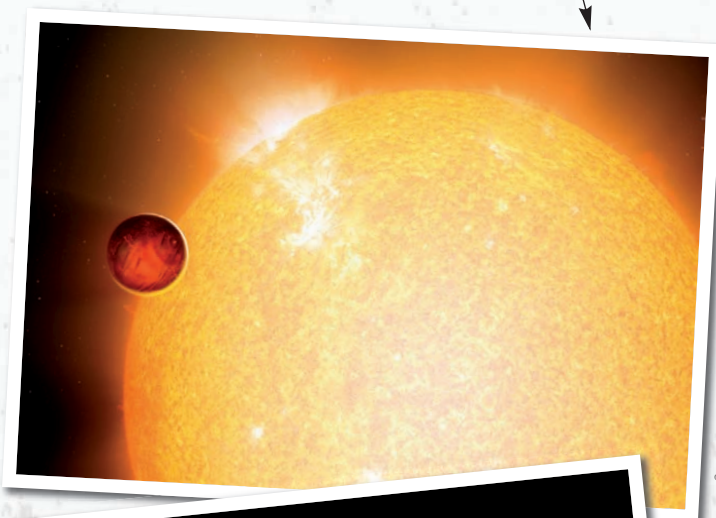


Oui mais pourquoi cet ordre-là ?

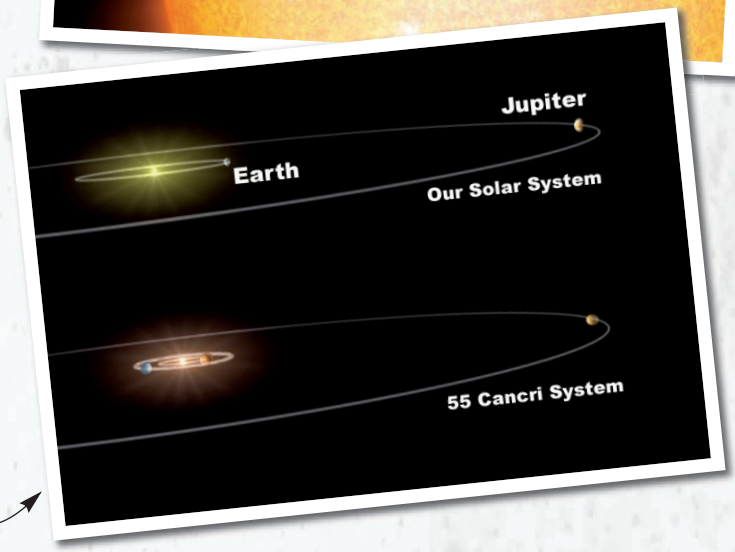
On peut évidemment se demander si cette répartition a un sens quelconque. Pendant longtemps, les savants ont essayé d'y voir le résultat d'une formule mathématique (appelée loi de Titius-Bode). Il y avait cependant un problème, un "trou" sans planètes entre Mars et Jupiter. C'est en cherchant à le résoudre que les astronomes découvrirent les astéroïdes, et l'on sait aujourd'hui que l'influence des deux planètes, surtout celle du géant jovien, empêche en fait toute grosse planète de se former à cet endroit. Avec la découverte d'objets supplémentaires, au-delà de Saturne, la loi de Titius-Bode est tombée dans l'oubli.

Si la répartition n'est pas évidente, alors peut-être est-elle universelle ? Là aussi, il a fallu déchanter. **En effet, lorsque des planètes furent découvertes autour d'autres étoiles, leur répartition ne ressemblait en rien à ce que l'on observe dans le système solaire.** Il y a des objets semblables à Jupiter en taille, mais aussi près de leur Soleil que Mercure, voire plus près encore : on les nomme des **"Jupiters chauds"** ! De plus, ces exoplanètes, comme on les appelle, présentent souvent des orbites très peu circulaires… Même dans notre système solaire, les choses sont loin d'être parfaites : Uranus et Neptune sont trop grandes (leur formation, à leur position actuelle, aurait dû prendre des lustres) tandis que la planète rouge, Mars, est bien trop petite comparé à la quantité de matière présente à cet endroit au départ. Au fil du temps, il a donc fallu repenser la formation planétaire.

Un "Jupiter chaud", exoplanète de type géante gazeuse mais orbitant très près de son étoile, contrairement aux géantes du système solaire.

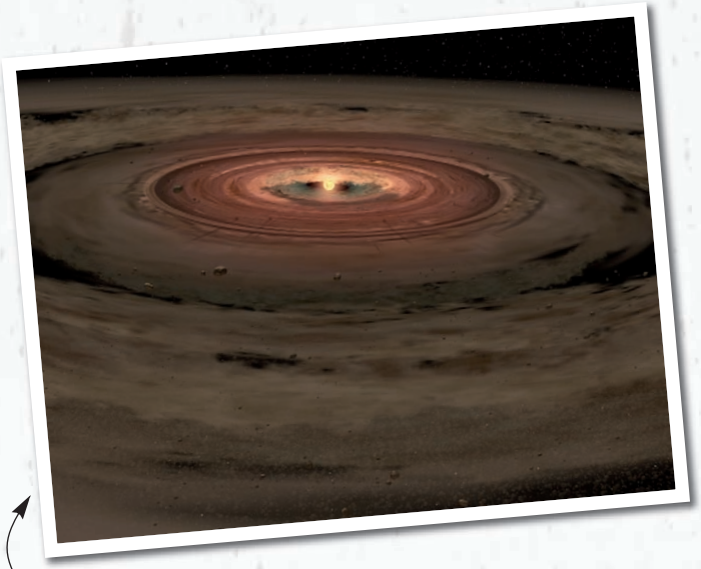


© European Space Agency/A.Vidal-Madjar (ars)/Science Photo Library/Cosmos



© NASA

Comparaison du système de 55 Cancri avec le système solaire.



© NASA/SSPL

Les planètes se forment à partir du disque de poussières accompagnant la création d'une jeune étoile.

Les planètes ont la bougeotte

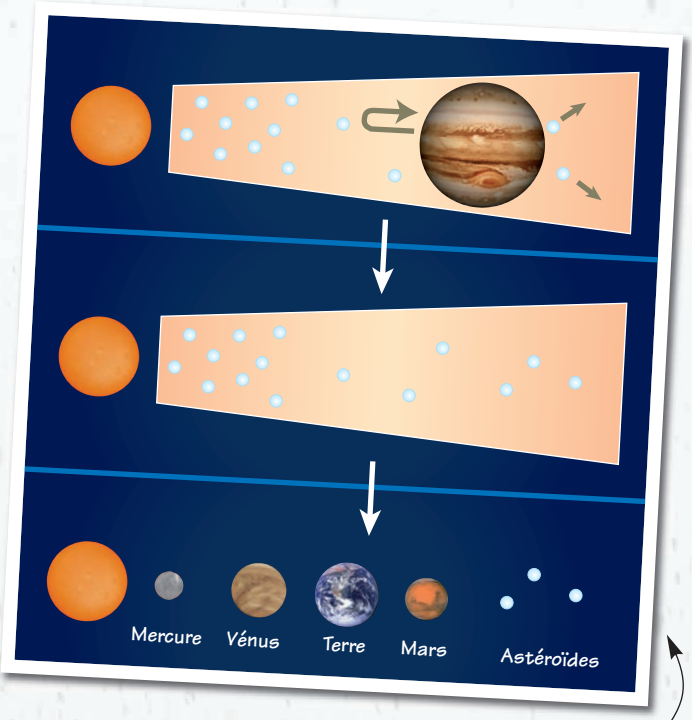
Aujourd'hui, on sait que les petites planètes rocheuses (comme Mercure, Vénus, la Terre et Mars) se forment près de leur étoile, dans une zone trop chaude pour posséder beaucoup d'éléments volatils (méthane – le gaz naturel, dioxyde de carbone, eau… mais aussi hydrogène et hélium). Par contre, plus loin de l'étoile, il fait plus froid et ces gaz peuvent s'accumuler autour des embryons planétaires rocheux, pour former des planètes géantes.

Mais ce n'est pas fini ! Les embryons planétaires peuvent ensuite interagir entre eux et avec le disque de poussières et de gaz entourant l'étoile naissante et dont ils sont issus. Ces processus donnent lieu à des éjections de planètes ou à des planètes en orbite allongée (dite "excentrique" ou "elliptique") plutôt que circulaire… mais aussi à des migrations. **Eh, oui, les bébés-planètes ont la bougeotte, ils se déplacent ! Ainsi, certaines géantes nées dans les confins glacés de leur système peuvent finir dans les parages brûlants de leur soleil.**

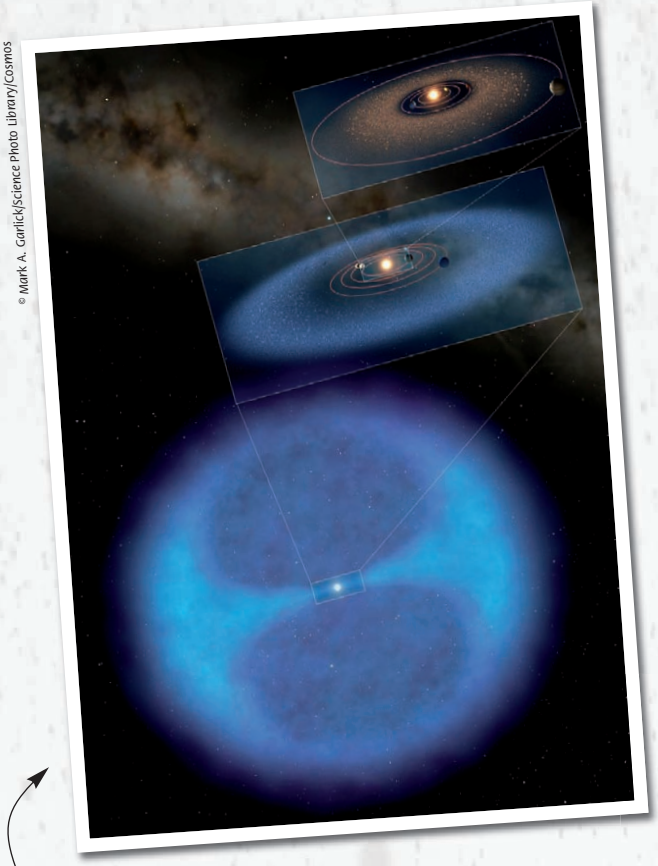
Qu'en est-il pour notre système solaire ? Les astronomes ont simulé l'évolution de notre maison céleste, et les résultats des modèles théoriques sont assez surprenants. **Au départ, les planètes géantes se sont formées plus près qu'actuellement, ce qui explique la taille d'Uranus et Neptune** – détail amusant : il est probable que la position de ces deux géantes étaient inversée, avec Uranus la plus lointaine des deux. **Jupiter aurait ensuite doucement avancé, consommant la matière située à quelques unités astronomiques** : il n'en restait du coup plus assez à cet endroit pour former une *grosse* planète Mars. Après ce mouvement vers l'avant, **Jupiter et Saturne ont rebroussé chemin**, repoussant alors la paire Uranus-Neptune vers l'extérieur.

Comme une géante dans un jeu de quilles

Mais ce n'est pas tout, car les planètes ne sont pas les seuls habitants du système solaire. Par exemple, **la prise de pouvoir de Jupiter non loin de la Terre joua un rôle dans la formation de Mars mais aussi dans celle des astéroïdes** – et les simulations *collent* assez bien à la réalité. D'autre part, quand Uranus et Neptune se sont éloignées, le terrain n'était pas libre car il y avait là l'avant-garde de la (future) ceinture de Kuiper.



Dans l'évolution du système solaire, c'est le mouvement vers l'avant puis le recul de Jupiter qui aurait vidé l'orbite de la future Mars de ses matériaux… d'où la taille réduite de la planète rouge, finalement.



© Mark A. Garlick/Science Photo Library/Cosmos

La formation de la ceinture d'astéroïdes, de la ceinture de Kuiper et du nuage d'Oort a été influencée par les migrations des planètes s'approchant ou s'éloignant du Soleil.

Les deux géantes, éléphantes dans le jeu de quilles, ont bousculé ces petits objets, les envoyant se balader vers l'intérieur tandis qu'elles reculaient encore un peu… Si certains voient là l'origine du **bombardement massif tardif** *(late heavy bombardment)* du système solaire interne (un événement catastrophique dont on voit encore les cicatrices sur la Lune) il faut savoir que les petits objets n'ont pas rencontré que de petites planètes : ils rencontrèrent aussi Saturne et Jupiter. Deux destins les attendaient alors : se faire éjecter du système, pour peupler le milieu interstellaire sans espoir de retour, ou se déplacer très loin sur des orbites allongées et très inclinées, pour former le lointain nuage d'Oort dont une partie revient parfois sous la forme de jolies comètes.

Et à l'avenir ? La répartition est-elle fixe une fois pour toutes ? Pas sûr… Certaines simulations théoriques envisagent la déstabilisation de Mercure, à cause de Jupiter. Le jeu de billard cosmique semble donc loin d'être terminé, même si la partie est plus calme aujourd'hui.

Yaël Nazé